



- ۷۹۵..... بررسی عملکرد سیستم مخازن ذخیره منفرد با استفاده از شاخص‌های عملکرد (مطالعه موردی: سد مخزنی لار)
مونا احمدیان - مجید منتصری
- ۸۰۷..... تعیین بهره‌وری آب و نیاز آبی خیار گلخانه‌ای در قزوین
رقیه نجفی پور - هادی رمضانی اعتدالی - بیژن نظری
- ۸۲۳..... ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت تأثیر پتانسیل آب در خاک
تهمینه ربیسی‌نژاد - نجمه یزدان‌پناه
- ۸۳۳..... مدل‌سازی جذب کادمیم و سرب توسط سیپولیت با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)
مرضیه پیری - ابراهیم سپهر - عباس صمدی - خلیل فرهادی - محمد علیرزاده خالد آباد
- ۸۴۵..... برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و داده‌های سنجش از دور در حوضه آبخیز سد گاوشان
محمد علی محمودی - سیده پریا نقشبندی
- ۸۵۷..... تأثیر تنش هم‌زمان خشکی و شوری بر جذب آب و پتانسیل آب برگ درخت بادام در شرایط نیمه‌خشک
آزدر غنایی میلانی - محمد زین بال
- ۸۷۳..... اثر اسید هیومیک بر فراهمی کود فسفر و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه کلزا
آمنه جهاندیده - مجتبی بارانی مطلق - اسماعیل دردی پور - رضا قربانی نصرآبادی
- ۸۸۵..... تأثیر آبیاری زیرزمینی با پساب شهری تصفیه‌شده بر عملکرد گیاه برنج
لیلی قربانی مینائی - مهدی ذاکری نیا - عباس رضایی اصل - حمیدرضا میرکریمی
- اثر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزی گونه گلوموس موسه آ با نخود بر پایداری ساختمان خاک و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای
لادن حیدری - حسین بیات - جواد حمزه‌ئی - تهمینه قیطاسی رنجبر - سمیه بهرامیان راغب - فاطمه مدینه خرمی
- اثر آتش بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگل در نزدیکی تنه و مرز تاج بلوط ایرانی
(*Quercus brantii* Lindl.)
الهام یزدانی - وحید حسینی - کیومرث محمدی سمائی
- ۹۱۳..... توان‌سنجی کشت درخت انگور در ایران براساس شرایط اقلیمی
طیبه شجاعی - غلامعباس قلاح قاهره‌ری - عبدالرضا کاشکی
- ۹۲۳..... توسعه یک مدل پیش‌بینی ریسک خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: زیرحوضه آبریز افین)
غزاله کواکبی - محمد موسوی بایگی - امین علیرزاده - ابوالفضل مساعدی - مهدی جباری نوقایی

Contents

- Using Reservoir Performance Indices for Evaluating the Lar Storage Dam Behavior 806
M. Ahmadian - M. Montaseri
- Determination of Water Productivity and Greenhouse Cucumber Water Requirement in Qazvin 821
R. Najafipour - H. Ramezani Etedali - B. Nazari
- Evaluation of Yield and Yield Components of Sunflower under Soil Water Potential 832
T. Raesinejad - N. Yazdanpanah
- Modeling Lead and Cadmium Sorption onto Sepiolite Using Response Surface Methodology 844
M. Piri - E. Sepehr - A. Samadi - Kh. Farhadi - M. Alizadeh
- Estimation of Soil Erosion by RUSLE and Remote Sensing Data of Gawshan Dam Basin 856
M.A. Mahmoodi - P. Naghsbandi
- The Effects of Simultaneous Drought and Salinity Stresses on Growth, Water Uptake and Leaf Water Potential of Almond in Semi-Arid Condition 871
A. Onnabi Milani - M. Zarrinbal
- The Effect of Humic Acid on the Availability of Phosphorus Fertilizer and some Physiological Traits of Rapeseed (*Canola*) 884
A. Jahandideh - M. Barani Motlagh - E. Dordipur - R. Ghorbani Nasrabadi
- The Effect of Sub-irrigation on Rice Yield with Refined Municipal Wastewater 896
L. Ghorbaniminai - M. Zakerinia - A. Rezaeiasl - H.R. Mirkarimi
- Effects of Chickpea Inoculation with *Rhizobium (Mesorhizobium caesar)* and Mycorrhizae (*Glomus mosseae*) on Soil Structural Stability and Aggregates Size Distribution under both Greenhouse and Field Conditions 911
L. Heydari - H. Bayat - J. Hamzei - T. Ghytasi Rangbar - S. Bahramian Ragheb - F. Madine Khorrami
- Effect of Wildfire on some Chemical Properties of Forest Soil Near Base Trunk and Crown Border of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) 922
E. Yazdani - V. Hosseini - K. Mohammadi Samani
- Evaluating the Ability of Grapevine Cultivation in Iran Based on Climatic Conditions 942
T. Shojaei - Gh.A. Fallah Ghalhari - A. Kashki
- Development of Weather Meteorological Drought Forecast Model (Case Study: Sub-basin Afin Watershed) 958
Gh. Kavakebi - M. Mousavi Baygi - A. Alizade - A. Mosaedi - M. Jabbari Noghabi

آب و خاک

(علوم و صنایع کشاورزی)

با شماره پروانه 21/2015 مورخه 1368/4/11 و درجه علمی - پژوهشی شماره 26524 تاریخ 1373/10/19 از

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

جلد 33 شماره 6 بهمن - اسفند سال 1398

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال 1398، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

رضا ولیزاده

سرمدیر:

امیر فتوت

اعضای هیئت تحریریه:

استاد - تغذیه نشخوارکنندگان (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - علوم خاک (دانشگاه تبریز)

استادیار - آبیاری (دانشگاه اوکلاهما، آمریکا)

استاد - علوم خاک (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)

استاد - آبیاری و زهکشی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - خاکشناسی (دانشگاه گریفیت، استرالیا)

دانشیار - هواشناسی کشاورزی (دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران)

استاد - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - آبیاری و زهکشی (دانشگاه تهران)

استاد - آبیاری و مهندسی عمران (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - هواشناسی کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اوستان، شاهین

تقوئیان، صالح

خرمائی، فرهاد

علیزاده، امین

فتوت، امیر

قدیری، حسین

کمالی، غلامعلی

لکزیان، امیر

لیاقت، عبدالمجید

مساعدی، ابوالفضل

موسوی بایگی، محمد

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده کشاورزی - ص. پ. 91775-1163 - دبیرخانه نشریات علمی - نشریه آب و خاک

این نشریه در پایگاههای زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی علوم ایران (ISC) پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

پست الکترونیکی: jswa3@um.ac.ir

مقاله های این شماره در سایت <http://jm.um.ac.ir> به صورت کامل نمایه شده است.

این نشریه به صورت دو ماهانه (شش شماره در سال) منتشر می شود.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 795 بررسی عملکرد سیستم مخازن ذخیره منفرد با استفاده از شاخص‌های عملکرد (مطالعه موردی: سد مخزنی لار)
مونا احمدیان - مجید منتصری
- 807 تعیین بهره‌وری آب و نیاز آبی خیار گلخانه‌ای در قزوین
رقیه نجفی پور - هادی رمضان‌ی اعتدالی - بیژن نظری
- 823 ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت تأثیر پتانسیل آب در خاک
تهمینه رئیسی‌نژاد - نجمه یزدان‌پناه
- 833 مدل‌سازی جذب کادمیم و سرب توسط سیپولیت با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)
مرضیه پیری - ابراهیم سپهر - عباس صمدی - خلیل فرهادی - محمد علیزاده خالد آباد
- 845 برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و داده‌های سنجش از دور در حوضه آبخیز سد گاوشان
محمد علی محمودی - سیده پریا نقشبندی
- 857 تأثیر تنش هم‌زمان خشکی و شوری بر جذب آب و پتانسیل آب برگ درخت بادام در شرایط نیمه‌خشک
اژدر غنایی میلانی - محمد زرین بال
- 873 اثر اسید هیومیک بر فراهمی کود فسفر و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه کلزا
آمنه جهان‌دیده - مجتبی بارانی مطلق - اسماعیل دردی پور - رضا قربانی نصرآبادی
- 885 تأثیر آبیاری زیرزمینی با پساب شهری تصفیه‌شده بر عملکرد گیاه برنج
لیلی قربانی مینائی - مهدی ذاکری نیا - عباس رضایی‌اصل - حمیدرضا میرکریمی
- 897 اثر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزی گونه گلوموس موسه‌آ با نخود بر پایداری ساختمان خاک و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای
لادن حیدری - حسین بیات - جواد حمزه‌ئی - تهمینه قیطاسی رنجبر - سمیه بهرامیان راغب - فاطمه مدینه خرمی
- 913 اثر آتش بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگل در نزدیکی تنه و مرز تاج بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)
الهام یزدانی - وحید حسینی - کیومرث محمدی سمانی
- 923 توان‌سنجی کشت درخت انگور در ایران براساس شرایط اقلیمی
طیبه شجاعی - غلامعباس فلاح قالهری - عبدالرضا کاشکی
- 943 توسعه یک مدل پیش‌بینی ریسک خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: زیرحوضه آبریز افین)
غزاله کواکبی - محمد موسوی بایگی - امین علیزاده - ابوالفضل مساعدی - مهدی جباری نوقابی



بررسی عملکرد سیستم مخازن ذخیره منفرد با استفاده از شاخص‌های عملکرد (مطالعه موردی: سد مخزنی لار)

مونا احمدیان^۱ - مجید منتصری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶

چکیده

سیستم مخازن ذخیره برای کنترل و تنظیم رژیم جریان رودخانه‌ها جهت تأمین تقاضا برای مصارف مختلف شرب، کشاورزی و ... طراحی و احداث می‌گردند. در این مطالعه سد مخزنی لار به عنوان یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب تهران با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بدین منظور با به کارگیری مدل استوکاستیک AR(1)، داده‌های جریان سالیانه تولید و سپس مقادیر جریان سالیانه با استفاده از مدل توزیعی والنسیا-شاکی در ماه‌های مختلف سال پخش یا توزیع شده است. در مرحله بعد، داده‌های ماهیانه تولیدی به عنوان جریان‌ات ورودی به مخزن ذخیره برای شبیه‌سازی رفتار سد مخزنی لار با استفاده از روش Modified-SPA^۳ و با اعمال شاخص‌های عملکرد سیستم مخازن به کار گرفته شد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حجم ذخیره علاوه بر تقاضا، تابعی از تلفات ناشی از تبخیر و ضرایب اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری بوده و از یک رابطه نمایی به ازای تقاضا تبعیت می‌کند. علاوه بر این در هر سه گونه SPA (version) های اصلاح شده (SPA-I, SPA-II, and SPA-III) دو شاخص عملکرد مخزن، یعنی؛ اعتمادپذیری زمانی و آسیب‌پذیری قابل کنترل در تحلیل بوده و تحلیل سیستم ذخیره برای مقادیر معلوم یا مشخص شاخص‌های مذکور انجام می‌پذیرد. همچنین در روش‌های SPA-II و SPA-III امکان استفاده از رابطه غیرخطی یا رابطه واقعی سطح-حجم در برآورد حجم تلفات ناشی از تبخیر در سیستم ذخیره است. کنترل دو شاخص عملکرد مخزن و به کارگیری رابطه واقعی یا غیرخطی سطح-حجم مخزن در تحلیل سیستم مخازن ذخیره به همراه جواب یکتا به عنوان مزیت‌های اساسی و بسیار مهم روش‌های مذکور نسبت به روش آنالیز رفتاری (فرض خطی بودن رابطه سطح-حجم مخزن و کنترل تنها شاخص اعتمادپذیری در محاسبات) است.

واژه‌های کلیدی: تولید داده، روش SPA، سد مخزنی لار، شبیه‌سازی مخزن، مدل استوکاستیک

مقدمه

عملکرد ایجاد می‌شوند (۲۲، ۲۴ و ۴۱). در طی فرآیند ذخیره آب در مخازن، جریان‌های تنظیم نشده ورودی به مخزن به سه صورت؛ آبدی (yield) یا خروجی تنظیم شده جهت تأمین تقاضا برای مصارف مختلف، تلفات نفوذ و تبخیر از سطح دریاچه و سرریز آب اضافی یا مازاد در مخزن یا سیستم که بخشی از جریان غیرقابل تنظیم بوده و به صورت جریان خروجی تنظیم نشده باقی می‌ماند، می‌باشد (۸). سیستم مخازن ذخیره دارای دو رفتار درون‌سالی یا برون‌سالی بوده و سیستم‌های درون‌سالی مخازن ذخیره کوچک را شامل شده و این سیستم‌ها در طول هر سال حداقل یکبار پر و خالی می‌شوند و ممکن هست در طول سال چندین بار پر و خالی گردند. در حالی که رفتار برون‌سالی مربوط به سیستم مخازن ذخیره بزرگ بوده و این مخازن ذخیره چندین سال نیاز دارند که از حالت خالی به حالت پر یا برعکس یعنی از حالت پر به حالت خالی برسند (۲۴).

روش‌های مطرح تحلیل ذخیره-آبدی-عملکرد سیستم مخازن ذخیره به دو گروه اصلی، یعنی؛ روش‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی طبقه‌بندی شده و به طور گسترده‌ای در تحلیل سیستم مخازن ذخیره آب‌های سطحی در نقاط مختلف دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند (۵)،

در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت دنیا و میزان تقاضای آب شیرین برای مصارف مختلف (شرب، کشاورزی و صنعت)، برنامه‌ریزی، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از مخازن آب‌های سطحی، خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به یکی از چالش‌های بسیار جدی و اساسی محققین و متخصصین صنعت آب در اکثر نقاط مختلف دنیا تبدیل شده است (۸، ۱۰ و ۳۴). در مخازن آب‌های سطحی، جریان تصادفی تنظیم نشده در دوره‌های پرآبی برای استفاده در دوره‌های کم‌جریان ذخیره می‌شود (۸). بنابراین سدهای ذخیره آب‌های سطحی برای کنترل و تنظیم جریان رودخانه‌ها به منظور تأمین تقاضای مصارف مختلف در سطح مشخصی از شاخص‌های

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

(*)- نویسنده مسئول (Email: m.montaseri@Urmia.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v33i6.77839

3- Sequent Peak Algorithm

۷ و ۱۳). استفاده از روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک (برنامه‌ریزی خطی و پویا) و فراکاوشی (از جمله الگوریتم ژنتیک) در تدوین الگوهای بهره‌برداری بهینه سیستم مخازن ذخیره به‌طور گسترده‌ای گزارش شده است. اما آنچه سبب ارزیابی دقیق و اعمال مناسب تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در یک سیستم ذخیره می‌شود، شبیه‌سازی سیستم مورد نظر است (۴، ۱۲، ۱۵ و ۱۶). روش‌های شبیه‌سازی به‌عنوان کاراترین ابزار در تحلیل طراحی و بهره‌برداری سیستم مخازن ذخیره بوده که نمایش جامع و کامل از سیستم ذخیره را نسبت به مدل‌های بهینه‌سازی ارائه می‌دهند و همچنین با استفاده از سری جریان‌ات تولید شده مصنوعی، ویژگی تصادفی جریان‌های ورودی را در نظر می‌گیرند (۴۶). از طرف دیگر یک مدل شبیه‌ساز در شبیه‌سازی پاسخ سیستم، انعطاف‌پذیرتر و کاراتر است (۴۶).

از میان دو روش نهایی شبیه‌سازی یعنی روش آنالیز رفتاری و روش SPA اصلاح‌شده، روش SPA قابلیت و انعطاف‌پذیری لازم به‌منظور اعمال تمامی شرایط واقعی حاکم بر سیستم مخازن ذخیره از جمله کنترل شاخص‌های عملکرد اعتمادپذیری^۱ و آسیب‌پذیری^۲ در تحلیل ذخیره-آبدی-عملکرد را دارا می‌باشد (۲۴ و ۲۸). روش شبیه‌سازی SPA اولیه به‌عنوان روش محاسباتی منحنی جرم^۳ مطرح بوده که در اواخر قرن بیستم اصلاحات عمده‌ای برای افزایش قابلیت و کارایی آن انجام پذیرفته است. اولین سری اصلاحات به‌منظور اعمال تلفات ناشی از تبخیر و شاخص‌های عملکرد مخزن یعنی اعتماد زمانی^۴ و آسیب‌پذیری توسط لهله در سال ۱۹۸۷ انجام پذیرفته و سری اصلاحات بعدی، توسعه روش SPA توسط منتصری (۱۹۹۹) برای سیستم مخازن ذخیره چندگانه و استفاده از رابطه غیرخطی یا رابطه واقعی سطح-حجم برای اعمال تلفات ناشی از تبخیر بوده است (۲۹).

ووگل و بلوگنس (۴۵) با استفاده از روش مونت کارلو، یک روش سیستماتیک برای توصیف رفتار عمومی سیستم مخازن ذخیره برون‌سالی را با اعمال شاخص‌های عملکرد مخزن (اعتمادپذیری و برگشت‌پذیری) توسعه دادند. بدین منظور مدل اتورگرسو مرتبه اول جهت تولید داده‌های مصنوعی جریان سالیانه با دو توزیع نرمال و لاگ‌نرمال استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است. ایشان نتیجه‌گیری نمودند که این مطالعه یک تئوری بنیادی پایه برای درک تبادلات میان روابط ذخیره، آبدی، اعتمادپذیری و برگشت‌پذیری در سیستم مخازن ذخیره برون‌سالی را فراهم می‌کند.

مک ماهان و همکاران (۲۵) با استفاده از ۵ شاخص عملکرد رایج، یعنی اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری، آسیب‌پذیری، ریسک خشکسالی و پایداری، روابط ذخیره-آبدی-عملکرد را در چهار سیستم مخزن

ذخیره منفرد فرضی بر روی رودخانه‌های Earn (انگلستان)، Hatchie (امریکا)، Richmond (استرالیا) و Vis (افریقای جنوبی) مورد مطالعه قرار دادند. در این تحلیل رفتار بلندمدت سیستم‌های ذخیره منفرد از یک پروسه شبیه‌سازی مونت کارلو بر اساس مدل توزیعی استوکاستیک fragment و روش آنالیز رفتاری صورت گرفته است. نتایج مطالعه بیانگر ضرورت به‌کارگیری شبیه‌سازی مونت کارلو جهت تحلیل درست و دقیق رفتار بلندمدت سیستم مخازن ذخیره بوده و نتایج چنین مطالعاتی براساس داده‌های تاریخی جریان‌های رودخانه‌ای، نتایج غیرمطمئن و غیرقابل اتکاء برای پیش‌بینی‌های بلندمدت است. مک ماهان و همکاران (۲۶) عملکرد مدل تجربی Gould-Dincer برای برآورد حجم ذخیره آب سطحی مورد نیاز در ۷۲۹ رودخانه از نقاط مختلف دنیا را با سه مدل شبیه‌ساز کمبود مورد انتظار^۵، آنالیز رفتاری و SPA مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند. بدین منظور رابطه ذخیره-آبدی-اعتمادپذیری به‌ازای داده‌های جریان سالیانه رودخانه‌ها توسعه و استخراج شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که مدل Gould-Dincer برای طراحی مقدماتی منابع آب^۶ و تعیین حجم ذخیره مورد نیاز اولیه یا تقریبی در رودخانه‌های فاقد آمار و اطلاعات عملکرد قابل قبول یا مناسبی دارد. همچنین این مدل می‌تواند به‌طور مؤثری در تحلیل ساده و سریع اثرات تغییر اقلیم در عملکرد سیستم مخازن ذخیره، بدون نیاز به شبیه‌سازی مفصل و پیچیده سیستم‌های مذکور با استفاده از سری‌های زمانی جریان رودخانه‌ای، مورد استفاده قرار گیرند.

عملکرد مدل ذخیره-آبدی-اعتمادپذیری Vogel-Stedinger (V-S) به‌عنوان یک مدل رایج در برآورد حجم ذخیره مورد نیاز آب سطحی، با استفاده از سری زمانی جریان سه رودخانه در انگلستان توسط آدلوی و پال (۳) مطالعه گردید. در این مطالعه یک روش شبیه‌سازی مونت کارلو^۷ به‌کار گرفته شد و نتایج نشان داد که مدل Vogel-Stedinger در تقاضاهای بالا ($MAF^A > 0.8$ تقاضا) یا برای سیستم مخازن کاملاً برون‌سالی دارای عملکرد قابل قبولی می‌باشد. با مرور مطالعات در دسترس محققین، توسعه روابط ذخیره-آبدی-عملکرد سیستم مخازن ذخیره اغلب محدود به مخازن ذخیره منفرد فرضی یا واقعی برون‌سالی براساس داده‌های سالیانه با فرضیاتی از جمله: ناچیز بودن تلفات ناشی از تبخیر، تقاضای ثابت ماهیانه و با عدم اعمال شاخص‌های استاندارد عملکرد مخازن (۱۱) انجام پذیرفته است، لذا این مطالعه با دو هدف اصلی (الف) معرفی یک مدل شبیه‌ساز با قابلیت لازم برای تحلیل جامع سیستم مخزن ذخیره منفرد و (ب) توسعه روابط ذخیره-آبدی-عملکرد در سیستم مخزن واقعی برای حالت منفرد ارائه شده است.

5- Extended Deficit Analysis
6- Preliminary Water Resources Planning
7- Monte Carlo Simulation Framework
8- Mean Annual Flow

1- Reliability
2- Vulnerability
3- Mass Curve
4- Time-based Reliability

جدول ۱- مختصات جغرافیایی و مشخصات آماری جریان، بارندگی و تبخیر سالیانه در سد لار

Table 1- Geographic coordinates and annual statistical parameters of streamflow, rainfall and evapotranspiration in Lar dam

ارتفاع Height (m)	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	جریان رودخانه Streamflow				بارندگی Precipitation (mm)	تبخیر Evaporation (mm)
			میانگین Mean (MCM)	ضریب تغییرات Coefficient of variation	ضریب چولگی Skewness	ضریب خود همبستگی Lag-1 Auto Correlation (ρ)		
2531	52° 00'	35° 53'	439.23	0.24	-0.19	0.34	694.58	806.2

MCM: میلیون متر مکعب، p: ضریب خود همبستگی جریان‌های سالیانه با تأخیر یک (Lag- one Auto-Correlation Coefficient)، mm: میلی‌متر

در این مطالعه به منظور استفاده از داده‌های جریان رودخانه در مدل‌سازی سری‌های زمانی جریان رودخانه، آزمون‌های اولیه همگنی، تصادفی و ایستایی انجام گرفته است (۳۲ و ۱). بدین منظور روش‌های جرم مضاعف، همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن و ران تست به ترتیب برای آزمون‌های همگنی، ایستایی و تصادفی بودن داده‌های جریان رودخانه‌ای استفاده شده است (۱۷ و ۳۹). نتایج آزمون جرم مضاعف برای داده‌های جریان رودخانه‌ای ورودی سد مخزنی لار، نشان‌دهنده همگنی داده‌ها با ضریب همبستگی ۰/۹۹ می‌باشد. علاوه بر این، نتایج حاصل از دو آزمون همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن و ران- تست درستی فرضیه (H_0) ایستایی و تصادفی بودن داده‌های جریان رودخانه‌ای لار را تأیید می‌کند.

یکی دیگر از گام‌های اساسی در مدل‌سازی سری زمانی داده‌های جریان رودخانه تعیین تابع توزیع احتمالی داده‌ها می‌باشد. لذا در این مطالعه ۵ تابع توزیع احتمال رایج (نرمال، لاگ نرمال دو و سه پارامتری، پیرسون و لاگ پیرسون نوع سوم)، با استفاده از آزمون نکویی برازش^۱ PPCC به عنوان مناسب‌ترین تکنیک، مورد ارزیابی قرار گرفته است (۱۸، ۴۳ و ۴۴) نتایج آزمون نکویی برازش^۲ PPCC نشان داد که توزیع احتمالی غالب و برتر داده‌های جریان ماهیانه و سالیانه رودخانه لار توزیع پیرسون نوع سوم می‌باشد.

مدل‌سازی استوکاستیک سری داده‌های جریان رودخانه

مدل‌های استوکاستیک امکان تولید سری‌های زمانی هیدرولوژیک جانشین (مانند بارندگی و جریان) که احتمال رخداد آن‌ها در آینده وجود دارد را فراهم می‌کنند. از طرف دیگر تحلیل رفتار بلندمدت سیستم‌های مختلف منابع آب خصوصاً سیستم مخازن ذخیره در گرو دسترسی به سری‌های زمانی جریان رودخانه‌ای مورد انتظار در سال‌های بهره‌برداری در آینده می‌باشد. لذا به کارگیری مدل‌های

بدین منظور سد مخزنی لار در مرکز ایران واقع در زیرحوضه‌های جنوبی سلسله کوه‌های البرز به عنوان مطالعه موردی جهت بررسی رفتار و عملکرد سیستم مخازن ذخیره منفرد با استفاده از روش مونت کارلو مورد تحلیل قرار گرفته است. سد مخزنی لار به صورت سیستم ذخیره منفرد طراحی شده و یکی از ۵ مخزن اصلی جهت تأمین آب شرب کلان‌شهر تهران و کشاورزی در منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه ارزیابی عملکرد یک مخزن ذخیره واقعی با پوشش کامل رفتار درون‌سالی و برون‌سالی مورد نظر بوده، لذا توسعه روابط ذخیره-آبدی-عملکرد برای ترکیب‌های مختلفی از تقاضا (۱۰ تا ۸۰ درصد متوسط جریان سالیانه)، ضرایب اعتماد زمانی (۹۰ تا ۱۰۰ درصد) و آسیب‌پذیری (۰ تا ۳۰ درصد) برای شرایط فرضی جهت پوشش کامل رفتار درون‌سالی و برون‌سالی انجام پذیرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

رودخانه پرآب لار از دامنه‌های جنوبی و شرقی سلسله کوه‌های البرز سرچشمه گرفته و در جهت جنوب-شرق جاری و وارد استان تهران می‌شود. این رودخانه یکی از رودخانه‌های مهم به عنوان منبع اصلی تأمین آب شرب کلان‌شهر تهران می‌باشد. بدین منظور سد لار در دهه ۴۰ برای کنترل و تنظیم جریان رودخانه مذکور جهت تأمین بخشی از آب شرب کلان‌شهر تهران احداث و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق شامل داده‌های جریان رودخانه‌ای، بارندگی، تبخیر، تقاضا و رابطه سطح-حجم سد لار بوده که از وزارت نیرو اخذ گردیده است. داده‌های جریان رودخانه‌ای، تبخیر و بارندگی سد لار برای دوره آماری ۳۲ ساله (۱۳۹۲-۱۳۶۱) در دسترس بوده که به صورت ماهیانه در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. موقعیت جغرافیایی و مشخصات آماری داده‌های جریان، بارندگی و تبخیر سالیانه در سیستم ذخیره مذکور در جدول ۱ ارائه شده است.

1- Goodness-of-fit test

2- Probability Plot Correlation Coefficient

شده با توزیع نرمال و میانگین صفر، A و B ماتریس ضرایب به ترتیب با ابعاد $(NM \times N)$ و $(NM \times NM)$ بوده که عناصر آن‌ها با استفاده از داده‌های تاریخی یا مشاهداتی انتقال یافته به توزیع نرمال به دست می‌آیند و V_i : یک بردار از متغیرهای تصادفی نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس واحد می‌باشند. ضمناً M و N به ترتیب تعداد ماه یا فصل در سال و سال‌های آماری داده‌های تاریخی است. این مدل مذکور نیز همانند اکثریت مدل‌های دیگر برای سری‌های زمانی تصادفی دارای توزیع نرمال توسعه یافته و برای استفاده از این مدل برای داده‌های دارای توزیع غیر نرمال بایستی ابتدا داده‌ها با استفاده از یک تابع یا رابطه منتقل کننده (transformation) مناسب به توزیع نرمال انتقال یابند (۳۵).

شاخص‌های عملکرد سیستم مخازن ذخیره

عملکرد محتمل سیستم‌های مخازن ذخیره اغلب به وسیله شاخص‌های عملکرد^۶ که براساس جنبه‌های بخصوص از بهره‌برداری غیرمطلوب یا غیر رضایت بخش در طول پریودهای شکست^۷ بنا نهاده شده، اندازه‌گیری و ارزیابی می‌شوند. یک بهره‌برداری غیرمطلوب اغلب به عنوان یک شکست نامیده شده که به عنوان عدم توانایی یک سیستم مخزن ذخیره برای تأمین تقاضای هدف یا طرح در یک پریود مشخص تعریف می‌شود (۴۵). بنابراین، شاخص‌های عملکرد جهت تصمیم‌گیری مناسب به منظور الف- انتخاب ظرفیت ذخیره مخزن، ب- پیکربندی سیستم، ج- سیاست‌های بهره‌برداری و د- اهداف سیستم ذخیره مورد نیاز است (۱۱). هاشیموتو و همکاران (۱۱) سه شاخص عملکرد، یعنی اعتمادپذیری زمانی، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری را به عنوان شاخص‌های عملکرد پایه و اصلی سیستم مخازن برای طراحی و بهره‌برداری سیستم مخازن ذخیره معرفی نمودند.

اعتمادپذیری به عنوان احتمال این که سیستم در یک حالت رضایت‌مندی یا مطلوب (بدون شکست) باشد، تعریف می‌شود. این ضریب می‌تواند هم به صورت ترم‌هایی از نسبت کل زمان، یعنی: اعتمادپذیری زمانی (۱۱) یا نسبتی از مقدار کل آب مورد تقاضا که توسط مخزن تأمین می‌شود، یعنی: اعتمادپذیری حجمی بیان شود. معادله ۳ اعتمادپذیری زمانی را تعریف می‌کند:

$$\delta = \left(1 - \frac{f}{T}\right) \quad (3)$$

که در آن δ اعتمادپذیری زمانی ($0 \leq \delta \leq 1$)، f و T به ترتیب تعداد پریودهای شکست و تعداد کل پریودهای تاریخی یا مشاهداتی می‌باشند.

درست همانند معیار عملکرد قابلیت اطمینان بحث شده در بالا، برای تعریف برگشت‌پذیری چندین تعریف استفاده شده است (۹): با

استوکاستیک و تولید داده‌های مصنوعی برای ارزیابی دقیق و بدون انحراف طرح، بهره‌برداری و مدیریت بهینه سیستم مخازن ذخیره و تدوین رفتار بلندمدت آن‌ها کاملاً لازم و ضروری است (۲۲، ۲۴، ۳۷ و ۴۲).

سیستم مخازن ذخیره اغلب دارای رفتار توأم درون‌سالی و برون‌سالی بوده، لذا برای تحلیل دقیق و رضایت‌بخش رفتار بلندمدت آن‌ها بایستی از مدل استوکاستیک با توان حفظ خصوصیات آماری داده‌های تاریخی در هر دو سطح ماهیانه و سالیانه یعنی مدل‌های توزیعی^۱ استفاده شود (۳۰ و ۳۱). از این‌رو در این مطالعه، ترکیبی از مدل اتورگرسیو با تأخیر یک ساله^۲ $(AR(1))$ برای تولید داده‌های سالیانه و مدل والنسیا- شاکی^۳ برای توزیع جریان‌های سالیانه به جریان‌های ماهیانه با قابلیت و ظرفیت کاربرد در سیستم مخازن ذخیره منفرد و چندگانه جایگزین یک مدل منفرد برای تولید جریان‌های ماهیانه به‌طور مستقیم، مانند مدل‌های ARMA و توماس- فایرینگ^۴، شده است. مدل منفرد $AR(1)$ برای تولید داده‌های سالیانه در سیستم مخازن منفرد با رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$q_{i+1} = \bar{q} + \rho(q_i - \bar{q}) + (s\sqrt{1-\rho^2})e_i \quad (1)$$

که در آن q_i و q_{i+1} جریان‌های سالیانه مربوط به i و $i+1$ امین سال، $\bar{q}$ میانگین جریان‌های سالیانه، S انحراف معیار جریان‌های سالیانه، ρ ضریب خود همبستگی جریان‌های سالیانه با تأخیر یک^۵ و e_i مقدار مستقل تصادفی از توزیع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و واریانس واحد می‌باشند. مدل فوق برای داده‌های با توزیع نرمال توسعه یافته و برای به کارگیری این مدل جهت سری‌های زمانی تاریخی با توزیع‌های احتمالی دیگر یا غیر نرمال بایستی ابتدا داده‌ها با استفاده از یک تابع انتقال (transformation) مناسب به توزیع نرمال انتقال یافته و سپس پارامترهای مدل ($\bar{q}$ ، S و ρ) از سری زمانی تاریخی انتقال یافته به نرمال یا نرمال شده محاسبه گردند (۳۵). لازم به ذکر است که در این مطالعه به دلیل تبعیت داده‌های جریان ماهیانه و سالیانه رودخانه لار از توزیع پیرسون نوع سوم، تابع تبدیل Wilson-Hilferty، به عنوان مناسب‌ترین رابطه، برای انتقال داده‌های جریان رودخانه لار به توزیع نرمال استفاده شده است (۲۲ و ۲۴).

رابطه ریاضی مدل توزیعی والنسیا- شاکی جهت توزیع داده‌های سالیانه به ماهیانه به صورت رابطه ۲ می‌باشد (۳۵):

$$X_i = AZ_i + BV_i \quad (2)$$

که در آن X_i $(NM \times 1)$ یک بردار از جریان‌های ماهیانه تولید شده با میانگین صفر، Z_i $(N \times 1)$ یک بردار از جریان سالیانه تولید

- 1- Disaggregation models
- 2- Auto Regressive Lag-1
- 3- Valencia- Schaaake (V-S)
- 4- Thomas- Fiering
- 5- Lag- one Serial Correlation Coefficient

6- Performance Indies

7- Failure Periods

روش حداکثرهای متوالی (SPA)

روش SPA اولیه، روش شبیه‌سازی بر اساس دوره بحرانی (شدیدترین دوره خشکی مشاهداتی) برای سیستم مخازن ذخیره منفرد بوده که در آن معادله توازن جرمی براساس میزان کمبود آب در هر پریود بسط داده شده است. این الگوریتم (SPA) مانند روش تحلیل رفتاری^۲ (BA)، سری زمانی جریان روخانه را به‌طور مستقیم به‌کار گرفته و در نتیجه اثرات فصلی، همبستگی داخلی و سایر پارامترهای جریان به‌طور مستقیم در تحلیل سیستم ذخیره در نظر گرفته می‌شوند (۲۵). در روش SPA اولیه، تحلیل سیستم ذخیره با فرض ناچیز بودن تلفات ناشی از تبخیر (صرفنظر کردن از تلفات ناشی از تبخیر) و ضریب اعتمادپذیری ۱۰۰٪ انجام می‌پذیرد. لذا اصلاحات اساسی روش SPA اولیه، به‌دلیل ساختار تئوریک مناسب، به‌سطح یک روش نهایی در تحلیل سیستم مخازن ذخیره از تلاش‌های مؤثر محققین در دهه‌های گذشته بوده است. اولین مجموعه از اصلاحات، توسط لاله (۱۹) گزارش شده که SPA اصلاح شده توسط ایشان (SPA-I) قابلیت منظور نمودن حجم تلفات تبخیر (با فرض رابطه خطی سطح و حجم مخزن) و ضریب اعتمادپذیری کمتر از ۱۰۰٪ را در محاسبات فراهم کرده است. توانایی بررسی تغییرات وابسته به سطح مخزن (تلفات ناشی از تبخیر) در مناطقی که شدت تبخیر خیلی زیاد است و همچنین برای مطالعه میزان حساسیت تغییرات اقلیمی، قابل توجه می‌باشد.

متنصری (۲۷) علاوه بر تکمیل اصلاحات قبلی (ارائه الگوریتم SPA-II برای رفع نقیصه SPA-I در اعمال تلفات ناشی از تبخیر در محاسبات)، روش SPA را برای به‌کارگیری در سیستم مخازن چندگانه SPA-III با اعمال تلفات ناشی از تبخیر و سه شاخص عملکرد، اعتمادپذیری زمانی، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری توسعه داد. در هر سه گونه (version) SPA‌های اصلاح شده (SPA-I، SPA-II، and SPA-III) دو شاخص عملکرد مخزن یعنی اعتمادپذیری زمانی و آسیب‌پذیری قابل کنترل در تحلیل بوده و تحلیل سیستم ذخیره برای مقادیر معلوم یا مشخص شاخص‌های مذکور انجام می‌پذیرد. همچنین در روش‌های SPA-II و SPA-III امکان استفاده از رابطه غیرخطی یا رابطه واقعی سطح-حجم در برآورد حجم تلفات ناشی از تبخیر در سیستم ذخیره است. کنترل دو شاخص عملکرد مخزن و به‌کارگیری رابطه واقعی یا غیرخطی سطح-حجم مخزن در تحلیل سیستم مخازن ذخیره به‌همراه جواب یکتا به‌عنوان مزیت‌های اساسی و بسیار مهم روش‌های مذکور نسبت به روش آنالیز رفتاری (فرض خطی بودن رابطه سطح-حجم مخزن و کنترل تنها شاخص اعتمادپذیری در محاسبات) است.

متنصری (۲۷) روش LP و الگوریتم‌های SPA-I، SPA-II را برای ارزیابی کاربرد و عملکرد روش SPA به‌عنوان یک روش

این حال، تعریفی که به‌طور گستره مورد استفاده قرار می‌گیرد تعریف ارائه شده توسط هاشیموتو و همکاران (۱۱) است. ایشان برگشت‌پذیری را به‌عنوان احتمالی که یک سیستم مخزن پس از حالت شکست بهبود می‌یابد تعریف نمودند، یعنی:

$$\lambda = \frac{1}{f_s} \quad (4)$$

که در آن λ برگشت‌پذیری ($0 \leq \lambda \leq 1$) و f_s تعداد دنباله‌های پیوسته پریودهای شکست می‌باشد (f: تعداد کل پریودهای شکست). برای اولین بار هاشیموتو و همکاران (۱۱) آسیب‌پذیری را به‌عنوان متوسط شکست‌های بیشینه در طول هر دوره (چند پریود) شکست پیوسته تعریف نموده‌اند. زانگ و همکاران (۴۷) تمام شکست‌ها را به‌جای مقدار حداکثر در هر دوره شکست پیوسته در نظر گرفتند و آسیب‌پذیری را به‌صورت نسبت کل کسری آب تحویلی به تقاضای هدف یا طرح در طول پریودهای شکست (رابطه ۵) تعریف کردند:

$$\eta = \frac{(\sum_{t \in T} R_t^* - \sum_{t \in T} R_t)}{\sum_{t \in T} R_t^*} \quad (5)$$

که در آن η آسیب‌پذیری، R_t مقدار آب تحویلی در طول t امین پریود شکست و R_t^* مقدار تقاضای هدف در طول t امین پریود شکست است. در معادله ۵، آسیب‌پذیری در بازه ($0 \leq \eta \leq 1$) قرار می‌گیرد، همانند دو معیار عملکرد، یعنی: اعتمادپذیری و برگشت‌پذیری. موی و همکاران (۳۲) در یک مطالعه وسیع، عدم تعامل (trade-offs) موجود مابین سه شاخص اعتمادپذیری زمانی، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری را به‌صورت گسترده‌ای بررسی نمودند. چنین رفتاری، استفاده از این معیارها برای مدیریت بهینه سیستم‌های منابع آب را شدیداً محدود می‌کند. با این وجود، اگر یک شاخص واحدی که شامل اثرات ترکیبی این شاخص‌ها است، بتواند استخراج شود، آنگاه پیچیدگی‌های مرتبط با عدم تعامل مابین آن‌ها عمدتاً منتفی خواهد شد. سیمونویک (۳۸) این شاخص‌های یکپارچه را به‌عنوان معیار شایستگی^۱ (FM) نامید. لاکس (۲۳) سه شاخص اعتمادپذیری زمانی، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری را به‌منظور تعریف یک شاخص پایداری (sustainability FM) (ϕ) برای طراحی و بهره‌برداری سیستم مخازن مطابق رابطه ۶ ترکیب نمود:

$$\phi = \delta \lambda (1 - \eta) \quad (6)$$

که در آن ϕ : شاخص پایداری، δ : شاخص اعتمادپذیری زمانی، λ : شاخص برگشت‌پذیری و η : شاخص آسیب‌پذیری می‌باشند. همچنین ساندوال و همکاران (۳۶)، معادله بالا را در فرم معادله ۷ اصلاح و نتیجه‌گیری نمودند که معادله جدید نتایج دقیق‌تری را فراهم می‌کند. معادله ۶ و ۷ به‌طور منطقی درست بوده، زیرا پایداری یک سیستم ذخیره برای اعتمادپذیری و برگشت‌پذیری بیشتر و آسیب‌پذیری کوچک‌تر افزایش می‌یابد.

$$\phi = [\delta \lambda (1 - \eta)]^{1/3} \quad (7)$$

عملکرد مدل استوکاستیک جریان رودخانه

در این بخش ارزیابی عملکرد مدل استوکاستیک در حفظ یا دوباره تولید خصوصیات آماری داده‌های تاریخی به تفکیک در سطح سالیانه و ماهیانه انجام پذیرفته است. پارامترهای آماری داده‌های تولیدی از متوسط‌گیری مقادیر پارامترها از ۱۰۰۰ سری زمانی تولیدی یا استوکاستیک استخراج شده است. جدول ۱ مقایسه مشخصات آماری داده‌های جریان سالیانه تولیدی (استوکاستیک) و تاریخی در سد مورد مطالعه را نشان می‌دهد. براساس جدول ۱، عملکرد مدل AR(1) در حفظ یا دوباره تولید مشخصات آماری مهم، یعنی: میانگین، انحراف معیار، ضریب چولگی و همبستگی داخلی با تأخیر یک‌ساله یا خود همبستگی یک‌ساله در حد بسیار مناسبی بوده که این امر در تبیین دقیق و درست رفتار برون‌سالی سیستم مخازن ذخیره بسیار مهم است (۳۹ و ۴۰).

جهت ارزیابی عملکرد مدل والنسیا-شاکي در توزیع داده‌های جریان سالیانه در ماه‌های مختلف سال، پارامترهای آماری ماهیانه میانگین، انحراف معیار، ضریب چولگی، همبستگی دو ماه متوالی و نیز همبستگی مابین ماه با سال داده‌های جریان تولیدی و تاریخی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. شکل ۱ مقایسه مقادیر پارامترهای آماری ماهیانه پنج‌گانه مذکور سری زمانی تاریخی و تولیدی را در سد مخزنی لار نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مدل توزیعی مورد استفاده در این مطالعه با ترکیب AR(1) و والنسیا-شاکي دارای عملکرد بسیار مطلوبی در حفظ یا دوباره تولید مشخصات آماری داده‌های جریان رودخانه در دو سطح سالیانه و ماهیانه، یعنی: میانگین، انحراف معیار و ضریب چولگی، ساختمان همبستگی مابین ماه‌های مختلف سال و همبستگی مابین داده‌های ماهیانه و سالیانه بوده است. لازم به ذکر است که حفظ یا دوباره تولید ضریب چولگی در داده‌های تولیدی به دلیل تطبیق و انتخاب توزیع پیرسون نوع سوم به عنوان توزیع برتر داده‌های تاریخی بوده است. در صورتی که توزیع احتمال انتخابی توزیع دیگری مانند توزیع نرمال یا گامبل (چولگی برابر مقدار ثابت) تعیین شود، امکان حفظ ضریب چولگی توسط داده‌های تولیدی در هر دو سطح ماهیانه و سالیانه فراهم نشده و ضریب چولگی در سری داده‌های تولیدی کاملاً تخریب می‌شود. بر اساس شکل ۱-۳، ضرایب چولگی سری‌های زمانی تولیدی به نسبت کوچکتر از مقادیر تاریخی بوده که این امر ناشی از عدم قطعیت در انتقال داده‌ها به توزیع نرمال بیش از مدل‌سازی استوکاستیک و تصادفی است (۳۹، ۴۰). به هر حال، چنین انحراف کوچکی در تحلیل سیستم مخازن ذخیره حائز اهمیت نبوده، زیرا برآورد حجم ذخیره مورد نیاز عمده‌تأثر از ضریب تغییرات داده‌ها بوده و کمتر تحت تأثیر ضریب چولگی داده‌ها قرار می‌گیرد (۴۰ و ۳۹).

جایگزین در طراحی مخازن مقایسه کرد. نتایج نشان داد که LP و SPA-II (SPA اصلاح شده توسط منتصری (۲۷)) به نتایج کاملاً یکسانی منجر می‌شوند، در حالی که نتایج الگوریتم SPA-I که توسط لهله (۱۹) ارائه شده در برخی حالات با نتایج LP و SPA-II متفاوت است و حجم ذخیره را اندکی کمتر از دو روش دیگر برآورد کرده است. این تفاوت ناشی از تشخیص نادرست طول دوره بحرانی در روش SPA-I است. همچنین روش SPA-II در برخی حالات حجم ذخیره منفی را نشان می‌دهد که این مسأله نیز مربوط به روش اعمال تلفات ناشی از تبخیر در تحلیل می‌باشد.

در نسخه اولیه این روش که تحت عنوان Basic-SPA مطرح می‌باشد، ظرفیت ذخیره مفید مخزن به‌ازای اعتمادپذیری ۱۰۰٪ در یک دوره T پربودی بدون درنظر گرفتن تلفات ناشی از تبخیر از مخزن، برآورد می‌گردد. در این روش حجم مفید مخزن بر اساس رابطه ۸ تعیین می‌گردد (۲۳).

$$K_t = \begin{cases} K_{t-1} + R_t + EV_t - I_t & \text{if } > 0.0 \\ 0.0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad t=1, \dots, T$$

$$K_a = \text{Max}(K_t); \quad t=1, T \quad (8)$$

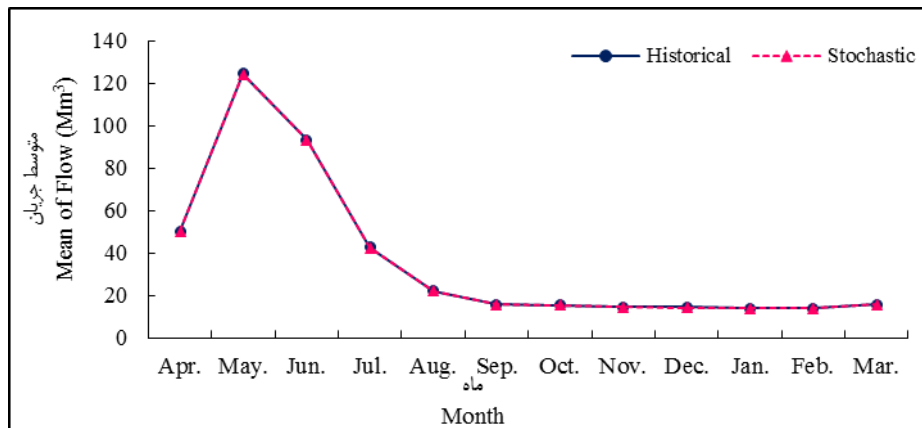
که در آن K_a : حداقل ظرفیت ذخیره مورد نیاز یا حجم مفید مخزن، K_t و K_{t-1} : به ترتیب مقدار کمبود حجم ذخیره یا حجم خالی مخزن در انتهای پربودهای $t-1$ و t : مقدار حجمی تقاضا یا عرضه آب از مخزن در طول پربود t : EV_t : مقدار حجمی تلفات آب (از قبیل تبخیر و نشست ...). در طول پربود t : I_t : مقدار حجمی جریان ورودی به مخزن در طول پربود t : T : طول دوره آماری یا تعداد کل پربودها می‌باشد.

نتایج و بحث

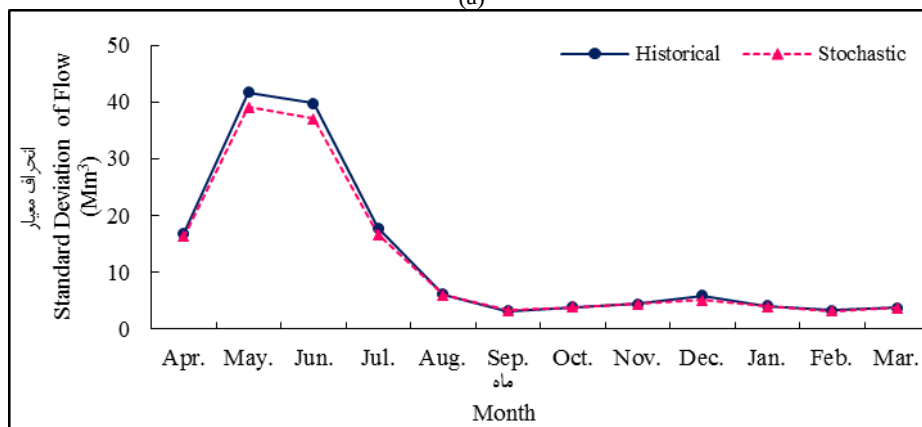
نتایج این مطالعه در ۳ بخش اصلی تفکیک و ارائه شده است. در بخش اول، نتایج عملکرد مدل استوکاستیک به کار رفته (مدل سالیانه و ماهیانه) و ارزیابی عملکرد آن در تحلیل مخزن بررسی شده است. در بخش دوم، نتایج حاصل از مشخصات اصلی سیستم مخزن ذخیره از جمله تغییرات حجم مفید، دوره بحرانی و تلفات ناشی از تبخیر مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش آخر، عملکرد سیستم مخزن ذخیره درون‌سالی و برون‌سالی بر اساس چهار شاخص اصلی ضرایب اعتماد زمانی، برگشت‌پذیری، آسیب‌پذیری و پایداری مورد ارزیابی قرار گرفته است. از آنجایی که هدف اصلی این تحقیق تعیین و ارزیابی عملکرد و رفتار عمومی سیستم مخزن ذخیره منفرد بوده، لذا نتایج ارائه شده در بخش دوم و سوم بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی استوکاستیک مخزن براساس داده‌های تولیدی جریان رودخانه (۱۰۰۰ سری) به عنوان جمعیت خصوصیات سیستم مخازن استخراج شده است. ضمناً نتایج ارائه شده به صورت میانگین ۱۰۰۰ سری به عنوان میانگین جمعیت یا به صورت سری کامل داده‌های جمعیت مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۲- مقایسه پارامترهای آماری داده‌های جریان سالیانه تولیدی و تاریخی در سد مخزنی لار
Table 2- Comparison of annual statistical characteristics of historical and generated values in Lar dam

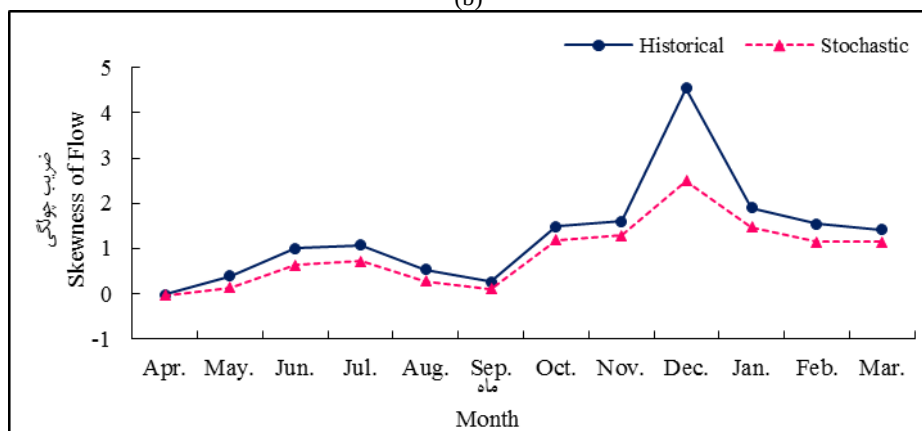
سد Dam	داده‌های تاریخی Historical data				داده‌های تولیدشده Generated data			
	میانگین Mean (MCM)	انحراف معیار Standard deviation (MCM)	ضریب چولگی Skewness	همبستگی Correlation	میانگین Mean (MCM)	انحراف معیار Standard deviation (MCM)	ضریب چولگی Skewness	همبستگی Correlation
(لار) Lar	435.38	104.49	0.19	0.41	434.64	97.82	0.13	0.34



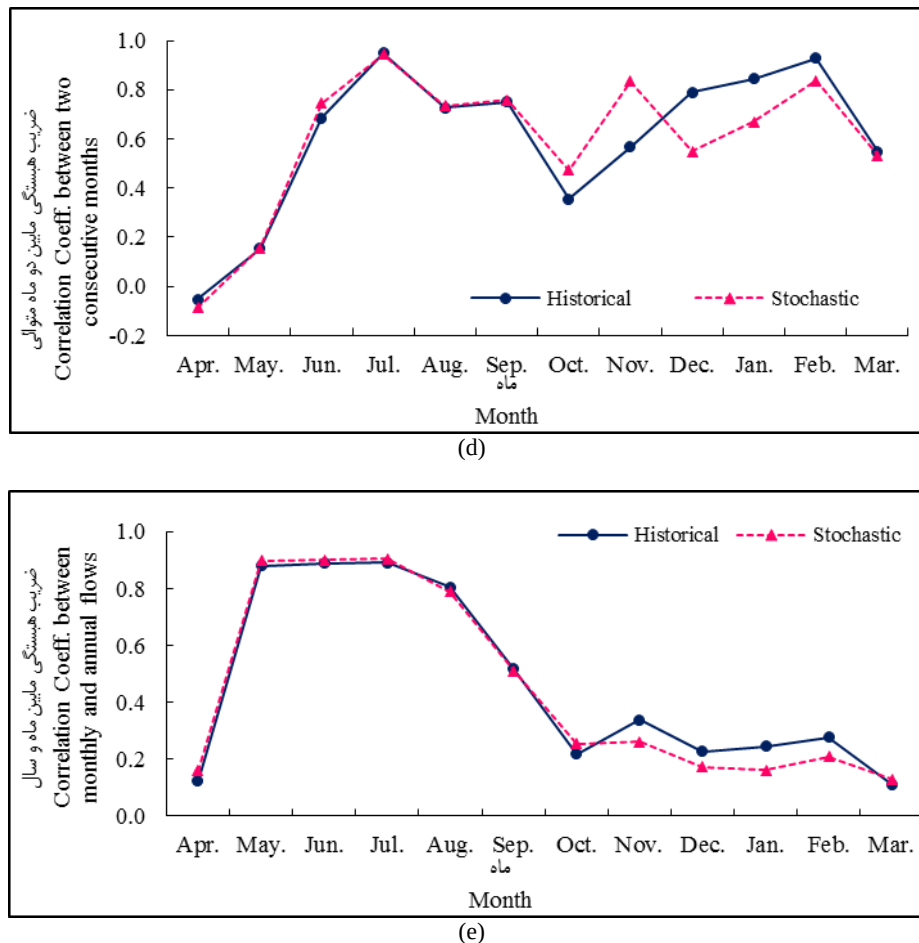
(a)



(b)



(c)



شکل ۱- مقایسه پارامترهای آماری ماهیانه داده‌های جریان تاریخی و تولیدی: (a) میانگین، (b) انحراف معیار، (c) ضریب چولگی، (d) ضریب همبستگی مابین دو ماه متوالی و (e) ضریب همبستگی مابین داده‌های ماهیانه و سالیانه- سد لار

Figure 1- Comparison of statistical characteristics of historical and generated monthly streamflow data; a) mean, b) standard deviation, c) skewness, d) correlation coefficient between two consecutive months, and e) correlation coefficient between different months and annual values- Lar dam

ذخیره با میزان آسیب‌پذیری سیستم بوده و با افزایش مقدار آسیب‌پذیری، مقدار حجم ذخیره مورد نیاز کاهش پیدا می‌کند.

دوره بحرانی

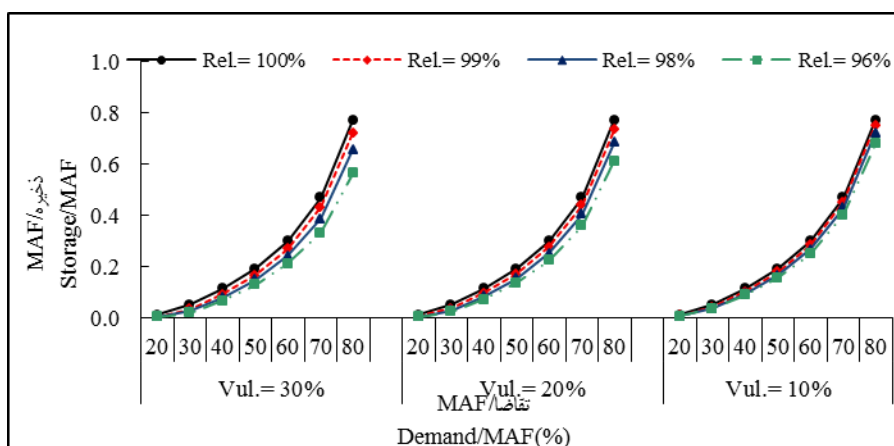
تعیین رفتار درون‌سالی و برون‌سالی سیستم مخازن ذخیره در برنامه‌ریزی و توسعه الگوی‌های بهره‌برداری بهینه چنین سیستم‌هایی بسیار حائز اهمیت است (۲۸ و ۳۹). بدین منظور مطالعات متعددی با ساده‌سازی سیستم مخازن ذخیره مانند فرض تقاضای ثابت ماهیانه، فرض ناچیز بودن تلفات ناشی از تبخیر، عدم اعمال شاخص‌های عملکرد مخزن و استفاده از داده‌های سالیانه جهت مدل‌سازی، و توسعه شاخص مناسب برای تعیین رفتار سیستم مخازن ذخیره انجام یافته است (۳، ۲۴ و ۴۵). با این وجود دوره بحرانی دقیق‌ترین شاخص تعیین و ارزیابی مستقیم رفتار درون و برون‌سالی سیستم مخازن ذخیره شناخته شده است (۲۸).

خصوصیات اصلی سیستم مخازن ذخیره

در این بخش از نتایج به ارزیابی رفتار ویژگی‌های مهم سیستم مخزن ذخیره، یعنی؛ حجم ذخیره مورد نیاز، دوره بحرانی و تلفات ناشی از تبخیر بر اساس جمعیت داده‌های خصوصیات سیستم مخزن ذخیره و داده‌های جریان تولیدی پرداخته شده است.

حجم ذخیره مورد نیاز

نمودار تغییرات میانگین حجم ذخیره استوکاستیک به‌ازای تقاضاها (MAF: ۸۰٪-۲۰٪)، ضرایب اعتماد زمانی (۱۰۰٪-۹۵٪) و آسیب‌پذیری‌های (۳۰٪-۱۰٪) مختلف برای سد لار در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که نمودار تغییرات حجم ذخیره مورد نیاز به‌ازای تقاضا از یک رابطه نمایی تبعیت نموده و با افزایش تقاضا، میزان حجم ذخیره مورد نیاز به‌طور نمایی افزایش می‌یابد. با این وجود شیب افزایش حجم ذخیره مورد نیاز به‌ازای تقاضا برای محدوده رفتار درون‌سالی سیستم ملایم بوده و برای دوره انتقالی و برون‌سالی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. ضمناً نتایج بیانگر وابستگی مستقیم حجم



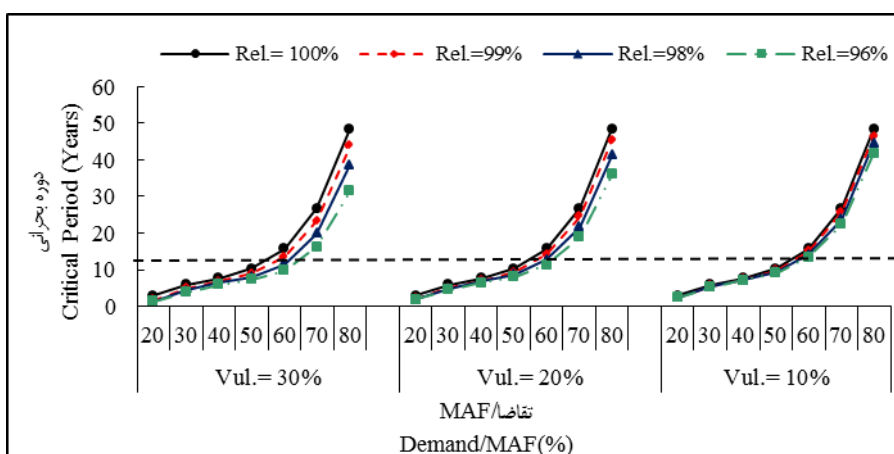
شکل ۲- نمودار تغییرات حجم مخزن مورد نیاز و تقاضا برای ضرایب اعتماد زمانی‌ها و آسیب‌پذیری‌های مختلف
Figure 2- The variation plot of storage capacity against demand for different time-based reliabilities and vulnerabilities-

ذخیره مورد مطالعه تا تقاضای ۵۰ درصد MAF و تقاضای بالاتر از ۶۰ درصد به ترتیب کاملاً رفتار درون‌سالی و برون‌سالی داشته و همچنین در محدوده تقاضاهای ۵۰-۶۰ درصد MAF، رفتار سیستم ذخیره در شرایط انتقالی بوده، یعنی؛ براساس شرایط هیدرولوژیک و جریانات ورودی به سیستم ذخیره در هر سال، رفتار مخزن مابین رفتار درون‌سالی و برون‌سالی در نوسان خواهد بود.

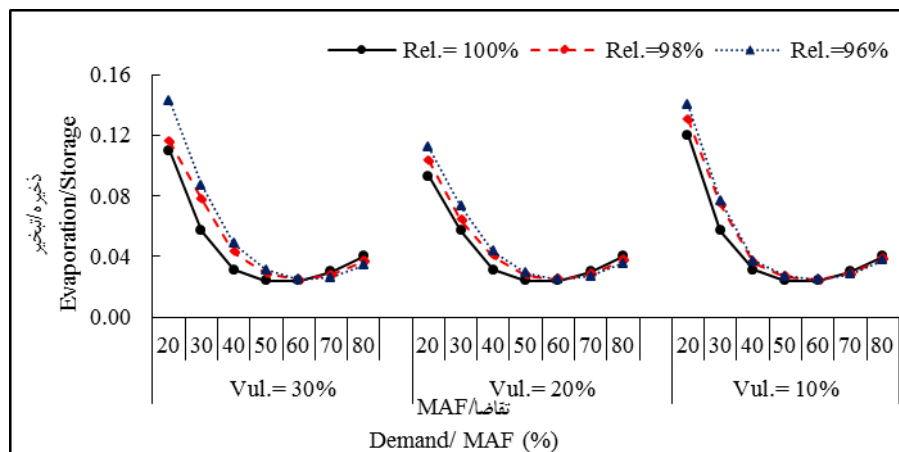
تلفات ناشی از تبخیر

تلفات ناشی از تبخیر یکی از عوامل مؤثر در تحلیل سیستم مخازن ذخیره سطحی (مرحله طراحی و بهره‌برداری) خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. به‌طوری‌که نزدیک ۳۰ درصد حجم ذخیره آب سیستم مخازن ذخیره در مناطق خشک به‌وسیله تبخیر تلف می‌گردد (۸).

لذا در این مطالعه مقادیر دوره بحرانی سیستم‌های ذخیره مورد مطالعه با لحاظ نمودن شرایط واقعی حاکم بر سیستم مخزن ذخیره با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو انجام یافته است. شکل ۳ نمودار تغییرات دوره بحرانی سیستم ذخیره به‌ازای تقاضا را برای مقادیر مختلف شاخص‌های عملکرد مخزن یعنی؛ اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری در سد لار نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که دوره بحرانی در سیستم مخازن ذخیره تابعی از تقاضا، ضریب اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری است و پارامترهای مذکور به‌طور مستقیم در طول دوره بحرانی مؤثر هستند. به‌طوری‌که با کاهش/افزایش اعتماد زمانی/آسیب‌پذیری مقدار دوره بحرانی کاهش پیدا می‌کند. همچنین شکل ۳ بیانگر وجود یک رابطه نمایی مابین دوره بحرانی و تقاضا بوده و روند افزایش طول دوره بحرانی به‌ازای تقاضا در شرایط درون‌سالی (دوره بحرانی کمتر یا مساوی ۱۲ ماه) ملایم بوده و برای شرایط برون‌سالی (دوره بحرانی بیشتر از ۱۲ ماه) به‌طور قابل ملاحظه‌ای تشدید می‌گردد. ضمناً نتایج نشان می‌دهد که سیستم



شکل ۳- نمودار تغییرات دوره بحرانی به‌ازای تقاضا برای اعتماد زمانی‌ها و آسیب‌پذیری‌های مختلف- سد لار
Figure 3- The variation diagram of critical period with demand for different vulnerabilities and reliabilities- Lar dam



شکل ۴- نمودار تغییرات تلفات ناشی از تبخیر به ازای تقاضا، برای اعتماد زمانی‌ها و آسیب‌پذیری‌های مختلف- سد لار

Figure 4- The variation diagram of evaporation losses with demand for different vulnerabilities and reliabilities- Lar dam

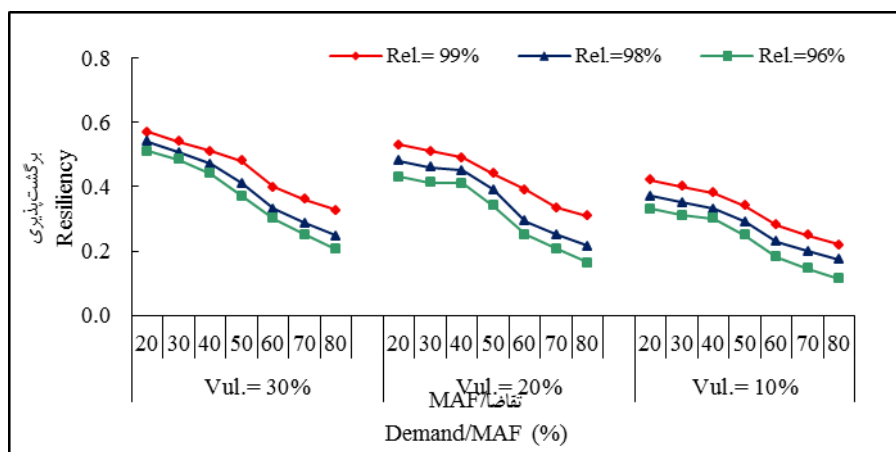
مذکور، نمودار تغییرات مقادیر احتمال برگشت‌پذیری از یک خط شکسته با سه بخش با شیب‌های نسبتاً متفاوت تبعیت می‌کند. بخش اول نمودار تقریباً بدون شیب یا با شیب بسیار کم بوده که برای رفتار درون سالی سیستم ذخیره حاصل شده است. بخش دوم نمودار بیشترین شیب خود را داشته که منطبق بر شرایط انتقالی سیستم ذخیره (یعنی؛ انتقال از درون سالی به برون سالی) بوده و در قسمت انتهایی نمودار، شیب نمودار نسبت به بخش میانی تعدیل گردیده و در این بخش سیستم ذخیره کاملاً یک رفتار برون سالی دارد. همچنین شکل ۵ نشان می‌دهد که مقدار ضریب برگشت‌پذیری با کاهش میزان اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری، روند کاهشی داشته و این روند با افزایش تقاضا کمتر می‌شود.

لاکس و همکاران (۲۰) به دلیل رفتار trade-off یا عدم تعامل سه شاخص عملکرد اصلی (یعنی؛ اعتماد زمانی، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری)، شاخص پایداری (Sustainability) را جهت مقایسه سیستم مخازن ذخیره و انتخاب گزینه شایسته با عملکرد بهینه معرفی و فرمول‌بندی نمودند (رابطه ۶)، ضمناً فرمول اولیه شاخص پایداری در راستای ارتقاء کارکرد و دقت آن توسط ساندوال (۳۶) اصلاح گردید (رابطه ۷). در شکل ۶ تغییرات مقادیر شاخص پایداری برای تقاضا و شاخص‌های اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری مختلف در سد لار با استفاده از رابطه ۶ و ۷ پایداری ارائه شده است. شکل مذکور بیان می‌کند که پایداری سیستم ذخیره لار به ازای افزایش تقاضا و کاهش اعتماد زمانی دارای روند نزولی است. ضمناً از آنجایی که میزان شاخص اعتماد زمانی در این مطالعه مقادیر نزدیک به واحد یا در محدوده بالایی بوده، لذا میزان پایداری سیستم ذخیره مذکور به طور عمده تحت تأثیر دو شاخص دیگر (برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری) قرار گرفته است. همچنین میزان این شاخص با توجه به معادله ۷ دارای مقدار بیشتری نسبت به معادله ۶ می‌باشد.

بررسی و ارزیابی جامعی از تلفات ناشی از تبخیر برای طیف گسترده‌ای از تقاضا و ضرایب اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری در مخازن ذخیره سطحی می‌تواند یک الگو یا راهنمای بسیار مناسبی در مرحله طراحی و انتخاب سیستم مخازن ذخیره بهینه باشد (۸). تغییرات تلفات ناشی از تبخیر به ازای تقاضای یک سیستم ذخیره، یعنی؛ سد لار، برای ضرایب اعتمادپذیری زمانی و آسیب‌پذیری مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج شکل ۴، رابطه حجم نسبی تلفات ناشی از تبخیر (نسبت حجم تبخیر به حجم ذخیره) و تقاضا، از یک شکل هذلولی تبعیت کرده و مقدار حجم نسبی تلفات با افزایش تقاضا یا حجم ذخیره در شرایط درون سالی کاهش پیدا کرده و در حداکثر تقاضا یا حجم ذخیره محدوده رفتار درون سالی به حداقل مقدار خود می‌رسد و سپس با گذار رفتار سیستم به حالت انتقالی و برون سالی، میزان حجم نسبی تلفات ناشی از تبخیر با افزایش تقاضا یا حجم ذخیره افزایش پیدا می‌کند.

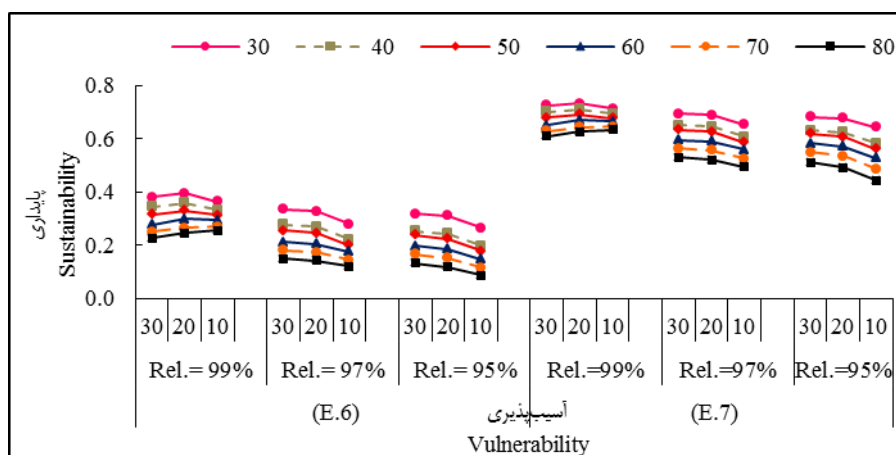
عملکرد سیستم مخازن

عملکرد سیستم مخازن ذخیره بر اساس رفتار سیستم ذخیره در تأمین تقاضای طرح یا هدف در دوره‌های پرتنش یا شکست مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (۲۰). بدین منظور سه شاخص اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری به ترتیب جهت کمی کردن احتمال میزان شکست، برگشت‌پذیری از شکست و شدت شکست مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۰). کنترل دو شاخص اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری در تحلیل سیستم مخازن ذخیره با روش SPA-II، امکان شبیه‌سازی سیستم مخازن را برای ترکیب‌های گوناگون دلخواه جهت بررسی و ارزیابی جامع از رفتار و عملکرد سیستم مخازن ذخیره فراهم می‌کند (۱۹). در شکل ۵، نمودار تغییرات احتمال برگشت‌پذیری سیستم ذخیره در مقابل تقاضا برای اعتماد زمانی‌ها و آسیب‌پذیری‌های مختلف در سد لار ارائه شده است. بر اساس شکل



شکل ۵- سرعت برگشت پذیری برای ضرایب آسیب پذیری و اعتمادپذیری مختلف؛ سد لار

Figure 5- Resiliency for different vulnerabilities and reliabilities; Lar dam



شکل ۶- پایداری برای ضرایب آسیب پذیری و اعتمادپذیری مختلف- سد لار

Figure 6- Sustainability for different vulnerabilities and reliabilities- Lar dam

ذخیره علاوه بر تقاضا، تابعی از تلفات ناشی از تبخیر و ضرایب اعتماد زمانی و آسیب پذیری بوده و از یک رابطه نمایی به ازای تقاضا تبعیت می‌کند.

دوره بحرانی به عنوان دقیق ترین شاخص تعیین رفتار درون/برون سالی سیستم مخازن ذخیره مطرح بوده و این شاخص در مدیریت و بهره‌برداری چنین سیستم‌هایی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. نتایج مطالعه (بخش دوم: دوره بحرانی) نشان می‌دهد که رفتار سیستم مخازن یا دوره بحرانی علاوه بر تقاضا، به شاخص‌های عملکرد سیستم وابسته بوده و با کاهش ضریب اعتماد زمانی یا افزایش ضریب آسیب پذیری مقدار دوره بحرانی کاهش پیدا می‌کند. همچنین نتایج بیانگر تغییرات غیرخطی (نمایی) دوره بحرانی و تقاضا در سطح مشخص از شاخص‌های عملکرد بوده است.

تعیین رابطه تلفات تبخیر برای دامنه تغییرات گسترده‌ای از تقاضا و شاخص‌های عملکرد مخازن در سیستم مخازن ذخیره سطحی می‌تواند یک راهنمای بسیار مناسب در انتخاب بهینه مشخصات سیستم ذخیره در مرحله طراحی باشد بر اساس نتایج نوآورانه این

نتیجه گیری

در این مطالعه یک روش مونت کارلو گسترده جهت تعیین رابطه ذخیره-آبدی-عملکرد سیستم مخازن ذخیره منفرد با استفاده از اطلاعات سد مخزنی لار انجام پذیرفته است. هدف اصلی این مطالعه برخلاف اکثر مطالعات انتشار یافته که برای حالت خاص و ساده شده از سیستم مخازن ذخیره (مانند استفاده از داده‌های سالانه، صرف نظر از تلفات تبخیر، فرض تقاضای ثابت ماهیانه، کنترل یک شاخص عملکرد و ...)، برای شرایط واقعی حاکم بر سیستم مخازن ذخیره انجام پذیرفته است.

نتایج بخش اول نشان می‌دهد که ترکیب دو مدل استوکاستیک AR(1) و والنسیا-شاکی دارای عملکرد بسیار مطلوبی در حفظ یا دوباره تولید مشخصات آماری داده‌های تاریخی در دو سطح ماهیانه و سالانه بوده که این امر مزیت و ضرورت استفاده از مدل‌های استوکاستیک توزیعی نسبت به سایر مدل‌های استوکاستیک مانند توماس-فایرینگ و ARMA در تحلیل سیستم مخازن ذخیره را نشان می‌دهد. براساس نتایج بخش دوم (حجم ذخیره مورد نیاز)، حجم

و درصد قابل توجهی از حجم ذخیره مخزن را به خود اختصاص می‌دهد. ضمناً نتایج بخش سوم نشان می‌دهد که سرعت برگشت‌پذیری سیستم مخازن ذخیره از شکست به‌ازای افزایش تقاضا با شیب‌های متفاوت برای سیستم مخازن ذخیره درون‌سالی، انتقالی و برون‌سالی کاهش پیدا می‌کند.

تحقیق (بخش دوم: تلفات ناشی از تبخیر)، تغییرات تلفات تبخیر به‌ازای تقاضا و سطح مشخصی از شاخص‌های عملکرد، دارای یک شکل عدسی مقعر بوده که نقطه عطف (کمینه) آن منطبق بر بزرگترین سیستم ذخیره درون‌سالی بوده است و با کاهش/افزایش تقاضا و حجم ذخیره، مقدار تلفات تبخیر به‌صورت نمایی افزایش یافته

منابع

- 1- Adeloje A.J., and Montaseri M. 2001. Quantifying the water resources benefits of integrated reservoir planning. *Journal of Integrated Water Resources Management* 272: 229-235.
- 2- Adeloje A.J., and Montaseri M. 2002. Preliminary streamflow data analyses prior to water resources planning study. *Journal of Hydrological Science* 47(5): 679-692.
- 3- Adeloje A.J., and Pal S. 2010. Generalized storage-yield-reliability modelling: Independent validation of the Vogel Stedinger (V-S) model using a Monte Carlo simulation approach. *Journal of Hydrology* 388: 234-240.
- 4- Ahmad S., and Simonovic S.P. 2000. System dynamics modeling of reservoir operations for flood management. *Journal of Computing in Civil Engineering* 14(3): 190-198.
- 5- Becker L., and Yeh W.W.G. 1974. Optimization of real time operation of multiple- reservoir system. *Journal of Water Resource Research* 10(6): 1107- 1112.
- 6- Burges S.J., and Linsley R.K. 1971. Some factors influencing required reservoir storage. *Journal of Hydraulic Division, ASCE* 97(7): 977-991.
- 7- Chen L., Mcphee J., and Yeh W.W.G. 2007a. A diversified multi-objective GA for optimizing reservoir rule curves. *Journal of Advances in Water Resources* 30(5): 1082-1093.
- 8- Compos J.N.B. 2010. Modeling the yield-evaporation-spill in the reservoir storage process: The regulation triangle diagram. *Journal of Water Resources Management* 24: 3487-3511.
- 9- Fiering M.B. 1982. Estimates of resilience indices by simulation. *Journal of Water Resources Research* 18(1): 41-50.
- 10- Guo S.L., Zhang H.G., and Chen H. 2004. A reservoir flood forecasting and control System for China. *Journal of Hydrological Sciences* 49(6): 959-972.
- 11- Hashimoto T., Stedinger J.R., and Loucks D.P. 1982. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation. *Journal of Water Resources Research* 18(1): 14-20.
- 12- Hosseinpour Tehrani M., Davari R., and Ghahreman B. 2008. Operation of reservoir systems using fuzzy logic. 4th National Congress of Civil Eng., 6-8May. 2008. Tehran University, Tehran. (In Persian)
- 13- Houck M.H., Cohon J.L., and Revelle C. 1980. Linear decision rule in reservoir design and management, 6: incorporation of economic efficiency benefits and hydroelectric energy generation. *Journal of Water Resource Research* 16(1): 196- 200.
- 14- Ismail N.A., Harun S., and Yusop Z. 2004. Synthetic simulation of streamflow and rainfall data using disaggregation models. *Journal of Kejuruteraan Awam* 16(2): 56-65.
- 15- kaharkaboudi R., and KhayyatKholghi M., Jahromi M., and Arab D. 2008. Operation of multi-reservoir system using fuzzy approach. 4th National Congress of Civil Eng., 6-8May. 2008. Tehran University, Tehran. (In Persian)
- 16- Karamouz M., and Karachian R. 2003. Water quality management. Amirkabir University Press. Tehran.
- 17- Kottegoda N.T., and Horder M.A. 1980. Daily flow model based on rainfall occurrences using pulses and a transfer function. *Journal of Hydrology* 47: 215-234.
- 18- Lars S.H., and Vogel R. 2008. The probability distribution of daily rainfall in the United States. ASCE, World Environmental and Water Resources Congress. 12-16 May. 2008. Honolulu, Hawaii.
- 19- Lele S.M. 1987. Improved algorithms for reservoir capacity calculation incorporating storage-dependent losses and reliability norm. *Journal of Water Resource Research* 23(10): 1819-1823.
- 20- Loucks D.P., Beek E.V., Stedinger J.R., Dijkaman J.P.M., and Villars M.T. 2005. Water resources system planning and management: An introduction to methods, models and applications (1th Ed., UNESCO). France, Paris.
- 21- Loucks D.P. 1997. Quantifying trends in system sustainability. *Journal of Hydrological Sciences* 42(4): 513-530.
- 22- Loucks D.P., Stedinger J.R., and Haith D.A. 1981. Water resources system planning and analysis. Prentice-Hill, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- 23- McMahon T.A., and Mein R.G. 1986. River and reservoir yield. *Journal of Water Resources Publications*, Littleton, Colorado.
- 24- McMahon T.A., and Adeloje A.J. 2005. Water Resources Yield. Water Resources Publications. LLC, USA.
- 25- McMahon T.A., Adeloje A.J., and Sen-Lin Z. 2006. Understanding performance measures of reservoirs. *Journal of Hydrology* 324: 359-382.
- 26- McMahon T.A., Pegram G.G.S., Vogel R.M., and Peel M.C. 2007. Revisiting reservoir storage-yield relationships using a global streamflow database. *Journal of Advanced Water Resources* 30: 1858-1872.
- 27- Montaseri M. 1999. Stochastic investigation of the planning characteristics of within-year and over-year reservoir

- systems. ph.D. Thesis, Heriot-Watt University, UK.
- 28- Montaseri M., and Adeloye, A.J. 1999. Critical period of reservoir systems for planning purposes. *Journal of Hydrology* (224): 115-136.
- 29- Montaseri M., and Adeloye A.J. 2004. A graphical rule for volumetric evaporation loss correction in reservoir capacity-yield-performance planning in Urmia region, Iran. *Journal of Water Resource Management* (18): 55-74.
- 30- Montaseri M., and Amirataee B. 2017. Comprehensive stochastic assessment of meteorological drought indices. *International Journal of Climatology* 37(2): 998-1013.
- 31- Montaseri M., Amirataee B., and Nawaz R. 2017. A Monte Carlo simulation-based approach to evaluate the performance of three meteorological drought indices in northwest of Iran. *Journal of Water Resources Management* 31(4): 1323-1342.
- 32- Moy W.S, Cohon J.L, and Revelle C.S. 1986. A programming model for analysis of reliability, resilience, and vulnerability of a water supply reservoir. *Journal of Water Resource Research* 22 (4): 489-498.
- 33- Panu U.S., and Sharma T.C. 2002. Challenge in drought research: some perspectives and future directions. *Journal of Hydrological Science* 47: 19-30.
- 34- Peters L.A., and Chang H. 2011. Urban water demand modeling: review of concepts, methods, and organizing principles. *Journal of Water Resources Research* 47(5) w05401.
- 35- Salas J.D 1993. Analysis and modeling of hydrologic time series. Chapter 19 in D.R. Maidment *Handbook of Hydrology* (McGraw- Hill, Inc, New York).
- 36- Sandoval-Soils S., Mckinney D.C., and Loucks D.P. 2011. Sustainability index for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management* (ASCE) 137(5): 381-389.
- 37- Silva A.T., and Portela N.M. 2012. Stochastic assessment of reservoir storage-yield relationships in Portugal. *Journal of Hydrology* 18(5): 567-575.
- 38- Simonovic S.P. 1998. Sustainability criteria for possible use in reservoir analysis. *International association of Hydrological Sciences, Wallingford, U.K., No. 251: 55-58.*
- 39- Soundharajan B-S., Adeloye A.J., and Remesan R. 2016. Evaluating the variability in surface water reservoir planning characteristics during climate change impacts assessment. *Journal of Hydrology* 538: 625-639.
- 40- Srikanthan R., and McMahon T.A. 1982. Stochastic generation of monthly streamflows. *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 108: 419-441.
- 41- Srinivasan K., Neelakantan T.R., Shyam Narayan P., and Nagarajukumar C. 1999. Mixed-integer programming model for reservoir performance optimization. *Journal of Water Resource Planning and Management* 125(5): 298-301.
- 42- Stedinger J.R., and Taylor M.R. 1982a. Synthetic stream flow generation, part 1. Model verification and validation. *Journal of Water Resource Research* 31(3): 645-654.
- 43- Vogel R.M. 1986. The probability plot correlation coefficient test for the normal, lognormal, and gumbel distributional hypotheses. *Journal of Water Resource Research* 22(4): 587-590.
- 44- Vogel R.M., and Kroll C.N. 1989. Low flow frequency analysis using probability plot correlation coefficients. *Journal of Water Resources Planning and Management* 115(3): 338-357.
- 45- Vogel R.M., and Bolognese R.A. 1995. Storage-reliability-resilience-yield relations for over-year water supply systems. *Journal of Water Resource Research* 31(3): 645-654.
- 46- Yeh W.G. 1985. Reservoir management and operations models: a state-of-the-art Review. *Journal of Water Resources Research* 21(12): 1797- 1818.
- 47- Zongxue X., Jinno K., Kawamura A., Takesaki S., and Ito K. 1996. Performance risk analysis for Fukuoka water supply system. *Journal of Water Resources Management* 12: 13-30.



Using Reservoir Performance Indices for Evaluating the Lar Storage Dam Behavior

M. Ahmadian¹- M. Montaseri^{2*}

Received: 02-01-2019

Accepted: 27-11-2019

Introduction: In recent decades, with increasing the world population and demand for fresh water for various applications (drinking, agriculture and industry), planning, management and optimal utilization of surface water reservoirs, especially in arid and semi-arid regions, have become the most serious challenges faced by researchers and water industry professionals in many parts of the world. In surface water reservoirs, uncontrolled flow is stored in wet periods for use in low flow periods. Therefore, surface water storage dams are created to control and regulate the flow of rivers in order to meet demand for different uses at a certain level of performance indices. During the process of storing water in the reservoirs, the uncontrolled flows of the input into the reservoir are in three ways: yield or output adjusted to meet demand for various uses, infiltration loss and evaporation from the surface of the lake and spill of excess water in a reservoir that is part of an uncontrollable flow. The proposed methods of storage-yield-performance of the storage system are classified into two main groups, simulation and optimization methods, which are widely used to analyze the reservoirs system for storing surface water. Among two final methods of simulation i.e. the behavior analysis method and the modified Sequent Peak Algorithm (SPA) method, all the actual conditions governing the system of storage reservoirs, including control of indices of reliability and vulnerability in the storage-yield-performance, are required to apply SPA. The basic SPA simulation method has been proposed as a computational method for the mass curve, and major improvements have been made to increase its functionality and efficiency at the late 20th century. The first amendments to apply the effects of evaporation losses and performance indices; time-based reliability and vulnerability, were carried out by Lele (1987). Then, Montaseri (1999) developed the SPA method for the system of multiple storage reservoirs and used non-linear or real area-volume relationship for applying losses caused by evaporation.

Materials and Methods: Stochastic models provide the possibility of generating successive hydrological time series (such as rainfall and flow) that are likely to occur in the future. On the other hand, the analysis of long-term behavior of various water resources systems, especially the storage system, depends on the availability of expected river flow time series in the years to come. Therefore, the use of stochastic models and the production of artificial data are absolutely necessary for the accurate evaluation of the design, operation and optimal management of the storage system and the elaboration of their long-term behavior. For this purpose, using a single distributed stochastic model, 1000 series of annual and monthly flows of input into the storage reservoir were generated and then the series of monthly flows generated to simulate the storage reservoir system using the SPA-I method and the reservoir performance indices (time reliability, resiliency and vulnerability) were also used for single reservoir system.

Results and Discussion: The results show that combining two stochastic AR(1) and Valencia-Schaake models had very good performance in preserving statistical data of historical data at two monthly and annual levels. This is the advantage and necessity of using the stochastic distributions model relative to other stochastic models such as Thomas-Fiering and ARMA in analyzing the storage reservoirs systems. The behavior of the reservoir system or the critical period in addition to demand, depends on system performance indices and decreases the critical period by decreasing time-based reliability or increasing the vulnerability factor. The results also indicate nonlinear (exponential) changes in the critical period and demand at a certain level of performance indices. Moreover, evaporation loss changes for demand and a certain level of performance indices have a concave shape, with a reversing point consistent with the largest within-year storage system. With a decrease/ an increase demand and volume of storage, the amount of evaporation losses increased exponentially and accounted for a considerable percentage of the reservoir's storage capacity.

Conclusion: The results revealed that volume of storage in addition to demand is a function of evapotranspiration losses and time-based reliability and vulnerability indices and follows an exponential relation for demand. In addition, in all three variants of the modified SPAs (SPA-I, SPA-II, and SPA-III), two performance indices of the reservoir, namely time-based reliability and vulnerability, are controllable in analysis,

1 and 2- Graduated M.Sc. and Professor Department of Water Engineering, College of Agriculture, Urmia University, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: m.montaseri@Urmia.ac.ir)

and the storage system analysis is performed for specified values or mentioned indices. Also, in the SPA-II and SPA-III methods, it is possible to use a nonlinear or a real area-volume relationship to estimate the loss of evapotranspiration in the storage system. Control of two performance indices of the reservoir and the application of real or nonlinear area-volume relationship in the analysis of reservoir system reservoir are important advantages of the above methods to the behavior analysis method.

Keywords: Data generation, Lar reservoir dam, Reservoir simulation, SPA method, Stochastic model



تعیین بهره‌وری آب و نیاز آبی خیار گلخانه‌ای در قزوین

رقيه نجفی پور^۱ - هادی رضوانی اعتدالی^{۲*} - بیژن نظری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

چکیده

کشت‌های گلخانه‌ای نقش ویژه‌ای در تولید محصولات کشاورزی دارند. آگاهی از میزان دقیق نیاز آبی در برنامه‌ریزی توسعه گلخانه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این پژوهش ارزیابی و ارایه مدلی برای برآورد تبخیر و تعرق خیار در شرایط گلخانه‌ای با استفاده از داده‌های هواشناسی و مطالعه بهره‌وری آب در تولید این محصول در قزوین است. در طی تحقیق، تغییرات دما، رطوبت، تشعشع، ارتفاع گیاه و رطوبت خاک اندازه‌گیری شد. با بررسی مدل‌های ریاضی مختلف، یک مدل توانی با پارامترهای دما، رطوبت نسبی و ارتفاع گیاه و با ضریب همبستگی ۰/۸۶ به عنوان بهترین مدل برای برآورد تبخیر و تعرق خیار گلخانه‌ای انتخاب شد. همچنین مقایسه تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده با روابط متداول تعیین تبخیر و تعرق نشان داد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده و تبخیر و تعرق برآورد شده با روش فائو پنمن مانیتیت همبستگی وجود دارد. روش فائو پنمن مانیتیت با ضریب تبیین ۰/۴۲ از دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده و روش بلانی کریدل اصلاح شده با ضریب تبیین ۰/۲۴ کمترین دقت را دارد. همچنین بهره‌وری آب در گلخانه‌های کشت خیار فعال در استان قزوین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داده بهره‌وری آب خیار در گلخانه‌ها از ۹/۲۳ تا ۲۲/۴۴ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر است. این دامنه تغییرات مساله اهمیت مدیریت و بهره‌برداری در ارتقای بهره‌وری آب در گلخانه‌ها را خاطر نشان می‌سازد. طبق برآوردهای انجام شده در این تحقیق اگر میزان تولید فعلی خیار در استان در فضای آزاد در گلخانه‌ها کشت شود، به ۱۱۷ هکتار گلخانه نیاز خواهد داشت و با این عمل نزدیک به ۱۵ میلیون متر مکعب آب صرفه‌جویی خواهد شد. با بررسی سایر جوانب اقتصادی و اجتماعی توسعه گلخانه‌ها می‌تواند در تسکین مشکلات کم آبی در استان کمک‌ساز باشد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، فائو-پنمن-مانیتیت، کم آبیاری

مقدمه

کشت‌های گلخانه‌ای با توجه به فراهم نمودن شرایط کنترل شده تولید و با مدیریت متغیرهای محیطی اهمیت ویژه‌ای در پیشبرد فرایند توسعه کشاورزی دارند. بدیهی است برنامه‌ریزی مناسب برای توسعه این نظام تولیدی با توجه به شرایط ویژه آن، نیازمند شناخت متغیرها و محدودیت‌هایی است که بازدارنده‌ی توسعه این کشت می‌باشد. تدوین یک برنامه آبیاری مناسب و اعمال مدیریتی تخصصی و آگاهانه از الزامات انکارناپذیر در کارایی کشت در گلخانه‌هاست. آگاهی از میزان دقیق نیاز آبی در هر زمان هم از منظر تولید و رشد محصول و هم از منظر مدیریت مصرف آب در سیستم‌های گلخانه‌ای حائز اهمیت زیادی می‌باشد. به همین دلیل تحقیقات متعددی در مبحث برآورد نیاز آبی گیاهان صورت گرفته و در این راستا مدل‌های مختلفی برای تخمین نیاز آبی گیاه ارایه شده است (۴، ۵، ۶، ۱۰، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۳ و ۲۷).

اثر عوامل جوی و فیزیولوژی گیاه در فرایند تبخیر و تعرق، سبب پیچیدگی این فرایند و ارایه روش‌های بسیاری برای تخمین آن شده است. تاکنون بیش از ۵۰ روش تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در قالب روش‌های ترکیبی، ائرودینامیک و تجربی ارایه شده است، که معمولاً نتایج متفاوتی دارند. با توجه به محدودیت‌های تعیین پارامترهای مورد نیاز این روش‌ها در شرایط گلخانه، استفاده از روش

امروزه با توجه به افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی از یک سو و فصلی بودن تولید محصولات از سوی دیگر، سبب شده که برای تأمین نیازهای موجود راهکارهایی در نظر گرفته شود تا هم میزان تولید افزایش یافته و هم امکان تولید محصولات در خارج از فصل میسر باشد. از جمله این راهکارها کشت محصولات در گلخانه است. در گلخانه با مدیریت بهتر تمام پارامترهای مؤثر بر عملکرد گیاهان از جمله پارامترهای اقلیمی (دما، رطوبت، تشعشع و ...) و پارامترهای مدیریت کشاورزی (آبیاری، مبارزه با آفات و بیماری‌ها، خاک و ...) می‌توان میزان تولید را افزایش داد. در گلخانه به دلیل کنترلی که بر عوامل تولید وجود دارد، امکان کشت خارج از فصل وجود دارد که این مساله از نظر امنیت غذایی و اقتصاد و بازاریابی کشاورزی اهمیت زیادی دارد.

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین
(*)- نویسنده مسئول
(Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v33i6.69882

بهره‌وری کشت خیار گلخانه‌ای و اثر آن بر منابع آب منطقه صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه تعیین نیاز آبی خیار گلخانه‌ای و ارائه مدلی به منظور برآورد تبخیر و تعرق گیاه خیار در شرایط گلخانه‌ای با استفاده از داده‌های هواشناسی می‌باشد تا ضمن محاسبه نیاز آبی، به کمک آن بتوان با تنش‌های خشکی احتمالی ناخواسته در طول دوره رشد گیاه خیار گلخانه‌ای مقابله و تولید را به بیشترین مقدار ممکن نزدیک نمود. همچنین تعیین میزان بهره‌وری خیار گلخانه‌ای در استان قزوین و اثر این بهبود بر کاهش فشار بر منابع آب منطقه هدف دیگر این مطالعه خواهد بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه‌ای در نزدیکی شهر قزوین و در مختصاتی به طول جغرافیایی ۴۰۱۲۲۱ و عرض جغرافیایی ۴۰۰۸۸۱۸ متر و با مساحت ۳۰۰۰ متر مربع با ارتفاع ۱۳۱۸ متر از سطح دریا انجام گرفت. ارتفاع تاج گلخانه از زمین ۴ متر، پوشش پلاستیک آن از جنس پلی اتیلن، با ضخامت ۰/۱۵ میلی‌متر می‌باشد. اسکلت گلخانه بصورت قوسی و دوقلو بوده است. آزمایش‌ها در انتهای گلخانه با کاشت نشا گلخانه در تاریخ ۹۳/۱۲/۲۹ در دو ردیف گلدان انجام گرفت (شکل ۱). گلخانه مجهز به ادوات لازم برای اندازه‌گیری روزانه داده‌های هواشناسی از قبیل دماسنج برای قرائت دمای لحظه‌ای، دمای بیشینه و کمینه، رطوبت‌سنج برای قرائت رطوبت نسبی موجود در گلخانه، تجهیزات اندازه‌گیری شدت تابش داخل گلخانه و سیستم گرمایشی و سرمایشی است.

بافت خاک در این پژوهش، لومی رسی بوده و دارای ۳۰٪ شن، ۳۲٪ سیلت و ۳۸٪ رس و دارای ۳۱ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و ۱۶ درصد رطوبت پژمردگی بوده است. دور آبیاری برابر با دو روز، شرایط مساعد برای انجام تبخیر و تعرق بدون تنش برقرار می‌باشد. گیاه مورد مطالعه بر اساس کشت غالب منطقه، خیار انتخاب گردید. در این آزمایش از بذور خیار رویال که با زمان کاشت و طول دوره برداشت هماهنگی دارد، استفاده شد. گلدان‌های مورد استفاده از نوع پلاستیکی با قطر دهانه ۱۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۳ سانتی‌متر بودند. در کف گلدان‌ها به مقدار مساوی شن درشت و ریز (برای زهکشی) ریخته شد و سپس گلدان‌ها با خاک کشاورزی منطقه که برای کشت خیار تهیه شده بود پر گردیدند. برای تأمین شرایطی مشابه با کشت واقعی خیار در گلخانه، گلدان‌ها در مجاورت کشت معمول گلخانه قرار داده شدند. آبیاری بوته‌ها دستی انجام گرفت و در طول دوره آزمایشات به مدت ۸۳ روز، رطوبت نسبی، دما و تشعشع در داخل گلخانه در ساعات مختلفی از روز اندازه‌گیری گردید. همچنین تأثیرات کم آبیاری بر روی خصوصیات مختلف بوته‌های تحت آزمایش مشاهده و ثبت شد.

های فوق در گلخانه‌ها با محدودیت روبرو می‌گردد. تاکنون مدل‌های مختلفی برای تخمین نیاز آبی گیاهان ارائه شده است، اما اطلاعات کاملی در مورد رفتار آنها در شرایط گلخانه‌ای وجود ندارد که دلیل آن واسنجی خاص شرایط خود می‌باشد. علاوه بر آن، معادلات تجربی و ترکیبی زیادی نیز برای محاسبه تبخیر و تعرق، توسط محققین ارائه شده است که برای شرایط گلخانه به کار رفته و در صورت نیاز واسنجی کرده‌اند تا اختلاف تبخیر و تعرق محاسبه شده و تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده حداقل گردد (۲۵، ۲۸ و ۳۰). مقدار تبخیر و تعرق مرجع را در داخل یک گلخانه شیشه‌ای با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و همچنین ۴ روش فیزیکی پنمن، پنمن - مانیتش، استنگلینی و فین تخمین زده شد (۱). برای بررسی دقت روش‌های مذکور از داده‌های لایسیمتری گیاه چمن کشت شده در گلخانه استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی بهترین تخمین را از تبخیر-تعرق مرجع ارائه می‌دهد. همچنین روش‌های استنگلینی، پنمن-مانیتش، فین و پنمن به ترتیب از لحاظ میزان دقت در تخمین تبخیر و تعرق در گلخانه مورد مطالعه قرار گرفتند (۱). همچنین ایشان مقدار تبخیر و تعرق سه گیاه خیار، گوجه فرنگی و فلفل را در داخل گلخانه شیشه‌ای دانشگاه صنعتی اصفهان به مدت هفت ماه، با استفاده از میکرو لایسیمتر برآورد کردند برای یافتن ارتباط میان داده‌های اقلیمی گلخانه با میزان تبخیر-تعرق گیاه، با استفاده از نرم‌افزار SPSS اقدام به مدل‌سازی فرایند تبخیر-تعرق گردید. نتایج نشان داد که بهترین مدل پیشنهادی شامل یک معادله رگرسیونی غیر خطی مبتنی بر دمای متوسط روزانه، تشعشع خورشیدی و ارتفاع گیاه می‌باشد (۱).

در طرف مقابل نیز مطالعات بسیاری در مورد صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در گلخانه‌ها گزارش شده است. بوتارو و همکاران (۲۰۱۵) مدیریت آبیاری گلخانه‌های گوجه فرنگی و خیار را با استفاده از تانسیموتر مطالعه نمودند و اثرات مدیریت آبیاری را بر روی عملکرد، کیفیت و بهره‌وری آب بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با استفاده از تانسیموتر بین ۳۵ تا ۴۶ درصد برای گوجه فرنگی و خیار صرفه‌جویی در آب اتفاق افتاده است. هاشم و همکاران (۲۰۱۱) بیشترین بهره‌وری مصرف آب خیار گلخانه‌ای در مصر را در طی دو سال آزمایش در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ را برای گلخانه‌های با پوشش سفید و برابر با ۲۶/۵ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. علی و همکاران (۲۰۱۵) بهره‌وری مصرف آب در خیار گلخانه‌ای را در حالت آبیاری کامل (بدون تنش) ۲۷/۹ کیلوگرم بر متر مکعب در عربستان گزارش نمودند.

جمع‌بندی مرور منابع نشان می‌دهد توجه به توسعه گلخانه‌ها با توجه به بهره‌وری آب بالاتر در این سیستم کشت، از راهکارهای اجتناب‌ناپذیر منطقه در حل مشکلات کم‌آبی خواهد بود. در مطالعات بسیاری سودمندی گلخانه‌ها در بهبود عملکرد، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی گزارش شده است (۷، ۸، ۹، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۴ و ۲۹). تاکنون مطالعات جامعی در سطح شهرستان قزوین در مورد



شکل ۱- آماده سازی گلدان‌ها و کشت نشا
Figure 1- Preparation of pots and planting

حداقل پارامترهای لازم و بیشترین دقت باشد، در نهایت از تلفیق مدل‌های مختلف یک مدل کلی برای محاسبه نیاز آبی گیاهان کشت شده پیشنهاد شد.

با توجه به اینکه یکی از اهداف مورد نظر این پایان نامه، ارزیابی میزان آب مصرفی در شرایط موجود و محاسبه بهره‌وری آب کشت گلخانه‌ای است، در ۹ گلخانه در سطح استان، سیستم موجود آبیاری گلخانه و میزان آب مصرفی و عملکرد گلخانه‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از طریق تکمیل پرسشنامه، اقدام به جمع‌آوری و جمع‌بندی وضع موجود بهره‌برداری در تعدادی از گلخانه‌های تولیدی استان قزوین در شهرستان‌های قزوین، آبیک و بوئین زهرا گردید (جدول ۲). این اطلاعات شامل اطلاعات کلی گلخانه، مساحت بهره‌برداری، روش آبیاری، منبع تأمین آب، نوع محصول و عملکرد محصول بوده است.

نتایج و بحث

اثر پارامترهای اندازه‌گیری شده بر تبخیر و تعرق

اثر پارامترهای دما، رطوبت نسبی، تشعشع و ارتفاع گیاه با تبخیر و تعرق در شکل ۲ آورده شده است. بیشترین همبستگی تبخیر و تعرق به ترتیب با پارامترهای ارتفاع گیاه، تشعشع و حداقل دما می‌باشد. اثر دمای حداقل، دما میانگین، تشعشع و ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۱ درصد و اثر دمای حداکثر و رطوبت نسبی در سطح احتمال ۵ درصد بر تبخیر و تعرق معنی‌دار بود.

اندازه‌گیری رطوبت به صورت وزنی صورت گرفت و کاهش رطوبت خاک در تیمار آبیاری کامل نسبت به حد رطوبت FC در هر دور آبیاری جبران گردید. این مقدار آب، بدلیل نداشتن تلفات رواناب و نفوذ عمقی برابر با تبخیر و تعرق در نظر گرفته شد. هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر بود که محدودیتی از نظر شوری برای رشد خیار ایجاد نمی‌کند. دور آبیاری همچنان که ذکر شد، در تمام تیمارها دو روز تعیین گردید. تا ۳۰ روز پس از کاشت (مرحله ۴ تا ۶ برگی) گلدان‌ها به مقدار مساوی آبیاری می‌شدند. سپس به منظور بررسی اثرات کم آبیاری ۴ تیمار در نظر گرفته شد. تیمار اول (FI): عمق آبیاری برابر ۱۰۰٪ تبخیر و تعرق گیاه، تیمار دو (DI20): عمق آبیاری برابر ۸۰٪ تبخیر و تعرق گیاه، تیمار سوم (DI40): عمق آبیاری برابر ۶۰٪ تبخیر و تعرق گیاه و تیمار چهارم (DI60): عمق آبیاری برابر ۴۰٪ تبخیر و تعرق گیاه با پنج تکرار بودند. زمان و میزان آبیاری در تیمارهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

با اتمام مراحل رشد گیاهان و تعیین مقادیر تبخیر و تعرق روزانه، با استفاده از تمامی پارامترهای برداشت شده در طی تحقیق از قبیل دمای روزانه، رطوبت نسبی، تشعشع خورشیدی، اقدام به مدل‌سازی فرآیند تبخیر و تعرق گیاهان کشت شده در گلخانه در قالب SPSS، Excel گردید. پس از ارایه مدل‌های پیشنهادی برآوردکننده میزان تبخیر و تعرق خیار گلخانه‌ای به کمک داده‌های هواشناسی مربوطه، این مدل‌ها به کمک داده‌های لایسمتری مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور از ضریب همبستگی (R^2) و میانگین خطای مطلق (MSE) استفاده شد. با توجه به این که بهترین مدل بایستی دارای

جدول ۱- تاریخ و حجم آبیاری (میلی لیتر) در تیمارهای مختلف

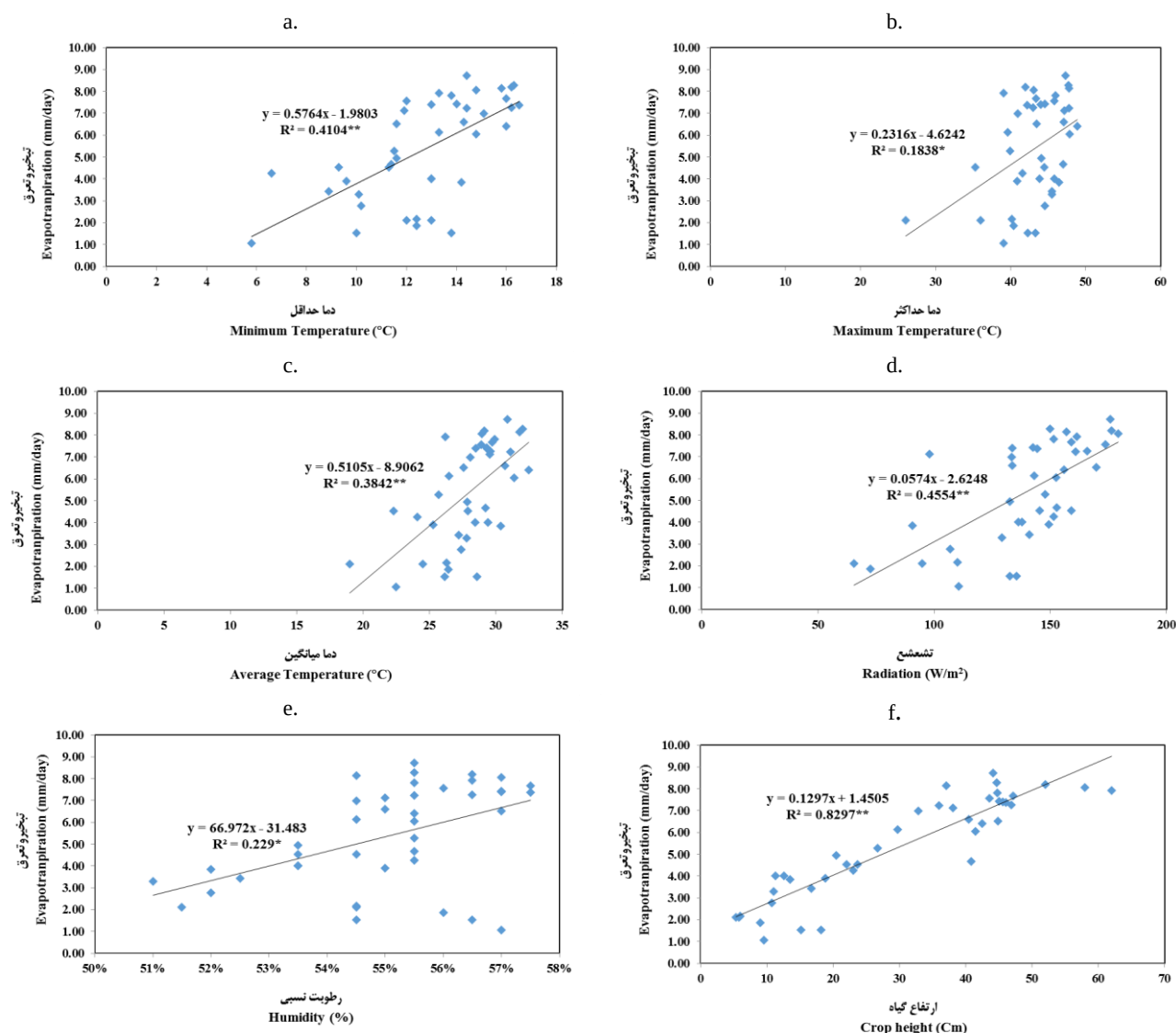
Table 1- Date and volume (ml) of irrigation in different treatments

تاریخ Date	93/12/29	94/1/10	94/1/12	94/1/15	94/1/17	94/1/18	94/1/20	94/1/22	94/1/24	94/1/26
آبیاری کامل FI	94.3	74.6	52.0	205.1	167.9	101.8	203.8	196.1	77.9	174.4
۲۰٪ کم آبیاری DI20	96.0	48.8	49.3	240.7	176.0	101.1	215.6	205.4	78.2	187.3
۴۰٪ کم آبیاری DI40	106.0	128.4	51.6	209.0	164.4	-	270.3	200.3	75.5	168.5
۶۰٪ کم آبیاری DI60	96.0	-	37.3	191.1	162.0	-	262.4	190.7	69.9	169.7
تاریخ Date	94/1/28	94/1/30	94/2/1	94/2/3	94/2/5	94/2/6	94/2/8	94/2/10	94/2/12	94/2/14
آبیاری کامل FI	185.2	298.3	251.3	230.8	316.3	115.7	269.1	362.4	356.0	317.5
۲۰٪ کم آبیاری DI20	202.9	240.0	201.0	184.0	252.8	92.5	215.3	289.9	284.8	296.3
۴۰٪ کم آبیاری DI40	187.4	180.0	151.0	138.4	189.6	69.4	161.5	217.4	213.6	222.2
۶۰٪ کم آبیاری DI60	183.0	120.0	100.0	92.3	126.4	46.2	107.7	144.9	142.4	148.2
تاریخ Date	94/2/16	94/2/17	94/2/19	94/2/21	94/2/23	94/2/25	94/2/27	94/2/29	94/2/31	94/3/2
آبیاری کامل FI	377.3	179.3	231.1	335.7	328.3	377.2	434.4	643.6	546.7	533.4
۲۰٪ کم آبیاری DI20	301.8	143.4	177.7	268.5	262.6	301.8	347.5	514.9	437.3	426.7
۴۰٪ کم آبیاری DI40	226.4	107.5	133.3	201.4	196.9	226.3	260.6	386.2	327.9	320.0
۶۰٪ کم آبیاری DI60	150.9	71.7	88.8	134.3	131.3	150.9	173.7	257.5	218.6	213.4
تاریخ Date	94/3/4	94/3/6	94/3/8	94/3/10	94/3/12	94/3/14	94/3/16	94/3/18	94/3/20	مجموع Total
آبیاری کامل FI	163.3	378	479.3571	237.6429	391.6143	402.2	416.5571	541.2286	403.7714	11357.37
۲۰٪ کم آبیاری DI20	130.6	302.4	383.4	191	313.3	381	333.3	433	323.2	9621.54
۴۰٪ کم آبیاری DI40	97.9	226.8	287.6	142.5	235	241.2	250	325	242.4	7509.42
۶۰٪ کم آبیاری DI60	65.3	151.2	191.7	95	156.6	160.8	166.7	216.5	161.6	5304.4

جدول ۲- مشخصات گلخانه‌ها

Table 2- Greenhouse characteristics

شماره گلخانه‌ها Greenhouse no.	شهرستان City	مساحت (متر مربع) Area (m ²)	منبع آب Water source	دبی (لیتر بر ثانیه) Flow (Lit/Sec)	نوع پوشش گلخانه Greenhouse cover	محصول Crop
1		4500		0.2		
2	آبیک	3600		0.2		
3	Abyek	3000		0.1		
4		3000		0.1		
5	قزوین	3000	چاه	0.1	پلاستیک سبز Uv plastic	خربزه Cucumber
6	Qazvin	5000		0.2		
7	بوین زهرا	15000		1		
8	Boein	15000		1		
9	Zahra	4000		0.5		



شکل ۲- اثر پارامترهای مختلف بر تبخیر و تعرق خیار گلخانه‌ای

Figure 2- Effect of different parameters on greenhouse cucumber evapotranspiration

*** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

* and ** significant at significance levels of 5% and 1%, respectively.

پارامترهای دما میانگین (Tavg)، رطوبت نسبی میانگین (RHavg) و ارتفاع گیاه (معادله ۱) و یک مدل رگرسیونی خطی مبتنی بر پارامترهای دما مینیمم (Tmin)، رطوبت نسبی مینیمم (RHmin)، تشعشع و ارتفاع گیاه (معادله ۱۱)، با بیشترین دقت تعریف گردید. مطابق جدول ۳ معادلات ۱ و ۱۱ برازش شده تبخیر و تعرق دارای بیشترین ضریب همبستگی و کمترین میانگین مربعات خطا می‌باشند. فتحعلیان و همکاران (۱۳۸۷) نظیر معادله ۱۳ را با ضریب همبستگی ۰/۹۲ بدست آوردند با این تفاوت که در مطالعه مذکور از رطوبت نسبی میانگین استفاده شده است.

مدل‌سازی تبخیر و تعرق خیار گلخانه‌ای

با استفاده از نرم‌افزار SPSS برای گیاه کشت شده، معادلات رگرسیونی خطی و غیرخطی متعددی که در منابع مختلف مورد استفاده قرار گرفته بود برای پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق به دست آمد. در اکثر این روابط، تبخیر و تعرق گیاه (ET) به پارامترهای تشعشع (Rn)، دمای متوسط (Tavg)، رطوبت نسبی (RH) و ارتفاع گیاه (H) وابسته بود. بنابراین مقدار تبخیر و تعرق گیاه خیار، در گلخانه مورد مطالعه به صورت معادلات جدول ۳ به دست آمد و با تلفیق مدل‌های مختلف، یک مدل رگرسیونی غیرخطی مبتنی بر

جدول ۳- معادلات تبخیر و تعرق
Table 3- Evapotranspiration equations

ردیف	معادله Equation	ضرایب معادله Equation coefficient					ضریب همبستگی Correlation coefficient	میانگین مربعات خطا Average of square error
		a	b	c	d	e		
1	$ET = \text{Tavg} \ a \ RH_{\text{avg}} \ b \ H \ c$	0.812	-0.79	0.643	-	-	0.865	0.781
2	$ET = a \ T_{\text{min}} + b \ RH_{\text{min}} + c \ R_n$	0.382	-0.34	0.453	-	-	0.658	1.919
3	$ET = a \ T_{\text{max}} + b \ RH_{\text{max}} + c \ R_n$	0.088	-0.06	0.598	-	-	0.456	3.055
4	$ET = a \ T_{\text{avg}} + b \ RH_{\text{avg}} + c \ R_n$	0.298	-0.017	0.544	-	-	0.555	3.497
5	$ET = a \ R_a \ b \ T_{\text{avg}} \ c \ H \ d$	0.05	0.772	0.015	0.612	-	0.858	0.817
6	$ET = a \ T_{\text{avg}} + b \ RH_{\text{avg}} + c \ H$	0.165	-0.05	0.0118	-	-	0.857	0.804
7	$ET = a \ T_{\text{min}} + b \ RH_{\text{min}} + c \ H$	0.199	-0.04	0.113	-	-	0.856	0.809
8	$ET = a \ T_{\text{max}} + b \ RH_{\text{max}} + c \ H$	0.08	-0.02	0.126	-	-	0.842	0.887
9	$ET = a \ T_{\text{max}} + b \ RH_{\text{max}} + c \ R_n + d \ H$	0.078	-0.02	0.045	0.122	-	0.843	0.905
10	$ET = a \ T_{\text{avg}} + b \ RH_{\text{avg}} + c \ R_n + d \ H$	0.163	-0.06	0.062	0.0113	-	0.859	0.814
11	$ET = a \ T_{\text{min}} + b \ RH_{\text{min}} + c \ R_n + d \ H$	0.193	-0.1	0.112	0.100	-	0.865	0.781
12	$ET_0 = \frac{a[R_n - G]}{\Delta + \gamma}$	0.575	-	-	-	-	0.463	2.865
13	$ET_0 = a + \frac{b \Delta(R_n)}{\Delta + \gamma} + c(s_a - s_e) + d \frac{n}{N} + e RH_{\text{max}}$	10.8	1.726	0.105	-9.9	-0.16	0.861	0.825
14	$ET_0 = \frac{a \Delta(R_n)}{\Delta + \gamma} + b(s_a - s_e) + c \frac{n}{N} + d RH_{\text{max}}$	1.548	0.067	-8.63	-0.04	-	0.847	0.881

مقایسه روش‌های متداول برآورد تبخیر و تعرق

در این تحقیق، تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از سه روش فائو-پن من-مانتیت، بلانی-کریدل اصلاح شده و هارگریوز سامانی محاسبه و با داده‌های لایسیمتری که با استفاده از روش حجمی درون گلخانه ثبت گردیده، مقایسه شد. برای تعیین بهترین روش محاسبه تبخیر و تعرق استاندارد گیاه مرجع از آنالیز واریانس و بررسی وجود همبستگی معنی‌دار بین مقادیر تبخیر و تعرق مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده در سه روش محاسباتی فوق استفاده گردید. نمودار تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده با تبخیر و تعرق محاسبه شده در روش‌های فائو پن من-مانتیت، هارگریوز سامانی و بلانی-کریدل به ترتیب در شکل ۳ آورده شده است.

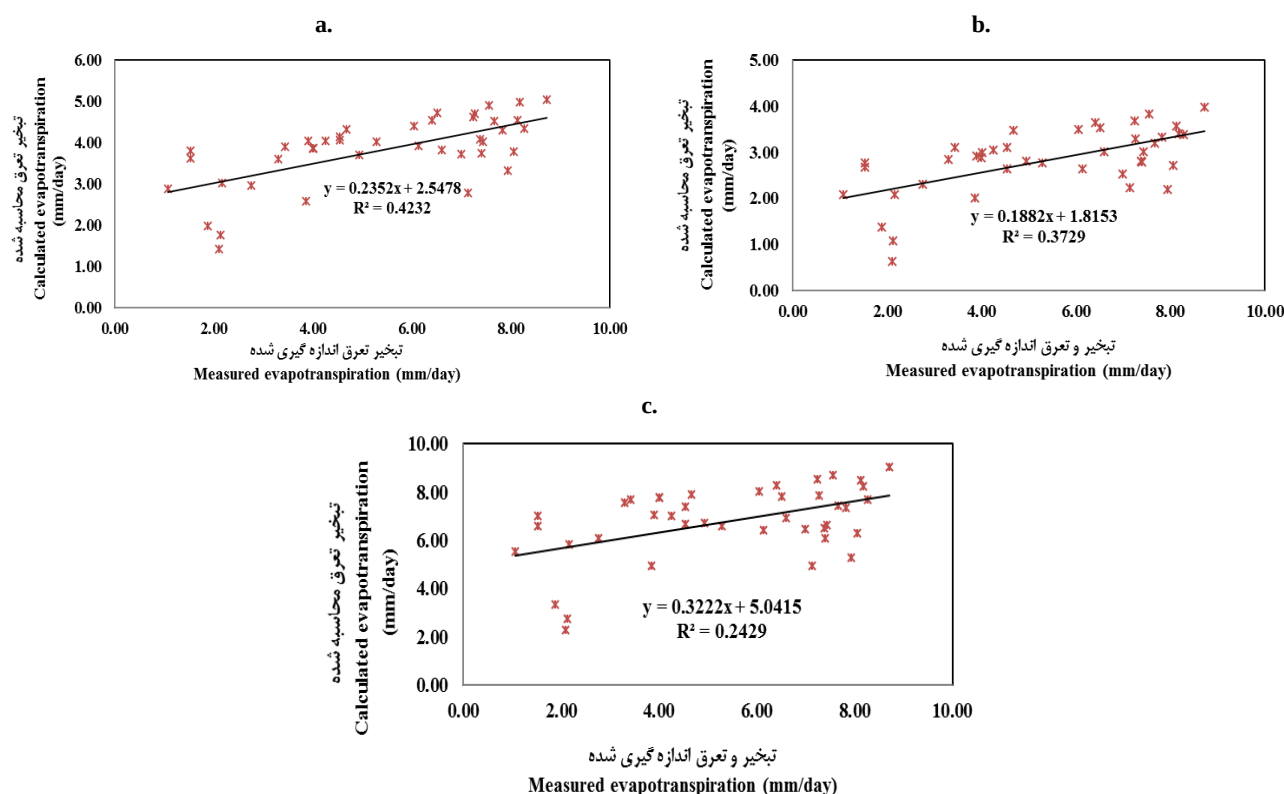
نتایج نشان داد که روش فائو پن من-مانتیت با ضریب همبستگی ۰/۴۲ از دقت بیشتری برخوردار بوده و روش بلانی-کریدل اصلاح شده با ضریب همبستگی ۰/۲۴ کمترین دقت را دارد. شهابی‌فر و همکاران (۱۳۸۶) نیز شش روش محاسباتی تبخیر و تعرق سطح مرجع با داده‌های لایسیمتری را درون گلخانه مورد ارزیابی قرار دادند که روش فائو پن من-مانتیت با ضریب همبستگی ۰/۶۸ بیشترین دقت و بلانی-کریدل با ضریب همبستگی ۰/۴۸ از کمترین دقت برخوردار بود.

نتایج مطالعات کم آبیاری و بهره‌وری آب

در جدول ۴ مقادیر تبخیر و تعرق و کاهش عملکرد برای تیمارهای مختلف آورده شده است که بیشترین تبخیر و تعرق و عملکرد در تیمار FI (تیمار کامل آبیاری) و پایین‌ترین مقدار آنها در

تیمار DI60 (۴۰٪ تیمار کامل آبیاری) می‌باشد. با توجه به جدول ۴ ملاحظه می‌گردد که با کاهش حجم آب مصرفی در تیمارها مقدار عملکرد شدیداً کاهش می‌یابد. در تیمار FI بیشترین مقدار بهره‌وری آب برابر با ۶۳/۹۸ و در تیمار DI60 کمترین مقدار آن برابر با ۲۵/۶۹ کیلوگرم بر متر مکعب حاصل شده است. بنابراین در شرایط گلخانه‌ای، کاهش مقدار آب آبیاری به کمتر از مقدار آب مصرفی در تیمار آبیاری کامل (تیمار اول) توصیه نمی‌گردد.

شکل ۴ نیز نشان‌دهنده آن است که حداکثر بهره‌وری آب در حداکثر ETc حاصل شده است و با کاهش یافتن ETc ناشی از تقلیل آب مصرفی، بهره‌وری آب نه تنها افزایش نیافته بلکه کاهش نیز یافته است. میزان کاهش از تیمار FI به DI60 قابل توجه بوده است. به عبارت دیگر میزان افت عملکرد تقریباً به نسبت میزان تقلیل آب مصرفی نبود به طوری که نسبت آن دو (یعنی بهره‌وری آب) افت قابل توجهی داشته است. با توجه به نتایج حاصله و حساسیت خیار گلخانه‌ای به کمبود آب و کاهش معنی‌دار عملکرد در مقابل کاهش آب آبیاری، اعمال کم آبیاری توصیه نمی‌شود ولی صرفه‌جویی در مصرف آب با کاهش تلفات آب و افزایش راندمان آبیاری امکان‌پذیر است. این نتیجه در مطالعات دیگر بر روی خیار گلخانه‌ای نیز گزارش شده است. کریمی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه تأثیر کم آبیاری روی رشد و عملکرد خیار گلخانه‌ای در تیمار T1 (آبیاری کامل) بیشترین مقدار بهره‌وری آب برابر ۶۹/۷ و در تیمار T4 (۴۰٪ تیمار کامل آبیاری) کمترین مقدار آن برابر ۵۴ کیلوگرم بر متر مکعب را بدست آوردند.



شکل ۳- مقایسه روش‌های برآورد تبخیر و تعرق

Figure 3- Comparison of evapotranspiration estimation methods

جدول ۴- مقادیر تبخیر و تعرق دوره رشد و عملکرد خیار در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 3- Evapotranspiration and yield of cucumber in different treatments

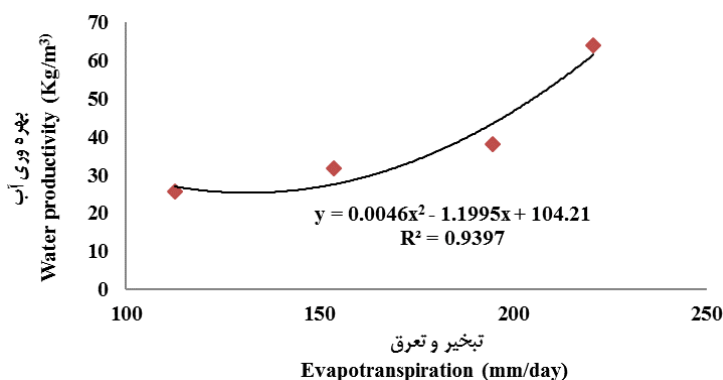
تیمار Treatment	FI	DI20	DI40	DI60
تبخیر و تعرق (mm/day) Evapotranspiration (mm/day)	220.74	194.64	153.75	112.55
کاهش عملکرد (%) Yield reduction (%)	0	49.4	67.3	81.2

ترتیب ۱۹/۴، ۱۷/۶ و ۱۶/۴ کیلوگرم بر متر مربع در ۳ تیمار اول بدست آمد.

محاسبه بهره‌وری آب در گلخانه‌های استان قزوین

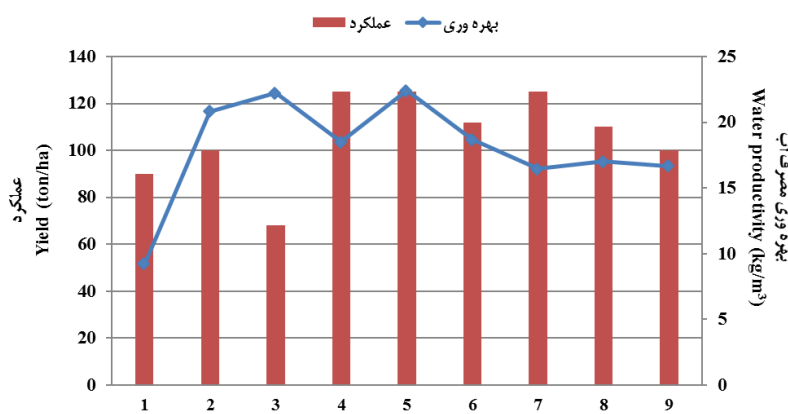
عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در تولید محصول خیار در گلخانه‌های استان در شکل ۵ آورده شده است که به دلیل مشکلات عدیده فنی، اجرایی و مدیریتی کمتر از سطح مطلوب است. میزان عملکرد محصول خیار در ۹ گلخانه از گلخانه‌های استان قزوین را نشان داده است که بیشترین عملکرد ۱۲۵ و کمترین آن ۶۸ تن در هکتار می‌باشد. همچنین بیشترین بهره‌وری ۲۲/۴ و کمترین آن ۹/۲ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد که حدود ۶ تا ۱۵ برابر بهره‌وری مصرف آب در فضای باز است. البته لازم به ذکر است مقادیر گزارش شده برای بهره‌وری مصرف آب خیار گلخانه‌ای در تحقیقات داخلی و خارجی بسیار بیشتر از مقادیر برآورده شده برای استان قزوین است.

در نتیجه میزان کاهش میزان آب مصرفی از تیمار T1 به T4 قابل توصیه نبوده است. چارتزولاکیس و دروسوس (۱۹۹۵) نیز تحقیقاتی را در مورد نیاز آبی خیار در گلخانه‌ای در یونان انجام دادند. مصرف آب خیار ۲۹۰ میلی‌متر در طول ۳/۵ ماه دوره فصل رویش بود و چهار سطح کم آبیاری برابر با ۱۰۰٪، ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰٪ تبخیر و تعرق واقعی گیاه در نظر گرفتند. دور آبیاری برای تمام تیمارها یکسان بود (دقیقا مشابه تحقیق حاضر). بیشترین محصول با مصرف آب ۲۹۰ میلی‌متر بدست آمد و کاربرد مقدار آب کمتر، کاهش عملکرد را به طور معنی‌داری در پی داشت. با کم آبیاری از ۱۰۰٪ به ۶۰٪ مقدار محصول از ۴/۵ به ۲/۷ کیلوگرم در گیاه رسید. ژانوسن و همکاران (۲۰۰۳) اثرات کم آبیاری روی خیار گلخانه‌ای را با به بکارگیری ۵ تیمار دور آبیاری مورد بررسی قرار دادند در تیمار ۲-۳ روز ۶۹۶ میلی‌متر، ۵-۳ روز ۶۵۴ میلی‌متر، ۵-۶ روز ۴۹۶ میلی‌متر، ۱۰-۱۲ روز ۳۳۰ میلی‌متر و ۱۸-۲۰ روز ۲۲۸ میلی‌متر آب مصرف شد. عملکرد به-



شکل ۴- رابطه بین تبخیر و تعرق برای هر بوته در دوره رشد و بهره‌وری آب

Figure 4- Evapotranspiration and yield of cucumber in different treatments



شکل ۵- میزان عملکرد و بهره‌وری مصرف آب برای خیار گلخانه‌ای

Figure 5- Yield and water productivity of greenhouse cucumber

کیلوگرم محصول ۶۵۷ لیتر آب مورد نیاز است. میزان سطح گلخانه مورد نیاز برای تولید ۲۴۹۱۱/۷ تن با در نظر گرفتن متوسط عملکرد ۲۱۲ تن در هکتار (برای دو دوره در سال)، ۱۱۷/۵ هکتار می‌باشد. با توجه به این که برای هر هکتار گلخانه ۱۲۵۰۰ متر مکعب آب مصرفی برآورد شده است. در مجموع برای ۱۱۷/۵ هکتار گلخانه، ۱/۴۶۸ میلیون متر مکعب آب نیاز است. به عبارتی برای تولید خیار در استان به میزان کنونی بدون کشت خیار در فضای آزاد، باید ۱۱۷/۵ هکتار به سطح موجود گلخانه‌هایی که کشت خیار انجام می‌دهند اضافه گردد. با این عمل ۱۴۹۵۳ هزار متر مکعب آب صرفه‌جویی خواهد شد که معادل تقریباً ۹۱ درصد آب مصرفی در حال حاضر برای تولید خیار در سطح آزاد در استان است.

نتیجه‌گیری

برآورد دقیق نیاز آبی محصولات گلخانه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است. بیشتر مدل‌های موجود برای تخمین نیاز آبی گیاهان در شرایط گلخانه‌ای رفتار متفاوتی دارد بنابراین معادلات تجربی و ترکیبی زیادی برای محاسبه تبخیر و تعرق، توسط محققین ارائه شده

اسدی و کاراندیش (۱۳۹۴) بهره‌وری مصرف آب خیار گلخانه‌ای در شهرستان جیرفت بین ۳۹/۶ تا ۶۴/۵ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش نموده‌اند. بهره‌وری مصرف آب خیار گلخانه‌ای در خوراسگان استان اصفهان بین ۴۹ تا ۹۶ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده است (۲۶). علت تفاوت چشمگیر مقادیر گزارش شده در این تحقیق با مقادیر بهره‌وری گزارش شده در دیگر تحقیقات مربوط به تحقیقاتی و پژوهشی بودن مطالعات صورت گرفته است. مقادیر گزارش شده در این تحقیق مربوط به شرایط واقعی گلخانه‌های منطقه قزوین است. در عربستان سعودی بهره‌وری مصرف آب برای خیار گلخانه‌ای ۲۷/۹ تا ۶۴/۲ کیلوگرم بر متر مکعب (۲) و در مصر برای پوشش‌های مختلف گلخانه‌ای ۲۱/۴ تا ۲۶/۵ کیلوگرم و در ایتالیا بین ۲۲/۹ تا ۱۰۳/۰ کیلوگرم بر متر مکعب در دوره‌های مختلف سال گزارش شده است (۱۱).

میانگین سطح زیر کشت محصول خیار فضای باز در استان قزوین طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۳ به میزان ۱۲۶۳/۲۵ هکتار با عملکرد ۱۹/۷ تن در هکتار می‌باشد. بهره‌وری مصرف آب در این محصول در فضای باز ۱/۵۲ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد یعنی برای تولید ۱

وری آب خیار در گلخانه‌ها از ۹/۲۳ تا ۲۲/۴۴ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر است. این دامنه تغییرات مساله اهمیت مدیریت و بهره‌برداری در ارتقای بهره‌وری آب در گلخانه‌ها را خاطر نشان می‌سازد. طبق برآوردهای انجام شده در این تحقیق اگر میزان تولید فعلی خیار در استان در فضای آزاد در گلخانه‌ها کشت شود، به ۱۱۷ هکتار گلخانه نیاز خواهد داشت و با این عمل نزدیک به ۱۵ میلیون متر مکعب آب صرفه‌جویی خواهد شد. با بررسی سایر جوانب اقتصادی و اجتماعی توسعه گلخانه‌ها می‌تواند در تسکین مشکلات کم آبی استان کمک‌ساز باشد.

است که برای شرایط گلخانه به کار رفته و در صورت نیاز واسنجی کرده‌اند تا اختلاف تبخیر و تعرق محاسبه شده و تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده حداقل گردد. نتایج این تحقیق نشان داد یک مدل توانی با پارامترهای دما، رطوبت نسبی و ارتفاع گیاه و با ضریب همبستگی ۰/۸۶ به عنوان بهترین مدل برای برآورد تبخیر و تعرق خیار گلخانه‌ای انتخاب شد. همچنین مقایسه تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده با روابط متداول تعیین تبخیر و تعرق نشان داد که روش فائو پنمن مانیت با ضریب تبیین ۰/۴۲ از دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. در این تحقیق همچنین بهره‌وری آب در گلخانه‌های کشت خیار فعال در استان قزوین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داده بهره‌

منابع

- 1- Abedi-Koupai J., Amiri M.J., and Eslamian S.S. 2009. Comparison of artificial neural network and physically based models for estimating of reference evapotranspiration in greenhouse. *Aust. Journal Basic Appl. Sci.* 3: 2528-2535.
- 2- Aly A.A., Al-Omran A.M., and Khasha A.A. 2015. Water management for cucumber: Greenhouse experiment in Saudi Arabia and modeling study using SALTMED model. *Journal of Soil and Water Conservation* 70(1): 1-11.
- 3- Asadi R., and Karandish F. 2016. Influence of irrigation management and drip irrigation laterals on water use, yield and net benefits in greenhouse cucumber production. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 47(1): 13-24. (In Persian)
- 4- Babbista J.F., Bailey B.J., and Meneses J.F. 2005. Measuring and modeling transpiration versus evapotranspiration of a tomato crop grown on soil in a Mediterranean greenhouse. *Acta Horticulturae* 691: 313-319. International Symposium on Arid Region Soils, 21-24 Sep, Izmir, Turkey.
- 5- Baille A. 1994. Principles and methods for predicting crop water requirement in greenhouse environments. *INRA-CIHEAM Cahiers Options Mediterraneennes* 31: 177-187.
- 6- Blanco F.F., and Folegatti M.V. 2003. Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 7(2): 285-291.
- 7- Buttar D., Santamaria P., Signore A., Cantorea V., Boari F., Francesco F., Montesano F., and Parente A. 2015. Irrigation Management of Greenhouse Tomato and Cucumber Using Tensiometer: Effects on Yield, Quality and Water Use. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 4: 440-444.
- 8- Chartzoulakis K., and Drosos N. 1995. Irrigation requirements of greenhouse vegetables in Crete. *INRA-CIHEAM Cahiers Options Mediterraneennes* 31: 215-221.
- 9- Eliad G. 1988. Irrigation of greenhouse grown cucumbers. *Journal of Horticultural Science* 63(2): 235-239.
- 10- Harmanto Salokhe V.M., Babel M.S., and Tantau H.J. 2005. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. *Agricultural Water Management* 71: 225-242.
- 11- Hashem FA., Medany MA., Abd ElMoniem EM., and Abdallah MMF. 2011. Influence of green-house cover on potential evapotranspiration and cucumber water requirements. *Annals of Agricultural Sciences* 56(1): 49-55.
- 12- [http://www.qazvin.ir/web/guest/14.....\(10/9/94\)](http://www.qazvin.ir/web/guest/14.....(10/9/94))
- 13- Judah OM., and Rushdi Y. 1985. Yield response of cucumber to various levels of applied water under plastic houses in the Jordan valley. *Dirasat Agricultural Science* 12: 99-111.
- 14- Karimi N., Sadraddini S.A., Nazemi A.H., Farsadizadeh D., Hossienzadeh Dalir A., and Dehghani F. 2010. Effects of Deficit Irrigation on Yield and Growth of Greenhouse Cucumber. *Water and Soil Science* 1(20): 15-25. (In Persian with English Abstract)
- 15- Kirda C., Cetin M., Dasgan Y., Topcu S., Kaman H., Ekici B., Derici MR., and Ozguven AI. 2004. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 69: 191-201.
- 16- Kirda C. 1998. Evapotranspiration Measurements of Greenhouse Grown Tomato, Melon and Cucumber.
- 17- Liang X., Gao Y., Zhang X., Tian Y., and Zhang Z. 2014. Effect of Optimal Daily Fertigation on Migration of Water and Salt in Soil, Root Growth and Fruit Yield of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Solar-Greenhouse. *PLoS ONE* 9(1): e86975. doi:10.1371/journal.pone.0086975
- 18- Litago G., Baptista F.J., Meneses J.F., Navas L.M., Bailey B.J., and Sanchez- Giron V. 2005. Statistical modelling of the microclimate in a naturally ventilated greenhouse. *Biosystems Engineering* 92(3): 365-381.
- 19- Lorenzo P., Medrana E., and Sanchez M.C. 1998. Greenhouse crop transpiration: an implement to soilless irrigation management. *Acta Horticulturae* 458: 113-119.
- 20- Mamei M.G., Sirigu A., Soddu A., Chessa F., and Meloni S. 2004. The use of microlysimeters for the measurement of ETM (maximum evapotranspiration) on camone tomato. *Acta Hort.* 664: 377-382.

- 21- Mao X., Liu M., Wang X., Liu C., Hou Z., and Shi J. 2003. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 61: 219-228.
- 22- Mazahreh N., Nejatian A., and Mousa M. 2015. Effect of different growing Medias on Cucumber Production and Water Productivity in Soilless Culture under UAE Conditions. *Merit Research Journal of Agricultural Science and Soil Sciences* 3(9): 131-138.
- 23- Medrano E., Lorenzo P., Sa'nchez-Guerrero M.C., and Montero J.I. 2005. Evaluation and modelling of greenhouse cucumber-crop transpiration under high and low radiation conditions. *Scientia Horticulturae* 105: 163-175.
- 24- Molden D. 1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka. 16 pp.
- 25- Möller M., Tanny J., Li Y., and Cohen S. 2004. Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology* 127: 35-51.
- 26- Moslehi Sh., Najafi P., Tabatabaei SH., and Nourmahnad N. 2011. Effect of Soil Moisture Stress on Yield and Growth Indexes of Greenhouse Cucumber. *Journal of Water and Soil* 25(4): 770-775. (In Persian with English Abstract)
- 27- Salih A.M., and Sendi U. 1985. evapotranspiration under extremely arid environment. *Journal Irrigation Drainge Engineering* 110(3): 289-303.
- 28- Van Bavel C.H.M. 1967. Lysimeter measurments of evapotranspiration rates in the eastern states. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 138-141.
- 29- Xuesen M., Mengyn L., and XinyuanW. 2003. Effectof deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain *Agricultural Water Management* 61: 219-228.
- 30- Yang X., Short T.H., Fox R.D., and Bauerle W.L. 1990. Transpiration, leaf temperature and stomatal resistance of a greenhouse cucumber crop. *Agricultural and Forest Meteorology* 51: 197-209.



Determination of Water Productivity and Greenhouse Cucumber Water Requirement in Qazvin

R. Najafipour¹- H. Ramezani Etedali^{2*}- B. Nazari³

Received: 17-01-2018

Accepted: 30-09-2019

Introduction: Greenhouses have a key role in agriculture productions. Given the ability of controlling production factors, there is the possibility of out-of-season cultivation in greenhouses, which is important in terms of food security, economics, and agricultural marketing. Estimation of water requirement for planning the development of greenhouses and their operation is very important. Awareness of the exact amount of water requirement is important both in terms of production and growth. Many studies have shown the usefulness of greenhouses in improving yield, physical and economical productivity. So far, comprehensive studies have not been carried out on the productivity of greenhouse cucumber cultivation and its effects on water resources in Qazvin province. Therefore, the goal of this study was to determine the greenhouse cucumber water requirement and provide a model for estimating evapotranspiration of cucumber under greenhouse condition. Also, determining greenhouse cucumber productivity in Qazvin province and evaluating the effect of this improvement on water resources were other objectives.

Materials and Methods: This research was carried out in a greenhouse near Qazvin city. The height of the greenhouse from the ground was 4 meters, and its plastic cover was made of polyethylene. Experiments were carried out in greenhouse with greenhouse seedling on 20-3-2015 in two rows of pot. The greenhouse was equipped with the necessary tools to measure temperature, maximum and minimum temperature, relative humidity, and solar radiation. Soil texture in this research was clay loam with 30, 32 and 38 percent of sand, silt and clay, respectively. The water content was, 31% and 16 percent at field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP) respectively. An irrigation interval of two days (a favorable condition) was considered. In this experiment, the seeds of the Royal cucumber were used to coincide with the planting time and harvesting length. The plastic pots with a diameter of 18 cm and a height of 23 cm were utilized. The pots were filled with equal quantities of fine and fine gravel (for drainage) and then with the agricultural soil prepared for cucumber cultivation. In order to provide conditions similar to the actual cucumber planting in the flower bed, the pots were placed close to the greenhouse. The irrigation of the plants was carried out manually for 83 days. The relative humidity, temperature and radiation were measured hourly. Further, the effects of irrigation on different characteristics of the test plants were observed and recorded. The moisture content was measured by weight and soil moisture reduction in full irrigation was compensated for the FC moisture content in each irrigation interval. Until 30 days after planting (Stages 4-6), the pots were irrigated with equal amounts. In order to evaluate the effects of deficit irrigation, four treatments were considered. These treatment were as follows: first treatment (FI): irrigation depth equal to 100% of the plant evapotranspiration with five replications, treatment (DI20): irrigation depth equal to 80% of the plant evapotranspiration with five replicates, treatment 3: (DI40) irrigation depth equal to 60% of the plant evapotranspiration with five replicates and the fourth treatment (DI60): irrigation depth equal to 40% of the plant evapotranspiration with five replications.

Results and Discussion: The maximum and minimum evapotranspiration was 8.7 and 1.06 mm/day in 61 and 13 days after transplanting, respectively. By investigation different mathematical models, the best models for estimation of cucumber evapotranspiration in greenhouse was the power model based temperature, humidity and height of crop with R^2 of 0.86. The FAO-Penman-Monteith and Blaney-Criddle models exhibited the best and worst performance with R^2 of 0.42 and 0.24, respectively. The cucumber water productivities in greenhouses ranged from 9.23 to 22.44 Kilograms per cubic meter. This wide water productivity range shows the importance of management and operation in water productivity improvement in greenhouses.

Conclusion: Estimation of greenhouses cucumber water requirement and water productivity are very important. The best model for estimating cucumber evapotranspiration in greenhouse was the power model based on temperature, humidity and height of crop with R^2 of 0.86. In this study, cucumber water productivity was estimated in Qazvin greenhouses. The results showed that cucumber water productivities ranged from 9.23

1, 2 and 3- Graduated in M.Sc., Associate Professor and Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)

to 22.44 Kilograms per cubic meter. Consequently, 117 ha greenhouse is required for producing the present value of cucumber in the province. This option would save 15 millions of cubic meter water in this area. Development of greenhouses with regarding to various economic and social aspects can help decision-makers in solving water shortage problems.

Keywords: Deficit irrigation, Evapotranspiration, Penman-Monteith



ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت تأثیر پتانسیل آب در خاک

تهمینه رئیسی نژاد^۱ - نجمه یزدان پناه^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

چکیده

با اعمال مدیریت صحیح آب در مزرعه می‌توان از منابع آب، خاک و کود استفاده بهینه نمود و تولید محصولاتی با کمیت و کیفیت بالا را امکان پذیر ساخت. در این راستا و به منظور مدیریت آبیاری گیاه آفتابگردان با استفاده از تنظیم پتانسیل آب خاک، سه سطح مکش ($I_1=40$ ، $I_2=55$ و $I_3=70$ سانتی‌بار جهت شروع آبیاری) و دو سیستم آبیاری قطره‌ای (سطحی S_1 و زیرسطحی S_2) به ترتیب به عنوان عوامل اصلی و فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. این آزمایش در قالب طرح کرت‌های نواری یک‌بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی شهرستان جیرفت در سال زراعی ۱۳۹۶ اجرا شد. نتایج پژوهش نشان داد که صرفه‌جویی ۱۵۳/۶ میلی‌متری آب (۲۱/۵ درصد) بین نقاط مکش ۵۵ و ۴۰ سانتی‌بار، باعث کاهش ۱۲/۵ درصد عملکرد دانه، ۱۲/۸ درصد تعداد دانه در طبق و ۱۱ درصد ارتفاع بوته شد که افزایش ۱۰/۳ درصد در بهره‌وری آب را در پی داشت. این در حالی بود که اعمال سطح مکش ۷۰ سانتی‌بار در مقایسه با سطح مکش ۵۵ سانتی‌بار باعث کاهش ۳۳/۴ درصد عملکرد دانه، ۲۲/۹ درصد تعداد دانه در طبق و ۲۲/۵ درصد ارتفاع بوته شد و تنها افزایش ۴/۷ درصدی بهره‌وری آب را به دنبال داشت. از طرف دیگر، عملکرد دانه در آبیاری زیرسطحی به مقدار ۴۹۹ کیلوگرم در هکتار بیشتر از آبیاری سطحی بود. این در حالی بود که با وجود صرفه‌جویی ۱۰ درصدی مصرف آب در آبیاری زیرسطحی نسبت به آبیاری سطحی، بهره‌وری آب در این سیستم ۲۱/۵ درصد بیشتر بود. صفات ارتفاع بوته و تعداد دانه در طبق در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۸/۲ و ۸/۷ درصد نسبت به آبیاری سطحی بیشتر بود. لذا انجام آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در سطح مکش ۵۵ سانتی‌بار برای کشت گیاه آفتابگردان در شهرستان جیرفت می‌تواند راهکاری مناسب برای صرفه‌جویی در مصرف و افزایش بهره‌وری آب در دوره‌های خشکسالی باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، بهره‌وری آب، تنش رطوبتی، مدیریت آبیاری، مکش خاک

مقدمه

دارد (۲۶). این گیاه علاوه بر استفاده در تغذیه دام و پرندگان، حدود ۵۰ درصد روغن با کیفیت عالی داشته و استفاده از آن در صنایع کنسرو و رنگ‌سازی از اهمیت زیادی برخوردار است (۲۵). محدودیت منابع آب به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیم کشور ایران، مسأله کم‌آبی و بحران آب را به گونه‌ای بسیار جدی فراوری کشور قرار داده است (۴). به طوری که محدودیت منابع آب، افزایش تولید از طریق توسعه سطح زیرکشت را محدود می‌سازد (۱۳). لذا با توجه به این موضوع که بخش کشاورزی با این واقعیت روبرو است که در آینده نزدیک بایستی ضمن مصرف آب کمتر، تولید بیشتری را عرضه نماید، بنابراین تحقیق و مطالعه در مورد راهبردهای افزایش بهره‌وری آب نقش حیاتی در توسعه کشاورزی خواهد داشت (۳۱). این در حالی است که مدیریت مصرف آب در این بخش می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش فشار بر منابع آب داشته باشد (۲۹).

کاربرد سیستم‌های نوین آبیاری می‌تواند نمونه بارزی از مدیریت مصرف آب باشد که علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش عملکرد محصول، ارتقاء چشم‌گیر بهره‌وری آب محصولات را به دنبال دارد (۱۴ و ۱۹). در این راستا اسدی و همکاران (۳) با بررسی تأثیر دو

آفتابگردان با نام علمی (*Helianthus annulus*) یکی از نباتات روغنی مهم جهان است به طوری که چهارمین گیاه دانه روغنی جهان از لحاظ سطح زیرکشت و بعد از سویا با تولید بیش از ۱۴ درصد روغن نباتی جهان از لحاظ تولید روغن در جایگاه دوم قرار دارد (۹). همچنین به دلیل سازگار بودن با دامنه وسیعی از شرایط محیطی، عملکرد مناسبی در مناطق خشک و نیمه خشک دارد (۲۴). این گیاه بیشتر به عنوان یک منبع روغن و پروتئین گیاهی در جهان مطرح بوده و همه ساله حدود ۲ میلیون هکتار از اراضی در سطح دنیا به کشت آن اختصاص می‌یابد (۲۰). آفتابگردان سالانه بالغ بر ۱۹۰ هزار هکتار از اراضی ایران را به کشت خود اختصاص می‌دهد و در میان دانه‌های روغنی از نظر سطح زیر کشت و تولید در کشور، در مقام نخست قرار

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی آب، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

(* نویسنده مسئول: Email: nyazdanpanah@gmail.com)

DOI: 10.22067/jsw.v33i5.79871

مواد و روش‌ها

به‌منظور مدیریت آبیاری آفتابگردان با استفاده از پتانسیل آب خاک، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در زمینی به مساحت ۴۳۲ متر مربع در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان جیرفت، به اجرا درآمد. منطقه جیرفت با وسعتی در حدود ۵۰ هزار کیلومتر مربع در فاصله ۲۴۰ کیلومتری جنوب‌شرقی شهر کرمان قرار دارد. این منطقه با آب و هوای نیمه‌گرم، با ارتفاع ۶۵۰ متر از سطح دریا دارای طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی می‌باشد. در جیرفت متوسط بارندگی سالانه ۱۵۰ میلی‌متر، حداکثر و حداقل درجه حرارت سالیانه به‌ترتیب ۴۸ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (۲۳). در این آزمایش سه مکش رطوبتی ($I_1=40$ ، $I_2=55$ و $I_3=70$ سانتی‌بار جهت شروع آبیاری) و دو سیستم آبیاری قطره‌ای (سطحی S_1 و زیرسطحی S_2) به‌ترتیب به‌عنوان عوامل اصلی و فرعی، مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارها در کرت‌هایی به عرض ۳ و طول ۵ متر (شامل ۴ ردیف کشت به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر) اجرا گردیدند (شکل ۱).

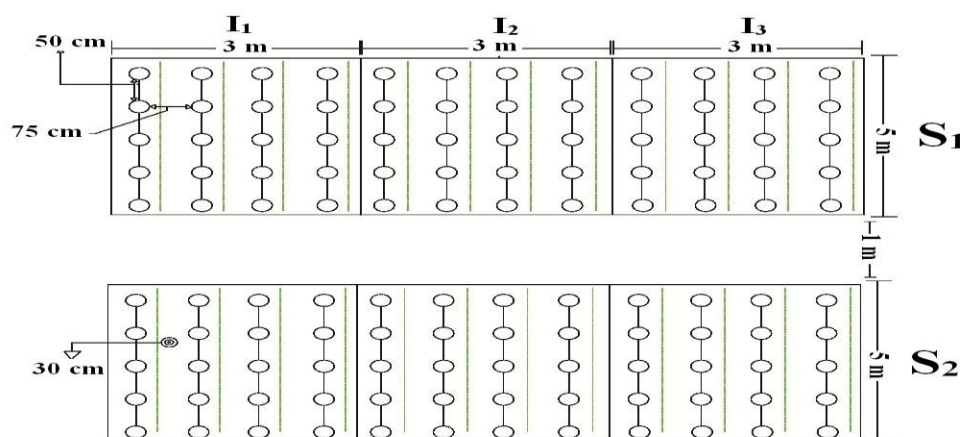
قبل از عملیات کشت نمونه‌برداری از خاک و آب مورد استفاده انجام شد و تجزیه ویژگی‌های آن‌ها در جداول ۱ و ۲ آمده است. لذا با توجه به نتایج تجزیه خاک و آب و توصیه آزمایشگاه خاک و آب، قبل از عملیات کشت ۱۲۰، ۱۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب کود نیتروژن از منبع اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به خاک مزرعه تزریق شد. از آن‌جا که رقم آذرگل که یکی از ارقام رایج کشت در مزارع منطقه جیرفت است، در این تحقیق بذر آذرگل در اواسط اردیبهشت ماه کشت شد. همچنین جهت آبیاری بوته‌ها از نوارهای تیپ با ضخامت ۲۰۰ میکرون، فاصله مجاری آبده ۵۰ سانتی‌متر و دبی ۴ لیتر در ساعت در هر متر از طول لوله، استفاده شد. در آبیاری قطره‌ای سطحی لوله‌های آبرسان بر روی سطح خاک و در فاصله پانزده سانتی‌متری ساقه و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی لوله‌های آبرسان در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک قرار گرفتند.

پس از انجام عملیات کشت، آبیاری تمامی تیمارها تا سی روز هر سه روز یک‌مرتبه انجام شد و حجم آبیاری در تمامی تیمارها یکسان و با استفاده از رابطه (۱) اندازه‌گیری شد. همچنین پس از اطمینان از استقرار کامل گیاه (سی روز بعد از کشت) زمان آبیاری بر اساس قرائت از تانسیموترهای فلزی تعیین شد. این تانسیموترها، در سه عمق ۱۵، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری خاک و در فاصله بیست سانتی‌متری بوته نصب شدند. در این راستا در هر دو سیستم آبیاری، با توجه به اندازه‌گیری‌های صورت گرفته ریشه گیاه، از تانسیموتر نصب شده در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک، برای قرائت در مراحل اولیه و توسعه رشد و از تانسیموترهایی نصب شده در اعماق ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری خاک، برای قرائت در مراحل میانی و پایانی رشد استفاده شد.

سیستم آبیاری قطره‌ای بر شاخص‌های رشد رزماری به این نتیجه رسیدند که استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی علاوه بر صرفه‌جویی ۱۰/۸ درصدی در مصرف آب، به‌ترتیب باعث افزایش ۱۲/۵، ۹/۷، ۱۸/۳ و ۱۵/۱ درصدی تعداد شاخه زایا، ارتفاع بوته، وزن خشک اندام رویشی و بهره‌وری آب نسبت به استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی شد. در مطالعه دیگر، ارزیابی روش‌های آبیاری شیاری و قطره‌ای نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای صرفه‌جویی ۱۸ تا ۴۲ درصدی آب و افزایش ۳۵ تا ۱۰۳ درصدی کارایی مصرف آب نسبت به روش آبیاری شیاری را در پی دارد (۱۲). همچنین نتایج مقایسه دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در کشت گشنیز نشان از برتری مطلق سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سطحی دارد (۱۰).

این در حالی است که تعیین زمان و میزان آب مورد نیاز گیاه، از مهم‌ترین عوامل اثرگذار در مدیریت آب در مزرعه و افزایش عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه می‌باشند که برآورد غیرواقع این پارامترها خسارات فراوانی به‌همراه دارد (۴، ۳۱ و ۳۲). لذا به‌رغم داشتن مزایای زیاد سیستم آبیاری قطره‌ای، به‌دلیل عدم داشتن اطلاعات کافی بهره‌برداران از میزان و زمان دقیق آب مورد نیاز گیاه، کاربرد این سیستم آبیاری را در زمینه مدیریت آب در مزرعه با نارسایی‌هایی روبرو کرده است (۶). این در حالی است که با تنظیم برنامه آبیاری از طریق کنترل وضعیت رطوبت موجود در خاک توسط تانسیموتر، می‌توان زمان مناسب و مقدار آب مورد نیاز گیاه را مشخص کرد (۳۰). نتایج مدیریت فاصله بین دو آبیاری متوالی گیاه آفتابگردان با استفاده از تست تبخیر نشان داد که با افزایش فاصله دو آبیاری متوالی تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (۲). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که اعمال تنش خشکی به‌صورت افزایش فاصله بین دو آبیاری متوالی بر گیاه آفتابگردان موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش توسعه سلولی به خصوص در ساقه و برگ گیاه می‌شود (۱۶).

از آن‌جا که مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی در حالی روند صعودی دارد که محدودیت منابع آبی از ویژگی‌های بارز جغرافیایی کشور ایران است و لذا می‌توان با اصلاح الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی با بهره‌گیری از روش‌های نوین آبیاری و مدیریت صحیح آبیاری در مزرعه، کمبود و محدودیت منابع آبی کشور را تا حدودی جبران کرد. همچنین بررسی مطالعات صورت گرفته در راستای مدیریت مصرف آب، افزایش بهره‌وری آب و عملکرد گیاه آفتابگردان نشان داد که تاکنون نیاز آبی این گیاه از طریق سنجش رطوبت خاک انجام نشده است. لذا هدف از مطالعه حاضر ارزیابی اثر سطوح مختلف مکش رطوبتی در راستای مقایسه دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در کشت گیاه آفتابگردان در منطقه جیرفت بود.



شکل ۱- شماتیک طرح اجرایی (در یک تکرار) متشکل از سطوح مختلف مکش رطوبتی و دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی

Figure 1- A schematic of the implemented scheme (in one repetition) consisting of different levels of moisture suction and two surface and subsurface drip irrigation systems

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 1- Some soil physical and chemical properties of the field of study

عمق خاک	کلاس بافت خاک	محتوای رطوبتی	جرم مخصوص ظاهری	اسیدیته	هدایت الکتریکی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
Soil depth (cm)	Soil texture	Moisture content at (%) FC PWP	Bulk density (g.cm ⁻³)	pH	EC (dS.m ⁻¹)	N (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)
0 - 10	Clay	21.65 8.63	1.39	7.91	0.4	0.14	1.3	126.7
10 - 20	Silty Clay	22.39 8.71	1.42	7.94	0.4	0.12	1.2	118.9
20 - 30	Silty Clay	23.42 9.43	1.41	7.92	0.4	0.12	0.9	104.2
30 - 50	Silty Clay	23.75 9.74	1.41	7.96	0.3	0.11	0.9	91.9

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Some chemical properties of water used in the experiment

اسیدیته	هدایت الکتریکی	آن‌یون‌ها و کاتیون‌های محلول					
pH	EC (dS.m ⁻¹)	Soluble cations and anions (meq.l ⁻¹)					
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Na ⁺
7.1	0.7	4.6	9	-	7	4.2	2.5

اندازه‌گیری رطوبت و ز: تعداد لایه‌های اندازه‌گیری شده. حجم آب آبیاری در هر نوبت آبیاری با ضرب نمودن عمق آبیاری (رابطه ۱) در مساحت هر کرت بدست آمد (۱).

در این مطالعه برای مقایسه تیمارها، شاخص‌های رشد گیاه از جمله ارتفاع بوته، تعداد دانه در طبق، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس با حذف ردیف‌های کناری در هر تکرار و نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف، به‌منزله اثر حاشیه، از دو ردیف وسط، هر تکرار از هر تیمار، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و شاخص‌های مذکور اندازه‌گیری شدند.

جهت بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، از زمان اعمال تیمار هر پانزده روز یک مرتبه، از هر تکرار از هر تیمار سه بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد. سپس با اندازه‌گیری مساحت برگ‌های هر بوته با استفاده از دستگاه مساحت‌سنج و

در این مطالعه جهت شروع عملیات آبیاری، تانسیموترها بطور کامل کنترل و زمانی که صفحه مدرج تانسیموتر نقطه مکش مورد نظر را نشان داد آبیاری شروع می‌شد و فرایند آبیاری تا جایی ادامه پیدا کرد که رطوبت موجود در خاک به حد ظرفیت زراعی رسید. به‌طوریکه در هر نوبت آبیاری از اعماق ۰ تا ۱۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری خاک، با نمونه‌برداری توسط اوگر نیم اینچ از فاصله بیست سانتی‌متری بوته و از حداصل دو قطره‌چکان متوالی، رطوبت موجود در هر تیمار اندازه‌گیری شد. سپس میزان عمق آب آبیاری با استفاده از رابطه (۱) برآورد گردید (۱۱):

$$D_I = \sum_{j=1}^4 ((\theta_{FCj} - \theta_{BIj}) \times D_j) \quad (1)$$

در این رابطه D_I : عمق آب آبیاری در تیمار بر حسب میلی‌متر، θ_{FCj} : درصد رطوبت حجمی در نقطه رطوبتی ظرفیت مزرعه، θ_{BCj} : درصد رطوبت حجمی قبل از آبیاری، D_j : عمق نمونه‌برداری جهت

میانگین گیری از آن‌ها، با در دست داشتن سطح زمین اختصاص یافته به هر بوته (۵۰×۷۵ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ از رابطه ۲ محاسبه شد (۲۴):

$$LAI = A_i / A_T \quad (2)$$

که در آن: LAI: شاخص سطح برگ، A_i : مجموع مساحت برگ‌های هر بوته (سانتی‌مترمربع) و A_T : سطح زمین اختصاص یافته به هر بوته (سانتی‌مترمربع) است. همچنین با تقسیم عملکرد دانه بر حجم آب داده شده به هر تیمار، بهره‌وری آب بدست آمد. در نهایت داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD (در سطح احتمال یک و پنج درصد) انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای اعمال شده بر صفات مورد بررسی (جدول ۳) نشان داد که اثر تیمارهای سطوح پتانسیل و نوع سیستم آبیاری به ترتیب به عنوان عوامل اصلی و فرعی بر تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل دو عامل بر تمامی صفات به جزء شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک و پنج درصد تأثیر معنی‌دار داشت.

میزان و دور آبیاری

در این مطالعه از آن‌جا که حجم آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت در اعماق مختلف خاک بدست آمد، لذا میزان آب مصرفی در

دو سیستم آبیاری متفاوت بود. حجم آب مصرفی در کل دوره رشد در سطوح ۴۰، ۵۵ و ۷۰ سانتی‌بار اعمال شده در آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب ۷۴۳/۸، ۵۸۹/۸ و ۳۸۱/۶ میلی‌متر و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۶۸۵/۱، ۵۳۱/۹ و ۳۳۱/۲ میلی‌متر بود. شکفته و همکاران (۲۴) در بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد ارقام مختلف آفتابگردان به این نتیجه رسیدند که میزان آب مصرفی آفتابگردان در طول فصل رشد در این نقطه بین ۵۲۴۰ تا ۸۳۳۰ مترمکعب در هکتار متغیر است. همچنین تنظیم زمان آبیاری بر اساس سطوح مکش، علاوه بر حجم آب مصرفی، تعداد دفعات آبیاری را نیز تحت تأثیر قرار داد. همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است بیشترین فراوانی دور آبیاری در سطح مکش ۴۰ سانتی‌بار، ۳ روزه بود که ۱۹ مرتبه از زمان اعمال تیمار تکرار شد. این در حالی است که دور آبیاری ۵ روزه با ۱۴ مرتبه تکرار، بیشترین دور آبیاری بود که در سطح مکش ۵۵ سانتی‌بار رخ داد. همچنین بیشترین دور آبیاری در سطح مکش ۷۰ سانتی‌بار، ۷ روزه بود که از زمان اعمال تیمار تا انتهای فصل رشد ۹ مرتبه تکرار شد. مقایسه حداکثر فراوانی در تیمارهای مختلف مکش و حجم آب مصرفی نشان داد که افزایش دور آبیاری، کاهش حجم آب مصرفی در کل فصل رشد را موجب شد. به نحوی که تغییر آستانه مکش جهت شروع آبیاری از ۴۰ به ۵۵ و ۷۰ سانتی‌بار در آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب باعث ۲۰/۷ و ۴۸/۷ درصد و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب باعث ۲۲/۴ و ۵۱/۶ درصد کاهش حجم آب مصرفی شده است.

جدول ۳- خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده

Table 3- Summary of the results of variance analysis for the measured characteristics

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی D.F.	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد دانه Grain yield	ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در طبق Number of grains	بهره‌وری آب Water use efficiency
تکرار Block	2	2.2	5.9	46.3	242.3	0.001
سطوح پتانسیل Levels of Potential (LP)	2	48.4*	32.6**	236.7**	659.6**	0.005**
خطا ۱ Error 1	4	1.5	2.1	28.6	313.3	0.005
سیستم آبیاری Irrigation system (IS)	1	27.8**	84.2**	39.6**	258.1**	0.005**
اثر متقابل Int of LP and IS	2	5.3 ^{ns}	55.9**	665.8**	963.8**	0.001**
خطا ۲ Error 2	6	5.5	3.7	68.1	21.3	0.005

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns}: غیر معنی‌دار

** significant at 1% level of probability, * significant at 5% level of probability, ns non significant

جدول ۴- فراوانی دور آبیاری در هر تیمار
Table 4- Frequency of irrigation intervals per treatment

سطوح پتانسیلی Levels of potential	دور آبیاری (روز) Irrigation interval (day)				
	3	4	5	6	7
40 c-bar	19	8	-	-	-
55 c-bar	-	5	14	-	-
70 c-bar	-	-	-	4	9

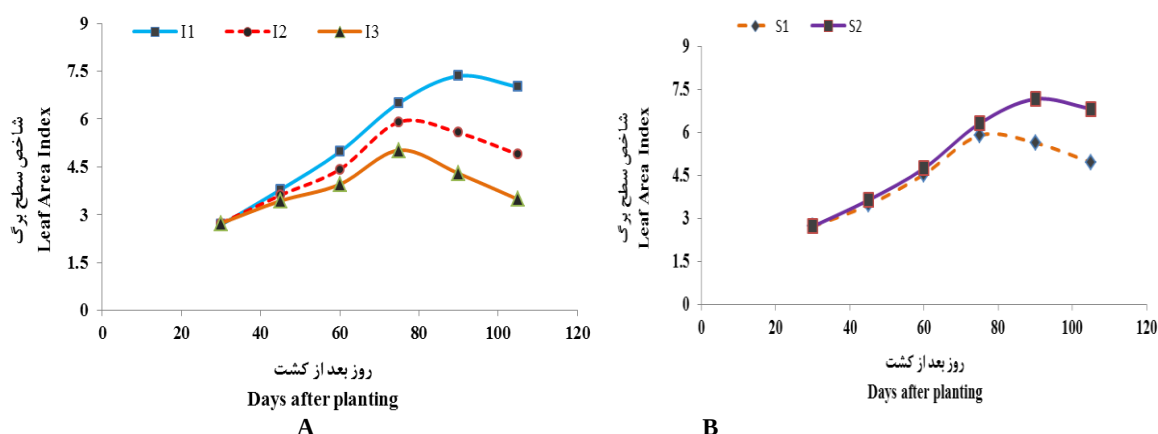
و از آن جاکه تا زمانی سلول به اندازه کافی رشد نکند، فرایند تقسیم انجام نخواهد شد لذا تأثیر کمبود آب بر رشد سلول بیشتر است که در نهایت ممانعت از رشد سلول، منجر به کاهش سطح برگ می‌شود (۲۷). در مطالعات متعددی بر محصولات مختلفی نشان داده شد که یکی از مهم‌ترین اثرات تنش آبی، کاهش سطح فتوسنتز کننده گیاه است (۸، ۱۳، ۱۴ و ۲۸) که با نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر همخوانی دارند.

عملکرد دانه

در بین سطوح آستانه مکش، بیشترین و کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب از نقاط رطوبتی ۴۰ و ۷۰ سانتی‌بار بدست آمد که کاهش ۴۱/۷ درصدی عملکرد دانه را بین این دو سطح در پی داشت. این در حالی بود که نقطه مکش ۵۵ سانتی‌بار علی‌رغم کاهش ۲۱/۵ درصدی در مصرف آب نسبت به آستانه مکش ۴۰ سانتی‌بار، در تولید ماده خشک تنها اختلاف ۱۲/۵ درصدی داشت. همچنین احتمالاً به‌دلیل کاهش تلفات تبخیر (۸)، سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با میانگین تولید ۳۸۳۵ کیلوگرم در هکتار و با اختلاف ۱۳ درصدی نسبت به مقدار حاصله از سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی، برتری خود را نشان داد (جدول ۵).

شاخص سطح برگ

همان‌طور که در شکل ۲ (A و B) مشخص است، با گذشت زمان شاخص سطح برگ در تمامی تیمارها افزایش یافت، اما پس از رسیدن به یک حد معین، شروع به کاهش نمود که میزان آن بسته به آب موجود در خاک و سهولت استفاده از آن توسط گیاه، متفاوت بود. به‌طوری‌که شاخص سطح برگ در آستانه مکش ۴۰ سانتی‌بار و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب نسبت به دیگر تیمارها، دیرتر به حداکثر رسیدند. همچنین بیشترین شاخص سطح برگ در بین سطوح آستانه مکش، در شروع آبیاری بر اساس مکش ۴۰ سانتی‌بار (۷/۳۵) و در بین نوع سیستم آبیاری، در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (۷/۱۸) بدست آمد این در حالی بود که روند نزولی این دو تیمار با شیب کمتری نسبت به سایر تیمارها، پس از رسیدن به حداکثر خود رخ داد. لذا از آن‌جا که رشد سطح برگ گیاه به‌طور مستقیم با فتوسنتز مرتبط است، بنابراین هر عاملی که سبب کاهش تولید ماده فتوسنتزی شود، در افزایش سطح برگ محدودیت ایجاد می‌کند (۲۱). در این مطالعه نیز با افزایش فواصل آبیاری و عدم سهولت استفاده از آب، شاخص سطح برگ کاهش یافت. با توجه به این‌که کاهش پتانسیل فشاری اولین اثر مهم بیوفیزیکی تنش آبی است، لذا تنش کم‌آبی با کاهش میزان آب گیاه، باعث ایجاد سلول‌ها چروکیده و سست شدن دیواره سلولی شده



شکل ۲- تأثیر سطوح پتانسیلی (A) و سیستم آبیاری (B) بر شاخص سطح برگ

(I₁, I₂ و I₃ به‌ترتیب سطوح مکش ۴۰، ۵۵ و ۷۰ سانتی‌بار و S₁ و S₂ به‌ترتیب سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی)

Figure 2- Effects of potential levels (A) and irrigation system (B) on leaf area index

(I₁, I₂ and I₃ soil matrix potentials at 40, 55, and 70 centi-bar, respectively and S₁ and S₂ surface drip irrigation system and subsurface drip irrigation system respectively)

پژوهش‌های صورت گرفته نشان داد که عدم درستی ریشه به آب کافی، با کاهش فشار آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلولی، سرعت رشد گیاه، طول دوره رشد، سطح فتوسنتز کننده، میزان جذب مواد غذایی، ارتفاع بوته و سرعت توسعه ریشه را کاهش داده و تمامی این عوامل در نهایت منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌شود (۳ و ۱۸). به‌طور کلی کمبود آب در دسترس گیاه، مانع از به حداکثر رسیدن وزن زیستی گیاه شده که این کاهش می‌تواند به دلیل اثر تنش آبی بر سطح فتوسنتز کننده گیاه باشد (۲۷). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که افزایش فواصل آبیاری منجر به کاهش تبادل دی‌اکسید کربن، جذب عناصر غذایی و کلروفیل شد که در نهایت کاهش ماده خشک نغنا را در پی داشت (۲۱).

مقایسه میانگین اثر متقابل دو عامل بر عملکرد دانه (جدول ۵) نشان داد که اعمال مکش ۴۰ سانتی‌بار در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باعث تولید ۳۹۱۵ کیلوگرم در هکتار، دانه شد این در حالی بود که تنظیم برنامه آبیاری بر اساس نقطه مکش ۵۵ سانتی‌بار اعمال شده در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی علی‌رغم صرفه‌جویی ۲۸/۵ درصدی (۲۱۱/۹ میلی‌متر) در مصرف آب نسبت به شروع آبیاری بر اساس مکش ۴۰ سانتی‌بار اعمال شده در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی، از لحاظ عملکرد دانه تنها اختلاف ۶/۴ درصدی داشت. همچنین مقدار ماده خشک تولید شده در مکش ۵۵ سانتی‌بار اعمال شده در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی علی‌رغم مصرف ۱۰ درصد آب بیشتر نسبت به اعمال همین نقطه رطوبتی در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار (۶/۸ درصد) کمتر بود. لازم به ذکر است که تنظیم برنامه آبیاری بر اساس آستانه مکش ۷۰ سانتی‌بار اعمال شده در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، به ترتیب دارای اختلاف ۲۷/۶ و ۲۱/۳ درصدی نسبت به تیماری که در دارای بالاترین عملکرد (مکش ۴۰ سانتی‌بار در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) بود، داشت.

ارتفاع بوته و تعداد دانه در طبق

با توجه به مقایسه میانگین انجام شده توسط آزمون LSD (جدول ۵) می‌توان گفت که صفات ارتفاع بوته و تعداد دانه در طبق متأثر از وضعیت رطوبتی موجود در خاک بودند. بطوری که ارتفاع بوته نقاط مکش ۵۵ و ۷۰ سانتی‌بار نسبت به مکش ۴۰ سانتی‌بار به ترتیب ۱۱ و ۳۱ درصد کمتر بود. همچنین تنظیم برنامه آبیاری بر اساس سطوح ۵۵ و ۷۰ سانتی‌بار باعث تولید به ترتیب ۹۱۳/۳ و ۷۰۳/۸ دانه در طبق شد که نسبت به ۱۰۴۷/۳ دانه در طبق تولید شده در سطح مکش ۴۰ سانتی‌بار، به ترتیب ۱۲/۸ و ۳۲/۸ درصد کمتر بود. همچنین کاهش تلفات تبخیر آب در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی، علی‌رغم کاهش ۹/۷ درصدی در مصرف آب، باعث افزایش ۸/۲ و ۸/۷ درصدی به ترتیب در صفات ارتفاع بوته و تعداد دانه در طبق شد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که

حفظ رطوبت خاک و سهولت استفاده آن توسط گیاه، افزایش قابل ملاحظه ارتفاع بوته و تعداد دانه در طبق را در پی داشت. مطالعات صورت گرفته نشان داد که کاهش میزان آب قابل دسترس باعث تغییرات مورفولوژیکی در گیاه شد، بطوری که با افزایش تنش رطوبتی، رشد زایشی گیاه کاهش یافت (۵). احتمالاً کاهش رطوبت خاک سبب گردید که رقابت برای آب بین بوته‌ها زیاد شد، لذا گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به اندام‌های زیرزمینی (ریشه) اختصاص داد که باعث کاهش اندام رویشی شد (۲۲). از سوی دیگر در دسترس بودن آب کافی برای گیاه، افزایش تورژانس و در نتیجه افزایش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ را در پی دارد (۱۷). لذا در مطالعات متعددی نشان داده شد که کاهش رشد رویشی گیاه از اثرات محسوس کم‌آبی روی گیاه است (۷) که با نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر هم‌سو است.

مقایسه میانگین اثر متقابل دو عامل بر صفات ارتفاع بوته و تعداد دانه در طبق (جدول ۵) در حالی حکم به برتری مطلق اعمال نقاط مکش رطوبتی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی داد که تنظیم برنامه آبیاری بر اساس اعمال آستانه مکش ۴۰ سانتی‌بار در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، دو صفت تعداد دانه در طبق و ارتفاع بوته را در بهترین جایگاه آماری قرار داد. همچنین اعمال آستانه مکش ۵۵ سانتی‌بار در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با اختلاف ۶/۵ درصدی در صفت تعداد دانه در طبق و ۵/۵ درصدی در صفت ارتفاع بوته نسبت به بهترین تیمار، از لحاظ آماری در جایگاه b قرار گرفت این در حالی بود که اعمال همین سطح در آبیاری قطره‌ای سطحی اختلاف ۱۰/۸ و ۹/۷ درصدی به ترتیب در صفات تعداد دانه در طبق و ارتفاع بوته را با بهترین تیمار در پی داشت و این دو صفت را از لحاظ آماری در جایگاه c قرار داد. لازم به ذکر است که شروع آبیاری بر اساس آستانه مکش ۴۰ سانتی‌بار اعمال شده در آبیاری قطره‌ای سطحی باعث شد که صفت تعداد دانه در طبق با میانگین ۹۸۴/۵ عدد و ارتفاع بوته با میانگین ۱۷۷/۵ از لحاظ آماری در جایگاه b قرار گیرند.

بهره‌وری آب

در این پژوهش، همان‌طور که انتظار می‌رفت تأثیر تنش خشکی بر صفت بهره‌وری آب، قابل ملاحظه بود. لذا با توجه به جدول ۵ می‌توان چنین ادعان داشت که صرفه‌جویی ۲۱/۵ درصدی (۱۵۳/۶ میلی‌متر) آب سطح پتانسیلی ۵۵ سانتی‌بار نسبت به نقطه مکش ۴۰ سانتی‌بار، باعث افزایش ۱۰/۳ درصدی بهره‌وری آب و صرفه‌جویی ۵۰/۱ درصدی (۳۵۸ میلی‌متر) آب و سطح مکش ۷۰ سانتی‌بار نسبت به نقطه مکش ۴۰ سانتی‌بار، باعث افزایش ۱۴/۵ درصدی بهره‌وری آب شد و از لحاظ آماری نقاط مکش ۷۰، ۵۵ و ۴۰ سانتی‌بار جهت شروع آبیاری، به ترتیب در جایگاه a، b و c قرار گرفتند.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر سطوح پتانسیل
Table 5- Mean comparison of studied characteristics affected by potential levels

تیمار	بهره‌وری آب	ارتفاع بوته	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه
Treatment	Water use efficiency (Kg.m ⁻³)	Plant height (cm)	Number of seeds per head	Grain yield (kg.ha ⁻¹)
I ₁	5.59 c	186.2 a	1047.3 a	3995 a
I ₂	6.23 b	165.7 b	913.3 b	3496 b
I ₃	6.54 a	128.4 c	703.8 c	2330 c

مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت سیستم آبیاری

Mean comparison of studied characteristics affected by irrigation system

تیمار	بهره‌وری آب	ارتفاع بوته	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه
Treatment	Water use efficiency (Kg.m ⁻³)	Plant height (cm)	Number of seeds per head	Grain yield (kg.ha ⁻¹)
S ₁	5.83 b	168.9 b	921.7 b	3336 b
S ₂	7.43 a	184.1 a	1009.6 a	3835 a

مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت تأثیر اثر متقابل سطوح پتانسیل و سیستم آبیاری

Mean comparison of studied characteristics affected by interaction of LP and IS

تیمار	بهره‌وری آب	ارتفاع بوته	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه
Treatment	Water use efficiency (Kg.m ⁻³)	Plant height (cm)	Number of seeds per head	Grain yield (kg.ha ⁻¹)
I ₁	S ₁ 4.93 e	177.5 b	984.5 b	3666 b
	S ₂ 5.71 d	185.2 a	1028.5 a	3915 a
I ₂	S ₁ 5.79 d	167.3 c	917.5 c	3416 c
	S ₂ 6.89 c	174.9 b	961.4 b	3666 b
I ₃	S ₁ 7.42 b	148.6 e	812.7 e	2833 e
	S ₂ 9.31 a	156.2 d	856.7 d	3083 d

و ۱۱ درصدی ارتفاع بوته شد که افزایش ۱۰/۳ درصدی بهره‌وری آب، را در پی داشت. از طرف دیگر عملکرد دانه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به مقدار ۴۹۹ کیلوگرم در هکتار بیشتر از آبیاری قطره‌ای سطحی بود. این در حالی بود که به‌رغم صرفه‌جویی ۱۰ درصدی مصرف آب در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی، بهره‌وری آب در این سیستم ۲۱/۵ درصد بیشتر بود. صفات ارتفاع بوته و تعداد دانه در طبق در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۸/۲ و ۸/۷ درصد نسبت به آبیاری سطحی بیشتر بود. همچنین به‌رغم اختلاف معنادار در اثر متقابل آستانه مکش با نوع سیستم آبیاری، عملکرد دانه در نقطه مکش ۵۵ سانتی‌بار اعمال شده در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۳۶۶۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که با توجه به صرفه‌جویی ۱۵۴ میلی‌متر آب این تیمار در مقایسه با نقطه مکش ۴۰ سانتی‌بار اعمال شده در همان سیستم، تنها افت حدود ۶/۴ درصدی را در پی داشت. همچنین تعداد دانه در طبق و ارتفاع بوته این تیمار با اختلاف به ترتیب ۶/۵ و ۵/۵ درصدی نسبت به آستانه مکش ۴۰ سانتی‌بار در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، دارای بهترین وضعیت بودند. این در حالی بود که بهره‌وری آب در نقطه مکش ۵۵ سانتی‌بار اعمال شده در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در حدود ۱۷/۱ درصد بیشتر از بهره‌وری آب در نقطه پتانسیلی ۴۰ سانتی‌بار بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان اذعان داشت که تغییر سیستم‌های آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور و ترویج و توسعه روش‌های نوین و سازگار با محیط، نقش بسزایی در صرفه‌جویی آب و در نتیجه افزایش سطح زیر کشت خواهد داشت. از این‌رو اعمال نقطه مکش ۵۵ سانتی‌بار در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

بررسی‌های صورت گرفته نشان از کارآمدی این روش مدیریتی (اعمال تنش خشکی) در استفاده بهینه از هر واحد آب مصرفی در تولید گیاهان مختلف داد (۴، ۹ و ۲۶). از دیگر نتایج قابل ذکر در خصوص بهره‌وری آب می‌توان به این موضوع اشاره نمود که استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باعث افزایش ۲۱/۵ درصدی بهره‌وری آب شد. در این راستا در مطالعه‌ای افزایش ۱۵ درصدی بهره‌وری آب بادمجان در شرایط استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی گزارش شد (۷). همچنین همان‌طور که از مقایسه میانگین اثر متقابل دو عامل بر صفت بهره‌وری آب مشخص است (جدول ۵) تنظیم برنامه آبیاری بر اساس نقطه مکش ۷۰ سانتی‌بار اعمال شده در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با بهره‌وری آب ۹/۳۱ کیلوگرم بر متر مکعب، در بهترین جایگاه آماری قرار گرفت. شروع آبیاری با آستانه مکش ۷۰ سانتی‌بار اعمال شده در آبیاری قطره‌ای سطحی با بهره‌وری آب ۷/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب، از لحاظ آماری در جایگاه b قرار گرفت. شایان ذکر است که تنظیم آبیاری بر اساس ۴۰ سانتی‌بار اعمال شده در آبیاری قطره‌ای سطحی با بهره‌وری آب ۴/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب از لحاظ آماری در بدترین جایگاه قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

مدیریت آبیاری گیاه آفتابگردان با استفاده از پتانسیل آب در خاک نشان داد که صرفه‌جویی ۱۵۳/۶ میلی‌متر آب (۲۱/۵ درصد) بین نقاط مکش ۴۰ و ۵۵ سانتی‌بار جهت شروع آبیاری، در شرایطی باعث کاهش ۱۲/۵ درصدی عملکرد دانه، ۱۲/۸ درصدی تعداد دانه در طبق

در کشت رقم آذرگل در منطقه جیرفت می‌تواند در افزایش عملکرد دانه، بهره‌وری آب و سطح زیر کشت آفتابگردان تأثیر زیادی داشته باشد.

منابع

- Allen R.G., Pereir L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy. p.300.
- Arab R., Yadoei A., Balochi H., and Khadem H. 2018. The effect of irrigation interval and Iron and Zinc foliar application on some morpho-physiological characteristics and yield of sunflower. *Journal of Crop Production* 22 (2): 77-90.
- Asadi R., HassanPour F., Mehrabani M., Baghizadeh A., and Karandish F. 2019. Effect of irrigation interval and two irrigation methods on growth indexes of *Rosmarinus officinalis* L. *Journal of Water Research in Agriculture* 32: 567-581. (In Persian with English abstract)
- Asadi R., Kouhi N., and Yazdanpanah N. 2012. Applicability of micro irrigation system on cotton yield and water use efficiency. *Food, Agriculture and Environment* 10: 302-306.
- Block E., Birringer M., Jiang W., Nakahodo T., Thompson H.J., Toscano P.J., Uzar H., Zhang X., and Zhu Z. 2001. Allium chemistry: synthesis, natural occurrence, biological activity and chemistry of se-alk (en) ylselenocysteines and their g-glutamyl derivatives. *Agriculture, Food and Chemistry* 49: 458-470.
- Bozkurt S., and Mansuroglu G. 2011. The effects of drip line depths and irrigation levels on yield, quality and water use characteristics of lettuce under greenhouse condition. *African Journal of Biotechnology* 10(17): 3370-3379.
- Colak Y.B., Yazar A., Sesveren S., and Colak I. 2017. Evaluation of yield and leaf water potential for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Scientia Horticulturae* 219: 10-21.
- Ekrena S., Sonmez C., Ozcalak E., Kurtas Y.S.K., Bayram E., and Gurgulu E. 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agricultural Water Management* 109: 155-161.
- Ghadami Firouzabadi A., Shahnazari A., and Raeini M. 2015. The economic analysis of deficit irrigation management and determination of the optimum depth of irrigation in sunflower plant. *Journal of Water and Soil Conservation* 21(6): 255-268. (In Persian with English abstract)
- Ghamarnia H., Bashi M., and Ghobadi M. 2012. Evaluation of different irrigation levels on seed yield and water use efficiency of coriander plant in semi-arid region. *Journal of Water Management and Irrigation* 2(3): 15-24. (In Persian with English abstract)
- Gheysari M., Mirlatif S.M., Homaee M., Asadi M.E., and Hoogenboom G. 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agricultural Water Management* 96(6): 946-954.
- Ibragimov N., Evett S.R., Esanbekov Y., Bakhtiyar S., Lutfullo M., and Lamers P.A. 2007. Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. *Agricultural Water Management* 90: 112-120.
- Kang Y., Wang R., Wan S., Hu W., Jiang S., and Liu S. 2012. Effects of different water levels on cotton growth and water use through drip irrigation in arid region with saline ground water of Northwest China. *Agricultural Water Management* 109: 117-126.
- Karandish F. 2016. Improved soil-plant water dynamics and economic water use efficiency in a maize field under locally water stress. *Agronomy and Soil Science* 62(9): 1311-1323.
- Karimzade Asl K., Mazahri D., and Peyghamberi S. 2003. Effect of four round irrigations on yield and qualities traits of three sunflower cultivars. *Journal of Agricultural Sciences* 34(2): 293-301.
- KazemAlio S., Najafi N., Reyhanitabar A., and Ghaffari M. 2018. Effects of integrated application of phosphorus fertilizer and sewage sludge on leaf chlorophyll index and some growth characteristics of sunflower under water deficit conditions. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 7(4): 1-18.
- Khosh-Khui M., Ashiri F., and Saharkhiz M.J. 2012. Effects of irrigation regimes on antioxidant activity and total phenolic content of *Thymus vulgaris* L. *Medicinal and Aromatic Plants* 1: 1-7.
- Laribi B., Bettaieb I., Kouki K., Sahli A., Mougou A., and Brahim M. 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oils and fatty acids composition. *Industrial Crops and Products* 30: 372-379.
- MetinSizen S., Gülendaml C., Attila Y., Servet T., and Burcak K. 2010. Effect of irrigation management on yield and quality of tomatoes grown in different soilless media in a glasshouse. *Scientific Research and Essay* 5(1): 041-048.
- Pereira S.I.A., Moreira H., Argyars K., Castro P.M.L., and Marques A.P.G.C. 2016. Promotion of sunflower growth under saline water irrigation by the inoculation of beneficial microorganisms. *Journal of Applied Soil Ecology* 105: 36-47.
- Ram D., Ram M., and Singh R. 2006. Optimization of water and nitrogen application to menthol mint (*Mentha arvensis* L.) through sugarcane trash mulch in a sandy loam soil of semi-arid subtropical climate. *Bioresource Technology* 97: 886-893.
- Sardans J., Roda F., and Penuelas J. 2005. Effects of water and a nutrient pulse supply on *Rosmarinus officinalis* growth, nutrient content and flowering in the field. *Environmental and Experimental Botany* 53: 1-11.

- 23- SCKPMO (Statistical Calendar of Kerman Province Meteorological Organization). 2016.
- 24- Shekofteh H., Shekofteh M., and BahramJordi M. 2012. The effect of different irrigation levels on yield of sunflower in Jiroft region. *Journal of Research and Development* 98: 151-160. (In Persian with English abstract)
- 25- Soriano M.A., Orgaz F., Villalobos F.J., and Fereres E. 2004. Efficiency of water use of early plantings of sunflower. *European Journal of Agronomy* 21: 465-476.
- 26- Tahramooz A., and Ghalavand A. 2018. Reducing the effects of water stress using vermicomposting and Mineral Zeolite in Sunflower (*Helianthus annus* L.). *Journal of Agroecology* 10: 81-93.
- 27- Taiz L., and Ziger E. 1991. *Plant Physiology*. Benjamin Publication. p. 346-356.
- 28- Terpin P., Bezjak M., and Abramovic H. 2009. A kinetic model for evaluation of the antioxidant activity of several rosemary extracts. *Food Chemistry* 115(2): 740-744.
- 29- Topak R., Acar B., Uyanoz R., and Ceyhan E. 2016. Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. *Agricultural Water Management* 176: 180-190.
- 30- Wang D., Kang Y., and Wan S. 2007. Effect of soil matric potential on tomato yield and water use under drip irrigation condition. *Agricultural Water Management* 87: 180-186.
- 31- Zheng J., Huang G., Jia D., Wang J., Mota M., Pereira L., Huang Q., Xu X., and Liu H. 2013. Responses of drip irrigated tomato yield, quality and water productivity to various soil matric potential thresholds in an arid region of Northwest China. *Agricultural Water Management* 129: 181-193.
- 32- Zounemat-Kermani M., and Asadi R. 2014. Effect of soil matric potential and irrigation pipe layout on yield and water use efficiency of cucumber's in greenhouse. *Water and Irrigation Management* 4(2): 203-214. (In Persian with English abstract)



Evaluation of Yield and Yield Components of Sunflower under Soil Water Potential

T. Raeisinejad¹- N. Yazdanpanah^{2*}

Received: 15-04-2019

Accepted: 11-11-2019

Introduction: Water has been known as an important limiting factor for plant growth and agricultural yields in arid and semi-arid regions. It is a significant input to agricultural production and also an essential requirement for domestic, industrial and municipal activities. Increasing population and standards of living are contributing to a steep rise in demand for fresh water. By using proper irrigation management practices in farmlands, it is possible to utilize water, soil and fertilizer to produce high yield and quality products. Drip irrigation is considered as one of the most efficient irrigation methods. One of its major advantages is the ability to apply water to the soil as often as desired and in smaller quantity than the other irrigation methods. Two systems of drip irrigation including surface and subsurface drip irrigation methods have been widely used in arid and semiarid regions to reduce the water deficiency impact. Subsurface drip irrigation has been used for many years because of its effectiveness in reducing soil surface evaporation. It has been widely used in horticultural crops under both greenhouse and outdoor field conditions. However, the surface drip irrigation system can be used easier than the subsurface drip irrigation system. In addition, deficit irrigation is one of the strategies for efficient use of water and increasing water use efficiency in agricultural district. Deficit irrigation is a suitable solution to gain acceptable and economic performance by using minimum amount of water. The aim of this study was to evaluate the yield and yield components of sunflower affected by different levels of soil matric potential in combination with two contrasting drip irrigation method i.e. surface and subsurface. In addition, water use efficiency as an important criterion of yield was used to achieve the best and more suitable irrigation method under water scarcity conditions.

Materials and Methods: In order to investigate the irrigation management of sunflower, a field experiment was carried out during 2016 growing season at an experimental farm in Jiroft city. The treatments were laid out in split strip plots based on randomized complete block design with three replications. The treatments were comprised of three soil matric potentials of 40, 55, and 70 centibar for initiation of irrigation in the main plot and sub plots consisted of two drip irrigation systems (surface and subsurface). In the surface systems, drip lines were placed on the soil surface at a distance of 15 cm from the plant and in the subsurface systems, drip lines were placed at a depth of 30 cm. The irrigation time was determined based on the readings of metal tensiometers. These tensiometers were installed in three depths of 15, 30 and 50 cm of soil and at a distance of 20 cm from the plant. In this regard, in both irrigation systems, the mounted tensiometer at a depth of 15 cm of soil was used in the early growth and development, and mounted Tensiometers at depths of 30 and 50 cm soil were used in the middle and final stages of growth. In order to carry out irrigation at the potential point of view, the tensiometers were fully controlled and when the calibrated tensiometer screen showed the desired potential point, irrigation was carried out and the irrigation process continued until the soil moisture reached the crop capacity level. Yield, yield components such as number of seeds per head, along with water use efficiency were measured. Data were statistically analyzed using SAS Statistical software. Treatment means were compared using LSD test.

Results and Discussion: The results showed that the water usage parsimony of 153.6 mm (21.5 percent) between the 40 and 55 c-bar tensions caused that the yield, number of seeds per head and height of plant decreased by 12.5%, 12.8% and 11%, respectively, but water use efficiency increased 10.3%. Compared with 55 c-bar tension, 70 c-bar also decreased the yield, number of seeds per head and height of plant by 33.4%, 22.9% and 22.5%, respectively but increased water use efficiency by 4.7%. Moreover, the yield in subsurface drip irrigation increased by 499 kg/ha compared with surface irrigation. In addition, parsimony of water usage was 10% and water use efficiency increased by 21.5%. Number of seeds per head and the height of plant increased by 8.2% and 8.7%, respectively in subsurface drip irrigation.

Conclusion: According to the results of this study conducted on sunflower in Jiroft area, it was concluded that the application of soil matric potential of 55 centibar in subsurface drip irrigation system is the best approach to increase water use efficiency during periods of drought.

Keywords: Drought stress, Drip irrigation, Soil matric potential, Water use efficiency

1 and 2- M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Water Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: nyazdanpanah@gmail.com)



مدلسازی جذب کادمیم و سرب توسط سیپولیت با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)

مرضیه پیری^۱ - ابراهیم سپهر^{۲*} - عباس صمدی^۳ - خلیل فرهادی^۴ - محمد علیزاده خالد آباد^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۲

چکیده

فرآیند جذب و استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت برای حذف فلزات سنگین یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. در این تحقیق به منظور مدلسازی و بررسی اثر فاکتورهای pH، غلظت و قدرت یونی بر جذب فلزات سنگین سرب و کادمیم از محلول‌های آبی توسط رس سیپولیت، از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن استفاده شد. برای این منظور آزمایشات ناپیوسته جذب، با در نظر گرفتن دامنه‌های متفاوتی از این سه متغیر شامل pH (۳-۶)، قدرت یونی محلول ($0.01-0.06 \text{ mol L}^{-1}$) و غلظت فلز ($20-200 \text{ mg L}^{-1}$) اجرا گردیدند. نتایج نشان داد میزان جذب سرب و کادمیم با افزایش غلظت اولیه فلز و pH، افزایش و با افزایش قدرت یونی محلول کاهش یافت. آنالیز واریانس یک طرفه ($p < 0.001$) نشان داد مدل درجه دو بهترین مدل برای تعیین برهمکنش متغیرهای مورد مطالعه می‌باشد، این مدل حاکی از آن است که غلظت موثرترین عامل در حذف کادمیم و سرب به وسیله سیپولیت است. با توجه به مقادیر ضریب تعیین ($R^2 = 0.99$) و R^2 متعادل شده ($R^2_{adj} = 0.98$) می‌توان گفت مدل بدست آمده برای تحلیل داده‌ها مناسب می‌باشد. شرایط بهینه برای جذب حداکثر سرب و کادمیم از محلول‌های آبی در $\text{pH} = 6$ ، غلظت فلز (200 mg L^{-1}) و قدرت یونی محلول (0.02 mol L^{-1}) است. مقادیر پیش‌بینی شده جذب برای شرایط بهینه ذکر شده برای جذب سرب و کادمیم نیز به ترتیب $44/4$ و $34/28 \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$ بدست آمد. بطور کلی می‌توان گفت سیپولیت می‌تواند به عنوان یک جاذب ارزان قیمت و قابل دسترس برای جذب کادمیم و سرب از آب‌های آلوده استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب، سیپولیت، فلز سنگین، مدل باکس بنکن

مقدمه

عامل بسیاری از مرگ و میرهای انسانی نیز باشد (۵ و ۳). آسیب جدی ناشی از آن در انسان، بیماری به نام ایتایی-ایتایی (بیماری تغییر شکل دردناک اسکلتی) می‌باشد. کادمیم از طریق فرسایش خاک و سنگ بستر، رسوبات آلوده اتمسفری حاصل از فعالیت کارخانجات صنعتی، پساب مناطق آلوده و استفاده از لجن و کود در کشاورزی وارد زیست‌بوم آبی می‌شود. فلز سرب نیز منجر به اختلال یادگیری و رفتاری در کودکان، صدمه به اندام‌های کبد، کلیه و قلب و اختلال در سیستم ایمنی می‌گردد (۲۶). بنابراین حذف یا کاهش کادمیم و سرب قبل از ورود به محیط زیست امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی بکار رفته است که از آن جمله می‌توان به ترسیب شیمیایی^۴، انعقاد و شناورسازی الکتریکی^۵، تعویض یون^۶ و اسمز معکوس^۷ و غیره اشاره نمود. در حال حاضر برخی از این روش‌ها به دلایل اقتصادی و فنی در داخل و خارج از کشور پذیرفته نیستند (۸). از بین تمام این روش‌ها

محدود بودن منابع آبی، کمبود بارندگی، خطر بحران کم آبی در کشور و اهمیت بازیابی مجدد آب از یک سو و افزایش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به وسیله فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های حاصل از پساب‌های صنعتی از سوی دیگر، یافتن راه‌حل‌های زیست-محیطی را در جهت حذف این آلاینده‌ها از منابع آبی ضروری می‌سازد (۷). یون‌های فلزاتی مثل سرب و کادمیوم عمدتاً در فاضلاب‌های صنعتی یافت می‌شوند و جزء عناصر حیاتی و مورد نیاز بدن انسان نبوده و از آلاینده‌های خطرناک زیست‌محیطی به شمار می‌روند (۳۱). کادمیم یک فلز بسیار سمی است که اثرات اصلی سمیت آن بر روی ریه‌ها، کلیه‌ها، استخوان و نقض جنینی بوده و حتی می‌تواند

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته دکتری، دانشیار و استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(*)- نویسنده مسئول: (Email: E.Sepehr@urmia.ac.ir)

۴- استاد گروه شیمی، دانشکده شیمی، دانشگاه ارومیه

۵- استاد، گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

DOI: 10.22067/jsw.v33i6.68143

4- Chemical precipitation

5- Electro-coagulation-flotation

6- Ion exchange

7- Reverse osmosis

جذب^۱، به ویژه با استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت، تأثیر زیاد و سهولت اجرایی داشته و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است (۳). در سال‌های اخیر تمایل به استفاده از مواد معدنی به ویژه کانی‌های رسی به عنوان جاذب، برای حذف آلاینده‌ها به طور چشم‌گیری افزایش یافته است دلیل این امر خواص فیزیکی و شیمیایی خاص رس‌ها و همچنین فراوانی، سهولت و مقرون به صرفه بودن و سازگاری رس‌ها با محیط‌زیست می‌باشد. در واقع کانی‌های رسی با جذب بسیاری از آلاینده‌های آلی و معدنی و تبدیل آن‌ها به فرم‌های غیرسمی و یا با سمیت کمتر و کاهش تحرک آلاینده‌ها در جلوگیری از جذب آن‌ها توسط گیاه و در نتیجه عدم ورود آن‌ها به چرخه غذایی نقش مهمی ایفا می‌کند (۲۳). از جمله کانی‌های فراوان در خاک‌ها و رسوبات مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا می‌توان به سیپولیت و پالیکورسکیت اشاره نمود (۲۹).

سیپولیت یک کانی از گروه رس‌های سیلیکاتی است که معمولاً در خاک‌های خشک و نیمه‌خشک، به همراه کربنات‌ها یافت می‌شود (۱۵) اخیراً ذخایر قابل توجهی از آن در کشور شناسایی و گزارش شده است (۱۳). این رس‌ها به لحاظ ساختمان سوزنی شکل بوده و منافذ میکروسکوپی ریزی که به صورت موازی در طول فیبرها قرار گرفته اند، منجر به تشکیل یک جسم جامد متخلخل با سطوح خارجی زیاد می‌گردد. گسستگی و وارونگی صفحات سیلیکاتی در سیپولیت ساختاری تونلی و بلوکی را ایجاد می‌کند که آن را از سایر سیلیکات‌های تری اکتاهدرال ۲:۱ متمایز می‌کند. فرمول ساختمانی این کانی که از جمله کانی‌های سیلیکاتی تری اکتاهدرال و آبدار است به صورت $Mg_8Si_{12}O_{30}(OH)_4 \cdot 8H_2O$ می‌باشد. هر واحد ساختمانی در این کانی از دو ورقه تتراهدرال در اطراف و یک ورقه اکتاهدرال غنی از منیزیم در مرکز تشکیل شده است. جایگزینی هم‌شکل سیلسیم در ورقه‌های چهاروجهی این کانی به وسیله یون‌های آلومینیم، با ایجاد بار منفی مکان‌های مناسبی را برای جذب کاتیون‌ها به وجود می‌آورد. همچنین به دلیل ناپیوستگی صفحات سیلیکاتی بیرونی تعداد قابل توجهی از گروه‌های عاملی سیلانول (Si-OH) در سطح این کانی دیده می‌شود (۱۲). این ساختار خاص موجب نفوذ مواد آلی و معدنی به سطح کانی گردیده و سیپولیت را در زمره جاذب‌های مناسب قرار داده است (۱۸).

پژوهش‌های متعددی بر روی حذف فلزات سنگین توسط کانی سیپولیت با منشأهای مختلف در سراسر جهان انجام شده است. شیروانی و همکاران (۲۷) جذب و واجذب عنصر کادمیم را در محیط آبی توسط کانی‌های پالیکورسکیت، کلسیت و سیپولیت (هر سه با منشأ اسپانیایی) بررسی کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد از بین این سه کانی، سیپولیت بیشترین مقدار جذب کادمیم را از محلول آبی دارد. لازرویس و همکاران (۱۸) نیز نشان دادند که سیپولیت طبیعی

صربستان از سیپولیت اسیدی برای حذف عناصر سرب، کادمیم و استرانسیم از پساب‌های آلوده مناسب‌تر است. کاکوبا (۱۷) از سیپولیت طبیعی ترکیه برای حذف کادمیم، کروم و منگنز از پساب‌های آلوده استفاده کرد نتایج این پژوهش نشان داد که کانی سیپولیت برای حذف این سه فلز سنگین از محلول‌های آبی مناسب است. اسی و همکاران (۲) نیز توانایی سیپولیت و فلدسپار را به عنوان اجزاء خاک در جذب فلز سنگین بررسی کردند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که قدرت جذب سیپولیت بسیار بیشتر از فلدسپار است؛ به گونه‌ای که میزان واجذب برای فلدسپار حدود ۹۶ درصد و برای سیپولیت حدود ۱۰ درصد بدست آمد. شریفی پور و همکاران (۲۵) نیز قابلیت جذب عنصر سرب توسط سیپولیت طبیعی ایران را بررسی نمودند، نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش زمان، دما و pH محلول میزان جذب سرب توسط سیپولیت بیشتر می‌شود.

پژوهش بر روی ذخایر طبیعی ایرانی این کانی محدود بوده است. از آنجا که خواص این کانی با توجه به منشأ تغییر می‌کند، لازم است قابلیت کانی سیپولیت ایرانی در حذف فلزات سنگین مورد بررسی قرار بگیرد و این جاذب مؤثر، ارزان و در دسترس، جایگاه خود را در منابع کشور برای حذف فلزات سنگین پیدا نماید. میزان جذب فلزات سنگین علاوه بر نوع جاذب و نوع فلز، به فاکتورهای مختلفی از جمله غلظت، مقدار pH محلول، دما و قدرت یونی محلول وابسته است. بطوری‌که در سال‌های اخیر روش‌های آماری و ریاضی زیادی برای طراحی فاکتورهای مؤثر در فرایندهای شیمیایی بکار رفته است. روش سطح پاسخ^۲ (RSM) یکی از روش‌های آماری و ریاضی برای طراحی و بهینه‌سازی فرایندها است. این روش می‌تواند اثرات پارامترهای مستقل و اهمیت نسبی برهمکنش بین دو یا چند متغیر بر روی فرایند را نشان دهد. RSM تنها شرایط بهینه را مشخص نمی‌کند بلکه مدل رگرسیونی مناسب را نیز پیشنهاد می‌نماید. روش سطح پاسخ با استفاده از طرح‌های مختلف مانند طرح مرکب مرکزی^۳ و یا باکس بنکن^۴ انجام‌پذیر است (۳۴). هدف این مطالعه مدل‌سازی و بررسی اثر متقابل متغیرهای مستقل شامل pH، نوع فلز، غلظت و قدرت یونی بر جذب فلزات سنگین کادمیم و سرب به وسیله سیپولیت از محلول‌های آبی با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

کانی سیپولیت مورد استفاده در این تحقیق از معدنی در پیرامون روستای الیاتو از توابع شهرستان فریمان تهیه شد. برخی خصوصیات سیپولیت از جمله ظرفیت تبادل کاتیونی به روش اشباع‌سازی با استات

2- Response Surface Modeling (RSM)
3- Central composite
4- Box-Behnken

1- Sorption

که در آن C_i غلظت اولیه فلز (mg L^{-1})، C_e غلظت تعادلی (mg L^{-1})، m جرم جاذب (0.1 گرم) و V حجم محلول (25 میلی لیتر) می باشد. میزان جذب فلزات در نرم افزار اکسل محاسبه شد.

نتایج و بحث

مشخصات سپیولیت مورد استفاده

میزان CEC سپیولیت ($10.98 \text{ cmol kg}^{-1}$)، سطح ویژه این کانی ($169.20 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) و میزان $\text{pH } 7.82$ بدست آمد. نتایج تجزیه شیمیایی سپیولیت با استفاده از طیف نگار فلورسانس پرتوایکس- (XRF) در جدول ۲ نشان داده شده است. میزان آلومینیم، سدیم، پتاسیم و تیتانیم در این کانی ناچیز است، مقادیر قابل توجهی سیلیسیم و منیزیم در این ذخایر دیده می شود. الگوی XRD جاذب در شکل ۱ آورده شده است، بخشی از کلسیم موجود به واسطه وجود کانی دولومیت به عنوان ناخالصی است، همچنین سپیولیت دارای کانی پالیگورسکیت و کوارتز نیز می باشد (شکل ۱). نسبت میزان منیزیم به کلسیم در این نمونه سپیولیت بسیار زیاد است و نشان می دهد که این ذخایر در محیط غنی از منیزیم و فقر کلسیم ایجاد شده اند. یالسنین و بوزایا (۳۲) نیز نشان دادند که برای تشکیل کانی سپیولیت نسبت به کانی پالیگورسکیت و اسمکتیت در منطقه حکیم خان کشور ترکیه به منیزیم بیشتری نسبت به کلسیم نیاز است. کانی سپیولیت به طور عمده در محیط های شور و pH قلیایی و فعالیت زیاد سیلیسیم ولی فعالیت بسیار کم آلومینیم تشکیل می شود (۲۹).

مدلسازی و آنالیز آماری با استفاده از روش RSM

پس از طراحی تعداد و مقادیر پارامترها توسط مدل باکس بنکن، نتایج حاصل از جذب کادمیم و سرب به وسیله سپیولیت بدست آمد (جدول ۳).

به منظور یافتن بهترین مدل، مدل درجه دو^۶ توسط نرم افزار برای توصیف فرایند جذب پیشنهاد شد (جدول ۴). مقدار F-value برابر ۱۸۶ و مقدار P-value کوچکتر از 0.001 برای مدل نشان می دهد که مدل پیشنهادی برای شبیه سازی فرایند جذب سرب و کادمیم از محلول های آبی توسط سپیولیت دارای اهمیت است. مدل ارائه شده برای سیستم شامل چهار ترم اثرات تک جزئی یا خطی (غلظت فلز، pH ، قدرت یونی محلول، نوع فلز سنگین)، شش ترم مربوط به اثرات دوگانه یا برهمکنشی و سه ترم مربوط به اثرات انحنای درجه دوم است. اما همه این پارامترها در مدل تأثیر معنی دار و مهم نداشته و با حذف برخی از این پارامترها مدل ساده تر می شود که مدل ساده شده در زیر نوشته شده است.

سدیم (۳۰). تجزیه عنصری به روش XRF^1 ، اجزای ترکیبی نمونه با روش پراش سنجی پرتو ایکس XRD^2 ، pH در عصاره اشباع و مساحت سطح کانی به روش Sears^3 (۱) تعیین گردید.

در این مطالعه برای تعیین تعداد آزمایش ها، مقدار پارامترها و در نهایت آنالیز داده های به دست آمده، از نرم افزار Design-Expert 7.0 استفاده گردید. تعداد آزمایشات مورد نیاز با استفاده از روش سطح پاسخ با بکارگیری مدل باکس بنکن از رابطه $N=2K(K-1)+C$ تعیین شد که N تعداد نمونه آزمایش، K تعداد متغیرها و C تعداد نقطه مرکزی می باشد. پارامترهای تأثیرگذار شامل pH در محدوده ۳ تا ۶، غلظت اولیه فلز در محدوده ۰ تا 200 mg L^{-1} میلی گرم در لیتر و قدرت یونی 0.01 تا 0.06 mol L^{-1} مولار در سیستم ناپیوسته برای جذب دو فلز سنگین کادمیم و سرب از محلول های آبی با استفاده از سپیولیت مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- پارامترهای مورد استفاده در طراحی به همراه مقادیر و محدوده در نظر گرفته شده

Table 1- Values and ranges of design parameters				
متغیرهای مستقل Independent variable		سطح کد داده شده		
		-1	0	+1
غلظت اولیه (Concentration) (mg L^{-1})	A	0		200
اسیدیته (pH)	B	3		6
قدرت یونی (Ionic strength) (mol L^{-1})	C	0.01		0.06
فلز سنگین	D	کادمیم (Cd)		سرب (Pb)

بعد از طراحی آزمایش، 0.1 گرم از سپیولیت در داخل لوله های سانتریفوژ 50 میلی لیتری ریخته و به هر یک از لوله ها 25 میلی لیتر محلول فلزی (0.1 و 200 میلی گرم بر لیتر) با شرایط آزمایش های طراحی شده در محلول زمینه نیترات سدیم^۳ (0.1 ، 0.3 و 0.6 مول بر لیتر) ریخته و به مدت ۳ ساعت تکان داده شدند. زمان تعادل با انجام آزمایش های سنتیک^۴ تعیین شده بود. تنظیم pH (۳، $4/5$ و ۶) با استفاده از محلول های اسید هیدروکلریک و سدیم هیدروکسید یک نرمال انجام گردید. پس از اتمام زمان تماس، نمونه ها توسط دستگاه سانتریفوژ صاف و محلول رویی برای تعیین غلظت عناصر باقی مانده توسط دستگاه جذب اتمی (شیمادزو^۵، مدل AA ۶۳۰۰) آنالیز شد. میزان جذب (q_e) (mg g^{-1}) کادمیم و سرب توسط سپیولیت به وسیله رابطه (۱) محاسبه شد:

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

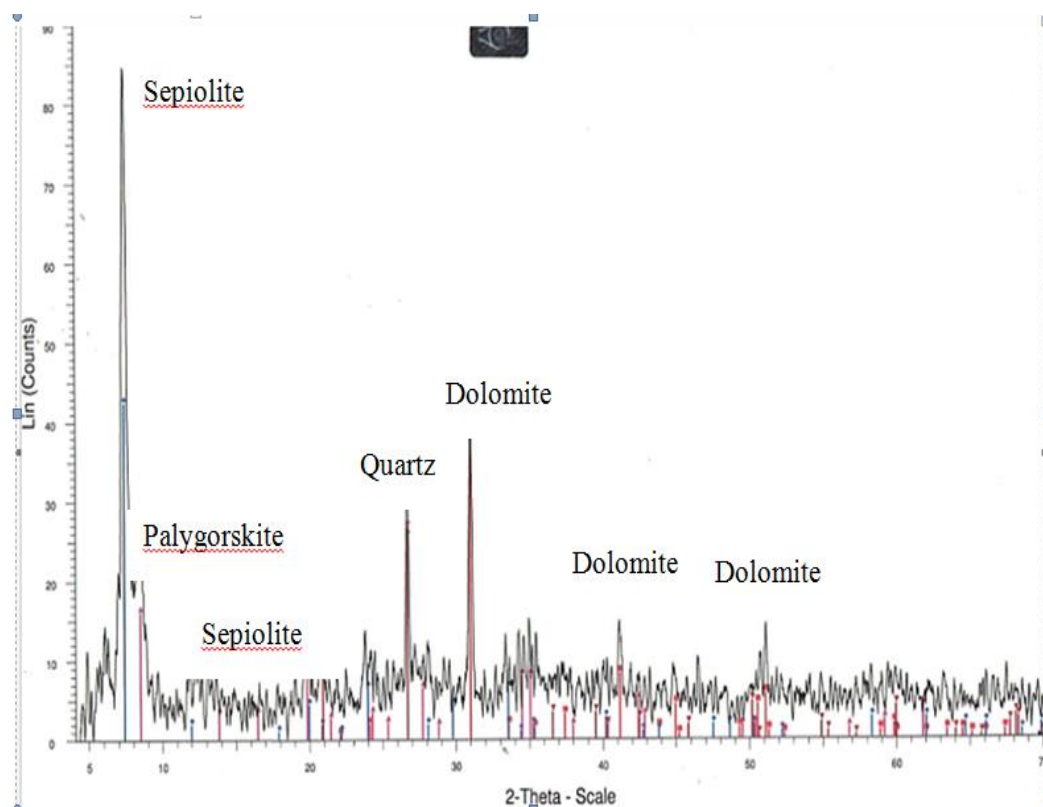
- 1- X-Ray Fluorescence
- 2- X-ray diffraction (XRD)
- 3- NaNO_3
- 4- Kinetics
- 5- Shimadzu

جدول ۲- ترکیب شیمیایی سیپولیت

Table 2- The chemical analysis of sepiolite

عناصر	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	TiO ₂	Ni	LOI*
(%)	52.99	0.16	0.81	0.09	26.7	0.09	0	0	0	0	0.11	1.3

LOI (Loss on Ignition) = کاهش وزن در اثر حرارت



شکل ۱- الگوی XRD سیپولیت مورد مطالعه

Figure 1- X-ray diffraction pattern of the studied sepiolite

$$1.13 \cdot C + 2.29 \cdot D + 0.93 \cdot A \cdot B - 0.76 \cdot A \cdot C + 3.40 \cdot A \cdot D - 3.55 \cdot A^2 - 1.03 \cdot C^2$$

Y پاسخ پیش‌بینی شده برای جذب سرب و کادمیم به وسیله سیپولیت، پارامترهای A، B، C، D به ترتیب غلظت، pH، قدرت یونی و نوع فلز می‌باشند.

نحوه اثر پارامترها در فرایند جذب کادمیم و سرب توسط سیپولیت

به منظور بررسی چگونگی اثرگذاری هر متغیر و اثرات متقابل یا اثرات دوگانه متغیرها بر روی پاسخ تولید شده توسط مدل، نمودارها با استفاده از نرم‌افزار طراحی آزمایش تهیه شدند. نمودار سه بعدی پاسخ سطحی مربوط به عملکرد دو متغیر در سطح مرکز از سایر متغیرها نشان می‌دهد. شکل ۲ نمودارهای مربوط جذب کادمیم و سرب به صورت تابعی از pH، غلظت اولیه فلزات سنگین و قدرت یونی را نشان می‌دهد. همان طوری که در شکل ۲-الف مشاهده می‌شود، دو پارامتر pH و غلظت اولیه (con) فلز کادمیم و سرب به

مقدار ضریب تبیین $R^2 = 0.99$ نشان می‌دهد که مدل دارای دقت قابل قبولی است. از طرف دیگر مقدار پارامتر مجذور مربعات فواصل پیش بینی شده^۱ برابر ۰/۹۷ و مقدار پارامتر مجذور مربعات فواصل تنظیم شده برابر با ۰/۹۸ است. همچنین پارامتر دقت مناسب^۲ نشان‌دهنده نسبت سیگنال به نویز است که نسبت بزرگتر از ۴ قابل قبول است که در مورد این پارامتر برابر ۴۵ بوده که مقدار مطلوبی است. جدول ضرایب اثرگذاری فاکتورهای معنی‌دار مورد بررسی و نوع اثرگذاری بر روی پاسخ (جذب) در جدول ۵ قابل مشاهده است.

پس از تحلیل‌های آماری مدل پیشنهادی به صورت یک معادله درجه دو بر حسب ضرایب اثرگذاری پارامترها (جدول ۵) توسط نرم افزار ارائه شد که در رابطه (۲) نشان داده شده است:

$$Y(\text{Sorb}) = +22.19 + 18.13 \cdot A + 0.80 \cdot B - (2)$$

1- Predicted R-squared

2- Adequate Precision

به محل‌های اتصال افزایش یافته و تمامی محل‌های اتصال در مواجهه با برخورد یون‌ها قرار می‌گیرند و لذا میزان جذب افزایش می‌یابد. ولی با افزایش خیلی زیاد غلظت، سطح جذب سریع اشباع می‌شود و جذب یون‌های فلزی و درصد حذف کاهش می‌یابد. به عبارتی در غلظت‌های پایین، جایگاه‌های جذبی مؤثر بیشتری برای جذب کاتیون‌های فلزات سنگین در دسترس است، اما در غلظت‌های بالاتر تعداد کاتیون‌های فلزی در مقایسه جایگاه‌های جذبی بر روی جاذب به مراتب بیشتر است. بنابراین جذب کاتیون‌ها به غلظت اولیه وابسته است (۲۸ و ۲۹). پژوهشی توسط کاتسو و همکاران (۱۴) روی جذب فلزات سنگین مثل نیکل و روی انجام شد، نتایج آنها نشان داد که با افزایش غلظت اولیه فلزات سنگین ظرفیت جذب و راندمان حذف کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای که توسط مالایرجان و همکاران (۲۰) در ارتباط با حذف فلزات سمی از فاضلاب صنایع توسط فن‌آوری کربن فعال زیستی انجام شد، نیز نتایج مشابهی حاصل گردید.

عنوان پارامترهای انتخابی هستند که در محدوده پارامترهای تعریف شده، تأثیر غلظت فلز نسبت به pH محلول بیشتر است و با تغییر غلظت فرایند جذب بیشتر دستخوش تغییرات قرار می‌گیرد و پارامتر pH تأثیرگذاری نسبی کمتری دارد.

شکل ۲- اثرات متقابل پارامترهای غلظت (con) و قدرت یونی (IS) در pH ثابت برابر ۴/۵ می‌باشد. تأثیر غلظت فلز نسبت به قدرت یونی محلول بیشتر است. اثرات متقابل pH و قدرت یونی (IS) در غلظت ثابت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در شکل ۲-ج نشان داده شده است.

در میزان جذب هر دو فلز سنگین مورد مطالعه به وسیله سپیولیت، تأثیر غلظت بیشتر از دو پارامتر pH و قدرت یونی می‌باشد و همانگونه که در رابطه ۲ مشاهده می‌شود در شرایط درجه ۲ افزایش غلظت رابطه معکوس در میزان جذب دارد (جدول ۵). با افزایش غلظت تعداد یون‌های فلزی در محلول‌های آبی، رقابت برای دسترسی

جدول ۳- نتایج طراحی آزمایش‌های انجام شده مطابق روش باکس بنکن برای حذف کادمیم و سرب به وسیله سپیولیت

Table 3- Box-Behnken design results for sorption of Cd and Pb by sepiolite

شماره آزمایش Number of experiment	A غلظت Concentration (mg.L ⁻¹)	B اسیدیته pH	C قدرت یونی Ionic strength (mol.L ⁻¹)	D کادمیم سرب (Cd) (Pb)	Y ₁ جذب Sobtion (mg.g ⁻¹)
1	0	4.5	0.06	Pb	0
2	0	4.5	0.06	Cd	0
3	100	3	0.06	Cd	20.69
4	100	4.4	0.03	Pb	23.28
5	100	3	0.06	Pb	21.62
6	200	6	0.03	Pb	44.59
7	100	4.5	0.03	Pb	23.36
8	100	4.5	0.03	Cd	21.0
9	200	3	0.03	Cd	27.81
10	100	4.5	0.03	Cd	21.72
11	0	6	0.03	Pb	0
12	100	6	0.06	Cd	17.99
13	100	6	0.06	Pb	22.06
14	0	4.5	0.01	Cd	0
15	0	3	0.03	Cd	0
16	100	3	0.01	Pb	22.72
17	200	4.5	0.06	Pb	41.50
18	100	4.5	0.03	Pb	23.13
19	0	4.5	0.01	Pb	0
20	100	4.5	0.03	Pb	23.44
21	200	4.5	0.01	Pb	43.61
22	100	4.5	0.03	Cd	21.50
23	200	4.5	0.06	Cd	26.41
24	0	6	0.03	Cd	0
25	100	6	0.01	Cd	22.40
26	100	4.5	0.03	Pb	23.41
27	100	3	0.06	Cd	16.41
28	100	6	0.01	Pb	24.35
29	200	4.5	0.01	Cd	30.36
30	200	3	0.03	Pb	42.52
31	200	6	0.03	Cd	33.19
32	100	4.5	0.03	Cd	21.08
33	100	4.5	0.03	Cd	20.99
34	0	3	0.03	Pb	0

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس برای مدل درجه ۲ برای جذب کادمیم و سرب به وسیله سپیولیت

Table 4- Results of analysis of variance for second order model of the Cd and Pb sorption by sepiolite

منبع Source	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	آماره F F value	آماره P P value
مدل Model	5787.96	13	445.23	186.02	<0.0001
A:con غلظت	5256.78	1	5256.78	2196.32	<0.0001
B:pH اسیدیته	10.24	1	10.24	4.28	0.0518
C:IS قدرت یونی	20.55	1	20.55	8.59	0.0083
D:Element عناصر	179.07	1	179.07	74.82	<0.0001
AB	6.93	1	6.93	2.89	0.1044
AC	4.58	1	4.58	1.91	1817/0
AD	185.25	1	185.25	77.40	<0.0001
BC	0.22	1	0.22	0.091	0.7662
BD	1.29	1	1.29	0.54	0.4719
CD	3.19	1	3.19	1.33	0.2620
A2	105.54	1	105.54	44.10	<0.0001
B2	0.48	1	0.48	0.20	0.6587
C2	8.74	1	8.74	3.65	0.0704
Residual باقی مانده	47.87	20	2.39		
Lack of fit فقدان برازش	47.36	12	3.95	62.56	<0.0001
Pure Error خطای تصادفی	0.50	8	0.063		
Cor-total جمع کل	5835.83	33			

جدول ۵- نتایج ضرایب جذب کادمیم و سرب به وسیله سپیولیت

Table 5- Results of coefficient of the Cd and Pb sorption by sepiolite

فاکتور Factor	ضرایب برآورد شده Coefficient estimate	درجه آزادی (df)	خطا Error
Intercept عرض از مبدا	22.19	1	0.42
A:con غلظت	18.13	1	0.37
B:pH اسیدیته	0.80	1	0.37
C:IS قدرت یونی	-1.13	1	0.37
D:Element عناصر	2.29	1	0.25
AB	0.93	1	0.53
AC	-0.76	1	0.53
AD	3.40	1	0.37
A ²	-3.55	1	0.51
C ²	-1.03	1	0.51

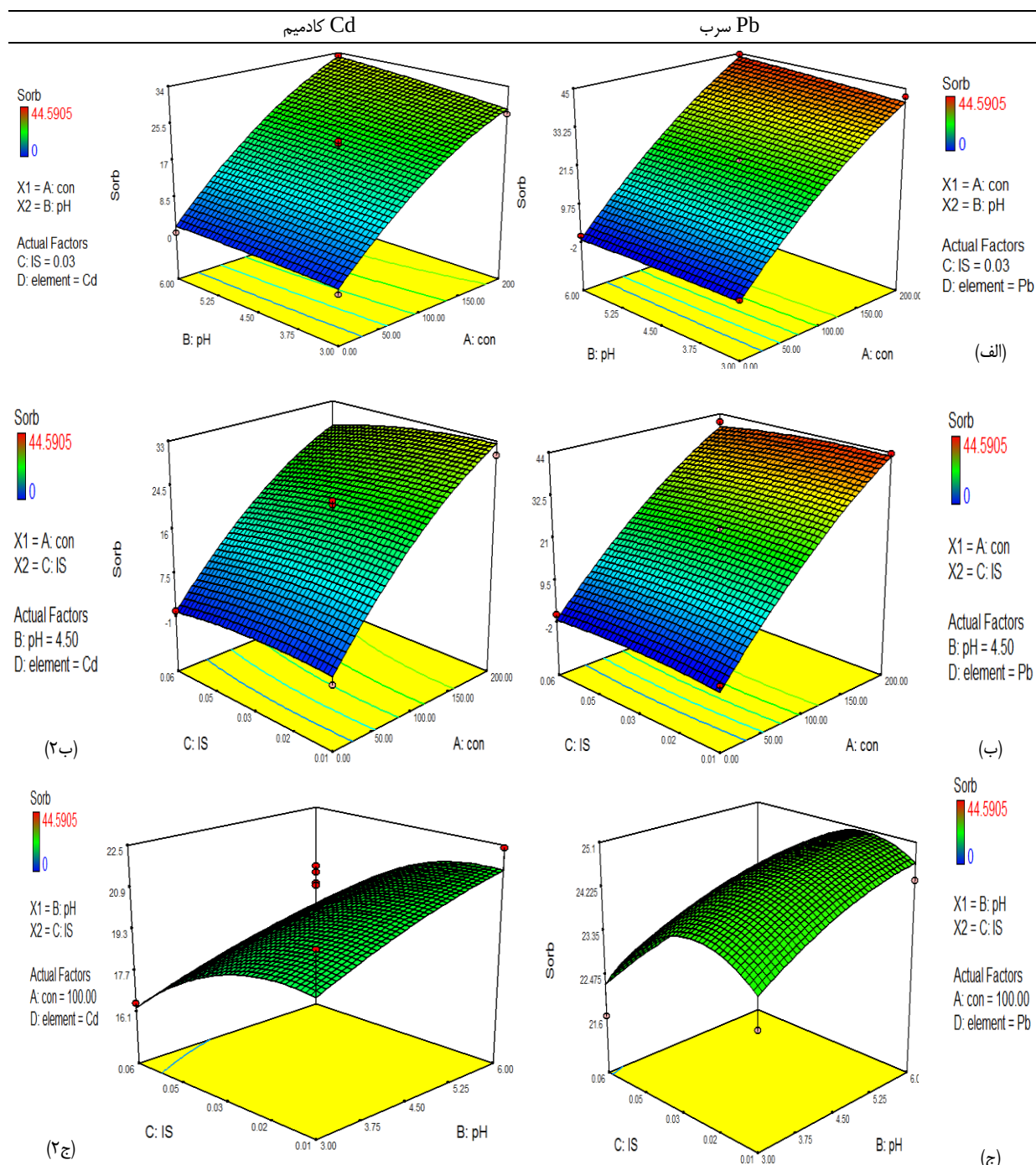
شوند. افزایش بیش تر pH سبب افزایش مقادیر OH⁻ محلول شده و موجب ایجاد پیوندهای M-OH (M: یک فلز) می شود که سبب کلاته شدن و ایجاد حالت پایدار در فلز مورد نظر موجود در محلول می گردد. این امر سبب کاهش احتمال انتقال و تماس فلز با جاذب و کاهش درصد حذف می شود (۴).

قدرت یونی نیز عاملی مهم و تأثیرگذار بر تعادل گونه های جذب شده و جاذب در فاز محلول است. به طور کلی با افزایش قدرت یونی محلول میزان جذب فلز کاهش پیدا می کند (۲۲). نتایج بررسی قدرت یونی در حذف کادمیم و سرب توسط سپیولیت در شکل ۱ نشان داده شده است، با افزایش قدرت یونی از ۰/۰۱ به ۰/۰۶ (mol.L⁻¹) میزان حذف هر دو فلز از محلول آبی کاهش یافت. ایل-سید و همکاران

pH محلول نقش بسیار مهمی در جذب یون های فلزی ایفا می کند (۹)، در مطالعه حاضر نتایج حاصل از بررسی اثر pH نشان داد در pH های کمتر جذب یون های فلزی سرب و کادمیم بسیار پایین بود با افزایش pH از ۳ به ۶ میزان جذب هر دو فلز سنگین نیز افزایش پیدا کرد (شکل ۲). در pH های کم (شرایط اسیدیته محلول)، افزایش یون هیدروژن موجب رقابت بیشتر H⁺ با کاتیون های محلول شده و H⁺ به جای یون های فلزی جذب جاذب می شود (۶). در نتیجه جذب سرب و کادمیم در pH های اسیدی کاهش پیدا می کند در pH های بالاتر به علت کاهش H⁺ مقدار جذب یون های فلزی افزایش یافته و باعث افزایش درصد حذف فلز می شود (۳۳). کاتیون ها بسته به pH، به شکل های یون، کمپلکس های هیدروکسیدی و رسوب یافت می

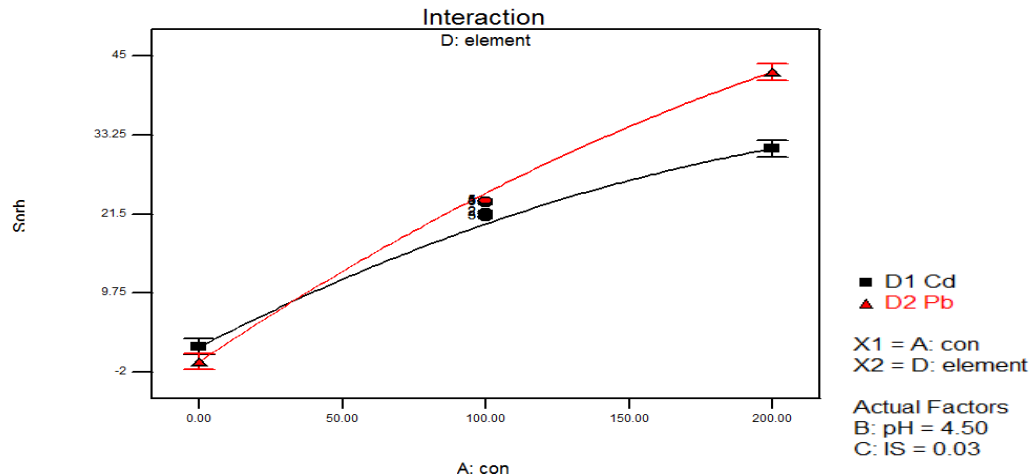
مس و سرب بر روی هومیک اسید مشاهده کردند که با افزایش قدرت یونی از ۰/۲ به ۰/۸ (mol.L^{-1}) میزان جذب هر سه فلز کاهش پیدا می‌کند.

(۱۰) در بررسی جذب کادمیم و نیکل از محلول آبی مشاهده کردند که با افزایش ۱ تا ۱۰ گرم در لیتر NaCl جذب کادمیم و نیکل کاهش یافت. لوی و همکاران (۱۹) در بررسی جذب سه فلز کادمیم،



شکل ۲- نمودار سه بعدی جذب سرب و کادمیم بوسیله سیپولیست الف: اثرات متقابل اسیدیته (pH) و غلظت (Con) در قدرت یونی (IS) ثابت mg.L^{-1} ۰/۳، ب: اثرات متقابل قدرت یونی (IS) و غلظت (Con) در pH برابر ۴/۵ ج: اثرات متقابل pH و قدرت یونی (IS) در غلظت ثابت mg.L^{-1} ۱۰۰

Figure 2- Contour plots of Cd and Pb sorption by sepiolite, (a): the combined effect of pH and concentration at constant ionic strength 0.03 mol.L^{-1} , (b): the combined effect of ionic strength and concentration at constant pH: 4.5, (c): the combined effect of pH and ionic strength at constant concentration: 100 mg.L^{-1}



شکل ۳- جذب سرب و کادمیم از محلول آبی به وسیله سپیولیت در pH برابر ۴/۵ و قدرت یونی 0.03 mol.L^{-1}
Figure 3- Cd and Pb sorption from aqueous solutions by sepiolite at pH: 4.5 and ionic strength: 0.03 mol.L^{-1}

به دلیل انجام مطالعه کلاسیک و عدم بهره‌گیری از مدل آماری یک شکاف در مطالعات به وجود می‌آید و آن عدم تعیین رابطه و اثرات متقابل متغیرهای مورد بررسی است. از ویژگی‌های برتر استفاده از مدل آماری می‌توان به کاهش بسیار زیاد در تعداد نمونه آزمایشگاهی، کاهش هزینه‌های اقتصادی و زمانی، ارائه نمودن گراف‌های سه بعدی، یافتن شرایط بهینه توسط آنالیز واریانس و مدل‌سازی، اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بدست آمده، مدل‌سازی جذب سرب و کادمیم با استفاده از سپیولیت به روش سطح پاسخ بر مبنای طراحی باکس بنکن، برای بررسی اثر پارامترهای pH، قدرت یونی و غلظت بر روی فرایند جذب با یک مدل درجه دو قابل توضیح است. با توجه به مقدار بالای R^2 (0.99) و R^2 متعادل شده (0.99) می‌توان گفت مدل بدست آمده برای تحلیل داده‌های جذب کامیم و سرب به وسیله سپیولیت مناسب می‌باشد. مدل رگرسیونی بدست آمده نشان داد به ترتیب غلظت، نوع فلز و pH به عنوان مؤثرترین پارامتر بر عملکرد پاسخ (جذب) می‌باشند و قدرت یونی اثر معکوس در جذب کادمیم و سرب توسط سپیولیت دارد. شرایط بهینه برای جذب حداکثر سرب و کادمیم به وسیله سپیولیت در pH برابر ۶، غلظت (200 mg.L^{-1}) و قدرت یونی (0.02 mol.L^{-1}) بدست آمد.

همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود ظرفیت جذب سپیولیت علاوه بر ویژگی‌های محلول از جمله غلظت، pH و قدرت یونی به نوع فلز نیز بستگی دارد و میزان جذب سرب در مقایسه با کادمیم به وسیله این جاذب از محلول آبی بیشتر است.

ویژگی‌هایی از قبیل شعاع یونی فلز، وزن اتمی، الکترونگاتیوی، ثابت هیدرولیز و نرمی فلز، بر کارایی جذب مؤثر هستند (۲۴). جذب بالاتر فلز سرب می‌تواند به دلیل داشتن شعاع اتمی بزرگ‌تر و در نتیجه شعاع هیدراته کوچک و انرژی هیدراتاسیون کم، وزن اتمی و الکترونگاتیویته بیشتر در مقایسه با کادمیم باشد (۱۱). کریشه و همکاران (۱۶) در بررسی جذب کادمیم، مس و سرب از محلول‌های آبی به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت، میزان جذب فلزات افزایش می‌یابد و میزان جذب سرب بیشتر از کادمیم بدست آمد، این محققان جذب بیشتر سرب در مقایسه با کادمیم را به بیشتر بودن الکترونگاتیوی و شعاع اتمی سرب نسبت دادند.

بهینه‌سازی مدل و یافتن مقدار بهینه متغیرها در فرایند جذب سرب و کادمیم توسط سپیولیت به وسیله نرم‌افزار انجام شد. به این منظور در نرم‌افزار شرایط بهینه‌سازی مربوط به هر متغیر و پاسخ تعیین شد و همه پارامترها در رنج مربوط به طراحی و میزان جذب در حداکثر مقدار تنظیم شد. در این شرایط غلظت برابر $200 \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$ ، pH برابر ۶ و قدرت یونی (0.02 mol.L^{-1}) برای فلز سرب و کادمیم پیش‌بینی شد، مقادیر پیش‌بینی شده جذب برای شرایط بهینه ذکر شده برای سرب و کادمیم به ترتیب $44/40$ و $34/28 \text{ (mg.g}^{-1}\text{)}$ شد. در بسیاری از مطالعات صورت گرفته با استفاده از فرایندهای مختلف

منابع

- 1- Al-Degs A., Kharasheh M.A.M., and Tutunji M.F. 2001. Sorption of lead ions on diatomite and manganese oxides modified diatomite. *Water Research* 35: 3724-3728.
- 2- Asci Y., Nurbas M., and Acikel Y.S. 2007. Sorption of Cd (II) onto kaolinite as a soil component and desorption of Cd (II) from kaolin using amnolipid bio surfactant. *Journal of Hazardous Materials* 139: 50-56.
- 3- Chiban M., Zerbet M., Carja G., and Sinan F. 2011. Application of low-cost adsorbents for arsenic removal: A

- review. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology* 4(5): 91-102.
- 4- Chowdhury S., and Saha P. 2010. Sea shell powder as a new adsorbent to remove Basic Green 4 (Malachite Green) from aqueous solutions: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal* 164(1): 168-77.
- 5- Davis T.A., Volesky B., and Vieira R.H.S.F. 2000. Sargassum seaweed as biosorbent for heavy metals. *Water Research* 34 (17): 4270-4278.
- 6- Deng S.B., and Ting Y.P. 2005. Characterization of PEI-modified biomass and biosorption of Cu (II), Pb(II) and Ni(II). *Water Research* 39: 2167-2177.
- 7- Dermentzis K., Christoforidis A. and Valsamidou E. 2011. Removal of nickel, copper, zinc and chromium from synthetic and industrial wastewater by electrocoagulation. *International Journal of Environmental Sciences* 1: 697-510.
- 8- Elouear Z., Bouzid J., Boujelben N., Fekri M., and Montiel A. 2008. The use of exhausted olive cake ash (EOCA) as a low cost adsorbent for removal of toxic ions from aqueous solutions. *Fuel* 87: 2582-2589.
- 9- El-Naas M.H, Abu Al-Rub F, Ashour A.Al., and Marzouqi M. 2007. Effect of competitive interference on the biosorption of lead(II) by *Chlorella vulgaris*. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46(12): 1391-1399.
- 10- El-Sayed G.O., Dessouki H.A., and Ibrahim S.S. 2010. Biosorption of Ni (II) And Cd (II) ions from aqueous solutions onto rice straw. *Journal Chemical Sciences* 9: 1-11.
- 11- Franus M., and Bandura L. 2014. Sorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution by Glauconite. *Fresenius Environmental Bulletin* 23 (3A): 825-839.
- 12- Galan E. 1996. Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays. *Clay Minerals* 31: 443-453.
- 13- Hojati S., and Khademi H. 2012. Physicochemical and Mineralogical Characteristics of Sepiolite Deposits of Northeastern Iran. *Scientific Quarterly Journal* 23(90): 165-251.
- 14- Katsou E., Malamis S., and Haralambous K.J. 2011. Industrial wastewater pre-treatment for heavy metal reduction by employing a sorbent-assisted ultrafiltration system. *Chemosphere* 82(4): 557-64.
- 15- Khademi H., and Mermut A.R. 1998. Sub microscopy and stable isotope geochemistry of carbonates and associated palygorskite in selected Iranian Aridisols. *European Journal of Soil Science* 50: 207-216.
- 16- Khraisheh M.A.M., Al-degs Y., and Meminn. 2004. Remediation of wastewater containing heavy metals using raw and modified diatomite. *Chemical Engineering* 99: 177-184.
- 17- Kocaoba S. 2009. Adsorption of Cd(II), Cr(III) and Mn(II) on natural sepiolite. *Desalination*, 244: 24-30.
- 18- Lazarević S., Janković-Častvan I., Jovanović D., Milonjić S., Janačković D., and Petrović R. 2007. Adsorption of Pb⁺², Cd⁺² and Sr⁺² ions onto natural and acid-activated sepiolites. *Applied Clay Science* 37: 47-57.
- 19- Lui A., and Richard G. 1999. Modeling adsorption of copper, cadmium and lead on purified humic acid. *American Chemical Society* 16: 3902-3909.
- 20- Malairajan S., and Peters E. 2013. Removal of toxic heavy metals from synthetic wastewater using a novel biocarbon technology. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 4: 629-1384.
- 21- Marandi R., and Amir Afshar H. 1387. Biological uptake of Zn(II) and Pb(II) by non-living biomass *Phanerochaete chrysosporium*. *Environmental Science and Technology* 10 (4): 196-206.
- 22- Sanchez A.G., Ayuso E.A., and De Blas O.J. 1999. Sorption of heavy metals from industrial waste water by low-cost mineral silicates. *Clay Minerals* 34: 469-477.
- 23- Schulze D.G. 1989. An introduction to soil mineralogy. In: Dixon, J.B., and Weed ,S.B. (Eds.), *Minerals in soil Environments*. Soil Science Society of America, Madison. pp. 1-34.
- 24- Sengil I.A., and Özacar M. 2009. Competitive biosorption of Pb(II), Cu(II) and Zn(II) ions from aqueous solutions onto valonia tannin resin. *Journal of Hazardous Materials* 166(2-3): 1488-1494.
- 25- Sharifipour F., Hojati S., Landi A., and Faz Cano A. 2014. Removal of Lead from Aqueous Solutions Using Iranian Natural Sepiolite: Effects of Contact Time, Temperature, pH, Dose and Heat-Pretreatments. *Agricultural Journal* 38(1): 135-147.
- 26- Shi W., Shao H., Li H., Shao M., and Du S. 2009. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. *Journal of Hazardous Materials* 170: 1-6.
- 27- Shirvani M., Kalbasi M., Shariatmadari H., Nourbakhsh F., and Najafi B. 2006. Sorption-desorption of cadmium in aqueous palygorskite, sepiolite, and calcite suspensions: Isotherm hysteresis. *Chemosphere* 65: 2178-2184.
- 28- Singanan M., and Peters E. 2013. Removal of toxic heavy metals from synthetic wastewater using a novel biocarbon technology. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 1(4): 884-90.
- 29- Singer A., Stahr K., and Zarei M. 1998. Characteristics and origin of sepiolite (Meerschaum) from Central Somalia. *Clay Minerals* 33: 349-362.
- 30- Thomas G.W. 1982. Exchangeable cations. pp 159-164. In: Page, A. L. et al. (Eds). *Methods of Soil Analysis*, ASA, SSSA, Madison, WI.
- 31- Yavuz O., Guzel R., Aydin F., Tegin I., and Ziyadanogullari R. 2007. Removal of cadmium and lead from aqueous solution by calcite. *Polish Journal of Environ* 16(3): 467-471.
- 32- Yalcin H., and Bozkaya O. 1995. Sepiolite-palygorskite from the Hekimhan region (Turkey). *Clays and Clay Minerals* 43: 705-717.

- 33- Zhou J.L., and Kiff R.J. 1991. The uptake of copper from aqueous solution by immobilized. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 52: 317-330.
- 34- Zolgharnein J., Shahmoradi A., and Ghasemi J.B. 2013. Comparative study of Box-Behnken, central composite, and Doehlert matrix for multivariate optimization of Pb(II) adsorption onto Robinia tree leaves. *Journal of Chemometrics* 27(1): 12-20.



Modeling Lead and Cadmium Sorption onto Sepiolite Using Response Surface Methodology

M. Piri¹- E. Sepehr^{2*}- A. Samadi³- Kh. Farhadi⁴- M. Alizadeh⁵

Received: 08-11-2017

Accepted: 13-11-2019

Introduction: Some of the heavy metals such as cadmium (Cd) and lead (Pb) are toxic and represent hazardous pollutants due to their persistence in the environment. These metals have adverse effects on human health, which include growth retardation, cancer, damage to the nervous and heart system. Heavy metals can cause malfunctioning of the cellular processes via the displacement of essential metals from their respective sites. Mainly heavy metals discharge into the environment from industrial and urban sewage. There are different methods to reduce water pollution and the removal of heavy metals from water that one of them is sorption by using organic and inorganic adsorbents such as sepiolite. The low cost of sepiolite along with the high specific surface area, chemical and mechanical stability, and layered structure have made these clay minerals as excellent adsorbent materials for the removal of heavy metals from wastewaters. This study aims to investigate the sorption of Cd and Pb by sepiolite as an inorganic adsorbent and optimize process variables (initial concentration, pH and ionic strength) using Response Surface Methodology (RSM) and Box-Behnken design (BBD).

Materials and Methods: Response Surface Methodology (RSM) is a statistical method that uses quantitative data from appropriate experiments to determine regression model equations and operating conditions. RSM is a collection of mathematical and statistical techniques for modeling and analysis of problems in which a response of interest is influenced by several variables. A standard RSM design called Box-Behnken Design (BBD) was applied in this work to study the variables for sorption of Cd and Pb by sepiolite from aqueous solution using a batch process. BBD for three variables (initial Cd and Pb concentrations, pH and ionic strength), each with two levels (the minimum and maximum), was used as an experimental design model. Sepiolite sample used in this study was taken from a mine in Fariman region, northeastern Iran. In the experimental design model, initial concentration (0-200 mg L⁻¹), pH (3-6) and ionic strength (0.01-0.06 mol L⁻¹) were taken as input variables. Design-Expert program was used for regression and graphical analysis of the data obtained. The optimum values of the selected variables were obtained by solving the regression equation and by analyzing the response surface contour plots. The variability independent variables were explained by the multiple coefficients of determination, R² and the model equation was used to predict the optimum value and subsequently to elucidate the interaction between the factors within the specified range.

Results: The results showed that the sorption of Cd and Pb intensified by increasing initial concentration and pH but ionic strength had an inverse effect. The sorption of Pb and Cd ions onto the sepiolite minerals were lowest at pH =3 and IS=0.06 but increased with an increase in pH and initial concentration of the solution. High value for R² (0.99) and adjusted R² (0.99) showed that the removal of Cd and Pb can be described by the response surface method. One-way ANOVA showed ($p < 0.0001$) that the quadratic model is the best model for determining the interaction variables. According to optimization results, the sorption of Cd and Pb are maximized when pH: 6, concentration: 200 mg.L⁻¹ and ionic strength :0.02 mol.L⁻¹. The predicted adsorption at these settings for Pb and Cd are 44.4 and 34.28 mg.g⁻¹, respectively. It was found that the initial concentration is the most effective parameter in the sorption of Cd and Pb by sepiolite. Sepiolite adsorbed more lead ions than cadmium ions from aqueous solution.

Conclusion: Response surface methodology using BBD, proved a very effective and time-saving model for studying the influence of process parameters (pH, initial concentration and ionic strength) on response factor (sorb). This model significantly reduces the number of experiments and hence facilitating the optimum conditions. The experimental values and the predicted values are in perfect match with an R² value of 0.99. The

1, 2 and 3- Ph.D. Graduated, Associate Professor and Professor Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, respectively.

(*- Corresponding Author Email: E.Sepehr@Urmia.ac.ir)

4- Professor Department of Chemistry Science, Faculty of Chemistry, Urmia

5- Professor Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia

high correlation coefficient between the model and experimental data ($R^2=0.99$) showed that the model was able to predict the removal of Cd and Pb from aqueous solution by using sepiolite. The model revealed that concentration, metal type and pH were the most effective parameters on the response yield (adsorption by sepiolite), respectively. According to the results, sepiolite showed a greater efficiency for sorption of Cd and Pb from aqueous solution, also usage of sepiolite as an inorganic absorbent due to its low cost and abundance can be economically justified.

Keywords: Box-Behnken design (BBD), Heavy metals, Sepiolite, Water pollution



برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و داده‌های سنجش از دور در حوضه آبخیز سد گاوشان

محمد علی محمودی^{۱*} - سیده پریا نقشبندی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷

چکیده

فرسایش خاک یک تهدید زیست محیطی جدی است. یکی از مدل‌های تجربی پرکاربرد برای تخمین فرسایش خاک معادله جهانی فرسایش خاک بازنگری شده موسوم به مدل RUSLE می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش تلفیق داده‌های بدست آمده از پیمایش صحرایی با داده‌های سنجش از دور جهت برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در حوزه آبخیز سد گاوشان در استان کردستان بود. مقدار عامل فرسایش سالیانه باران با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۱۱ ساله در ۷ ایستگاه در اطراف حوضه محاسبه شد. سپس تغییرات مکانی آن با استفاده از کریجینگ معمولی برآورد شد. شاخص فرسایش پذیری خاک از نقشه خاک، که خود با استفاده از پیمایش صحرایی و داده‌های سنجش از دور تهیه شد، بدست آمد. عامل توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استخراج شد. عامل پوشش گیاهی سالیانه نیز از داده‌های سنجش از دور برآورد شد. از آنجایی که در حوضه مورد مطالعه عملیات حفاظت خاک ناچیز است، مقدار عامل حفاظت خاک در سرتاسر حوضه ۱ در نظر گرفته شد. نتایج بدست آمده نشان داد که متوسط مقدار فرسایش سالیانه خاک در این حوضه ۲/۳۵ تن در هکتار است. با اینحال در نیمی از مناطق حوضه مقدار فرسایش سالیانه از ۰/۹۲ تن در هکتار کمتر است. نواحی با فرسایش خیلی زیاد در حدود ۴ درصد از حوضه را در بر می‌گیرند که عمدتاً در شیب‌های زیاد در قسمت‌های جنوب غربی حوضه واقع شده‌اند. بر اساس نتایج بدست آمده درجه شیب مهمترین عامل کنترل کننده شدت فرسایش خاک در این حوضه است.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبخیز سد گاوشان، سنجش از دور، فرسایش خاک، مدل RUSLE

مقدمه

کاربرد این مدل‌ها در سراسر دنیا موفقیت آمیز بوده است، با این حال به دلیل ماهیت فیزیکی‌شان این مدل‌ها دارای ورودی‌های زیادی می‌باشند که فراهم کردن آنها معمولاً در مقیاس‌های بزرگ امکان پذیر نیست.

یکی از مدل‌های تجربی که کاربرد بسیار زیادی در تخمین فرسایش ورقه‌ای و شیاری دارد معادله جهانی فرسایش خاک موسوم به مدل USLE می‌باشد^۳ که توسط ویشمایر و اسمیت در سال ۱۹۶۵ ارائه شد (۸). مدل USLE در اصل برای تخمین فرسایش خاک در اراضی کشاورزی یا با شیب کم ارائه گردید. این مدل پس از حدود ۳۰ سال مطالعه در مورد فرسایش آبی در ۴۶ ایستگاه تحقیقاتی در ۲۶ ایالت مختلف آمریکا با شرایط مختلف جغرافیایی و آب و هوایی و با در نظر گرفتن نتایج بررسی‌های دیگران بدست آمده است (۲۲). نسخه‌های بازنگری شده (RUSLE) و اصلاح شده (MUSLE) این مدل در مطالعات زیادی جهت تخمین فرسایش خاک استفاده شده‌اند. مدل RUSLE توسعه یافته مدل USLE است که در آن عوامل کنترل کننده فرسایش بهبود یافته‌اند (۲۳ و ۲۸). این مدل یک معادله

فرسایش خاک در تمام دنیا یکی از مهمترین تهدیدات برای محیط زیست می‌باشد که اثرات نامطلوبی بر روی کیفیت خاک، تولید محصولات کشاورزی، کیفیت آب، سیستم‌های هیدرولوژیکی و اکوسیستم دارد. از اینرو برآورد فرسایش خاک و شناسایی نواحی بحرانی از نظر فرسایش کلید موفقیت برنامه‌های حفاظت خاک به شمار می‌رود.

مدل‌های فرسایش خاک ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی فرسایش خاک، شناسایی نواحی مستعد فرسایش و نیز ارزیابی برنامه‌های عملیات حفاظت خاک می‌باشند. در چند دهه گذشته مدل‌های مختلفی برای برآورد میزان فرسایش خاک ارائه شده‌اند که می‌توان به پروژه پیش‌بینی فرسایش خاک (WEPP) (۱۸)، ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) (۱۹) و EROSION 3D (۲۵) اشاره کرد. هر چند که

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

(*)- نویسنده مسئول (Email: a.mahmoodi@uok.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v33i6.76446

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز سد گاوشان در غرب ایران با مساحتی در حدود ۲۰۶ هزار هکتار است، که در محدوده جغرافیایی ۴۶/۹۷ تا ۴۷/۹۸ درجه طول شرقی و ۳۴/۷۴ تا ۳۵/۰۹ درجه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). بخش‌هایی از این حوضه به همراه دریاچه سد در جنوب استان کردستان و بخش‌های بیشتری از آن در شمال استان کرمانشاه واقع شده است. اراضی این منطقه عمدتاً تپه‌ای، رژیم حرارتی خاک‌های آن مزیک و رژیم رطوبتی آنها زریک است.

در شکل ۲ نقشه کاربری اراضی حوضه که توسط محمودی و همکاران (۱۶)، با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان تهیه شده، نشان داده شده است. بر اساس این نقشه بخش بزرگی از مناطق حوضه را اراضی کشاورزی تشکیل می‌دهند (۵۲/۸ درصد) و پس از آن مرتع علوفه‌ای (۲۶/۸ درصد) و مراتع بوته‌ای (۱۲/۵ درصد) قرار دارند. تنها بخش کوچکی از اراضی حوضه از درخت پوشیده شده‌اند که شامل باغ‌های مثمر (۱/۵ درصد) و جنگل‌های بافر (۱/۲ درصد) می‌باشند. همچنین مناطق مسکونی ۰/۸ درصد، جاده‌ها ۳ درصد و آب ۱/۳ درصد از اراضی حوضه را در بر گرفته‌اند.

مدل RUSLE

در مدل RUSLE مقدار فرسایش سالیانه خاک در یک دامنه توسط معادله زیر بدست می‌آید (۸):

$$A = RKLSCP \quad (1)$$

که در آن A مقدار خاک فرسایش یافته به وسیله فرسایش ورقه‌ای، بین‌شیاری و شیاری $(t \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1})$ ، عامل بارندگی (MJ $\text{h}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$)، K ضریب فرسایش‌پذیری خاک $(\text{mm} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1})$ ، L عامل طول شیب (بی‌بعد)، S عامل درجه شیب (بی‌بعد)، C عامل مدیریت پوشش گیاهی (بی‌بعد) و p عامل عملیات حفاظت خاک (بی‌بعد) است.

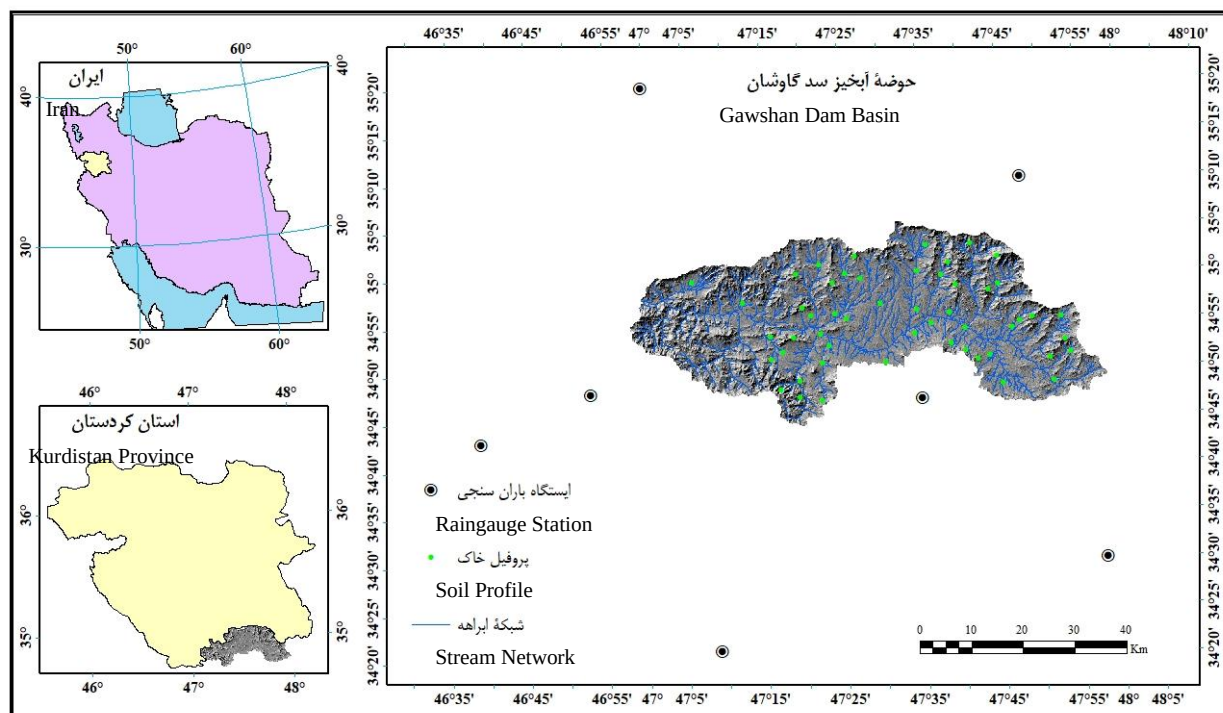
عامل بارندگی (R)

عامل بارندگی (R) شاخصی از قدرت فرسایش‌پذیری باران است که اثرات شدت و مدت بارندگی را در ایجاد فرسایش خاک نشان می‌دهد. عامل بارندگی حاصلضرب انرژی جنبشی یک رخداد (E) و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای (I30) آن است که به صورت زیر محاسبه می‌شود (۴ و ۲۰):

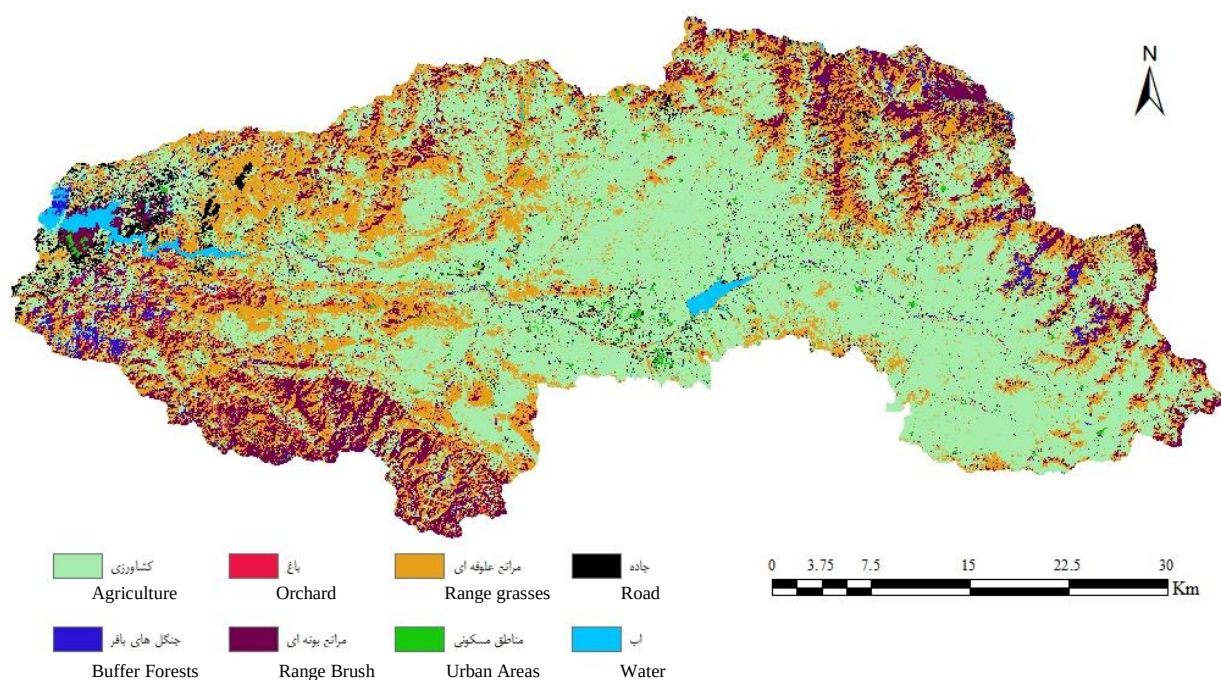
$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m_j} (EI_{30})_k \quad (2)$$

خطی است که در آن عوامل مختلف کنترل‌کننده فرسایش شامل بارندگی، فرسایش‌پذیری خاک، شیب، پوشش گیاهی و اقدامات حفاظتی در هم ضرب می‌شوند. از اینرو پارامتربندی کردن مدل نسبتاً ساده است. سادگی مدل امکان بکارگیری آن را در مقیاس بزرگ که در آنها حجم داده‌ها و محاسبات بالاست فراهم می‌سازد.

برای اجرا کردن مدل RUSLE در مقیاس‌های بزرگ اطلاعات دقیقی از پراکنش مکانی بارندگی، نوع خاک، توپوگرافی، پوشش زمینی و کاربری اراضی مورد نیاز است. اگر تعداد کافی نمونه جمع‌آوری گردد، می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی نقشه تغییرات مکانی این عوامل را تهیه کرد. روش‌های درون‌یابی مختلفی تا به امروز ارائه شده است. این روش‌ها بطور کلی شامل روش‌های آماری کلاسیک و روش‌های زمین‌آماري می‌باشند. در مقایسه با روش‌های آمار کلاسیک روش‌های زمین‌آماري ضمن در نظر گرفتن موقعیت مکانی نقاط اندازه‌گیری شده و ارتباط بین آن‌ها و همچنین همبستگی بین خصوصیات مختلف معمولاً کارایی بیشتری برای توصیف الگوی تغییرپذیری خصوصیات خاک دارند (۵، ۶ و ۱۷). تکنیک اصلی در روش‌های زمین‌آماري کریجینگ است که بهترین تخمین خطی غیراریب از یک متغیر مکانی را بدست می‌دهد. نتایج روش کریجینگ زمانی رضایت‌بخش است که تعداد نمونه‌ها کافی باشند. این امر هزینه و زمان نقشه‌برداری را افزایش می‌دهد. معمولاً برای اجتناب از این مشکل از دیگر روش‌های زمین‌آماري مانند کوکریجینگ یا رگرسیون کریجینگ استفاده می‌شود. در این روش‌ها علاوه بر متغیر اصلی از یک یا چند متغیر کمکی زودیافت، که دارای رابطه تبعی بالایی با متغیر اصلی بوده و تراکم نقاط آنها نیز در منطقه بالاست، جهت توصیف تغییرات مکانی متغیر اصلی استفاده می‌شود (۱۵). داده‌های سنجش از دور، که از ماهواره‌ها بدست می‌آیند، متغیر کمکی مفیدی برای پیش‌بینی برخی از ویژگی‌های خاک‌ها است. این امر به دلیل قابلیت ماهواره‌ها در فراهم کردن اطلاعات سطح زمین در مقیاس‌های متفاوت زمانی و مکانی است. یکی از داده‌های سنجش از دور داده‌های طیفی بدست آمده از ماهواره لندست است. امروزه بطور فزاینده‌ای از این داده‌ها برای تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی استفاده می‌شود. از دیگر داده‌های کمکی نقشه‌های رقومی ارتفاع (DEM) می‌باشد که یکی از مهمترین داده‌های ورودی مورد نیاز برای شبیه‌سازی فرسایش خاک است. از اینرو می‌توان با ترکیب داده‌های بدست آمده از پیمایش صحرایی و اطلاعات سنجش از دور به همراه روش‌های زمین‌آماري و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) داده‌های ورودی مورد نیاز برای اجرای مدل RUSLE را در مقیاس‌های بزرگ بدست آورد. لذا با در نظر گرفتن جوانب فوق هدف از انجام این پژوهش تلفیق داده‌های بدست آمده از پیمایش صحرایی با داده‌های سنجش از دور جهت برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در حوزه آبخیز سد گاوشان در استان کردستان بود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Location map of the study area



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (۱۶)
Figure 2- Land use/Land cover (LULC) map of the study area (16)

مورد نیاز است که از ارقام ثبت شده توسط باران سنجها بدست می آید. در مواردی که این اطلاعات در دسترس نباشد می توان از روابط تجربی که برای محاسبه R ، از روی میانگین تجمعی بارندگی ماهانه و سالانه ارائه شده اند، استفاده کرد.

که در آن R متوسط عامل بارندگی سالیانه ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) n تعداد سالهای آماری، m تعداد رخدادهای فرساینده در سال z و EI_{30} شاخص فرساینده رخداد k ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) است. برای محاسبه شاخص R اطلاعات دقیق و پیوسته ای از هر رخداد

جدول ۱- برخی از معادلات ارائه شده برای محاسبه عامل بارندگی سالیانه
Table 1- Summary of different equations developed for calculating rainfall erosivity factor

شماره No.	معادله Equation	نویسنده (گان) Author(s)	محل تکوین Original location
1	$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \log_{10}(P_i^2 / P) - 0.08189)}$	Wischmeier and Smith (28) as cited in Ganasri and Ramesh (8)	USA
2	$R = 0.562P - 8.12$	Hurni (10)	Ethiopia
3	$R = 81.5 + 0.375P \quad 340 \leq P \leq 3500$	Ram et al. (21), as cited in Jain and Das (12)	Jharkhand, India
4	$R = \begin{cases} 0.07397MFI^{1.847} & MFI < 55mm \\ 95.77 - 6.081MFI + 0.4770MFI^2 & MFI > 55mm \end{cases}$	Renard and Freimund (23)	West coast of USA
5	$R = \sum_{i=1}^{12} -1.15527 + 1.792P_i$	Zhou et al. (29) as cited in Li et al. (14)	Southern China
6	$R = -823.8 + 5.213P$	Fernandez et al. (7)	USA
7	$R = 0.1215MFI^{2.2421}$	Irvem et al. (11)	Turkey

که در آن NDVI شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده و $\alpha=2$ و $\beta=1$ پارامترهایی هستند که شکل رابطه منحنی بین NDVI و C را مشخص می کنند. شاخص NDVI شاخصی از سبزیگی گیاهی و فعالیت فتوسنتزی است و یکی از پرکاربردترین شاخص های پوشش گیاهی است که به صورت زیر تعریف می شود (۱):

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (5)$$

که در آن NIR مقدار باند مادون قرمز نزدیک و Red مقدار باند قرمز در تصاویر ماهواره ای است. از نظر بیوفیزیکی NDVI بخشی از انرژی تابشی است که می تواند صرف فعالیت های فتوسنتزی گردد. مقدار NDVI می تواند بین -۱ تا +۱ تغییر کند. مقادیر منفی آن عموماً مفهوم اکولوژیکی خاصی ندارد. مقادیر بزرگتر آن با پوشش گیاهی فعال از نظر فتوسنتزی همبستگی دارد (۱).

در این پژوهش برای محاسبه شاخص NDVI از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد. این تصاویر از سایت سازمان نقشه برداری جغرافیایی ایالات متحده آمریکا (<https://earthexplorer.usgs.gov>) در سطح تصحیحات L1T دریافت شدند که در آنها تصحیحات هندسی ضمن رفع اثر جابجایی ناشی از پستی و بلندی ها (تصحیحات ارتو) انجام شده است. بعلاوه به منظور اطمینان از هندسه تصویر از نقشه های جاده ها و آبراهه ها با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد و تطابق دقیق این تصاویر مورد تأیید قرار گرفت. قبل از استفاده از تصاویر ماهواره ای لازم است تصحیحات دیگری نیز بر روی آنها انجام شود. یکی از این موارد تصحیحات اتمسفری می باشد. تصحیحات اتمسفری برای کاهش و یا حذف خطای اتمسفری است. برای انجام تصحیح اتمسفری از نرم افزار ENVI 5.3 و روش FLAASH استفاده شد. از آنجایی که مقادیر

در جدول ۱ برخی از معروفترین این روابط، که در مناطق مختلف دنیا بدست آمده و استفاده شده اند، آورده شده اند. در این فرمول ها MFI شاخص اصلاح شده فورنیه است که مقدار آن به صورت زیر محاسبه می شود (۲):

$$MFI = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P} \quad (3)$$

که در آن P_i میانگین بارندگی تجمعی ماهانه و P میانگین بارندگی تجمعی سالانه می باشد. در این پژوهش با استفاده از هر کدام از فرمول های مذکور مقدار R برای هفت ایستگاه مختلف، شامل ایستگاه های روانسر، سنقر، قروه، سنندج، کرمانشاه، کنگاور و کامیاران، در داخل و مجاورت حوضه محاسبه شد. آمار این ایستگاه ها از سازمان هواشناسی کشور تهیه شدند. دوره آماری این داده ها ۱۱ ساله بوده و مربوط به سال های ۲۰۰۵-۲۰۱۵ می باشد. در نهایت پس از مطابقت مقادیر R بدست آمده از هر فرمول با واقعیت های عینی حوضه و نظرات کارشناسی بهترین رابطه انتخاب شد. با در دست داشتن مقادیر R برای ایستگاه های مختلف با استفاده از کریجینگ معمولی نقشه R برای تمام منطقه مورد مطالعه بدست آمد.

عامل پوشش گیاهی (C)

این عامل اثرات پوشش گیاهی و بقایای پوشش گیاهی سطح خاک را بر میزان فرسایش خاک نشان می دهد. مقدار عامل پوشش گیاهی از رابطه زیر محاسبه شد (۲۶):

$$C = \exp\left(-\alpha \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right) \quad (4)$$

زیرسطحی نظیر رنگ، عمق، ساختمان، تجمع آهک و غیره پروفیل-های مختلف تشریح گردیده و ضمن درج مشخصات آنها در برگه‌های تشریح پروفیل نسبت به تهیه نمونه‌های خاک جهت انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی در آزمایشگاه اقدام گردید. در آزمایشگاه توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (۹)، جرم مخصوص ظاهری خاک‌ها به روش استوانه (۳)، ضریب آبگذری اشباع خاک‌ها به روش بار ثابت (۱۳) و ماده آلی خاک‌ها به روش والکلی و بلک (۲۷) اندازه‌گیری شدند. عصاره اشباع خاک‌ها نیز به روش رودز و اوستر (۲۴) بدست آمد و سپس pH و EC آنها اندازه‌گیری شد. در نهایت با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده خاک‌های مختلف در سیستم جامع رده‌بندی خاک آمریکایی تا سطح فامیل رده‌بندی شدند. سپس با در دست داشتن نتایج حاصل از رده‌بندی خاک‌ها و پیمایش صحرایی منطقه نسبت به ویرایش و تدقیق مرز واحدهای جدا شده بر روی نقشه اولیه خاک اقدام و پس از اصلاحات لازم نقشه نهایی خاک‌های منطقه تهیه شد.

عامل توپوگرافی (LS)

عامل توپوگرافی اثرات طول شیب (L) و درجه شیب (S) را بر میزان فرسایش خاک نشان می‌دهد. مقدار عامل طول شیب از رابطه زیر محاسبه شد (۲۸):

$$L = \left(\frac{Q_a^{m+1} - (Q_a - 1)^{m+1}}{n^m} \right) \left(\frac{M}{22.12848} \right)^m \quad (7)$$

که در آن Q_a مقدار تجمع جریان، M اندازه سلول نقشه تجمع جریان (30×30)، n حداقل تجمع جریان در شبکه آبراهه حوضه (مقدار تجمع جریان در ابتدای هر آبراهه) و m یک توان است که به نسبت فرسایش شیاری به بین شیاری (B) بستگی دارد. در نسبت‌های متوسط مقدار m برابر است با:

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (8)$$

و

$$\beta = \frac{(\sin \theta / 0.0896)}{[3(\sin \theta^{0.8}) + 0.56]} \quad (9)$$

که در آن θ زاویه شیب است. از آنجایی که طول شیب برابر است با فاصله از نقطه شروع رواناب تا نقطه‌ای که در آن رواناب به یک آبراهه وارد می‌شود، لذا مقدار طول شیب در هر دامنه بستگی به تراکم آبراهه دارد. به منظور تشخیص و ترسیم آبراهه‌ها در این پژوهش از نقشه تجمع جریان استفاده شد؛ بدین‌صورت که پیکسل‌هایی که تجمع جریان در آنها از ۱۰۰۰ عدد بیشتر بود ($n=1000$) بعنوان آبراهه جریان در نظر گرفته شدند (شکل ۱). این مقدار n از طریق آزمون و خطا با همپوشانی و مطابقت نقشه‌های آبراهه بدست آمده با تصاویر گوگل ارث و نیز بازدیدهای صحرایی بدست آمد. رابطه (۷) برای محاسبه عامل L از اصلاح رابطه‌ای که

عامل NDVI در فصول مختلف سال تغییر می‌کند، لذا مقادیر آن در فصول مختلف سال محاسبه شد و میانگین آن بعنوان NDVI سالانه در نظر گرفته شد که برای محاسبه C سالانه با استفاده از رابطه (۵) مورد استفاده قرار گرفت.

عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)

ضریب فرسایش‌پذیری خاک حساسیت ذاتی خاک به فرسایش را نشان می‌دهد. مقدار این عامل از رابطه زیر محاسبه شد (۲۸):

$$K = [2.1 \times 10^{-4} (12 - OM) M^{1.14} + 3.25 (s - 2) + 2.5 (p - 3)] / 100 \quad (6)$$

که در آن M برابر است با حاضارب درصد سیلت اصلاح شده (مجموع درصد سیلت و شن ریز) در مجموع درصدهای سیلت و شن، OM درصد ماده آلی خاک، s کلاس ساختمان خاک و p کلاس نفوذپذیری پروفیل خاک است. رابطه فوق مقدار K را در سیستم آمریکایی بدست می‌دهد که با تقسیم مقدار بدست آمده از این رابطه بر ضریب $7/59$ مقدار K در سیستم بین‌المللی ($t h MJ^{-1} mm^{-1}$) بدست می‌آید (۲۸). برای تهیه نقشه فرسایش‌پذیری خاک پس از تهیه نقشه خاک با استفاده از رابطه فوق مقدار K برای هر سری خاک محاسبه و نقشه فرسایش‌پذیری خاک بدست آمد.

نقشه خاک‌های حوضه با استفاده از نتایج حاصل از پیمایش صحرایی و نیز کمک گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های توپوگرافی تهیه شد. در مقیاس‌های کوچک می‌توان تأثیر اقلیم، مواد مادری و زمان را بر تشکیل و تحول خاک‌های یک منطقه یکنواخت فرض کرد و تغییرات و تنوع خاک‌ها را به تغییرات موجودات زنده و توپوگرافی نسبت داد. در این مطالعه اثرات موجودات زنده بر روی تغییرات خاک‌ها به کمک نقشه NDVI و اثرات توپوگرافی به کمک شاخص خیزی توپوگرافی و جهت شیب پیمایش شد. نقشه NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (بخش قبلی) و نقشه‌های جهت شیب و شاخص خیزی با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع (DEM) و نرم‌افزار ArcGIS بدست آمدند. سپس نقشه NDVI در دو کلاس (مناطق با پوشش گیاهی کم و زیاد)، نقشه شاخص خیزی در دو کلاس (مناطق با شیب زیاد و تجمع جریان کم در مقابل مناطق با شیب کم و تجمع جریان زیاد) و نقشه جهت شیب نیز در دو کلاس (شیب‌های آفتابگیر و سایه) طبقه‌بندی شدند. با انطباق این سه نقشه نقشه اولیه خاک بدست آمد. این نقشه مناطقی را که از نظر عوامل خاکساز و احتمالاً نوع خاک کم و بیش مشابه هستند از همدیگر تفکیک می‌کند. پس از تهیه نقشه اولیه خاک جهت شناسایی نهایی خاک‌ها و ویرایش و تعیین مرز واحدهای خاک، مطالعات صحرایی و حفر پروفیل در واحدهای اولیه خاک صورت گرفت. در این مرحله مشاهدات حاصل از ۵۰ عدد پروفیل خاک و بالغ بر ۱۰۰ مورد مشاهده صحرایی (مقاطع طبیعی و ترانشه‌ها) مورد بررسی قرار گرفت؛ بدین‌صورت که با در نظر گرفتن خصوصیات افق‌های سطحی و

برای محاسبه عامل توپوگرافی در یک شیب نامنظم ارائه شده است (۲۲) بدست آمده است. مقدار عامل درجه شیب (S) از رابطه زیر محاسبه شد (۲۸):

$$S = \begin{cases} 10 \sin \theta + 0.03 & S_g < 9\% \\ 16.8 \sin \theta - 0.5 & S_g \geq 9\% \end{cases} \quad (10)$$

که در آن S_g درصد شیب است. نقشه‌های شیب و تجمع جریان با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع (DEM) حوضه و به کمک نرم‌افزار Arc GIS تهیه شدند. نقشه DEM استفاده شده در این مطالعه دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر بود که از سایت سازمان نقشه‌برداری جغرافیایی ایالات متحده آمریکا (<https://earthexplorer.usgs.gov>) بدست آمد.

عامل حفاظت خاک (P)

این عامل اثرات عملیات حفاظت خاک مانند کشت نواری و کشت در روی خطوط تراز را بر میزان فرسایش خاک نشان می‌دهد. مقدار این عامل بین صفر تا ۱ متغیر است. هر چه مقدار عملیات حفاظت خاک بیشتر باشد مقدار این عامل به صفر نزدیکتر می‌شود. از آنجایی که در حوضه مورد مطالعه عملیات حفاظت خاک ناچیز است، مقدار این عامل در سرتاسر حوضه ۱ در نظر گرفته شد.

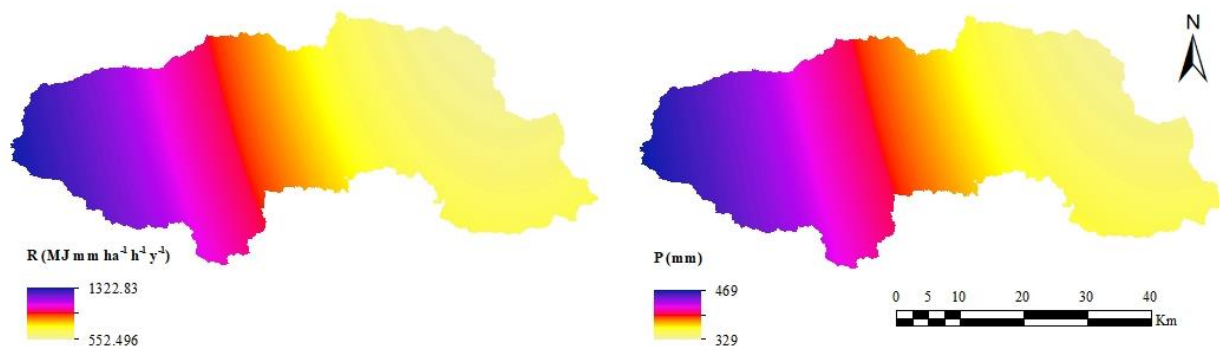
نتایج و بحث

در جدول ۲ مقادیر ضریب R ، که با استفاده از روابط مختلف ارائه شده در جدول ۱ برای ایستگاه‌های مختلف بدست آمده‌اند، آورده شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که مقادیر R بدست آمده برای هر ایستگاه توسط فرمول‌های ارائه شده اختلاف نسبتاً زیادی با هم دارند. این موضوع ناشی از شرایط اقلیمی متفاوتی است که هر کدام از روابط فوق در آنجا تکوین یافته‌اند. این مسأله ضرورت ایجاد

روابط مشابهی را برای شرایط اقلیمی کشور روشن می‌سازد. در این پژوهش با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و واقعیت‌های عینی موجود در حوضه و نیز تشابه اقلیمی نسبی حوضه مورد مطالعه با کشور ترکیه از فرمول ارائه شده توسط ایروم و همکاران (۱۱) برای محاسبه R استفاده شد. در شکل ۳ نقشه‌های تغییرات مکانی میانگین بارندگی تجمعی سالیانه (P) و نیز عامل بارندگی (R) سالیانه در حوضه مورد مطالعه نشان داده شده‌اند. بر اساس نقشه‌های بدست آمده با حرکت از شرق به غرب در حوضه مقدار بارندگی سالیانه و به تبع آن مقدار شاخص فرسایش باران افزایش می‌یابد. در جدول ۳ دامنه تغییرات و توزیع برخی از پارامترهای مورد مطالعه در حوضه ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر این پارامترها در حوضه تغییرات نسبتاً زیادی داشته بطوری که مقدار P بین ۳۳۳ تا ۴۶۸ میلی‌متر و مقدار R بین ۵۶۴ تا $1311 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$ متغیر است. همچنین میانگین بارندگی سالیانه در این حوضه ۳۸۹ میلی‌متر و میانگین عامل بارندگی سالیانه $862 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$ می‌باشد. در شکل ۴ نقشه خاک‌های منطقه مورد مطالعه و نیز نقشه فرسایش‌پذیری آنها در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ نشان داده شده است. براساس این نقشه خاک‌های این حوضه شامل ۸ واحد می‌باشند. در جدول ۴ سری خاک‌های غالب در هر واحد به همراه رده‌بندی مربوط به آنها در سیستم جامع رده‌بندی خاک آمریکایی تا سطح فامیل آورده شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در بین خاک‌های حوضه خاک‌های سری حیدرآباد با ضریب فرسایش‌پذیری ۰/۰۴۵ حساس‌ترین خاک‌ها به فرسایش و خاک‌های سری حسین‌آباد دهبه با ضریب فرسایش‌پذیری ۰/۰۲۰ مقاوم‌ترین خاک‌ها در برابر فرسایش می‌باشند. همچنین میانگین این ضریب برای کل سطح حوضه برابر ۰/۰۳ است.

جدول ۲- مقادیر میانگین سالیانه بارندگی و عامل بارندگی محاسبه شده بر اساس روابط ارائه شده در جدول ۱ برای ایستگاه‌های مختلف
Table 2- Annual average rainfall and rainfall erosivity factor calculated using equations given in table (1) for different stations

ایستگاه Station	P (mm)	R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$)							CV (%)
		Eq. 1	Eq. 2	Eq. 3	Eq. 4	Eq. 5	Eq. 6	Eq. 7	
قروه Ghorveh	309.0	154	166	197	655	540	787	508	55
کامیاران Kamyaran	501.9	289	274	270	1748	886	1793	1439	68
کنگاور Kangavar	400.2	224	217	232	1160	703	1262	932	63
کرمانشاه Kermanshah	460.6	284	251	254	1595	811	1577	1306	66
روانسر Ravansar	439.5	268	239	246	1434	774	1467	1166	65
سنندج Sanandaj	462.3	268	252	255	1520	815	1586	1240	66
سنقر Songhor	351.5	185	189	213	859	616	1008	678	59

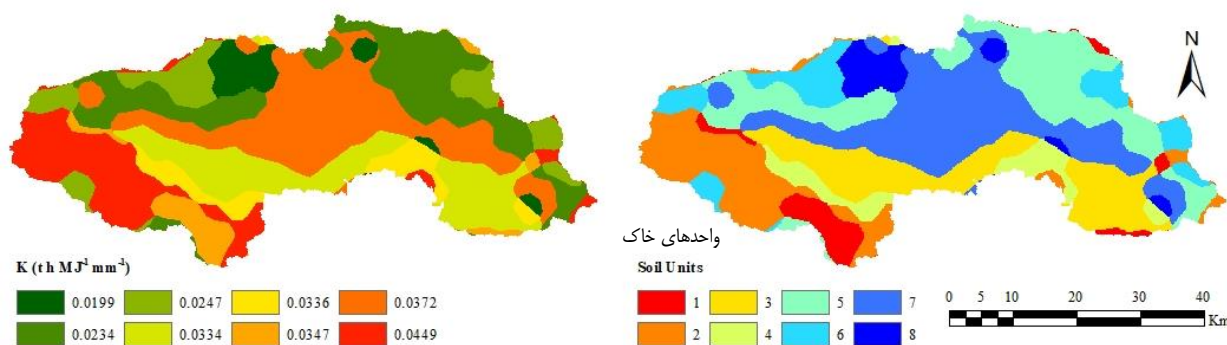


شکل ۳- نقشه‌های میانگین سالانه مقدار و عامل بارندگی در منطقه مورد مطالعه
Figure 3- Maps of annual average rainfall and rainfall erosivity factor of the study area

جدول ۳- آماره‌های توصیفی برخی از پارامترهای مورد مطالعه

Table 3- Descriptive statistics of selected parameters

پارامتر Parameter	کمترین Minimum	بیشترین Maximum	میانگین Mean	میانه Median	انحراف معیار Standard deviation	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
P (mm)	333	468	389	383	41	0.32	1.69
R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ y ⁻¹)	564	1311	862	817	224.9	0.39	1.74
K (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	0.02	0.04	0.03	0.03	0.01	-0.02	1.91
H (m)	1456	3230	1938	1921	209	0.77	4.50
S _g (%)	0	210	20	15	16	1.27	4.71
LS	0.03	15.89	0.22	0.10	0.41	7.52	102.24
C	0.00	1.00	0.39	0.40	0.22	0.04	2.23
A (t ha ⁻¹ y ⁻¹)	0	461.97	2.35	0.92	5.16	10.73	242.26



شکل ۴- نقشه خاک و فرسایش پذیری خاک‌های منطقه مورد مطالعه
Figure 4- soil and soil erodibility map (K) of the study area

جدول ۴- رده‌بندی آمریکایی و مقادیر ضریب فرسایش پذیری خاک‌های حوضه

Table 4- Taxonomic classification and respective K factor of the watershed soils

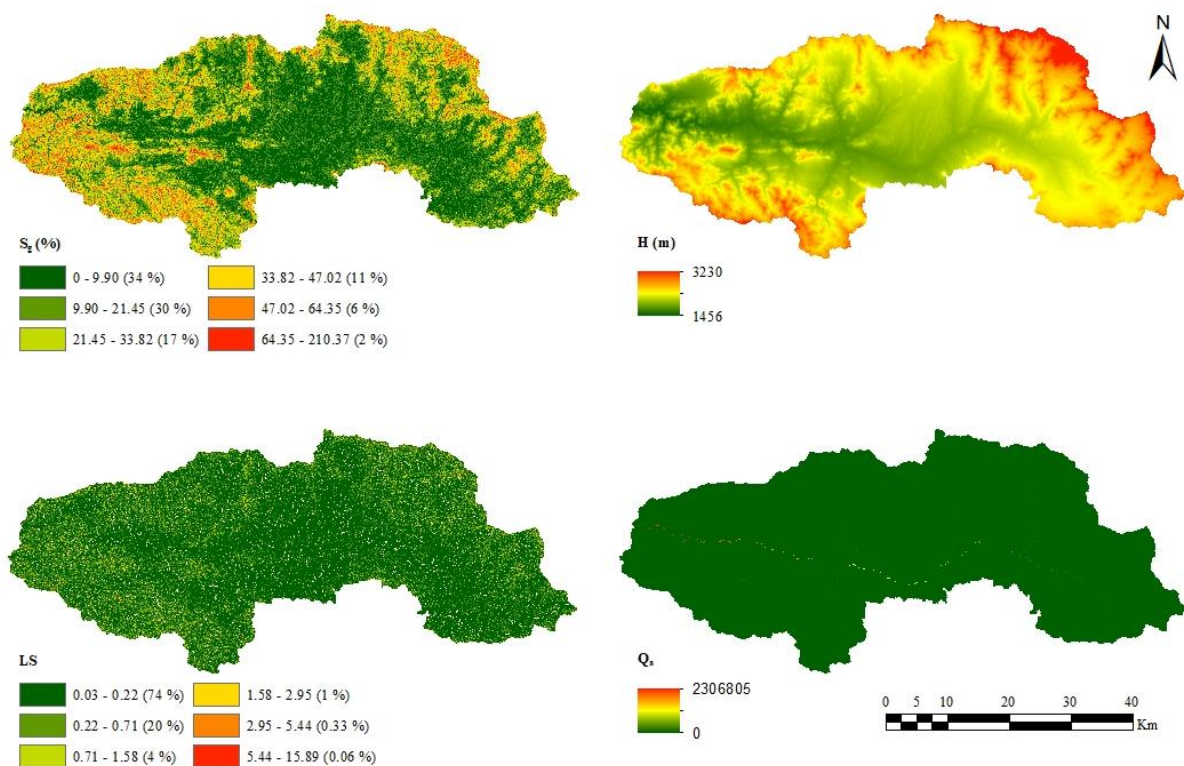
واحد های خاک Soil units	سری خاک غالب Dominant series name	رده بندی آمریکایی Taxonomic classification	K (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	مساحت (%) Area (%)
1	Lanjab	Clay Skeletal, Mixed, Mesic, Typic Xerorthents	0.034	8.2
2	Heydarabad	Fine Silty, Mixed, Mesic, Typic Haploxerepts	0.045	12.4
3	Agaholia	Loamy Skeletal, Mixed, Mesic, Typic Calcixerepts	0.033	13.8
4	Meyvaleh	Fine, Mixed, Mesic, Typic Calcixerepts	0.034	8.9
5	Sarkhom	Very Fine, Mixed, Mesic, Typic Calcixerepts	0.024	17.4
6	Gerdekaneholia	Fine, Mixed, Mesic, Typic Haploxerolls	0.025	8.2
7	Kallepa	Clay Skeletal, Mixed, Mesic, Typic Calcixerepts	0.037	22.2
8	Hosainabaddehbaneh	Fine, Mixed, Mesic, Typic Calcixerolls	0.020	8.9

خاک محسوب شده و منجر به افزایش عامل شیب در معادله جهانی فرسایش خاک می‌گردد.

نقشه عامل توپوگرافی (LS) که از همپوشانی نقشه‌های شیب و تجمع جریان به کمک معادلات ۷ تا ۱۰ بدست آمده است، مقدار این عامل را برای حوضه بین ۰/۰۳ تا ۱۶ نشان می‌دهد. البته توزیع این عامل در سطح حوضه به شدت نامتقارن بوده بطوریکه مقدار آن در ۷۴ درصد از اراضی حوضه از ۰/۲۲ کمتر است. همچنین میانگین این عامل در سطح حوضه ۰/۲۲ و میانه آن ۰/۱ است که بیانگر چولگی این عامل به سمت مقادیر کم در منحنی توزیع فراوانی آن است (جدول ۳).

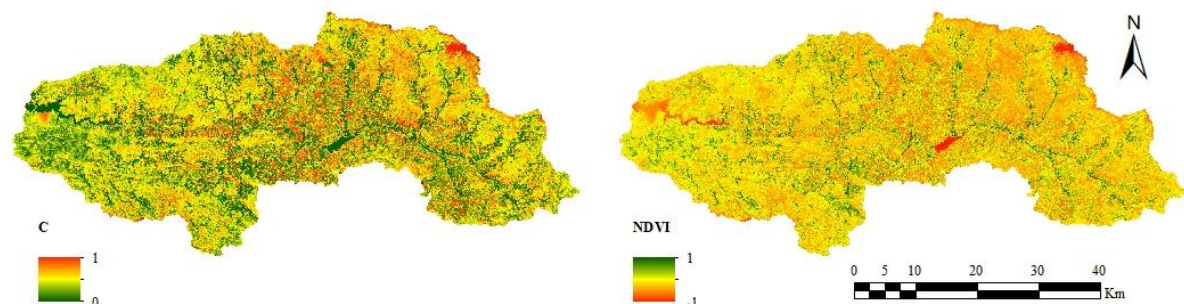
در شکل ۵ نقشه‌های رقومی ارتفاع، شیب، تجمع جریان و عامل توپوگرافی (LS) نشان داده شده‌اند. بر اساس نقشه رقومی ارتفاع ارتفاع اراضی حوضه بین ۳۲۳۰ متر در بلندترین نقطه تا ۱۴۵۶ متر در خروجی حوضه متغیر است. ارتفاع میانگین حوضه ۱۹۳۸ و ارتفاع میانه آن ۱۹۲۱ متر می‌باشد (جدول ۳).

بر اساس نقشه شیب در حدود ۳۴ درصد از اراضی حوضه دارای شیبی بین ۰ تا ۱۰ درصد، ۳۰ درصد از آن دارای شیب بین ۱۰ تا ۲۱ درصد و مابقی اراضی حوضه دارای شیبی بیشتر از ۲۱ درصد می‌باشند. همچنین شیب متوسط حوضه ۲۰ درصد و شیب میانه آن ۱۵ درصد می‌باشد (جدول ۳). همگی این نتایج بیانگر شیب نسبتاً زیاد اراضی حوضه می‌باشند، که خود یک عامل بالقوه در ایجاد فرسایش



شکل ۵- نقشه‌های رقومی ارتفاع (H)، شیب (Sg)، تجمع جریان (Qa) و عامل توپوگرافی (LS) منطقه مورد مطالعه

Figure 5- Maps of elevation (H), slope (Sg), flow accumulation (Qa) and topographic factor (LS) of the study area



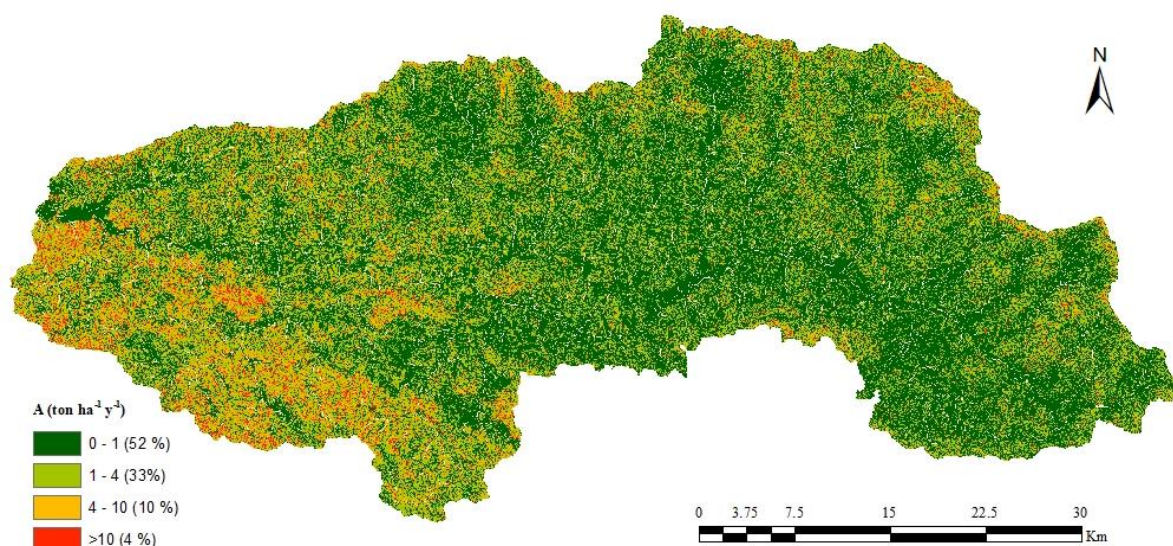
شکل ۶- نقشه‌های شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و عامل پوشش گیاهی (C) سالانه منطقه مورد مطالعه

Figure 6- Maps of normalized difference vegetation index (NDVI) and annual crop cover management factor (C) of the study area

۰/۳۹ می باشد (جدول ۳).

در شکل ۷ نقشه مقدار فرسایش سالیانه خاک حوضه، که با استفاده از معادله (۱) و از حاصلضرب نقشه های عوامل مربوط به آن بدست آمده است، نشان داده شده است. در این نقشه مقدار فرسایش خاک در ۴ کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی شده است. نواحی با فرسایش کم در حدود ۵۲/۵ درصد از خاک های حوضه را در بر می گیرند (جدول ۵). میزان فرسایش سالیانه در این مناطق بین صفر تا ۱ تن در هکتار متغیر و بطور متوسط ۰/۴۳ تن در هکتار می باشد. این خاک ها عمدتاً در ارتفاعات پایین تر حوضه در تراس های آبرفتی کنار رودخانه ای واقع شده اند که به دلیل شیب کم و حاصلخیزی بالا غالباً دارای کاربری کشاورزی می باشند.

در شکل ۶ نقشه های شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و عامل پوشش گیاهی (C) سالیانه در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. نقشه عامل پوشش گیاهی (C) سالیانه از نقشه NDVI با استفاده از معادله (۴) بدست آمده است. لازم به ذکر است که در محاسبه عامل C در حوضه در مناطقی که از آب های روباز پوشیده شده است مقدار این عامل، بدون در نظر گرفتن معادله (۴)، صفر در نظر گرفته شده است. بطوری که ملاحظه می شود مقدار NDVI در اراضی اطراف رودخانه های حوضه بیشتر از سایر بخش های حوضه است که خود بیانگر وجود پوشش گیاهی بیشتر (درختان کنار رودخانه ای) در این قسمت هاست. از طرف دیگر به دلیل تراکم بیشتر پوشش گیاهی کمترین مقدار C مربوط به اراضی اطراف رودخانه ها است. همچنین میانگین مقدار C در سطح حوضه برابر



شکل ۷- نقشه میانگین مقدار فرسایش سالیانه خاک های منطقه مورد مطالعه

Figure 7- map of mean annual soil erosion of the study area

جدول ۵- میانگین برخی از پارامترهای مورد مطالعه در کلاس های مختلف فرسایش خاک

Table 5- Mean of some selected parameters in different erosion classes

کلاس فرسایش Erosion class	دامنه فرسایش Erosion range (t ha ⁻¹ y ⁻¹)	A (t ha ⁻¹ y ⁻¹)	H (m)	S _g (%)	R	مساحت در کل حوضه Area in the Watershed (%)	مساحت در هر کلاس کاربری* (%) Area in each LULC* (%)							
							1	2	3	4	5	6	7	
کم Low	0 - 1	0.43	1918	14.2	204	52.5	67	1	2	8	19	1	2	
متوسط Moderate	1 - 4	2.03	1958	25.2	212	33.2	41	1	1	16	35	1	4	
زیاد High	4 - 10	6.10	1982	31.6	220	10.3	32	1	1	21	39	1	5	
خیلی زیاد Very high	> 10	20.13	1982	32.2	226	4.1	30	1	1	23	39	1	5	

* اعداد ۱ تا ۷ به ترتیب بیانگر کاربری های کشاورزی، جنگل های بافر، باغ، مراتع بوته ای، مراتع علوفه ای، مناطق مسکونی و جاده می باشند.

* Numbers 1 to 8 are correspond to agriculture, buffer forests, orchard, range brush, range grasses, urban areas and roads LULC, respectively.

کمتر است (جدول ۳).

نتیجه گیری

در این پژوهش میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز سد گاوشان با استفاده از مدل RUSLE برآورد شد. پارامترهای مدل به کمک پیمایش صحرایی، داده‌های بارندگی ماهانه و نیز داده‌های سنجش از دور محاسبه شدند. نتایج بدست آمده نشان داد که در داخل حوضه با حرکت از شرق به غرب مقدار عامل بارندگی افزایش می‌یابد. وجود باران‌های فرسایش‌زا به همراه توپوگرافی شدیدتر باعث شده است تا در قسمت‌های جنوب غربی حوضه شدت فرسایش بسیار زیاد باشد. با اینحال در بیش از ۵۲/۵ درصد از اراضی حوضه شدت فرسایش کم است. نواحی با شدت فرسایش کم عمدتاً بر روی تراس‌های کنار رودخانه‌ای واقع شده‌اند. با گذر از این تراس‌ها به دشت‌های دامنه‌ای و مناطق بالاتر شدت فرسایش به دلیل افزایش شیب و کاهش پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. این مسئله لزوم انجام عملیات حفاظت خاک را در این مناطق نشان می‌دهد. متوسط مقدار فرسایش سالیانه خاک در این حوضه در حدود ۲/۳۵ تن در هکتار برآورد شده است. با اینحال شدت فرسایش خاک در داخل حوضه توزیع بسیار نامتقارنی دارد؛ بطوریکه در نیمی از مناطق حوضه مقدار فرسایش سالیانه از ۰/۹۲ تن در هکتار کمتر است. بر اساس نتایج بدست آمده درجه شیب مهمترین عامل کنترل‌کننده شدت فرسایش خاک در این حوضه است. همچنین یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهند که تلفیق داده‌های بدست آمده از پیمایش صحرایی با داده‌های سنجش از دور به همراه سامانه اطلاعات جغرافیایی امکان خوبی برای برآورد پارامترهای معادله جهانی خاک فراهم می‌کنند. نتایج این مطالعه می‌تواند جهت شناسایی نواحی مستعد فرسایش و اولویت‌بندی آنها به منظور انجام عملیات حفاظت خاک مورد استفاده قرار گیرد.

نواحی با فرسایش متوسط در تراس‌های مرتفع‌تر و با شیب بیشتر قرار گرفته‌اند. بخش‌های زیادی از این مناطق نیز دارای کاربری کشاورزی می‌باشند (جدول ۵). شیب بیشتر زمین در این مناطق باعث شده است تا متوسط فرسایش در آنها افزایش یافته و به حدود ۲/۰۳ تن در هکتار برسد. این مناطق در حدود یک سوم از کل سطح حوضه را در بر گرفته‌اند.

مناطق با فرسایش زیاد عمدتاً در دامنه کوهها و تپه‌ها قرار گرفته‌اند. شیب متوسط این مناطق بسیار بیشتر از دو کلاس قبلی بوده و به حدود ۳۲ درصد می‌رسد. پوشش غالب این اراضی مراتع کم‌پشت تا متوسط می‌باشد؛ با اینحال بخش‌های قابل توجهی از این مناطق (در حدود ۳۲ درصد) نیز دارای کاربری کشاورزی است (جدول ۵)، که به دلیل دارا بودن شیب زیاد و استفاده از روش‌های سنتی خاکورزی این اراضی در زمره پرخطرترین اراضی از نظر فرسایش و تخریب می‌باشند. همگی این عوامل باعث شده‌اند که شدت فرسایش در این مناطق بسیار بیشتر شده و به حدود ۶ تن در هکتار در سال برسد.

مناطق با فرسایش خیلی زیاد عمدتاً در بخش‌های جنوب غربی حوضه قرار گرفته‌اند. این مناطق در حدود ۴ درصد از سطح حوضه را در بر می‌گیرند که در شیب‌های خیلی زیاد در ارتفاعات کوهها، که خاک‌های کم عمقی دارند، قرار گرفته‌اند. پوشش غالب این مناطق مراتع کم‌پشت و یا زمین‌های عاری از پوشش گیاهی است (جدول ۵). وجود پوشش گیاهی کم و شیب زیاد باعث شده است تا این مناطق در گروه فرسایش‌پذیرترین مناطق حوضه قرار بگیرند. بطور کلی بر اساس تجزیه و تحلیل نقشه فرسایش خاک بدست آمده متوسط مقدار فرسایش سالیانه خاک در این حوضه ۲/۳۵ تن در هکتار است. با اینحال به دلیل توزیع بسیار نامتقارن آن شدت فرسایش خاک در بخش‌های زیادی از حوضه بسیار کمتر از این مقدار است؛ بطوریکه در نیمی از مناطق حوضه مقدار فرسایش سالیانه از ۰/۹۲ تن در هکتار

منابع

- 1- Anderson G.L., Hanson J.D., and Hass R.H. 1993. Evaluating landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating above-ground biomass on semiarid rangelands. *Remote Sensing of the Environment* 45(2): 165-175.
- 2- Arnoldus H.M.J. 1977. Methodology Used to Determine the Maximum Potential Average Annual Soil Loss due to Sheet and Rill Erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin* 34: 39-51.
- 3- Blake G.R., and Hartge K.H. 1986. Particle density. P.377-381. In A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 4- Brown L.C., and Foster G.R. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 30: 379-386.
- 5- Burgess T.M., and Webster R. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: the semivariogram and punctual kriging. *Soil Science* 31: 315-331.
- 6- Burrough P.A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford University Press, New York.
- 7- Fernandez C., Wu J., McCool D., and Stoeckle C. 2003. Estimating water erosion and sediment yield with GIS, RUSLE, and SEDD. *Journal of Soil and Water Conservation* 58: 128-136.
- 8- Ganasri B.P., and Ramesh H. 2016. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers* 7: 953-961.
- 9- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. P.383-409. In A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis*.

- Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 10- Hurni H. 1985. Soil Conservation Manual for Ethiopia: A Field Manual for Conservation Implementation. Soil Conservation Research Project, Addis Ababa.
- 11- Irvem A., Topaloglu F., and Uygur V. 2007. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan river basin in Turkey. *Journal of Hydrology* 336(1): 30–37.
- 12- Jain M.K., and Das D. 2010. Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. *Water Resources Management* 24(10): 2091-2112.
- 13- Klute A., and Dirksen C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. P.687-734. In A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 14- Li L., Wang Y., and Liu C. 2014. Effects of land use changes on soil erosion in a fast developing area. *International Journal of Environmental Science and Technology* 11(6): 1549–1562.
- 15- Liao K., Xu S., Wu J., and Zhu Q. 2013. Spatial estimation of surface soil texture using remote sensing data. *Soil Science and Plant Nutrition* 59(4): 488-500.
- 16- Mahmoodi M.A., Momeni S., and Davari M. 2018. Application of support vector machines for land use and land cover classification from Landsat ETM imagery. *Journal of Water and Soil*. Under publishing. (In Persian with English abstract)
- 17- McBratney A.B., and Webster R. 1986. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science* 37: 617–639.
- 18- Nearing M.A., Foster G.R., and Lane L.J. 1989. A process-based soil erosion model for USDA water erosion prediction project technology. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32(5): 1587-1593.
- 19- Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., and Williams J.R. 2011. *Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation*, Version 2009. Texas Water Resources Institute.
- 20- Panagos P., Ballabio C., Borrelli P., Meusburger K., Klikc A., Rousseva S., Tadić M.P., Michaelides S., Hrabalíková M., Olsen P., Aalto J., Lakatos M., Rymaszewicz A., Dumitrescu A., Beguería S., Alewell C. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment* 511: 801–814.
- 21- Ram B., Dhyan B.L., and Kumar N. 2004. Assessment of erodibility status and refined iso-erodent map of India. *Indian Journal of Soil Conservation* 32(2): 171–177.
- 22- Refahi H.Gh. 2015. *Water Erosion and Conservation*. University of Tehran Press, Tehran.
- 23- Renard K.G., and Freimund J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology* 157: 287-306.
- 24- Rhoades J.D., and Oster J.D. 1986. Solute Content. P.985-1006. In A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 25- Schmidt J. 1990. A mathematical model to simulate rainfall erosion. *Catena Supplement* 19: 101–109.
- 26- van der Knijff J.M., Jones R.J.A., and Montanarella L. 2000. *Soil Erosion Risk Assessment in Europe*. European Soil Bureau.
- 27- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29–38.
- 28- Wischmeier W.H., and Smith D.D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Science and Education Administration, USDA.
- 29- Zhou F.J., Chen M.H., Lin F.X., Huang Y.H., and Lu C.L. 1995. The rainfall erosivity index in Fujian Province. *Journal of Soil and Water Conservation* 9(1): 13–18.



Estimation of Soil Erosion by RUSLE and Remote Sensing Data of Gawshan Dam Basin

M.A. Mahmoodi^{1*} - P. Naghshbandi²

Received: 21-11-2018

Accepted: 28-12-2019

Introduction: Soil erosion is a serious environmental threat leading to loss of nutrient from surface soil, increased runoff, lake and reservoir sedimentation, and water pollution. Thus, estimation of soil loss and identification of critical area for implementation of best management practice is central to success of soil conservation programs. Soil erosion modeling is an efficient method to simulate soil erosion, to identify sediment source areas, and to evaluate soil conservation measures. One of the most widely applied empirical models for assessing the sheet and rill erosion is the Universal Soil Loss Equation (USLE). Originally, USLE was developed mainly for soil erosion estimation in croplands or gently sloping topography. The RUSLE is an extension of the original USLE with improvements in determining the factors controlling erosion. It is an empirical model commonly used to estimate soil loss potential by water from hillslopes across large areas of land. RUSLE is a linear equation that estimates the annual soil loss as the product of environmental factors include rainfall, soil erodibility, slope length, slope steepness, cover management and conservation practices as inputs. To implement RUSLE over large areas, detailed sets of spatially explicit data are needed for precipitation, soil type, topographic slope, land cover and land use type. Conventionally, the collection of all these data from field studies is time-consuming and expensive. The integration of field data and data provided by remote sensing technologies through the use of geographic information systems (GIS) offers potential to estimate spatially input data for RUSLE over large and relatively sparsely sampled areas. Keeping in view of the above aspects, the objectives of the present study were 1) to integrate the field data and data provided by Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM) imagery with RUSLE through the use of GIS to estimate spatial distribution of soil erosion at Gawshan dam basin in west of Iran and 2) to delineate soil erosion probability zones by reclassifying of the prepared soil erosion map.

Materials and Methods: The annual rainfall erosivity factor (R) was determined from monthly rainfall data of 11 years (2005-2015) for 7 rain gauge stations in the the study area. Spatial distribution of R was estimated using ordinary kriging method of interpolation. The soil erodibility factor (K) was estimated on the basis of soil map prepared from land survey and Landsat ETM remote sensing data. The physical and chemical parameters required to calculate K were measured in the different soil units, and its spatial distribution was coincident with the soil unit boundaries. The topographic factor (LS) was derived from digital elevation model (DEM) of 30 m resolution. The annual crop management factor (C) was calculated from normalized difference vegetation index (NDVI) derived from Landsat ETM imagery for different seasons. Since there is a lack of field data regarding the conservation practices that have been taken place in the study area, the conservation support practice factor (P) value was taken as 1. Finally, average annual soil loss was estimated as the product of the mentioned factors, and categorized into four classes viz., low, moderate, high and very high erosion.

Results and Discussion: The estimated R, K, LS and C range from 564 to 1311 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ y⁻¹, 0.02 to 0.04 t h MJ⁻¹ mm⁻¹, 0 to 2436 and 0 to 1, respectively. The results indicate the estimated mean annual potential soil loss of about 2.35 t ha⁻¹, however in the 50% of the basin area annual soil loss is lower than 0.92 t ha⁻¹. Based on categorized soil erosion map about nearly 52.5% of the basin area produces low erosion of 0.43 t ha⁻¹ annually, whereas very high probability zone covers about 4% of the basin area, located dominantly in the southwestern part of the basin. Our results showed that slope steepness factor is the most important factor that controls soil erosion rate in the basin.

Conclusion: This study demonstrates the integration of field data and Landsat ETM imagery data with RUSLE through the use of GIS to estimate spatial distribution of soil erosion in Gawshan dam basin. The results of this study can be helpful for identifying critical areas for implementation of conservation practice and provide options to policy makers for prioritization of different regions of the basin for treatment.

Keywords: Gawshan dam basin, Remote sensing, RUSLE, Soil erosion

1 and 2- Assistant Professor and M.Sc. Student, Department of Soil Science, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: a.mahmoodi@uok.ac.ir)



تأثیر تنش هم‌زمان خشکی و شوری بر جذب آب و پتانسیل آب برگ درخت بادام در شرایط نیمه‌خشک

اژدر غنایی میلانی^{۱*} - محمد زرین بال^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

چکیده

درخت بادام تحمل خوبی به کم آبی دارد و مناسب کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران است اما حساسیت آن به شوری، مدیریت آبیاری آن را با چالش‌هایی مواجه کرده است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر تنش هم‌زمان خشکی و شوری بر جذب آب، رشد رویشی و پتانسیل آب برگ درخت بادام در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار شوری آب، شامل آب چاه با شوری ۲ dS/m (T_1)، و آب‌های شور شده با نمک‌هایی با همان ترکیب آب چاه ۴ dS/m (T_2) و ۵ dS/m (T_3) در سه تکرار در خاکی با بافت شن لومی اجرا شد. در طول فصل رشد، دما و رطوبت نسبی هوا، پتانسیل آب برگ (LWP) و رطوبت خاک (SWC) تا عمق ۷۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری ($P < 0.01$) بر LWP، رشد رویشی و مقدار آب باقیمانده خاک دارد. متوسط فصلی رشد طولی سرشاخه و رشد قطری تنه در درخت بدون تنش به ترتیب ۱۰۴ سانتی‌متر و ۵۳ درصد بود که در تیمار تنش هم‌زمان خشکی و شوری (T_3) به ترتیب به ۶۲ سانتی‌متر و ۱۸ درصد کاهش یافت. متوسط فصلی LWP برای تیمارهای T_1 تا T_3 به ترتیب $۱/۷۸$ ، $۱/۹۳$ و $۲/۱۶$ - مگاپاسکال بدست آمد. ارتباط معنی‌داری بین LWP با کمبود فشار بخار هوا و SWC حاصل شد. حد آستانه‌ای LWP برای شروع تنش، $۱/۷۸$ - مگاپاسکال بدست آمد. براساس پتانسیل آب برگ آستانه‌ای تنش، کمینه رطوبت حجمی خاک برای تیمارهای T_1 تا T_3 برای اجتناب از تنش به ترتیب $۱۰/۱$ ، $۱۱/۸$ و $۱۳/۵$ درصد تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب ساقه، رطوبت خاک، قطر تنه، کمبود فشار بخار

مقدمه

است. بخاطر همین محدودیت، استفاده بهینه از این منابع اهمیت بسزایی پیدا می‌کند بویژه اینکه این محصول خود را با شرایط محدودیت آب بخوبی وفق می‌دهد (۳۰).

شاخص‌های مختلفی برای تعیین وضعیت آبی گیاه وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و معایبی هستند که توسط جونز (۲۳) مورد بررسی قرار گرفته است. برخی از این شاخص‌ها برپایه خاک استوار است (مانند رطوبت و پتانسیل آب خاک) و برخی بر پایه ویژگی‌های خود گیاه (مانند شدت رشد رویشی، پتانسیل آب برگ، دمای پوشش سبز، مقاومت روزنه ای و شدت فتوستز)، اعتقاد بر اینست که تنش آب توسط پتانسیل آب برگ زودتر از مقاومت روزنه ای و دمای پوشش سبز قابل سنجش است (۱۴). انتخاب شاخص‌های تنش مبتنی بر گیاه به حساسیت نسبی هر یک از آنها بستگی دارد. حساسیت نسبی برخی از فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه توسط هسیانو (۲۱) بررسی شده و رشد سلول حساس‌ترین فرآیند به کمبود آب بافت گزارش شده است. تغییر در سرعت رشد نشانگر حساسی از تنش آب گیاه است (۲۳). در سال - های اخیر روشن شده است که نگهداشتن گیاه تحت تنش آبی جزیی، می‌تواند تقسیم کربوهیدرات‌ها را در اندام‌های زایشی مانند میوه بهبود بخشیده و رشد بیش از حد رویشی را کنترل کند (۵) که در نهایت باعث ابداع روشی گردید که توسط چالمرز و همکاران (۴) کم‌آبیاری

بادام (*Prunus dulcis*) یکی از مهم‌ترین محصولات باغی کشور بوده و جایگاه مهمی در بین محصولات باغی شمال غرب کشور و استان آذربایجان شرقی (۳۲) دارد. هرچند بادام تحمل خوبی به کمبود آب دارد (۴۶) ولی عملکرد آن در شرایط بدون محدودیت بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد به‌طوری‌که عملکرد اقتصادی آن تا ده برابر نسبت به شرایط دیم قابل افزایش است (۱۶). در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران، محدودیت منابع و کیفیت پایین آب مهم‌ترین عامل محدودکننده افزایش تولید محصولات زراعی و باغی بویژه بادام

۱ - استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

(*) - نویسنده مسئول: (Email: a_o_milani@yahoo.com)

۲ - دانشجوی دکتری، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

تنظیم شده (RDI) خوانده شد.

پتانسیل آب برگ (LWP) که در زمان‌های مختلف روز (قبل از طلوع آفتاب و در طول روز) اندازه‌گیری می‌شود، اغلب برای تعیین وضعیت آبی گیاهان مختلف استفاده می‌شود (۴۰، ۷). تاردیو و سیمونائو (۵۷) نتیجه گرفتند که LWP زمانی که گیاه تحت تعلق نیست، تحت تأثیر شدید کاهش رطوبت خاک قرار دارد ولی زمانی که در حضور گیاه تعلق کننده اندازه‌گیری می‌شود تحت تأثیر مجموع اثرات متقابل خاک و تقاضای تعلق است. گزارش شده است که در صورتی که پتانسیل آب برگ برای تغییرات روزانه و محیطی تصحیح شود شاخص حساسی برای وضعیت آبی گیاه بدست خواهد آمد (۴۵). پتانسیل آب برگ قبل از طلوع آفتاب نمی‌تواند در شرایط تنش آبی وضعیت آب گیاه را بخوبی منعکس کند در نتیجه پتانسیل آب برگ در نیم‌روز بهتر از پتانسیل آب برگ قبل از طلوع آفتاب می‌تواند با وضعیت آب گیاه، عملکرد گیاه و فراهمی آب خاک همبستگی داشته باشد (۶۰). در پژوهشی بر روی درخت بادام (۴۸)، پتانسیل آب برگ قبل از طلوع آفتاب در تیمار خوب آبیاری شده و تحت کم آبیاری تنظیم شده (آبیاری به میزان ۲۰ درصد ETC) به ترتیب بیش‌تر از ۱/۰- و ۲/۳۷- مگاپاسکال بدست آمد. در پژوهشی دیگر بر روی همین محصول روییز-سانچز و همکاران (۴۹) از پتانسیل آب برگ در نیم‌روز استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که پتانسیل آب برگ در بادام دیم تا ۳/۷- مگاپاسکال نیز کاهش می‌یابد در حالی که در تیمار تحت آبیاری قطره‌ای بین ۱/۶- تا ۱/۹- مگاپاسکال در نوسان است. باتوجه به متغیر بودن وضعیت آب برگ، برخی از پژوهش‌گران پتانسیل آب آوند چوبی یا پتانسیل آب ساقه (StWP) را به عنوان شاخصی مفیدتر و دقیق‌تر از پتانسیل آب برگ ارایه نمودند (۱۵ و ۳۸). پتانسیل آب ساقه یکی از روش‌های عمومی تعیین وضعیت و تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری در درختان است (۴۱، ۴۲، ۴۳، ۳۹، ۴۰، ۵۵، ۸، ۱۲، ۵۱ و ۱۴). مطالعات اخیر نشان داده است که پتانسیل آب ساقه شاخصی مرتبط و قابل اعتماد برای تنش آبی در درختان میوه است (۴۳). نشان داده شده است که StWP برای پیش‌بینی کمبود آب حساس‌تر از LWP است (۴۰ و ۸) و همچنین به واسطه حساسیتش به رژیم آبیاری، شاخص دقیقی برای تنش آبی گیاه در برخی گونه‌های درختی می‌باشد (۵۴ و ۴۰). همچنین مشخص شده است که StWP نسبت به LWP تغییرات کمتری دارد و برای سنجش اختلافات اندک ولی معنی‌دار تیمارهای آزمایشی مناسب‌تر است (۳۰). StWP نیم‌روز همبستگی زیادی با پتانسیل آب خاک و هدایت روزنه‌ای دارد (۳۱). گارنیر و برگر (۱۵) نشان دادند که اختلاف بین StWP و LWP (اندازه‌گیری شده بطور همزمان در یک گیاه) شاخصی از شدت تعلق می‌باشد. اعتقاد بر اینست که تنش آب از طریق پتانسیل آب برگ زودتر از مقاومت روزنه ای و دمای پوشش سبز قابل سنجش است (۱۴). نورتنس و همکاران (۴۴) در مورد درخت بادام جوان شاخص‌های مختلفی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که پتانسیل آب برگ در قبل از طلوع آفتاب و پتانسیل

آب ساقه به همراه شدت رشد تنه نسبت به بقیه شاخص‌ها حساسیت بیش‌تری به تنش آبی دارند. در پژوهشی بر روی بادام سه تیمار آبیاری کامل، تنش متوسط و تنش شدید مورد بررسی قرار گرفت (۲۵). پتانسیل آب ساقه در نیم‌روز در تیمار آبیاری کامل بالاتر از ۱/۰- مگاپاسکال باقی ماند اما در تیمارهای تنش متوسط و شدید به ترتیب به ۱/۴- تا ۲/۰- و ۲/۰- تا ۲/۶- کاهش یافت. در این پژوهش حد آستانه‌ای پتانسیل آب ساقه در نیم‌روز برای ریزش برگ‌ها ۱/۸- مگاپاسکال بدست آمد.

شوری یکی از مشکلات گسترده جهانی بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است. برخی مطالعات نشان می‌دهد که ۲۰ تا ۵۰ درصد کل زمین‌های زراعی متاثر از شوری است که سبب کاهش قابل توجه درآمد اقتصادی می‌شود (۱۱). براساس گزارش FAO (۱۰) حدود ۳۳ میلیون هکتار از اراضی کشور ایران (معادل ۵۵ درصد اراضی قابل کشت) به درجات مختلف متاثر از شوری است که از این مقدار حدود ۸ میلیون هکتار دارای شوری زیاد است. افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک و کاهش جذب آب توسط گیاهان می‌شود (۲۸). تنش آبی بواسطه نمک که خشکی فیزیولوژیکی نامیده می‌شود زمانی اتفاق می‌افتد که غلظت نمک در محلول خاک به حدی افزایش یابد که جذب آب توسط گیاه را همانند تنش خشکی محدود کند (۳). هردو تنش شوری و آبی منجر به از دست دادن آب سلولی و تنش اسمزی می‌شوند (۲) بنابراین گیاهان ممکن است روش مشترکی برای مقابله با این تنش‌ها اتخاذ کنند (۵۸). در بین گیاهان درختان در کل در مرحله جوانه زدن نسبت به شوری مقاوم‌تر هستند اما در مرحله ظهور گیاهچه حساس بوده و بعد از آن با افزایش سن درخت تحمل آن به تنش شوری بجز در مرحله گل دهی افزایش می‌یابد (۵۶). تنش شوری روابط آبی بیش‌تر درختان را تغییر می‌دهد و مقاومت در برابر شوری بستگی به مقاومت در برابر تنش خشکی دارد (۱۲). تغییر در پتانسیل آب برگ، پتانسیل اسمزی، شادابی برگ و توسعه پذیری دیواره سلولی در اثر افزایش شوری، در گیاهان علفی بطور گسترده مطالعه شده است. اما مطالعه تاثیر شوری بر روابط آبی در درختان میوه ناچیز می‌باشد که در این خصوص به پژوهش گوجی و همکاران (۲۰) و موسوی و همکاران (۳۵) در خصوص درخت زیتون و لمور و همکاران (۲۷) در مورد پسته می‌توان اشاره کرد.

هدف از این مطالعه بررسی اثر تنش همزمان خشکی و شوری بر رشد رویشی و پتانسیل آب برگ به عنوان اصلی‌ترین شاخص وضعیت آبی گیاه در درخت بادام بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه باغبانی سهند مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی واقع در جنوب غربی تبریز (۲۹° ۵۷' ۴۵" طول شرقی و ۳۷° ۵۵' ۴۳" عرض شمالی،

دسی‌زیمنس بر متر بود، مقرر شد که برای تیمارهای شورتر، شوری‌های ۴ (شوری معادل ۵۰ درصد کاهش عملکرد) و ۶ دسی‌زیمنس بر متر (شوری معادل ۸۵ درصد کاهش عملکرد) انتخاب گردد ولی با توجه به اینکه بادام به شوری حساس است (آستانه تحمل آن ۱/۵ دسی‌زیمنس بوده و شیب کاهش عملکرد به ازاء واحد شوری ۱۹ درصد است) (۲۹) و از طرف دیگر به‌خاطر هدف پژوهش در خصوص تنش خشکی که می‌بایست تخلیه رطوبتی خاک تا محدوده نقطه پژمردگی دایم ادامه یابد، برای اجتناب از صدمه احتمالی گیاه بجای ۶ دسی‌زیمنس بر متر (شوری معادل ۶۷ درصد کاهش عملکرد) انتخاب گردید. آب لب‌شور و شور براساس روش علی اصغر زاد (۱) با حل کردن نمک‌های مختلف در آب حاصل از چاه ایستگاه به‌طوری‌که ترکیب یونی شبیه آب چاه منطقه باشد تهیه گردید. ویژگی‌های آب سه تیمار شوری در جدول ۳ آمده است.

برای تعیین تأثیر تنش خشکی نیز یک درخت به‌عنوان شاهد انتخاب و تا پایان پژوهش بطور مرتب با فواصل دو تا سه روز به عمق ۱۵۰ میلی‌متر آبیاری گردید (T_0). علاوه بر آن برای مقایسه تأثیر تنش رطوبتی و شوری بر پتانسیل آب برگ و رشد رویشی، از این درخت به‌عنوان درخت بدون تنش و درختی که بطور کامل ترقق می‌کند استفاده گردید. ترتیب قرارگیری تیمارها در شکل ۲ ارایه شده است.

ارتفاع ۱۳۲۷ متر) (شکل ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و سه تکرار (۹ واحد آزمایشی) برروی درختان جوان (۷ ساله) بادام رقم آذر (*Prunus dulcis* Mill. cv. Azar) که بر روی پایه رویشی GF677 پیوند شده و به فاصله ۵ × ۴ متر کاشته شده‌اند در سال ۱۳۹۳ به انجام رسید. هر تیمار شامل ۳ درخت بود که برای کاهش خطای تأثیر اندازه درخت بر صفات مورد اندازه‌گیری، سعی گردید درختان انتخابی تا حد ممکن دارای قطر و سایه‌انداز یکسانی باشند. رقم آذر از ارقام برتر تجاری بادام بوده و دارای قدرت رشد بالایی است. دیرگل بودن این رقم باعث شده است که جایگاه ویژه‌ای بین ارقام بادام منطقه داشته باشد چراکه در مقابل سرمای دیررس بهار عکس‌العمل بهتری نشان می‌دهد. پایه GF677 دورگ بین بادام و هلو می‌باشد که قوی و تنومند بوده و عموماً به‌عنوان پایه برای باغات هلو استفاده می‌شود. این پایه که بصورت غیرجنسی و رویشی تکثیر می‌شود، در مقابل کمبود آهن مقاوم بوده (۹) و بویژه برای خاک‌های با حاصل‌خیزی کم (۶)، مقدار آب قابل استفاده پایین و آهک زیاد مناسب است (۶۱).

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای پژوهش به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارایه شده است. تیمارهای شوری شامل آبیاری با آب چاه موجود در ایستگاه (T_1)، آب لب‌شور (T_2) و آب شور (T_3) بود. با توجه به اینکه آب چاه موجود دارای شوری ۲



شکل ۱- نقشه استان آذربایجان شرقی و ایستگاه باغبانی سهند

Figure 1- Map of the east Azarbaijan province and Sahand horticultural station

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش

Table 1- Chemical properties of the soil of experimental site

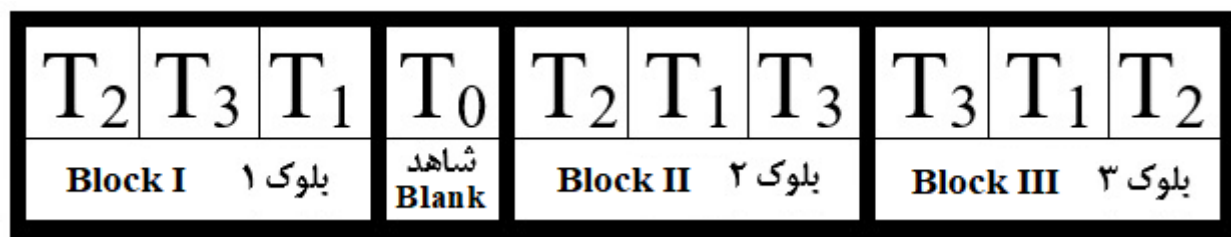
عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	واکنش گل اشباع pH	مواد خنثی‌شونده CaCO ₃ (%)	کربن آلی OC (%)	ازت کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available K
0-20	3.04	7.57	3.5	0.47	0.05	14.2	419
20-40	2.12	7.86	2.0	0.27	0.03	3.4	192
40-90	1.45	8.03	2.0	0.10	0.01	0.6	115

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی خاک محل اجرای پژوهش
Table 2- Physical properties of the soil of experimental site

Table 2 - Physical properties of the soil of experimental site									
عمق	درصد اشباع	تجزیه مکانیکی				چگالی ظاهری	رطوبت (m³.m³)		
Depth		Mechanical analysis				Bulk density	Water content		
(cm)		شن	سیلت	رس	بافت	(kg.m³)	FC (0.03MPa)	PWP (1.5MPa)	
	SP (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture				
0-20	25	87	8	5	Loamy sand	شن لومی	1.54	9.9	4.3
20-40	21	88	7	5	sand	شنی	1.63	7.5	4.4
40-90	21	89	6	5	Sand	شنی	1.58	8.3	4.1

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در آبیاری در تیمارهای مختلف
Table 3- Chemical properties of irrigation water in salinity treatments

تیمار Treatment	هدایت الکتریکی EC(dS.m ⁻¹)	pH	کربنات CO ₃ ²⁻	بی‌کربنات HCO ₃ ⁻	کلر Cl ⁻	سولفات SO ₄ ²⁻	مجموع آنیون‌ها Sum of cations	کلسیم + منیزیم Mg ²⁺ + Ca ²⁺	سدیم Na ⁺	مجموع کاتیون‌ها Sum of anions	نسبت جذب سدیم SAR
T ₁	2.16	7.56	0.0	3.4	9.0	9.6	22.0	16.2	5.8	22.0	2.0
T ₂	4.33	7.49	0.0	3.6	23.0	17.4	44.0	28.6	18.6	47.2	4.9
T ₃	5.14	7.82	0.0	4.0	28.8	18.2	51.0	26.0	25.0	51.0	6.9



شکل ۲- ترتیب قرار گرفتن تیمارها
Figure 2- Treatments layout

رابطه زیر محاسبه شد:

$$AWD = \frac{FC - \theta}{FC - PWP} \times 100 \quad (1)$$

که در آن FC ، θ و PWP به ترتیب رطوبت گنجایش مزرعه‌ای، رطوبت اندازه‌گیری شده و رطوبت نقطه پژمردگی دایم می‌باشد. همچنین با استفاده از منحنی مشخصه رطوبتی هر لایه، رطوبت‌های اندازه‌گیری شده به مکش ماتریک متناظر تبدیل شد.

برای تعیین تأثیر تیمارها بر رشد رویشی، رشد طولی شاخه و رشد قطری تنه اندازه‌گیری گردید. رشد طولی شاخه سال از محل شروع رشد آن بر روی شاخه سال قبل تا انتهای جوان‌ترین برگ از چهار جهت جغرافیایی برای هر درخت در مقاطع مختلف زمانی اندازه‌گیری شد و متوسط طول اندازه‌گیری شده برای هر تیمار محاسبه گردید. رشد تجمعی در طول دوره رشد با جمع کردن مقدار افزایش طول شاخه در هر اندازه‌گیری بدست آمد. برای اندازه‌گیری رشد قطری تنه، یکبار در شروع پژوهش و بار دیگر در پایان، قطر تنه هر درخت از دو جهت عمود بر هم توسط کولیس اندازه‌گیری شد.

با توجه به اینکه پتانسیل آب ساقه (معادل با پتانسیل آب برگ) که نزدیک ساقه اصلی قرار گرفته و تعرق ناچیز دارد) نسبت به

از اواخر اردیبهشت ماه، بعد از آبیاری اولیه همه ۱۰ درخت ۹) درخت مربوط به سه تیمار شوری T_1 ، T_2 و T_3 و یک درخت برای آبیاری کامل، T_0 به عنوان شاهد) به حجم ۲۰۰ لیتر برای هر درخت (۲۰۰ میلی‌متر در سطح یک متر مربع سایه‌انداز درخت) اندازه‌گیری‌ها شروع شد. برای بررسی تأثیر شوری بر رشد و پتانسیل آب برگ در رطوبت‌های مختلف (از گنجایش مزرعه‌ای تا نقطه پژمردگی دایم)، آبیاری‌های بعدی زمانی انجام گرفت که علایم پژمردگی برگ‌ها ظاهر شود. آبیاری هر درخت به عمق ۱۸۰ میلی‌متر به صورت تستکی و در سایه‌انداز درخت به وسعت $1/5 \times 1/5$ متر (۲/۲۵ متر مربع) صورت گرفت.

رطوبت حجمی نیم‌رخ خاک (SWC) تا عمق ۲۰، ۴۰ و ۷۰ سانتی‌متری در سه نقطه از اطراف درخت با زاویه ۱۲۰ درجه (گوشه‌های یک مثلث فرضی) به فاصله ۳۰ سانتی‌متری تنه درخت توسط TDR مدل Trase 6050 X1 اندازه‌گیری شد و از روی آن مقدار تخلیه آب قابل استفاده خاک^۱ (AWD) برای اعماق فوق توسط

1- Available water depletion

محلول خاک در تیمار شور، ریشه درخت قادر به جذب آب کافی نبوده و به همین دلیل در این تیمار رطوبت باقیمانده در خاک بیش‌تر از تیمارهای دیگر است. قطبی‌زاده و سپاس‌خواه (۱۹) نیز در گیاه وتیور (*Vetiveria zizanioides*) به این نتیجه رسیدند که شوری‌های مختلف خاک تا تخلیه ۸۰ درصد آب قابل استفاده، تأثیری بر کاهش جذب آب توسط ریشه ندارد ولی در رطوبت‌های کمتر از آن باعث کاهش جذب آب شد. به دلیل تجمع نمک در پایان فصل، بارندگی‌های پایان فصل نتوانسته‌اند شوری خاک را تعدیل نمایند.

با تبدیل رطوبت‌ها به مکش ماتریک مشخص شد که درختان در تیمارهای T_0 تا T_3 ، بطور میانگین در طول فصل به‌ترتیب تحت مکش ماتریک ۱۲، ۷۹، ۷۵ و ۵۷ کیلوپاسکال قرار داشته‌اند. علت پایین بودن مکش ماتریک در تیمار T_0 نسبت به تیمار T_1 آبیاری زیاد و علت پایین بودن مکش ماتریک در تیمارهای T_2 و T_3 شوری محلول خاک و فشار اسمزی بالا بوده است.

تخلیه آب قابل استفاده و تأثیر تیمارهای شوری بر آن

تخلیه آب قابل استفاده در طول دوره رشد و زمان‌های مختلف اندازه‌گیری بطور معنی‌داری متفاوت بود (جدول ۴). همانطوری‌که در جدول ۴ دیده می‌شود تیمارهای تنش (شوری) و زمان‌های اندازه‌گیری در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر تخلیه آب قابل استفاده در تمامی لایه‌ها داشتند. تأثیر زمان‌های اندازه‌گیری مشخص و قابل پیش‌بینی بود چرا که با گذشت زمان و جذب آب توسط درختان و یا تبخیر آب از سطح خاک میزان تخلیه آب قابل استفاده تغییر می‌یابد ولی آنچه که مهم است تأثیر تیمارهای شوری بر تخلیه آب قابل استفاده بود. همچنین تکرارهای آزمایش نیز بجز لایه ۷۰-۰ سانتی‌متری تأثیر معنی‌داری بر تخلیه آب قابل استفاده گذاشتند که نشانگر این مطلب است که درختان نیز در جذب آب از خاک رفتارهای متفاوتی با هم داشتند. تغییرات تخلیه آب قابل استفاده خاک در طول فصل رشد در شکل ۳-ب برای عمق ۴۰-۰ ارایه شده است. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود در بیش‌تر مواقع به‌جز تخلیه‌های کم (چند روز پس از آبیاری) تخلیه رطوبتی در تیمار شور (T_3) کم‌تر از تیمارهای دیگر است. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵) نیز این مطلب را تأیید می‌کند که تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متر در تیمار شور بطور معنی‌داری کم‌تر از تیمارهای دیگر است. با توجه به اینکه در رطوبت‌های زیاد، اختلاف رطوبت خاک بین تیمارها معنی‌دار نبود، می‌توان چنین استدلال نمود که در تخلیه‌های زیاد آب قابل استفاده، به دلیل افزایش فشار اسمزی محلول خاک در تیمار شور، شیب پتانسیل آب، کاهش چشمگیر داشته و علاوه بر آن مقاومت ریشه برای جذب آب افزایش می‌یابد (۵۹) در نتیجه درخت قادر به جذب آب نبوده و به همین جهت در این تیمار تخلیه رطوبتی کم‌تر از تیمارهای دیگر است.

پتانسیل آب برگ وضعیت آبی درخت را بهتر نشان می‌دهد (۵۴)، در نتیجه پتانسیل آب برگ نیم‌روز (ساعت ۱۲ تا ۱۴) در برگ‌هایی که در قسمت شمالی درخت و به‌طور کامل در سایه قرار دارد و نزدیک ساقه بود (۱۴) در دو برگ از قسمت تحتانی تاج هر درخت با دستگاه محفظه فشاری (۵۰) اندازه‌گیری شد.

دمای هوا (T_a) و رطوبت نسبی (RH) در ارتفاع ۲ متری برای ساعت ۱۲ تا ۱۴، از ایستگاه هواشناسی موجود در ایستگاه باغبانی اخذ شده و از روی آن مقدار کمبود فشار بخار هوا^۱ (VPD) محاسبه گردید (۳۳).

$$VPD = \left(\frac{1 - RH}{100} \right) e_s \quad (۲)$$

در این رابطه VPD کمبود فشار بخار هوا (kPa)، RH رطوبت نسبی (%) و e_s فشار بخار اشباع (kPa) می‌باشد که از رابطه زیر بدست آمد (۳۷):

$$e_s = 0.6107 \times 10^{7.5T_a / (237.3 + T_a)} \quad (۳)$$

نتایج بدست آمده از صفات مورد اندازه‌گیری برای تیمارهای مختلف شوری توسط نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه آماری قرار گرفت و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مقایسه گردیده و منحنی‌های همبستگی بین پارامترها توسط نرم‌افزار MS Excel رسم شد.

نتایج و بحث

توزیع رطوبت در ناحیه ریشه و تأثیر تیمارهای شوری

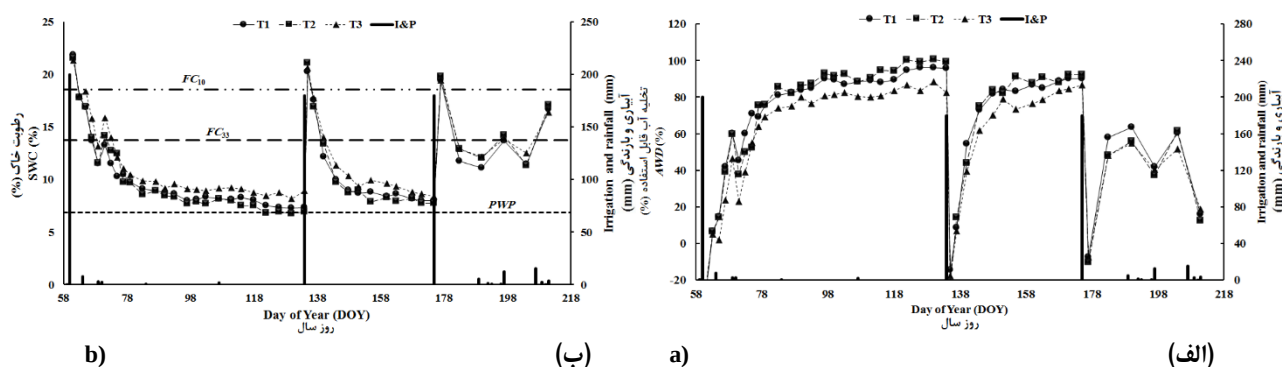
بر آن: تیمارها تأثیر معنی‌داری بر رطوبت خاک در لایه‌های مختلف داشتند (جدول ۴). تغییرات رطوبت خاک (میانگین هر لایه) در طول فصل رشد برای لایه ۴۰-۰ سانتی‌متر به‌عنوان نمونه در شکل ۳-الف ارایه شده است. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود در بیش‌تر مواقع به‌جز رطوبت‌های بالا (چند روز بعد از آبیاری) رطوبت خاک در تیمار شور (T_3) بیش‌تر از تیمارهای دیگر است. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵) نیز این مطلب را تأیید می‌کند که رطوبت نیم‌رخ خاک در تیمار شور، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار T_1 (و در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متر حتی بیش‌تر از تیمار T_2) است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود بعد از آبیاری و همچنین بارندگی‌های ابتدای فصل میزان رطوبت خاک در هر سه تیمار تقریباً نزدیک هم می‌باشد اما با گذشت زمان و کاهش رطوبت خاک، خط مربوط به تیمار T_3 از خطوط مربوط به تیمارهای T_1 و T_2 فاصله می‌گیرد و تا آبیاری بعدی در روز ۱۳۰، رطوبت در تیمار T_3 همیشه بیشتر از دو تیمار دیگر است این روند بعد از آبیاری دوم و سوم نیز دیده می‌شود. در این خصوص می‌توان چنین استدلال نمود که در رطوبت‌های کم، به دلیل افزایش فشار اسمزی

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای شوری بر رطوبت خاک و تخلیه آب قابل استفاده در اعماق مختلف

Table 4- Analysis of variance of the effect of salinity treatment on soil water content (SWC) and available water depletion (AWD)

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square									
		رطوبت حجمی خاک SWC					تخلیه آب قابل استفاده خاک AWD				
		0-20	20-40	40-70	0-40	0-70	0-20	20-40	40-70	0-40	0-70
تکرار Replication	2	38.6**	20.7*	24.2	24.6**	22.9**	1641.2**	3133.1*	2672.4*	1790.7*	1969.8
تیمار تنش Stress	3	666.2**	107.6**	748.5**	312.4**	480.4**	28342.8**	13156.2**	22954.8**	28611.1**	114734**
زمان اندازه گیری Time	42	164.1**	147.1**	100.5**	128.5**	111.5**	6982.4**	21073.5**	9946.7**	9705.5**	10769.7**
تیمار× زمان Stress×Time	126	6.84	2.61	5.70	4.15	4.78	291.58	345.13	313.20	345.40	728.61
خطا Error	382	5.8	5.4	10.8	3.7	4.2	248.0	716.3	766.0	460.6	777.8

***، ** و * به ترتیب نشانگر معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی داری می باشد.



شکل ۳- تغییرات رطوبت (الف) و آب قابل استفاده خاک (ب) (میانگین عمق ۴۰-۰) در تیمارهای مختلف در طول فصل رشد

Figure 3- Volumetric soil water contents (a) and available water depletion (b) in different treatments during the growing season

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین رطوبت حجمی خاک (%) و تخلیه آب قابل استفاده (%) در لایه های مختلف نپیرخ خاک و در تیمارهای مختلف

Table 5- Effect of treatments on soil water content (SWC) and available water depletion (AWD) at the various layers

تیمار Treatment	رطوبت حجمی خاک SWC (%)					تخلیه آب قابل استفاده خاک AWD (%)					
	0-20	20-40	40-70	0-40	0-70	0-20	20-40	40-70	0-40	0-70	
T ₀	18.06 a	14.07 a	20.46 a	16.17 a	18.13 a	25.02 c	20.55 c	-6.61 b	14.69 c	-48.22 b	T ₀
T ₁	10.36 c	11.61 c	12.26 b	10.95 c	11.55 c	75.24 a	44.91 a	37.88 a	65.01 a	54.40 a	T ₁
T ₂	10.74 bc	11.19 c	11.92 b	10.95 c	11.40 bc	72.75 ab	50.13 a	41.45 a	65.01 a	55.84 a	T ₂
T ₃	11.17 b	12.71 b	12.28 b	11.90 b	12.07 b	69.96 b	31.37 b	37.69 a	56.94 b	49.55 a	T ₃
LSD _{0.01}	0.384	0.476	0.434	0.224	0.353	2.450	0.469	3.005	0.469	3.005	LSD _{0.01}
C.V. (%)	11.05	8.60	10.20	6.15	9.35	10.22	8.03	16.07	8.03	16.07	C.V. (%)

LSD_{0.01}: Least significant difference, C.V.: Coefficient of Variation. در هر ستون اعدادی که دارای یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی دار ندارند. LSD_{0.01}: حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد، C.V.: ضریب تغییرات آزمایش. Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.01)

کلاپنتبرگ و بیگار (۲۶) نیز در مورد سورگوم به نتایج مشابهی دست یافتند. در پژوهش آنها نیز گیاهانی که در شرایط شوری کم

تیمارها تأثیر معنی‌داری بر رشد طولی شاخه سال و همچنین رشد قطری تنه درخت داشته‌اند (جدول ۶). از نظر طول شاخه سال اختلاف بین تمام تیمارها معنی‌دار بود. درخت خوب آبیاری شده بیش‌ترین و درختان تیمار شور کم‌ترین رشد طولی شاخه سال را داشتند (جدول ۷). علاوه بر تنش شوری، تنش آبی (T_1) (نمونه برداری‌های دوره‌ای حاکی از این بود که شوری متوسط خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متر در این تیمار در حدود ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر است) نیز باعث کاهش معنی‌دار رشد طولی شاخه سال گردید. مانز (۳۶) خاطر نشان ساخت که شوری توانایی گیاهان برای جذب آب را کاهش می‌دهد و سرعت باعث کاهش در سرعت رشد می‌شود. روند رشد طولی شاخه سال در طول دوره پژوهش (۱۵۰ روز) در شکل ۴ ارایه شده است.

قرار داشتند نسبت به تیمار شور، آب بیش‌تری از خاک جذب کرده بودند. مانز (۳۶) نیز عقیده دارد که شوری، توانایی گیاه را برای جذب آب کاهش می‌دهد. در پژوهش وست (۵۹) بر روی درخت سیب، افزودن محلول کلرید سدیم به هر قسمت از منطقه ریشه باعث کاهش سریع جذب آب در آن منطقه و افزایش جذب آب از قسمت‌هایی که شور نبود شد. تخلیه رطوبت قابل استفاده برای درختان بدون تنش بطور متوسط در اعماق ۲۰-، ۴۰- و ۷۰- به‌ترتیب ۱۱/۴، ۱۲/۱ و ۷/۲- درصد بود.

رشد رویشی: تأثیر تنش رطوبتی و تیمارهای شوری بر رشد طولی شاخه‌های سال و رشد قطری تنه درخت مورد بررسی قرار گرفت که نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تیمارها به‌ترتیب در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای شوری بر رشد رویشی و پتانسیل آب برگ بادام

Table 6- Analysis of variance of the effect of salinity treatment on shoot and diameter growth and leaf water potential (LWP)

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					پتانسیل آب برگ (LWP)
		شاخص‌های رشدی شاخه سال			شاخص‌های رشدی تنه		
		Shoot growth			Trunk growth		
		طول Length	درصد افزایش* Increase	سرعت رشد Growth rate	درصد افزایش قطر* Increase	سرعت رشد Growth rate	
تکرار Replication	2	328.4*	1717.6 ^{ns}	0.007*	144.3 ^{ns}	0.002 ^{ns}	2.329**
تیمار تنش Stress	3	3297.5**	2917.2 ^{ns}	0.047**	663.6**	0.005**	3.893**
زمان اندازه‌گیری Time	42	-	-	-	-	-	1.007**
تیمار× زمان Stress×Time	126	-	-	-	-	-	0.041
خطا Error	76 or 382	74.5	748.3	0.003	32.8	0.000	0.032

* Increase (%) was calculated based on increase from beginning of study to the end of growing season (150day)

* درصد افزایش در انتهای فصل رشد نسبت به شروع پژوهش (۱۵۰ روز)

76 for shoot and trunk growth traits and 382 for leaf water potential

۷۶ برای شاخص‌های رشدی و ۳۸۲ برای پتانسیل آب برگ

جدول ۷- مقایسه میانگین شاخص‌های رشد رویشی در تیمارهای مختلف

Table 7- Effect of treatments on shoot and trunk growth and Leaf water potential (LWP)

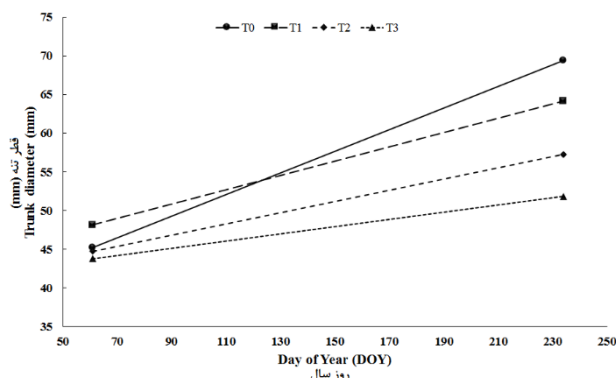
تیمار Treatment	شاخص‌های رشدی شاخه سال Shoot growth			شاخص‌های رشدی تنه Trunk growth		پتانسیل آب برگ LWP (MPa)
	طول (cm) Length	افزایش (%) Increase	سرعت رشد Growth (mm.d ⁻¹) rate	افزایش قطر (%) Increase in diameter	سرعت رشد قطر Trunk growth (mm.d ⁻¹) rate	
T ₀	104.17 a	123.68 a	4.15 a	53.47 a	0.140 a	-1.525 a
T ₁	75.43 b	73.70 ab	2.04 b	32.38 b	0.093 b	-1.778 b
T ₂	69.22 c	73.56 ab	1.88 b	27.69 bc	0.072 bc	-1.932 c
T ₃	62.17 d	49.54 b	1.27 b	18.31 c	0.047 c	-2.156 d
LSD _{0.01}	4.85	62.13	1.44	11.73	0.036	0.053
C.V. (%)	23.11	25.13	12.34	15.11	13.63	8.20

* Increase (%) was calculated based on increase from beginning of study to the end of growing season (150 days)

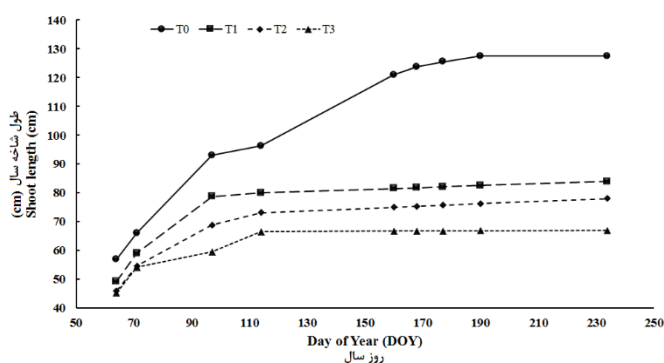
* درصد افزایش در انتهای فصل رشد نسبت به شروع پژوهش (۱۵۰ روز)

در هر ستون اعدادی که دارای یک حرف مشترک هستند اختلاف معنی‌دار ندارند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.01$)



شکل ۵- افزایش قطر تنه درختان در پایان فصل نسبت به ابتدا
Figure 5- Effect of treatments on trunk growth



شکل ۴- رشد شاخه سال در طول دوره رشد

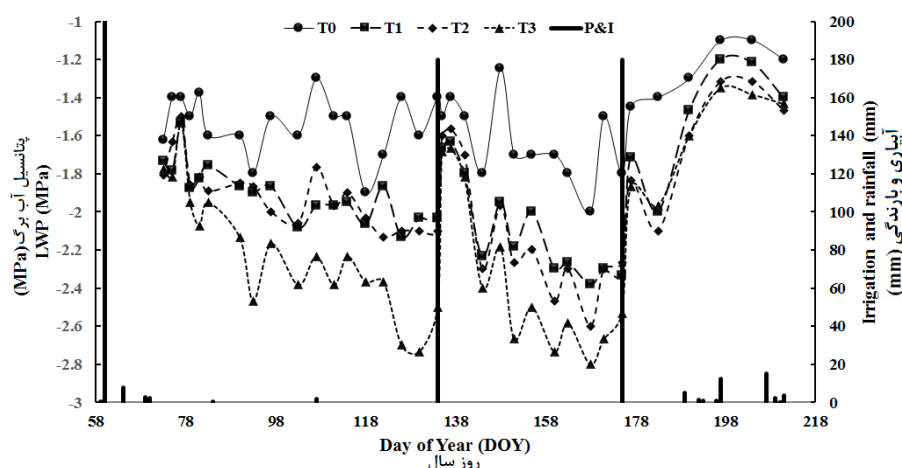
Figure 4- Shoot growth in different treatments during the growing season

پتانسیل آب برگ در تیمارهای شور عمدتاً به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک و کاهش جذب آب توسط ریشه است (۳۵). با توجه به شکل ۶ مشخص می‌شود که بعد از آبیاری اول در روز ۶۰ و بارندگی‌های پراکنده در روزهای ۶۴، ۶۹ و ۷۰، اثر تنش در روز ۷۳ بین تیمار شاهد و تیمارهای تنش در پتانسیل آب برگ پدیدار می‌شود ولی اختلاف بین تیمارهای تنش، از روز ۷۹ (تقریباً ۱۰ روز بعد) به بعد ایجاد می‌گردد. یه (۶۲) نیز در پژوهش خود بر روی بادام به این نتیجه رسید که در اثر شوری پتانسیل آب ساقه تا ۱۰ روز کاهش چشمگیری ندارد و بعد از آن شروع به کاهش می‌کند. در روز ۱۳۴ و بلافاصله قبل از آبیاری دوم اختلاف پتانسیل آب برگ در تیمارها به بیش‌ترین مقدار خود افزایش می‌یابد. ۳ روز بعد از آبیاری در روز ۱۳۷ هرچند که بین تیمارهای تنش اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما اختلاف آنها با درخت خوب آبیاری شده معنی‌دار بود. این مطلب نشان می‌دهد که حتی بعد از ۳ روز درختان تحت تنش نتوانستند با جذب آب کافی پتانسیل آب خود را احیاء مجدد کنند. روند کاهش پتانسیل آب برگ در دوره دوم خشک شدن نیز همانند دوره اول ادامه یافت با این توصیف که شیب کاهش با افزایش شوری در تیمارها بیش‌تر شد. دو روز بعد از آبیاری سوم و در روز ۱۷۷، درختان در تیمار T1 توانستند تا حدودی با جذب آب احیاء مجدد کنند ولی تجمع نمک در تیمارهای T2 و T3 مانع از این کار شد و این مسئله باعث شد که اختلاف تیمار T1 بعد از آبیاری با تیمارهای تنش شوری معنی‌دار شود. اما احیاء مجدد درختان در تیمار T1 تا حدی نبود که بتوانند پتانسیل آب خود را به حد درخت خوب آبیاری شده برسانند. در کل تا انتهای فصل، درختان تحت تنش نتوانستند پتانسیل آب برگ خود را به درخت خوب آبیاری شده برسانند. اما در اواخر فصل و از روز ۱۹۲ به بعد به علت بارندگی‌های متعدد و خنک شدن هوا پتانسیل آب برگ در تیمار T1 به حد درخت بدون تنش رسیده و اختلاف معنی‌داری نداشتند. با اینحال تجمع نمک در نیم‌رخ خاک تیمارهای T2 و T3 باعث شد که علی‌رغم این بارندگی‌ها و کاهش قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر کماکان اختلاف پتانسیل آب برگ در این تیمارها با تیمارهای T0 و T1 معنی‌دار باقی بماند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود حساسیت رشد رویشی به تنش در اوایل فصل رشد بدلیل رشد سریع‌تر، بیش‌تر از اواخر دوره رشد می‌باشد. در مورد درصد افزایش طول شاخه سال نسبت به شروع پژوهش اختلاف تیمار T0 فقط با تیمار T3 معنی‌دار بود (جدول ۷). در مورد سرعت رشد نیز تیمارهای تنش در یک گروه آماری قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری نداشتند اما تیمار بدون تنش با میانگین رشد ۴/۱۵ میلی‌متر در روز بیش‌ترین سرعت رشد را داشت.

درخصوص درصد افزایش قطر تنه در انتهای فصل رشد نسبت به شروع پژوهش تیمار بدون تنش بیش‌ترین افزایش را داشت و اختلاف آن با سایر تیمارها معنی‌دار بود. تیمار T3 نیز کم‌ترین درصد افزایش را بخود اختصاص داده بود و با تیمارهای T0 و T1 اختلاف معنی‌داری داشت. اختلاف تیمار T1 و T2 از این نظر معنی‌دار نبود (جدول ۷). گروه‌بندی آماری سرعت رشد تنه درخت همانند درصد افزایش قطر بود (جدول ۷). افزایش قطر تنه درختان در تیمارهای مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است.

پتانسیل آب برگ: تغییرات پتانسیل آب برگ در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف در شکل ۶ نشان داده شده است. تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نشان داد که تیمارهای آزمایش تأثیر معنی‌داری بر پتانسیل آب برگ در نیم‌روز داشتند. تیمار T0 (آبیاری کامل) با میانگین ۱/۵۳- مگاپاسکال بیش‌ترین و تیمار T3 (تیمار شور) با ۲/۱۶- مگاپاسکال کم‌ترین پتانسیل آب برگ را داشتند (جدول ۷). میانگین فصلی پتانسیل آب برگ در تیمارهای T1 (تنش آبی بدون شوری) و T2 (تیمار لب شور) نیز به ترتیب برابر ۱/۷۸- و ۱/۹۳- مگاپاسکال بود. نتایج هم‌چنین حاکی از اختلاف تمام تیمارها با همدیگر در سطح یک درصد بود به‌طوری‌که هر تیمار در گروه مستقل آماری قرار گرفت (جدول ۷). بیش‌ترین مقدار پتانسیل آب برگ ثبت شده برای تیمارهای T1 تا T3 به ترتیب ۱/۲۰-، ۱/۳۲- و ۱/۳۵- و کم‌ترین آن به ترتیب ۲/۳۸-، ۲/۴۷- و ۲/۷۳- مگاپاسکال بود. پتانسیل آب برگ برای تیمار بدون تنش بین ۱/۱- تا ۲/۰- مگاپاسکال نوسان داشت که در محدوده گزارش شده توسط دیگر پژوهش‌ها برای بادام (۵۴، ۱۷ و ۱۴) و زیتون (۵۲) است. کاهش



شکل ۶- تغییرات پتانسیل آب برگ (LWP) در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف
Figure 6- Leaf water potential (LWP) in different treatments during the growing season

در پژوهش زیری و همکاران (۶۳) افزایش غلظت NaCl از صفر تا ۷۵ میلی‌مولار باعث شد که پتانسیل آب برگ بادام از ۱/۲۵- به ۱/۹۵- مگاپاسکال کاهش یابد. در پژوهشی گلخانه‌ای بر روی دو رقم زیتون در کرج (۳۵)، افزایش شوری از صفر تا ۱۶۰ میلی‌مولار NaCl باعث کاهش پتانسیل آب برگ از ۰/۷- تا ۲/۰- مگاپاسکال گردید. در پژوهش لمور و همکاران (۲۷) در پسته نیز افزایش شوری آب آبیاری از صفر به ۱۹ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش پتانسیل آب برگ از ۱/۲- تا ۲/۳- مگاپاسکال شده بود. مورالس و همکاران (۳۴) به نتایج کمابیش مشابهی در درخت سدر دست یافتند. اختلاف پتانسیل آب برگ در تیمارهای ۰ و ۷۰ میلی‌مولار NaCl بعد از ۱۵ روز معنی‌دار نبود ولی در ۱۴۰ میلی‌مولار، پتانسیل آب برگ کاهش معنی‌داری داشت. بعد از ۲۸ روز، کاهش پتانسیل آب برگ در تیمار ۷۰ میلی‌مولار نیز نسبت به شاهد معنی‌دار شد.

پتانسیل آب برگ (LWP) و کمبود فشار بخار (VPD) همان‌طوری که از جدول ۸ و شکل ۷ مشخص است ارتباط معنی‌داری بین کمبود فشار بخار هوا و پتانسیل آب برگ در نیمروز وجود داشت. به‌طوری که با افزایش کمبود فشار بخار هوا (افزایش تقاضای تبخیر اتمسفر) پتانسیل آب برگ کاهش یافت این کاهش در تیمارها با افزایش شوری افزایش یافت چراکه با شور شدن محلول خاک و افزایش تنش و کاهش جذب آب توسط ریشه به‌واسطه کاهش پتانسیل اسمزی، گیاه قادر به پاسخ‌گویی به تقاضای تبخیر اتمسفر نبوده و در نتیجه پتانسیل آب برگ کاهش می‌یابد. به گفته دیگر در تیمار بدون تنش (T0) با افزایش کمبود فشار بخار، عامل کاهش پتانسیل برگ تنها تقاضای تبخیر اتمسفر است (atmosphere-induced plant water potential) اما در تیمارهای تنش خشکی (T1) و تنش شوری (T2 و T3) علاوه بر عامل تقاضای تبخیر اتمسفر عامل کاهش پتانسیل آب خاک نیز تأثیر می‌گذارد (soil-induced).

$$LWP(MPa) = -0.386 \ln(VPD) - 1.0597 \quad (4)$$

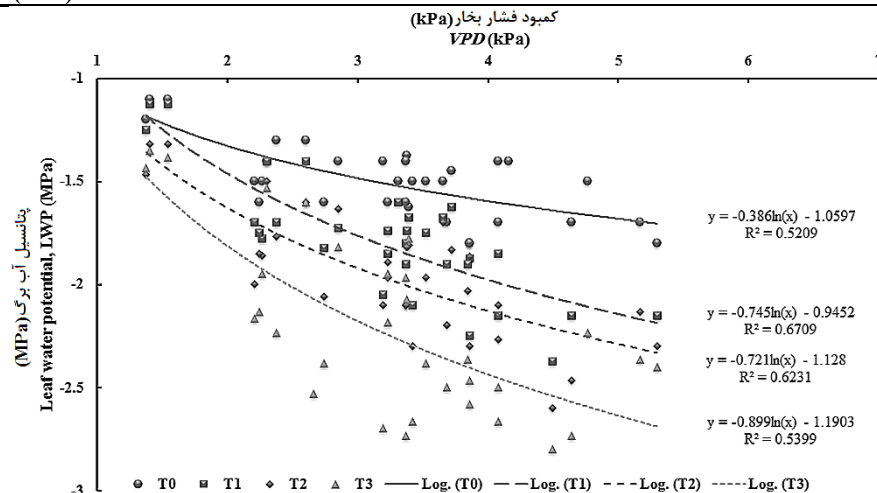
رطوبت خاک (SWC) و پتانسیل آب برگ (LWP)

همان‌طوری که از جدول ۸ مشخص است ارتباط معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ نیمروز و رطوبت خاک بویژه در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متر وجود داشت. بیش‌تر بودن همبستگی پتانسیل آب برگ با رطوبت نیم‌رخ خاک در عمق ۴۰-۰ نشانگر این است که درخت احتمالاً بیش‌تر آب مورد استفاده خود را از این عمق جذب می‌کند که با توجه به جوان بودن درختان (۷ ساله) و مقاومت مکانیکی زیاد لایه‌های تحتانی، تراکم ریشه در این عمق خاک، دور از انتظار نیست.

جدول ۸- ضرایب همبستگی (r) بین صفات مورد اندازه گیری

Table 8- Correlation matrix (absolute value) among the studied parameters (n = 39)

صفات Trait	تیمار Treatment	کمبود فشار بخار VPD				پتانسیل آب برگ LWP			
		VPD				LWP			
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
پتانسیل آب برگ LWP		0.65**	0.66**	0.66**	0.63**	-	-	-	-
رطوبت حجمی خاک SWC (0-40)		0.20 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.68**	0.66**	0.83**



شکل ۷- ارتباط پتانسیل آب برگ (LWP) نیمروز با کمبود فشار بخار هوا (VPD) در تیمارهای مختلف

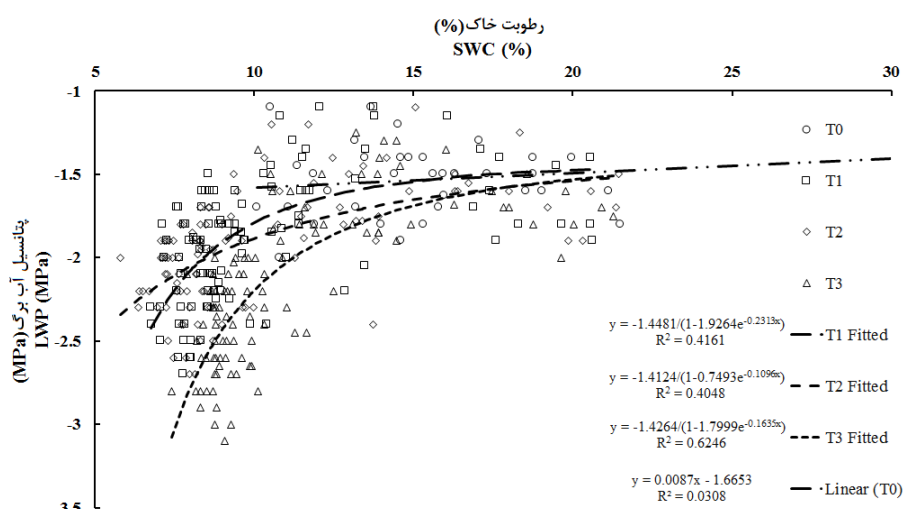
Figure 7- Relationship between the midday leaf water potential (LWP) and vapor pressure deficit (VPD) in different treatments

بدست آمده بود (نتایج ارایه نشده است) در معادلات بدست آمده (شکل ۸)، رطوبت معادل این LWP در تیمارهای T₁ تا T₃ به ترتیب ۱۰/۰۶، ۱۱/۷۶ و ۱۳/۴۸ درصد خواهد بود. یعنی برای اجتناب از تنش، رطوبت نیمرخ خاک در تیمار T₁ (بدون شوری) نباید کمتر از ۱۰ درصد باشد ولی در حالت شور (T₃) برای اجتناب از تنش، رطوبت همواره باید بیشتر از ۱۳/۵ درصد باشد که این ۳/۵ درصد رطوبت اضافی بدلیل کاهش پتانسیل آب خاک بواسطه شوری برای درخت قابل استفاده نیست.

در پژوهش رومرو و همکاران (۴۸) بر روی بادام، با کاهش رطوبت خاک در تیمار تنش از ۲۵ به ۱۵ درصد حجمی در طول فصل رشد، پتانسیل آب برگ از ۰/۵- به حداقل ۲/۵- مگاپاسکال کاهش یافت. رومرو و همکاران (۴۷) در پژوهشی دیگر ارتباط نمایی برای این دو صفت در درختان بادام بالغ برآزش کردند که معادله آن برای آبیاری قطره‌ای سطحی به صورت $LWP = -1440.93SWC^{-2.46}$ و برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به صورت $LWP = -395.01SWC^{-1.97}$ می‌باشد. در پژوهش مارسال و همکاران (۳۰) با کاهش رطوبت خاک در طول فصل، پتانسیل آب برگ در بادام کاهش یافت به طوری که با کاهش رطوبت خاک از ۰/۱۵ به ۰/۱ گرم بر گرم، پتانسیل آب برگ قبل از طلوع آفتاب از ۰/۳- به حدود ۰/۹- مگاپاسکال کاهش یافت.

رسم پتانسیل آب برگ در مقابل رطوبت حجمی خاک در عمق ۰-۴۰ سانتی متر نشان داد که روند تغییرات طوری است که معادله زیگموئیدال (مدل لاجیستیک) برآزش بهتری دارد (شکل ۸). به طوری که با افزایش رطوبت خاک، پتانسیل آب برگ افزایش می‌یابد ولی این افزایش در رطوبت‌های پایین با شیب تندتر بوده و هرچه رطوبت بیش‌تر افزایش می‌یابد آهنگ افزایش LWP کندتر می‌شود. در رطوبت‌های کمتر، اثر شوری در کاهش LWP بیش‌تر بوده و با افزایش رطوبت اثرش کاهش یافته و در رطوبت‌های حدود ۲۲ درصد خطوط مربوط به تیمارهای T₁، T₂ و T₃ باهم تلاقی پیدا می‌کنند (شکل ۸) که نشانگر از بین رفتن اثر شوری در این رطوبت به دلیل کاهش غلظت نمک‌ها می‌باشد. در مورد تیمار T₀ با توجه به اینکه رطوبت کافی همواره در خاک وجود داشت، دیکته کننده شدت تعرق، رطوبت خاک نبوده بلکه قدرت تبخیر کنندگی اتمسفر می‌باشد (۲۲) به همین جهت تغییرات پتانسیل آب برگ توسط قدرت تبخیر کنندگی اتمسفر کنترل می‌شود نه رطوبت خاک چرا که درخت برای جذب آب از خاک کاملاً مرطوب، هیچ مشکلی ندارد. به همین علت ارتباط معنی داری بین پتانسیل آب برگ و رطوبت خاک در این تیمار بدست نیامد (جدول ۸ و شکل ۸).

با قرار دادن پتانسیل آب برگ آستانه‌ای شروع تنش (۱/۷۸- مگاپاسکال) که از ارتباط بین پتانسیل آب برگ و دمای تاج درخت



شکل ۸- تغییرات پتانسیل آب برگ (LWP) نیم‌روز با رطوبت خاک (SWC) در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متر

Figure 8- Leaf water potential (LWP) as a function of soil water content (SWC) for the layer 0-40 cm during the growing season

بود که پاسخ خوبی به تنش آبی و شوری داشت و تأثیر تیمارهای پژوهش را بخوبی آشکار نمود. حد آستانه‌ای آن برای بادام در منطقه برای شرایط غیرشور ۱/۷۸-۱ مگاپاسکال تعیین شد. همبستگی معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ با رطوبت خاک دیده شد که می‌توان از آن برای تعیین فراهمی آب خاک در شوری‌های مختلف استفاده کرد. حسن استفاده از شاخص‌های گیاهی مانند پتانسیل آب برگ این است که ویژگی‌های گیاه نیز در تعیین فراهمی آب خاک دخالت داده می‌شود. همچنین همبستگی معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ و کمبود فشار بخار هوا دیده شد که نشانگر این است که پتانسیل آب برگ تحت تأثیر قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر نیز هست، لذا تأثیر ویژگی‌های آب و هوایی نیز به‌عنوان یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در فراهمی آب خاک برای گیاه دیده می‌شود و در نتیجه برای تعریف فراهمی آب خاک صرفاً به رطوبت خاک بسنده نمی‌شود. براساس نتایج بدست آمده در شرایط آب و هوایی و خاکی انجام پژوهش، کمترین رطوبت حجمی خاک برای اجتناب از تنش در شرایط غیر شور و شور به ترتیب ۱۰/۱ و ۱۳/۵ درصد بود.

در پژوهشی بر روی ۵ رقم بادام توسط گومز-لارانجو و همکاران (۱۸) هردو پتانسیل آب برگ (قبل از طلوع آفتاب و نیم‌روز) در تیمار آبیاری شده بیش‌تر از تیمار دیم بود. در پژوهشی بر روی سه رقم انگور توسط ویلیامز و آروجو (۶۰) هر سه پتانسیل آب برگ (قبل از طلوع آفتاب، نیم‌روز و پتانسیل آب ساقه نیم‌روز) در هر سه رقم بطور معنی‌داری در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ درصد ET بیش‌تر از ۵۰ درصد ET و در تیمار ۵۰ درصد ET بیش‌تر از تیمار دیم بود.

نتیجه‌گیری

تنش شوری و خشکی تأثیر معنی‌داری بر جذب آب، رشد رویشی و پتانسیل آب برگ داشت و باعث کاهش هر سه صفت شد. شوری باعث گردید که رطوبت باقیمانده خاک بیش‌تر و تخلیه آب قابل استفاده کمتر باشد به‌طوری‌که در رطوبت‌های کمتر از ۸ درصد حجمی، فراهمی رطوبت خاک برای درخت در تیمار شور کمتر از تیمار غیرشور بود. تنش شوری و خشکی تأثیر معنی‌داری بر کاهش رشد رویشی درخت از جمله رشد طولی شاخه سال و رشد قطری تنه داشت. پتانسیل آب برگ در نیم‌روز نیز یکی دیگر از پارامترهای مورد مطالعه

منابع

- 1- Aliasgharzad N. 2000. The abundance and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz plain and their inoculation effects on the improvement of salt tolerance in onion and barley. Ph.D Thesis, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Persian with English abstract)
- 2- Bartels D., and Sunkar R. 2005. Drought and salt tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci., 24: 23–58.
- 3- Carrow R.N., and Duncan R.R. 1998. Salt-affected turfgrass sites: Assessment and management. Sleeping Bear Press, Farmington Hills, MI.
- 4- Chalmers D.J., Burge G., Jerie P.H., and Mitchell P.D. 1986. The mechanism of regulation of Bartlett pear fruit and vegetative growth by irrigation with holding and regulated deficit irrigation. Journal of the American Society of Horticultural Science 111: 904–907.
- 5- Chalmers D.J., Mitchell P.D., and Vanheek L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated

- water supply, tree density and summer pruning. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 106: 307–312.
- 6- Charrera M., Parasi G.A., and Monet R. 1998. Rootstock influence on the performance of the peach variety "Catherine". *Acta Horticulturae* 465: 573–577.
 - 7- Chauvin W., Ameglio T., Prunet J.P., and Soing P. 2006. Irrigation of walnut trees managing the water potential. *Acta Horticulturae* 705: 473–477.
 - 8- Choné X., Van Leeuwen C., Dubourdieu D., and Gaudillère J.P. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany* 87: 477–483.
 - 9- El Gharbi A., and Jraidi B. 1994. Performance of rootstocks of almond, peach and peach × almond hybrids with regard to iron chlorosis. *Acta Horticulturae* 373: 91–97.
 - 10- FAO. 1994. Land degradation in South Asia: Its severity, causes and effects upon the people. *World Soil Resources Reports*. FAO, Rome.
 - 11- Flowers T.J. 1999. Salinization and horticultural production. *Scientia Horticulturae* 78: 1–4.
 - 12- Flowers T.J., and Yeo A.R. 1986. Ion relations of plants under drought and salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 75–91.
 - 13- Fulton A., Buchner R., Olson W., and Shackel K. 2001. Rapid equilibration of leaf and stem water potential under field conditions in almonds, walnuts, and prunes. *HortTechnology* 11(4): 609–615.
 - 14- García-Tejero I., Durán-Zuazo V.H., Arriaga J., Hernández A., Vélez L.M., and Muriel-Fernández J.L. 2012. Approach to assess infrared thermal imaging of almond trees under water-stress conditions. *Fruits* 67: 463–474.
 - 15- Garnier E., and Berger A. 1985. Testing water potential in peach trees as an indicator of water stress. *Journal of Horticultural Science* 60: 47–56.
 - 16- Girona J., Mata M., and Marsal J. 2005. Regulated deficit irrigation during the kernel filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management* 75: 152–167.
 - 17- Goldhamer D.A., and Fereres E. 2004. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrigation Science* 23: 11–19.
 - 18- Gomes-Laranjo J., Coutinho J.P., Galhano V., and Cordeiro V. 2006. Responses of five almond cultivars to irrigation: Photosynthesis and leaf water potential. *Agricultural Water Management* 83: 261–265.
 - 19- Ghotbizadeh M., and Sepaskhah A.R. 2015. Effect of irrigation interval and water salinity on growth of vetiver (*Vetiveria zizanioides*). *International Journal of Plant Production* 9(1): 17–38.
 - 20- Gucci R., Lombardini L., and Tattini M. 1997. Analysis of leaf water relations in leaves of two olive (*Olea europea* L.) cultivars differing in tolerance to salinity. *Tree Physiology* 17: 13–21.
 - 21- Hsiao T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24: 519–570.
 - 22- Idso S.B., and Reginato R.J. 1982. Soil- and atmosphere-induced plant water stress in cotton as inferred from foliage temperatures. *Water Resources Research* 18(4): 1143–1148.
 - 23- Jones H.G. 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany* 55(407): 2427–2436.
 - 24- Jones H.G., and Cumming I.G. 1984. Variation of leaf conductance and leaf water potential in apple orchards. *Journal of Horticultural Science* 59(3): 329–336.
 - 25- Klein I., Esparza G., Weinbaum S.A., and De Jong T.M. 2001. Effects of irrigation deprivation during the harvest period on leaf persistence and function in mature almond trees. *Tree Physiology* 21: 1063–1072.
 - 26- Kluitenberg GJ and Biggar JW, 1992. Canopy temperature as a measure of salinity stress on sorghum. *Irrigation Science* 13(3): 115–121.
 - 27- Lemeur R., Ranjbar A., and Van Damme P. 2001. Ecophysiological characteristics of two pistachio species (*Pistacia khinjuk* and *Pistacia mutica*) in response to salinity. p. 179–187. In: A.k. BE (ed.) XI GREMPA Seminar on Pistachios and Almonds. Zaragoza: CIHEAM, (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 56).
 - 28- Levitt J. 1980. Salt and ion stresses. p. 365–488. In J. Levitt (ed.) *Responses of Plant to Environmental Stresses*. Vol 2. New York, Academic Press.
 - 29- Maas E.V. 1986. Salt tolerance in plants. *Applied Agricultural Research* 1: 12–26.
 - 30- Marsal J., Girona J., and Mata M. 1997. Leaf water relation parameters in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 122: 582–587.
 - 31- McCutchan H., and Shackel K.A. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(4): 607–611.
 - 32- Monastra F., and Raparelli E., 1997. Inventory of almond research, germplasm and references, REUR Technical Series 51, FAO, Rome.
 - 33- Monteith J.L. 1973. *Principles of Environmental Physics*. Edward Arnold, London.
 - 34- Morales M.A., Alarcón J.J., Torrecillas A., and Sánchez-Blanco M.J. 2000. Growth and water relations of *Lotus creticus* plants as affected by salinity. *Biologia Plantarum* 43(3): 413–417.
 - 35- Mousavi A., Lessani H., Babalar M., Talaei A.R., and Fallahi E. 2008. Influence of salinity on chlorophyll, leaf water potential, total soluble sugars, and mineral nutrients in two young olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 31: 1906–1916.
 - 36- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25(2): 239–250.
 - 37- Murray F.W. 1967. On the computation of saturation vapor pressure. *Journal of Applied Meteorology* 6: 203–204.

- 38- Naor A. 1998. Relations between leaf and stem water potential and stomatal conductance in three field-grown woody species. *Journal of Horticultural Science Biotechnology* 73: 431–436.
- 39- Naor A. 1999. Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta Horticulturae* 537: 447–454.
- 40- Naor, A. 2000. Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta Horticulturae* 537: 447–454.
- 41- Naor A., Gal Y., and Bravdo B. 1997. Crop load affects assimilation rate, stomatal conductance, stem water potential and water relations of field-grown 'Sauvignon blanc' grapevines. *Journal of Experimental Botany* 48: 1675–1680.
- 42- Naor A., Hupert H., Greenblat Y., Peres M., and Klein I. 2001. The response of nectarine fruit size and midday stem water potential to irrigation level in stage III and crop load. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126: 140–143.
- 43- Naor A., Naschitz S., Peres M., and Gal Y. 2008. Responses of apple fruit size to tree water status and crop load. *Tree Physiology* 28(8): 1255–1261.
- 44- Nortes P.A., Pérez-Pastor A., Egea G., Conejero W., and Domingo R. 2005. Comparison of changes in stem diameter and water potential values for detecting stress in young almond trees. *Agricultural Water Management* 77: 296–307.
- 45- Peretz J., Evans R.G., and Proebsting E.L. 1984. Leaf water potentials for management of high frequency irrigation on apples. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 27: 437–442.
- 46- Rahimi Eichi V. 2013. Water use efficiency in almond (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb). M.Sc. thesis. School of Agriculture, Food and Wine. Faculty of Science. University of Adelaide.
- 47- Romero P., Botía P., and Garcia F. 2004a. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. *Plant and Soil* 260: 155–168.
- 48- Romero P., Navarro J.M., Garcia F., and Ordaz P.B. 2004b. Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas exchange, leaf development and crop yield of mature almond trees. *Tree Physiology* 24: 303–312.
- 49- Ruíz-Sánchez M.C., Torrecillas A., Del Amor F., Leon A., and Abrisqueta J.M. 1988. Leaf water potential and leaf conductance during the growing season in almond trees under different irrigation regimes. *Biologia Plantarum* 30(5): 327–332.
- 50- Scholander P.F., Hammel H.T., Bradstreet E.D., and Hemmingsen E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339–346.
- 51- Sdoodee S., and Somjun J. 2008. Measurement of stem water potential as a sensitive indicator of water stress in neck orange (*Citrus reticulata* Blanco). *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 30(5): 561–564.
- 52- Sepulcre-Cantó G., Zarco-Tejada P.J., Jiménez-Muñoz J.C., Sobrino J.A., de Miguel E., and Villalobos F.J. 2006. Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. *Agricultural and Forest Meteorology* 136: 31–44.
- 53- Shackel K. 2011. A plant-based approach to deficit irrigation in trees and vines. *Horticultural Science* 46(2): 173–177.
- 54- Shackel K.A., Ahmadi H., Biasi W., Buchner R., Goldhamer D., Gurusinghe S., Hasey J., Kester D., Krueger B., Lampinen B., McGourty G., Micke W., Mitcham E., Olson B., Pelletrau K., Philips H., Ramos D., Schwankl L., Sibbett S., Snyder R., Southwick S., Stevenson M., Thorpe M., Weinbaum S., and Yeager J. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTechnology* 7(1): 23–29.
- 55- Shackel K.A., Lampinen B., Sibbett S., and Olson W. 2000. The relation of midday stem water potential to the growth and physiology of fruit trees under water limited conditions. *Acta Horticulturae* 537: 425–430.
- 56- Shannon M.C., Grieve C.M., and Francois L.E. 1994. Whole-plant response to salinity. p. 199–244. In R.E. Wilkinson (ed.) *Plant-Environment Interactions*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- 57- Tardieu F., and Simonneau T. 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany* 49: 419–432.
- 58- Tuteja N. 2007. Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in Enzymology* 428: 419–438.
- 59- West D.W. 1978. Water use and sodium chloride uptake by apple trees I. The effect of non-uniform distribution of sodium chloride in the root zone. *Plant and Soil* 50(1–3): 37–49.
- 60- Williams L.E., and Araujo F.J. 2002. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127: 448–454.
- 61- Yadollahi A., and NazaryMoghadam A.R. 2012. Micropropagation of GF677 rootstock. *Journal of Agricultural Science* 4(5): 131–138.
- 62- Ye Z. 2016. Salinity stress, a key factor affecting almond tree stem water potential. Available at: <https://ysp.ucdavis.edu/content/salinity-stress-key-factor-affecting-almond-tree-stem-water-potential>. (visited 6 May 2019).
- 63- Zrig A., Ben Mohamed H., Tounekti T., Ennajeh M., Valero D., and Khemira H. 2015. A Comparative Study of Salt Tolerance of Three Almond Rootstocks. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17: 675–689.



The Effects of Simultaneous Drought and Salinity Stresses on Growth, Water Uptake and Leaf Water Potential of Almond in Semi-Arid Condition

A. Onnabi Milani^{1*} - M. Zarrinbal²

Received: 22-12-2018

Accepted: 11-11-2019

Introduction: Almond (*Prunus dulcis*) has an important role in the agricultural economy of north-west of Iran, especially Azerbaijan provinces. Due to arid and semi-arid conditions of our country, large areas of cultivated land are affected by salinity. Almond trees have good tolerance to water stress, and are suitable for such conditions. However, sensitivity of almond trees to salinity calls for special attention to the integrated effect of salinity and water stress on its water relations. This trial aimed to evaluate the combined effect of salinity and drought stress on water uptake, vegetative growth and leaf water potential (LWP) of almond trees.

Materials and Methods: The experiment was conducted at the Sahand Horticultural Station located in East Azerbaijan, Iran (37° 55' 43" N, 45° 57' 29" E) during 2014 growing season at 7 years old almond (cv Azar) trees grafted on GF677 rootstock based on randomized complete block design with three replications. Treatments comprised three irrigation salinity levels viz. 2 (T₁), 4 (T₂), and 5 (T₃) dSm⁻¹. The soil of the experiment site was coarse loamy mixed calcareous mesic typic xerofluvents. Undisturbed and composite disturbed soil samples were taken from three diagnostic layers. Twelve undisturbed core samples were taken from each layer. Composite disturbed soil samples were air-dried and ground to pass a 2-mm sieve. All the appropriate soil chemical (Organic matter and Calcium carbonate content, pH and EC, Total N, Available P and K) and physical (Particle size distribution, natural bulk density) properties were measured by the routine laboratory methods. Water contents at field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP) were determined by the pressure plate apparatus. After irrigation of all trees with 200 mm water enough for saturating of soil in rooting depth on 20th of May, the measurements began. The volumetric soil water content (SWC) was measured at three locations around each tree 30 cm apart from tree trunk at three depths (0-20, 0-40 and 0-70) using a TDR probe. During the experiment (20th May till 17th October), air temperature and relative humidity were obtained from the meteorological site located in the station. The midday leaf water potential (LWP) was measured from the leaves located in north part of trees close to stem between 12 and 14 o'clock.

Result and Discussion: Results indicated that salinity has significant effect ($p < 0.01$) on LWP, vegetative growth and remaining water content. The difference between T₃ and other treatments was not significant in SWC more than 8%. Therefore, it is obvious that, at SWC less than 8%, reduction in soil water potential due to increased osmotic pressure of soil solution in T₃ have caused that, trees unable to uptake more water. Therefore, at SWCs less than 8%, remaining water content in T₃ was significantly more than other treatments. Seasonal averages of annual vegetative growth and increase in trunk diameter in unstressed tree was 104 cm and 53%, respectively and decreased to 62 cm and 18% in T₃ respectively. Seasonal averages of LWP for treatment T₁ to T₃ were -1.78, -1.93 and -2.16 MPa respectively. Whereas unstressed trees had highest LWP (-1.53 MPa). Highest and lowest LWP for treatment T₁ to T₃ were -1.20, -1.32 and -1.35 and -2.38, -2.47 and -2.73 MPa respectively. LWP of unstressed trees was between -1.1 and -2.0 MPa. There was significant negative correlation between LWP and VPD. The slope of regression equation increased as stress severity increased. This means that, for a given VPD, leaf water potential was declined with increase in salinity of irrigation water. LWP is affected by two stresses namely evaporative demand of the atmosphere (atmospheric-induced stress) and unavailability of water due to the reduction of soil water content (soil-induced stress). In well-watered plants, LWP is affected only by atmospheric factors (VPD) and therefore the relationship between LWP and SWC should not be significant as it took place in our experiment for unstressed trees. But there was a significant relationship between LWP and SWC in stressed treatments (T₁ to T₃) because of soil-induced stress. Threshold value of LWP for initiating stress was obtained to be -1.78 MPa. Based on the threshold LWP, values of SWC for initiating stress for treatment T₁ to T₃ can be 10.1, 11.8 and 13.5%, respectively.

Conclusion: Based on our findings, the midday leaf water potential is a suitable criterion for determining water status of almond trees in the studied area and can be used as an indicator for tree water and salinity

1- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran

(*- Corresponding Author Email: a_o_milani@yahoo.com)

2- Ph.D Student, Seed and Plant Improvement Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran

stresses. Irrigation water salinity had significant effect on LWP. Due to relationship between LWP and soil water content (SWC), this indicator can be used for determination of soil available water and non-limiting water range of almond trees. Besides LWP, salinity also had a significant effect on vegetative growth and extractable soil water content. At high water content, the effect of salinity on extractable water content was not significant. But with decreasing water content, the effect of salinity increased so that, at SWC less than about 8%, the remaining SWC in saline condition was significantly higher than non-saline condition (extractable water in the saline condition was less than non-saline condition). Salinity also reduced soil available water range of almond trees., LWP reached to its threshold value (-1.78 MPa) at SWC equal to 10 and 13.5% in non-saline and saline condition respectively.

Keywords: Soil water content, Stem water potential, Trunk diameter, Vapor pressure deficit



اثر اسید هیومیک بر فراهمی کود فسفر و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه کلزا

آمنه جهاننیده^۱ - مجتبی بارانی مطلق^{۲*} - اسماعیل دردی پور^۳ - رضا قربانی نصرآبادی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷

چکیده

فسفر در مقایسه با دیگر مواد مغذی ضروری، دارای تحرک و قابلیت دسترسی کمتر برای گیاهان است. اگر چه فسفر به اشکال آلی و غیر آلی در خاکها فراوان است، اما اغلب عامل مهم یا حتی محدود کننده اصلی برای رشد گیاه است. در این پژوهش اثرات مصرف همزمان اسید هیومیک و کود فسفر و روشهای کاربرد آن بر صفات فیزیولوژیک و فراهمی فسفر در گیاه کلزا (رقم هایولا ۵۰) مورد بررسی قرار گرفت، بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار به صورت گلدانی به اجرا درآمد. تیمارهای شامل فسفر در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم کود سوپرفسفات تریپل بر کیلوگرم خاک)، اسید هیومیک در سه سطح (۰، ۵/۵ و ۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و روشهای کاربرد همزمان اسید هیومیک و فسفر بود. اثرات متقابل اسید هیومیک و فسفر و روشهای کاربرد آن بر تمام صفات اندازه گیری شده در سطح یک درصد معنی دار شد. نتایج اثرات متقابل سه جانبه سطوح اسید هیومیک، سطوح فسفر و روشهای کاربرد نشان داد که بیشترین مقادیر در انواع کلروفیل (a، b و ab) و کارتنوئید در تیمار کودی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر و سطح ۱ گرم بر کیلوگرم مصرف همراه با آب آبیاری اسید هیومیک به دست آمد. بیشترین مقدار غلظت فسفر اندام هوایی با میانگین ۰/۳۰ درصد در تیمار یک گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک همراه با آب آبیاری با سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر مشاهده شد هر چند با تیمار ۰/۵ گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک همراه با آب آبیاری از لحاظ آماری اختلاف نداشت. بیشترین مقدار فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن با میانگین ۴۱/۱۶ میلی گرم بر کیلوگرم و روش سلطان پور و شواب با میانگین ۵/۲۴ میلی گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر و مصرف خاکی یک گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک بود. همچنین همبستگی بالا و معنی داری بین فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن و سلطان پور و شواب با صفات مورد مطالعه مشاهده شد. به نظر می رسد که استفاده از فسفر همراه با اسید هیومیک، بیشتر از کاربرد فسفر به تنهایی، می تواند باعث افزایش فسفر قابل دسترس در خاک و نیز غلظت فسفر در گیاه کلزا (هایولا ۵۰) شود.

واژه های کلیدی: اندام هوایی، کلروفیل، کارتنوئید، وزن تر و خشک

مقدمه

بهینه، مهم می باشد. به دلیل شیمی پیچیده فسفر در خاک، تقریباً ۱۵ تا ۳۰ درصد فسفر مصرف شده، مورد استفاده گیاه قرار می گیرد و بقیه آن در خاک تثبیت شده و به شکل غیر قابل دسترس برای گیاه تجمع می یابد (۴۷). مصرف غیرواصولی و بلندمدت کودهای شیمیایی سبب تخریب تدریجی کیفیت خاک، کاهش ارزش کیفی محصول، برهم زدن تعادل اکوسیستم و گسترش آلودگی محیطی شده است. لزوم سلامت محصولات تولید شده در نظامهای مختلف کشاورزی از نظر وجود بقایای سموم و مواد شیمیایی و تأثیر آنها بر سلامت انسان و محیط زیست، سبب شده است تا روشهای تولید و نهادهای بکار رفته مورد توجه خاص قرار گیرند. از مهم ترین مسائل مؤثر بر سلامت محیط زیست و پایداری تولید غذا، کاربرد کودهای آلی به جای کودهای شیمیایی می باشد (۴۱). استفاده از انواع کودهای طبیعی از جمله اسید هیومیک بدون اثرات مخرب زیست محیطی به خصوص در شرایط متغیر محیطی می تواند مثر ثمر واقع شود، لذا از اسید هیومیک به عنوان کود آلی دوستدار طبیعت نام برده می شود. اسید هیومیک در آب به خوبی حل شده و با کودهای دیگر مایع، قابل اختلاط می باشد و می توان آن را از طریق محلول پاشی، مصرف خاکی

فسفر در بسیاری از فرآیندهای مهم رشد گیاه دخیل می باشد و نقش اساسی در ذخیره و انتقال انرژی دارد. فسفر عنصری ضروری در مولکول DNA و RNA، فسفولیپیدها، فسفوپروتئینها، کوآنزیمها و نوکلئوتیدها بوده و جزء ترکیبات مهم ساختمان غشا سلولی بوده و لذا در رشد و توسعه اندامهای زایشی (میوه و بذر) نیز دخیل می باشد (۲۲). حرکت فسفر در خاک عمدتاً به صورت انتشار بوده و شیب غلظتی که در نتیجه جذب فسفر توسط گیاه به وجود می آید، عامل اصلی انتشار فسفر در خاک است (۵). ناکافی بودن جذب فسفر توسط ریشه، محدودیت مهمی در رشد گیاهان به شمار می رود (۴۰). از این رو، مدیریت مناسب کودهای فسفر برای به دست آوردن محصول

۱، ۲، ۳ - به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیاران و استادیار، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(Email: mbarani@gau.ac.ir)
(*) - نویسنده مسئول
DOI: 10.22067/jsw.v33i6.77449

و سیستم‌های آبیاری تحت فشار مورد استفاده قرار داد (۴۱). اسید هیومیک از طریق اثرات هورمونی و با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و با قدرت کی‌لیت‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی، سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (۳۴). افزون بر این، اسید هیومیک باعث افزایش جذب نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم و همچنین کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه می‌گردد (۴۸). اسید هیومیک حاوی بسیاری از عناصر غذایی نیز می‌باشد که حاصلخیزی خاک و محتوای مواد آلی خاک را افزایش و در نتیجه رشد و عملکرد گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۱). هارپر و همکاران (۲۰) گزارش کردند که دسترسی به کلسیم و فسفر در حضور اسید هیومیک از طریق جلوگیری از ایجاد نمک غیرمحللول فسفات کلسیم افزایش می‌یابد. واریندرپال و همکاران (۵۱) گزارش کردند که فسفر در خاک واکنش‌های گوناگونی مانند جذب سطحی، رسوب، تثبیت و رهاسازی دارد. از جمله عوامل مؤثر بر واکنش‌های فسفر در خاک زمان است. معمولاً استفاده از کودهای آلی، جذب فسفر، بیشینه ظرفیت بافری و انرژی پیوندی را کاهش و غلظت فسفر را در محلول خاک افزایش می‌دهد. مواد آلی می‌تواند به صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود یا به عنوان پیونددهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفر آلی عمل نماید. در تمامی موارد، قابلیت استفاده فسفر برای گیاه افزایش می‌یابد و به تدریج فسفر در محلول خاک آزاد می‌شود (۴). مواد آلی سطوح کربنات کلسیم را اشغال و از تشکیل رسوب هیدروکسی آپاتیت جلوگیری می‌کنند (۲۴). لایتن و وسترم (۳۰) گزارش کردند که کمپلکس‌های آلی فلزی، با جذب فسفر از محلول خاک و تشکیل پل کاتیونی بین فسفر و کربن آلی، سبب خروج فسفر از محلول خاک می‌شوند. فسفر و اسید هیومیک از عوامل محرک رشد رویشی، بهبود رشد زایشی و افزایش عملکرد کمی و کیفی در انواع گیاهان به شمار می‌روند. در این بین تأثیرات مثبت به مقدار و چگونگی مصرف آنها بستگی دارد. در این راستا، این پژوهش با هدف بررسی اثرات مصرف هم‌زمان اسید هیومیک و کود فسفر و روش‌های کاربرد آن بر فراهمی فسفر در گیاه کلزا (هایولا ۵۰) و همچنین بررسی ضرایب همبستگی بین فسفر استخراج شده به روش‌های مختلف عصاره‌گیری با غلظت فسفر و شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه کلزا انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، تأثیر کاربرد هم‌زمان اسید هیومیک و کود فسفر بر فراهمی فسفر و انواع کلروفیل (a، b و کل) در گیاه کلزا (رقم هایولا ۵۰) مورد بررسی قرار گرفت. خاک مورد استفاده از عمق ۳۰- صفر سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی شماره ۱ دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با مختصات جغرافیایی 36° 49' 39.34 N و 54° E: 25.56 19' برداشت شد و پس از هوا خشک کردن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک (۷) کربنات کلسیم معادل به

روش خنثی‌سازی با اسید (۳۷)، pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، کربن آلی (۵۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۱۰)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (۹)، فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن (۳۶) و پتاسیم قابل استفاده با استفاده از استات آمونیوم (۷) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). سپس آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار به صورت گلدانی به اجرا درآمد. تیمارها شامل فسفر در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم کود سوپر فسفات تریپل بر کیلوگرم خاک) و اسید هیومیک در سه سطح (۰، ۵/۵ و ۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و روش‌های مختلف مصرف هم‌زمان اسید هیومیک و کود فسفر بود. اسید هیومیک و کود فسفر به شکل‌های مختلف باهم مخلوط و مصرف شدند که عبارتند از: اختلاط خاکی و هم‌زمان اسید هیومیک و کود فسفر، حل نمودن اسید هیومیک و فسفر در آب آبیاری و کاربرد آنها همراه با آب آبیاری، کود فسفر پوشش داده شده^۱ با اسید هیومیک جامد قبل از کاربرد در خاک بود. اسید هیومیک مورد استفاده در این آزمایش اسید هیومیک ۸۰ درصد (شرکت J.H.BIOTECH، آمریکا) با نام تجاری هیومکس (Humax-95WSG) بود (جدول ۲). بر اساس آزمون خاک عناصر نیتروژن و پتاسیم لازم جهت کوددهی خاک از منبع‌های اوره و سولفات پتاسیم و عناصر کم مصرف از منبع سولفات تأمین شد. مصرف کود پتاسیم و عناصر کم مصرف در زمان کاشت گیاه ولی کود نیتروژن به سه قسمت مساوی و در سه مرحله کاشت، به ساقه رفتن و گلدهی به گلدان‌ها اضافه شد. سپس تعداد ۱۰ عدد بذر در هر گلدان در عمق ۲ سانتی‌متری خاک کاشته شد. پس از سبز شدن و گذشت دو هفته، تعداد بوته‌ها به چهار عدد در هر گلدان تقلیل یافت. عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز با دست انجام گرفت. رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ظرفیت مزرعه به روش وزنی تأمین شد. آنگاه پس از پایان دوره رشد (به مدت ۱۵۸ روز) گیاهان برداشت و با آب شهری سپس با آب مقطر شسته و روی تورهای پلاستیکی پخش شد تا آب اضافی موجود در سطح آنها حذف شود. سپس وزن تر نمونه‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. بلافاصله نمونه‌ها داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و بعد از آن وزن خشک آنها اندازه‌گیری گردید. هضم نمونه‌های گیاهی با روش خشک سوزانی انجام گرفت (۲۵). اندازه گیری غلظت فسفر عصاره‌های گیاهی با روش مولبیدات وانادات یا روش زرد (۱۵) و میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید در برگ‌ها با استفاده از روش بارس (۶) اندازه‌گیری شد. به منظور استخراج کلروفیل و کارتنوئید ابتدا ۵/۵ گرم برگ تر از هر تکرار توزین و با ۱۰ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکسید (DMSO) مخلوط شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها در آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت، از عصاره حاصل ۱ میلی‌لیتر برداشته شد و با

درصد معنی‌دار بود لکن اثر متقابل سه‌گانه اسید هیومیک، فسفر و کاربرد روش‌های آن بر وزن خشک اندام‌های هوایی معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح مختلف اسید هیومیک و سطوح فسفر و روش کاربرد آنها نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک اندام‌های هوایی به ترتیب با میانگین ۸۰/۴۹ و ۱۴/۱۸ گرم در گیاه مربوط به تیمار یک گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک و غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر به صورت مصرف همراه با آب آبیاری بود (جدول ۴). فاطمی و همکاران (۱۷) گزارش کردند که کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک و تر برگ ریحان شد. اسید هیومیک با حفظ بافت فتوسنتزی، وزن خشک گیاه را افزایش می‌دهد (۵۰). طالبی و همکاران (۴۹) گزارش کردند که غلظت‌های مختلف اسید هیومیک تأثیر مثبتی در افزایش وزن تر و خشک برگ و قطر ساقه گل رز مینیاتور رقم هفت رنگ داشت. همچنین بوهمه و همکاران (۸) بیان کردند که اسید هیومیک در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای باعث بهبود رشد گیاه از طریق افزایش طول ریشه و افزایش وزن تر و خشک، ساقه و ریشه شد. رستمی و شکوهیان (۴۲) در بررسی اثرات متقابل اسید هیومیک و ازت مشاهده کردند که بیشترین وزن تر بخش‌های هوایی با میانگین ۷۷/۷ گرم در بوته در سطح ازت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و کاربرد خاکی ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک بدست آمد.

همچنین فرجامی و نبوی کلات (۱۶) در بررسی اثرات متقابل اسید هیومیک و فسفر نشان دادند که بیشترین وزن خشک گل همیشه بهار در سطح ۱۰ کیلوگرم اسید هیومیک و ۶۰ کیلوگرم در هکتار فسفر بدست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده به احتمال زیاد اسید هیومیک از طریق کمک به فرآیند ریشه‌زایی در گیاه باعث افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن و فسفر گردیده که با توجه به نقش مهم این دو عنصر در ساخت کلروفیل و پروتئین‌های دخیل در فتوسنتز، افزایش جذب آنها منجر به افزایش فتوسنتز و به دنبال آن افزایش تولید ماده خشک و وزن خشک اندام هوایی شده است.

DMSO به حجم ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. از DMSO خالص به عنوان شاهد استفاده شد. نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳، ۴۸۰، ۵۱۰ نانومتر قرائت شدند و با استفاده از فرمول‌های زیر کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید محاسبه گردید. در این روابط، A بیانگر جذب طول موج بر حسب نانومتر، V حجم نهایی کلروفیل در استون و W وزن تر بافت بر حسب گرم می باشد:

غلظت کلروفیل a =

$$12.7(663A) - 2.69(645A) * V / W * 1000 \quad (۱)$$

غلظت کلروفیل b =

$$22.9(645A) - 4.68(663A) * V / W * 1000 \quad (۲)$$

غلظت کلروفیل کل =

$$20.9(645A) - 8.02(663A) * V / W * 1000 \quad (۳)$$

غلظت کارتنوئید =

$$7.6(480A) - 1.49(510A) * V / W * 1000 \quad (۴)$$

پس از برداشت گیاهان، بلافاصله خاک گلدان‌ها هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس مقدار فسفر خاک توسط بی کربنات آمونیوم - دی تی پی ای (۴۵) و بی کربنات سدیم (۳۶) تعیین شد. تجزیه نتایج آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS 9.0 انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح اسید هیومیک، سطوح فسفر و روش‌های کاربرد آن‌ها بر وزن تر و خشک اندام هوایی و رنگدانه‌های فتوسنتزی (a، b و کارتنوئید) گیاه کلزا در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی تیمارهای مورد بررسی و اثرات متقابل آنها بر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در سطح یک

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Some soil physical and chemical characteristics used in the experiment

بافت خاک Soil texture	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	کربن آلی OC (%)	pH	هدایت الکتریکی (dS/m) EC	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol ⁺ /kg)	پتاسیم K (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	نیتروژن N (%)
سیلتی لوم Silty loam	14.47	18.3	67.25	0.95	7.83	0.92	9.86	448.87	6.46	0.0045

جدول ۲- خصوصیات اسید هیومیک مورد استفاده در پژوهش

Table 2- Characteristics of humic acid used in the research

نام تجاری Trade name	اکسید پتاسیم K ₂ O	اسید فولیک Fluic acid	اسید هیومیک Humic acid
هومیکس-۹۵ Humax-95WSG	%5	%15	%80

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح اسید هیومیک، سطوح فسفر و روش‌های کاربرد آن‌ها بر وزن تر و خشک اندام هوایی و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه کلزا

Table 3- Analysis of variance of the effect of humic acid levels, p levels and methods of their application on wet and dry above ground yield and photosynthetic pigments of canola

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll l	کارتنوئید Carotenoid
روش مصرف Application method	2	247.53**	5.41**	0.88**	0.03**	1.24**	0.008**
سطوح اسید هیومیک HA levels	2	3753.20**	115.36**	7.79**	0.54**	12.25**	0.79**
سطوح فسفر P levels	4	1600.55**	52.10**	5.14**	0.50**	8.78**	0.50**
روش مصرف * سطوح اسید هیومیک Application method × HA levels	4	41.97**	1.71**	0.17**	0.015**	0.29**	0.0004**
روش مصرف * سطوح فسفر Application method × P levels	4	40.29**	0.82**	0.17**	0.005**	0.22**	0.002**
سطوح اسید هیومیک * سطوح فسفر HA levels × P levels	4	127.04**	2.94**	0.13**	0.029**	0.25**	0.06**
اثرات متقابل سه جانبه Interaction tripartite	8	10.38**	0.23ns	0.03**	0.01**	0.06**	0.002**
اشتباه آزمایشی Error		1.10	0.22	0.007	0.001	0.009	0.00004
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		2.17	5.21	2.62	3.82	2.33	0.76

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.
ns, * and **: non-significant, significant at significance levels of 5% and 1% , respectively.

گیاه می‌تواند ساخت رنگدانه‌ها را افزایش دهد و انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه راحت‌تر کند (۳۵). ابوعلی و مادی (۱) گزارش کردند که در اثر کاربرد اسید هیومیک در گیاه گندم کلروفیل a ۳۳ تا ۳۸/۶ درصد و کلروفیل b ۵۳/۱۰ تا ۲۷/۸ درصد افزایش یافت. کودهای شیمیایی برای رشد سریع گیاه بدلیل حلالیت مواد غذایی و جذب سریع آنها و عدم نیاز به تجزیه ارگانیک در کشاورزی مورد نیاز بوده و در تلفیق با کودهای آلی مانند اسید هیومیک کارایی و اثرات بیشتری خواهند داشت. همانگونه که از نتایج مشخص است با افزایش فسفر مقدار کلروفیل a و b در گیاه کلزا افزایش یافت از طرف دیگر کاربرد اسید هیومیک توانست از طریق جلوگیری از تثبیت فسفر و فراهمی عناصر غذایی مقدار این رنگدانه‌ها را افزایش دهد. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نحوه کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک در تیمارهای مختلف فسفر نشان داد که بیشترین کلروفیل کل با میانگین ۵/۶۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ مربوط به تیمار ۱ گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک و غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر به صورت مصرف همراه با آب آبیاری بود.

اثر سطوح اسید هیومیک، سطوح فسفر و روش‌های کاربرد آن‌ها بر انواع کلروفیل (a, b و کل) و کارتنوئید در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه داده‌ها نشان داد که بیشترین مقادیر کلروفیل a و b به ترتیب با میانگین ۴/۴۷ و ۱/۲۰ میلی گرم در گرم وزن تر برگ در تیمار کودی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر و سطح ۱ گرم بر کیلوگرم مصرف همراه با آب آبیاری اسید هیومیک بدست آمد هر چند که با تیمار ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر و سطح ۰/۵ گرم بر کیلوگرم مصرف همراه با آب آبیاری اسید هیومیک و تیمار ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر و سطح ۱ گرم بر کیلوگرم مصرف فسفر پوشش‌دار و اسید هیومیک اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). کلروفیل رنگدانه اصلی جذب نور و فتوسنتز است. موادی نظیر فسفر، نیتروژن، پتاسیم و آهن در تشکیل کلروفیل استفاده می‌شوند که مصرف اسید هیومیک موجب فراهمی بیشتر این عناصر برای گیاه می‌گردد (۲۸). اسید هیومیک از طریق قدرت کی‌لیت‌کنندگی عناصر غذایی و با کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه قرار دادن آب و مواد غذایی بیشتر و مناسب‌تر در اختیار

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سطوح اسید هیومیک، سطوح فسفر و روش‌های کاربرد آن‌ها بر وزن تر و خشک اندام هوایی و رنگدانه‌های فتوسنتزی کلزا

Table 4- Compare of means for interactions of humic acid levels, p levels and methods of their application on wet and dry above ground yield and photosynthetic pigments of canola

	سطوح اسید هیومیک Humic acid levels	سطوح فسفر p Levels	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight (gr/plant)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (gr/plant)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g ⁻¹)	کارتنوئید Carotenoid (mg.g ⁻¹)
مصرف خاکی Soil application	0	0	30.69p	5.43m	2.47n	0.63m	3.10n	0.55r
		50	38.97n	7.53j	2.66m	0.69kl	3.36m	0.68o
		100	42.08l	7.47kj	2.75lm	0.77ifhjg	3.52l	0.76l
	0.5	0	41.45l	7.91ij	2.74lm	0.66ml	3.40lm	0.75n
		50	47.20ih	9.30ef	3.25hg	0.80fe	4.05gf	0.85i
		100	51.95f	9.75ed	3.66c	0.90d	4.56c	0.96g
	1	0	50.40g	9.60ed	3.11hi	0.75ihjg	3.86ih	0.76mln
		50	61.30d	11.54c	3.40fe	0.83e	4.23ed	1.05e
		100	72.40b	13.13b	3.73c	1.11b	4.85b	1.19bc
مصرف همراه با آب آبیاری Use with irrigation water	0	0	29.95p	5.72m	2.29o	0.64m	2.93o	0.59q
		50	39.49mn	7.60j	2.94jk	0.74ikj	3.68jk	0.68o
		100	43.84k	8.41hig	3.11hi	0.79ifheg	3.90gih	0.80j
	0.5	0	44.70kj	7.97hij	2.83lk	0.72kj	3.55lk	0.78k
		50	52.01f	9.35ef	3.60dc	0.76ifhjg	4.37d	0.89h
		100	57.34e	10.26d	3.97b	0.95dc	4.92b	0.98f
	1	0	48.02h	9.07efg	3.33fg	0.79fhg	4.13ef	0.76ml
		50	66.50c	12.17c	4.45a	1.18a	5.63a	1.18c
		100	80.49a	14.18a	4.47a	1.20a	5.67a	1.20a
فسفر پوشش‌دار با اسید هیومیک Coated P with humic acid	0	0	31.24p	5.99lm	2.37o	0.54n	2.92o	0.63p
		50	34.02o	6.76lk	2.79lm	0.74ihj	3.54lk	0.68o
		100	40.83ml	7.68ij	2.99ji	0.79fhg	3.78ji	0.75mn
	0.5	0	41.67l	7.74ij	2.78lm	0.64ml	3.43lm	0.78k
		50	45.67ij	8.72hfg	3.50de	0.73kj	4.24ed	0.85i
		100	49.94g	9.73ed	3.68c	0.92dc	4.81c	0.96g
	1	0	45.81ij	8.14hij	3.18h	0.79feg	3.98gfh	0.76l
		50	55.70e	10.31d	3.96b	0.97c	4.93b	1.11d
		100	52.97d	11.66c	4.37a	1.19a	5.57a	1.19ba

در هر ستون برای هر تیمار، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Within each column, data with different letters were significantly different at $p < 0.05$.

آهکی گزارش کردند که کاربرد اسید هیومیک همراه با منابع مختلف فسفر، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a, b, ab و کارتنوئید) را افزایش داد. بالاترین مقدار رنگدانه‌ها از کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر بیو فسفات و میزان ۰/۱ درصد اسید هیومیک به‌دست آمد. اسید هیومیک در واقع یک بهبود دهنده رشد و نمو گیاه می‌باشد. این ترکیب می‌تواند بطور مستقیم اثرات مثبتی بر رشد گیاه بگذارد، رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه توسط اسید هیومیک تحریک می‌شود، ولی اثر آن روی ریشه برجسته‌تر است، حجم ریشه را افزایش داده و باعث اثربخشی سیستم ریشه می‌گردد. با افزایش سیستم ریشه‌ای جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد. در این پژوهش نیز مشخص شد اسید هیومیک در افزایش جذب فسفر، افزایش مقادیر رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه کلزا مؤثر است.

نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح اسید هیومیک، سطوح فسفر و روش‌های کاربرد آن‌ها بر غلظت فسفر خاک و گیاه کلزا در جدول ۵

هرچند با تیمار ۰/۵ گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به‌صورت همراه با آبیاری و تیمار ۱ گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر پوشش‌دار از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۴). همچنین بیشترین مقدار کارتنوئید نیز با میانگین ۱/۲۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ مربوط به تیمار ۱ گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به‌صورت مصرف همراه با آب آبیاری بود (جدول ۴). سلمان و ابوحسین (۴۳) نیز بیان داشتند که مواد هیومیکی در فرایندهای بیولوژیکی گیاه مانند فتوسنتز و مقدار کلروفیل کل مؤثر هستند. ال‌سیونی و همکاران (۱۳) دریافتند که محلول‌پاشی اسید هیومیک در لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) سبب افزایش پروتئین و کلروفیل در گیاه از طریق افزایش سرعت و میزان جذب مواد غذایی شد. آل سعید و همکاران (۱۴) در بررسی اثر اسید هیومیک با منبع مختلف فسفر بر عملکرد و رشد تربچه در خاک‌های

ارائه شده است. مطابق با نتایج تجزیه واریانس کاربرد سطوح اسید هیومیک، سطوح مختلف فسفر و اثرات متقابل آن‌ها از لحاظ آماری ($p < 0.01$) بر غلظت فسفر اندام‌های هوایی در گیاه کلزا معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثرات سه گانه نحوه کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک در تیمارهای مختلف فسفر نشان داد که بیشترین غلظت فسفر اندام هوایی با میانگین 0.30 درصد مربوط به تیمار مصرف 1 گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک همراه با آب آبیاری با غلظت 100 میلی گرم بر کیلوگرم فسفر بود هر چند که با تیمار 0.5 گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۶). آسنجو و همکاران (۳) اظهار داشتند که اسید هیومیک به دلیل دارا بودن وزن ملکولی بالا، سریع جذب بذری شده و باعث افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر نسبت به تیمار شاهد شد. ژو (۵۴) گزارش کرد که اصلاح‌کننده‌های غنی از کربن (C) خاک باعث افزایش قابلیت زیستی فراهمی فسفر می‌شوند. افزودن اسید هیومیک به احتمال زیاد باعث بهبود قابلیت دسترسی فسفر خاک (۳۹) و حتی افزایش بازدهی فسفر قابل استفاده در خاک

های آهکی می‌شود (۱۲). اسید هیومیک با وزن مولکولی بالا، مانع از جذب فسفر به مواد معدنی خاک شده (۲) و باعث فراهمی فسفر در خاک می‌شود (۱۸). آل سعید و همکاران (۱۴) با بررسی کاربرد اسید هیومیک و منابع مختلف فسفر بر جذب عناصر غذایی تربچه گزارش کردند که کاربرد 200 کیلوگرم در هکتار سوپر بیو فسفات و سطح 0.1 درصد اسید هیومیک بیشترین مقدار جذب فسفر را داشت. معمولاً استفاده از کودهای آلی، جذب فسفر، حداکثر ظرفیت بافری و انرژی پیوندی را کاهش داده و غلظت فسفر را در محلول خاک افزایش می‌دهد در این پژوهش نیز به نظر می‌رسد اسید هیومیک مورد استفاده ظرفیت تثبیت فسفر را کاهش و جذب و حلالیت فسفر غیرمحللول در خاک را افزایش داده است.

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه داده‌ها نشان داد که بیشترین مقادیر غلظت فسفر خاک به روش اولسن و سلطان‌پور و شواب به ترتیب با میانگین $41/16$ و $5/24$ میلی گرم در کیلوگرم خاک در تیمار کودی 100 میلی گرم بر کیلوگرم فسفر و سطح 1 گرم بر کیلوگرم مصرف خاکی اسید هیومیک بدست آمد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر سطوح اسید هیومیک، سطوح فسفر و روش‌های کاربرد آن‌ها بر غلظت فسفر در خاک و گیاه کلزا

Table 5- Analysis of variance of the effect of humic acid levels, p levels and methods of their application on P concentration in soil and canola

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	فسفر اولسن $\text{HCO}_3^- 0.5\text{M}$	فسفر سلطان‌پور و شواب $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{DTPA}$
غلظت فسفر اندام هوایی P concentration in shoots				
روش مصرف Application method	2	0.001**	134.85**	2.82**
سطوح اسید هیومیک HA levels	2	0.04**	1462.01**	31.71**
سطوح فسفر P levels	4	0.02**	647.58**	10.76**
روش مصرف * سطوح اسید هیومیک Application method × HA levels	4	0.0001**	16.52**	0.49**
روش مصرف * سطوح فسفر Application method × P levels	4	0.0001**	13.09**	0.079*
سطوح اسید هیومیک * سطوح فسفر HA levels × P levels	4	0.001**	253.38**	3.84**
اثرات متقابل سه جانبه Interaction tripartite	8	0.00007**	8.13**	0.093**
اشتباه آزمایشی Error		0.000001	1.08	0.03
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		0.48	6.41	7.54

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

ns, * and **: non-significant, significant at significance levels of 5% and 1% , respectively.

رشد گیاهان و تجزیه میکروبی برای جذب شدن روی سطوح رس ها و هیدروکسیدها با فسفات رقابت می کنند. ۳) اسیدهای آلی با آهن و آلومینیم کمپلکس های پایدار به نام کی لیت تشکیل می دهند و مانع از واکنش این فلزات با یون فسفر محلول خاک می شوند (۴) با زیاد شدن ماده آلی خاک ممکن است میزان معدنی شدن فسفر آلی هم زیاد شود. سپهر و زبردست (۴۴) گزارش کردند که مصرف مواد هیومیکی و کودهای فسفات از طریق رقابت بر سر مکان های جذب و در نتیجه کاهش تثبیت فسفر در خاک، می تواند گامی مهم در کاهش مصرف کودهای فسفر در نتیجه کاهش اثرات زیست محیطی باشد. از آنجا که اسید هیومیک منبعی با ارزش از عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف است، هنگام کاربرد همزمان با کودهای شیمیایی تعادل تغذیه ای مناسبی را برای گیاه فراهم می کنند و به جذب بیشتر عناصر غذایی و پاسخ های عملکردی مشخص در گیاه منجر می شوند.

زمانی که میزان فسفر در خاک زیاد باشد، فسفر می تواند به شکل های پایدارتر خود مثل آپاتیت تبدیل شود و در نهایت میزان آپاتیت در خاک افزایش یابد. محققین گزارش دادند که ماده آلی تشکیل آپاتیت را به میزان ۱۰ درصد کاهش داده و حتی قادر به جداسازی فسفر از بلورهای تازه تشکیل شده آپاتیت می باشد (۴۶). مواد آلی و اسید هیومیک حاصل از تجزیه آنها در خاک های آهکی، سطوح کربنات کلسیم را اشغال و از رسوب فسفر به صورت هیدوکسی آپاتیت جلوگیری می کند (۲۳). والن و چانگ (۵۳) گزارش کردند که استفاده دراز مدت از مواد آلی باعث نگهداری فسفر با پیوند کم انرژی تر شده و قابلیت فراهمی آن را در خاک افزایش می دهد.

کلاسن و همکاران (۱۱) چند ساز و کار برای کاهش فسفر در خاک ها با ماده آلی زیاد ارائه کردند (۱) ملکول های هیومیک به سطح رس ها و ذرات اکسیدهای هیدراته فلزات چسبیده و روی مکان های تثبیت کننده فسفر را می پوشانند. ۲) اسیدهای آلی تولید شده به وسیله

جدول ۶- مقایسه میانگین های اثرات متقابل سطوح اسید هیومیک، سطوح فسفر و روش های کاربرد آن ها بر غلظت فسفر در خاک و گیاه کلزا
Table 6- Compare of means for interactions of humic acid levels, P levels and methods of their application on P concentration in soil and canola

	سطوح اسید هیومیک Humic acid levels	سطوح فسفر P Levels	غلظت فسفر اندام هوایی concentration in shoots (%)	فسفر اولسن HCO ₃ ⁻ 0.5M(mg.kg ⁻¹)	فسفر سلطانیور و شواب NH ₄ HCO ₃ + DTPA(mg.kg ⁻¹)
مصرف خاکی Soil application	0	0	0.16w	8.48mn	1.10no
		50	0.18t	11.24jik	1.27mno
		100	0.20p	12.03i	1.39ml
	0.5	0	0.19r	14.64g	1.78k
		50	0.22k	18.98f	2.19gh
		100	0.25h	20f	2.37gf
	1	0	0.22m	14.09hg	2.09gih
		50	0.27e	26.24d	4.21dc
		100	0.28c	41.16a	5.24a
مصرف همراه با آب آبیاری Use with irrigation water	0	0	0.17v	7.69n	1.01o
		50	0.19s	8.88mln	1.24mno
		100	0.21n	9.59mlk	1.34mn
	0.5	0	0.20q	10.22jlk	1.41ml
		50	0.23i	11.01jik	1.81jk
		100	0.26f	12.59hi	2.07jih
	1	0	0.22lk	12.11i	1.63lk
		50	0.30a	24.74ed	3e
		100	0.30a	29.87c	3.98d
فسفر پوشش دار با اسید هیومیک Coated P with humic acid	0	0	0.17u	8.88mln	1.24mno
		50	0.19s	9.74mlk	1.78k
		100	0.20o	11.01jik	1.83jik
	0.5	0	0.20o	11.72ji	2.07jih
		50	23j	15.35g	2.35gfh
		100	0.25g	18.51f	2.62f
	1	0	0.22l	12.59hi	2.16gh
		50	0.27d	23.64e	4.29c
		100	0.29b	33.58b	4.76b

در هر ستون برای هر تیمار، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Within each column, data with different letters were significantly different at $p < 0.05$.

همبستگی ساده بین تیمارهای آزمایش

همبستگی بین فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی با خصوصیات فیزیولوژیک و مقادیر غلظت فسفر در خاک و گیاه در جدول ۷ آورده شده است. بررسی نتایج حاکی از آن است که بین فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن با فسفر عصاره‌گیری شده به روش سلطان‌پور و شواب همبستگی بالایی ($r = 0.95$) در سطح آماری یک درصد وجود داشت (جدول ۷). کامپراز و واتسون (۲۶) گزارش کردند که مکانیسم استخراج فسفر با روش‌های اولسن، کول ول و سلطان‌پور و شواب مشابه است یعنی آنیون بی‌کربنات با کلسیم موجود در خاک ترکیب شده و در نتیجه ضمن کاهش فعالیت کلسیم باعث آزاد شدن فسفر متصل به کلسیم می‌گردد. آنان همچنین بیان داشتند که علت اصلی کمتر بودن مقدار فسفر عصاره‌گیری شده به روش سلطان‌پور و شواب احتمالاً ناشی از کم بودن زمان عصاره‌گیری می‌باشد. بررسی نتایج مولینا و همکاران (۳۳) نشان داد که مقدار فسفر استخراجی در خاک‌های قلیایی و اسیدی توسط روش بی‌کربنات آمونیوم-دی تی پی ای با فسفر استخراجی به روش اولسن همبستگی ($r = 0.747$) در سطح آماری پنج درصد داشت. همچنین مقصودی و همکاران (۳۱) در بررسی ۲۵ خاک مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی گزارش کردند که همبستگی بالایی ($r = 0.97$) بین فسفر استخراج شده با روش اولسن و روش چند عنصری سلطان‌پور و شواب وجود داشت. بین مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با بی‌کربنات ۰/۵ مولار و غلظت فسفر اندام هوایی گیاه کلزا ($r = 0.84$) همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد دیده شد. همچنین بین مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با روش بی‌کربنات آمونیوم-دی تی پی ای با غلظت فسفر نیز همبستگی بالا ($r = 0.85$) و معنی‌داری مشاهده شد که نشان‌دهنده این امر است که این دو عصاره‌گیر ساز و کار مشابهی برای اندازه‌گیری فسفر دارند (جدول ۷). نتایج لایستوار و سلطان‌پور (۲۹) حاکی از وجود همبستگی ($r = 0.52$) بین فسفر جذب شده توسط یونجه و فسفر عصاره‌گیری شده توسط سلطان‌پور و شواب بود. ملکوتی و همایی (۳۲) به طور کلی تأثیر ماده آلی بر افزایش جذب فسفر را به تولید CO_2 در اثر تجزیه این مواد، تشکیل ترکیبات آلی فسفر، تماس فسفر با سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیم، رس و کربنات کلسیم و در نتیجه کاهش تثبیت آن می‌دانند. حلاج‌نیا و همکاران (۱۹) گزارش کردند که ماده آلی و اسیدهای آلی حاصل از تجزیه آن، سطوح کربنات کلسیم را اشغال کرده و فرایند تشکیل رسوب فسفات‌های کلسیم نامحلول و کم محلول را کند می‌کند؛ در نتیجه مواد آلی موجب افزایش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی می‌شوند. بین وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، انواع کلروفیل (a، b و ab) و کارتنوئید با مقادیر فسفر استخراج شده توسط روش‌های اولسن و سلطان‌پور و شواب همبستگی بالا و معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود داشت (جدول ۷). کریمی و همکاران (۲۷) نیز گزارش کردند که

فسفر عصاره‌گیری شده با روش‌های اولسن، بی‌کربنات آمونیوم-دی تی پی ای همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های (عملکرد نسبی، غلظت و جذب فسفر) گیاه برنج دارد. پگیاری و همکاران (۳۸) گزارش کردند که فسفر استخراج شده با روش اولسن شاخص مناسبی از فسفر قابل استفاده ذرت است و از همبستگی بالایی ($r = 0.89$) با جذب فسفر در ذرت (*Zea mays* L.) برخوردار است. آزمون شیمیایی اولسن در خاک‌های آهکی برآوردی واقع بینانه‌تر از فسفر قابل دسترس گیاه دارد از طرف دیگر، امروزه به دلیل افزایش تقاضا برای آزمون شیمیایی خاک و همچنین صرفه جویی در وقت و هزینه، استفاده از عصاره‌گیرهای چند منظوره مانند روش بی‌کربنات آمونیوم دی تی پی ای رواج یافته است. در این پژوهش نیز مشخص شد هر دو روش عصاره‌گیری فسفر با خصوصیات فیزیولوژیک و مقادیر غلظت فسفر در خاک و گیاه همبستگی بالا و معنی‌داری دارد. بنابراین می‌توان از هر دو روش عصاره‌گیری بسته به شرایط آزمایش برای ارزیابی فسفر قابل استفاده کلزا در خاک‌های آهکی استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

قابلیت جذب فسفر، تابع عوامل بسیاری است. در خاک‌های آهکی به علت وجود کلسیم با فعالیت زیاد با اضافه شدن کودهای فسفر، فسفات‌های کلسیم تشکیل می‌شود که با گذشت زمان نیز به فرم‌های نامحلول تبدیل می‌گردد. در دسترس بودن فسفات برای جذب گیاه یک موضوع مهم کشاورزی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک با خاک آهکی است. فسفر یک ماده غذایی ضروری گیاهی بوده و سطح پایین فسفات می‌تواند تولید را محدود کند. مواد هیومیک در تعامل با فسفر در خاک، می‌تواند باعث کاهش تثبیت فسفر و افزایش فسفر در دسترس گیاهان شود. بر اساس نتایج این پژوهش، مصرف ترکیبی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر و ۱ گرم بر کیلوگرم مصرف همراه با آب آبیاری اسید هیومیک بیشترین افزایش را در انواع کلروفیل (a، b و ab)، کارتنوئید، مقدار فسفر در اندام هوایی کلزا (هایولا ۵۰) داشت. بیشترین مقدار فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن با میانگین ۴۱/۱۶ میلی گرم بر کیلوگرم و روش سلطان‌پور و شواب با میانگین ۵/۲۴ میلی گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر و مصرف خاکی یک گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک بود. همچنین همبستگی بالا و معنی‌داری بین فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن و سلطان‌پور و شواب با صفات مورد مطالعه مشاهده شد. به نظر می‌رسد که استفاده از فسفر همراه با اسیدهیومیک، بیشتر از کاربرد فسفر به تنهایی، می‌تواند باعث افزایش فسفر قابل دسترس در خاک و نیز غلظت فسفر گیاه شود. در نهایت می‌توان مصرف ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر همراه با ۰/۵ گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک همراه با آب آبیاری را در شرایط مشابه پیشنهاد کرد لیکن با توجه به تغذیه گیاه و برای بررسی این موضوع

به صورتی که به واقعیت نزدیکتر باشد توصیه می‌گردد تأثیر اسید هیومیک بر فراهمی فسفر در خاک آهکی در مقیاس مزرعه‌ای و برای گیاهان مختلف نیز مورد پژوهش قرار گیرد.

جدول ۷- ضریب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه

Table 7- Simple correlations coefficients between studied traits

	1	2	3	5	6	7	8
فسفر اولسن HCO ₃ ⁻ 0.5M	1						
فسفر سلطان پور NH ₄ HCO ₃ + DTPA	0.955**	1					
فسفر اندام هوایی % P shoots	0.841**	0.856**	1				
کلروفیل a Chlorophyll a	0.740**	0.752**	0.962**	1			
کلروفیل b Chlorophyll b	0.838**	0.804**	0.929**	0.927**	1		
کلروفیل کل Total chlorophyll	0.772**	0.773**	0.967**	0.996**	0.955**	1	
کارتنوئید Carotenoid	0.891**	0.896**	0.981**	0.928**	0.925**	0.939**	1

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

ns, * and **: non-significant, significant at significance levels of 5% and 1% , respectively.

منابع

- 1- Abou-Aly H.E., and Mady M.A. 2009. Complemented effect of humic acid and biofertilizers on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity. *Annals of Agriculture Science Moshtohor* 47(1): 1-12.
- 2- Antelo J., Arce F., Avena M., Fiol S., López R., and Macías F. 2007. Adsorption of a soil humic acid at the surface of goethite and its competitive interaction with phosphate. *Geoderma* 138(1-2): 12-19.
- 3- Asenjo M.C.G., Gonzalez J.L., and Maldonado J.M. 2000. Influence of humic extracts on germination and growth of ryegrass. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31(1-2): 101-114.
- 4- Barahimi N., Afyuni M., Karami M., and Rezaee Nejad Y. 2009. Cumulative and residual effects of organic amendments on nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in soil and wheat. *JWSS-Isfahan University of Technology* 12(46): 803-812.
- 5- Barber S.A. 1995. *Soil Nutrient Bioavailability: a Mechanistic Approach*. 2nd ed. John Wiley, New York, USA, 414 p.
- 6- Barnes J.D., Balaguer L., Manrique E., Elvira S., and Davison A.W. 1992. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophyll a and b in lichens and higher plants. *Environmental and Experimental Botany* 32(2): 85-90.
- 7- Berg M.G., and Gardner E.H. 1978. *Methods of soil analysis used in the soil testing laboratory at Oregon State University*.
- 8- Boehme M., Schevtschenko J., and Pinker I. 2005. Iron supply of cucumbers in substrate culture with humate. *Acta Horticulturae* 697, 329.
- 9- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen—Total 1. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan 2)*, 595-624.
- 10- Chapman H.D. 1965. Cation-exchange capacity 1. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilanb)*, 891-901.
- 11- Classen N., and Jones D.L. 2004. Phosphorus solubilization by citrate in soil of low p availibilty effect and mechanisms. *Rhizosphere International on Gress Abstract* 145:12-17.
- 12- Delgado A., Madrid A., Kassem S., Andreu L., and del Carmen del Campillo, M. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant Soil* 245: 277–286.
- 13- El-Bassiony A.M., Fawzy Z.F., El-Baky M.A., and Mahmoud A. R. 2010. Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 6(2): 169-175.
- 14- El-Sayed S.A.A., Hellal F.A., and KAS M. 2014. Effect of Humic acid and phosphate sources on nutrient composition and yield of Radish grown in calcareous soil. *European Inter. J. Sci. and Tech.* ISSN, 2304-9693.
- 15- Emami M. 1996. Legs analysis methods Technical Journal number 982. Soil and Water Research Institute, Tehran. Iran. Caver 2.

- 16- Fargami A.A., and Nabavi Kalat S.M. 2013. The role of humic acid and phosphorus on the quality and quantity of spring wheat (*Calendula officinalis* L.). *Ecophysiology of Crop Plants (Agriculture Sciences)* 28(4): 443-452. (In Persian)
- 17- Fatemi H., Ameri A., and Aminifard M.H. 2011. In Investigation of Effect of humic acid Fertilizer on growth and Yield of *Ocimum basilicum* under Field Conditions. 1st National Conference on New Concepts in Agriculture. Faculty of Agriculture, Saveh Branch, Islamic Azad University (IAU), November, 678-683.
- 18- Fu Z., Wu F., Song K., Lin Y., Bai Y., Zhu Y., and Giesy J.P. 2013. Competitive interaction between soil-derived humic acid and phosphate on goethite. *Applied Geochemistry* 36: 125-131.
- 19- Hallajnia A., Fotovat A., and Khorasani R. 2006. Availability of soil phosphorus resulting from different amounts of phosphorus fertilizer in soils of Hamedan province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 4(10): 121-132. (In Persian)
- 20- Harper S.M., Kerven G.L., Edwards D.G., and Ostatek-Boczynski Z. 2000. Characterisation of fulvic and humic acids from leaves of *Eucalyptus camaldulensis* and from decomposed hay. *Soil Biology and Biochemistry* 32(10): 1331-1336.
- 21- Hartwigson J.A., and Evans M.R. 2000. Humicacid seed and substrate treatments promote seedling root development. *Horticultur Science* 35(7): 1231-1233.
- 22- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., and Nelson W.L. 2005. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management (Vol. 515, pp. 97-141). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- 23- Hu H.Q., He J.Z., Li X.Y., and Liu F. 2001. Effect of several organic acids on phosphate adsorption by variable charge soils of central China. *Environment International* 26(5-6): 353-358.
- 24- Inskeep W.P., and Silvertooth J.C. 1998. Inhibition of hydroxy apatite precipitation in the presence of fulvic, humic and tannic acids. *Soil Science Society of America Journal* 52: 941-946.
- 25- Jones Jr J.B., and Case V.W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. *Sampling, handling and analyzing plant tissue samples*, (Ed. 3), 389-427.
- 26- Kamprath E.J. and Watson M.E. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status soils. pp. 433-469. In: Khasawneh et al. (eds). *The Role of Phosphorus in Agriculture*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- 27- Karimi Amir Kia Sar M., Ardalan M., Kavusi M., and Shokri Vahed H. 2001. Field and laboratory evaluation of some extraction methods for determining the available phosphorous in some rice paddies in Guilan province. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Technology)* 25(4): 814-822. (In Persian with English Abstract)
- 28- Khoram Ghahfarokhi A., Rahimi A., and Torabi B. 2016. Effect of humic acid fertilizer application and foliar spraying of compost tea and vermiwash on growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Oil Plants Production* 2(1): 71-84. (In Persian)
- 29- Labhsetwar V.K., and Soltanpour P.N. 1985. A comparison of NH_4HCO_3 -DTPA, NaHCO_3 , CaCl_2 , and $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ soil tests for phosphorus. *Soil Science Society of America Journal* 49:1437-1440.
- 30- Leytem A.B., and Westermann D.T. 2003. Phosphate sorption by pacific northwest calcareous soils *Journal of Soil Science* 168: 368-375.
- 31- Maghsudi M.R., Reihanitabar A., and Najafi N. 2014. Evaluation of some extraction methods for determining the available phosphorus of *Zea mays* in some calcareous soils of East Azarbaijan Province. *Water and soil knowledge* 24(2): 199-214. (In Persian with English Abstract)
- 32- Malekooti M.J., and Homaee M. 2004. Fertility of arid and semi-arid soils (Problems and solutions). *Tarbiat Modares University. Office of Scientific Works* 195-241. (In Persian)
- 33- Molina M., Ortega R., and Escudey M. 2012. Evaluation of the AB-DTPA multiextractant in Chilean soils of different origin with special regard to available phosphorus. *Archives of Agronomy and Soil Science* 58: 789-803.
- 34- Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., and Vianello A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1527-1536.
- 35- Nasooti Miandoab R., Samavat S., and Tehrani M.M. 2010. Humic acid fertilizer on plants and soil properties. *Agric. Food*, 101: 53-55. (In Persian with English Abstract)
- 36- Olsen S. R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department Of Agriculture, Washington.
- 37- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. *Agronomy*, No. 9. Soil Science Society of America, Madison, WI, p.1159.
- 38- Pagliari, P., Rosen C., Strock J., and Russelle M. 2010. Phosphorus availability and early corn growth response in soil amended with Turkey manure ash. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 41: 1369-1382.
- 39- Perassi I., and Borgnino L. 2014. Adsorption and surface precipitation of phosphate onto CaCO_3 -montmorillonite: effect of pH, ionic strength and competition with humic acid. *Geoderma* 232: 600-608.
- 40- Richardson A.E., Barea J.M., McNeill A.M., and Combaret C.P. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil* 321: 305-339.
- 41- Roozbehani A., Ghorbani S., Mirzaee M.M., and Orujnia S. 2013. Study of the Effect of Humic Acid and Folic Acid on Yield and Yield Components of *Hordeum vulgare*. *Journal of Agriculture and Plant Breeding* 9(2): 25-33. (In Persian)
- 42- Rostami M., and Shokouyan A.A. 2018. Evaluation of Humic Acid Techniques and Nitrogen Ratios on

- Morphological Characteristics and Strawberry Function (*Fragaria ananassa* Duch.) Parus. journal of horticulture, 32(2): 251-261. (In Persian)
- 43- Salman S.R., Abou-Hussein S.D., Abdel-Mawgoud A.M.R., and El-Nemr M.A. 2005. Fruit yield and quality of watermelon as affected by hybrids and humic acid application. Journal of Applied Sciences Research 1: 51-58.
 - 44- Sepehr I., and zebardast V.R. 2013. Effect of Humic Acid on Phosphorus Absorption Behavior in a Calcareous Soil. Journal water and soil (Agriculture Sciences and Technology) 27:4. 720-731(In Persian with English abstract)
 - 45- Soltanpour P.N., and Schawb A.P. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micro nutrients in alkaline soils. Commn. Soil Sci. Plant Anal 8:195-207.
 - 46- Ström L., Owen A.G., Godbold D.L., and Jones D.L. 2002. Organic acid mediated P mobilization in the rhizosphere and uptake by maize roots. Soil Biology and Biochemistry 34(5): 703-710.
 - 47- Syers J.K., Johnston A.E., and Curtin D. 2008. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. FAO Fertilizers and Plant Nutrition Bulletin no 18. Rome, Italy. FAO.
 - 48- Taghadosi M., Hasani N., and sinky J. 2012. Disruption of irrigation and spraying stress with humic acid and algae extract on antioxidant enzymes and propylene in forage sorghum. Journal of Crop Production in Environmental Conditions 4(4):1-12. (In Persian)
 - 49- Talebi P., Jabarzade M., and sedighani R. 2017. Effect of application and different concentrations of humic acid on performance and mineral absorbption of minor roses seven colors. To Agricultural Crop 4(18): 789-804. (In Persian)
 - 50- Türkmen Ö., Dursun A., Turan M., and Erdinç Ç. 2004. Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science 54(3): 168-174.
 - 51- Varinderpal S., Dhillon N.S., and Brar B.S. 2006. Influence of long-term use of fertilizers and farmyard manure on the adsorption-desorption behaviour and bio-availability of phosphorus in soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 75: 67-78.
 - 52- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37(1): 29-38.
 - 53- Whalen J.K., and Chang C. 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. Communications in Soil Science and Plant Analysis 33(7-8): 1011-1026.
 - 54- Zhou D. 2011. An in-vitro model of calcium phosphate mineralization in bone: transformation from amorphous calcium phosphate to apatite. (Thesis (M.S.) Central Michigan University.



The Effect of Humic Acid on the Availability of Phosphorus Fertilizer and some Physiological Traits of Rapeseed (Canola)

A. Jahandideh¹ - M. Barani Motlagh^{2*} - E. Dordipur³ - R. Ghorbani Nasrabadi⁴

Received: 31-12-2018

Accepted: 28-12-2019

Introduction: One of the most important needs in the farm planning is the evaluation of different systems of plant nutrition. By supplying the correct way of plant nutrition, one can preserve the environment and increase the efficiency of agricultural inputs. Humic acid contains many nutrients that increase soil fertility, soil organic matter content, and access to macro- and micro-nutrients by preventing the formation of insoluble salts and chelating properties. Phosphorus and humic acid stimulate vegetative growth, improve reproductive growth, and increase the quantitative and qualitative yield of plants. In this regard, the positive effects depend on the amount and how they are applied. The present study was conducted with the aim of investigating the effects of different levels of humic acid and phosphorus fertilizer on phosphorus availability and photosynthetic pigments (a, b and carotenoids) in canola (cv. Hyola 50).

Methods and Materials: The soil used in this study was collected from 0-30 cm layer of a soil profile passed through a 2-mm sieve after air-drying. The soil chemical and physical properties were then determined. The pot experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with three replications. Treatments include phosphorous fertilizer as super phosphate in three levels (0, 50 and 100 mg/kg) and humic acid in three levels (0, 0.5 and 1 gr/kg soil), phosphorous and humic acid application ways. Humic acid and phosphorous treatments were mixed in various forms including simultaneous mixing of humic acid and phosphorous fertilizer in the soil matrix, application of humic acid and phosphorous via irrigation water and coating of phosphorous fertilizer via solid humic acid before soil application. Then 10 canola seeds were planted in each pot at 2-cm depth which were declined to 4 plants in each pot after emerging and greening phases. At the end of the growth period (158 days), the plants were harvested. Determination of phosphorus concentrations of plant extracts by molybdenum vanadate or yellow method and chlorophyll content (a, b and ab) and carotenoids were measured precisely before harvesting using Barnes method. After harvesting the plants, the soil was immediately air-dried and passed through a 2mm sieve. Then, the amount of phosphorus was determined by sodium-DTPA and sodium bicarbonate. The statistical results of the data were analyzed using SAS software and LSD test (at 5% level) was used for comparing the mean values.

Results and Discussion: The interactions of humic acid and phosphorus and its application methods were significant for all measured traits at the 5% level. The results of the triple effects of humic acid levels and its application at the presence of phosphorus treatments showed that the highest chlorophyll (a, b and ab) and carotenoid content was obtained at 100 mg/kg phosphorus and 1 g/kg humic acid along with irrigation water. The highest concentration of plant shoot phosphorus with an average of 0.30% was observed in 1 g/kg humic acid with irrigation water at the level of 100 mg/kg phosphorus, although had no significant difference with 0.5 g/kg of humic acid with irrigation water. Maximum amount of P was extracted by Olsen method with the mean of 16.14 mg/kg and Soltanpour and Schwab method with the mean of 5.24 mg/kg obtained in 100 mg/kg phosphorus and 1 g/kg soil humic acid application. There was a significant correlation between the phosphorus extracted by Olsen method and Soltanpour and Schwab method ($r = 0.95$), which was significantly correlated with concentration of phosphorus ($r = 0.84$) and ($r = 0.85$) ($P < 0.05$). There was also a significant correlation between fresh and dry above-ground biomass, types of chlorophyll (a, b and ab) and carotenoids with phosphorus extracted by Olsen and Soltanpour and Schwab methods at 5% significance level.

Conclusion: P adsorption capacity is a function of many factors. Application of phosphorous fertilizers in calcareous soils, due to the presence of calcium with high activity, results in the formation of calcium phosphates, which becomes insoluble, over time. Humic material in interaction with phosphorus in the soil can reduce phosphorus stabilization and increase plant available phosphorus. The results of this study showed that the use of phosphorus with humic acid, rather than the use of phosphorus alone, could increase the available phosphorus in the soil and also the phosphorus concentration within the plant.

Keywords: Carotenoid, Chlorophyll, Fresh and Dry Weight, Shoots

1, 2, 3 and 4- M.Sc. Graduated, Associate Professors and Assistant Professor, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, respectively.

(*- Corresponding Author Email: mbarani@gau.ac.ir)



تأثیر آبیاری زیرزمینی با پساب شهری تصفیه شده بر عملکرد گیاه برنج

لیلی قربانی مینائی^۱ - مهدی ذاکری نیا^{۲*} - عباس رضایی اصل^۳ - حمیدرضا میرکریمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۴

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب در کشور، استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری برنج با مصرف کمتر آب امری بدیهی خواهد بود. یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری آب، استفاده از روش آبیاری زیرزمینی است. همچنین برای مقابله با بحران آب می‌توان از آب‌های نامتعارف و به عبارت دیگر آب‌های با کیفیت نامطلوب استفاده نمود. به منظور بهبود کیفیت آب مصرفی در کشاورزی روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از آن‌ها استفاده از میدان‌های مغناطیسی است. در پژوهش حاضر اثر مغناطیسی شدن پساب تصفیه خانه شهری گرگان و آب معمولی به روش آبیاری زیرزمینی در پردیس کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بر صفاتی همچون عملکرد شلتوک، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب، بهره‌وری فیزیکی آب و بهره‌وری اقتصادی آب مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ بلوک، از اردیبهشت تا شهریور ماه سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل فاکتور نوع آب آبیاری در دو سطح شامل آب معمولی (C) و پساب تصفیه شده شهری گرگان (W) و فاکتور دوم شامل روش اصلاح آب در دو سطح شامل مغناطیس (M) و عدم مغناطیس (O) بود. نتایج مقایسه میانگین فاکتور نوع آب نشان داد که بین تیمار پساب و آب معمولی در پارامترهای اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. فاکتور روش اصلاح آب نشان داد که تیمار غیرمغناطیس در پارامترهای عملکرد شلتوک، کارایی مصرف آب، بهره‌وری فیزیکی آب و بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به تیمار مغناطیس معنی‌دار بود اما در پارامترهای عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت اثر معنی‌دار مشاهده نشد. همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع آب و روش اصلاح بر همه پارامترهای اندازه‌گیری شده حاکی از برتری پساب غیرمغناطیس نسبت به بقیه تیمارها در سطح ۵ درصد بود. براساس نتایج این تحقیق می‌توان گفت که کشت برنج از نظر آبیاری نیازی به ایجاد یک لایه ایستابی در سطح خاک ندارد و همچنین استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهری گرگان به عنوان آب آبیاری، علاوه بر امکان کاهش برداشت از منابع آبی با کیفیت بالا، هزینه‌های مصرف کود (شیمیایی و آلی) در تولید محصول را نیز کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری زیرزمینی، پساب تصفیه شده شهری، پساب مغناطیس، زهکشی کنترل شده، عملکرد برنج

مقدمه

زیادی را در مصرف آب شرب و کشاورزی بوجود می‌آورد. یکی از روش‌های مدیریتی که به طور متداول در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب به کار گرفته می‌شود کنترل سطح ایستابی در زیر عمق توسعه ریشه است که به صورت روش‌های زهکشی کنترل شده یا آبیاری زیرزمینی در زمین‌های کشاورزی اعمال می‌شود. در روش زهکشی کنترل شده با افزایش رقوم ارتفاعی خروجی زهکش‌ها از خروج زه آب‌ها جلوگیری و اجازه داده می‌شود که سطح آب در خاک بالاتر آید و در زمان بیشتری در منطقه توسعه ریشه باقی بماند. در آبیاری زیرزمینی، جریان ورود و خروج آب در زمین معکوس می‌شود. به این مفهوم که آبیاری از طریق لوله‌های زهکش وارد زمین می‌شود و با ایجاد یک سطح ایستابی معلق کم عمق، آب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. این دو روش در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب از سال‌ها پیش گرفته شده و گسترش یافته است و دارای مزایای زیادی از جمله کاهش زه‌آب‌های خروجی، کاهش تلفات کودهای شیمیایی، کاهش آلودگی محیط زیست، افزایش تعرق، افزایش محصول، و مزایای دیگر است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک به علت تبخیر و تعرق زیاد، وجود سطح

کشاورزی به عنوان یکی از بخش‌های حیاتی کشور نقش بسیار حساسی در برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی دارد. در این میان کشت برنج در جایگاه خود دارای ارزش و اهمیت ویژه‌ای بوده و بعد از گندم غذای اصلی مردم جهان را تشکیل می‌دهد (۱۲، ۳۴، ۴۰ و ۴۱). آب یکی از منابعی است که در تولید محصولات کشاورزی نقش مهمی را ایفا می‌کند و چنانچه به صورت صحیح مدیریت نشود محدودیت

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*) نویسنده مسئول: Email: mzakerinia@gmail.com
۳- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

بین مولکول‌های آب، نیروی کشش سطحی آب کاهش می‌یابد (۴۳). در نتیجه سیالیت آب افزایش یافته و خاصیت ترکنندگی آن بیشتر می‌شود (۴۹). بنابراین جذب آب مغناطیسی راحت‌تر صورت می‌گیرد و در مقایسه با آب مغناطیس نشده، گیاه به راحتی مقادیر بیشتری از آب مغناطیسی را جذب خواهد کرد. با افزایش جذب آب توسط گیاه می‌توان انتظار داشت املاح بیشتری نیز در اختیار گیاه قرار گیرد. لذا آبیاری با آب مغناطیسی سبب جذب راحت‌تر و بیشتر آب از خاک شده که به دنبال آن جذب مواد غذایی و املاح نیز از خاک بهتر و بیش‌تر صورت خواهد گرفت که موجب افزایش رشد و در نهایت موجب افزایش عملکرد گیاه خواهد شد (۱). با توجه به کمبود منابع آبی و نیاز فراوان کشت مرسوم محصول برنج، به تحقیقی که با استفاده از منابع آبی نامتعارف اصلاح شده و روش کاشت جایگزین روش غرقابی (مانند آبیاری زیرزمینی) ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی امکان اجرای آبیاری زیرزمینی (زهکشی کنترل شده) بر عملکرد برنج با آب مغناطیس شده پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری گرگان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی شامل فاکتور نوع آب آبیاری در دو سطح شامل آب معمولی (C) و پساب تصفیه شده شهری گرگان (W) و فاکتور روش اصلاح آب در دو سطح شامل مغناطیس (M) و عدم مغناطیس (O) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ بلوک از اردیبهشت تا شهریور ماه سال ۱۳۹۷ در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با موقعیت جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شرقی و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۷۰ متر از سطح دریا بر روی گیاه برنج رقم طارم هاشمی بصورت لایسیمیتری انجام شد. آب و هوای گلستان مدیترانه‌ای (نیمه مرطوب، نیمه خشک و خشک) می‌باشد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. آب معمولی به عنوان شاهد و پساب از تصفیه‌خانه پساب شهری گرگان تهیه گردید. تصفیه‌خانه فاضلاب گرگان با ظرفیت ۳۰ هزار مترمکعب در شبانه‌روز در سال ۱۳۸۲ آغاز و بهره‌برداری آزمایشی از آن در اردیبهشت سال ۱۳۹۲ صورت گرفته است. این تصفیه‌خانه در قسمت شمال شهر گرگان قرار دارد و شامل تصفیه مقدماتی، اولیه، ثانویه و ضد عفونی پساب می‌باشد. آنالیز شیمیایی آب و پساب نیز اندازه‌گیری و در جدول ۲ ارائه شد.

در این پژوهش، به منظور مغناطیس نمودن آب‌های آبیاری از دستگاه مولد میدان مغناطیسی، واقع در آزمایشگاه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استفاده شد. این دستگاه از دو رشته سیم پیچ تشکیل شده است که به دور دو هسته فلزی مجزا از هم (با تعداد دور ۳۰۰۰) پیچیده شده است.

ایستایی کم عمق باعث صعود نمک به سطح خاک و افزایش شوری در ناحیه ریشه می‌شود. در نتیجه، زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی در این مناطق باید با مدیریت خاصی اعمال شود (۱۸). امیری (۶) با بررسی مدیریت آبیاری برنج در استان گیلان روی رقم هاشمی، مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان آبیاری را در محدوده ۹۲/۹۰-۲۹/۰ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آبیاری محاسبه نمود. در مدیریت‌های جدید، شیوه‌های مختلف آبیاری متناسب با فیزیولوژی گیاه در جهت افزایش محصول، کاهش مصرف آب، بالا بردن راندمان آبیاری و جلوگیری از ماندابی شدن اراضی شالیکاری اعمال می‌شود. تنش آبی ناشی از آبیاری غیر غرقابی ضمن تأثیر بر میزان آب مصرفی یا جلوگیری از انتقال نمک‌ها و مواد غذایی به گیاه و کاهش فتوسنتز باعث کاهش تعداد پنجه، سطح برگ، تجمع ماده خشک، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه و در نهایت عملکرد می‌شود (۴۲ و ۴۷). بومان و همکاران (۱۱) گزارش کردند برنج بیشترین مقدار مصرف آب را در بین محصولات کشاورزی دارا بوده و حدود ۸۰ درصد کل منابع آب شیرین مصرفی آسیا را شامل می‌شود. اسدی و محمدیان (۷) و هادیان و قربان‌نژاد (۲۲) گزارش نمودند که کمتر از ۵ درصد از کل آب مورد نیاز گیاه برنج که عمدتاً توسط ریشه جذب می‌شود؛ صرف تشکیل اندام‌های گیاهی شده و ۹۵ درصد باقیمانده از طریق تبخیر و تعرق از دسترس گیاه خارج می‌شود. کمبود آب در سال‌های اخیر به عنوان یک بحران مطرح گردیده و تولید برنج را در کشور دچار چالش نموده است، بنابراین برای رفع مشکل کنونی، چاره‌ای جز افزایش بهره‌وری و همچنین استفاده بهینه از آب با کیفیت پائین وجود ندارد. فاضلاب به دلیل دارا بودن مواد آلی و عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه و نیز مواد آلی مورد نیاز برای حاصل خیزی و بهره‌وری خاک مخصوصاً در مناطق خشک می‌تواند پس از انجام تصفیه‌های لازم، در عملیات آبیاری گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (۲۷، ۳۸، ۳۹ و ۴۵). بنابراین استفاده مجدد از پساب فاضلاب‌های تصفیه شده، می‌تواند به عنوان یک منبع آب جدید، جبران کننده کسری منابع آب قابل دسترس بخش کشاورزی محسوب شود و نیز از اثرات سوء تخلیه بی‌رویه فاضلاب به محیط زیست و خسارات وارده به آن، جلوگیری به عمل آورد (۲۷، ۴۶، ۵۳ و ۵۴). در نتیجه می‌توان آب‌های با کیفیت بالاتر (آب منابع تجدیدپذیر) را در مصارف با اهمیت‌تر مورد استفاده قرار داد (۲۷ و ۳۹). یکی دیگر از راه‌کارهایی که در این راستا در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته، کاربرد آب مغناطیسی با عبور دادن آب آبیاری از میدان مغناطیسی ثابت می‌باشد (۳۱ و ۳۶). در نتیجه عبور آب از میدان مغناطیسی، در اثر نیروی القایی ناشی از میدان، خوشه‌های مولکول‌های آب شکسته شده و بخش‌های غیر هم‌نام مولکول آب در یک راستا قرار می‌گیرند و مولکول‌های آب آزاد می‌شوند. این حالت سبب می‌شود که فضای کمتری توسط مولکول‌ها اشغال شود. در واقع میدان مغناطیسی روی خود مولکول‌های آب اثر می‌گذارد و آزادی و تحرک مولکول‌های آب را افزایش می‌دهد. با عبور آب از میدان مغناطیسی و شکسته شدن پیوند هیدروژنی و واندروالسی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical properties of soil

کلاس بافت Texture class	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) Ec (dS/m)	اسیدیته pH	پتاسیم منیزیم کلسیم سدیم (میلی اکی والان بر لیتر) (meq/l)			
						Na	Ca	Mg	K
لوم رسی Clay loam	32	30	38	1.48	7.52	19	0.03	8.4	1.61

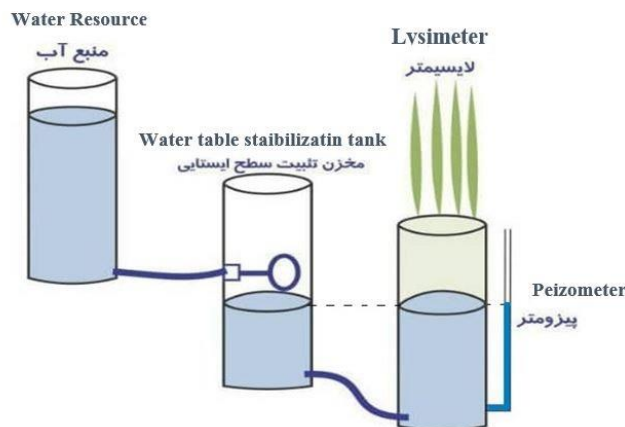
جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب و پساب

Table 2- Chemical properties of water and waste water

نوع آب Water type	هدایت الکتریکی Ec (دسی زیمنس بر متر) (dS/m)	اسیدیته pH	پتاسیم منیزیم کلسیم سدیم (میلی اکی والان بر لیتر) (meq/l)			
			Na	Mg	Ca	K
آب معمولی Common water	0.58	7	0.9	3.1	2.3	0.09
پساب Waste water	1.4	8.2	1.2	5.2	4.4	0.45
آب معمولی مغناطیسی Magnetic common water	0.57	7.2	0.8	2.95	2.1	0.07
پساب مغناطیسی Magnetic waste water	1.35	8.3	1.1	4.98	4.2	0.38

جداسازی شن از نمونه خاک) و به شلنگ تراز که با استفاده از پارچه
 تمیز مسدود شده بود، یک عدد رابط شماره ۱۶ آبیاری قطره‌ای
 متصل گردید. سپس رابط در تماس با شن قرار گرفت و محتویات
 پارچه با سیم راویز به شلنگ بسته شد و در کف لایسیمتر جای
 گرفت. در انتها، طرف دیگر شلنگ نیز از واشر عبور داده شد. برای
 جلوگیری از ایجاد جریان ترجیحی، جداره داخلی لایسیمترها با
 مقداری شن و چسب PVC پوشانده شد. همچنین برای ثابت نگه
 داشتن سطح آب، از دو مخزن (یکی به عنوان تثبیت کننده سطح
 ایستابی و دیگری برای اندازه‌گیری میزان آب مصرفی) استفاده شد.
 روش کار بدین صورت است که لوله آبد به استفاده از یک لوله به
 مخزن تثبیت سطح ایستابی متصل گردید. در مخزن تثبیت، سطح
 ایستابی با کمک شناوری که با منبع آب متصل است، در سطح مورد
 نظر ثابت شد. بخشی از دو نوع آب معمولی و پساب با استفاده از
 دستگاه مولد میدان مغناطیسی DC و با شدت میدان مغناطیسی ۱
 تسلا، مغناطیسی شد. سپس به روش زیرزمینی، آبیاری در ستون‌های
 خاک که گیاه برنج در آنها کشت شده است، انجام گرفت به طوری که
 عمق سطح ایستابی ثابت شد و در ۵ سانتی‌متری از سطح خاک برقرار
 گردید (شکل ۱).

حداکثر شدت میدان مغناطیسی تولیدی، وزن و مساحت ۱/۲
 تسلا، ۱۵۰ کیلوگرم و ۸۰ سانتی‌متر مربع می باشد. با توجه به این که
 میدان مغناطیسی از طریق ایجاد جریان الکتریسته تولید می‌شود. لذا
 برای ایجاد این جریان، از دستگاه منبع تغذیه استفاده شد که دارای
 یک صفحه نمایشگر، پیچ‌های تنظیم کننده ولتاژ و آمپر و یک قسمت
 الکتریسته است که توسط سیم‌های رابط به دستگاه متصل می‌گردد و
 حداکثر ولتاژ و آمپر تولیدی توسط این دستگاه به ترتیب ۵۰ ولت و
 ۱۰ آمپر می‌باشد. (بنابراین با عبور جریان الکتریکی از یک رشته سیم
 پیچ به دور یک هسته فلزی، شدت میدان مغناطیسی در شیار بین دو
 هسته فلزی متناسب با جریان، جنس هسته و تعداد دور سیم پیچ در
 هسته‌های فلزی ایجاد می‌شود). لازم به ذکر است میزان شدت
 میدان مغناطیسی با استفاده از دستگاه کوچکی به نام تسلاسنج
 مشخص شد. برای این کار با حرکت دادن پیچ‌های تنظیم کننده ولتاژ
 و آمپر، میزان شدت میدان مغناطیسی به کمک تسلاسنج کنترل و
 شدت میدان مغناطیسی مدنظر به دست آمد. ابعاد لایسیمتر با قطر
 دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بود. ابتدا در بدنه
 لایسیمترها از یک طرف به اندازه یک سانتی‌متر بالاتر از کف، روزنه
 ای ایجاد و واشر مناسبی در این روزنه تعبیه شد. سپس مقداری شن
 ریز به عنوان فیلتر، بر روی پارچه تمیز قرار داده شد (جهت



شکل ۱- سیستم آبیاری زیرزمینی
Figure 1- Sub Irrigation System

که ممکن است به ماه بعد انتقال یابد، صرف نظر گردید. با جمع کردن نیاز آبیاری کلیه ماه‌های فصل رشد، نیاز آبیاری گیاه در کل فصل رشد مشخص گردید.

صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل صفات عملکرد شلتوک، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب، بهره‌وری فیزیکی آب و بهره‌وری اقتصادی آب بود. برداشت محصول از سطح یک لایسیمتر انجام شده و پس از توزین و تعیین درصد رطوبت، عملکرد شلتوک براساس کیلوگرم در هکتار (رطوبت ۱۴٪) محاسبه شد (۵۲). عملکرد بیولوژیک در بوته به مجموع وزن خشک خوشه، ساقه، برگ در بوته گفته می‌شود. شاخص برداشت یکی دیگر از پارامترهای مهم در تحلیل‌های زراعی می‌باشد که به طور خلاصه با رابطه زیر بیان می‌شود.

$$H_i = \frac{EY}{BY} \quad (2)$$

H_i : شاخص برداشت، بدون بعد بر حسب درصد بیان می‌شود.
 EY : عملکرد اقتصادی (عملکرد شلتوک) بر حسب کیلوگرم بر هکتار،
 BY : عملکرد بیولوژیک بر حسب کیلوگرم بر هکتار. برای محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری از معادله زیر استفاده شد.

$$WUE = \frac{Y}{WU} \quad (3)$$

WUE : کارایی مصرف آب آبیاری بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب،
 Y : عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم بر هکتار،
 WU : میزان آب مصرفی بر حسب متر مکعب بر هکتار می‌باشد که شامل تبخیر از سطح خاک، تعرق گیاه، رواناب و زهکشی است (۲۶). ساده ترین روشی که در مزارع کشاورزان برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب یک گیاه می‌توان بکار برد، اندازه‌گیری سه عامل ۱- عملکرد ۲- مقدار آب آبیاری و ۳- مقدار بارش در طی فصل است.

$$WP_P = \frac{Y}{I+P} \quad (4)$$

Y : عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار، I و P : به ترتیب مقدار عمق آب آبیاری و باران بر حسب متر مکعب در هکتار، WP_P : بهره‌وری فیزیکی آب بر حسب کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد (۲۶).

به منظور تثبیت خاک، لایسیمترها دو مرتبه پیش از شروع آزمایش، آبیاری شدند. سپس نشاء در مرحله چهار برگی از خزانه مطمئن برنج تهیه شد که در هر لایسیمتر ۹ دسته نشاء به فاصله 10×10 کشت گردید. برای استقرار کامل گیاه، تیمارها به مدت یک هفته با آب معمولی و به روش مرسوم آبیاری شدند و از هفته دوم تیمارها اعمال گردید. بافت خاک با روش هیدرومتری، میزان پتاسیم و سدیم با دستگاه فلیم‌فتومتر و میزان کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون، هدایت الکتریکی با دستگاه EC متر و اسیدیته خاک با دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش نیاز آبی گیاهان کلیه تیمارها با یکدیگر برابر بوده و با استفاده از نرم‌افزار NETWAT، تاریخ شروع و خاتمه و زمان فصل رشد هر گیاه صورت گرفت و با استفاده از اطلاعات موجود در نشریه فائو ۵۶ (۵) طول مراحل چهارگانه فصل رشد و ضرایب گیاهی سه‌گانه هر گیاه در هر منطقه استخراج شدند. ضریب گیاهی روزانه هر گیاه محاسبه و میانگین آن‌ها در ماه‌های مختلف فصل رشد تعیین گردید. با محاسبه میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه گیاه مرجع از روش پنمن -مانتیت (۵) بر اساس میانگین ماهانه داده‌های هواشناسی، با استفاده از معادله زیر تبخیر -تعرق پتانسیل گیاه در هر ماه محاسبه گردید:

$$ET_P = n K_c ET_o \quad (1)$$

در معادله فوق ET_P تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه در هر ماه از فصل رشد برحسب میلی‌متر می‌باشد که برابر نیاز آبی گیاه در آن ماه در نظر گرفته شد. ET_o میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه گیاه مرجع برحسب میلی‌متر در روز، K_c ضریب گیاهی و n تعداد روزهای ماه مورد نظر هستند. از داده‌های بارندگی در هر ماه سال و در هر منطقه، مقدار باران مؤثر از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا محاسبه شد (۲۰) و با کم کردن مقدار باران مؤثر ماهانه از نیاز آبی ماهانه، مقدار نیاز آبیاری هر ماه از فصل رشد محاسبه گردید. در ماه‌هایی که باران مؤثر بیشتر از نیاز آبی بود، مقدار نیاز آبیاری برابر صفر منظور شد و از رطوبت باقیمانده اضافی در خاک

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نوع آب و اصلاح آب بر روی عملکرد، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب و شاخص های بهره‌وری
Table 3- Variance analysis of effect water type and water correction on the yield, harvest index, water use efficiency and Productivity Indicators

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی dF	میانگین مربعات Sum of squares					
		عملکرد شلتوک Yield of rough rice	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب WUE	بهره‌وری فیزیکی WP (I+P)	بهره‌وری اقتصادی BPD
بلوک Block	2	276543.8 ^{ns}	12936873 ^{ns}	14.66 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.006 ^{ns}	240488.1 ^{ns}
نوع آب (A) Water type	1	1465803 ^{ns}	11834574 ^{ns}	48 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	95944.08 ^{ns}
اصلاح آب (B) Water Correction	1	7498683 ^{**}	32455852 ^{ns}	36.75 ^{ns}	0.053 ^{**}	0.049 ^{**}	2126050 ^{**}
A×B	1	239701.3 ^{ns}	4621484 ^{ns}	14.96 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.005 ^{ns}	188752.1 ^{ns}
خطا Error	6	460242.5	13388618	9.304	0.004	0.004	148262.8

ns, *, ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ می‌باشد.

ns, * and **: Nonsignificant and significant at %5 and %1 level of probability respectively.

مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد در جدول ۴ و شکل ۲ نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد شلتوک در تیمار پساب غیرمغناطیس به مقدار ۶۵۷۷ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مقدار عملکرد شلتوک در تیمار آب معمولی مغناطیس و تیمار پساب مغناطیس که به ترتیب به مقدار ۴۲۹۷ و ۴۷۱۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۸ درصد افزایش و ۲۳ و ۱۶ درصد کاهش عملکرد شلتوک نشان می‌دهد. جدول ۴ نشان داد فاکتور نوع آب به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد شلتوک گیاه برنج نداشت اما اثر فاکتور اصلاح آب نشان داد که تیمار غیرمغناطیس نسبت به تیمار مغناطیس افزایش ۲۵ درصدی عملکرد شلتوک را داشت. طی پژوهشی معلوم شد استعمال پساب تصفیه شده باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گندم در مقایسه با آب چاه می‌شود (۳۵). این در حالی است که نتایج پژوهشی دیگر عدم تأثیر معنی‌دار آبیاری با فاضلاب بر عملکرد دانه گندم را نشان می‌دهد (۱۶). گزارش شده است که تحت تأثیر میدان مغناطیسی اعمال شده بر روی بذر و آب، عملکرد بذر گیاهان مختلف کتان، گندم، عدس و نخود به ترتیب ۱۰، ۳۳، ۲۶/۹ و ۴۶/۶۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (۲۳). هم‌چنین نتایج آزمایش‌های آبیاری با آب مغناطیسی در اورگان آمریکا بر روی ۴ مزارع یونجه نشان داد که عملکرد یونجه ۶۵ درصد افزایش یافت (۸). ماهشواری و گروال (۲۸) طی پژوهشی در گلخانه ی دانشگاه وسترن سیتی استرالیا مشاهده کردند که مغناطیس کردن آب شرب، پساب تصفیه شده و آب شور ۱۰۰۰ ppm موجب افزایش معنی‌داری عملکرد نخود برفی در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب به مقدار ۷/۸، ۵/۹ و ۶ درصد شد. در این تحقیق مشاهده شده که استفاده از آب شور (۱۵۰۰ ppm و ۳۰۰۰)، پساب تصفیه شده و آب شرب مغناطیسی برای آبیاری نخود اثر معنی‌داری بر عملکرد نداشت.

پیشنهاد می‌شود بعد از محاسبه بهره‌وری فیزیکی آب، بهره‌وری اقتصادی آب نیز برآورد گردد. البته این مورد هم خیلی سخت نیست. در صورت کسر بالا به جای تولید، سود خالص دریافتی (تفاوت ناشی از درآمد محصول و هزینه‌ها) جایگزین شود.

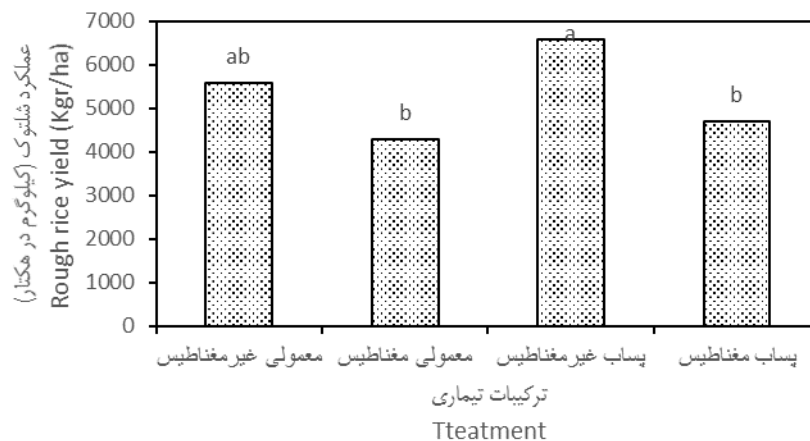
$$WP_e = \frac{I_N}{I+P} \quad (۴)$$

I_N درآمد خالص که از تفاوت هزینه‌های انجام شده در طی فصل و درآمد ناشی از تولید به دست می‌آید (تومان)، I و P به ترتیب مقدار عمق آب آبیاری و باران بر حسب متر مکعب در هکتار، WP_e : بهره‌وری اقتصادی آب بر حسب تومان بر متر مکعب می‌باشد (۲۶). بنابراین، این شاخص نشان می‌دهد که با مصرف هر متر مکعب آب، چند ریال محصول به دست می‌آید. بالاتر بودن این شاخص نیز نشان‌دهنده بهره‌وری اقتصادی بهتری است. در واقع این معیار نشان می‌دهد که هر واحد آبی که مصرف شده، در نهایت و پس از کسر هزینه‌های عملیاتی چقدر ارزش ریالی ایجاد کرده است. با توجه به پولی بودن این معیار، می‌توان از آن برای مقایسه محصولات مختلف نیز استفاده نمود و بنابراین از این جهت در تحلیل‌های اقتصادی بر معیار قبلی برتری دارد (۲۴). تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون‌های تی‌تست و دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد شلتوک

با توجه به جدول ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و هم‌چنین اثر ساده فاکتور نوع آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد اما اثر ساده فاکتور اصلاح آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر نوع آب و اصلاح آب بر عملکرد شلتوک

Figure 2- Comparison of the effect of water type and water correction on yield of rough rice

درصد می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۳۰ درصد افزایش و ۶ درصد کاهش شاخص برداشت نشان می‌دهد. جدول ۴ نشان داد فاکتور نوع آب و فاکتور اصلاح آب هر یک به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت گیاه برنج نداشت. شاخص برداشت نشان‌دهنده چگونگی تسهیم مواد پرورده بین سازه‌های رویشی و دانه است (۴۴). به عبارت دیگر این شاخص بیانگر میزان مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به اندام اقتصادی گیاه نسبت به کل مواد تولیدی ذخیره شده در طول دوره رشد و نمو گیاه می‌باشد. طی پژوهشی معلوم شد میزان شاخص برداشت در تیمار آب سالم در حدود ۴۷/۶ درصد بیش‌تر از مقدار آن در تیمار پساب تصفیه شده بود (۱۰). ولی نژاد و همکاران (۴۸) طی پژوهشی به منظور تأثیر کاربرد پساب شاهین‌شهر اصفهان بر رشد و عملکرد ذرت، اثر معنی‌دار پساب بر افزایش شاخص برداشت نسبت به آب چاه گزارش کردند.

کارایی مصرف آب

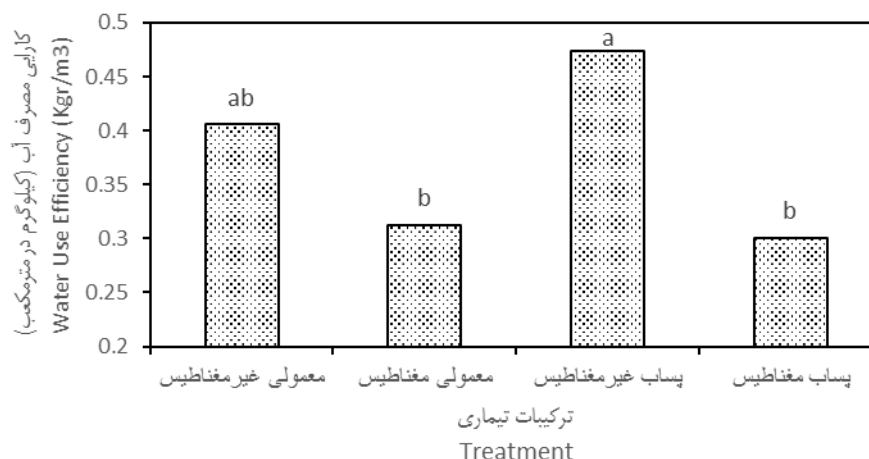
با توجه به جدول ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر ساده فاکتور نوع آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد اما اثر ساده فاکتور اصلاح آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۴ نشان داد که بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار پساب غیرمغناطیس ۰/۴۷ کیلوگرم در متر مکعب و کم‌ترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمارهای پساب مغناطیس و آب معمولی مغناطیس به ترتیب به مقدار ۰/۳۰ و ۰/۳۱ کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۷ درصد افزایش و ۲۳ و ۲۶ درصد کاهش کارایی مصرف آب نشان می‌دهد (شکل ۳). جدول ۴ نشان داد فاکتور نوع آب به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب گیاه برنج نداشت اما اثر فاکتور اصلاح آب نشان داد که تیمار غیرمغناطیس نسبت به تیمار مغناطیس افزایش ۳۰ درصدی کارایی مصرف آب را داشت.

عملکرد بیولوژیک

با توجه به جدول تجزیه واریانس ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر ساده فاکتور نوع آب و اثر ساده فاکتور اصلاح آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین جدول ۴ نشان داد که اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر فاکتور نوع آب و فاکتور اصلاح آب هر یک به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک گیاه برنج نداشت. عملکرد بیولوژیک نشان‌دهنده‌ی میزان کل ماده تجمع یافته در اندام هوایی گیاه در زمان برداشت می‌باشد (۱۴). یکی از دلایل کاهش عملکرد بیولوژیک در تیمار پساب تصفیه شده را می‌توان کوتاه شدن دوره رشد رویشی و زایشی دانست (۵۰). عملکرد زیست توده در تیمار آبیاری با فاضلاب در تمام مراحل رشد در مقایسه با شاهد (آب معمولی) بیشترین مقدار بود (۴). آبیاری با فاضلاب باعث افزایش معنادار عملکرد بیولوژیک برنج در مقایسه با شاهد بود (۵۱). همچنین اعمال میدان مغناطیسی بر روی آب آبیاری منجر به تغییر معنی‌داری بر روی عملکرد بیولوژیک گیاه نخود نشد (۳۰). در آزمایشی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم نان تحت تیمار آب مغناطیسی حدود ۲۵، ۳۱ و ۲۸ درصد بیش‌تر از آب غیرمغناطیسی به دست آمد (۲۹). عبدالقدوس و هوزابین (۲) گزارش کردند آبیاری گیاهان عدس و گندم با آب مغناطیسی عملکرد بیولوژیک گیاه را به ترتیب ۲۵/۸۲ و ۳۵/۲۵ درصد افزایش داد.

شاخص برداشت

جدول ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر فاکتور نوع آب و اثر فاکتور اصلاح آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۴ نشان داد که بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت در تیمار پساب غیرمغناطیس ۲۶/۷ درصد و کم‌ترین مقدار شاخص برداشت در تیمار آب معمولی مغناطیس به مقدار ۱۹/۲



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر نوع آب و اصلاح آب بر کارایی مصرف آب
Figure 3- Comparison of the effect of water type and water correction on water use efficiency

بهره‌وری فیزیکی آب را داشت. کای و روزگرنانت (۱۳) به بررسی بهره‌وری آب در سطح جهانی پرداختند، براساس پژوهش آن‌ها دامنه شاخص بهره‌وری آب برای برنج از ۰/۱۵-۰/۶ کیلوگرم بر مترمکعب در تغییر می‌باشد و در مورد سایر غلات (به جز برنج) محدوده این شاخص ۰/۲-۰/۴ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در مطالعه اسماعیلی خوشمردان (۱۹) متوسط بهره‌وری آب در سطح جهان برای برنج ۰/۳۹ برآورد شد. همچنین بر اساس پیش‌بینی صورت گرفته تا سال ۲۰۲۵ میزان متوسط بهره‌وری آب در تولید برنج به میزان ۰/۵۲ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش خواهد یافت. پایین بودن بهره‌وری برنج به این دلیل می‌باشد که برنج در مقایسه با سایر غلات در اکثر نقاط جهان آب بیشتری مصرف می‌کند. متوسط بهره‌وری آب در تولید برنج و سایر غلات در صحرای آفریقا دارای پایین‌ترین حد ممکن می‌باشد این شاخص برای برنج ۰/۱۴ کیلوگرم بر متر مکعب و (از ۰/۱۰ تا ۰/۲۵) و در مورد سایر غلات ۰/۳ کیلوگرم بر متر مکعب (از ۰/۱ تا ۰/۶) محاسبه گردیده است. متوسط شاخص بهره‌وری آب برای برنج در کشورهای توسعه‌یافته ۰/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب و برای کشورهای درحال توسعه ۰/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. تغییرات در مقدار این شاخص را به طور عمده به عوامل اقلیم، مدیریت آبیاری و مدیریت کود نسبت دادند. بر اساس نتایج تحقیق صورت گرفته، آبیاری گیاهان آفتابگردان با پساب تصفیه شده شهری، بهره‌وری مصرف آب را ۴۰ درصد نسبت به تیمار آب چاه افزایش داد (۹). همچنین نتایج آزمایش صورت گرفته نشان داد آبیاری دو رقم متفاوت سیب زمینی (مارفونا و نوتا) با پساب با روش قطره‌ای زیرسطحی (عمق ۹۵ سانتی متری) در مقایسه با شاهد بهره‌وری مصرف آب را به ترتیب ۷/۸۱ و ۳/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش داد (۳۳). تحقیقی نشان داد روند تغییرات نتایج در این دو صفت در تیمارهای مختلف بهره‌وری مصرف نشان داد که بیش‌ترین مقدار این

ماهشوری و گروال (۲۸) طی پژوهشی در گلخانه‌ی دانشگاه وسترن سیتی استرالیا مشاهده کردند که استفاده از پساب تصفیه شده و آب شرب مغناطیسی برای آبیاری نخود اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب نداشت. قنبری و همکاران (۲۱) در پژوهشی در سیستان و بلوچستان نشان دادند که آبیاری با پساب، کارایی مصرف آب گندم را نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است. با عبور دادن آب از یک میدان مغناطیسی، جذب املاح معدنی، نمک‌های مفید و عناصر موجود در آب و خاک افزایش می‌یابد. همچنین به دلیل منظم‌تر شدن مولکول‌های آب و اشغال فضای کمتر توسط آن‌ها و افزایش توانایی جذب آب توسط گیاه، کارایی مصرف آب نیز افزایش می‌یابد (۳). استفاده از آب مغناطیس شده برای آبیاری سبب افزایش کارایی مصرف آب گیاه به میزان ۹ درصد در مقایسه با گیاهان آبیاری شده با آب معمولی شد (۲۵).

بهره‌وری فیزیکی آب

با توجه به جدول ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر ساده فاکتور نوع آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد اما اثر ساده فاکتور اصلاح آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۴ نشان داد که بیش‌ترین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب در تیمار پساب غیرمغناطیس ۰/۴۶ کیلوگرم در مترمکعب و کم‌ترین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب در تیمارهای پساب مغناطیس و آب معمولی مغناطیس به ترتیب به مقدار ۰/۲۹ و ۰/۳۱ کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۸ درصد افزایش و ۲۲ و ۲۵ درصد کاهش بهره‌وری فیزیکی آب نشان می‌دهد. جدول ۴ نشان داد فاکتور نوع آب به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر بهره‌وری فیزیکی آب گیاه برنج نداشت اما اثر فاکتور اصلاح آب نشان داد که تیمار غیرمغناطیس نسبت به تیمار مغناطیس افزایش ۳۰ درصدی

صفت در تیمار ۱۰۰ درصد پساب بود و کمترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد (۳۷). نتایج آزمایش گلخانه‌ای نشان داد عبور آب با شوری ۱۱۵۵ و ۹۵۵۵ میلی گرم در لیتر و پساب تصفیه شده از میدان مغناطیسی باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب در گیاه کرفس به میزان ۱۱، ۲۴ و ۱۲ درصد (به ترتیب)، نسبت به تیمار شاهد شد (۲۸). در پژوهش گلخانه‌ای دیگر، بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت تحت تیمار آب مغناطیسی ۱/۲۸ کیلوگرم در مترمکعب نسبت به تیمار غیرمغناطیسی افزایش داشت (۳۶). استفاده از آب مغناطیسی در عملیات آبیاری، سبب افزایش عملکرد گیاه شده و در نهایت بهره‌وری مصرف آب، افزایش می‌یابد (۱۷). همچنین عبور آب از یک میدان مغناطیسی سبب افزایش جذب آب می‌شود (۳). بنابراین در شرایط آبیاری با آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی، گیاه به ازای مصرف واحد آب آبیاری معین، آب بیشتری جذب و محصول بیشتری تولید می‌کند که نتیجه‌ی آن افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. ماهشوری و گروال (۲۸) در گزارشات خود بیان کردند استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب گیاهان نخود برفی و کرفس شد.

بهره‌وری اقتصادی آب

با توجه به جدول ۳ اثر متقابل دو فاکتور نوع آب و اصلاح آب و همچنین اثر ساده فاکتور نوع آب در سطح پنج درصد معنی‌دار نشد اما

اثر ساده فاکتور اصلاح آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۴ نشان داد که بیش‌ترین مقدار بهره‌وری اقتصادی آب در تیمار پساب غیرمغناطیسی ۲۹۹۲ تومان در متر مکعب و کمترین مقدار بهره‌وری اقتصادی آب در تیمارهای پساب مغناطیسی و آب معمولی مغناطیسی به ترتیب به مقدار ۱۸۹۹ و ۱۹۷۱ کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۷ درصد افزایش و ۲۳ و ۲۶ درصد کاهش بهره‌وری اقتصادی آب نشان می‌دهد. جدول ۴ نشان داد فاکتور نوع آب به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر بهره‌وری اقتصادی آب گیاه برنج نداشت اما اثر فاکتور اصلاح آب نشان داد که تیمار غیرمغناطیسی نسبت به تیمار مغناطیسی افزایش ۳۰ درصدی بهره‌وری اقتصادی آب را داشت. مختاری (۳۲) بررسی کرد که فعالیت‌های باغداری دارای سودآوری قابل توجه و بالابودن بازده ریالی هر متر مکعب آب در مقایسه با فعالیت‌های زراعی می‌باشد. عمق فاجعه در خصوص محصول برنج که کشت اصلی کشورهای پرباران جنوب شرقی آسیاست عمیق‌تر می‌باشد. البته در حال حاضر در اراضی بالادست سد درودزن که بالغ بر ۱۰۰۰۰ هکتار از اراضی آن زیرکشت محصول برنج قرار دارد، تمایلات جدیدی برای توسعه باغات سیب آغاز گردیده است. هرکدام از باغداران، هر هکتار باغ سیب موجود را حدود ۶ تا ۸ میلیون تومان اجاره می‌دهند در حالی که عایدی بهره‌برداران برنج کمتر از این مقدار می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نوع آب و اصلاح آب بر روی عملکرد، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب و شاخص‌های بهره‌وری
Table 4- Means comparison of effect water type and water correction on the yield, harvest index, water use efficiency and productivity indicators

		عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار) Yield of rough rice (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (Kg/ha)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در متر مکعب) WUE (Kg/m ³)	بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم در متر مکعب) WP (I+P) (Kg/m ³)	بهره‌وری اقتصادی (تومان در متر مکعب) BPD (Toman/m ³)
نوع آب (A) Water type	آب معمولی Common water	4946.5 ^a	25489 ^a	19.85 ^a	0.36 ^a	0.35 ^a	2266.5 ^a
	پساب Waste water	5645.5 ^a	23503 ^a	23.84 ^a	0.39 ^a	0.38 ^a	2445.3 ^a
اصلاح آب (B) Water correction	غیرمغناطیسی Non magnetic	6086.5 ^a	26141 ^a	23.60 ^a	0.44 ^a	0.43 ^a	2777 ^a
	مغناطیسی Magnetic	4505.5 ^b	22852 ^a	20.09 ^a	0.31 ^b	0.30 ^b	1935 ^b
A×B	OC	5595 ^{ab}	27754 ^a	20.47 ^{ab}	0.41 ^{ab}	0.39 ^{ab}	2562 ^{ab}
	MC	4297 ^b	23224 ^a	19.2 ^b	0.31 ^b	0.31 ^b	1971 ^b
	OW	6577 ^a	24527 ^a	26.7 ^a	0.47 ^a	0.46 ^a	2992 ^a
	MW	4713 ^b	22479 ^a	20.97 ^{ab}	0.30 ^b	0.29 ^b	1899 ^b

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

غیرمغناطیس در پارامترهای عملکرد شلتوک، کارایی مصرف آب، بهره‌وری فیزیکی آب و بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به تیمار مغناطیس برتری داشت اما در پارامترهای عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت اثر معنی‌دار مشاهده نشد. براساس نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهری گرگان برای کشت گیاه برنج به عنوان آب آبیاری، علاوه بر امکان کاهش برداشت از منابع آبی با کیفیت بالا، هزینه‌های مصرف کود (شیمیایی و آلی) در تولید محصول را نیز کاهش می‌دهد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که گیاه برنج از نظر آبیاری نیازی به ایجاد یک لایه ایستایی در سطح خاک ندارد و در مواقع خشکسالی با داشتن آب مطمئن و حتی استفاده از روش‌های دیگر آبیاری می‌توان ضمن حفظ عملکرد در شرایط زارع، با صرفه‌جویی در مصرف آب، سطح بیشتری را از نظر آبیاری به خود اختصاص داد و یا آب را به مصارف دیگر رساند. در مجموع اگرچه نتایج تحقیق حاضر نشان داد که فاکتور مغناطیسی تأثیری بر بهبود عملکرد شلتوک، کارایی مصرف آب، بهره‌وری فیزیکی آب و بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط آبیاری زیرزمینی نداشت. با این حال بایستی توجه داشت که نتایج این تحقیق تنها توسط یک مدل دستگاه مغناطیسی بدست آمده است. بنابراین این احتمال وجود دارد که استفاده از مدل‌های مختلف دستگاه‌های مغناطیسی به نتایج متفاوتی منجر گردد. این احتمال نیز وجود دارد که عبور آب آبیاری با ترکیبات متفاوت (درصد کاتیون و آنیون‌های مختلف) از بین دستگاه مغناطیس بتواند به نتایج متفاوتی بر روی گیاهان زراعی دیگر و یا ارقام مختلف یک گیاه زراعی بیانجامد.

وردی نژاد و همکاران (۴۸) با بررسی و برآورد بهره‌وری آب کشاورزی در حوزه آبریز زاینده‌رود (شبکه آبیاری سمت راست آبشار) نتیجه گرفتند که براساس هزینه‌های تولید و آب و قیمت فروش محصول پایه گندم، متوسط بهره‌وری اقتصادی آب (سود ناخالص) به ازای واحد آب مصرفی برای سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵، ۱۰۶۰/۸ ریال بر متر مکعب و برای سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، ۲۳۹۲/۹ ریال بر متر مکعب محاسبه شد. دریجانی و همکاران (۱۵) به منظور بررسی وضعیت شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در مزارع برنج شهرهای مختلف استان مازندران پرداخته است. در شاخص سود ناخالص به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، فریدون کنار و آمل با ۴۱۱ و ۳۹۵ بیشترین مقدار را دارا می‌باشند و نشان دهنده‌ی آن است که کشاورزان این شهرها بیشترین سود ناخالص از هر متر مکعب آب مصرفی را داشته‌اند. سوادکوه و جویبار با ۱۷۷ و ۲۵۰، کمترین مقدار را دارا می‌باشند.

نتیجه‌گیری

این تحقیق برای بررسی و مطالعه بیشتر دو روش مدیریتی زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی برای کشت برنج با پساب تصفیه‌خانه شهری گرگان انجام شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل ترکیبات تیماری، پساب غیرمغناطیس بهترین ترکیب تیماری در این آزمایش شناخته شد. نتایج مقایسه میانگین فاکتور نوع آب نشان داد که بین تیمار پساب و آب معمولی در پارامترهای اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری ندارد. فاکتور اصلاح آب نشان داد که تیمار

منابع

- 1- Abdul Qados A.M.S., and Hozayn M. 2010. Response of growth, yield, yield components and some chemical constituents of Flax for irrigation with magnetized and tap water. World Applied Sciences Journal 8(5): 630-634.
- 2- Abdul Qados A.M.S., and Hozayn M. 2010. Magnetic water technology, a navel tool to increase growth, yield and chemical constituents of Lentil (*Lens esculenta*) under greenhouse condition. American-Eurasian J. Agric. And Environ. Sci., 7(4): 457-462.
- 3- Ahmadi P. 2011. Effect of magnetic field on water and magnetic fields. First International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling, International Center for Advanced Science and Technology and Environmental Sciences, University of Bahonar, Kerman.
- 4- Alizadeh A., Bazari M.E., Velayati S., Hashemini M., and Yaghmaie A. 2001. Irrigation of corn with wastewater. In: Ragab R, Pearce G, Changkim J, Nairizi S and Hamdy A (Eds), pp. 147-154. ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, South Korea.
- 5- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper. No. 56. FAO. United Nations, Rome, Italy.
- 6- Amiri E. 2006. Investigation of water balance and rice yield under irrigation management whit model, (modeling and field experiments). Ph.D Thesis. Tehran Islamic Azad University. Iran.
- 7- Asadi R., Nassiri M., and Mohammadian M. 2008. Optimum management of water use in rice (dehydration conditions) Sustainable evening publications. 12 pages. (In Persian)
- 8- Atak C., Danilov V., Yurttas, B., Yalçın S., Mutlu D., and Rzakoulieva A. 1997. Effects of magnetic field on soybean (*Glycine max* L. Merrill) seeds. Com JINR. Dubna 1-13.
- 9- Badalians Gholikandi G., Jamshidi SH., and Abrishami A. 2015. Impact Assessment of Cultivating Sunflower (*Helianthus annus* L.) by Treated Municipal Wastewater on Growth, Yield and Soil Properties. Journal of Water Reuse 2(1): 27-40. (In Persian)

- 10- Badiei A., Karandish F., and Tabatabaei SM. 2016. The Influence of Irrigation with Raw and Treated Municipal Wastewater on Wheat Yield and Microbial Characteristics of Soil and Plant. *Journal of Water and Soil Science* 26(4/2): 215-228. (In Persian with English abstract)
- 11- Bouman B.A.M., Lampayan R.M., and Tuong T.P. 2007. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute, 54 p.
- 12- Cabangon R.J., Toung T.P., and Abdullah N.B. 2002. Comparing water input and water productivity of transplanted and direct-seeded rice production systems. *Agriculture Water Management* 57: 11-31.
- 13- Cai X., and Rosgrant M.W. 2003. World water productivity, current situation and future option, CAB International.
- 14- Carandish F. 2014. Analysis of geomorphic methods in spatial monitoring of salinity and sediment condition of soils under irrigation with urban refined wastewater. *Applied Soil Research* 2(1): 115-125. (In Persian)
- 15- Darjani A., Ahmadi Kaliji S., and Taboli H. 2012. Calculation and Analysis of Nonparametric Indicators of Water Utilization Efficiency (Case Study: Shalakian Province of Mazandaran Province). *Agricultural Economics Research* 4(3): 207-219. (In Persian)
- 16- Day AD., Taher FA., and Katterman FRH. 1975. Influence of treated municipal wastewater on growth fiber, acid soluble nucleotide, protein and amino acid content in wheat grain. *Journal of Environmental Quality* 4(2): 167-169.
- 17- Durate Diaz C.E., Riquence J.A., Sotolongo B., Portunodo M.A., Quintana E.O., and Perez R. 1997. Effects of magnetic treatment of irrigation water on the tomato crop. *Hortic.Abst.* 69: 494.
- 18- Esmaeelnia S., Liaghat A., Heydari N., and Akram M. 2005. A Lysimetry Study of Water Table Management Methods in Tomato Irrigation. *Journal of Agricultural Engineering Research* 6: 23-113-124. (In Persian with English abstract)
- 19- Esma'ili Khoshmardan A. 2018. Investigating the water productivity and pathology of its management in the agricultural sector of the country. Office of Research and Production Policies.
- 20- Farshi A., Shariati M.R., Jarallahi R., Ghaemi M.R., Shahabi Far. M., and Tulaei M. 1977. Estimated Water Requirements for Major Agronomic Plants in Iran. Volume 1: Crops. Agricultural Education Publishing. (In Persian)
- 21- Ghanbari A., Abedi Kupaii J., and Tayyei Samirmi J. 2007. Effect of irrigation with urban treated wastewater on wheat yield and quality and some soil characteristics in Sistan region. *Journal of Soil and Water Sciences (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*. 10(4): 59-75. (In Persian with English abstract)
- 22- Hadian S.H., and GurbanNejad A. 2011. Optimum water consumption management in Shalazar. Publisher of Mazandaran Agriculture Promotion Coordination. 23 pages. (In Persian)
- 23- Hozayn M., and Abdul Qados A.M.S. 2010. Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agriculture and Biology Journal of North America* 1(4): 671-676.
- 24- Ishraqi F., and Ghasemian S.D. 2012. Economic Productivity of Water Consumption in Golestan Province. *Journal of Water Research in Agriculture* 26: 3-317-322. (In Persian)
- 25- Khanderroyan M. 2011. Effect of continuous irrigation with magnetic water on water use efficiency and corn yield. Master's degree in Irrigation and Drainage. Zanjan University. (In Persian with English abstract)
- 26- Kiani A.R. 2015. Guidelines for determining water productivity in farms. Technical and Engineering Research Division, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Gorgan, Iran, 16 pages. (In Persian)
- 27- Kiziloglu F.M., Turan M., Sahin U., Kuslu Y., and Dursun A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L.var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. *Agricultural Water Management* 95: 716-724.
- 28- Maheshwari B.L., and Grewal H.S. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effect on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural water Management* 96: 1229-1236.
- 29- Mahmoud H., and Amira M.S. 2010. Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production. *Agriculture and Biology Journal of North America* 1(4): 677-682.
- 30- Mahmoudi Gh., Ghanbari A., Rastgoo M., Gholi Zade M., and Tahmasebi I. 2016. Evaluating the Magnetic Field effects on Growth and Yield of Chickpea (*Cicer arietinum*) under Mashhad Climatic Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14(2): 380-391. (In Persian with English abstract)
- 31- Mehrabi Delshad M., Kouchakzadeh M., and Ebrahimi K. 2013. Laboratory Study of magnetic effect on saline water. In: 9th International River Engineering Conference, 22-24 January, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.
- 32- Mokhtari D. 2007. A Survey on Rice Culture Development in Agricultural Lands of Fars Province and its Economic and Environmental Consequences. *Development and productivity*. 2(5): 9 p.
- 33- Najafi P., Mousavi S.F., and Faizi M. 2005. Effects of using municipal wastewater in irrigation of potato. *Journal*

- of Agricultural Sciences and Natural Resources 12(1): 61-70. (In Persian with English abstract)
- 34- Nasiri M., and Niknejad Y. 2011. Causes of damage in rice fields. Varshwa Publishing, 83 p. (In Persian)
- 35- Nazari M.A., Shariatmdari H., Afyooni M., Mobily M., and Rahylei Sh. 2007. The Effect of Industrial Wastewater and Sewage Utilization on Some Concentrations of Wheat, Barley and Maize. *Journal of Agricultural Science and Technology* 10(3): 97-110. (In Persian)
- 36- Nikbakht J., Khandeh Rouyan M., Tavakoli A., and Tahheri M. 2014. The effect of magnetic water deficit on yield and water use efficiency of corn. *Journal of Water Research in Agriculture* 24: 4-551-563. (In Persian)
- 37- Nikbakht J., and Rezaei E. 2017. Effect of different levels of wastewater and magnetized water on yield and water use efficiency in corn irrigation and some physical properties of soil. *Iran Water and Soil Research*, 84(1): 63-75.
- 38- Pena F. 2011. Social problems with the agricultural use of urban wastewater. Chapter 10, part II: Water Resources in Mexico, 145-154.
- 39- Pescod M.B. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO, Irrigation and Drainage paper, No. 47, Rome, Italy.
- 40- Pirdashty H. 1999. Investigation of the process of remobilization of dry matter, nitrogen and determination of growth indices of rice cultivars in different dates of masters dissertation. Tarbiat Modares University of Tehran, 158 pages. (In Persian)
- 41- Qin J., Hu F., Zhang B., Wei Z., and H. Li. 2006. Role of straw mulching in noncontinuously flooded rice cultivation. *Agriculture Water Management* 83: 252-260.
- 42- Rahimian H., and Banayan M. 1998. Physiological principles of plant breeding. Translation Publishing University of Mashhad.
- 43- Ran C., Hongwei Y., Jinsong H., and Wanpeng Z. 2009. The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. *Journal of Molecular*.
- 44- Sinclair TR., Bennett JM., and Muchow RC. 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. *Crop Science* 30: 690-693.
- 45- Singh R.P., and Agrawal M. 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 632-641.
- 46- Singh P.K., Deshbhratar P.B., and Ramteke D.S. 2012. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural Water Management* 103: 100-104.
- 47- Tuong T.P., and Bouman B.A.M. 2003. Rice production in water scarce environments. p.53-67. In J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden (eds) *Water productivity in agriculture*.
- 48- Verdi Nezhad M., Mostafa Zadeh B., and Mirmohammadi Meybodi S.A.M. 2005. Effect of treated Shahin Shahr effluent on corn and chemical properties of corn under irrigation and surface irrigation systems. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 9(1): 103-115. (In Persian with English abstract)
- 49- Xiao-feng P., and Bo D. 2008. The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field. *Physica B*, 403: 3571-3577.
- 50- Yazar A., Gokcel F., and Sezen MS. 2009. Corn yield response to partial rootzone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant Soil Environment* 55(11): 494-503.
- 51- Yoon C.G., and Kwun S.K. 2001. Feasibility study of reclaimed wastewater irrigation to paddy rice culture in Korea. In: Ragab R, Pearce G, Changkime J, Nairizi S., and Hamdy A (Eds) pp. 127-136. ICID International Workshop on wastewater Reuse and management. Seoul. South Korea.
- 52- Yousefian M., Arabzadeh B., Mosayee Sadaei S., Mohammadi Nashlili E. 2014. Effect of different levels of irrigation on yield, quantitative and qualitative properties of two rice varieties (Tarom and Shiroudi). *Agriculture (Research and Construction)* 104: 69-75. (In Persian)
- 53- Zolfagharan A., and Haghayeghi Moghadam A. 2008. Impact of domestic wastewater on canola yield and soil properties in surface irrigation. In: 2th seminar on strategies for improving irrigation systems, 22 May, Karaj, Iran.
- 54- Zolfaghari Karbasak F., Moghaddamnia A., Jabari M., and Noori R. 2009. Surveying importance of recycling and using of wastewater in supplying water resources. In: Proceedings of the regional conference on drought management and exploitation of unconventional water in agriculture, Bushehr, Iran, pp. 502-510. (In Persian)



The Effect of Sub-irrigation on Rice Yield with Refined Municipal Wastewater

L. Ghorbaniminaei¹- M. Zakerinia^{2*}- A. Rezaeiasl³- H.R. Mirkarimi⁴

Received: 17-03-2019

Accepted: 15-12-2019

Introduction: Due to limited water resources in the country, the use of new methods of irrigation with low water consumption seems necessary. Subsurface irrigation is one of the few methods to increase crop water productivity. Also, in order to cope with the water crisis, unconventional water can be used, in other words, poor water quality is being applied. There are several methods for improving the quality of water in the agriculture section, one of which is the use of magnetic fields. The purpose of this study was to investigate the effect of groundwater table management on reducing water consumption and to investigate the possibility of sub-irrigation (drainage controlled) with magnetized wastewater of Gorgan urban refinery on rice yield.

Materials and Methods: This study was conducted from May to September of 2018 in Gorgan Agricultural and Natural Resources University. The experiments were carried out in a lysimeter with a diameter of 30cm and a height of 50cm. The experiment was conducted as a factorial based on randomized complete block design with three replications. Treatments included water type factor (ordinary water (C) and sewage (W)) and water correction factor (magnetic (M) and non-magnetic (O)). To control the water level, two water tanks were used, one as a stabilizer water table and another to measure the amount of water used. Part of the ordinary water and wastewater was magnetized using a DC magnetic field generator with magnetic one tesla field intensity. Underground irrigation was then carried out on the soil columns in which the rice plant was cultivated so that the water table depth was fixed at 5 cm from the soil surface. The lysimeters were irrigated with ordinary water for one week, in the second week of treatments were applied. At the end of the growing season, traits such as rice husk yield, biological yield, harvest index, water use efficiency, physical water productivity and economic water productivity were determined. The measured data were analyzed using SPSS. Also, comparisons of means were performed by using the t-test and Duncan tests at 5% level of probability.

Results and Discussion: The results of the comparison mean water type factor showed that there was no significant difference between the wastewater and the normal water in the parameters of the measurements. Correction Water showed that non-magnetic water was significant in rough rice yield, water use efficiency, water physical productivity, and water economic efficiency compared to magnetite, but on biological yield and harvest index had not a meaningful effect. Also, the comparison of the mean of water type and correction water method on all measured parameters indicated that the nonmagnetic wastewater was superior to the rest of the treatments at the 5% level.

Conclusion: This study was conducted to investigate and further study two methods of controlled drainage management and underground irrigation for rice cultivation with the Gorgan municipal wastewater treatment plant. Based on the results of the comparison of mean interaction effects of treatment compounds, non-magnetic effluent was identified as the best treatment composition in this experiment. According to the results of this research, we can say: Rice cultivation in terms of irrigation does not require the formation of a standing water layer on the surface of the soil. Also, by using wastewater of Gorgan urban refinery for irrigation water, in addition to reducing the harvesting of high-quality water resources, the cost of fertilizer use (chemical and organic) in the production of crops can be reduced. Overall, the results of this study showed that the magnetic factor had no effect on the improvement of rough rice yield, water use efficiency, physical productivity water and economic efficiency of water under underground irrigation conditions. However, it should be noted that the results of this research are only It is obtained by a magnetic device model. Therefore, it is possible that the use of different models of magnetic devices results in different results. It is also probable that the passage of irrigation water with different compositions (percentage of cations and various anions) from the magnetometer can lead to different results on other crops or cultivars of a crop.

Keywords: Controlled drainage, Magnetism wastewater, Rice yield, Sub-irrigation, Urban wastewater treatment

1 and 2- M.Sc. Candidate of Water Engineering and Associate Professor, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: mzakerinia@gmail.com)

3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4- Ph.D. Student of Plant Breeding, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Tehran, Iran



اثر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزی گونه گلوموس موسه آ با نخود بر پایداری ساختمان خاک و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای

لادن حیدری^۱ - حسین بیات^{۲*} - جواد حمزه‌ئی^۳ - تهمنه قیطاسی رنجبر^۴ - سمیه بهرامیان راغب^۵ - فاطمه مدینه خرمی^۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۸

چکیده

علی‌رغم تأثیر قابل توجه قارچ‌ها و باکتری‌ها بر پایداری ساختمان خاک، تأثیر قارچ میکوریزا گونه گلوموس موسه آ و باکتری ریزوبیوم بر ساختمان خاک، به‌ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مرحله گلخانه‌ای و مزرعه‌ای با کشت نخود اجرا شد. در شرایط مزرعه تیمارهای آزمایشی شامل قارچ میکوریزا گونه گلوموس موسه آ، باکتری ریزوبیوم، ترکیب تیمار اول و دوم (مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم) و شاهد (بدون تلقیح) و در شرایط گلخانه علاوه بر چهار تیمار فوق تیمار ماده زمینه سترون شده قارچ میکوریزا و تیمار بدون گیاه، تیمارهای آزمایشی بودند. مقدار کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها در حالت تر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج گلخانه‌ای نشان داد که تیمار مایکوریزا نسبت به تیمار شاهد و شاهد بدون گیاه باعث افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (به‌ترتیب ۵۱/۶ و ۱۸۹/۱ درصد) شد. در شرایط گلخانه مقدار کربن آلی دارای همبستگی بالا با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ($R^2=0.53$) بود و تیمار حاوی مایکوریزا باعث افزایش کربن آلی از ۰/۷۳ درصد در شاهد بدون گیاه به ۱/۰۲ درصد شد. در شرایط گلخانه تیمار مایکوریزا باعث افزایش خاکدانه‌های درشت و کاهش خاکدانه‌های ریز شد. همچنین استفاده همزمان باکتری و قارچ تأثیر کمتری بر پایداری خاکدانه‌ها نسبت به اثرات جداگانه آن‌ها داشت، زیرا استفاده همزمان، تأثیری بر رشد گیاه نداشت. در شرایط مزرعه تیمارها تأثیر معنی‌داری بر سایر کلاس اندازه خاکدانه‌ها نداشتند. نتایج نشان داد که همزیستی میکوریزی و باکتری ریزوبیوم به‌عنوان یک روش بیولوژیک و پایدار باعث ارتقای کیفیت ساختمان خاک شد.

واژه‌های کلیدی: کود بیولوژیک، کربن آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

مقدمه

میکروارگانیسم‌های خاک فراهم می‌نمایند. در این خصوص همزیستی ریشه گیاهان با قارچ‌های میکوریزا، از رایج‌ترین و سابقه دارترین روابط همزیستی است که در اکثر اکوسیستم‌ها وجود دارد و در حدود ۹۵ درصد گونه‌های گیاهان آوندی، لااقل یکی از گونه‌های میکوریزا را دارا هستند (۲). همچنین ریزوبیوم‌ها قادر به ترشح موادی هستند که می‌توانند ذرات خاک را به یکدیگر بچسبانند و از این طریق در افزایش کیفیت ساختمان خاک مؤثر باشند (۲۲). بنابراین بررسی نقش کودهای زیستی به‌ویژه کودهای زیستی شامل باکتری‌ها و قارچ‌ها در بهبود خواص فیزیکی خاک و به‌کارگیری آن‌ها به‌عنوان جایگزینی برای سایر تثبیت‌کننده‌ها و افزودنی‌های معمول و کودهای شیمیایی، به‌شرط بررسی آزمایشگاهی و در نظر گرفتن ابعاد محیط زیستی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

ساختمان خاک حاصل آرایش ذرات خاک در کنار یکدیگر و اتصال این ذرات به‌وسیله نیروهای چسبنده است. خاکدانه‌ها ذرات ثانویه‌ای هستند که در اثر هم‌آوری ذرات اولیه به همراه مواد آلی و عوامل اتصال دهنده تشکیل می‌شوند (۲۴). از طرفی نیز پایداری خاکدانه‌ها اثر مهمی در گسترش سیستم ریشه‌ای، چرخه کربن، مقدار آب و نیز مقاومت خاک در برابر فرسایش ایفا می‌کند (۳). توزیع اندازه خاکدانه

خاک یکی از منابع طبیعی حیات است و نقش‌های کلیدی بسیاری در اکوسیستم ایفا می‌کند. در دو دهه اخیر، توجه عموم نسبت به کیفیت خاک در دنیا افزایش یافته است. همچنین بررسی کیفیت خاک به‌منظور حداکثر بهره‌برداری از کشاورزی با کمترین تخریب زیست محیطی ضروری می‌باشد. بر همین اساس استفاده از اصلاح‌کننده‌ها و افزودنی‌های خاک از قبیل مواد طبیعی، آلی و مصنوعی به‌منظور افزایش پایداری ساختمان خاک و بهبود خواص فیزیکی خاک مورد آزمایش قرار گرفته است. ریشه گیاهان، زیستگاه مناسبی را برای فعالیت بسیاری از

۱، ۲، ۴، ۵ و ۶- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، دانشجوی دکتری، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشجوی سابق کارشناسی، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(Email: h.bayat@basu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

DOI: 10.22067/jsw.v33i6.79810

ها به عنوان شاخصی از پایداری ساختمان خاک به کار رفته است. همچنین شاخص‌های متعددی برای ارزیابی توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری خاکدانه‌ها پیشنهاد شده است (۱۳). از جمله این شاخص‌ها می‌توان به میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها^۱ (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها^۲ (GMD) اشاره کرد.

در اکثر مطالعات ماده آلی را به عنوان عامل اصلی در تشکیل خاکدانه در نظر گرفته‌اند و تأثیر میکوریزا و باکتری همزیست را، با توجه به اهمیت زیادی که این میکروارگانیسم‌ها در روند تشکیل خاکدانه‌ها دارند، کمتر مورد بررسی قرار داده‌اند. پایداری خاکدانه‌های خاک در نتیجه واکنش پیچیده فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک ایجاد می‌شود (۵۰). از طرفی نیز کودهای بیولوژیک با تأثیر بر رشد گیاه و ریشه گیاه باعث بهبود در خاکدانه‌سازی می‌شوند. پارمار و همکاران (۳۸) گزارش کردند که تلقیح نخود با باکتری ریزوبیوم باعث افزایش وزن گره‌ها، ریشه و ساقه و نیتروژن کل در گیاه شد. نتایج بررسی بتلفالوی و همکاران (۵) حاکی از آن بود که خاکدانه‌های پایدار در آب با ریشه و توسعه میسیلیوم قارچ میکوریزا در خاک همبستگی مثبت دارند. ایسا و همکاران (۱۹) نیز گزارش کردند که خاک با پوشش سیانوباکتر ماده آلی تولید می‌کند و مقدار کربن آلی را افزایش داده و باعث پایداری بیشتر خاکدانه‌ها در آب می‌شود، که وجود خاکدانه قوی در خاک با تیمار باکتری همزیست می‌تواند به تولید پلی‌ساکارید نسبت داده شود.

مطالعات متعددی گزارش کردند که پلیمر خارج سلولی که توسط کود بیولوژیک (سیانوباکتر) استخراج می‌شود یک بستر مناسب برای رشد گیاه فراهم می‌کند و باعث افزایش فعالیت میکروفلورهای هتروتروف شبیه ساپروفیت و همزیست‌ها (ریزوبیوم) می‌شود، که به نوبه خود باعث افزایش تولید پلی‌ساکارید و در نتیجه باعث پایداری ساختمان خاک می‌گردد (۳۵). همچنین هامل و همکاران (۱۶) با تحقیق بر روی تره فرنگی، افزایش تعداد خاکدانه‌ها در دامنه‌ی ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر، که ارتباط مثبت با تلقیح گلوموس اینتراداسه^۳ و گلوموس ورتیسفورم^۴ داشت، را نشان دادند. از طرفی نیز کود بیولوژیک حاوی سیانوباکترهای تثبیت کننده ازت باعث بهبود پایداری خاکدانه‌ها از طریق افزایش ماده آلی و بهبود فعالیت‌های میکروبی و تولید پلی‌مر خارج سلولی (۲۹) و کاهش فرسایش می‌شود (۲۷). آمر و همکاران (۵۱) ارتباط بین مؤلفه‌های پایداری خاکدانه‌ها، غلظت مواد آلی، بافت خاک و جرم مخصوص ظاهری را با برخی مؤلفه‌های پایایی ریز موجودات خاکزی از قبیل تنفس پایه، تنفس ناشی از بستر، زیست توده میکروبی و ضریب سوخت و ساز میکروبی بررسی کردند. نتایج

حاکی از وجود همبستگی مثبت بین پایداری خاکدانه‌ها و مؤلفه‌های مذکور و از همه بیشتر با میزان سوخت و ساز میکروبی بود. علاوه بر این، مؤلفه‌های میکروبیولوژیکی و پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های جنگلی (به علت سوخت و ساز میکروبی) به مراتب فعال‌تر و بیشتر از خاک‌های پدزولی بود. پژوهش اسکیرینر و بتلفالوی (۴۳) نیز نشان داد که تجمع خاک به وسیله قارچ میکوریزا ممکن است شامل گره خوردگی فیزیکی هیف قارچ میکوریزا و ریشه‌های نازک گیاه میزبان با ذرات خاک یا ترشح مواد شیمیایی توسط هیف قارچ میکوریزا آرسکولار باشد، که باعث اتصال ذرات خاک به یکدیگر می‌شود. میلر و جاسترو (۳۲) طی تحقیقی، اثر قارچ‌های میکوریزا بر ساختمان خاک بررسی کرده و نتیجه گرفتند که این قارچ‌ها بیشترین اثر را بر پایداری خاکدانه‌های درشت (بزرگ‌تر از ۲۵۰ میکرومتر) دارند. علی‌رغم اینکه همزیستی سه جانبه قارچ میکوریزا، باکتری و حبوبات در کشاورزی اهمیت دارد و بر ساختمان خاک تأثیر می‌گذارد و محققان در تلاش برای یافتن گونه‌های بهتر قارچ میکوریزا و باکتری تحت شرایط مختلف از جمله تنش‌های محیطی هستند، با این وجود تأثیر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزای گونه (گلوموس موسه^۴) بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها، همزمان در دو شرایط مزرعه و گلخانه، به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزای گونه گلوموس موسه^۴ با نخود بر پایداری خاکدانه‌ها و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در دو شرایط مزرعه‌ای و گلخانه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک شامل باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا گونه گلوموس موسه^۴ بر برخی خواص فیزیکی خاک، آزمایشی در دو مرحله و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ی تحقیقاتی عباس آباد و گلخانه تحقیقاتی واقع در دانشگاه بوعلی سینا- همدان اجرا شد.

آزمایش مزرعه‌ای

این آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه‌ی عباس آباد واقع در دانشگاه بوعلی سینا با موقعیت جغرافیایی (34°47'26.21"N و 48°28'40.14"E)، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تلقیح بذور با قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*)، تلقیح بذور با باکتری ریزوبیوم، تلقیح همزمان با میکوریزا-باکتری ریزوبیوم و شاهد با گیاه (بدون تلقیح) بود. در آزمایش مزرعه‌ای ۱۲ واحد آزمایشی به ابعاد ۱۰ × ۱۵ متر در نظر گرفته شد. گیاه نخود در اسفند ماه ۹۲ کاشته شد و در اواخر خرداد ماه ۹۳ نیز برداشت شد. برای آلوده‌سازی با باکتری ریزوبیوم، بذورهای

1- Mean weight diameter

2- Geometric mean diameter

3- *Glomus intraradices*

4- *Glomus versiforme*

گردید. تلقیح بذور با باکتری ریزوبیوم مشابه با پژوهش مزرعه‌ای بود و برای تلقیح بذور با قارچ میکوریزا به گلدان‌هایی که حاوی تیمار قارچ میکوریزا بودند مقدار ۱۰۰ گرم مایه تلقیح قارچ اضافه گردید. برای آماده کردن تیمار ماده زمینه سترون شده میکوریزا (حذف قارچ میکوریزا)، مقداری از کود بیولوژیک حاوی میکوریزا برای سه مرتبه به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو (فشار ۱ اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس) استریل گردید. به گلدان‌هایی که حاوی تیمار ماده زمینه سترون شده میکوریزا بودند مقدار ۱۰۰ گرم از تیمار مورد نظر اضافه گردید. پس از تلقیح بذور نخود با باکتری، بذرها در سینی‌های کشت کاشته شدند. پس از جوانه زدن بذرها، گیاهچه‌های نخود به گلدان‌های آماده شده برای هر تیمار منتقل شدند. در ابتدا در درون هر گلدان تعداد ۵ بذر جوانه زده شده‌ی نخود قرار داده شد و بعد از خارج شدن گیاهچه از خاک فقط ۲ گیاهچه در گلدان حفظ و بقیه حذف شدند. پس از برداشت محصول در خرداد ماه، یک نمونه دست‌خورده با احتیاط کامل و حداقل دست‌خوردگی (از عمق ۵ تا ۱۰ سانتی متری) برداشت شد. مواد آلی به روش اکسیداسیون تر (۵۲) اندازه‌گیری شد.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

برای به دست آوردن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) از روش کمپر و روزنا (۲۱) که مشابه روش یودر (۵۷) است، استفاده گردید. ۳۰ گرم از خاکدانه‌های هوا خشک به قطر ۴ تا ۸ میلی‌متر بر روی سری الک‌ها گذاشته شدند (W_1). اندازه سوراخ‌های سری الک‌ها از بالا به پایین ۴، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر بود. دامنه حرکت عمودی در داخل آب ۲/۶ سانتی‌متر و با شدت نوسان ۳۰ دور در دقیقه برای مدت زمان ۱۲/۵ دقیقه درون سطل پر از آب با حرکت رفت و برگشتی الک شد. پس از پایان الک کردن خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک به درون پتری‌دیش شسته شده و نهایتاً در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس وزن گردیدند (W_2). پس از وزن کردن هر سری از خاکدانه‌ها، درصد شن و سنگریزه آن‌ها با استفاده از همان الک اندازه‌گیری شد (W_3) و از وزن اولیه خاکدانه‌های روی هر الک کم گردید. وزن آب خاکدانه‌های هوا خشک با قرار دادن ۱۰ گرم از آن در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری گردید و بر پایه gg^{-1} محاسبه شد (W_c). پایان از فرمول زیر برای برآورد خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA_i) در هر اندازه بهره‌گیری شد.

$$WSA_i = (W_{2i} - W_{3i}) / (W_S - \sum W_{3i}) \quad (1)$$

$$W_S = (W_1 / (1 + W_c)) \quad (2)$$

برای محاسبه MWD از فرمول زیر استفاده شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i WSA_i \quad (3)$$

i شاخص کلاس اندازه خاکدانه‌ها، n تعداد غربال که در این آزمایش ۵ الک به کار رفت و x_i میانگین قطر خاکدانه‌های به‌جا مانده

نخود با کود ریزوچک پی سوپر پلاس^۱ تلقیح داده شدند. کود ریزوچک پی سوپر پلاس به گونه پودری بود که بر پایه روش آماده سازی آن که بر روی محصول نوشته شده بود آماده گردید. در روز کاشت بذره‌های نخود، با وزن ویژه‌ای (۰/۰۶۴ گرم) از چسب که داخل جعبه کود قرار داشت با اندازه مشخصی از آب شهری (۸ میلی‌لیتر) مخلوط شد و بذره‌های نخود (۲۰۰ گرم) با آن آغشته گردیدند و سپس میزان ۵/۷۱ گرم از کود بر روی بذره‌های نخود، آماده شده با چسب، پاشیده شد و به این ترتیب بذره‌های نخود به باکتری مزو ریزوبیوم^۲ آلوده شدند.

مایه تلقیح قارچی از کلینیک گیاه پزشکی ارگانیک اسد آباد تهیه گردید. مایه تلقیح شامل خاک، بقایای ریشه‌ای و اندام‌های قارچی و در هر گرم مایه تلقیح شامل ۵۰ تا ۱۰۰ عدد اسپور بود. استفاده از مایه تلقیح بدین صورت انجام شد که قبل از کاشت در کرت‌های مربوط به تیمار قارچی ۲ تا ۳ گرم مایه تلقیح درون حفره‌هایی، به عمق ۸ سانتی‌متر و قطر ۳ سانتی‌متر، که برای کاشت بذر ایجاد شده بودند ریخته شد، سپس روی مایه تلقیح ۳ بذر قرار داده شد و در نهایت بذرها با خاک پوشانده شدند. تلقیح بذور نخود با باکتری ریزوبیوم و میکوریزا به این صورت بود که مشابه با روش‌های قبل بذره‌های نخود با باکتری ریزوبیوم تلقیح و سپس در درون حفرات حاوی قارچ میکوریزا (مشابه با روش تلقیح با قارچ میکوریزا) قرار داده شدند.

نمونه‌برداری در اوایل تیرماه ۹۳ پس از برداشت محصول انجام گرفت به طوری که از هر واحد آزمایشی، در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری نمونه دست‌خورده برداشت شد.

آزمایش گلخانه‌ای

آزمایش گلخانه‌ای در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی واقع در دانشگاه بوعلی سینا در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به مدت چهار ماه اجرا شد. برای انجام آزمایش گلخانه‌ای یک نمونه خاک لومی از مزرعه تحقیقاتی عباس آباد (دقیقا از محل آزمایش مزرعه‌ای) از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. سپس، در گلخانه هوا خشک گردیده و به‌منظور ایجاد یکنواختی از الک ۴/۷۵ میلی‌متری عبور داده شد. سپس در بهمن ۱۳۹۳ در گلدان‌های پلاستیکی (قطر ۱۹/۵ و ارتفاع ۲۳/۵ سانتی‌متر)، بر اساس جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه ($1/5 gcm^{-3}$) پر گردید.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار شامل: تلقیح بذور با میکوریزا، تلقیح با ریزوبیوم، تلقیح همزمان با میکوریزا-باکتری ریزوبیوم، ماده زمینه سترون شده قارچی، شاهد با گیاه (بدون تلقیح) و شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) در سه تکرار اجرا

1- Rhizochick pea super plus

2- Mezorhizobium

وجود نداشت. از طرف دیگر ضریب چولگی در دامنه ۱ و ۱- و ضریب کشیدگی در دامنه ۳ و ۳- قرار داشت. این نتایج نیز نشان‌دهنده آن است که مقادیر خطای مدل برای تمام متغیرها از توزیع نرمال پیروی می‌کند (داده‌ها گزارش نشده است).

تأثیر کودهای بیولوژیک بر ارتفاع و عملکرد کل در شرایط گلخانه و کربن آلی در دو شرایط گلخانه و مزرعه

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها در شرایط گلخانه نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف بر مقدار عملکرد کل گیاه در شرایط گلخانه معنی‌دار نشد. اما تأثیر تیمارها بر ارتفاع گیاه و ماده آلی (در سطح یک درصد) معنی‌دار شد (جدول ۲).

از طرفی نیز نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در شرایط مزرعه نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف بر ماده آلی معنی‌دار نشد (جدول ۲). در مزرعه شرایط کنترل نشده (از نظر بارندگی، دما و آبیاری) بود. همچنین آبیاری به صورت دیم صورت گرفت. ولی در شرایط گلخانه گلدان‌ها آبیاری می‌شدند و همچنین شرایط دمایی کنترل شده بود. در نتیجه احتمالاً این پارامترها با تأثیر بر چرخه‌های تر و خشک شدن باعث تفاوت در نتایج مزرعه و گلخانه‌ای شدند. همچنین در شرایط مزرعه بارندگی‌های صورت گرفته نیز می‌تواند بر پایداری خاکدانه و ساختمان خاک تأثیر گذاشته باشد و باعث کاهش تفاوت اثر تیمارهای مختلف شده باشد.

در شرایط گلخانه تیمار حاوی مایکوریزا باعث افزایش ارتفاع گیاه نسبت به سه تیمار شاهد با گیاه، مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم و تیمار سترون شده شد، اما تفاوت معنی‌داری را با باکتری ریزوبیوم ایجاد نکرد. ارتفاع گیاه در تیمار مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم تفاوت معنی‌داری با مایکوریزا نداشت، ولی افزایش معنی‌داری نسبت به ماده زمینه سترون داشت (شکل ۱-ا). نساری و همکاران (۳۶) بیشترین مقدار وزن خشک ریشه و ساقه، ارتفاع و تعداد برگ در تیمار تلقیح شده با باکتری گزارش کردند. محمدی و همکاران (۳۴) افزایش ارتفاع گیاه را ۹۰ روز بعد از کاشت در تیمار حاوی مایکوریزا و کود فسفره گزارش کردند.

بر روی هر الک که برابر با میانگین قطر روزه‌های غربالی که خاکدانه‌ها بر روی آن به‌جا مانده و قطر روزه غربال بالایی آن بود. برای بررسی جرم خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه ذرات، جرم خاکدانه‌های باقی مانده بر روی هر الک اندازه‌گیری شد و مورد آنالیز قرار گرفت. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین و بررسی نرمال بودن توزیع خطاها (آزمون کولموگروف-اسمیرنوف) با استفاده از نرم‌افزار SAS (۱۸) انجام گرفت. در صورت نرمال نبودن توزیع خطای متغیرها، تبدیل داده بر روی آن‌ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی در این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است. خاک مورد آزمایش دارای کلاس بافت لوم شنی بود. مقدار متوسط سه تکرار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خاک مورد استفاده در این پژوهش ۰/۱۲ میلی‌متر بود که طبق تقسیم‌بندی لی بیسونایس (۶) جزو خاکدانه‌های بسیار ناپایدار تقسیم‌بندی شد. همچنین در خاک مورد آزمایش مقدار رطوبت پژمردگی دائم پایین است. زیرا مقدار رس (۱۵/۳۳ درصد) خاک کم است (جدول ۱). این خاک دارای پ-هاش قلیایی متعادل بوده (۱۱) و میزان فسفر قابل جذب آن اندک می‌باشد (۱۷)؛ بنابراین انتظار بر آن است که قابلیت جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف در این خاک به علت بالا بودن پ-هاش، پائین باشد. هدایت الکتریکی خاک مورد مطالعه نشان داد که این خاک، غیر شور است (۴۱). گنجایش تبادل کاتیونی خاک مورد استفاده در این پژوهش در حد متوسط بود (جدول ۱).

بررسی داده‌ها و ارزیابی فرضیات آزمون

با توجه به آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (فرض توزیع نرمال خطای مدل برای متغیرها را آزمون می‌کند) برای تمامی متغیرها به‌جز میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شرایط مزرعه از ۰/۰۵ بیشتر است، نتیجه گرفته می‌شود که توزیع خطای مدل برای متغیرها از لحاظ آماری نرمال می‌باشد. داده‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها برای شرایط مزرعه با روش COS نرمال شده است. همچنین در تمامی متغیرها تعداد داده پرت مورد بررسی قرار گرفت، که هیچ داده پرتی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Physical and chemical properties of the studied soil

P	OC	EC	D _b	CEC	pH	FC	PWP	Clay	Sand	Silt	Texture	MWD
mgkg ⁻¹	%	dSm ⁻¹	gcm ⁻³	cmolc kg ⁻¹	-	درصد وزنی	درصد وزنی	%	%	%	-	mm
10.8	0.73	0.34	1.5	21.67	7.82	20	7	15.33	44.59	40.08	لوم	0.12

*MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، D_b: جرم مخصوص ظاهری، OC: کربن آلی، CEC: گنجایش تبادل کاتیونی، EC: هدایت الکتریکی، P: فسفر، Clay: رس، Sand:

شن، Silt: سیلت، PWP: رطوبت نقطه پژمردگی دائم، FC: رطوبت ظرفیت زراعی.

*MWD: mean weight diameter, D_b: bulk density, OC: organic carbon, CEC: cation exchange capacity, EC: electrical conductivity, P: Phosphorus, PWP: permanent wilting point and FC: field capacity.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، کربن آلی خاک و ارتفاع و عملکرد کل بوته در شرایط گلخانه و مزرعه

Table 2- Analysis of variance of the effects of treatments on mean weight diameter of the aggregates, organic carbon and height and total performance in the greenhouse and field conditions

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares			
		میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD (mm)	کربن آلی OC (%)	عملکرد کل Yield (g)	ارتفاع بوته Height (cm)
تیمار (گلخانه) Treatment (Greenhouse)	5	0.022**	0.057**	117.28 ^{ns}	89.68**
تکرار Replication	2	0.0035 ^{ns}	0.0099 ^{ns}	32.42 ^{ns}	11.33 ^{ns}
خطا Errors	10	0.003	0.0069	56.89	8.13
تیمار (مزرعه) Treatment (Field)	3	0.003 ^{ns}	0.026 ^{ns}		
تکرار Replication	2	0.005 ^{ns}	0.0069 ^{ns}		
خطا Errors	6	0.022	0.0105		

ns و ** به ترتیب نشان دهنده عدم تأثیر معنی‌دار و تأثیر معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشند. داده‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها برای شرایط مزرعه با روش COS نرمال شده است.

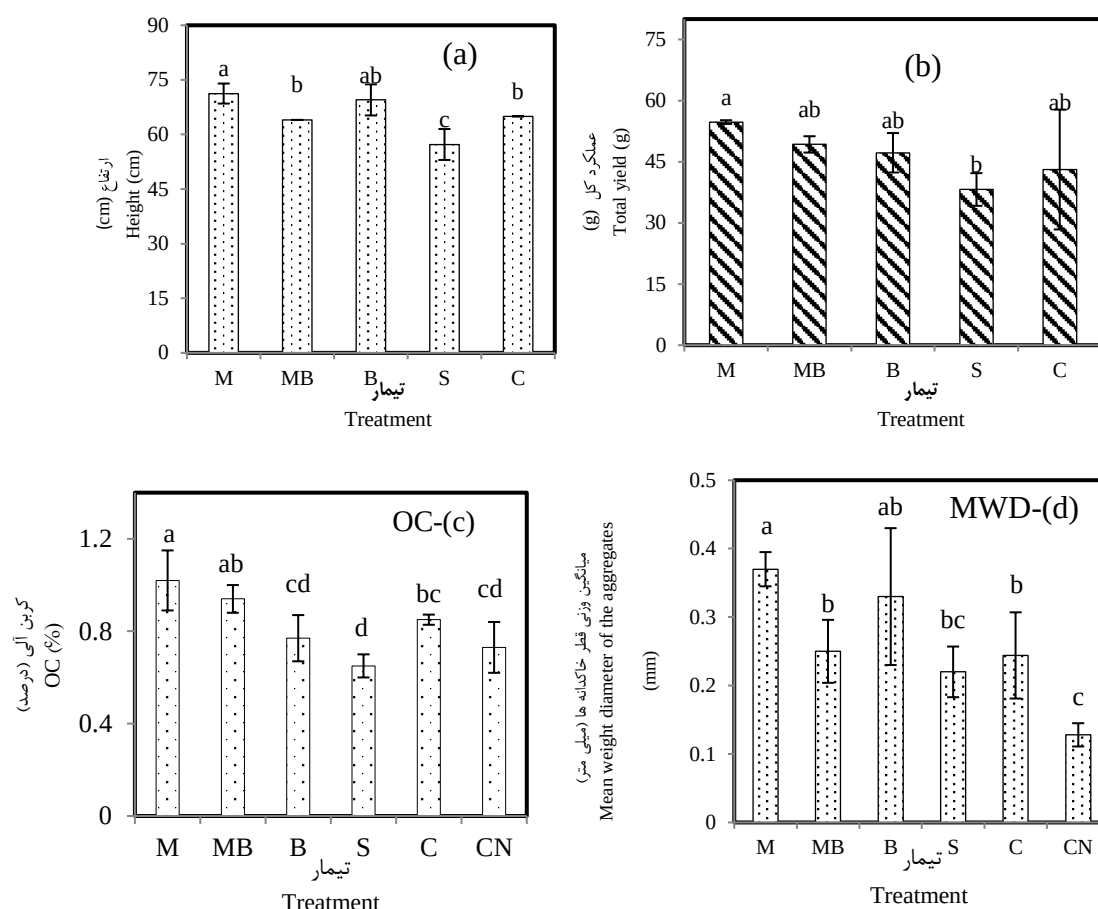
ns, and ** indicate not significant and significant at $p < 0.01$, respectively. The mean weight diameter of the aggregates data for field condition normalized with cos transformation.

ریزوبیوم تأثیر معنی‌داری بر مقدار کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، پ-هاش، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی نداشت. ریشه گیاهان موجب بهبود شرایط فیزیکی و ایجاد خاکدانه می‌شوند. کربن آلی درون خاکدانه‌ها نسبت به کربن بیرون خاکدانه‌ای کمتر تحت تأثیر تجزیه قرار می‌گیرد (اوادز، ۱۹۸۴). تیمار شاهد با گیاه مقدار ماده آلی بیشتری نسبت به ماده زمینه سترون شده داشت. احتمالاً حجم ریشه گیاه و عملکرد گیاه نسبت به تیمار ماده زمینه سترون شده بیشتر باشد که در نتیجه باعث افزایش ماده آلی خاک نسبت به این تیمار گردیده است. کمترین مقدار عملکرد نیز در این پژوهش در تیمار ماده زمینه سترون شده مشاهده شد. از طرفی شاید استریل شدن تیمار ماده زمینه سترون شده در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد، به نحوی کارایی ماده آلی آن را از بین برده است.

تیمار مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی نسبت به تیمارهای شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح)، باکتری ریزوبیوم و ماده زمینه سترون شده قارچی شد. وو و همکاران (۵۶) گزارش کردند که بیشترین آلودگی ریشه (سرایت قارچ به ریشه) به قارچ مایکوریزا گونه گلموس موسه آ در حضور تلقیح با باکتری است. از طرفی همبستگی معنی‌دار بین مقدار ماده آلی با بیوماس گیاهی حاکی از آن است که ماده آلی در ریزوسفر ریشه به‌طور عمده تحت تأثیر رشد گیاه، به‌خصوص ترشحات ریشه در فرایند متابولیسم و فعالیت‌های فیزیولوژیکی قرار می‌گیرد.

نتایج مقایسه میانگین عملکرد کل تیمارها نشان داد که تیمار مایکوریزا باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گیاه نسبت به تیمار ماده زمینه سترون شد. اما تفاوت معنی‌داری بین سایر تیمارها وجود نداشت (شکل ۱-ب). رجب زاده مطلق (۳۹) افزایش وزن خشک اندام هوایی و شاخص سطح برگ را در اثر تلقیح بذر لوبیا قرمز با میکوریزا گزارش کرد. اختر و سیدیکیو (۱) افزایش اندام هوایی نخود را در اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا اینترادیسه گزارش کردند.

مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار کربن آلی خاک در شرایط گلخانه نشان داد که تیمار مایکوریزا باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک نسبت به تیمارهای شاهد با گیاه و بدون گیاه (بدون تلقیح) و باکتری ریزوبیوم و ماده زمینه سترون شده قارچی شد (شکل ۱-ج). از طرفی نیز تفاوت بین تیمارهای مایکوریزا با مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم معنی‌دار نشد (شکل ۱-د). ارتاس (۳۷) نیز گزارش کرد که تیمارهای کودی حاوی مایکوریزا به‌طور معنی‌داری دارای مقدار کربن آلی بیشتری نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح) و کودهای شیمیایی دیگر بودند. از طرفی تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار باکتری ریزوبیوم، ماده زمینه سترون شده قارچی و شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) وجود نداشت (شکل ۱-د). هرچند که مقدار کربن در تیمار ماده زمینه سترون شده کمتر از شاهد بدون گیاه بود، ولی این تفاوت معنی‌دار نشد. همچنین مشابه با نتایج این پژوهش در شرایط مزرعه سولفاب (۴۸) نیز گزارش کرد که باکتری



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف: در شرایط گلخانه بر (a) ارتفاع گیاه، (b) عملکرد کل گیاه، (c) کربن آلی، (d) میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

M, MB, B, S, C and CN, show mycorrhiza, mycorrhiza - rhizobium bacterium, rhizobium bacterium, sterilized mycorrhiza background material, control with plant (non-inoculated) and control without plant (non-inoculated). Similar letters on the columns indicate no significant difference at $P < 0.05$ based on Duncan's multiple mean comparison. The vertical line on bars shows the data's standard deviation.

Figure 1- The mean comparison of the effect of different treatments: in greenhouse condition on (a) Plant height, (b) Total yield, (c) Organic carbon (d) Mean weight diameter of the aggregates

M, MB, B, S, C and CN, show mycorrhiza, mycorrhiza - rhizobium bacterium, rhizobium bacterium, sterilized mycorrhiza background material, control with plant (non-inoculated) and control without plant (non-inoculated). Similar letters on the columns indicate no significant difference at $P < 0.05$ based on Duncan's multiple mean comparison. The vertical line on bars shows the data's standard deviation.

تأثیر کودهای بیولوژیک بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شرایط مزرعه و گلخانه

در مطالعه حاضر پایداری خاکدانه‌ها توسط شاخص MWD اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در شرایط گلخانه نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف در سطح ۱ درصد آماری، بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط مزرعه تأثیر تیمارهای مختلف بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). ریشه‌ها چرخه خشک و مرطوب شدن خاک مجاور را افزایش می‌دهند (ریشه‌ها به دنبال جذب عناصر غذایی، تعادل اسمزی و یونی خاک مجاور را تغییر می‌دهند) و از این طریق می‌توانند سبب

چرا که رسول و همکاران (۴۰) گزارش کردند که کودهای غیر آلی با افزایش بیومس ریشه نسبت به گلدان‌های شاهد باعث افزایش مقدار ماده آلی خاک شدند. همچنین هرچند که تفاوت معنی‌داری بین دو شاهد وجود ندارد اما با توجه به (شکل ۱- C) مقدار کربن بیشتری در تیمار شاهد با گیاه (بدون تلقیح) مشاهده شد (شکل ۱- C). چرا که وجود خود ریشه و ترشحات ریشه در تیمار شاهد با گیاه (بدون تلقیح) بر روی مقدار کربن آلی تأثیر گذاشته و باعث افزایش کربن آلی نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شده است. بنابراین عدم وجود گیاه و ریشه گیاه می‌تواند دلیلی برای کم بودن کربن آلی در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) باشد.

باعث دسترسی بیشتر گیاه به فسفر و نیتروژن شود (۴۷). هرچند که عدم تأثیر افزاینده و معنی دار تلقیح تلفیقی این دو میکروارگانیسم بر رشد گیاه نیز گزارش شده است (۴۷ و ۲۰). بنابراین احتمالاً در این تحقیق نیز مشابه با تحقیق‌های صورت گرفته تلقیح همزمان باکتری و قارچ بر رشد گیاه تأثیر معنی داری نداشته است. در این پژوهش مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار شاهد بدون گیاه ۰/۱۳ میلی‌متر است. اما در تیمار حاوی باکتری و قارچ به ۰/۲۵ میلی‌متر افزایش پیدا کرد. هر چند که تفاوت آن نسبت به حضور جداگانه هر کدام از تیمارها کمتر بود، که می‌تواند به علت ذکر شده، یعنی عدم تأثیر معنی دار تلقیح تلفیقی این دو میکروارگانیسم بر رشد گیاه باشد.

ایسا و همکاران (۱۹) مشاهده کردند که خاک با پوشش کود بیولوژیک (سیانوباکتر) ماده آلی تولید می‌کند که مقدار کربن آلی را افزایش داده و باعث پایداری بیشتر خاکدانه‌ها در آب می‌شود. پس، خاکدانه‌های بهتر در خاک با تیمار باکتری همزیست می‌تواند به تولید پلی‌ساکارید نسبت داده شود. از طرفی نیز تیمار مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم هرچند که اختلاف معنی داری با تیمار ماده زمینه سترون شده و شاهد با گیاه ایجاد نکرد، اما با توجه به شکل ۱-d باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شد. بتلنفالوی و همکاران (۵) نیز گزارش کردند که تلقیح همزمان قارچ مایکوریزا با باکتری ریزوبیوم باعث افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد (قارچ به همراه ازت)، تیمار قارچ×آمونیم و تیمار قارچ×نترات شد. همچنین بیومس بیشتر در ساقه و ریشه گیاهان ممکن است به بهبود ساختمان خاک و یا افزایش در جذب عناصر غذایی و آب (۹) نسبت داده شود. در این پژوهش نیز تلقیح چهار ماه قارچ مایکوریزا و دو تیمار کود بیولوژیک دیگر باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شد (شکل ۱-d). مشابه با نتایج این پژوهش، وانگ و همکاران (۵۳) نیز گزارش کردند که تلقیح چهار ماه گیاه با گونه‌های مختلف مایکوریزا باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها شد. در این تحقیق طبق پژوهش‌های انجام شده هدف بررسی تأثیر کوتاه مدت این کودها بود. همچنین بررسی تأثیر خود ریشه نیز بر هم آوری ذرات مورد نیاز بود. زیرا ریشه از طریق ترشح مواد و ایجاد شبکه‌ها بر ایجاد خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها مؤثر است. بنابراین مدت زمان این تحقیق برای بررسی تأثیر تیمارهای حاوی کود بیولوژیک بر پایداری خاکدانه‌ها کفایت می‌کرد.

از طرفی نیز میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها که شاخصی از خاکدانه‌های خاک است به طور مثبت وابسته به کربن آلی است. با توجه به شکل ۱-c بیشترین مقدار کربن آلی در تیمار قارچ مایکوریزا و مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم و کمترین مقدار کربن آلی در تیمار سترون شده مایکوریزا و شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) مشاهده شد. همچنین در این پژوهش نیز همبستگی مثبت و بالایی بین کربن آلی با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ($R^2=0/53$) مشاهده شد. در واقع ماده

افزایش یا کاهش پایداری خاکدانه‌ها شوند، که احتمالاً وابسته به نوع رس است. بنابراین احتمالاً طبق موارد ذکر شده در قبل، در شرایط مزرعه به علت شرایط آب و هوایی کنترل نشده و ابیاری، چرخه‌های تر و خشک شدن باعث کاهش تفکیک اثر تیمارها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شده است. مشابه با این پژوهش وو و همکاران (۵۵) گزارش کردند که مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار حاوی ریشه و هیف و تیمار حاوی ریشه و بدون هیف قارچ مایکوریزا مشابه است و مهم نیست که خاک تحت تیمار مایکوریزا یا غیر مایکوریزا باشد. از طرفی ریشه خود گیاه در مقدار ماده آلی خاک شرکت دارد و بنابراین خاکدانه‌های خاک را به طور مستقیم از طریق مواد خود ریشه (۵۴) و به طور غیرمستقیم از طریق تحریک فعالیت میکروبی در ناحیه ریزوسفری تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۹)؛ بنابراین یکی از دلایل عدم تأثیر تیمارها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها احتمالاً پوشش تأثیر مایکوریزا و باکتری توسط اثر ریشه‌ها در شرایط مزرعه بوده است.

در شرایط گلخانه مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نشان داد که استفاده از کودهای بیولوژیک باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شد (شکل ۱-d). همچنین در بین تیمارهای کود بیولوژیک میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در اثر همزیستی با قارچ گلوموس موسه آ نسبت به تیمارهای شاهد با گیاه و بدون گیاه (بدون تلقیح)، تیمار مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم و تیمار ماده زمینه سترون شده مایکوریزا افزایش یافت و کمترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای ذکر شده در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) مشاهده شد. این یافته نشان دهنده اهمیت خود ریشه گیاه در ایجاد خاکدانه‌های پایدار در خاک می‌باشد. مطالعات مختلفی اثر پوشش گیاهی بر ساختمان خاک و پایداری ساختمان خاک را گزارش کرده‌اند (۸). چرا که وجود ریشه گیاهان باعث درهم رفتگی ذرات خاک شده و از طریق ترشحات استخراج شده باعث تغییر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و در نتیجه پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (۱۰).

افزایش MWD در تیمارهای قارچی گونه گلوموس موسه آ احتمالاً می‌تواند در اثر ترشحات گلیکوپروتئینی به نام گلومالین باشد (در این تحقیق اندازه‌گیری نشده است) که موجب به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌ها می‌گردد (۲۸). در این پژوهش مشابه با پژوهش وانگ و همکاران (۵۳) تیمار مایکوریزا باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار ماده زمینه سترون شده مایکوریزا شد. همچنین با توجه به شکل ۱-d اختلاف معنی داری بین تیمارهای مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم، باکتری ریزوبیوم، تیمار ماده زمینه سترون شده مایکوریزا و شاهد با گیاه (بدون تلقیح) وجود ندارد. از طرفی نیز اختلاف معنی داری بین دو تیمار باکتری ریزوبیوم و تیمار مایکوریزا وجود نداشت. بسیاری از لگوم‌ها به طور همزمان با قارچ مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم همزیستی دارند و تلقیح توأم آن‌ها با هر دو میکروارگانیسم، می‌تواند

آلی به عنوان یک عامل سیمانی کننده عمل کرده و برای هموار نمودن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌های مقاوم اهمیت دارد. نیروی چسبندگی بیشتر به واسطه تشدید نیروهای هم چسبی بین ذرات معدنی و پلیمرهای آلی قابلیت خیس شدن خاکدانه‌ها و در نتیجه تخریب و فروپاشی آن‌ها را کاهش می‌دهد.

علاوه بر کربن آلی عوامل دیگری مانند هیف، اسپور، گلومالین، عملکرد گیاه و ریشه نیز بر پایداری خاکدانه‌ها موثر هستند. بنابراین هر چند که در تیمار باکتری-قارچ مقدار ماده آلی بیشتر است، ولی احتمالاً در این تیمار تاثیر عوامل دیگر بر پایداری خاکدانه نسبت به سایر تیمارها (باکتری و قارچ به صورت جداگانه) کمتر بوده است. زیرا نتایج مربوط به عملکرد و ارتفاع گیاه گواهی بر این موضوع است و این تیمار تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد و ارتفاع گیاه، با شاهد (با گیاه) نداشت. اما در این تحقیق تیمار ماده زمینه سترون شده علاوه بر کم بودن مقدار ماده آلی کمترین مقدار عملکرد را نسبت به سایر تیمارها داشت که این علت می‌تواند یکی از عوامل کمتر بودن MWD در این تیمار باشد.

تأثیر کودهای بیولوژیک بر جرم خاکدانه‌ها در کلاس اندازه‌های مختلف در شرایط گلخانه و مزرعه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف در سطح ۵ درصد آماری بر جرم خاکدانه‌های ۴-۸ و ۲-۴ میلی‌متر در شرایط گلخانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۴-۸ میلی‌متر نشان داد که تیمار مایکوریزا باعث افزایش معنی‌دار جرم این کلاس از خاکدانه‌ها نسبت

به سه تیمار شاهد با و بدون گیاه (بدون تلقیح) و تیمار ماده زمینه سترون شده مایکوریزا شد (شکل ۲-ا). همچنین تیمارهای مایکوریزا، باکتری ریزوبیوم و شاهد با گیاه باعث افزایش معنی‌دار جرم خاکدانه‌های ۲-۴ میلی‌متر نسبت به شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شدند (شکل ۲-ا). یکی از دلایل کارایی کم تیمار سترون شده مایکوریزا در این پژوهش می‌تواند به علت مقدار کمتر ماده آلی (شکل ۱-ج) و همچنین با توجه به استریل شدن این تیمار و از بین رفتن قارچ مایکوریزا باشد.

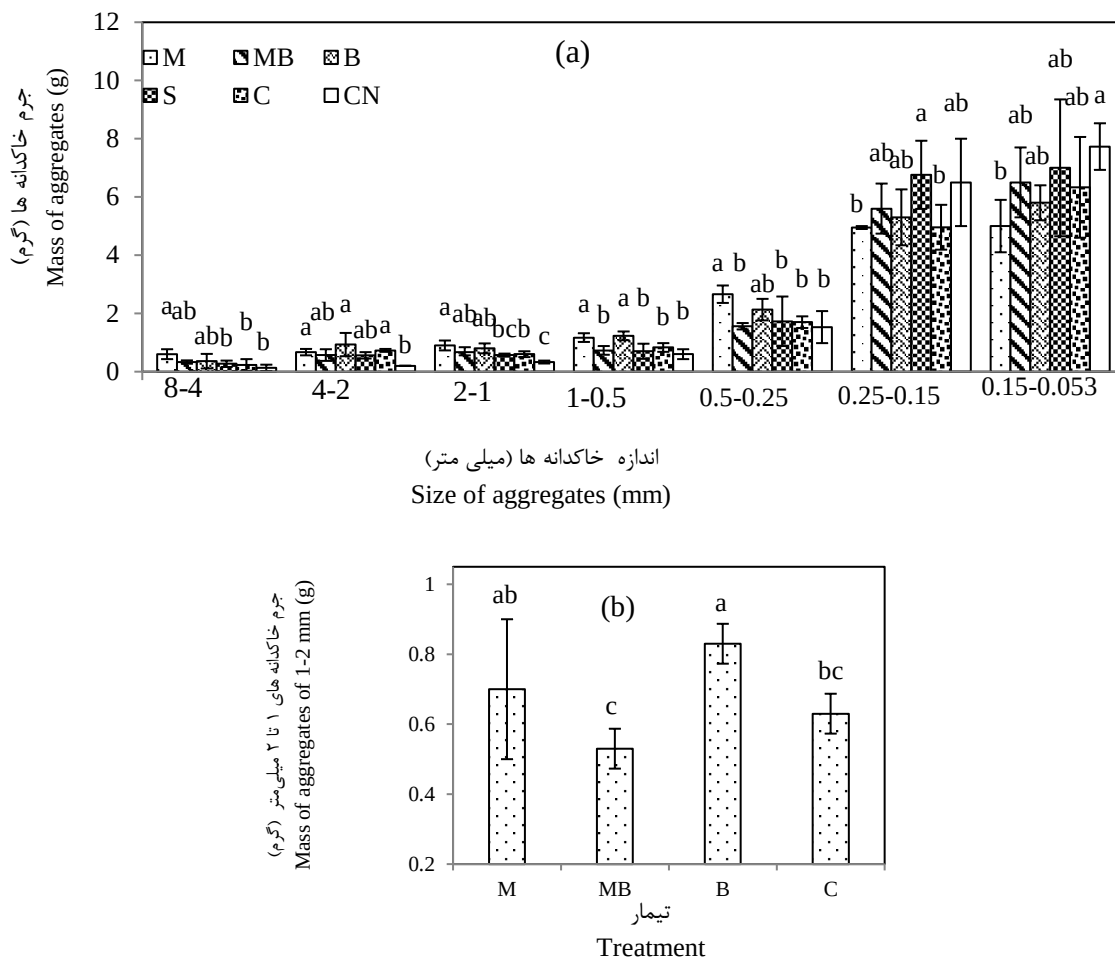
مشابه با این پژوهش اسکینر و همکاران (۴۴) نیز گزارش کردند که گونه‌های قارچی مانند گلوموس موسه‌آ، گلوموس اتونیکاتوم و گیگاسپور روزا از طریق افزایش خاکدانه‌های ۲-۴ میلی‌متر باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها شدند. همچنین احتمالاً عدم اتصال خاکدانه‌های ۲ تا ۴ میلی‌متر و تبدیل شدن آن‌ها به خاکدانه‌های درشت‌تر، عامل بیشتر بودن جرم خاکدانه‌هایی با قطر ۲ تا ۴ میلی‌متر در تیمار با گیاه (بدون تلقیح) باشد. ماده آلی با اتصال خاکدانه‌ها به همدیگر باعث تبدیل خاکدانه‌های کوچک به خاکدانه‌های درشت شده است و جرم این کلاس از خاکدانه‌ها را افزایش داده است. افزایش جرم خاکدانه‌هایی با قطر ۴-۸ میلی‌متر که جزو اندازه درشت هستند، نشان‌دهنده مطلوبیت ساختمان خاک است. از طرفی نیز خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۲۵/۰ میلی‌متر به عنوان خاکدانه‌های پایدار و بزرگ محسوب شده (۳۱) و از این نظر می‌توان عنوان داشت که کاربرد تیمارهای مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم باعث افزایش جرم این کلاس از خاکدانه‌ها (۴-۸ و ۲-۴ میلی‌متر) شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر جرم خاکدانه‌ها با اندازه‌های مختلف در شرایط گلخانه و مزرعه

Table 3- The results of analysis of variance of the effects of treatments on the mass of aggregates with different sizes in the greenhouse and field conditions

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares						
		8-4 (mm)	4-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.15	0.15-0.053
تیمار (گلخانه) Treatment (Greenhouse)	5	0.076*	0.18*	0.12**	0.20**	0.57 ^{ns}	1.82 ^{ns}	2.69 ^{ns}
تکرار Replication	2	0.034 ^{ns}	0.028 ^{ns}	0.0072 ^{ns}	0.028 ^{ns}	0.29 ^{ns}	1.86 ^{ns}	3.37 ^{ns}
خطا Errors	10	0.027	0.041	0.017	0.033	0.20	0.81	1.69
تیمار (مزرعه) Treatment (Field)	3	0.023 ^{ns}	0.076 ^{ns}	0.047**	0.23 ^{ns}	0.50**	2.95 ^{ns}	0.30 ^{ns}
تکرار Replication	2	0.51 ^{ns}	0.076 ^{ns}	0.032 ^{ns}	0.076 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.03 ^{ns}
خطا Errors	6	0.31	0.11	0.0058	0.12	0.48	2.03	0.50

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد، تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد و تأثیر معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشند.
ns, * and ** indicate not significant at $P < 0.05$, significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف در شرایط گلخانه بر (a) جرم خاکدانه‌های درشت و کوچک در کلاس‌های مختلف اندازه و (b) در شرایط مزرعه بر جرم خاکدانه‌های ۱ تا ۲ میلی‌متر

M, MB, B, S, C و CN به ترتیب نشان‌دهنده تیمار مایکوریزا، مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم، باکتری ریزوبیوم، تیمار سترون شده مایکوریزا، شاهد با گیاه (بدون تلقیح) و شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) می‌باشند. وجود حروف مشابه بر روی هریک از ستون‌ها در هر کدام از کلاس‌های اندازه، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن بین تیمارهای آن کلاس اندازه می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

Figure 2- The mean comparison of the effect of different treatments in the greenhouse condition (a) the mass of macro and micro aggregates in different size classes and in the field condition (b) on mass of aggregates of 1-2 mm

M, MB, B, S, C and CN, show mycorrhiza, mycorrhiza - rhizobium bacterium, rhizobium bacterium, sterilized mycorrhiza background material, control with plant (non-inoculated) and control without plant (non-inoculated). Similar letters on the columns indicate no significant difference at $P < 0.05$ based on Duncan's multiple mean comparison. The vertical line on bars shows the data's standard deviation.

آن‌ها مورد بحث قرار نگرفت. بنابراین با توجه به تأثیر کودهای بیولوژیک بر پایداری خاکدانه‌ها و همچنین افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها می‌توان گفت که تیمارهای کود بیولوژیک با افزایش پایداری خاکدانه‌ها بر خاکدانه‌های درشت تأثیر گذار بوده‌اند.

مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۱-۲ میلی‌متر در شرایط گلخانه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار کود بیولوژیک وجود نداشت. اما هر سه تیمار کود بیولوژیک باعث افزایش معنی‌دار جرم این کلاس از اندازه خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شدند (شکل ۲-ا). از طرفی نیز مقایسه میانگین بین دو تیمار شاهد نیز معنی‌دار شد و تفاوت معنی‌داری بین ماده زمینه سترون شده مایکوریزا و شاهد بدون گیاه (بدون

نتایج تجزیه واریانس تیمارها در شرایط گلخانه نشان داد که تیمارهای مختلف، جرم خاکدانه‌ها در کلاس‌های ۱-۲ و ۰/۵-۱ میلی‌متر را به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۳)، اما تأثیر معنی‌داری بر جرم خاکدانه‌های ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متر ایجاد نکردند. همچنین تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌ها در کلاس‌های مختلف در شرایط مزرعه نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۱-۲ میلی‌متر همانند پژوهش گلخانه‌ای معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) بود. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌ها در کلاس اندازه‌های دیگر معنی‌دار نشد (جدول ۳). از طرفی با توجه به معنی‌دار نشدن اثر تیمارها بر جرم خاکدانه‌ها در اندازه‌های مختلف، مقایسه

درحالی که تأثیر این تیمارها بر خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی متر معنی‌دار نشد. در این تحقیق تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۰/۲۵-۰/۱۵ میلی متر معنی‌دار بود (شکل ۲-ا). در واقع در بین تیمارهای مختلف بیشترین جرم خاکدانه‌های ۰/۲۵-۰/۱۵ میلی متر مربوط به تیمار ماده سترون شده مایکوریزا بود که دارای اختلاف معنی‌دار با تیمار قارچ مایکوریزا و شاهد با گیاه (بدون تلقیح) بود. از طرفی هر چند که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای حاوی کود بیولوژیک با شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) وجود نداشت، اما با توجه به شکل ۲ میانگین جرم خاکدانه‌ها در این کلاس در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) بیشتر بود. از طرفی تیمار مایکوریزا باعث کاهش جرم این کلاس از خاکدانه‌ها شد. دلیل این کاهش قرار گرفتن درصد بیشتری از خاکدانه‌ها در کلاس اندازه درشت است. افزایش خاکدانه‌های درشت نشان دهنده بهبود ساختمان خاک می باشد.

با توجه به شکل ۲-ا بیشترین میانگین جرم خاکدانه‌های ۰/۱۵-۰/۰۵۳ میلی متر در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) مشاهده شد. بنا به دلایل یاد شده در بخش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش مقدار خاکدانه‌ها با اندازه‌های درشت‌تر در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) باعث افزایش خاکدانه‌های ریز شده است. علاوه بر این عدم وجود ریشه گیاه، هیف قارچ و ترشحات ریشه و در نتیجه ماده آلی کم در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) باعث شده که خاکدانه‌ها در اثر نیروی آب متلاشی شده و به خاکدانه‌های ریزتر تبدیل شوند (و یا از ابتدا خاکدانه‌های درشت تشکیل نشوند) و تنها حدودی از آن‌ها در آب پایدار بوده و در نتیجه جرم این کلاس از اندازه خاکدانه‌ها افزایش پیدا کند.

با اعمال تیمارهای کود بیولوژیک فراوانی خاکدانه‌ها در کلاس اندازه خاکدانه‌های ریز کاهش پیدا کرد، در حالی که فراوانی خاکدانه‌ها در کلاس اندازه‌های درشت‌تر افزایش پیدا کرد (شکل ۲-ا)، که نشان دهنده افزایش پایداری ساختمان خاک است. لبرن و همکاران (۲۶) نقش ماده آلی در سیستم‌های مختلف کشت را در پایداری خاکدانه‌ها مهم دانستند. به نظر می‌رسد که هر منبع آلی بسته به خصوصیات که دارد، بعد از زمان مشخصی باعث تغییر معینی در کلاس اندازه خاکدانه‌ها می‌شود.

نتیجه‌گیری

باکتری‌ها و قارچ‌ها با افزایش کربن آلی در تیمارهای حاوی کود بیولوژیک می‌توانند عاملی برای بهبود ساختمان خاک باشند. نتایج پایداری خاکدانه‌ها نشان داد که پایداری خاکدانه‌ها در شرایط گلخانه ای تحت تأثیر تیمارهای کود بیولوژیک قرار گرفت و تیمارهای حاوی کود بیولوژیک با افزایش خاکدانه‌های درشت، باعث پایداری خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک شدند. از طرفی در شرایط گلخانه نیز پایداری خاکدانه‌ها در دو تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) و تیمار

تلقیح) وجود نداشت؛ که این می‌تواند به علت کمتر بودن ماده آلی در دو تیمار مذکور نسبت به سایر تیمارها باشد. چرا که اندازه خاکدانه‌های ۱-۲ میلی متر نسبت به مدیریت‌های کوتاه مدت حساسیت بیشتری دارند (۲۰). نتایج مقایسه میانگین در شرایط مزرعه نتایج نشان داد که تیمار باکتری ریزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار جرم این کلاس از اندازه خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد و مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم شد (شکل ۲-ب). کلاب و همکاران (۱۳) تأثیر ۱۶ پلی-ساکارید استخراج شده از ریزوبیوم بر پایداری خاکدانه‌ها در ۱۰ نمونه خاک را بررسی کردند و گزارش کردند که پلی‌ساکارید استخراج شده ریزوبیوم از عوامل موثر در تشکیل ساختمان خاک هستند. همچنین خاکدانه‌سازی به‌طور معنی‌داری با افزایش حجم ریشه، جامعه میکروبی و درصد تاج پوشش افزایش می‌یابد (۴۲). در شرایط مزرعه تیمار مایکوریزا نیز باعث افزایش معنی‌دار جرم این کلاس از اندازه خاکدانه‌ها نسب به تیمار مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم شد (شکل ۲-ب). آزمایش فنج و همکاران (۱۵) نشان داد که نقش هیف قارچ مایکوریزا در ایجاد خاکدانه‌های ۵-۲ و ۲-۱ میلی متر بیشتر از ریشه گیاه ذرت است. وو و همکاران (۵۵) نیز گزارش کردند که در بین تیمارهای مختلف، کلاس اندازه خاکدانه‌های ۱-۲ میلی متر تنها تحت تأثیر تیمار مایکوریزا گونه گلو موس موسه‌آ قرار گرفت.

در مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۱-۰/۵ میلی متر تیمارهای مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار جرم این کلاس از اندازه خاکدانه‌ها نسبت به تیمارهای دیگر شدند (شکل ۲-ا). علت این افزایش را می‌توان به اثر افزایش حجم ریشه، جمعیت میکروبی و گلو مالین در بین دیگر عوامل نسبت داد (۴۲). همچنین تفاوت بین تیمارهای مایکوریزا-باکتری ریزوبیوم، ماده سترون شده مایکوریزا و هر دو شاهد معنی‌دار نشد (شکل ۲-ا). شکل ۲-ا نشان می‌دهد که فراوانی خاکدانه‌ها در این کلاس اندازه خاکدانه‌ها، بسته به نوع تیمارها تا حدی متفاوت است. گلو مالین باعث تبدیل خاکدانه‌های کوچک (۰/۵-۰/۲۵ میلی متر) به خاکدانه‌های درشت (> 2 و $1-2$ میلی متر) می‌شود. استفاده از تیمار مایکوریزا باعث افزایش فراوانی کلاس ۰/۵-۰/۲۵ میلی متر شد. همچنین شکل ۲-ا نشان می‌دهد که برای همه تیمارها، جرم خاکدانه‌ها در کلاس اندازه ۰/۵-۰/۲۵ و ۱-۰/۵ میلی متر بیشترین و خاکدانه‌های ۸-۴ میلی متر کمترین فراوانی را به خود اختصاص دادند؛ که این موضوع نشان دهنده این است که در حضور آب و به دلیل نیروی وارده، خاکدانه‌ها بیشتر تخریب شده‌اند، در نتیجه جرم خاکدانه‌ها در این کلاس‌ها افزایش پیدا کرده است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف بر جرم خاکدانه‌های ۰/۲۵-۰/۱۵ و ۰/۱۵-۰/۰۵۳ میلی متر معنی‌دار نبود (جدول ۳). در منابع متعددی قطر ۰/۲۵ میلی متر به‌عنوان مرز خاکدانه‌های ریز و درشت گزارش شده است. در این پژوهش و با توجه به جدول ۴ و شکل ۲-ا نتایج نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف بر خاکدانه‌های درشت‌تر از ۰/۲۵ میلی متر معنی‌دار بود،

شیمیایی در اراضی کشاورزی دستخوش تغییرات شده‌اند. بنابراین با توجه به محدودیت‌های موجود برای به‌کارگیری تثبیت‌کننده‌ها، استفاده از کودهای بیولوژیک و آلی یک راه حل مناسب در جهت رفع این مشکلات به شمار می‌رود. توصیه می‌شود در تحقیقات بعدی کارایی سایر گونه‌های قارچ میکوریزی و باکتری ریزوبیوم نیز در ارتقای کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک به ویژه در مقیاس مزرعه‌ای مطالعه گردد. همچنین با توجه به انجام شدن این طرح در شرایط مزرعه پیشنهاد به بررسی دقیق‌تر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک در بلند مدت می‌شود.

ماده زمینه سترون شده به علت کمبود ماده آلی خاک و تراکم کم ریشه و ترشحات آن در ناحیه ریزوسفر نسبت به تیمارهای حاوی کود بیولوژیک کمتر بود. به‌طور کلی تیمارهای حاوی کودی بیولوژیک با تأثیرگذاری بر عملکرد گیاه و ریشه گیاه باعث بهبود ساختمان خاک شدند. همچنین تأثیر کمتر کودهای بیولوژیک بر پایداری خاکدانه‌ها و افزایش خاکدانه‌های درشت در شرایط مزرعه می‌تواند به علت وسعت زیاد منطقه، شرایط آب و هوایی (کنترل نشده در مقایسه با گلخانه) و همچنین کوتاه مدت بودن طرح مورد نظر باشد. از طرفی در چند دهه اخیر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در اثر مصرف نهاده‌های

منابع

- 1- Akhtar M.S., and Siddiqui Z.A. 2008. *Glomus intraradices*, *Pseudomonas alcaligenes* and *Bacillus pumilus*: effective agents for the control of root-rot disease complex of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of General, Plant Pathology 74: 53-60.
- 2- Ardakani M.R., Mazaheri M., and Normohammadi G. 2000. The role of azospirillum bacteria in absorption of micronutrients and macro wheat, 6th Iranian Congress of Plant Breeding, page 13-16. (In Persian)
- 3- Barthès B. G., Kouakoua E., Larré-Larrouy M.C., Razafimbelo T.M., de Luca E.F., Azontonde A., Neves C.S., de Freitas P.L., and Feller C.L. 2008. Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. Geoderma 143(1): 14-25.
- 4- Bearden B.N., and Petersen L. 2000. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a vertisol. Plant and Soil 218(1): 173-183.
- 5- Bethlenfalvay G., Cantrell I., Mihara K., and Schreiner R.P. 1999. Relationships between soil aggregation and mycorrhizae as influenced by soil biota and nitrogen nutrition. Biology and Fertility of Soils 28(4): 356-363.
- 6- Bissonnais Y.L. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of Soil Science 47(4): 425-437.
- 7- Bibourdi M. 1379. Physics of Soil. Tehran University Press. (In Persian)
- 8- Bodner G., Scholl P., Loiskandl W., and Kaul H.P. 2013. Environmental and management influences on temporal variability of near saturated soil hydraulic properties. Geoderma 204: 120-129.
- 9- Bouwmeester H.J., Roux C., Lopez-Raez J.A., and Becard G. 2007. Rhizosphere communication of plants, parasitic plants and AM fungi. Trends in Plant Science 12(5): 224-230.
- 10- Bronick C.J., and Lal R. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. Soil and Tillage Research 81(2): 239-252.
- 11- Bruce R.C., and Rayment G. 1982. Analytical methods and interpretations used by the Agricultural Chemistry Branch for soil and land use surveys: Queensland Department of Primary Industries.
- 12- Cheshire M. 1979. Nature and origin of carbohydrates in soils: Academic Press.
- 13- Clapp C., Davis R., and Waugaman S. 1962. The effect of rhizobial polysaccharides on aggregate stability. Soil Science Society of America Journal 26(5): 466-469.
- 14- Diaz-Zorita M., Perfect E., and Grove J. 2002. Disruptive methods for assessing soil structure. Soil and Tillage Research 64(1): 3-22.
- 15- Feng G., Zhang Y., and Li X. 2001. Effect of external hyphae of arbuscular mycorrhizal plant on water-stable aggregates in sandy soil. Journal of Soil Water Conservation 4: 025.
- 16- Hamel C., Dalpé Y., Furlan V., and Parent S. 1997. Indigenous populations of arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregate stability are major determinants of leek (*Allium porrum* L.) response to inoculation with *Glomus intraradices* Schenck and Smith or *Glomus versiforme* (Karsten) Berch. Mycorrhiza 7(4): 187-196.
- 17- Holford I., and Cullis B.R. 1985. Effects of phosphate buffer capacity on yield response curvature and fertilizer requirements of wheat in relation to soil phosphate tests. Soil Research 23(3): 417-427.
- 18- Institute S. 1985. SAS user's guide: statistics: Sas Inst.
- 19- Issa O.M., Le Bissonnais Y., Défarge C., and Trichet J. 2001. Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sandy soils in the Sahelian part of western Niger. Geoderma 101(3): 15-30.
- 20- Jensen A. 1984. Influence of inoculation density of two VAMF and temperature on *Trifolium repense*. Journal of Botany 4: 239-249.
- 21- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. p. 425-442. In: Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Agronomy Monograph. 9.
- 22- Khosrowjerdi M., Shahsavani Sh., Gholipour M., and Asghari H.R. 2013 Effect of Inoculation of Rhizobium and Mycorrhizal Fungus On the absorption of some minerals by chickpea at different levels of ferric sulfate fertilizer. Journal of Crop Production 6(3): 71-87. (In Persian With English abstract)

- 23- Kohler-Milleret R., Le Bayon R.C., Chenu C., Gobat J.M., and Boivin P. 2013. Impact of two root systems, earthworms and mycorrhizae on the physical properties of an unstable silt loam Luvisol and plant production. *Plant and Soil* 370(1-2): 251-265.
- 24- Lal R., and Shukla M.K. 2004. Principles of soil physics: CRC Press.
- 25- Landau S. 2004. A handbook of statistical analyses using SPSS: CRC.
- 26- Lebron I., Suarez D., and Yoshida T. 2002. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Science Society of America Journal* 66(1): 92-98.
- 27- Mager D., and Thomas A. 2011. Extracellular polysaccharides from cyanobacterial soil crusts: a review of their role in dryland soil processes. *Journal of Arid Environments* 75(2): 91-97.
- 28- Marschner H., and Dell B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159(1): 89-102.
- 29- Marshall T.J., Holmes J.W., and Rose C.W. 1996. Soil physics: Cambridge University Press.
- 30- Martens D., and Frankenberger W. 1993. Soil saccharide extraction and detection. *Plant and Soil* 149(1): 145-147.
- 31- Mahmoud Abadi M. 2013 . Effect of different organic matters on time variability of soil aggregate stability at different size fractions. *Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)* 93: 70-78. (In Persian)
- 32- Miller R., and Jastrow J. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In "*Arbuscular mycorrhizas: physiology and function*. Springer 3-18.
- 33- Mohammad M.J., Pan W., and Kennedy A. 2005. Chemical alteration of the rhizosphere of the mycorrhizal-colonized wheat root. *Mycorrhiza* 15(4): 259-266.
- 34- Mohammadi E., Asghari H.R., and Gholami A. 2013. The effect of mycorrhiza inoculation and phosphorus fertilizer on some growth indicators Hashem plant (*Cicer arietinum* L.) Pea. *Agroecology* 5(3): 263-271. (In Persian)
- 35- Nisha R., Kaushik A., and Kaushik C. 2007. Effect of indigenous cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semi-arid soil. *Geoderma* 138: 49-56.
- 36- Nesari N., Ghorbani R., and Lashkari A. 2009. Nodulations, nitrogen fixation and growth characteristics of chickpea under metribuzin herbicide application. *Journal of Agroecology* 1(2): 37-45. (In Persian)
- 37- Ortas I. 2015. Comparative analyses of Turkey agricultural soils: Potential communities of indigenous and exotic mycorrhiza species' effect on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrient uptakes. *European Journal of Soil Biology* 69: 79-87.
- 38- Parmar N., and Dadarwal K. 1999. Stimulation of nitrogen fixation and induction of flavonoid-like compounds by rhizobacteria. *Journal of Applied Microbiology* 86(1): 36-44.
- 39- Rajabzadeh Motlagh F. 2011. Evaluation application of arbuscular mycorrhiza, nitrogen fixing bacteria and nitrogen fertilizer on yield and yield component of *Phaseolus vulgaris*, MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran. (In Persian)
- 40- Rasool R., Kukal S., and Hira G. 2007. Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice-wheat system. *Soil and Tillage Research* 96(1): 64-72.
- 41- Richards L. 1954. Diagnosis and Improvement of Alkaline Soils, USDA Handbook 60: US Government Printing Office Washington, DC, USA.
- 42- Rillig M.C., Wright S.F., and Eviner V.T. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil* 238(2): 325-333.
- 43- Schreiner R.P., and Bethlenfalvay G.J. 1995. Mycorrhizal interactions in sustainable agriculture. *Critical Reviews in Biotechnology* 15: 271-285.
- 44- Schreiner R.P., and Bethlenfalvay G.J. 1997. Plant and soil response to single and mixed species of arbuscular mycorrhizal fungi under fungicide stress. *Applied Soil Ecology* 7(1): 93-102.
- 45- Sharma S., Gupta R., Dugar G., and Srivastava A.K. 2012. Impact of application of biofertilizers on soil structure and resident microbial community structure and function, *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Probiotics* 65-77.
- 46- Siddiky M.R.K., Kohler J., Cosme M., and Rillig M.C. 2012. Soil biota effects on soil structure: Interactions between arbuscular mycorrhizal fungal mycelium and collembolan. *Soil Biology and Biochemistry* 50: 33-39.
- 47- Stribley D.P. 1987. Mineral nutrition. PP. 59-66. In: *Ecophysiology of VAM Plant*. John Wiley and Sons, New York.
- 48- Sulfab H.A. 2013. Effect of Bio-organic Fertilizers on Soil Fertility and Yield of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Malakal Area, Republic of South Sudan, *JOUR. of nat. Resour. and Environ. STU*: 14-19.
- 49- Tisdall J., and Oades J. 1980. The effect of crop rotation on aggregation in a red-brown earth. *Soil Research* 18(4): 423-433.
- 50- Tisdall J.M., and Oades J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *European Journal of Soil Science* 33(2): 141-163.
- 51- Umer M.I., and Rajab S.M. 2012. Correlation between aggregate stability and microbiological activity in two Russian soil types. *Eurasian Rasian Journal of Soil Science* 1: 45-50.
- 52- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37(1): 29-38.
- 53- Wang S., Srivastava A., Wu Q.S., and Fokom R. 2014. The effect of mycorrhizal inoculation on the rhizosphere properties of trifoliate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.). *Scientia Horticulturae* 170: 137-142.
- 54- Watt M., McCully M., and Jeffree C. 1993. Plant and bacterial mucilages of the maize rhizosphere: comparison of

- their soil binding properties and histochemistry in a model system. *Plant and Soil* 151(2): 151-165.
- 55- Wu Q.S., Cao M.Q., Zou Y.N., and He X.H. 2014. Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliate orange, *Scientific reports*, 4.
- 56- Wu S., Cao Z., Li Z., Cheung K., and Wong M. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma* 125(1): 155-166.
- 57- Yoder R.E. 1936. Direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of the American Society of Agronomy* 28(5): 337-351.



Effects of Chickpea Inoculation with Rhizobium (*Mesorhizobium caesar*) and Mycorrhizae (*Glomus mosseae*) on Soil Structural Stability and Aggregates Size Distribution under both Greenhouse and Field Conditions

L. Heydari¹- H. Bayat^{2*}- J. Hamzei³- T. Ghytasi Rangbar⁴- S. Bahramian Ragheb⁵- F. Madine Khorrami⁶

Received: 15-04-2019

Accepted: 2-12-2019

Introduction: Stability of soil aggregates is a result of complex physical, chemical and biological processes in the soil. In many studies, organic matter has been studied as a major factor in formation of aggregates and the effects of symbiosis between mycorrhizal fungi and bacteria largely ignored, however these microorganisms have a great effect in the formation of the aggregates. Plant roots provide a suitable habitat for the activity of many soil microorganisms. In this regard, the symbiosis of plant roots with fungi is one of the most common and long-lived symbiotic relationships that are found in most ecosystems. On the other hand, biological fertilizers can improve soil aggregation through influence the growth of root and plant. Despite the significant effect of fungi and bacteria on the stability of the soil structure, the effect of arbuscular mycorrhizal fungi species *Glomus mosseae* and *Rhizobium* species *Mesorhizobium caesar* on the soil structure has been rarely investigated. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of chickpea inoculation with Rhizobium (*Mesorhizobium caesar*) and mycorrhizae (*Glomus mosseae*) on soil structural stability and aggregates size distribution under both greenhouse and field conditions.

Materials and Methods: The present study was conducted as a randomized complete-block design with three replications in both greenhouse and field conditions. The treatments under field condition were mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae*), Rhizobium (*Mesorhizobium caesar*), mycorrhizae – rhizobium combined treatment and a control (no inoculation). In the greenhouse condition, sterilized mycorrhiza background material and without plant (without inoculation) treatments were also added. Chickpea was planted at both conditions. Soil sampling was carried out after harvesting. The stability of aggregates using wet sieving method and soil organic carbon content were investigated.

Results and Discussion: Greenhouse study results showed that mycorrhizae treatment significantly increased the mean weight diameter of the aggregates by 51.6% and 189.1%, in comparison with the control (without inoculation) and control- without plant (without inoculation), respectively. This treatment increased macro aggregates and decreased the fine aggregates. In the greenhouse condition, soil organic carbon content had a high correlation with the mean weight diameter of the aggregates ($R^2 = 0.53$) and mycorrhizal treatment increased organic carbon content from 0.73% in the control (without plant) to 1.02%. However, the mycorrhizae – rhizobium combined treatment had less effect on the stability of the aggregates than their single effects. The mass of aggregates of 1–2 mm are more sensitive to short-term management. In the greenhouse condition all the three biofertilizer treatments significantly increased the mass of the aggregates of 1-2 mm in comparison with the control treatment without plant (without inoculation). On the other hand, the mean comparison results showed that there was no significant difference between the sterilized mycorrhizal background and the control without plant (without inoculation). This may be due to the lower organic matter content in these two treatments compared to others. In the greenhouse condition, increasing the mass of coarse aggregates of 4-8 mm in diameter indicates the suitability of soil structure. On the other hand, aggregates coarser than 0.25 mm are considered as coarse and stable aggregates. It can be concluded that the application of mycorrhiza and rhizobium increased soil structural stability through the increase of the mass of these classes of the aggregates (2-4 and 4-8 mm), probably by affecting the length and volume of the root and plant yield. Under the field condition, the treatments had no impact on the mass of the aggregates in different size classes.

Conclusion: Bacteria and fungi can be effective factors in improving soil structure through increasing organic carbon in soil. The results of the present study indicated that aggregate stability was affected by biological fertilizer treatments under greenhouse condition so that the treatments containing biofertilizers

1, 2, 4, 5 and 6- Ph.D. Student, Associate Professor, Ph.D. Student, Former M.Sc. Student and Former Undergraduate Student of Soil Science, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: h.bayat@basu.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

increased soil aggregate stability and improved the soil structure that was probably due to increasing plant yield and root. Also, the less effect of biofertilizers on the stability of the aggregates and the increase of coarse aggregates under the field condition can be due to the uncontrolled climatic conditions compared to the greenhouse and the short duration of the study. In recent decades, the physical and chemical properties of soils have changed due to the use of chemical inputs in agricultural lands. The use of biological and organic fertilizers is an appropriate solution to these problems. It is recommended further study on the efficacy of other species of mycorrhizal fungi and rhizobium bacteria in improving soil physical and chemical quality, especially at the field scale. Also, considering the implementation of this project in the field condition, it is suggested to study the physical, mechanical and chemical properties of soil in the long term.

Keywords: Biofertilizer, Mean weight diameter, Organic carbon



اثر آتش بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگل در نزدیک تنه و مرز تاج بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)

الهام یزدانی^۱ - وحید حسینی^{۲*} - کیومرث محمدی سمائی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶

چکیده

آتش می‌تواند طیف گسترده‌ای از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی و زیستی خاک را بسته به شدت خود تغییر دهد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مقایسه اثر آتش بر ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگلی در موقعیت‌های متفاوت در زیر گونه درخت بلوط ایرانی (برودار) (*Quercus brantii* Lindl) در شهرستان مریوان بود. برای انجام این تحقیق، دامنه‌ای که در مرداد ماه سال ۱۳۹۶ آتش‌سوزی رخ داده بود، انتخاب شد. سپس ترانسکتی بر روی خطوط تراز به طول ۲۵۰ متر پیاده شد و در فواصل ۳۰ متری نزدیک‌ترین درخت برودار انتخاب شد و در نهایت دو نمونه خاک در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متری و در دو فاصله نزدیک تنه (۵۰ سانتی‌متری) و مرز تاج برداشت شد. در مجاورت این دامنه؛ منطقه شاهد انتخاب و به همین ترتیب عمل شد. در نهایت ۳۲ نمونه خاک سوخته و نسوخته، برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه برخی ویژگی‌های شیمیایی شامل کربن، نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، پتاسیم تبادل، pH و EC اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله از تنه درخت، مقدار کربن و نیتروژن خاک افزایش یافت. فسفر، کلسیم، منیزیم و پتاسیم با حرکت به سمت مرز تاج درختان کاهش معنی‌داری داشتند. pH و هدایت الکتریکی نیز با افزایش فاصله از تنه درختان کاهش معنی‌داری داشتند. به طور کلی می‌توان گفت با حرکت از موقعیت نزدیک تنه به طرف مرز تاج خصوصیات خاک سوخته متفاوت بوده است که به دلیل تفاوت در مقدار مواد قابل اشتعال تجمع‌یافته، احتمالاً شدت آتش کمتر شده و در نتیجه اثرات متفاوتی بر خاک گذاشته است.

واژه‌های کلیدی: تاج درخت، جنگل بلوط زاگرس شمالی، خاک جنگل، شدت آتش

مقدمه

اما در مقابل آتش‌سوزی کنترل شده، آتش‌سوزی طبیعی وجود دارد که در حضور مواد قابل اشتعال فراوان اتفاق می‌افتد و معمولاً شدید است (۳۳). آتش می‌تواند به عنوان یک عامل مهم بر خاک اثر گذاشته و از طریق گرما و تولید خاکستر تغییراتی را بر خاک اعمال کند (۹ و ۷). تحقیقات نشان داده است که آتش می‌تواند طیف گسترده‌ای از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی و زیستی خاک را بسته به شدت خود تغییر دهد (۹). آتش از یک طرف، یک عامل زیست محیطی فعال است که قادر به تجمع مواد مغذی در خاک است (۳۹)، اما از سوی دیگر، می‌تواند به عنوان یک دلیل اولیه برای تخریب خاک به دلیل از دست دادن مواد مغذی از طریق تبخیر، آبشویی و فرسایش به ویژه در آتش‌سوزی‌های شدید در نظر گرفته شود (۲۸). تأثیر آتش‌سوزی بر خاک به عواملی همچون نوع خاک، زمان آتش‌سوزی، اکوسیستم و گونه‌های سوخته شده، شدت آتش‌سوزی، توپوگرافی منطقه و شرایط آب و هوایی در طی آتش و پس از آن، بستگی دارد (۷، ۸ و ۲۹). حسینی و حسینی (۱۷) پس از بررسی تأثیر زمان وقوع آتش بر مشخصه‌های خاک در فواصل زمانی مختلف، به این نتیجه رسیدند که تأثیر آتش بر خواص شیمیایی خاک در اولین سال پس از آتش‌سوزی بیشتر از دو و سه سال پس از آن بود. آتش می‌تواند بر از دست دادن یا کاهش ماده آلی، کاهش تخلخل و

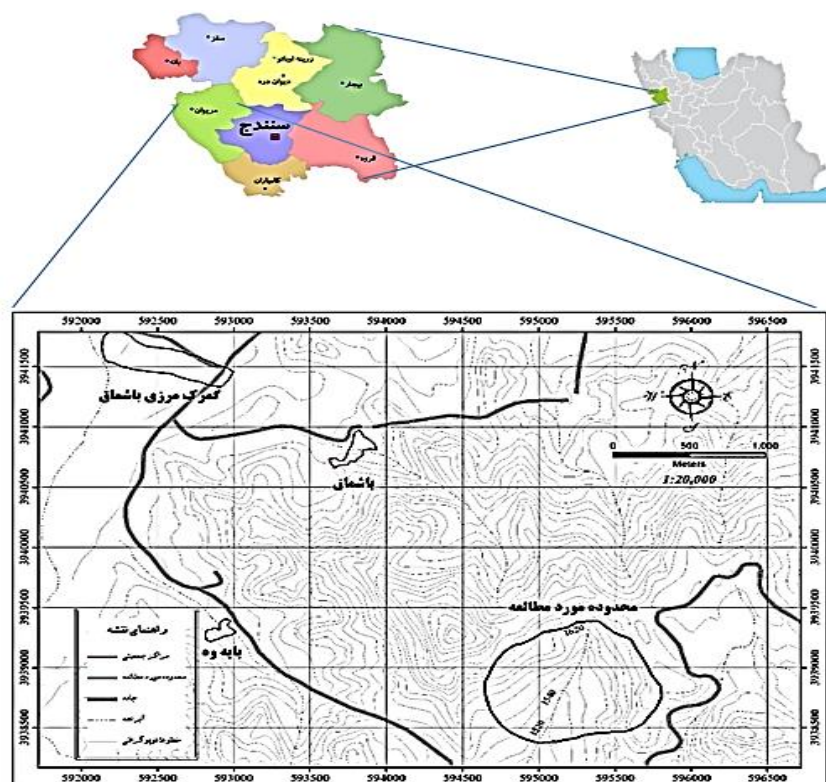
جنگل‌ها نقش حیاتی در تداوم جوامع انسانی به ویژه در ایران که یکی از کشورهای خشک جهان است، ایفا می‌کنند (۱۶) و آتش یکی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد این اکوسیستم‌ها است (۶). آتش‌سوزی گیاهان از ابتدای تشکیل حیات، فرایندی طبیعی بوده است، به طوری که از اواخر دوره سیلورین، زمانی که گیاهان آوندی برای اولین بار به وجود آمدند، وجود داشته است (۳۸). در کشور ایران هم سالانه صدها آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع اتفاق می‌افتد و باعث سوزاندن هزاران هکتار می‌شود (۵ و ۱۶). به طور کلی دو نوع آتش‌سوزی تجویزی و طبیعی در جنگل وجود دارد. آتش‌سوزی تجویزی، شامل سوزاندن مواد انباشته شده در سطح جنگل است که یک اقدام استاندارد برای کاهش میزان مواد قابل اشتعال و با هدف کاهش شدت آتش، تسهیل جوانه‌زنی و رشد گونه‌های جنگلی می‌باشد (۴۲).

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیاران گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

(*)- نویسنده مسئول: (Email: V.Hosseini@uok.ac.ir)
DOI: 1022067//jsw.v33i6.80914

است (۳۱). در این راستا حسینی و همکاران (۱۸) در مطالعه‌ای بر روی ویژگی‌های خاکستر دریافتند که با فاصله از تنه درختان، از شدت آتش کم شده و ویژگی‌های خاکستر در موقعیت‌های مختلف، متفاوت بود (۱۸). آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس که به عنوان مهم‌ترین رویشگاه بلوط در ایران به شمار می‌رود، بسیار شایع است، به طوری که طبق آمارهای موجود در اداره کل منابع طبیعی استان کردستان، آتش‌سوزی یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده و تخریب جنگل‌های عرصه زاگرس محسوب می‌شود (۲۷). از آن جا که این جنگل‌ها از لحاظ تاج پوشش، تنک و دارای تاج باز هستند، نوع آتش‌سوزی در آن‌ها سطحی می‌باشد، اما ناهمگونی مواد قابل اشتعال در کف جنگل می‌تواند منجر به آتش‌سوزی با شدت‌های متفاوت شود (۳۲). با توجه به اهمیت جنگل‌های زاگرس از لحاظ حفظ منابع آب و خاک و از طرفی هم آتش‌سوزی‌های متوالی که هر ساله در این جنگل‌ها اتفاق می‌افتد، جهت حفظ این اکوسیستم، شناخت کامل آن و اثرات آتش بر این اکوسیستم ضروری می‌باشد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی و مقایسه اثر آتش‌سوزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در دو موقعیت نزدیک تنه و مرز تاج در زیر گونه درختی برودار یا بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) بود.

افزایش pH خاک اثرگذار باشد (۱۰). آلکانیز و همکاران (۲) دریافتند که مقدار pH و EC خاک پس از آتش‌سوزی به طور چشم‌گیری افزایش یافت. آتش‌سوزی با شدت پایین می‌تواند مقدار ماده آلی، نیتروژن کل و کاتیون‌های قابل تبادل را افزایش دهد، در حالی که شدت آتش‌سوزی بالا موجب از بین رفتن کامل ماده آلی شده و نیتروژن را نیز به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و اساساً مقدار کاتیون‌های تبدلی را افزایش می‌دهد (۶ و ۷ و ۳۱). به طوری که نظری و همکاران (۲۷) در بررسی اثر شدت آتش بر خاک جنگلی دریافتند که بیشترین و کمترین مقدار کربن و نیتروژن به ترتیب مربوط به دماهای ۱۵۰ و ۴۹۰ درجه سانتی‌گراد بود. میزان خسارت وارد شده با توجه به شدت و مدت آتش‌سوزی، میزان اشتعال‌پذیری مواد، محل آتش‌سوزی، نوع خاک و محتوای مواد معدنی، اقلیم و توپوگرافی منطقه متفاوت است (۲۴ و ۴۳). بلوط ایرانی، گونه اصلی درختی در جنگل‌های زاگرس است که در بیشتر جاها به شکل رویشی شاخه‌زاد مشاهده می‌شود (۳۶) به طوری که هر درخت دارای جست‌های زیادی است. درون جست‌گروه‌ها و نزدیک تنه درختان به دلیل انباشت لاشبرگ‌ها و شاخه‌ها، مواد قابل اشتعال بیشتری وجود دارد (۱۲)، بنابراین هر چه آتش از سمت نزدیک تنه درختان به سمت مرز تاج پیش می‌رود با کاهش تراکم ماده سوختنی، شدت و مدت آتش‌سوزی هم کمتر شده و در نتیجه اثری که خاک از آتش می‌پذیرد، متفاوت



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور و استان کردستان

Figure 1- Geographical location of the study area in the Kurdistan province, Iran

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، جنگل‌های روستای مرانه در ۱۵ کیلومتری شهرستان مریوان واقع در استان کردستان بود. این منطقه در طول جغرافیایی $36^{\circ} 03' 8''$ و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 35' 24''$ و با ارتفاع ۱۵۹۱ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارندگی ۸۰۴ میلی‌متر و رطوبت نسبی ۵۱ درصد می‌باشد. پوشش غالب منطقه از سه گونه بلوط ایرانی (برودار)، مازودار (*Quercus infectoria Oliv.*) و وی‌ول (*Quercus libani Oliv.*) تشکیل شده است. همچنین شکل رویشی این جنگل اکثراً شاخه‌زاد بود و گونه‌های بادام تلخ، گلابی وحشی، کیکم، زالزالک و آلبالوی وحشی به صورت گونه همراه وجود دارند (۳).

روش نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

منطقه مورد مطالعه در مرداد ماه سال ۱۳۹۶ دچار آتش‌سوزی شدید شده بود. پس از بازدید از منطقه سوخته و شاهد، در منطقه سوخته و بر روی خطوط تراز، ترانسکتی به طول ۲۵۰ متر پیاده و در فواصل ۳۰ متری در زیر نزدیک ترین درخت برودار، دو نمونه خاک در دو فاصله نزدیک تنه (۵۰ سانتی‌متری) و مرز تاج در عمق ۵-۰ سانتی‌متر، حدود یک هفته پس از رخداد آتش، برداشت شد. در مورد منطقه شاهد نیز ۸ پایه درخت برودار در مجاور منطقه سوخته که از لحاظ شرایط توپوگرافی، مواد مادری، پوشش گیاهی و درختی با منطقه سوخته مشابه بودند، انتخاب و در زیر هر پایه درخت یک نمونه در نزدیک تنه و یک نمونه در مرز تاج در عمق ۵-۰ سانتی‌متر، همزمان با منطقه سوخته برداشت شد. بنابراین در مجموع ۱۶ نمونه خاک سوخته و ۱۶ نمونه خاک نسوخته برداشت شد. نمونه‌های خاک پس از برداشت از آن الک ۲ میلی‌متری گذرانده شدند و خصوصیات شیمیایی شامل کربن آلی به روش والکی و بلاک، نیتروژن کل به روش کجلدال با استفاده از دستگاه اتوکجلیتیک و فسفر قابل جذب به روش اولسن و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شدند (۱۹). همچنین کلسیم، منیزیم و پتاسیم قابل دسترس به روش استات آمونیوم (۴۰) و با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر، pH و هدایت الکتریکی در آب مقطر و با نسبت ۱ به ۲/۵ و به روش پتانسیومتری (۴۱) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 16 و Excel 2016 و با استفاده از طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شد. در این تحقیق پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف به منظور تجزیه و تحلیل تغییرات خصوصیات خاک از تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA) و برای مقایسه میانگین‌ها از

آزمون چند دامنه دانکن در سطح های خطای قابل قبول آماری ($\alpha=0.05$ و $\alpha=0.01$) استفاده شد.

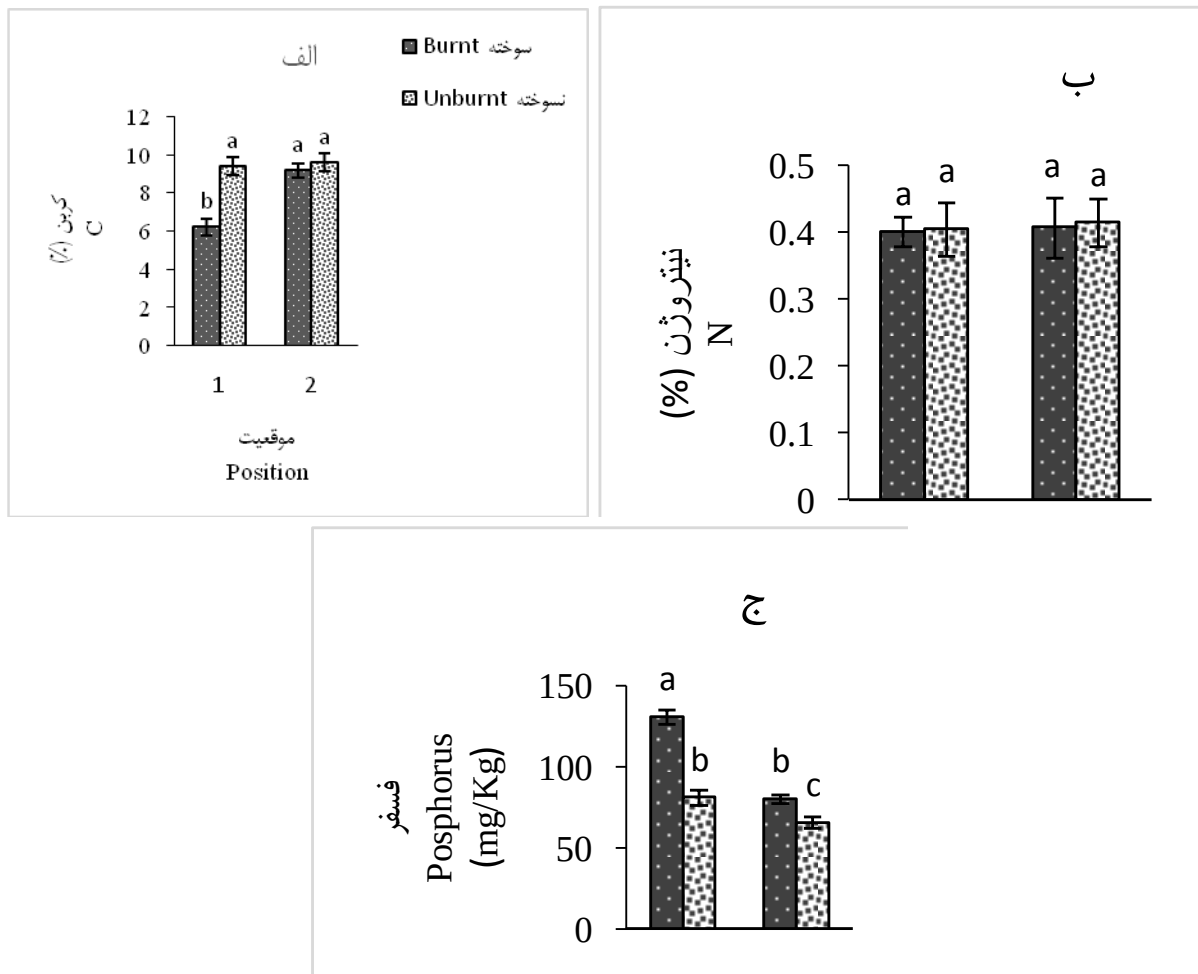
نتایج و بحث

کربن آلی (C)، نیتروژن کل (N) و فسفر قابل جذب (P)

نتایج نشان داد که مقدار کربن و نیتروژن در خاک نسوخته و سوخته در هر دو موقعیت، به استثناء کربن در موقعیت نزدیک تنه، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند ($P>0.01$). کربن خاک سوخته از ۶/۱۹ درصد در نزدیک تنه به ۹/۱۵ درصد در خاک سوخته مرز تاج افزایش یافت (شکل ۲، الف). نیتروژن از ۰/۳۹ درصد در خاک سوخته نزدیک تنه به ۰/۴۲ درصد در خاک سوخته مرز تاج افزایش یافت اما این تفاوت معنی‌دار نبود (شکل ۲، ب). همچنین نتایج، افزایش مقدار فسفر را در خاک سوخته در مقایسه با خاک نسوخته نشان داد و با فاصله از نزدیک تنه از مقدار آن کاسته شد. بیشترین مقدار فسفر (۱۳۱/۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک سوخته نزدیک تنه و کمترین مقدار آن (۶۵/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک نسوخته مرز تاج اندازه‌گیری شد. اختلاف بین میانگین مقدار فسفر موجود در دو خاک سوخته و نسوخته در هر دو موقعیت نزدیک تنه و مرز تاج از لحاظ آماری معنی‌دار ($P<0.01$) بود (شکل ۲، ج). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که دو موقعیت نزدیک تنه و مرز تاج بر مقدار کربن، نیتروژن و فسفر اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱).

کربن از طریق تجزیه شدن بقایای گیاهی وارد خاک شده و سبب تجمع مواد آلی در خاک می‌گردد (۱۹). نتایج این پژوهش کاهش کربن آلی را در خاک سوخته نشان داد. کاهش کربن آلی پس از آتش‌سوزی می‌تواند به دلیل خروج کربن آلی و یا سوختن کامل ماده آلی و تبدیل آن به خاکستر باشد (۳۴). در مطالعه‌ای آزمایشگاهی بر خاک جنگل‌های زاگرس بالاترین مقدار کربن در خاک سوزانده شده را در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و همچنین کاهش آن را از دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به بالا گزارش کردند (۲۷).

در جنگل‌های زاگرس درون توده‌های جوان مقدار زیادی از مواد قابل اشتعال وجود دارد که می‌تواند منجر به آتش‌سوزی‌هایی با شدت بالا و متوسط نسبت به خارج از توده‌ها شود (۳۱). بنابراین مطابق نتایج این پژوهش مقدار کربن آلی خاک سوخته در موقعیت نزدیک تنه به دلیل بالا بودن تجمع مواد قابل اشتعال و بالا بودن شدت آتش، کمتر از مرز تاج بود. برخی از پژوهشگران افزایش نیتروژن در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و سپس کاهش آن در دماهای بالا را گزارش دادند (۱۰ و ۲۰). دلیل این کاهش را می‌توان پایین بودن دمای تصعید نیتروژن بیان کرد، زیرا نیتروژن یکی از مواد مغذی است که دارای بیشترین اثرپذیری از آتش می‌باشد (۲۵). تصعید نیتروژن در طول سوختن به طور مستقیم به دمای خاک و مقدار ماده آلی مصرف شده بستگی دارد، اما شرایط نیراتی شدن معمولاً پس از سوختن بهبود می‌یابد (۱۱، ۱۰ و ۲۵).



شکل ۲- مقایسه میانگین کربن، نیتروژن و فسفر خاک در موقعیت نزدیک تنه (۱) و مرز تاج (۲) در درختان برودار در سطح $P < 0.01$
Figure 2- Mean comparison of carbon, nitrogen and soil phosphorus near tree trunk (1) and crown border (2) in Persian oak trees at the $P < 0.01$ level

نسوخته بود. همچنین با فاصله از موقعیت نزدیک تنه از مقدار پتاسیم موجود در خاک سوخته کاسته شد، به این ترتیب که از ۱۵۵/۲۷ میلی گرم در کیلوگرم در خاک سوخته نزدیک تنه درختان به ۱۳۴/۹۸ میلی گرم در کیلوگرم در خاک سوخته مرز تاج رسید. اختلاف مقدار پتاسیم بین خاک سوخته و نسوخته فقط در موقعیت نزدیک تنه از لحاظ آماری معنی دار ($P < 0.01$) بود (شکل ۳. الف). مقدار کلسیم موجود در خاک سوخته نیز از ۵۳۳۳/۱۸ میلی گرم در کیلوگرم در نزدیک تنه به ۴۲۱۳/۶۴ در خاک سوخته مرز تاج کاهش یافت (شکل ۳. ب). تغییرات منیزیم در خاک سوخته نیز مشابه کلسیم بود، به طوری که مقدار آن در نزدیک تنه ۲۳۳۲/۷۵ میلی گرم در کیلوگرم و در مرز تاج ۲۳۸۷ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد. بنابراین اختلاف بین میانگین های کلسیم و منیزیم بین دو خاک سوخته و نسوخته در هر دو موقعیت از لحاظ آماری معنی دار ($P < 0.01$) بود (شکل ۳. ج). نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که دو موقعیت نزدیک تنه و مرز تاج دارای اثر معنی داری بر مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم خاک، بودند (جدول ۱).

مطابق نتایج به دست آمده، مقدار فسفر در خاک سوخته در مقایسه با خاک نسوخته افزایش معنی داری یافت. روند مشابهی توسط برخی از پژوهشگران در جنگل های زاگرس گزارش شد (۱۴ و ۲۷). افزایش فسفر پس از آتش سوزی را در نتیجه جایگزین شدن لایه خاکستر به جای لایه لاشبرگ که حاوی کربن آلی و مواد مغذی حاصل از سوختن پوشش گیاهی است، گزارش کردند (۱۱). همچنین آتش سوزی باعث تبدیل فسفر آلی به فسفر قابل جذب (اورتوفسفات) می گردد (۱۱ و ۴۴). مقدار فسفر در خاک سوخته موقعیت نزدیک تنه بیشتر از مرز تاج بود. به طور معمول افزایش دما موجب افزایش فسفر قابل جذب به دلیل معدنی شدن مواد آلی می شود (۲۳). بنابراین تغییرات در مقدار فسفر خاک به شدت و مدت آتش سوزی بستگی دارد (۱۱).

پتاسیم (K)، کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg) تبدیلی

بر اساس نتایج، مقدار سه عنصر کلسیم، منیزیم و پتاسیم به استثناء پتاسیم در موقعیت مرز تاج، در خاک سوخته بیشتر از خاک

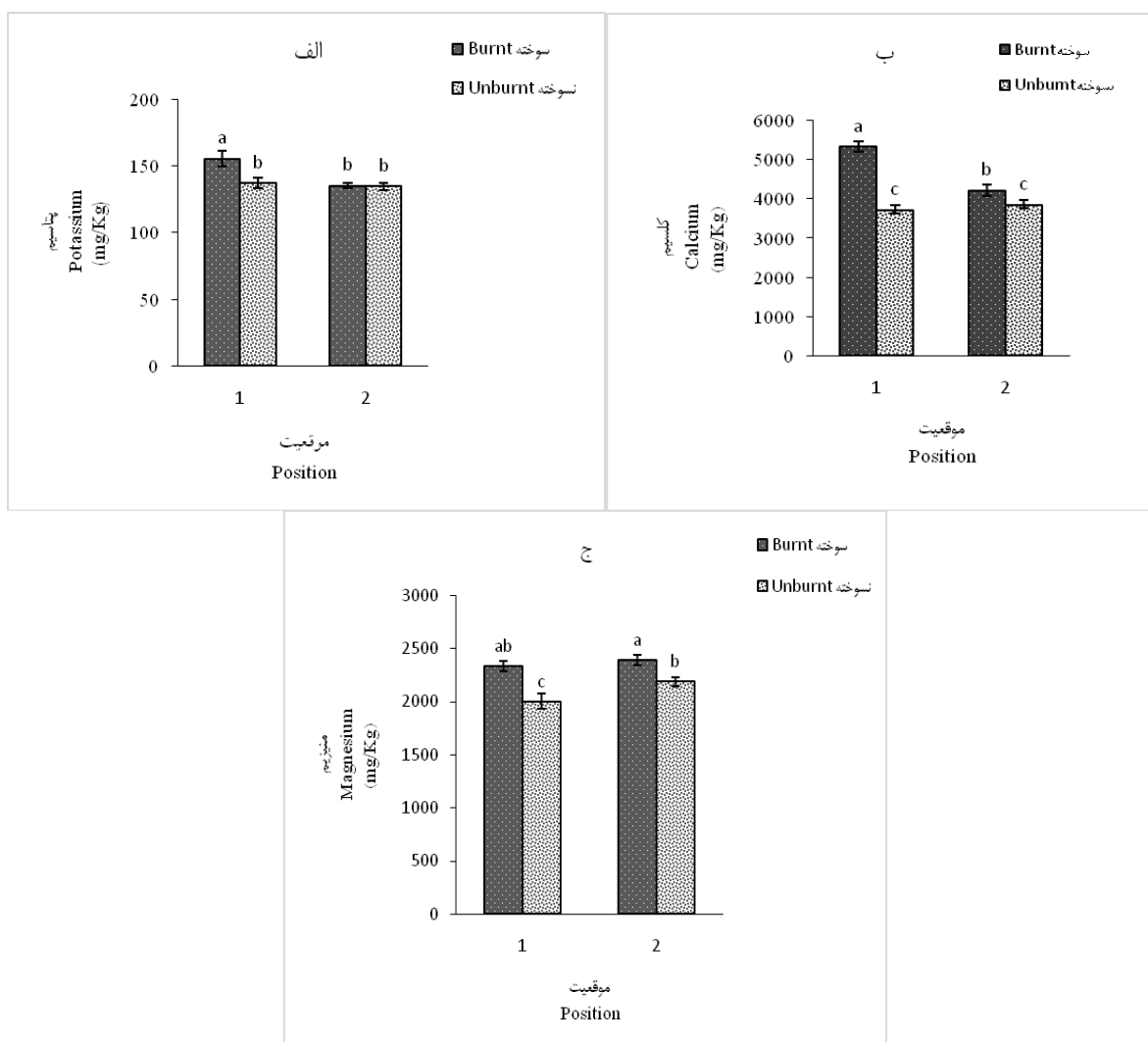
جدول ۱- تجزیه واریانس عامل‌های مورد مطالعه خاک در دو موقعیت نزدیک تنه و مرز تاج در درختان برودار (** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱)
 Table 1- Analysis of variance of soil parameters in two positions (near tree trunk and crown boundary) in Persian oak trees
 (**significant differences at 1% level)

منبع تغییرات Source of variation		میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی df	F	p
C % کربن (درصد)					
بین گروهی	Between groups	20.52	3	12.3	***
درون گروهی	Whithin groups	1.67	28		
N% نیتروژن (درصد)					
بین گروهی	Between groups	0.006	3	0.49	ns
درون گروهی	Whithin groups	0.013	28		
P (mg/Kg) فسفر (میلی گرم در کیلوگرم)					
بین گروهی	Between groups	6536.72	3	54.44	***
درون گروهی	Whithin groups	119.98	28		
K (mg/Kg) پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)					
بین گروهی	Between groups	787.60	3	6.43	***
درون گروهی	Whithin groups	122.58	28		
Ca (mg/Kg) کلسیم (میلی گرم در کیلوگرم)					
بین گروهی	Between groups	4253230.78	3	37.25	***
درون گروهی	Whithin groups	114120.96	28		
Mg (mg/Kg) منیزیم (میلی گرم در کیلوگرم)					
بین گروهی	Between groups	240799.45	3	10.56	***
درون گروهی	Whithin groups	22789.48	28		
pH					
بین گروهی	Between groups	0.795	3	13.00	***
درون گروهی	Whithin groups	0.061	28		
EC (mS/cm)					
بین گروهی	Between groups	2.73	3	26.11	***
درون گروهی	Whithin groups	0.104	28		

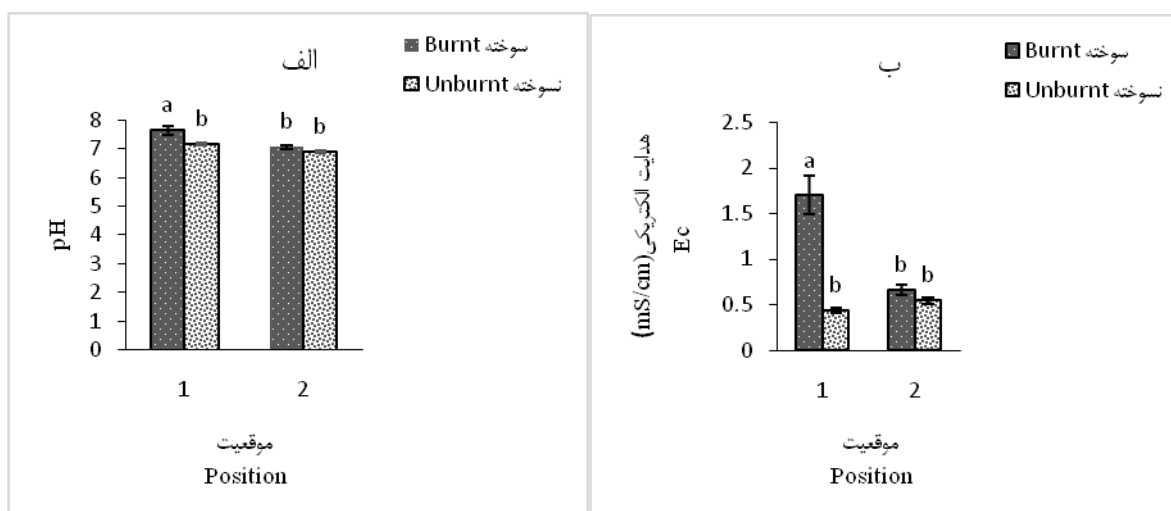
pH و هدایت الکتریکی (EC) خاک

بر طبق نتایج حاصل از این پژوهش، مقدار pH و هدایت الکتریکی موجود در خاک سوخته نسبت به خاک نسوخته در موقعیت نزدیک تنه درخت، بیشتر بود. مقدار pH با دور شدن از تنه درختان کاهش یافت، به صورتی که از ۷/۶۲ در خاک سوخته نزدیک تنه به ۷/۰۵ در خاک سوخته مرز تاج رسید (شکل ۴. الف). روند تغییرات هدایت الکتریکی نیز مشابه pH بود به این ترتیب که مقدار آن از ۱/۶۹ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در خاک سوخته نزدیک تنه درختان به ۰/۶۵ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در خاک سوخته مرز تاج کاهش یافت. تفاوت بین میانگین‌های pH و هدایت الکتریکی بین دو خاک سوخته و نسوخته فقط در موقعیت نزدیک تنه از نظر آماری معنی‌دار ($P < 0/01$) بود (شکل ۴. ب). نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که دو موقعیت نزدیک تنه و مرز تاج از لحاظ آماری اثر معنی‌داری ($P < 0/01$) بر مقدار pH و هدایت الکتریکی موجود در خاک، داشتند (جدول ۱).

بر اساس نتایج این پژوهش، مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم به استثناء پتاسیم مرز تاج، در خاک سوخته افزایش معنی‌داری نسبت به خاک نسوخته داشت. این موضوع می‌تواند به علت افزوده شدن خاکستر حاصل از سوختن بقایای گیاهی به خاک و اکسید شدن ماده آلی باشد که موجب رهاسازی مقادیر زیادی از کاتیون‌ها می‌شود (۴ و ۳۵). افزایش پتاسیم، کلسیم و منیزیم بلافاصله پس از آتش‌سوزی توسط بسیاری از محققین تایید شده است (۱ و ۲). همچنین مقدار این عناصر در خاک سوخته موقعیت نزدیک تنه نسبت به موقعیت مرز تاج افزایش یافت که این افزایش را می‌توان به دلیل تجمع بالای مواد قابل اشتعال و به دنبال آن بالا بودن شدت آتش‌سوزی در موقعیت نزدیک تنه و در نتیجه افزایش مقدار خاکستر تجمع یافته بر روی خاک بیان کرد (۳۱)، زیرا ترکیبات خاکستر حاصل از آتش‌سوزی عموماً از عناصر مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم غنی می‌باشد (۲۱ و ۲۲). همچنین غلظت کلسیم و منیزیم با بالا رفتن دما، افزایش می‌یابد که علت آن تجزیه حرارتی می‌باشد (۷ و ۲۲).



شکل ۳- مقایسه میانگین پتاسیم، کلسیم و منیزیم خاک در موقعیت نزدیک تنه (۱) و مرز تاج (۲) در درختان برودار در سطح $P < 0.01$
Figure 3- Mean comparison of potassium, calcium and soil magnesium near tree trunk (1) and crown border (2) in Persian oak trees at the $P < 0.01$ level



شکل ۴- مقایسه میانگین pH و هدایت الکتریکی خاک در موقعیت نزدیک تنه (۱) و مرز تاج (۲) در درختان برودار در سطح $P < 0.01$
Figure 4- Mean comparison of acidity and soil electrical conductivity near tree trunk (1) and crown border (2) in Persian oak trees at the $P < 0.01$ level

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که آتش‌سوزی موجب تغییرات قابل توجهی بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگلی می‌شود که این تغییرات می‌تواند بسته به موقعیت مکانی رخداد آتش (نزدیک تنه و مرز تاج)، متفاوت باشد. می‌توان گفت که در بررسی آتش‌سوزی و اثرات آن بر خاک باید موقعیت آتش‌سوزی در نظر گرفته شود، زیرا همان طور که نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، تغییرات در ویژگی‌های شیمیایی خاک در موقعیت نزدیک تنه نسبت به موقعیت مرز تاج متفاوت بود، به طوری که در این تحقیق با حرکت از سمت تنه درختان از مقدار فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، pH و هدایت الکتریکی کاسته شد و مقدار کربن افزایش یافت اما مقدار نیتروژن تغییری نکرد. درواقع این تغییرات احتمالاً نشان‌دهنده‌ی بالا بودن شدت آتش‌سوزی به دلیل انباشت بیشتر لاشبرگ و مواد قابل اشتعال خشبی شده شامل ساقه و شاخه در موقعیت نزدیک تنه درختان بود.

هدایت الکتریکی بیانگر مقدار کاتیون‌ها در محلول خاک می‌باشد که یکی از عوامل اثر گذار بر رشد گیاهان محسوب می‌شود (۱۹). افزایش مقدار pH و هدایت الکتریکی در خاک سوخته نزدیک تنه را می‌توان به دلیل سوختن لاشبرگ‌های تجمع یافته در سطح جنگل، آزاد شدن کاتیون‌های موجود در آن‌ها (۳۷) و تولید خاکستر بیان کرد، که مقادیر زیادی از کاتیون‌های اساسی (پتاسیم، کلسیم و منیزیم) را فراهم نموده و در نهایت منجر به افزایش pH و هدایت الکتریکی می‌شود (۷ و ۳۰). همچنین افزایش pH و EC خاک پس از آتش، در جنگل‌های زاگرس و مناطقی از اروپا و استرالیا گزارش شده است (۱۳، ۱۷، ۲۶ و ۲۷). افزایش pH و هدایت الکتریکی در موقعیت نزدیک تنه نیز احتمالاً به دلیل شدت بالای آتش بود. افزایش pH پس از آتش دوام زیادی نداشته و معمولاً در طی یک فصل مرطوب از بین می‌رود و به مقدار خود قبل از آتش برمی‌گردد (۱۵). زمان بازیابی آن به ظرفیت بافر خاک بستگی دارد (۳۰ و ۴۵). دامنه تغییرات آن از ۳ ماه پس از آتش به دلیل حذف سریع خاکستر توسط باد و بارندگی (۳۰) از یک تا چندین سال به طول می‌انجامد (۴۱).

منابع

- 1- Alauzis M.V., Mazzarino M.J., Raffaele E., and Roselli L. 2004. Wildfires in NW Patagonia: long-term effects on a Nothofagus forest soil. *Forest Ecology and Management* 192(2-3): 131-142.
- 2- Alcañiz M., Outeiro L., Francos M., Farguell J., and Úbeda X. 2016. Long-term dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain). *Science of the Total Environment* 572: 1329-1335.
- 3- Anonymous. 2006. Multipurpose forestry plan Cham Zarivar, Marivan city. Natural Resources Office of Kurdistan Province. 65 pages. (In Persian)
- 4- Arocena J., and Opio C. 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* 113(1-2): 1-16.
- 5- Banj Shafiei A., Akbarinia M., Jalali GH., and Alijanpour A. 2010. Effect of forest fire on diameter growth of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.): a case study in Kheyroud forest. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 17: 464-474. (In Persian with English abstract)
- 6- Barreiro A., Martín A., Carballas T., and Díaz-Raviña M. 2010. Response of soil microbial communities to fire and fire-fighting chemicals. *The Science of the Total Environment* 408: 6172-6178.
- 7- Bodí M.B., Martín D.A., Balfour V.N., Santín C., Doerr S.H., Pereira P., Cerdà A., and Mataix-Solera J. 2014. Wildland fire ash: production, composition and eco-hydro-geomorphic effects. *Earth-Science Reviews* 130: 103-127.
- 8- Caon L., Vallejo V.R., Ritsema C.J., and Geissen V. 2014. Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems. *Earth-Science Reviews* 139: 47-58.
- 9- Certini G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143(1): 1-10.
- 10- DeBano L.F. 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology* 231: 195-206.
- 11- Ekinci H. 2006. Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Çanakkale, Turkey. *International Journal of Agriculture and Biology* 8(1): 102-106.
- 12- Gholami SH., Hosseini S.M., Mohammadi J., and Mahini A.S. 2001. Spatial variability of soil macrofauna biomass and soil properties in riparian forest of Karkhe River. *Journal of Water and Soil* 25: 248-257. (In Persian with English abstract)
- 13- Granged A.J., Jordán A., Zavala L.M., Muñoz-Rojas M., and Mataix-Solera J. 2011. Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia). *Geoderma* 167: 125-134.
- 14- Hemmatboland E., Akbarinia M., and Banej Shafiei A. 2010. The effect of fire on some soil chemical properties of oak forests in Marivan region. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 18(2): 205-218 (In Persian with English abstract)
- 15- Hernández T., García C., and Reinhardt I. 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biology and Fertility of Soils* 25(2): 109-116.

- 16- Heydari M., Salehi A., Mahdavi A., and Adibnejad M. 2012. Effects of different fire severity levels on soil chemical and physical properties in Zagros forests of western Iran. *Folia Forestalia Polonica* 54: 241-250.
- 17- Hosseini S.S., and Hosseini V. 2014. Effect of fire occurrence through the time on changes of K, Mg, Ca and EC of forest soil. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 22(1): 143-151. (In Persian with English abstract)
- 18- Hosseini V., Mohammadi Samani K., and Moradi Mirvani L. 2019. Litter ash chemical properties of wildfire in forest floor of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Darehvaran area, Marivan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 26(4): 496-505. (In Persian with English abstract)
- 19- Jafari Haghighi M. 2003. *Methods of Soil Analysis: Sampling and Important Physical & Chemical Analysis with Emphasis on Theoretical & Applied Principles*. Nedaye Zoha, Sari, 240p. (In Persian)
- 20- Johnson D.W., Murphy J., Susfalk R., Caldwell T., Miller W., Walker R., and Powers R. 2005. The effects of wildfire, salvage logging, and post-fire N-fixation on the nutrient budgets of a Sierran forest. *Forest Ecology and Management* 220(1-3): 155-165.
- 21- Khanna P., Raison R.J., and Falkiner R.A. 1994. Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forest soils. *Forest Ecology and Management* 66(1-3): 107-125.
- 22- Liodakis S., Katsigiannis G., and Kakali G. 2005. Ash properties of some dominant Greek forest species. *Thermochimica Acta* 437 (1-2):158-167.
- 23- Marcos E., Tárrega R., and Luis E. 2007. Changes in a Humic Cambisol heated (100-500 C) under laboratory conditions: the significance of heating time. *Geoderma* 138(3-4): 237-243.
- 24- Martín A., Díaz-Raviña M., and Carballas T. 2012. Short-and medium-term evolution of soil properties in Atlantic forest ecosystems affected by wildfires. *Land Degradation & Development* 23(5): 427-439.
- 25- Mataix-Solera J., and Guerrero C. 2007. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. *Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica. Caja Mediterráneo CEMACAM Font Roja-Alcoi, Alicante*:5-40.
- 26- Munoz-Rojas M., Erickson T.E., Martini D., Dixon K.W., and Merritt D.J. 2016. Soil physicochemical and microbiological indicators of short, medium and long term post-fire recovery in semi-arid ecosystems. *Ecological Indicators* 63: 14-22.
- 27- Nazari F., Hosseini V., and Shabanian N. 2012. Effect of fire severity on organic carbon, total nitrogen and available phosphorus of forest soils (Case study: Marivan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 20(1): 25-37. (In Persian with English abstract)
- 28- Novara A., Gristina L., Rühl J., Pasta S., Angelo G.D., La Mantia T., and Pereira P. 2013. Grassland fire effect on soil organic carbon reservoirs in a semiarid environment. *Solid Earth* 4.
- 29- Pereira P., Cerda A., Martin D., Úbeda X., Depellegrin D., Novara A., Martínez-Murillo J.F., Brevik E.C., Menshov O., and Comino J.R. 2016. Short-term low-severity spring grassland fire impacts on soil extractable elements and soil ratios in Lithuania. *Science of the Total Environment* 578: 469-475.
- 30- Pereira P., Úbeda X., and Martin D.A. 2012. Fire severity effects on ash chemical composition and water-extractable elements. *Geoderma* 191: 105-114.
- 31- Pourreza M., Hosseini S.M., Sinegani A.A.S., Matinizadeh M., and Dick W.A. 2014. Soil microbial activity in response to fire severity in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests, Iran, after one year. *Geoderma* 213: 95-102.
- 32- Pourreza M., Hosseini S.M., Sinegani A.A.S., Matinizadeh M., and Dick W.A. 2014. Effect of fire severity on soil macrofauna in Manna oak coppice forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 21(4): 729-741. (In Persian with English abstract)
- 33- Rab M. 1996. Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the *Eucalyptus regnans* forest of southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 84(1-3): 159-176.
- 34- Raison R., Khanna P., and Woods P. 1985. Transfer of elements to the atmosphere during low-intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalypt forests. *Canadian Journal of Forest Research* 15(4): 657-664.
- 35- Ramazanpr H., and Norozi M. 2012. The effect of floods and forest fier on some soil characteri Lacan in Gilan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. Water and Soil Sciences* 16(61): 291-301. (In Persian with English abstract)
- 36- Sagheb-Talebi KH., Sajedi T., and Yazdian F. 2004 *Forests of Iran*. Iran Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR) Press, No: 1380-339, Tehran.
- 37- Saharjo B.H. 1999. The effects of fire on the properties of soil in Acacia mangium plantations in South Sumatra, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* 459-469.
- 38- Scott A.C., and Glasspool I.J. 2006. The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuations in atmospheric oxygen concentration. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(29): 10861-10865.
- 39- Snyman H. 2003. Short-term response of rangeland following an unplanned fire in terms of soil characteristics in a semi-arid climate of South Africa. *Journal of Arid Environments* 55(1): 160-180.
- 40- Soto B., and Diaz-Fierros F. 1993. Interactions between plant ash leachates and soil. *International Journal of Wildland Fire* 3(4): 207-216.
- 41- Úbeda X., Pereira P., Outeiro L., and Martin D. 2009. Effects of fire temperature on the physical and chemical characteristics of the ash from two plots of cork oak (*Quercus suber*). *Land Degradation & Development* 20(6): 589-608.
- 42- Walstad J.D., and Radosevich S.R. 1990. Natural and prescribed fire in Pacific Northwest forests: Oregon State

Univ Pr.

- 43- Wan S., Hui D., and Luo Y. 2001. Fire effects on nitrogen pools and dynamics in terrestrial ecosystems: a meta-analysis. *Ecological Applications* 11(5): 1349-1365.
- 44- Yao Y., Liu F., Hu H., and Jin S. 2008. Effect of fire on soil chemical properties of Manchurian walnut plantation. *Journal of Northeast Forestry University* 36(7): 34-36.
- 45- Zavala L.M., Jordán A., Gil J., Bellinfante N., and Pain C. 2009. Intact ash and charred litter reduces susceptibility to rain splash erosion post-wildfire. *Earth Surface Processes and Landforms* 34(11): 1522-1532.



Effect of Wildfire on some Chemical Properties of Forest Soil Near Base Trunk and Crown Border of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.)

E. Yazdani¹- V. Hosseini^{2*}- K. Mohammadi Samani³

Received: 08-07-2019

Accepted: 27-11-2019

Introduction: Fires are natural processes in many ecosystems, constituting a natural, even vital, component of forests. Fire can change the soil properties depending on its severity. In semi-arid regions, the effects of fire are more vigorous in comparison with other regions. In these regions, forests restoration is much more difficult especially in the summer when temperatures reach maximum levels and cause fires that reduce soil nutrients by burning organic matters and vegetation. Since the frequency of fire events in Zagros oak forests have been increasing in recent years, therefore, in this study, the chemical properties of soil investigated immediately after fire. Most wildfires in these forests are surface fires with low-to-moderate severity due to low forest density, great distances between trees and few forest floor plants.

Materials and Methods: The study area is located in Kurdistan Province, western Iran, around Marivan that has been burned in July 2017. One transect was installed on the contour line with 250 m length on the burnt slope. Eight Persian oak trees were selected at 30 meters interval. Two soil samples were collected in each tree from depth of 0-5 cm. The two positions of soil samples including: the first one was 50 cm far from the base trunk and the second one was on the edge of tree crown border. In the control area, eight Persian oak were selected in the adjacent area of burned area with same topographic and plant conditions and soil samples were collected same as burned area. Finally, soil organic carbon (SOC), Total nitrogen (TN), available phosphorus, potassium, calcium, magnesium, pH, and EC were analyzed.

Results and Discussion: The results of this study showed that fire has a significant effect on soil properties, so that organic carbon reduced and amount of available phosphorus, calcium, magnesium and potassium of soil increased in burned soil. Organic carbon decreased significantly ($P < 0.01$) in the burned soil in comparison to control treatment near tree trunk while it did not have any significant difference in the border of tree crown. The lowest Organic carbon was 6.19% in burned soil near tree trunk and the highest 9.15% in unburned soil in the border of tree crown. Total nitrogen did not show any significant difference between all treatments. Phosphorus increased significantly after the fire in the burned soil by comparison with control in the both positions. The increase of available P in soil after fire can be due to added ash as the fire partially and completely combusted plant debris in the soil. The highest phosphorus was 130.08 mg/kg in the burned soil near tree trunk and the lowest was 65.67 mg/kg in soil of control area in the border of tree crown. Cations including Ca, Mg and K were significantly higher near tree trunks in burned soil compared with control area, while only Ca and Mg of soil showed significant differences in the border crown position. The pH of burned soil was 7.62 and 7.05 near tree trunk and border of tree crown, respectively, and it was 7.15 and 6.89 near tree trunk and border of tree crown, respectively, in control area. The EC of burned soil was 1.70 mS/cm and 0.66 mS/cm near tree trunk and border of tree crown, respectively and it was 0.44 mS/cm and 0.54 mS/cm near tree trunk and border of tree crown, respectively in control area. One-way ANOVA showed that two positions of soil samples had significant effect on all soil parameters except nitrogen. In the Zagros oak forests, there are a lot of flammable materials inside stands, which can lead to low and medium intensity fire. According to the results of this study, the amount of organic carbon of burned soil near tree trunk was less than the crown border because of high accumulation of flammable materials and high fire intensity.

Conclusion: In general, it can be concluded that wildfire causes significant changes in chemical properties of forest soils. Changes in the chemical properties of soil between burned soil and control area differed with movement from tree trunk to border of tree crown, so that the amounts of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, acidity and electrical conductivity were reduced and the amount of carbon increased. Hence, it seems that properties of soil burned has differed by moving from the tree trunk to the border of crown trees probably because of the differences in the amount of accumulated litter, consequently has an effect on the characteristics of the soil in different positions.

Keywords: Forest soil, Northern Zagros oak forest, Tree crown, Wildfire severity

1, 2 and 3- Graduated in Master Forestry and Assistant Professors, Department of Forestry, Natural Resources Faculty, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: V.Hosseini@uok.ac.ir)

توان سنجی کشت درخت انگور در ایران بر اساس شرایط اقلیمی

طیبه شجاعی¹ - غلامعباس فلاح قاهری^{2*} - عبدالرضا کاشکی³

تاریخ دریافت: 1397/06/19

تاریخ پذیرش: 1398/09/06

چکیده

با توجه به کمبود منابع آبی در کشور و دگرگونی اقلیمی، شناخت نواحی مستعد کشت درختان میوه براساس شرایط اقلیمی به منظور استفاده بهینه حائز اهمیت است. مطالعه حاضر با هدف توان سنجی شرایط اقلیمی ایران برای کشت درخت انگور کشمشی براساس تکنیک‌های چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی بررسی شده است. در این راستا از آمار 200 ایستگاه هواشناسی عمده در سطح کشور در مقیاس‌های زمانی ساعتی، روزانه و ماهانه برای تعیین لایه‌های اطلاعاتی زیر معیارهای اقلیمی استفاده شد. آستانه‌های رشد و نمو درخت انگور براساس مطالعات کتابخانه‌ای مشخص شد. برای تعیین انباشت سرمایی مناطق مختلف کشور از مدل ساعات سرمایی CH استفاده شد. در ادامه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، معیارها و زیرمعیارهای اقلیمی لازم تعیین گردید. نتایج نشان داد که انباشت سرمایی دوره رکود که نیاز سرمایی را برطرف می‌کند، مهم‌ترین زیر معیار اقلیمی برای سنجش قابلیت‌های کشت درخت انگور محسوب می‌شود. همچنین در ایران 42195637,8 هکتار دارای قابلیت نامناسب و 42721336,2 دارای قابلیت ضعیف و 75492510 هکتار از قابلیت مناسب برای کشت انگور در گستره ایران برخوردار می‌باشد. مناطق مناسب کشت درخت انگور منطبق بر دامنه‌های مناطق کوهستانی و نسبتاً مرتفع در نیمه غربی، شمال غرب، شمال شرق و مناطق پراکنده مرکز، شرق و جنوب شرق قرار دارد. محدوده مناسب کشت درختان انگور 42 درصد از سطح مساحت کشور را شامل می‌شود. نتایج و دستاوردهای مطالعه حاضر به عنوان الگویی برای کشت درختان خزان کننده سردسیر بر مبنای توان اقلیمی و جغرافیایی در جهت استفاده بهینه از منابع طبیعی حائز اهمیت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ایران، درخت انگور، شرایط اقلیمی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی

مقدمه

انجام گیرد. شرایط اقلیمی در پرورش میوه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار بوده و در کل عوامل محیطی در انتخاب محل احداث باغات از اهمیت زیادی برخوردار است (43). برای اینکه بتوان بهترین ارقام مناسب با شرایط هر منطقه را انتخاب و روی آن سرمایه‌گذاری کرد، باید اصل شرایط اقلیمی را ملاک قرار داد. عوامل محیطی مختلفی بر روی رشد و نمو درختان میوه بخصوص درختان سردسیر خزان کننده تأثیر می‌گذارد (26). در میان عوامل محیطی شرایط اقلیمی مهم‌ترین پارامتر تعیین کننده برای رشد و نمو و سازگاری درختان میوه محسوب می‌شود (22 و 38). آب و هوا، محدوده پراکندگی گونه‌ها را تعیین می‌کند. آب و هوا نه تنها محدودیت‌هایی را برای کشت یک محصول مورد نظر به وجود می‌آورد، بلکه تا حد زیادی ثبات سالیانه تولید محصول را نیز تعیین می‌کند (33). امروزه انگور در بیش از 40 کشور دنیا کشت می‌شود. آب و هوا یکی از عوامل مؤثر طبیعی بر درخت انگور است. از میان عناصر اقلیمی آن، شاخص‌های حرارتی عامل مؤثر در چرخه تولید و کیفیت و کمیت انگور می‌باشد (17). گیاه مولد انگور بنام مو یا تاک شناخته می‌شود. مو گیاهی از تیره Ampelidaceae است. گیاهان این تیره درختچه‌های هستند که دارای ساقه‌ای گره دار بوده و با توجه به پیچک‌هایی که دارند، بالا رونده می‌باشند. منشا اصلی تاک آسیایی-اروپایی بنام ویتیس وینی

کشاورزی به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی کشور، نقش مهمی در رسیدن به توسعه پایدار دارد (7). باغبانی بالاخص میوه‌کاری از اهمیت خاصی در دنیا برخوردار می‌باشد. شناسایی مناطق مستعد کشاورزی بر پایه شناخت پتانسیل‌های طبیعی، می‌تواند ضمن فراهم سازی بسترهای مناسب برای فعالیت‌های انسانی، در امر برنامه‌ریزی محیطی و آمایش سرزمین نقش عمده ای ایفا نماید (10). عوامل محیطی در انتخاب محل احداث باغ از اهمیت زیادی برخوردار است (43). آب و هوا یک عامل تعیین کننده و قطعی در توزیع گیاهان و فرایندهای فیزیولوژیکی و فنولوژیکی آن‌ها محسوب می‌شود (35). تمرکز تولید تجاری هر گونه بطور نسبی در چند منطقه به دلیل این که گونه‌ها به شرایط آب و هوایی آن مناطق بهتر سازگار گشته‌اند، بوجود آمده است (33). جهت ایجاد باغ میوه باید دقت لازم

1 و 2 - به ترتیب دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، دانشیار و استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
(*) - نویسنده مسئول:
(Email: g.fallah@hsu.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v33i6.74900

فرا آسیای صغیر است. انگور گیاهی رونده است که درازای آن به 15-10 متر می‌رسد. طول دوره رشد آن بین 6-5 ماه است. انگور بومی مناطق معتدله نیمه گرمسیری بوده و ارقام مختلف آن از مناطق سردسیر کشور تا معتدل نیمه گرمسیری قابل پرورش می‌باشد (43). در ایران براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، درخت انگور 294249 هزار هکتار از کاربری باغات را به خود اختصاص می‌دهد. از این سطح زیر کشت، 3167437 میلیون تن انگور در کشور تولید می‌شود. به ازای هر هکتار در کشت ابی 13976 تن و در کشت دیم 3921 تن عملکرد انگور مشخص شده است.

امروزه یکی از متداول‌ترین روش‌های برنامه‌ریزی، استفاده از تکنیک‌هایی است که بتوان به کمک آن‌ها به بهترین گزینه دست یافت. یکی از عمده‌ترین این تکنیک‌های چند معیاره، فرایند AHP می‌باشد (19 و 15). فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP در واقع یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. این فرایند برای اولین بار توسط توماس ساعتی (1980) ارائه گردید. این فرایند یک روش ساده محاسباتی بر روی ماتریس‌ها است که با ایجاد سلسله مراتب مناسب، می‌توان ضرایب وزنی مختلف را برآورد نمود (36). فرایند تحلیل سلسله مراتبی براساس مقایسات زوجی است که قضاوت را آسان و دقت محاسبات را بالا می‌برد (9). مزیت فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یا تشکیل سلسله مراتب پیچیدگی یک مسئله طی مدارج طبقه‌بندی شده از بزرگ به کوچک یا از عمومی به مطالب خاص است (15).

الفونس¹ (5) کاربرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی در کشاورزی در کشورهای در حال توسعه را بررسی نمودند. روش AHP به عنوان یک روش چند معیاره در مطالعات کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد. کالوگریو² (23) براساس سامانه هوشمند و GIS به ارزیابی امکان‌سنجی اراضی مختلف پرداختند. سامانه‌های هوشمند و سامانه اطلاعات جغرافیایی نقش تعیین کننده در شناسایی قابلیت‌ها و توان‌های محیطی برای کشاورزی دارا می‌باشند. چاوز³ و همکاران (12) براساس فرایند مدل AHP امکان‌سنجی و تنوع مکانی کشت تنباکو را مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها با در نظر گرفتن آمار و اطلاعات اقلیمی، زراعی و زمینی مناطق مستعد کشت را مشخص نمودند. آکسی⁴ و همکاران (3) امکان‌سنجی کاربری اراضی مستعد کشاورزی با استفاده از تکنیک AHP و سامانه GIS را بررسی نمودند. در این مطالعه معیارهای اقلیمی و جغرافیایی را وزن دهی نمودند و قابلیت‌های کشاورزی را مشخص نمودند. محمد و همکاران (30) مناطق مختلف ایالت کارناتااکا در هندوستان را براساس سامانه GIS و سنجش از دور برای کشاورزی براساس تکنیک‌های چند معیاره

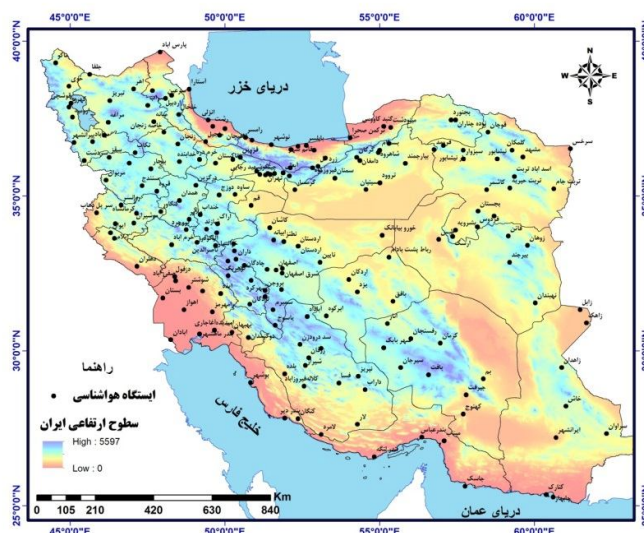
واکاوی نمودند. حیدری و سعید آبادی (17) به طبقه‌بندی اقلیمی چند معیاری نواحی کشت انگور در ایران پرداختند. نتایج آنها نشان داد که شرایط اقلیمی نقش مؤثری در طبقه‌بندی اقلیمی مناطق ایفا می‌نماید. یزدان پناه و همکاران (42) اراضی مستعد کشت بادام در استان آذربایجان شرقی را براساس تکنیک سلسله مراتبی مشخص نمودند و با تلفیق لایه‌های مختلف مناطق مستعد کشت بادام را مشخص نمودند. شاهپوندی و همکاران (40) کشت ذرت دانه‌ای در استان لرستان را براساس تکنیک سلسله مراتبی پهنه‌بندی نمودند. اشرفی و همکاران (7) توان‌های اکولوژیکی کشت عنباب را مکانیابی نمودند. آنها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و بهره‌گیری از پارامترهای اقلیمی و زمینی توان و قابلیت‌های منطقه را برای کشت عنباب پهنه‌بندی نمودند. علوی زاده و همکاران (4) نواحی مستعد کشت زعفران در دشت کاشمر را امکان‌سنجی نمودند. با همپوشانی معیارهای مکانی و اقلیمی نواحی مستعد را مکانیابی نمودند. ذوالفقاری و همکاران (44) توان‌های اقلیمی ایران برای کشت سویا را بررسی نمودند. آنها در این رهیافت محدوده‌هایی که حداقل‌های اقلیمی این محصول را دارا بوده شناسایی کردند و سپس با روش AHP در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، توان مناطق را تعیین نمودند. حجازی زاده و همکاران (18) به مکانیابی کشت زیتون با استفاده از پارامترهای اقلیمی و زمینی به روش تحلیل سلسله مراتبی مطالعه موردی: استان فارس پرداختند. نتایج نشان داد که پارامترهای اقلیمی نقش بارزی در مکانیابی کشت زیتون ایفا می‌نمایند. مجرد و غفوری زاده (31) قابلیت اقلیمی کشت زعفران در استان‌های کرمانشاه و کردستان را بررسی نمودند. آنها با استفاده از آمار و اطلاعات عناصر اقلیمی و وزن‌دهی نسبی، قابلیت کشت هر عنصر اقلیمی را در سطح منطقه مورد مطالعه به صورت نقاط هم‌ارزش مشخص نمودند. جواد بیدادی و همکاران (9) مناطق کشت سویا در حوزه قره‌سو را براساس تکنیک AHP بررسی نمودند. میرموسوی و میریان (29) به مطالعه و پهنه‌بندی شرایط جغرافیایی کشت پسته در استان زنجان پرداختند. آنها از معیارهای مکانی در کنار معیارهای اقلیمی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، مناطق مستعد کشت پسته را مشخص نمودند. فلاح قالهری و همکاران (13) برای تعیین مناطق مستعد کشت گندم دیم (مطالعه موردی: استان فارس) از تحلیل سلسله مراتبی بر روی معیارهای اقلیمی استفاده نمودند. برنا و علیزاده (10) مناطق مستعد کشت مرکبات در استان خوزستان را براساس تحلیل AHP بررسی نمودند. نتایج آنها مشخص نمود که مناطق شمالی و شرقی استان از شرایط خوب تا عالی برای کشت مرکبات برخوردار است. بررسی منابع نشان داد که با توجه به کمبود منابع طبیعی در کشور بخصوص منابع ابی، ضرورت استفاده بهینه از مناطق طبیعی حائز اهمیت است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در گستره ایران زمین، مطالعات جامعی بر روی توان‌سنجی اقلیمی برای کشت درخت انگور در جهت توسعه پایدار انجام نشده است. بخش کشاورزی همچنان در عرصه اقتصاد و امنیت غذایی دارای جایگاه ویژه‌ای است.

1- Alphonse

2- Kalogirou

3- Chavez

4- Akinci



شکل 1- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در کشور
Figure 1- The position of the meteorological stations studied in the country

باغبانی مزیت شناخته شده اقتصاد کشاورزی ایران محسوب می‌شود. از آنجایی که کمبود منابع آبی یکی از تهدیدهای عمده محیطی در توسعه کشاورزی محسوب می‌شود، لذا توان‌سنجی مناطق مختلف برای استفاده بهینه از منابع حائز اهمیت است. با توجه به کمبود منابع آبی و تهدید تغییرات آب و هوایی، ضرورت توان‌سنجی و آمایش اقلیمی مناطق مختلف برای کشت بهینه باغات حائز اهمیت است. بنابراین با توجه به تأثیر بالای شرایط اقلیمی بر مکان‌یابی باغات، مطالعه حاضر با هدف توان‌سنجی اقلیمی مناطق مختلف ایران برای کشت درخت انگور کشمشی بی‌دانه سفید بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نظر ماهیت از نوع تحقیقات آماری-تحلیلی و از نظر هدف از نوع تحقیقات کاربردی محسوب می‌شود. متناسب با محتوا و هدف از آمار و اطلاعات پارامترهای اقلیمی در مقیاس ساعتی و روزانه استفاده شد. در این مطالعه 200 ایستگاه همدید و اقلیم‌شناسی که آمار طولانی مدت و معتبر برخوردار بوده از بدو تاسیس تا سال 2008 استفاده شد (شکل 1). آمار لازم از سازمان هواشناسی کشور تهیه و سپس دوره آماری 30 ساله از سال 1979 تا 2008 استخراج و پالایش گردید. در ادامه پایگاه داده اقلیمی از داده‌های، میانگین دما، کمینه دما، بیشینه دما، رطوبت نسبی، بارش، ساعات آفتابی، دمای دوره رشد و نمو برای محاسبات مشخص گردید.

مدل ساعات سرمایی CH برای تعیین انباشت و نیاز سرمایی

ساده‌ترین روش برای اندازه‌گیری نیاز سرمایی براساس ساعات

$$CH_t = \sum_{i=1}^t T_{7.2}, \quad T_{7.2} = \begin{cases} 0^\circ\text{C} < T < 7.2^\circ\text{C} & : 1 \\ \text{else} & : 0 \end{cases} \quad (1)$$

عملیات این روش در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار اکسل تهیه و تنظیم شده است. در ادامه با استفاده از آمار روزانه و ماهانه دیگر پارامترهای اقلیمی مورد نیاز پالایش و بررسی گردید.

- 1- Weinberger
- 2- Bennet
- 3- Luedeling

مدل تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در واقع یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) روشی انعطاف‌پذیر، قوی و ساده است و در شرایطی که معیارهای انتخاب گزینه‌ها متضاد هستند بهترین کارایی را دارد. برای تصمیم‌گیری دقیق و شناسایی اهمیت نسبی معیارهای اقلیمی برای کشت انگور از روش وزن‌دهی براساس رویکرد سلسله مراتبی استفاده شد. فرایند تحلیلی سلسله مراتبی بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید و همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (17). روش (AHP) در سال 1992 به وسیله توماس ساعتی به عنوان یک تکنیک چندمعیاره تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی توسعه و ارائه داده شده است (37). هدف عمده تصمیم در بالاترین سطح سلسله مراتبی و معیار و زیر معیار و جایگزین‌های تصمیم، در سطوح پایین تر این سلسله مراتب قرار می‌گیرند (5).

در این تحقیق از معیار اقلیم و معیار توپوگرافیکی یا جغرافیایی استفاده شده است. بعد از پالایش و محاسبات لازم برای زیر معیارهای اقلیمی لایه اطلاعاتی از طریق دیتابیس 200 ایستگاه هواشناسی سازمان هواشناسی کشور تنظیم گردید. اطلاعات مکانی مانند ارتفاع از لایه رقوم کشور تهیه شد. مشخصات یا نیازهای اقلیمی برای کشت درخت سیب از منابع معتبر داخلی و خارجی استخراج شد. برای زیر معیارهای جغرافیایی از لایه‌های موجود در کشور استفاده گردید. در ادامه به منظور مکانیابی مناطق مستعد کشت درخت انگور از نظر اقلیمی، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط نرم‌افزار Expert Choice 11 (15 و 21) به معیارها و زیر معیارها ارزش و وزن داده شد. در ادامه شرایط سازگاری و ناسازگاری این وزن‌دهی مشخص شد. سپس با استفاده از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS، وزن هر متغیر یا معیار و زیر معیار در لایه مربوطه عمل همپوشانی لایه‌ها براساس وزن آنها انجام شد و نقشه نهایی از مناطق مستعد کشت انگور در ایران بر اساس شرایط اقلیمی مشخص گردید (شکل 2). محاسبه وزن در فرایند تحلیل سلسله مراتبی در دو مرحله به دست می‌آید: الف: وزن نسبی و ب: وزن مطلق. وزن نسبی از ماتریس مقایسه زوجی به دست می‌آید و وزن مطلق، رتبه نهایی هر گزینه می‌باشد که از تلفیق وزن‌های نسبی محاسبه می‌گردد. بعد از تعیین اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر نباید نرخ سازگاری سیستم (CR) از 0,1 بیشتر باشد، که CR از تقسیم شاخص سازگاری CI بر متوسط شاخص سازگاری RI محاسبه می‌شود (24). پس از تعیین ارزش‌های نسبی معیارها ارزش نرمال و نهایی نیز محاسبه گردید. عملیات این فرایند در محیط نرم‌افزار انجام گردید.

نتایج و بحث

تعیین مناطق و محدوده کشت انگور در ایران براساس

شرایط اقلیمی

مقایسه زوجی¹ معیارها و زیر معیارها براساس تحلیل

سلسله مراتبی

مقایسه زوجی معیارها

به منظور تعیین مناطق مستعد کشت درخت انگور از نظر شرایط اقلیمی، دو معیار عمده محیطی، شرایط اقلیمی و شرایط جغرافیایی یا توپوگرافیکی در مقابل همدیگر مورد مقایسه زوجی قرار گرفتند و وزن هر کدام از معیارها و اولویت آن در جدول 1 مشخص گردید. معیار شرایط اقلیمی با وزن 0,833، مهم‌ترین معیار مؤثر در تعیین مناطق مستعد کشت درختان انگور محسوب می‌شود. شرایط اقلیمی مهم‌ترین فاکتور در کشت درختان میوه است. هر درختی می‌تواند فقط در محدوده محیطی که متناسب با خواص ذاتی آن باشد، رشد و نمو کند (28). معیار توپوگرافی که شرایط شیب و ارتفاع را در بر می‌گیرد در مرتبه دوم از اهمیت و وزنی برابر با 0,167 برخوردار می‌باشد. شرایط توپوگرافی و ارتفاع مناسب برای درختان انگور از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. مطالعات بدر و همکاران² (2018) مشخص نموده که در میان فاکتورهای محیطی، عامل اقلیم بالاترین نقش را در مکانیابی کشت درختان انگور ایفا می‌نماید (8).

مقایسه زوجی زیر معیار شرایط اقلیمی

برای ارزیابی شرایط اقلیمی، پارامترهای کمیته مطلق دما، بیشینه مطلق دما، بارش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، دمای دوره رشد، دمای دوره رکود و نیاز سرمایی بررسی شده است. نتایج مقایسه زوجی این زیرمعیارهای اقلیمی در جدول 2 مشخص شده است. زیرمعیار نیاز سرمایی با 0,317 بالاترین وزن را در بین زیرمعیارهای اقلیم در درخت انگور ایفا می‌نماید. زیرمعیارهای دمایی به صورت دماهای دوره رکود و دوره رشد بیشترین وزن را به خود اختصاص می‌دهند. زیرمعیارهای بارش و رطوبت نسبی از وزن کمتری نسبت به زیرمعیارهای دمایی برخوردار می‌باشند.

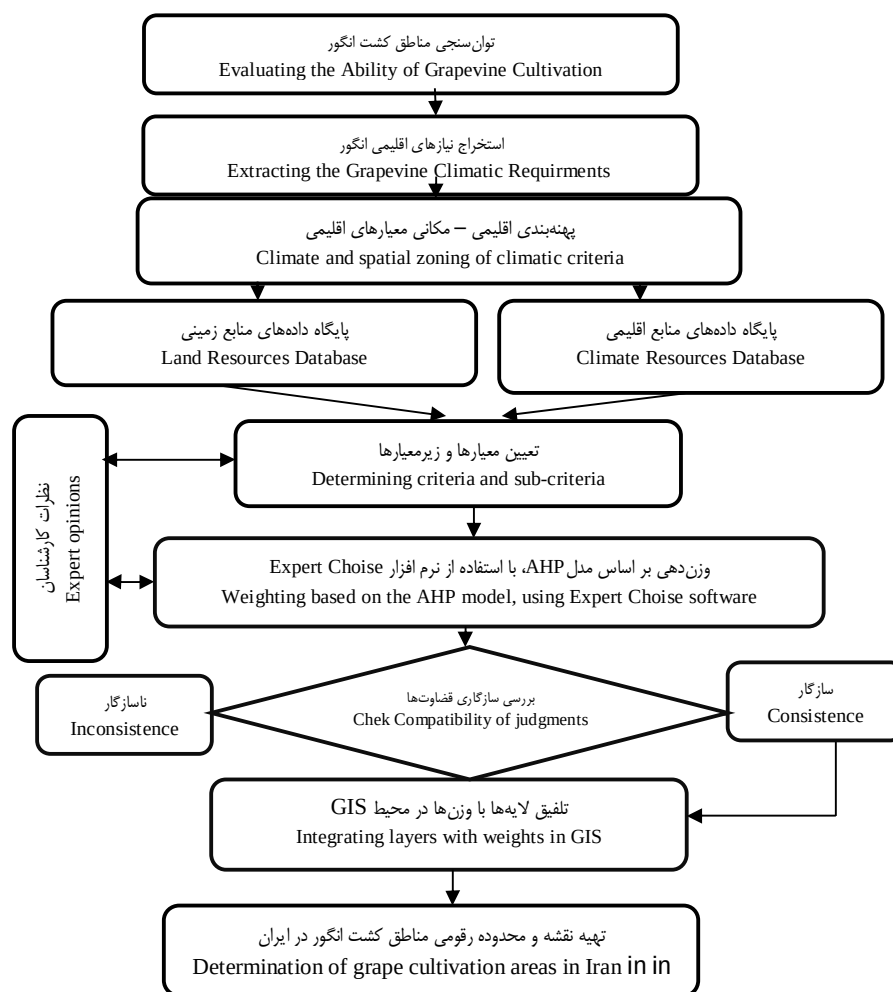
مقایسه زوجی و توزیع فضایی زیر معیار اقلیمی نیاز

سرمایی

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌ها برای طراحی باغات تجاری، تعیین و برآورد نیاز و انباشت سرمایی در دوره رکود یا زمستان می‌باشد (2). در انتخاب محل باغ، نیاز سرمایی درخت، منطقه‌ای که کشت می‌کنیم سرمای زمستانه باید به حد کافی باشد که نیاز سرمایی درخت را تأمین کند، اگر زمستان گرم باشد به طور غیر عادی باعث تأخیر در گلدهی، کاهش درصد گلدهی و کاهش تشکیل میوه بر روی درخت می‌شود (39).

1- Paired comparison

2- Badr et al



شکل 2- مدل مفهومی تهیه نقشه مکان‌یابی مناطق کشت انگور به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)
Figure 2- Conceptual Model of feasibility of grape cultivation using Analytical Hierarchy Process (AHP) method

جدول 1- مقایسه زوجی معیارهای اصلی در تعیین مناطق مستعد کشت درخت انگور
Table 1- Pairwised comparison of the main criteria for determining suitable areas to grape cultivation

	شرایط اقلیمی Climate conditions	توپوگرافی Topography	وزن نسبی Relative weight
شرایط اقلیمی Climate conditions	1	5	0.833
توپوگرافی Topography	-	1	0.167

نرخ ناسازگاری (0)
Inconsistency rate (0)

جدول 2- ماتریس مقایسه زوجی زیر معیارهای اقلیم برای کشت درخت انگور

Table 2- Pairwisd comparison matrix of climatic sub-criteria for grape cultivation

	نیاز سرمایی Chilling Require- ment	دمای دوره رشد Growth period Temperature	دمای دوره رکود Dormancy period Temperature	کمینه مطلق دما Absolute minimum temperatur e	بیشینه مطلق دما Absolute maximum temperature	ساعات آفتابی Sunshine hours	رطوبت نسبی Relative humidity	بارش Precipi- tation	وزن نسبی Relative weight
نیاز سرمایی Chilling Requirement	1	2	4	3	4	7	7	7	0.317
دمای دوره رشد Growth period Temperature	-	1	3	1	3	7	7	6	0.210
دمای دوره رکود Dormancy period Temperature	-	-	1	1	2	5	5	5	0.127
کمینه مطلق دما Absolute minimum temperature	-	-	-	1	3	6	6	3	0.155
بیشینه مطلق دما Absolute maximum temperature	-	-	-	-	1	7	7	1	0.093
ساعات آفتابی Sunshine hours	-	-	-	-	-	1	2	2	0.034
رطوبت نسبی Relative humidity	-	-	-	-	-	-	1	1	0.025
بارش Precipitation	-	-	-	-	-	-	-	1	0.038

نرخ ناسازگاری (0.07)

Inconsistency rate (0.07)

فقط مناطق مرتفع و نسبتاً کوهستانی واقع در شمال غرب، شمال شرق، غرب، محدوده شمال خراسان رضوی و خراسان شمالی و جنوبی و مناطق کوهپایه‌ها و دامنه‌های داخلی فلات ایرات از توان تأمین کنندگی سرمای لازم برای واریته‌های انگور برخوردار می‌باشد. از شمال به جنوب و از غرب به شرق از میزان انباشت سرمایی در ایران کاسته می‌شود. مناطق نیمه جنوبی و عرض‌های کم ارتفاع به دلیل عدم تأمین سرمای زمستانه، از توان سرمایی نامناسبی برای درخت انگور برخوردارند. در تعیین الگوی فضایی انباشت سرمای درختان انگور، عامل ارتفاع و عرض جغرافیایی نقش مهمی ایفا می‌نمایند.

به دلیل نیاز سرمایی نسبتاً بالای درخت انگور، امکان کشت ارقام معمولی این درخت عمدتاً در نیمه شمالی کشور، جایی که نیاز سرمایی بیش از 800 ساعات را با دمای 4 تا 7 درجه سانتی‌گراد برای آن تأمین می‌کند وجود دارد. کشت این درخت در مناطق جنوبی‌تر کشور فقط محدود به ارتفاعات بالای استان فارس، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان، سیستان و بلوچستان محدود می‌باشد.

نتایج مقایسه زوجی زیر معیار اقلیمی نیاز سرمایی برای درخت انگور در جدول 3 مشخص شده است. با توجه به اهمیت تأمین سرما در فصل رکود درختان خزان‌دار مانند انگور، هر چقدر نیاز سرمایی یک منطقه بالاتر باشد، از توانمندی اقلیمی بالاتری برای کاربری باغات خزان کننده برخوردار می‌باشد. بنابراین، گزینه طبقه سرمایی بالاتر از 1200 با 0,569 بیشترین وزن را در مکان‌سنجی کشت درختان انگور دارا می‌باشد. بعد از این طبقه، طبقه 1200-800 ساعت سرمایی، از قابلیت بالاتری برخوردار است.

مشخصات لایه نیاز سرمایی و اعمال وزن بر روی لایه کشور در جدول (4) مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که طبقه عالی و مناسب کشت انگور از نظر انباشت سرمایی، به ترتیب از وزن مطلق برابر با 0,150 و 0,069 برخوردار می‌باشد. انباشت سرمایی کمتر از 800 ساعت برای درختان انگور مناسب نمی‌باشد. بررسی منابع (28 و 33) نشان داد که مقدار 800 ساعت سرمایی برای درخت انگور ناکافی است. شکل (3 الف) توزیع فضایی انباشت سرمایی کشور بر اساس مدل ساعات سرمایی در دوره رکود را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که بخش وسیعی از کشور، قابلیت تأمین نیاز سرمایی زمستانه یا انباشت سرمایی لازم برای درختان خزان‌دار انگور را دارا نمی‌باشد. مناطق نیمه جنوبی به طور کامل به دلیل وجود زمستان‌های ملایم برای کشت تجاری درختان خزان‌دار مانند انگور مناسب نیست.

جدول 3- مقایسه زوجی نیاز سرمایی برای درخت انگور

Table 3- Pairwise comparison of chilling requirment for grape

	وزن نسبی Relative weight	0-400	400-800	800-1200	>1200
>1200	0.569	7	5	3	1
800-1200	0.264	5	3	1	-
400-800	0.106	2	1	-	-
0-400	0.061	1	-	-	-

نرخ ناسازگاری (0,03)

Inconsistency rate (0.03)

جدول 4- مشخصات لایه نیاز سرمایی در گستره ایران

Table 4- Charectristics of the chilling requirment layer over Iran

ردیف Row	کلاس Class	وضعیت Condition	وزن مطلق Absolute weight
1	>1200	عالی Excellent	0.150
2	1200-800	مناسب Appropriate	0.069
3	800-400	ضعیف Weak	0.027
4	0-400	نامناسب Inappropriate	0.016

خراسان شمالی می‌باشد. مناطق نیمه جنوبی جزو مناطق ضعیف و نامناسب قرار دارند. از شمال به جنوب و از غرب به شرق، دمای دوره رکود افزایش می‌یابد و از توان تأمین سرمایی این مناطق کاسته می‌شود. توزیع دمای دوره رکود از عامل ارتفاع و عرض جغرافیایی، برای الگوی فضایی حاکم، تبعیت می‌نماید.

مقایسه زوجی و توزیع فضایی زیر معیار دمای دوره رشد

مناطق خنک با آفتاب کافی، برای کشت درخت انگور مناسب می‌باشد. در مناطقی که دمای بالای 39 درجه سانتی‌گراد دارند یا آفتاب شدید دارند برای کشت انگور مناسب نیست (39 و 32). تغییر مرحله‌های فنولوژیکی درخت انگور بیشتر تحت تأثیر دما است، لذا دما در مکانیابی درختان انگور اهمیت حیاتی دارد.

بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که طول فصل رشد درخت انگور 5 تا 6 ماه معادل 150 تا 180 روز به طول می‌انجامد. در این راستا، دمای دوره رشد برای درخت انگور از اوایل فصل بهار متناسب با رخداد آخرین آستانه دمای فیزیولوژیکی یا دمای پایه رشد و جوانه زنی انگور یعنی 10 درجه سانتی‌گراد، تا اواسط پاییز متناسب با اولین زمان رخداد آستانه دمای پایه 10 درجه سانتی‌گراد، به مدت شش ماه در بازه دمایی 20 تا 26 درجه سانتی‌گراد قرار گرفته است.

مقایسه زوجی و توزیع فضایی زیر معیار اقلیمی دمای

دوره رکود

براساس پژوهش‌های تونیتو و کاربنو¹، یکی از فاکتورهای مهم برای انتخاب مکان کشت باغات انگور، درجه حرارت می‌باشد (41). دمای دوره رکود در درختان میوه خزان‌کننده مانند انگور نقش مهمی دارد. دمای هوا در دامنه خاصی می‌تواند در شکستن دوره رکود یا خواب درختان انگور با تأمین سرمای لازم مؤثر باشد. با بررسی منابع و مطالعات کتابخانه‌ای، نتایج مقایسه زوجی دمای دوره رکود در چهار طبقه در جدول (5) مشخص شده است. دماهای 3-0 درجه سانتی-گراد با وزن 0,462 بیشترین وزن را دارا می‌باشند. میانگین دمای دوره رکود در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در گستره ایران زمین، 6 درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. بررسی لایه وزن دمای رکود در کشور در جدول (6) مشخص شده است که 58896478,9 هکتار به طبقه مناسب اختصاص دارد. بعد از این طبقه دمای دوره رکود ضعیف بوده و در واقع مناطق دیگر با زمستان ملایم همراه هستند و قادر به تأمین دمای سرد برای دوره خواب درختان انگور نیستند. شکل (3 ب)، توزیع فضایی دمای دوره رکود برای درخت انگور در ایران را نشان می‌دهد. بیشترین توزیع فضایی به طبقه متوسط در حاشیه مناطق مرتفع و عرض‌های بالا کشور اختصاص دارد. منطقه مناسب محدود به مناطق مرتفع و کوهستانی غرب، شمال غرب، شمال و مناطق شمالی

جدول 5- مقایسه زوجی دمای دوره رکود (ماه‌های نوامبر تا مارس) یا خواب برای درخت انگور

Table 5- Pairwised comparison of the dormancy period temperature (November to March) for the grape

	وزن نسبی Relative weight			
	0-3	4-7	7-10	>10
0-3	1	2	3	4
4-7	-	1	2	3
7-10	-	-	1	3
>10	-	-	-	1

نرخ ناسازگاری (0.03)

Inconsistency rate (0.03)

جدول 6- مشخصات لایه میانگین دمای دوره رکود (ماه‌های نوامبر تا مارس) برای درخت انگور

Table 6- Charectristics of the mean temperature of the dormancy period (November to March) for the grape

ردیف Row	کلاس Class	وضعیت Condition	وزن مطلق Absolute weight
1	0-3	عالی Excellent	0.048
2	4-7	مناسب Appropriate	0.028
3	7-10	ضعیف Weak	0.018
4	>10	نامناسب Inappropriate	0.009

طبقه‌بندی شده است. مناطق کم ارتفاع و پست عرض‌های جنوبی و جلگه خیزی به دلیل دمای بالا و مناطق سستی کوهستان‌ها به دلیل دمای پایین از حد بهینه رشد انگور، خارج از قابلیت اقلیمی لازم برای کشت انگور قرار دارند. مناطق حاشیه و دامنه کوهستان‌های مرتفع بخصوص در غرب، شمال غرب و شمال شرق و ارتفاعات مرکزی از قابلیت بالاتری از نظر دمایی برای رشد انگور برخوردار می‌باشند. مناطق کویری و بیابانی و نیمه جنوبی به دلیل گرمای بالاتر از آستانه مناسب درختان انگور، از قابلیت ضعیف و نامناسب برخوردار می‌باشند. شکل (3 ج) توزیع مکانی زیر معیار دمای دوره رشد درخت انگور را نشان می‌دهد. الگوی فضایی در این زیر معیار به شدت از وضعیت ارتفاعات و عرض جغرافیایی تبعیت می‌نماید. از شمال به جنوب و از غرب به شرق از قابلیت‌های مناسب برای کشت درختان انگور کاسته می‌شود.

در مطالعات کوانتا (32) مشخص شده که بهینه دمایی برای رشد انگور 20 تا 26 درجه سانتی‌گراد می‌باشد، در همین راستا وضعیت دمای دوره رشد انگور به 4 طبقه مختلف تقسیم شد. جدول 7 مقایسه زوجی این زیر معیار اقلیمی را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص شده طبقه دمایی 22-24 درجه سانتی‌گراد بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است، دماهای پایین‌تر از این طبقه از وزن کمتری برخوردار بوده و در دوره رشد از نقش پایین‌تری برخوردار می‌باشند. بررسی دماها از طریق ایستگاه‌های مورد مطالعه در گستره ایران نشان داد که میانگین دمای دوره رشد در سطح ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه برابر با 22 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. توزیع داده‌ها بیشتر در بازه دمایی 15 تا 23 درجه سانتی‌گراد قرار گرفته است.

نتایج مشخصات لایه زیر معیار دمای دوره رشد در جدول 8 مشخص شده است. لایه مذکور از قابلیت مناسب تا نامناسب

جدول 7- مقایسه زوجی زیر معیار اقلیمی دمای دوره رشد برای درخت انگور

Table 7- Pairwised comparison of the growth period temperature climatic sub-criteria for the grape

	وزن نسبی Relative weight				
	>26	24-26	22-24	20-22	<20
>26	1	1/2	1/4	1/5	1
24-26		1	1/3	1/2	2
22-24		-	1	2	3
20-22		-	-	1	4
<20		-	-	-	1

نرخ ناسازگاری (0.02)

Inconsistency rate (0.02)

جدول 8- مشخصات لایه زیر معیار اقلیمی دمای دوره رشد انگور در سطح کشور

Table 8- Characteristics of the layer of the growth period temperature sub-criteria over the country

ردیف Row	کلاس Class	وضعیت Condition	وزن مطلق Absolute weight
1	>26	نامناسب Inappropriate	0.013
2	24-26	متوسط Medium	0.025
3	22-24	عالی Excellent	0.068
4	20-22	مناسب Appropriate	0.052
5	<20	ضعیف Weak	0.015

نامناسب و کشنده است. توزیع مکانی دمای کمینه مطلق کشور از نظر کشت درخت انگور بر اساس ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در شکل (3 د) مشخص شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد در بخش‌هایی از کشور از نظر کمینه مطلق دما، برای درخت انگور محدودیت وجود دارد. این مناطق عمدتاً کمربند‌های کوهستانی زاگرس مرتفع و منطقه سردسیر شمال غرب و محدود‌هایی از شمال شرق ایران را در بر می‌گیرد. در واقع بجز مناطق مرتفع سستیغ کوهستان‌ها، بیشتر مناطق ایران از نظر کمینه مطلق دما برای درخت انگور محدودیتی ندارند و در قابلیت مناسب قرار می‌گیرند. در کشور ایران کمینه مطلق دما منطبق بر محور وضعیت ناهمواری‌ها و عرض جغرافیایی در مناطق کوهستانی غرب و شمال غرب و شمال شرق رخ می‌دهد که در سردترین ایستگاه در کشور یعنی سقز، دمای 36- مشاهده شد که از آستانه تحمل درخت انگور بسیار پایین‌تر است.

مقایسه زوجی و توزیع مکانی زیر معیار اقلیمی کمینه مطلق دما

مقاومت درختان انگور در مقابل سرما به مراتب کمتر است. درخت انگور تا 15- درجه سانتیگراد قدرت تحمل دارد (19). کمینه مطلق دمای هوا برای درخت انگور در 4 طبقه مختلف از کم به زیاد طبقه‌بندی شده است (جدول 9). بررسی داده‌های کمینه مطلق دما نشان داد که میانگین دمای کمینه در سطح کشور براساس آمار 200 ایستگاه هواشناسی برابر با 15- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کمترین مقدار کمینه مطلق دما، 36- درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. نتایج نشان داد که طبقه دمایی (0) تا (10-) درجه سانتی‌گراد از وزن بالاتری برای درخت انگور برخوردار است (جدول 10). بعد از این طبقه دماهای بین 10- تا 20- درجه سانتی‌گراد مناسب هستند. طبقات دمایی پایین‌تر از 30- درجه سانتی‌گراد، برای درخت انگور

جدول 9- مقایسه زوجی کمینه مطلق دما برای درخت انگور

Table 9- Pairwise comparison of the absolute minimum temperature for the grape

وزن نسبی Relative weight	0-(-10)	(-10) - (-20)	(-20) - (-30)	< (-30)
0-(-10)	1	2	3	5
(-10) - (-20)	-	1	2	3
(-20) - (-30)	-	-	1	2
<(-30)	-	-	-	1

نرخ ناسازگاری (0.01)

Inconsistency rate (0.01)

جدول 10- مشخصات لایه کمینه مطلق دما در سطح کشور

Table 10- Characteristics of the layer of the absolute minimum temperature over the country

ردیف Row	کلاس Class	وضعیت Condition	وزن مطلق Absolute weight
1	0-(-10)	عالی Excellent	0.062
2	(-10) - (-20)	مناسب Appropriate	0.035
3	(-20) - (-30)	متوسط Medium	0.020
4	<(-30)	نامناسب Inappropriate	0.011

جدول 11- مقایسه زوجی زیر معیار اقلیمی بیشینه مطلق دما

Table 11- Pairwised comparison of the absolute maximum temperature sub-criteria

وزن نسبی Relative weight	35-40	40-45	45-50	>50
35-40	1	3	6	7
40-45	-	1	3	6
45-50	-	-	1	3
>50	-	-	-	1

نرخ ناسازگاری (0.05)
Inconsistency rate (0.05)

جدول 12 - مشخصات لایه بیشینه مطلق دمای هوا در سطح کشور

Table 12- Charectristics for the absolute maximum temperature over the country

ردیف Row	کلاس Class	وضعیت Condition	وزن مطلق Absolute weight
1	35-40	مناسب Appropriate	0.044
2	40-45	متوسط Medium	0.020
3	45-50	نامناسب Inappropriate	0.008
4	>50	نامناسب با محدودیت زیاد Inappropriate	0.004

شمال شرق و نواحی البرز، جزء مناطق با قابلیت مناسب قرار دارند. در نواحی مرکزی هر جا شرایط ارتفاعی بارز بوده مانند یزد، کرمان و نواحی خراسان جنوبی و شمال سیستان و بلوچستان، نیز شرایط دماهای بیشینه مطلق شرایط مناسب تا متوسط برای درخت انگور را فراهم می‌نماید. در نواحی جنوبی و جلگه خزری به دلیل گرما و رطوبت زیاد، شرایط برای درخت انگور از نظر دماهای حداکثر مطلق قابلیت لازم را ندارد.

مقایسه زوجی و توزیع مکانی زیر معیار اقلیمی بارش

درخت انگور برای رشد مناسب به بیش از 700 میلی‌متر بارندگی نیاز دارد. در مناطق با بارش کمتر از 700 میلی‌متر، شرایط رشد بدون آبیاری مقدور نیست. درختان انگور برای رشد در شرایط دیم، به 600 تا 700 میلی‌متر بارندگی نیاز دارند (20 و 32). در این راستا، نتایج مقایسه زوجی بارش از نظر رشد درخت انگور در جدول 13 مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که بارش بیشتر از 700 میلی‌متر از وزن بالاتری برای کشت درختان انگور برخوردار می‌باشد. نتایج قابلیت‌های لایه بارش در کشور از نظر کشت درخت انگور در جدول 14 مشخص شده است. همانطور که مشخص شده، تقریباً کل کشور از نظر بارش برای کشت انگور نامناسب است و فقط حاشیه دریای خزر در استان گیلان و مازندران و ارتفاعات بلند غربی بارش کافی برای کشت دیم را دارا می‌باشد. توزیع مکانی بارش سالانه ایران در شکل (3 ز) مشخص شده است. درخت انگور بیش از 700 میلی‌متر بارش سالانه نیاز دارد تا براساس مهیایی آب باران بتواند نیاز آبی خود

مقایسه زوجی و توزیع مکانی زیر معیار اقلیمی بیشینه مطلق دمای هوا

آستانه دمای حداکثر برای درخت انگور 38 تا 40 درجه سانتی‌گراد می‌باشد (32 و 20). درخت انگور یک درخت منطقه سردسیر محسوب می‌شود و دماهای گرم دوره رشد و نمو موجب کاهش عملکرد و عدم بازدهی می‌گردد. دماهای بیشینه مطلق با توجه به آستانه دمای بیشینه انگور (38-40) در 4 طبقه مجزا جهت مقایسه زوجی در جدول 11 مشخص شده است. نتایج نشان داد که در بین طبقات، بیشترین وزن به طبقه دمایی 35-40 درجه سانتی‌گراد قرار دارد. دماهای بین 40-45 به علت نزدیکی به آستانه دمای حداکثر، در شرایط قابل تحمل و قابلیت متوسط قرار می‌گیرند. دماهای بالاتر از آستانه 40 درجه سانتی‌گراد، اثر منفی بر وی کیفیت و بازدهی درخت انگور می‌گذارند. مشخصات لایه دماهای بیشینه مطلق از نظر قابلیت در گستره کشور، در جدول 12 مشخص شده است. نتایج نشان داد که طبقه با قابلیت مناسب، از وزن بالاتری برخوردار می‌باشد. در واقع بیش از نیمی از گستره مساحت کشور در شرایط نامناسب و نیمی دیگر در شرایط مناسب تا متوسط از نظر دماهای بیشینه مطلق قرار دارد. توزیع مکانی دمای بیشینه در سطح کشور برای درخت انگور در شکل (3 ر) مشخص شده است. شرایط نشان داد که توزیع مکانی دماهای بیشینه در وهله اول از عامل ارتفاع از سطح دریا و سپس از عامل عرض جغرافیایی تبعیت می‌نماید. از غرب به شرق و از شمال به جنوب از قابلیت مکانی ایران برای درخت انگور از نظر دماهای بیشینه مطلق کاسته می‌شود. مناطق مرتفع غرب و شمال غرب و

سردسیری مانند انگور تامین نمی‌شود و مناسب کشت درخت انگور نیست. بنابراین با توجه به وضعیت بارش ایران، درخت انگور برای باردهی و رشد و نمو نیاز به آبیاری سالانه و تامین آب لازم دارد.

را تامین نماید، که با توجه به وضعیت بارش کشور این شرایط فقط در محدوده بسیار کمی در حاشیه جنوب غربی دریای خزر در استان گیلان و مازندران فراهم می‌باشد. این نکته قابل ذکر است که این مناطق به دلیل زمستان‌های ملایم نیاز سرمایی برای درختان

جدول 13- مقایسه زوجی زیرمعیار اقلیمی بارش

Table 13- Pairwised comparison of the precipitation climatic sub-criteria

	وزن نسبی Relative weight	>700	400-700	200-400	<200
>700	0.665	1	5	7	9
400-700	0.195	-	1	3	4
200-400	0.086	-	-	1	2
<200	0.053	-	-	-	1

نرخ ناسازگاری (0,04)

Inconsistency rate (0.04)

جدول 14- مشخصات لایه بارش

Table 14- Charectristics of the precipitation Layer

ردیف Row	کلاس Class	وضعیت Condition	وزن مطلق Absolute weight
1	>700	عالی Appropriate	0.021
2	500-700	مناسب Weak	0.006
3	300-500	متوسط Inappropriate	0.002
4	<300	نامناسب Inappropriate	0.001

جدول 15- مقایسه زوجی رطوبت نسبی

Table 15- Pairwised comparison of the relative humidity

	وزن نسبی Relative weight	>50	40-50	30-40	20-30	<20
>50	0.073	1	1/3	1/4	1/3	1/2
40-50	0.395	-	1	2	3	4
30-40	0.268	-	-	1	2	3
20-30	0.164	-	-	-	1	2
<20	0.100	-	-	-	-	1

نرخ ناسازگاری (0,04)

Inconsistency rate (0.04)

در سطح کشور را برخوردار می‌باشد. توزیع مکانی قابلیت های رطوبت نسبی ایران برای کشت درخت انگور در شکل (3 ح) مشخص شده است. نتایج نشان داد که با توجه به نیاز رطوبت نسبی پایین درخت انگور نسبت به خیلی از درختان میوه، در ایران قابلیت رطوبت نسبی برای درخت انگور، زیاد است (جدول 16). در مناطق مرکزی و کویری کشور، کمترین میزان رطوبت نسبی مشاهده گردید. در کل، بیشتر ایران از میزان رطوبت نسبی لازم برای درخت انگور برخوردار می‌باشد.

مقایسه زوجی و توزیع مکانی زیر معیار اقلیمی رطوبت نسبی

نتایج مقایسه زوجی زیر معیار رطوبت نسبی در جدول 15 مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که رطوبت نسبی بین 50-40 درصد، وزنی معادل 0/395 را به خود اختصاص می‌دهد. برای درخت انگور بر اساس ایستگاه‌های مورد مطالعه، میانگین رطوبت نسبی برابر با 48,5 درصد مشاهده گردید. توزیع میزان رطوبت نسبی نشان می‌دهد که بازه 40 تا 50 درصد بیشترین فراوانی رطوبت نسبی

جدول 16- مشخصات لایه رطوبت نسبی
Table 16- Characteristics of the relative humidity layer

ردیف Row	کلاس Class	وضعیت Condition	وزن مطلق Absolute weight
1	>50	نامناسب Inappropriate	0.0020
2	40-50	عالی Excellent	0.011
3	30-40	مناسب Appropriate	0.007
4	20-30	متوسط Medium	0.004
5	<20	ضعیف Weak	0.0028

نور آفتاب است که میزان قند و کیفیت میوه انگور را مشخص می‌سازد. توزیع ساعات آفتابی نشان داد که بجز مناطق حاشیه دریای خزر به دلیل ابرناکی که کمتر از 1500 ساعت آفتابی سالانه را دارا هستند دیگر مناطق با بیش از 2000 و در نیمه جنوبی و مرکزی کشور تا بیش از 3000 ساعت، شرایط آفتابی حاکم می‌باشد. بنابراین شرایط آفتابی کشور برای درخت انگور محدودیتی نداشته و شرایط آفتابی در کل کشور فراهم می‌باشد.

مقایسه زوجی زیر معیارهای جغرافیایی یا توپوگرافیکی

نتایج زیر معیارهای توپوگرافی یا عوامل جغرافیایی (ارتفاع از سطح دریا، شیب) در جدول 19 مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که زیر معیار ارتفاع با وزن 0,8، بالاترین و شیب با 0,2، کمترین وزن را در بین زیرمعیارهای توپوگرافیکی دارا می‌باشند. بنابراین زیرمعیار ارتفاع در مکانیابی درختان انگور بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

مقایسه زوجی و توزیع مکانی زیر معیار جغرافیایی ارتفاع

از سطح دریا

در مکانیابی باغات انگور ارتفاع نقش بسزایی دارد. ارتفاع مناسب کاشت درختان انگور 200 تا 1400 تعیین شده است (20 و 28). بنابراین با بررسی‌های کتابخانه‌ای وضعیت ارتفاع در چهار طبقه مختلف کلاس‌بندی شد.

مقایسه زوجی و توزیع مکانی زیر معیار اقلیمی ساعات آفتابی

درخت انگور وابستگی بسیار بالایی به ساعات آفتابی مناسب برای تنظیم درصد شیرینی و قند و اسید دارد. به طوری که، شیرینی و مزه میوه، همبستگی مثبتی با افزایش ساعات آفتابی دارد (11). نتایج مقایسه زوجی زیر معیار اقلیمی ساعات آفتابی در جدول 17 و مشخصات این لایه در جدول (18) مشخص شده است. با توجه به بررسی‌ها و مطالعات کتابخانه‌ای هر مکانی که از آفتاب بیشتری برخوردار باشد برای رشد و نمو درختان میوه خزان کننده مانند انگور، مناسب می‌باشد. نتایج نشان داد که مناطق با بیشتر از 2500 ساعت در مجموع سالانه، از وزن بالاتری به نسبت دیگر مناطق برخوردار می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، در کشور ایران به عنوان سرزمینی با تابش مناسب، بجز مناطق نوار شمالی و سواحل دریای خزر، به دلیل ابرناکی زیاد، بقیه نقاط کشور از ساعات آفتابی مناسب برخوردار می‌باشند. توزیع مکانی ساعات آفتابی ایران برای درخت انگور در شکل (3 خ) مشخص شده است. توزیع مکانی نشان می‌دهد که قابلیت‌های فلات ایران از نظر ساعات آفتابی محدودیتی برای کشت درخت انگور ایجاد نخواهد کرد. توزیع ساعات آفتابی از عامل عرض جغرافیایی تاثیر می‌پذیرد و از شمال به جنوب بر میزان ساعات آفتابی افزوده می‌شود. کشور ایران از نظر ساعات آفتابی از شرایط لازم برای رشد و نمو بیشتر درختان میوه برخوردار می‌باشد. در واقع

جدول 17- مقایسه زوجی زیر معیار اقلیمی ساعات آفتابی
Table 17- Pairwise comparison of Sunshine hours climatic sub-criteria

وزن نسبی Relative weight	1000-1500	1500-2000	2000-2500	2500<	
>2500	3	3	2	1	0.448
2000-2500	3	2	1	-	0.283
1500-2000	2	1	-	-	0.164
1000-1500	1	-	-	-	0.106

نرخ ناسازگاری (0,08)

Inconsistency rate (0.08)

جدول 18- مشخصات لایه ساعات آفتابی در سطح کشور

Table 18- Charecteristics of sunshine hours layer in the country

ردیف Row	کلاس Class	وضعیت Condition	وزن مطلق Absolute weight
1	>2500	عالی Excellent	0.009
2	2000-2500	مناسب Appropriate	0.005
3	1500-2000	متوسط Medium	0.003
4	1000-1500	نامناسب Inappropriate	0.002

جدول 19- مقایسه زوجی زیرمعیارهای توپوگرافیکی یا جغرافیایی

Table 19- Pairwised comparison of topographic or geographical sub-criteria

	ارتفاع Height	شیب Slope	وزن نسبی Relative weight
ارتفاع Height	1	4	0.8
شیب Slope	-	1	0.2

نرخ ناسازگاری (۰)

Inconsistency rate (0)

شدت کاهش می‌یابد و در شرایط نامناسب قرار می‌گیرد.

مقایسه زوجی و توزیع مکانی زیر معیار جغرافیایی شیب

شیب لازم برای کاشت درختان انگور تا 25 درصد مشخص شده است. این نشان می‌دهد که این درختان با توجه به شرایط فیزیولوژیکی، توانایی رشد در شیب‌های مختلف را دارا می‌باشند. بنابراین نتایج از نظر درخت انگور در 4 طبقه در جدول 22 مشخص شده است. نتایج نشان داد که شیب‌های محدوده 5-10 درصد از وزن بالاتری برخوردار می‌باشند. در جدول 23 وضعیت زیرمعیار شیب مشخص شده است. از شیب 5 تا 20 درصد، قابلیت مناسب و متوسط برای درختان انگور وجود دارد. بالاتر از 20 درصد از قابلیت نامناسبی برای کاشت انگور برخوردار می‌باشند. توزیع مکانی قابلیت‌های ایران از نظر شیب برای درخت انگور در شکل (3 گ) مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به قدرت سازگاری بالا و شرایط فیزیولوژیکی درخت انگور، تقریباً تمام مناطق ایران بجز نواحی بسیار مرتفع و ستیخ کوهستان‌ها، از شرایط مناسب برای کاشت انگور برخوردار می‌باشد.

نتایج نشان داد که هر چند ارتفاع 200 تا 1400 متر برای درخت انگور مناسب می‌باشد، اما طبقه ارتفاعی (1000-1400) متر از سطح دریا، بیشترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد، در واقع ارتفاع نسبتاً بالا نقش موثرتری در باغات انگور ایفا می‌نماید (جدول 20). در جدول 21، مشخصات و قابلیت‌های لایه ارتفاعی مشخص شده که مناطق تا بالاتر از 1000 متر تا 1400 متری از قابلیت بهتری برخوردار می‌باشند. ارتفاعات کمتر از 200 متری، از قابلیت نامناسب برای کشت درخت انگور برخوردارند. توزیع مکانی سطوح ارتفاعی کشور در شکل (3 ک) مشخص شده است. مناطق مناسب از نظر ارتفاعی محدود به مناطق مرتفع و کوهستانی نیمه غربی، نیمه شمالی و شمال شرق کشور می‌باشد. مناطق حاشیه رشته کوه‌های اصلی نیز در شرایط متوسط از نظر ارتفاعی قرار دارند. مناطق مرکزی و نیمه جنوبی به دلیل ارتفاع کمتر برای کشت درخت سردسیری مانند انگور مناسب نیستند. در مناطقی از کرمان و یزد ارتفاعات پراکنده مرتفعی وجود دارد که شرایط رشد و نمو انگور در آن نواحی فراهم می‌باشد. از شمال به جنوب و از غرب به شرق با تغییر چشم‌انداز مرتفع به یک چشم‌انداز هموار و کم ارتفاع، شرایط قابلیت نواحی برای کشت درخت انگور به

جدول 20- مقایسه زوجی زیر معیار جغرافیایی ارتفاع از سطح دریا

Table 20- Pairwised comparison of the elevation (from the sea lelvel) sub-criteria

	>1400	1000-1400	600-1000	200-600	<200	وزن نسبی Relativ weight
>1400	1	1	3	5	5	0.329
1000-1400	-	1	3	7	9	0.402
600-1000	-	-	1	3	5	0.159
200-600	-	-	-	1	2	0.067
<200	-	-	-	-	1	0.043

نرخ ناسازگاری (0.03)

Inconsistency rate (0.03)

جدول 21- مشخصات لایه ارتفاع از سطح دریا در کشور

Table 21- Charectristics of the elevation (from thr sea level) layer over the country

ردیف Row	کلاس Class	وضعیت Condition	وزن مطلق Absolute weight
1	>1400	مناسب Appropriate	0.043
2	1000-1400	عالی Excellent	0.053
3	600-1000	متوسط Medium	0.021
4	200-600	ضعیف weak	0.008
5	<200	نامناسب Inappropriate	0.005

جدول 22- مقایسه زوجی زیر معیار جغرافیایی شیب (بر حسب درصد)

Table 22- Pairwised comparison of the slope (in percent) sub-criteria

	وزن نسبی Relative weight			
	>20	10-20	5-10	0-5
>20	1	1/2	1/3	1/2
10-20	-	1	1/2	1/2
5-10	-	-	1	1
0-5	-	-	-	1

نرخ ناسازگاری (0,02)

Inconsistency rate (0,02)

جدول 23- مشخصات لایه شیب به عنوان زیر معیار جغرافیایی

Table 23- Charectristics of the slope layer as a geographic sub-criteria

ردیف Row	کلاس Class	وضعیت Condition	وزن مطلق Absolute weight
1	>20	نامناسب Inappropriate	0.004
2	10-20	متوسط Medium	0.006
3	5-10	عالی Appropriate	0.011
4	0-5	مناسب Weak	0.010

مرز و محدوده کشت درخت انگور براساس شرایط اقلیمی

– توپوگرافیکی

نتایج ارتفاع و محدوده کشت درخت انگور در گستره ایران در شکل‌های (3 ل) و (3 س) مشخص شده است. بعد از سلسله محاسبات و تحلیل‌های مکانی در سامانه اطلاعات جغرافیایی، مرز و محدوده مناسب کشت درخت انگور از نظر شرایط اقلیمی و محیطی مشخص گردید. همانطور که مشخص شده، شرایط اقلیمی کشور در پیوند با شرایط مکانی، براساس ابزار تحلیل گر مکانی (GIS) نقش موثری در شناسایی مناطق مستعد کشت درختان میوه ایفا می‌نماید.

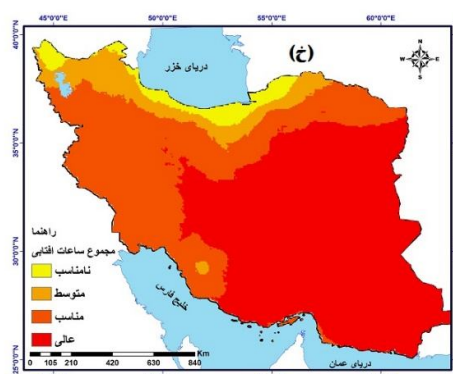
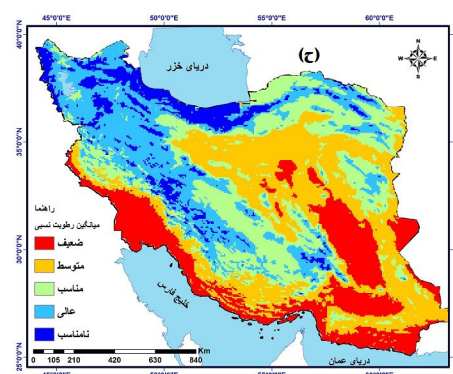
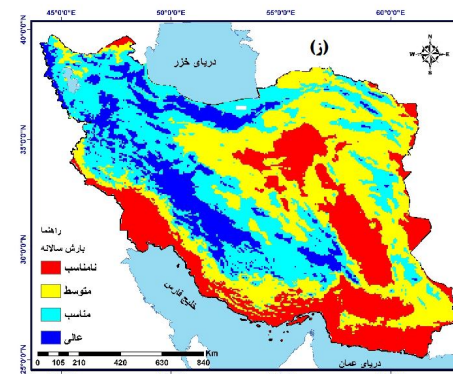
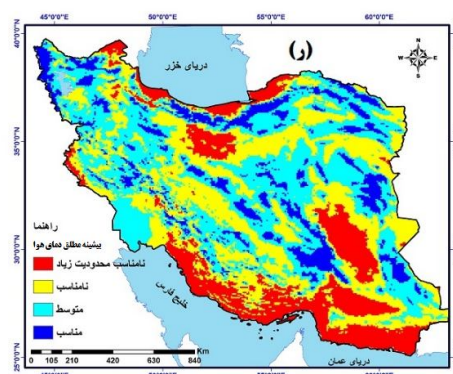
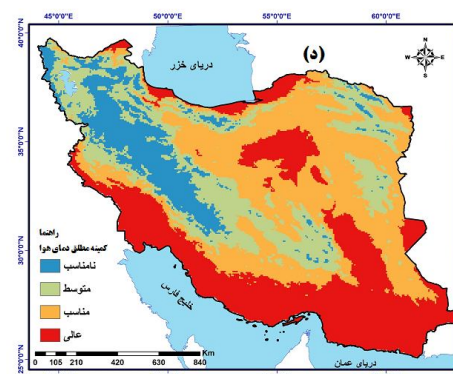
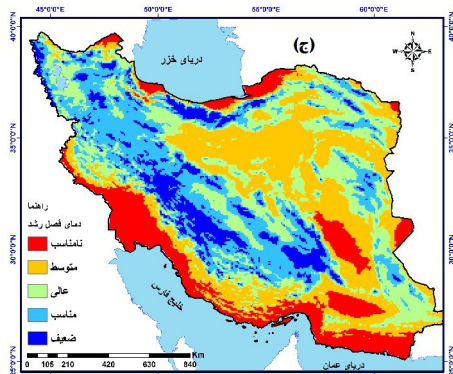
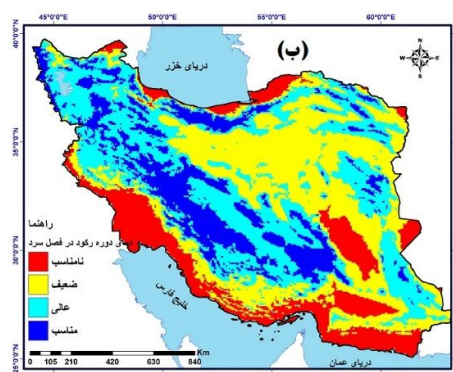
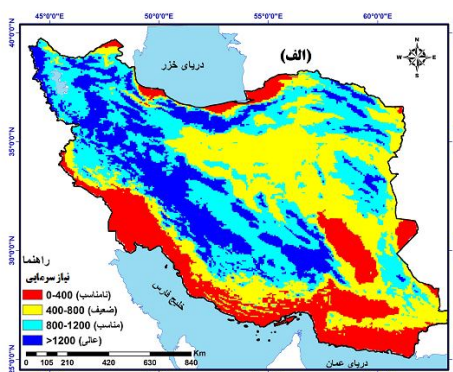
نتیجه‌گیری

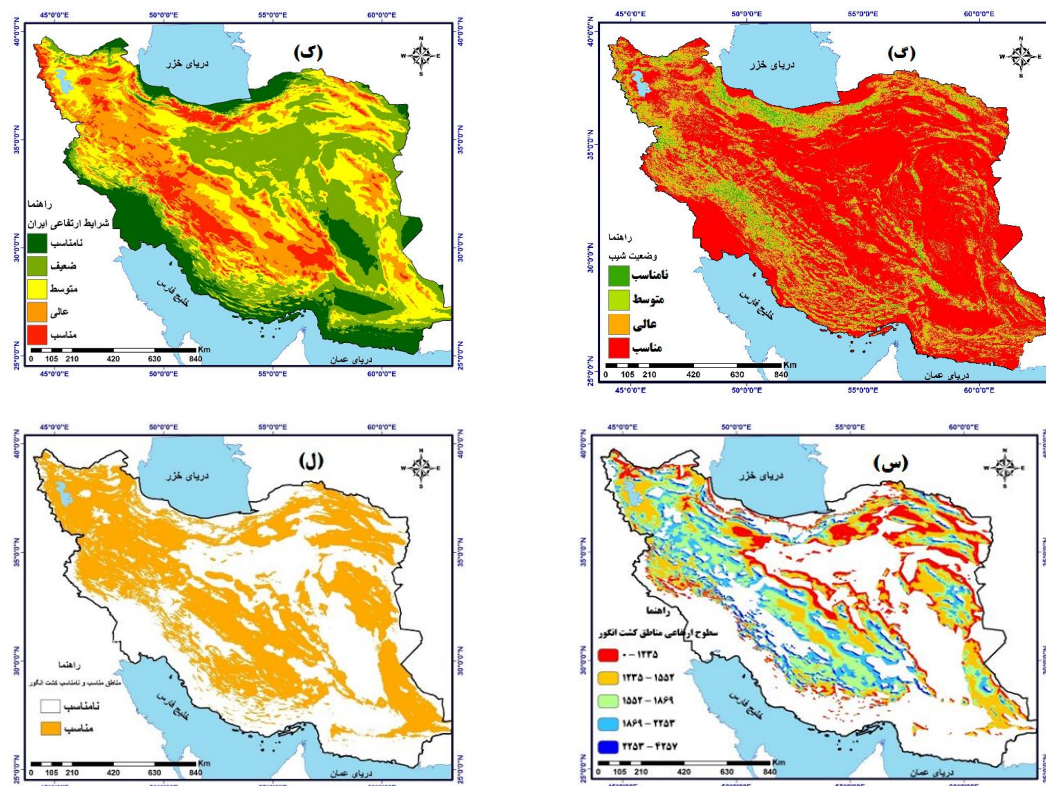
مطالعه حاضر با هدف امکان‌سنجی مناطق مختلف ایران بر اساس شرایط اقلیمی برای کشت درخت انگور کشمشی انجام شد.

مناطق مستعد کشت درخت انگور براساس همپوشانی

لایه‌های مختلف اقلیمی و جغرافیایی

تلفیق لایه بر اساس وزن‌های محاسبه شده و قابلیت‌های مناطق مختلف کشور برای کشت درخت انگور بصورت قابلیت مناسب تا نامناسب در شکل (3 ل) مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که 42195637,8 هکتار دارای قابلیت نامناسب و 42721236,2 دارای قابلیت ضعیف و 75492510 هکتار از قابلیت مناسب برای کشت انگور در گستره ایران برخوردار می‌باشد. در واقع 754924 کیلومتر مربع از مساحت کشور برای کشت درخت انگور مستعد می‌باشد. مناطق مناسب کشت درخت انگور منطبق بر دامنه‌های مناطق کوهستانی و نسبتاً مرتفع در نیمه غربی، شمال غرب، شمال شرق و مناطق پراکنده مرکز، شرق و جنوب شرق قرار دارد. محدوده مناسب کشت درختان انگور 42 درصد از سطح مساحت کشور را شامل می‌شود.





شکل 3- توزیع مکانی زیرمعیارهای اقلیمی و مناطق مستعد کشت درخت انگور در ایران
Figure 3- Spatial distribution of climatic sub-criteria and suitable areas to grape cultivation in Iran

هوا به عنوان زیرمعیارهای اقلیمی و عامل ارتفاع از سطح دریا به عنوان زیرمعیار توپوگرافیکی، برای سنجش قابلیت‌های کشت انگور کشمشی، از ارزش و اولویت بالاتری برخوردار می‌باشند. این نتایج از نظر اهمیت انباشت سرمایه، پارامتر دمای هوا و عامل طبیعی ارتفاع از سطح دریا در شناسایی مناطق مناسب کشت انگور در تایید مطالعات امینی (1392) می‌باشد. تلفیق زیرمعیارهای اقلیمی با شرایط توپوگرافیکی برای امکان‌سنجی کشت انگور کشمشی براساس سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان داد که در گستره ایران، 42195637 هکتار دارای قابلیت نامناسب و 42721236 دارای قابلیت ضعیف و 75492510 هکتار از قابلیت مناسب برخوردار می‌باشد (شکل 3). در واقع 754924 کیلومتر مربع معادل 42 درصد از مساحت کشور برای کشت درخت انگور مستعد می‌باشد. محدوده و مناطق مناسب کشت درخت انگور منطبق بر دامنه‌های مناطق کوهستانی و نسبتاً مرتفع در نیمه غربی، شمال غرب، شمال شرق و مناطق پراکنده مرکز، شرق و جنوب شرق قرار دارد. نتایج تحقیق حاضر برای اولین بار در کشور با توجه به جامعیت آن در گستره سرزمینی فلات ایران حائز اهمیت است.

با توجه به کاهش منابع طبیعی، برنامه ریزی فضایی با توجه به توان اقلیمی - اکولوژیکی حائز اهمیت می‌باشد. فرایند تحلیل چند معیاره مانند AHP، از عملکرد قابل قبولی برای امکان‌سنجی کشت درختان میوه و شناسایی استعدادها و محدودیت‌ها برخوردار می‌باشد. اهمیت این فرایند برای درخت انگور در مناطق مختلف در مطالعات آچریا ویانگ² (2015)، بدر و همکاران³ (2018) و جمشیدی (1396) نیز تایید شده است.

برای دیگر درختان میوه این فرایند از طریق مطالعات میر موسوی و میریان (1393) و فال سلیمان و همکاران (1392) نیز حائز اهمیت می‌باشد. نتایج نشانگر آن است که نمی‌توان منطقه‌ای با خصوصیات کامل برای کشت انگور پیدا نمود، اما با شناخت محدودیت‌های اقلیمی و تعیین اولویت‌ها، می‌توان در قالب مطالعه جامع اقلیمی - محیطی مطابقت بیشتر با محیط را افزایش داد. نتایج نشان داد که معیار اقلیمی نسبت به معیار توپوگرافیکی از نقش و وزن بالاتری در امکان‌سنجی کشت انگور کشمشی برخوردار می‌باشد. همچنین مؤلفه‌های دمای مانند انباشت سرمایه، دمای دوره رکود و میانگین دمای

2- Acharya & Yang

3- Badr et al

منابع

- 1- Acharya T.D., and Yang I.T. 2015. Vineyard suitability analysis of Nepal. *International Journal of Environmental Sciences* 6(1): 13-19.
- 2- Ahmadi H. 2017. Study of Climate Change Effects on Apple Tree in Iran. Ph.D., Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University. (In Persian)
- 3- Akıncı H., Ozalp A.Y., and Turgut B. 2013. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture* 97: 71-82.
- 4- Alavizadeh S.A.M., Esmailpour A.M., and Hosseinzadeh Kerman M. 2013. Saffron Agriculture and Technology Journal 1: 71-95. (In Persian)
- 5- Alphonse C.B. 1997. Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. *Agricultural Systems* 53(1): 97-112.
- 6- Amini R. 2013. Climatic feasibility study of grape cultivation in the northeast of the country. Master's thesis, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University. (In Persian)
- 7- Ashrafi A., Mikaeli J., and Dehghani M. 2013. Evaluating ecological power and zoning of jujube culture in South Khorasan province. *Journal of Geographic Space Golestan University* 7: 67-86. (In Persian)
- 8- Badr G., Hoogenboom G., Moyer M., Keller M., Rupp R., and Davenport J. 2018. Spatial suitability assessment for vineyard site selection based on fuzzy logic, *Precision Agric* 19(6): 1027-1048.
- 9- Bidadi M.J., Kamkar B., and Abdi O. 2014. The zoning of susceptible areas of soybean cultivation in the area of Qeshv using Geographic Information System (GIS). *Journal of Crop Production* 7(2): 187-175. (In Persian)
- 10- Borna R., and Alizadeh M. 2016. Climatic zonation of citrus cultivation in Khuzestan province by hierarchical analysis method. *Journal of Agricultural Meteorology* 4(1): 12-21. (In Persian)
- 11- Carbo A., Torres R., Teixido N., Usall J., Medina A., and Magan N. 2018. Impact of climate change environmental conditions on the resilience of different formulations of the biocontrol agent *Candida sake* CPA-1 on grapes. *Letters in applied microbiology*.
- 12- Chavez M.D., Berentsen P.B.M., and Lansink A.O. 2012. Assessment of criteria and farming activities for tobacco diversification using the Analytical Hierarchical Process (AHP) technique. *Agricultural Systems* 111: 53-62.
- 13- Fallah Qalhari Gh. A., Asadi M., and Dadashi Roudbari A. A. 2015. Determination of susceptible areas of rainfed wheat (Case study: Fars Province). *Agricultural Meteorology Journal* 2: 68-73. (In Persian)
- 14- Fallah Qalhari Gh.A., and Ahmadi H. 2018. Examination of the pattern of cold weather accumulation in Iranian cold regions based on CH, UTAH, CP models. *Geography and Development* 51: 99-120. (In Persian)
- 15- Fall Soleyman M., Hajipour M., and Sadeghi H. 2013. Comparison of the Efficiency of Multi-Attribute Decision Making Techniques (AHP) and Topsis for Determining Areas Susceptible to Cultivation of Pistachio Cultivars in Mokhtaran Plain of Birjand County in Geographic Information System (GIS). *Journal of Applied Geographical Sciences* 13(31): 155-133. (In Persian)
- 16- Ghodsipour S.H. 2010. Analytical hierarchy process. Amir Kabir University of Technology. (In Persian)
- 17- Heidari H., and Saeed Abadi R. 2010. Multivariate climate classification of grapevine areas in Iran. *Natural Geographic Research* 68: 59-70. (In Persian)
- 18- Hejazi Zadeh Z., Shalighah M., Balyani Y., Hosseini S.M., and Mahoutchi M.H. 2013. Location of olive cultivation using climatic and terrestrial parameters by hierarchical analysis method. Case study: Fars province. *Journal of Applied Geosciences Research* 30: 172-190. (In Persian)
- 19- Hobbs B.F., and Meier P.M. 1994. Multi criteria methods for resource planning: An experimental comparison. *IEEE Transactions on Power Systems* 9(4): 1811-1817.
- 20- Instructions for building a garden in sloping lands. 2009. Study plan of the deputy of strategic planning and strategic planning of the presidency. (In Persian)
- 21- Jamshidi K. 2017. Determine areas susceptible to grape cultivation in Bokan city using GIS. *Research on Fruit Cultivation* 2(2): 40-17. (In Persian)
- 22- Jebari A., del Prado A., Pardo G., Rodríguez Martín J.A., and Álvaro-Fuentes J. 2018. Modeling Regional Effects of Climate Change on Soil Organic Carbon in Spain. *Journal of Environmental Quality*.
- 23- Kalogirou S. 2002. Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation. *Computers, Environment and Urban Systems* 26(2): 89-112.
- 24- Khorshid Dost A.M., Sobhani B., Azram K., and Amini J. 2015. Assessment of Environmental Capacity of West Azarbaijan Province for Rapeseed Cultivation Based on AHP Method and TOPSIS Model. *Geography and Planning* 52: 141-161. (In Persian)
- 25- Khoshkhooy M., Sheibani B., Rouhani I., and Tafazoli E.A. 2008. Principles of gardening. Shiraz University Press, 17th edition, Shiraz. (In Persian)
- 26- Kizildeniz T., Pascual I., Irigoyen J., and Morales F. 2018. Using fruit-bearing cuttings of grapevine and temperature gradient greenhouses to evaluate effects of climate change (elevated CO₂ and temperature, and water deficit) on the cv. red and white Tempranillo. Yield and must quality in three consecutive growing seasons (2013-2015). *Agricultural Water Management* 202: 299-310.

- 27- Luedeling E. 2012. Climate change impact on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Journal of Scientia Horticulture* 144: 218-229.
- 28- Maniee A.A. 1990. Scientific Seminar of Fruit Trees. Iranian technical publishers. First Edition. Tehran. (In Persian)
- 29- Mirmosavi S. H., Mirian M. 2014. Study and zoning of geographical features of pistachio cultivation in Zanjan province. *Geography and Planning Magazine* 18 (49): 295-315. (In Persian)
- 30- Mohamed A.E., AbdelRahman A., and Natarajan R.H. 2016. Assessment of land suitability and capability by integrating remote sensing and GIS for agriculture in Chamarajanagar district, Karnataka, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 19: 125-141.
- 31- Mojarad F., and Ghafourizadeh M. 2014. Climatic potential of saffron cultivation in Kermanshah and Kurdistan provinces. *Quarterly Journal of Geographic Research* 2:87-102. (In Persian)
- 32- Quanta. 1975. The Agricultural Meteorological Research Plan on 15 Iranian Strategic Agricultural and Crop Products, the Iranian Meteorological Organization. (In Persian)
- 33- Rasoulzadegan Y. 1991. Worked fruits in temperate regions, written by M. Ann Wood. First Edition . Isfahan University of Technology. (In Persian with English abstract)
- 34- Rezaei M. 2012. Estimation of temperature requirements of six commercial cultivars of apricot in Shahroud area in laboratory and field conditions. *Journal of Agricultural Research* 1: 21-32. (In Persian)
- 35- Romanovskaja D., and Bakšienė E. 2011. The influence of climate change on the beginning of spring season and prediction of apple tree flowering in Lithuania. *Sodininkystė ir Daržininkystė* 30(3/4): 29-39.
- 36- Romesht M.H., Hatami Fard R., and Mousavi S.H. 2013. Urban Solid Waste Landfill Location Using AHP Model and GIS Technique (Case Study: Kuhdasht County). *Journal of Geography and Planning* 17(14): 138-119. (In Persian)
- 37- Saaty T.L. 1992. *Decision Making for Leaders*. RWS Publications, Pittsburgh, USA.
- 38- Seinfeld J.H., and Pandis S.N. 2016. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*: John Wiley & Sons.
- 39- Shiravand D. 2010. Principles for the construction and management of fruit gardens (planting, harvesting and harvesting), garden construction, reproduction, cuttings, grafting, plowing, and storage and storage. Publications on education and agricultural promotion. First Edition. Tehran. (In Persian)
- 40- Shahiwandi M.S., Khalidi Sh., Shakiba A., and Mirbagheri B. 2012. Zoning of Corn Agricultural Climate in Lorestan Province Using Geographic Information Systems Techniques. *Journal of Applied Geosciences Research* 29:195-214. (In Persian)
- 41- Tonietto J., and Carbonneau A. 2002. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology* 124: 81-97.
- 42- Yazdan Panah H.A., Kamali Gh.A., Hejazi Zadeh Z., and Ziaeiian P. 2006. Location of land suitable for almond cultivation in East Azarbaijan Province. *Journal of Geography and Development* 8: 193-203. (In Persian)
- 43- Zarrin M., and Farahani H.R. 2015. Comprehensive guide for gardening. Technical publications of the Zarrin farm. First Printing. Tehran. (In Persian)
- 44- Zolfaghari H., Farhadi B., and Rahimi H. 2013. Iran's Climate Potential for Soybean Culture. *Journal of Geography and Planning* 56: 89-105. (In Persian)



Evaluating the Ability of Grapevine Cultivation in Iran Based on Climatic Conditions

T. Shojaei⁴- Gh. Fallah Ghalhari^{2*}- A. Kashki³

Received: 10-09-2018

Accepted: 27-11-2019

Introduction: In order to choose the best forms for each region and invest, the climatic conditions should be considered. Among the climatic elements, thermal indexes are effective factors in the production cycle, and the quality and quantity of grapes. Given the lack of water resources and the threat of climate change, there is a need for potentiometry and clustering of different regions.

Materials and Methods: According to the content and purpose of statistics and information, the hourly and daily climatic data of 200 climate stations were used. In order to compute the required chilling, the CH model was prepared and implemented. According to daily and monthly statistics, climate parameters were refined and investigated. We used a weighting method based on hierarchical approach for accurate decision making and identifying the relative importance of climatic criteria for grape cultivation. For the following climatic criteria, the information layer was arranged through a database of 200 meteorological stations of the Iranian Meteorological Organization. For the following geographic criteria, layers were used in the country. In order to determine the suitable areas for planting grapevine, using the *Analytical Hierarchy Process* (AHP) method in the *Expert choice11* software environment, the criteria and sub criteria were weighted. Then, using the Geographical Information System, the layers were overlapped based on their weight and the final land suitability map for planting grapevine in Iran was obtained based on climatic conditions.

Results and Discussion: Pairwise comparison of criteria and sub-criteria based on hierarchical analysis showed that the criterion of climatic conditions with a weight of 0.833 was considered as the most important criterion in determining suitable areas for grapevine cultivation. Pairwise comparison of the climatic conditions criterion indicated that the sub-criteria of 0.317 were the highest among the sub-criteria in the grape trees. Temperature sub-criteria exhibited the greatest weight during the slump and growth period. Paired comparison and spatial distribution of the climate-chilling showed that a large part of the country does not supply winter creeps or cold storage for grapevine trees. The southern half of Iran is entirely unsuitable due to the existence of mild winters for commercial cultivation of creeping trees such as grapes. Paired comparison and spatial distribution under the climatic criterion of the slump period demonstrated that largest spatial distribution is allocated to the middle class in the margin of highlands and high latitudes regions. Paired comparison and spatial distributions under the scale of the growth period illustrated that the spatial pattern in this sub-criteria is highly dependent on the altitude and latitude. From the north to the south and from the west to the east, the suitability for growing grapevine decreases. Paired comparison and spatial distributions under the climatic criteria of absolute minimum temperature revealed that in terms of absolute minimum temperature, there is a limitation on grapevine for some regions of Iran. These areas are mainly mountainous belts of the Zagros mountain, the northwest cold region and northeastern Iran. Paired comparison and spatial distribution under the climate criteria of maximum air temperature showed that temperatures above the threshold of 40 degrees Celsius adversely influence the quality and yield of grapevine. In fact, in terms of absolute maximum temperatures, more than half of the country's surface area is unsuitable. Paired comparison and spatial distributions under the geographic scale elevation above sea level showed that suitable altitude areas are limited to the high and mountainous regions of the northwestern, northern, and northeastern Iran. Paired comparison and spatial distributions under the relative climate of relative humidity indicated that due to the relative humidity of the grape vine compared to many fruit trees, the relative humidity in Iran is high for the grapevine tree. Paired comparison and spatial distributions under the climatic criteria of sunshine hours illustrated that the distribution of sunshine hours affects the latitude factor causing an increase in sunshine hours from north to south. A wide range of growing fruit trees in terms of sunshine days can be found in Iran. Therefore, most regions in the country provide unlimited solar radiation for grapevine growth. Paired comparison and spatial distributions under the geographic scale elevation above sea level showed that altitude plays an important role for locating vineyards. Suitable high-altitude areas are limited to the high and mountainous regions of the northwestern, northern, and northeastern Iran. Paired comparison and

4, 2 and 3- Ph.D. Student of Agro Climatology, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: g.fallah@hsu.ac.ir)

spatial distribution below the gradient geographic scale showed that planting fruit trees, especially grapes, is more cost-effective in steep slopes. Considering the high adaptability and physiological conditions of the grapevine, almost all regions of Iran, except very high and mountainous regions, are suitable for planting grapes. Suitable vineyard cultivars are adapted to the slopes of mountainous and relatively high mountainous regions in the mid-west, northwest, northeast, and scattered areas of the center, east and south east of the country. The range of cultivating grapevine trees is 42% of the country's surface area.

Conclusion: The results revealed that the climate criterion has a pivotal role for determining land suitability for grapevine trees. The suitable vineyard cultivars are located in the mountainous and relatively hilly mountains in the northwest, northwest, northeast, and dispersed areas of the center, east and south east of Iran. These findings are important for land use planning and spatial planning with emphasis on climatic and geographic capabilities for efficient use of natural resources.

Keywords: Climatic condition, Grapevine, Land suitability



توسعه یک مدل پیش‌بینی ریسک خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: زیرحوضه آبریز افین)

غزاله کواکبی^۱ - محمد موسوی بایگی^{۲*} - امین عزیززاده^۳ - ابوالفضل مساعدی^۴ - مهدی جباری نوقابی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

چکیده

خشکسالی به عنوان پیچیده‌ترین، اما کمتر شناخته شده‌ترین خطر در میان تمام خطرات طبیعی است که نسبت به هر خطر طبیعی دیگر، درصد بیشتری از مردم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خشکسالی یکی از پدیده‌های طبیعی و مکرر اقلیمی است؛ تجزیه و تحلیل ریسک خشکسالی ترکیبی از تجزیه و تحلیل خطر خشکسالی و تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری خشکسالی است. در این مطالعه سعی شده است چشم‌اندازی از تغییرات ریسک خشکسالی هواشناسی در آینده نشان داده شود. مطالعه به صورت موردی برای زیرحوضه افین (واقع در استان خراسان جنوبی) انجام شده است. دوره آماری استفاده شده برای دوره پایه ۳۳ سال (۱۹۸۳-۲۰۱۵) می‌باشد. داده‌های آینده براساس سه مدل از پروژه CORDEX بدست آمده است. دوره آتی، به سه دوره ۲۷ ساله شامل، آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۶)، آینده میانی (۲۰۴۷-۲۰۷۳) و آینده دور (۲۰۷۴-۲۱۰۰) تقسیم شده است. به منظور محاسبه ریسک خشکسالی، مخاطره خشکسالی براساس سه شاخص خشکسالی SPI، SPEI و erDI برای دوره پایه و دوره‌های آتی و پس از آن آسیب‌پذیری تعیین شد. افزایش شدت خشکسالی‌ها در دوره‌های آتی از دیگر نتایج حاصل از این مطالعه است. خروجی‌های ریسک بدست آمده از روش مستقیم محاسبه ریسک که با داده‌های CORDEX و نیز روش استفاده از مدل پیش‌بینی ریسک که در این مطالعه بدست آمد، نشان از افزایش تعداد وقایع خشکسالی و بدنبال آن افزایش وقایع ریسک خشکسالی در منطقه دارد. همچنین، مشاهده شد شدت ریسک خشکسالی‌ها براساس سناریوی انتشار RCP8.5 بیشتر از RCP4.5 می‌باشد

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری خشکسالی، ریسک خشکسالی، مخاطره خشکسالی، ARIMA، CORDEX

مقدمه

بارندگی قابل توجه باشد، ممکن است یکی از جدی‌ترین خطرات ناشی از تغییرات آب و هوایی باشد، عبارت دیگر در صورتی که الگوی مکانی و زمانی بارش تغییر کند، می‌تواند بر اقلیم بخش‌های مختلف کره زمین به واسطه پدیده‌های دور پیوند، اثرگذار باشد (۳۰). در حال حاضر شواهد قوی در مورد گرمایش جهانی وجود دارد و بر اساس بسیاری از شواهد متعدد، گروه بین دولتی تغییرات آب و هوایی (۲۵) نتیجه گرفته است که بیشترین افزایش در دمای هوا در سطح جهانی از اواسط قرن ۲۰م به دلیل افزایش در غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت انسانی می‌باشد. گرمایش جهانی منجر به تغییر در بارندگی و سایر متغیرهای آب و هوایی خواهد شد (۱۹). اولین راه شناسایی وقایع خشکسالی، شاخص‌های خشکسالی می‌باشند که معمولاً در این شاخص‌ها عوامل هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیک را در نظر می‌گیرند. سپس احتمال خشکسالی محاسبه می‌شود (۳۴). تجزیه و تحلیل ریسک خشکسالی، ترکیبی از تجزیه و تحلیل خطر خشکسالی و تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری خشکسالی است (۲۴). روش‌های بررسی ریسک خشکسالی را می‌توان هم به روش‌های سنجش از دور و هم به روش‌های آماری و یا تلفیقی از هر دو روش، محاسبه کرد. پایه و اساس تمامی مطالعات ریسک، براساس تعریف معمول ریسک که عبارت است از حاصلضرب احتمال وقوع پیشامد

در سراسر جهان، خشکسالی در میان تمام خطرات طبیعی از نظر تعداد افرادی که به طور مستقیم تحت تأثیر قرار دارند، رتبه اول را دارد (۱۶). خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی فصلی، یک پدیده شایع در کشورهای دارای آب و هوای نیمه‌گرمسیری است و افزایش آن در آینده، قابل انتظار است. خشکسالی از جمله پدیده‌های طبیعی و مکرر اقلیمی در زمین است. مدل‌های آب و هوایی و مشاهدات ماهواره هر دو نشان می‌دهند که مقدار کل آب موجود در اتمسفر به میزان ۷٪ در هر واحد کلون گرمایش سطحی، افزایش خواهد یافت، این درحالی است که مدل‌های آب و هوایی پیش‌بینی می‌کنند که بارش‌های جهانی به میزان بسیار کمتر، حدود ۱ تا ۳ درصد در هر درجه کلون افزایش پیدا کنند. اگر تغییرات شدت و توزیع مکانی

۱، ۲، ۳ - به ترتیب دانشجوی دکتری و استادان گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*) - نویسنده مسئول (Email: mousavib@um.ac)

۵ - استادیار گروه علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد

DOI: 10.22067/jsw.v33i6.81650

استفاده نمودند. شاخص خشکسالی استفاده شده در این مطالعه، پالمر^۱ PDSI می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش ۱/۵ تا ۲ درجه‌ای دما، ریسک خشکسالی به صورت قابل توجهی افزایش پیدا خواهد کرد. البته این افزایش دما در برخی مناطق بیشتر (مدیترانه، اروپای مرکزی و جنوب افریقا) و در برخی مناطق (جنوب شرق آسیا) این افزایش معنی‌دار بنظر نمی‌رسد.

خلیلی و بذرافشان (۱۲) ریسک خشکسالی هواشناسی را محاسبه نموده‌اند. آن‌ها در مطالعه‌ی خود ریسک را به‌صورت احتمال عبور از یک پدیده بحرانی، در مدت زمان معین تعیین نمودند. پورطاهری و همکاران (۲۰) مطالعه‌ای با هدف کاهش آسیب‌پذیری کشاورزان روستایی در برابر پیامدهای خشکسالی با تأکید بر مدیریت ریسک انجام دادند. برای این منظور در ابتدا به بررسی سطوح آسیب‌پذیری پرداخته شده و با تکمیل پرسشنامه مهم‌ترین ابعاد آسیب‌پذیری در مناطق روستایی مشخص گردید. قاسمی‌نژاد و همکاران (۲۳) ریسک خشکسالی استان اصفهان را بررسی نمودند. ریسک خشکسالی به صورت تابعی از شاخص خطر و شاخص آسیب‌پذیری تعریف نمودند. شاخص SPI به‌عنوان شاخص خطر خشکسالی در نظر گرفته شد. آنالیز آسیب‌پذیری از طریق شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی و شاخص فیزیکی انجام شد. روش مورد استفاده برای تلفیق لایه‌های آسیب‌پذیری، روش ترکیب خطی وزنی و روش مورد استفاده برای استانداردسازی و وزن‌دهی به معیارها، به ترتیب از روش تابع فازی و روش تحلیل ساختار سلسله مراتبی می‌باشد. برای پیش‌بینی و داشتن اطلاعاتی اقلیمی از آینده، می‌توان از مدل‌های متعددی که در دهه های اخیر بسط و توسعه یافته، استفاده نمود. مدل‌های GCM که در گزارش پنجم هیئت بین‌الدول گزارش شده است، مدل‌های مناسبی برای دستیابی به اطلاعات اقلیمی آینده می‌باشد. به‌منظور استفاده بهتر از این مدل‌ها، مناسب است که تصحیحاتی بر روی این داده‌ها انجام شود. یکی از روش‌های تصحیح مقادیر خروجی‌های ریزمقیاس شده این مدل‌ها، روش تغییر فاکتور^۲ می‌باشد.

های و همکاران (۷) مطالعه‌ای برای مقایسه بین تغییر دلتا و سناریوهای ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومی انجام دادند. در اینجا دو روش تولید سناریوهای آب و هوایی مقایسه شد: ۱) تغییرات دلتا ۲) ریزمقیاس‌نمایی آماری. نتایج این مطالعه نشان داد که در حوضه‌های آزمایش شده، مدل بارش-رواناب می‌تواند سری رواناب واقع گرایانه را برای شرایط فعلی با استفاده از خروجی NCEP لحاظ آماری به دست آورد.

با توجه به توضیحات بیان شده، محاسبه ریسک خشکسالی به شناخت دید دقیق و مناسب از وضعیت خشکسالی در هر منطقه کمک می‌نماید. در واقع این شناخت، باعث کمک به مدیران برای اتخاذ

مورد نظر (خشکسالی مشخص) با شدت مشخص (مخاطره) در میزان آسیب‌پذیری آن پیشامد، می‌باشد. تفاوت در روش‌ها می‌تواند در قسمت محاسبه مخاطره و یا آسیب‌پذیری باشد. درواقع، محاسبه ریسک خشکسالی، نمایی مناسب و دقیق‌تر از خشکسالی را نمایش می‌دهد چرا که علاوه بر داشتن شدت آن، احتمال وقوع هر واقعه خشکسالی و تأثیری که این پدیده بر محیط و منطقه مورد بررسی می‌گذارد را به‌طور همزمان در برمی‌گیرد. اثرات مخرب و خسارت‌های وارده به دلیل این پدیده طبیعی در مناطق و زمان‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. این بدان دلیل است که برخی از نواحی به علت عوامل فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به خشکسالی مستعدترند و از طرفی ظرفیت آمادگی، سازگاری و مقابله آن‌ها با هم فرق می‌کند. به‌منظور بررسی ریسک خشکسالی، مطالعات مختلفی در داخل و خارج از کشور صورت پذیرفته است. وائو و ولهایت (۳۳) ریسک خشکسالی را برای ذرت و سویا در نبراسکا بررسی نمودند. آن‌ها از داده‌های هفتگی در طی فصل رشد و دوره‌های قبل از کشت به‌عنوان عاملی تأثیرگذار در ریسک استفاده کردند. در این مطالعه، ریسک با روش چند متغیره آماری محاسبه شد. در انتها، نقشه ریسک پس از اعتبارسنجی، با استفاده از نرم‌افزار GIS رسم شد. نتایج این مطالعه حاکی از تأثیرگذاری کم تغییرات اقلیمی بر روی محصول ذرت و سویا می‌باشد.

شهید و بهروان (۲۴) در مطالعه‌ای به ارزیابی ریسک در بخش غربی بنگلادش پرداختند. آن‌ها در مطالعه‌ی خود روشی برای ارزیابی مکانی ریسک خشکسالی در بنگلادش را نشان دادند. در ابتدا شاخص SPI در محیط GIS به منظور نشان دادن مخاطره آن در گام‌های زمانی مختلف تهیه شد. سپس عوامل کلیدی اجتماعی و فیزیکی که آسیب‌پذیری آن را در بافت بنگلادش تعریف می‌کنند شناسایی و نقشه‌های مربوط به موضوعی در سطح منطقه آماده شد. نقشه ترکیبی آسیب‌پذیری از تجميع نقشه‌های موضوعی اجتماعی و فیزیکی تهیه شد. بدین ترتیب ریسک به‌عنوان یک محصول از ادغام مخاطره و آسیب‌پذیری محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که خشکسالی بیشترین خطر را برای مناطق شمالی و شمال‌غربی بنگلادش دارا می‌باشد. پی و همکاران (۲۰) آنالیز مکانی-زمانی ریسک خشکسالی در استان هیلونگجیانگ، چین را انجام دادند. آن‌ها به منظور بهبود پیش‌بینی ریسک کشاورزی، مدل ترکیبی را توسعه دادند. مطالعه آن‌ها نشان داد که تفاوت در ریسک‌های خشکسالی در مناطق مختلف به دلیل تفاوت در میزان بارندگی و منابع آب در منطقه می‌باشد. تجزیه و تحلیل روند نشان داد که قرار گرفتن در معرض خطر هر منطقه، یک روند افزایشی دارد. لنر و همکاران (۱۵) پیش‌بینی ریسک خشکسالی را در صورت افزایش ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گرادی در دمای هوا انجام دادند. آن‌ها در این مطالعه از داده‌های سناریوی RCP8.5

1- Palmer Drought Severity Index (PDSI)

2- Change factor

تبخیرسنجی داخل و اطراف حوضه گردآوری شده است. با توجه به وسعت کم حوضه، در انتها پس از انجام و بررسی دوره پایه مشترک و نیز آزمون‌های آماری پایه (آزمون همگنی و ایستایی، بررسی روند، بررسی تصادفی بودن داده‌ها و داده پرت که به ترتیب از آزمون‌های آماری من-ویتنی^۵، آزمون من-کندال^۶، آزمون توالی^۷ و آزمون گرویز-بک^۸ استفاده شد) تمام ایستگاه‌ها موجود، از دو ایستگاه باران سنجی افین و قائن و نیز دو ایستگاه تبخیرسنجی افین و قائن استفاده شد. سال‌های آماری مورد مطالعه برای دوره پایه، ۳۳ سال (۲۰۱۵-۱۹۸۳) می‌باشد.

برای انجام محاسبات این بخش از پکیج‌های lawstat، gMWT و kendall در محیط نرم‌افزاری R-studio استفاده شد.

لازم به ذکر است با توجه به اینکه هدف این مطالعه، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر ریسک خشکسالی می‌باشد، لذا برای انتخاب حوضه مورد مطالعه، باید شرایط ذیل برقرار باشد،

- (۱) تغییر کاربری اراضی طی چند دهه اخیر خیلی کم و در بهترین حالت، تغییر کاربری اراضی حادث نشده باشد.
 - (۲) سهم پوشش برف در تولید رواناب منطقه، بسیار ناچیز باشد، به گونه‌ای که بتوان مقدار رواناب منطقه را تنها ناشی از بارش باران دانست.
 - (۳) اطلاعات و داده‌های هواشناسی و داده‌های مربوط به محصول کشاورزی منطقه تا حد امکان در دسترس باشد.
- لازم به ذکر است که شاخص شناسایی خشکسالی مؤثر اصلاح شده شاخص خشکسالی RDI^9 (شاخص شناسایی خشکسالی) می‌باشد (۲۷) در این شاخص بارش مؤثر جای کل بارش استفاده می‌شود. جهت محاسبه میزان بارش مؤثر از روش $USBR^{10}$ که مناسب مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد، استفاده شده است (۴) (معادلات ۱ و ۲). به منظور بررسی ریسک خشکسالی‌های هواشناسی براساس سه شاخص SPI، SPEI و eRDI برای دوره آتی، از داده های حاصل از مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد. داده‌های ریزمقیاس شده از پروژه CORDEX تهیه شد. در بسیاری از پژوهش‌های مرتبط با موضوع تغییر اقلیم اقدام به ریزمقیاس نمایی برون‌داد مدل‌های گردش عمومی به روش‌های مختلف می‌شود و یا اینکه از داده‌های ریزمقیاس شده استفاده می‌شود. سازمان جهانی هواشناسی برای استانداردسازی ریزمقیاس نمایی برون‌داد مدل‌های گردش عمومی پروژه‌ای به نام CORDEX را در دست اجرا دارد.

تصمیم‌های بهتر برای سازگاری با خشکسالی در دوره‌های زمانی آتی می‌باشد. از این رو در این مطالعه، حوضه آبریز افین (واقع در استان خراسان جنوبی) بعنوان یک نمونه موردی برای بررسی پایش و پیش بینی ریسک خشکسالی هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. برای پایش وضعیت ریسک خشکسالی در دوره پایه این منطقه از داده‌های مشاهداتی و برای بررسی ریسک خشکسالی در دوره‌های آتی، از داده‌های ریزمقیاس شده اقلیمی حاصل از پروژه CORDEX^۱ شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه آبریز افین، واقع در بین عرض‌های ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی تا ۳۳ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی تا ۵۳ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی واقع شده است. وسعت این حوضه ۶۵۵ کیلومتر مربع می‌باشد. این زیرحوضه در حوضه اسفدن واقع شده است. اسفدن از سمت شمال شرقی با منطقه زوزن و پس از آن با نمکزار خواف و از سمت شمال غربی به قائن، از سمت جنوب شرقی به شاه‌رخت و از سمت جنوب غربی به سده و پس از آن بیرجند در ارتباط است. متوسط بارندگی در منطقه حدود ۱۵۶/۴ میلی‌متر و متوسط دمای منطقه، ۱۴/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. موقعیت جغرافیایی زیرحوضه افین در شکل ۱ نشان داده شده است. اقلیم این زیرحوضه براساس اقلیم بندی دوماستن خشک و براساس اقلیم بندی آمبرژه خشک سرد می‌باشد. وجود این اقلیم (خشک و سرد) زیرحوضه را مناسب برای کشت زرشک کرده است. اقتصاد روستایی زیر حوضه افین از سالیان دور بر مبنای کشاورزی و محصول شاخص زرشک بوده است. بیشترین زرشک تولیدی کشور در اینجا به ثمر می‌رسد.

داده‌ها

به منظور ارزیابی ریسک خشکسالی هواشناسی در دوره پایه و پیش‌بینی آن برای زمان‌های آتی و با توجه به اینکه شاخص‌های خشکسالی به کار رفته در این مطالعه، سه شاخص خشکسالی، بارش استاندارد شده (SPI^2)، شاخص خشکسالی بارش-تبخیر تعرق استاندارد شده ($SPEI^3$) و شاخص شناسایی خشکسالی مؤثر ($eRDI^4$) می‌باشد، از این رو از داده‌های متوسط دمای حداکثر، متوسط دمای حداقل، متوسط دما در ارتفاع ۲ متری سطح زمین و بارش استفاده شد. داده‌های لازم برای دوره پایه از ایستگاه‌های باران‌سنجی و

5- Mann-Whitney Test

6- Mannkendall Test

7- Run Test

8- Grubbs-Back Test

9- Reconnaissance drought index

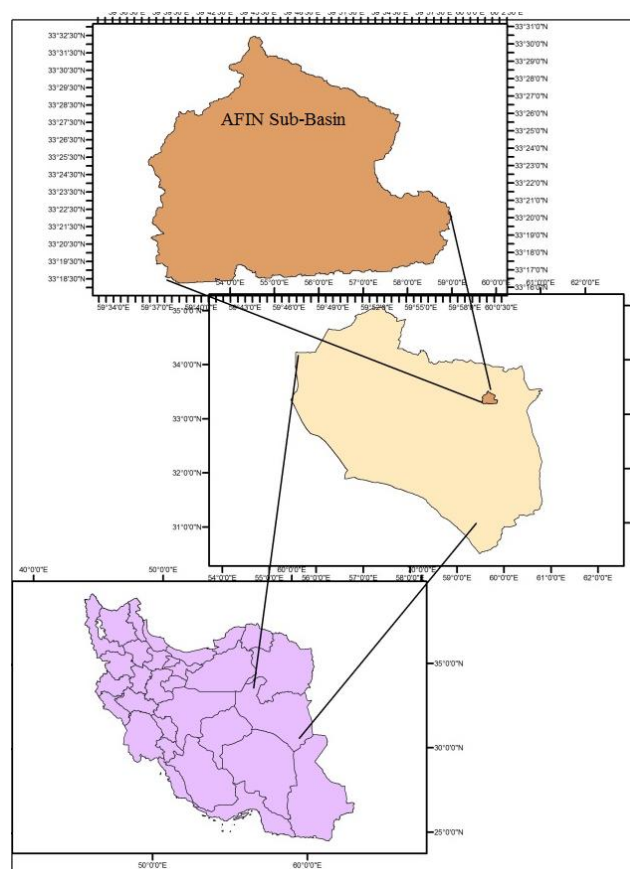
10- United States Bureau of Reclamation

1- COrdinated Regional climate Downscaling EXperiment

2- Standardized Precipitation Index

3- Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index

4- effective reconnaissance drought index



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی زیرحوضه افین
Figure 1- Geographical location Afin sub-basin

آینده در خوش بینانه‌ترین حالت و بدبینانه‌ترین وضعیت ممکن می‌باشد. از آنجایی که نیاز به داده‌های بارش، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری می‌باشد، بنابراین مدل‌هایی باید انتخاب شود که دوره تاریخی آن‌ها و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 آن‌ها یکسان باشد، از این‌رو از میان چندین مدل موجود، تنها سه مدل انتخاب شد (جدول ۲). پس از انتخاب مدل‌ها و تهیه آن‌ها، مناسب بودن بررسی گردید. برای این منظور در ابتدا داده‌های دوره مشاهداتی با داده‌های تاریخی در همان زمان دوره مشاهداتی، مورد بررسی قرار گرفتند و ضرایب همبستگی، ضریب تبیین (R^2) و ضریب نتش - ساتکلیف (NS) محاسبه شد. در ادامه با توجه به نتایج ضرایب قبل، اقدام به تصحیح مقادیر بارش، متوسط دمای حداکثر، متوسط دمای حداقل و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری شد. روش تصحیح استفاده شده، روش تغییر فاکتور^۲ می‌باشد. برای داده بارش، تغییر فاکتور ضربی استفاده شد. پس از تصحیح مقادیر بارش و پارامترهای دمایی، به منظور کاهش خطای عدم

CORDEX تحت برنامه جهانی WCRP^۱ می‌باشد. هدف از پروژه CORDEX مدل‌سازی اقلیم کره زمین بر اساس استاندارد بین‌المللی با هماهنگی برنامه WCRP و بررسی پیامدهای تغییر اقلیم و روش‌های سازگاری با آن در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد. اغلب کشورها از مدل‌های WRF و RegCM4 برای مدل‌سازی اقلیم آینده مناطق ۱۳ گانه مشخص شده توسط CORDEX استفاده می‌کنند. کشورمان از نظر جغرافیایی در مناطق ۶ (جنوب آسیا) و ۸ (آسیای مرکزی) پروژه یاد شده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه مدل‌های مناسب برای منطقه مورد بررسی، در دامنه MENA (خاورمیانه و شمال آفریقا) می‌باشد و نیز براساس اینکه در این تحقیق سعی شده است که ریسک با دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 محاسبه شود، از این‌رو علی‌رغم وجود مدل‌های با قدرت تفکیک ۲۲ کیلومتر، اما بدلیل دارا نبودن شرایط مذکور (مدل ۲۲ کیلومتری برای چهار پارامتر هواشناسی موردنیاز این مطالعه در MENA و یا عدم وجود RCP4.5 یا RCP8.5 از این‌رو، از مدل‌ها با قدرت تفکیک ۴۴ کیلومتر معادل ۰/۴۴ درجه استفاده شد. علت انتخاب این دو سناریو، بررسی ریسک

شاخص آسیب‌پذیری محاسبه شد. با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری و باتوجه به معادله محاسبه ریسک، مقدار ریسک برای دوره پایه (۱۹۸۳-۲۰۱۵) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۱۰۰) محاسبه شد. لازم به ذکر است به منظور مقایسه و آشکارسازی تغییرات ریسک خشکسالی ناشی از تغییرات اقلیمی، دوره پایه یک دوره ۲۷ ساله (۱۹۸۹-۲۰۱۵) انتخاب و دوره آتی به سه دوره ۲۷ ساله آینده نزدیک (۲۰۴۶-۲۰۲۰)، آینده میانی (۲۰۷۳-۲۰۴۷) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۴) تقسیم شد.

برای آشکارسازی تغییرات اقلیمی از آزمون مقایسه میانگین من-ویتی استفاده شد. مقایسه‌ها میان دوره پایه و سه دوره آتی و نیز میان هر یک از دوره‌های آتی با یکدیگر انجام شد.

$$R = H * V \quad (5)$$

براساس معادله فوق (معادله ۵) مقدار ریسک خشکسالی، H ، مخاطره خشکسالی و V برابر با مقدار شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی منطقه می‌باشد.

مقیاس‌های زمانی استفاده شده در این مطالعه فصل‌های پاییز، زمستان، بهار، ۹ ماه منتهی به آبان (فصل برداشت زرشک در منطقه) و ۱۲ ماه منتهی به شهریور (سالانه) می‌باشد. در انتها، به منظور پیش‌بینی ریسک خشکسالی برای سال‌های آتی، جهت محاسبه ساده ریسک و عدم نیاز به محاسبه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI ، $SPEI$ و $eRDI$ از مدل‌های سری زمانی $ARRIMA$ جهت پیش‌بینی ریسک استفاده شد. در واقع، از مدل‌های سری زمانی $ARIMA$ برای پیش‌بینی مقادیر مخاطره استفاده شده و پس از محاسبه مخاطره براساس شاخص خشکسالی مورد نظر، مقدار ثابت آسیب‌پذیری در مقدار مخاطره پیش‌بینی ضرب خواهد شد و مقدار ریسک محاسبه می‌شود.

لازم به ذکر است که تمامی محاسبات با استفاده از نرم‌افزار R ، انجام شده است. برای استفاده از خروجی‌های مدل‌های اقلیمی از نرم‌افزارهای $GrADS$ و $NCdump$ تحت سیستم عامل $Linux$ استفاده شد.

نتایج و بحث

پایش خشکسالی در دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۵)

به‌طور کلی می‌توان گفت که شاخص SPI نسبت به دو شاخص $SPEI$ و $eRDI$ وقایع خشکسالی را کمتر نشان می‌دهد. دلیل این امر شاید به واسطه استفاده از بارش، به‌عنوان تنها متغیر تأثیرگذار در برآورد میزان خشکسالی دانست.

قطعی‌ت ناشی از انتخاب مدل، یک مدل ترکیبی^۱ براساس سه مدل اقلیمی استفاده شده، توسعه داده شد. برای توسعه این مدل از روش بیزین^۲ استفاده شد (معادله ۲). پس از این مرحله، شاخص خشکسالی هواشناسی SPI ، $SPEI$ و $eRDI$ محاسبه شد. پس از اینکه مقدار شاخص خشکسالی محاسبه شد، با استفاده از رابطه ذیل (معادله ۳) مقدار مخاطره خشکسالی برآورد گردید. مخاطره در واقع، حاصلضرب احتمال وقوع یک پدیده خشکسالی در شدت آن می‌باشد.

$$p_e = p \times \frac{125 - 0.2 \times p}{125} \quad p \leq 250mm \quad (1)$$

$$p_e = 0.1 \times p + 125 \quad p > 250 \quad (2)$$

$$W_i = \frac{1}{\Delta x_i} \quad (3)$$

$$H = W \times P(x)class \times I \quad (4)$$

در معادله (۳) که معادله وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی (دما و بارش) در قالب رویکرد بیزین می‌باشد، W_i وزن داده شده به هر یک از مدل‌ها، Δx_i اختلاف میانگین دما (بارش) شبیه‌سازی شده دوره آینده از میانگین دمای (بارش) مشاهداتی دوره پایه در هر ماه (i) و n تعداد مدل‌ها-سناریوها می‌باشد (۸). در معادله (۳) $P(x)class$ نمایانگر احتمال وقوع هر طبقه خشکسالی می‌باشد. برای محاسبه طبقه خشکسالی هر طبقه، باتوجه به جدول طبقه‌بندی خشکسالی و با توجه به اینکه چهار طبقه خشکسالی (خفیف، متوسط، شدید و خیلی شدید) موجود می‌باشد، با استفاده از جدول Z نرمال و با توجه به مقادیر شدت خشکسالی هر طبقه، احتمال وقوع خشکسالی برای هر طبقه مطابق جدول ۳ محاسبه شد. W ، وزن هر طبقه می‌باشد. وزن هر طبقه براساس طبقه شدت خشکسالی‌ها تعیین می‌شود، بدین ترتیب که طبقه خشکسالی خفیف وزن ۱، طبقه خشکسالی متوسط وزن ۲ و طبقه خشکسالی شدید وزن ۳ و طبقه خشکسالی خیلی شدید طبقه ۴ را می‌گیرد. I نیز بیانگر شدت خشکسالی SPI و $SPEI$ برای هر واقعه خشکسالی می‌باشد.

با توجه به رابطه محاسبه ریسک (معادله ۵)، مقدار آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه نیز باید تعیین شود. از این‌رو، اقدام به تهیه و تکمیل پرسش‌نامه شد. پرسش‌نامه متشکل از سه شاخص اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی و تعداد ۳۷ گویه (۱۲ گویه اقتصادی، ۸ گویه اجتماعی و ۱۷ گویه زیست‌محیطی) می‌باشد. با توجه به هدف مطالعه و با استفاده از نرم‌افزار آماری $NC-PASS$ تعداد نمونه مشخص گردید. تعداد ۴۶ نمونه برای این مطالعه مشخص شد. پس از تکمیل پرسش‌نامه به کمک کشاورزان در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از آزمون‌های تحلیل عاملی اکتشافی^۳ و تأییدی^۴ مقدار

1- Ensemble

2- Bayesian Approach

3- Exploratory Factor Analysis

4- Confirmatory Factor Analysis

جدول ۱- طبقات مختلف شاخص خشکسالی SPI، SPEI، eRDI

Table 1- Different classes of drought index SPI, SPEI, eRDI (SPI: McKee et al, 1993, SPEI: Vicente-serrano et al, 2010, eRDI: Tigkas et al, 2017)

Describe the situation	Indicator classes
توصیف حالت	شاخص طبقه
Extra severe wet	More Than 2
ترسالی خیلی شدید	بیشتر از ۲
Severe wet	1.5 - 1.99
ترسالی شدید	
Moderate wet	1 - 1.49
ترسالی متوسط	
Normal	-0.99 - 0.99
نرمال	
Moderate drought	-1.49 - -1
خشکسالی خفیف	
Severe drought	-1.99 - -1.5
خشکسالی شدید	
Extra severe drought	Less Than -2
خشکسالی خیلی شدید	کمتر از -۲

جدول ۲- مشخصات مدل‌های اقلیمی استفاده شده در این مطالعه

Table 2- Specifications of climatic models used in this study

Modeling Center or Modeling Group	Country	Institute ID	model name
مرکز مدل سازی یا گروه مدل سازی	کشور	شناسه مؤسسه	نام مدل
Modèle du Centre National de Recherches Météorologiques - Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique مدل مرکز ملی تحقیقات هواشناسی-مرکز تحقیقات و آموزش پیشرفته اروپا در محاسبات علمی	France فرانسه	CNRM-CERFACS	CNRM-CM5
NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیک NOAA	USA ایالات متحده امریکا	NOAA GFDL	GFDL-ESM2M
EC-EARTH consortium کنسرسیوم EC-EARTH	Ireland ایرلند	EC-EARTH	EC-EARTH

جدول ۳- احتمال وقوع و وزن طبقات خشکسالی برای هر طبقه خشکسالی SPI، SPEI، eRDI

Table 3- Likelihood of occurrence and weight of drought classes for each drought class SPI, SPEI, eRDI

Weight class	The possibility of class	Intensity of classes	Describe the situation	Abbreviation
وزن طبقه	احتمال وقوع طبقه	شدت طبقه	توصیف حالت	مخفف
1	0.3159	-0.99 - 0	Mild drought خشکسالی خفیف	M
2	0.0906	-1.49 - -1	Moderate drought خشکسالی متوسط	Mo
3	0.0445	-1.99 - -1.5	Severe drought خشکسالی شدید	S
4	0.0226	Less than -2 کمتر از -۲	Extra severe drought خشکسالی خیلی شدید	ES

است). اما در ارتباط با شدت خشکسالی‌ها باید گفت که شاخص eRDI شدت‌های شدیدتری از خشکسالی را در منطقه مورد بررسی نشان داده‌اند. در سال‌هایی که هر سه شاخص به‌طور مشترک خشکسالی نشان داده است، دیده می‌شود که شاخص SPI مانند

در مقایسه بین دو شاخص SPEI و eRDI نیز می‌توان بیان داشت که هر دو شاخص تقریباً تعداد وقایع خشکسالی را یکسان نشان داده‌اند (البته شاخص eRDI در مقیاس‌های زمانی بهار و سالانه وقایع خشکسالی را دو مورد بیشتر نسبت به شاخص SPEI نشان داده

باتوجه به سناریوی RCP4.5 مدل ICHEC-EARTH بیشترین ضریب را در مدل ترکیبی داشته است، براساس سناریو RCP8.5 سه دوره آبی متفاوت است، اما به‌صورت کلی می‌توان گفت در آینده نزدیک مدل CNRM، در آینده میانی هر دو مدل CNRM و ICHEC-EARTH به صورت یکسان در مدل تأثیر داشته‌اند و در آینده دور مدل ICHEC-EARTH دارای بیشترین تأثیر می‌باشد. برای هر سه پارامتر دمایی، و براساس هر دو سناریو، مدل GFDL-ESM2M بیشترین وزن را در تهیه مدل ترکیبی داشته است. علت تأثیر بیشتر مدلی نسبت به مدل دیگر را می‌توان در برآورد و پیش‌بینی میزان بارش بارش دانست. چون تمامی مدل‌ها برای تعیین وزن در روش بیزین با دوره بارش در زمان مورد مطالعه مقایسه می‌شوند. بنابراین مدلی که بیشترین وزن را گرفته است، دارای بیشترین میزان نزدیکی با مقادیر واقعی بارش در دوره مشاهداتی این مطالعه داشته است.

پیش‌نگری خشکسالی در دوره (۲۰۲۰-۲۱۰۰)

در بررسی این بخش، همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها بیان شد، دوره ۸۱ ساله آبی به سه دوره ۲۷ ساله آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۶)، آینده میانی (۲۰۴۷-۲۰۷۳) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۴) تقسیم شد. در این بخش نیز با توجه به اینکه داده‌ها براساس دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 تهیه شده است، از این‌رو باید نتایج را براساس هر دو سناریو به‌صورت مجزا بیان نمود. با توجه به سناریو RCP4.5، نتایج حاصل از بررسی مقادیر شدت خشکسالی SPI و SPEI در این دوره نیز نشان از برابری دو شاخص در نمایش تعداد دفعات وقوع پدیده‌های خشکسالی می‌باشد. اما همانند دوره پایه در این دوره نیز، شاخص SPI شدت‌های شدیدتری از خشکسالی را نشان می‌دهد و همانند دوره پایه، شاخص SPI در فصل بهار، پاییز و ۹ ماه منتهی به آبان (نوامبر-دسامبر) و ۱۲ ماه منتهی به شهریور (سپتامبر-اکتبر) شدت خشکسالی‌های شدیدتر از ۲- نیز مشاهده شد.

شاخص eRDI شدت‌های شدید خشکسالی را نسبت به شاخص SPEI نشان داده است. براساس هر سه شاخص خشکسالی، مشاهده می‌شود که زیرحوضه افین در طی ۲۷ سال اخیر، تجربه‌های خشکسالی جدی و زیادی را نداشته است. باتوجه به شاخص eRDI به‌عنوان سختگیرانه‌ترین شاخص در میان سه شاخص مورد بررسی و نیز شاخص SPI به‌عنوان شاخصی با سختگیری کمتر، فصل بهار و فصل زراعی ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک (آبان ماه) تنها مقیاس‌هایی هستند که تجربه خشک دوره‌های خیلی شدیدی را داشته‌اند.

نتایج بررسی مناسب بودن مدل‌های اقلیمی مورد بررسی

و توسعه یک مدل ترکیبی

داده‌های تاریخی در این مطالعه دارای دوره آماری ۵۵ ساله (۱۹۵۱-۲۰۰۵) و داده‌های مشاهداتی دوره ۳۳ ساله (۱۹۸۳-۲۰۱۵) می‌باشد. به منظور بررسی دقت و توانایی مدل‌های اقلیمی انتخاب شده، دوره پایه مشترک ۲۲ ساله (۱۹۸۳-۲۰۰۵) میان داده‌های مشاهداتی و داده‌های تاریخی استفاده شده است. برای بررسی مناسب بودن مدل‌های اقلیمی استفاده شده، از ضرایب همبستگی، ضریب تبیین (R^2) و ضریب نتش-ساتکلیف (NS) استفاده شد (جدول ۴). نتایج این ضرایب حاکی از مناسبت کامل تمام مدل‌های دمایی و برای هر سه پارامتر دمایی (متوسط دمای حداکثر، متوسط دمای حداقل و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین) می‌باشد. اما هر سه مدل بارش استفاده شده در این مطالعه، هیچ یک مناسب بودن آن‌ها تأیید نشد، از این‌رو با استفاده از روش تغییر فاکتور، سعی در تصحیح مقادیر بارش برای منطقه مورد استفاده در هر سه مدل شد. پس از اینکه مقادیر تصحیح شدند، سپس با استفاده از روش بیزین مدل ترکیبی برای بارش و پارامترهای دمایی مشخص گردید. در واقع براساس این متد، ضریب وزن هر یک از مدل‌ها تعیین و با استفاده از میانگین وزنی و براساس هر سه مدل، مقدار نهایی پارامتر مورد نظر محاسبه می‌شود. براساس روش بیزین برای داده‌های بارش،

جدول ۴- مقادیر ضرایب نتش ساتکلیف (NS)، ضریب تبیین و ضریب همبستگی (R^2) میان داده‌های تاریخی مدل‌ها و داده‌های مشاهداتی برای دوره پایه مشترک آماری (۱۹۸۳-۲۰۰۵) پارامتر بارش و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین

Table 4- The values of the Sutcliffe coefficient (NS), the coefficient of variation and correlation coefficient (R^2) between the historical data of the models and observational data for the rainfall parameter and the mean temperature at 2 meters above the ground

Meteorological parameter پارامتر هواشناسی	Climate model مدل اقلیمی	R^2	R	NS
Precipitation بارش	CNRM-CERFAC	0.02	0.04	-0.60
	GFDL-ESM2M	0.09	0.1	-0.60
	ICHEC-EC-EARTH	0.41	0.2	-0.58
Average temperature 2 m above the ground متوسط دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین	CNRM-CERFAC	0.94	0.94	0.76
	GFDL-ESM2M	0.97	0.94	0.79
	ICHEC-EC-EARTH	0.96	0.92	0.71

ریسک خشکسالی در دوره پایه و دوره‌های آتی براساس خروجی‌های CORDEX و مدل‌های سری زمانی

در محاسبه ریسک، دو بخش محاسبه مخاطره و پس از آن محاسبه آسیب‌پذیری انجام شد. در بحث محاسبه مخاطره، مقدار احتمال وقوع هر حادثه خشکسالی در شدت همان خشکسالی ضرب شده و در انتها در وزن طبقه قرار گرفته ضرب و مقدار نهایی مخاطره برای هر سال از هر مقیاس زمانی محاسبه شد محاسبه میزان آسیب‌پذیری با استفاده از نتایج بدست آمده از تکمیل پرسش‌نامه انجام شد. همانطور که قبلاً گفته شد، با استفاده از آنالیز تحلیل عاملی و اکتشافی و در طی مراحل مختلف، میزان آسیب‌پذیری بدست آمد. میزان آسیب‌پذیری به طور کلی عددی بین صفر و یک است که براساس پرسش‌نامه‌های این مطالعه، مقدار 0.53 برای این زیرحوضه تعیین شد. در واقع، این عدد نشان می‌دهد که در حدود نیمی از آسیب‌پذیری زیرحوضه به دلیل عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی این زیرحوضه می‌باشد. این مقدار آسیب‌پذیری در واقع میانگینی از حساسیت سه عامل می‌باشد. به صورت مجزا میزان آسیب‌پذیری برای هریک از عوامل اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی به ترتیب عبارتند از 0.30 ، 0.34 و صفر. براین اساس، عامل زیست محیطی سهم بیشتری در آسیب‌پذیری زیرحوضه افین را دارا می‌باشد. در مقابل عوامل اقتصادی تأثیری در آسیب‌پذیری منطقه ندارد. در مدل‌سازی ریسک خشکسالی باتوجه به اینکه مقدار آسیب‌پذیری بدست آمده از پرسش‌نامه، در طی زمان‌های مختلف ثابت در نظر گرفته شده است، از این‌رو برای مدل‌سازی، در واقع مدل‌سازی مخاطره انجام شده است. پس از پیش‌بینی مخاطره، با ضرب کردن مقدار آسیب‌پذیری که در قسمت قبل توضیح داده شد، مقدار ریسک خشکسالی برای سال‌های آتی محاسبه می‌شود.

پیش‌بینی ریسک برای دوره‌های آتی، براساس دو روش انجام شد. در روش اول که استفاده از خروجی‌های CORDEX می‌باشد، در ابتدا مانند دوره پایه شاخص‌های خشکسالی مورد نظر محاسبه و پس از آن مخاطره خشکسالی و در انتها ریسک محاسبه شد (روش مستقیم). نتایج این بخش نشان داد که براساس شاخص خشکسالی SPI در دوره‌های آتی تعداد وقایع خشکسالی نسبت به دوره پایه نسبتاً بیشتر می‌شود، بدین ترتیب که تعداد وقایع خشکسالی (شامل چهار وضعیت خشکسالی) در دوره آینده دور نسبت به دو دوره آینده میانی و نزدیک بیشتر می‌شود. البته تفاوت دفعات خشکسالی نسبت به دوره پایه زیاد نمی‌باشد و البته همان تعداد تفاوت‌ها به دلیل حادث شدن خشک‌دوره‌های شدید و یا متوسط و در برخی موارد خشکسالی‌های خیلی شدید است. بعنوان مثال تعداد وقایع خشکسالی در فصل زمستان و ۹ ماه منتهی به فصل برداشت زرشک در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. همچنین نتایج وقوع خشکسالی‌ها و شدت‌های آن‌ها در دوره‌های آتی نشان داد که شدت خشکسالی‌ها متأثر از سناریوی انتشار نیز می‌باشد، بدین ترتیب که با افزایش میزان انتشار گازهای

دلیل این افزایش شدت خشکسالی‌ها براساس شاخص SPI استفاده از داده بارش بعنوان تنها متغیر مؤثر در خشکسالی می‌باشد. براساس سناریو RCP8.5 تعداد وقایع خشکسالی‌ها در هر دوره نسبت به سناریو RCP4.5 تفاوت ندارد، اما شدت‌ها نسبت به RCP4.5 بیشتر است. علت این افزایش می‌تواند به دلیل بدبینانه بودن سناریوی انتشار RCP8.5 باشد. در این سناریو بیشترین میزان انتشار وجود دارد که این امر باعث افزایش دمایی می‌شود. این افزایش دمایی در دمای حداقل، دمای حداکثر و نیز در متوسط دما دیده می‌شود. البته قابل توجه است که هرچه مقیاس مورد بررسی بزرگتر شود، شدت خشکسالی بیشتر می‌شود، به‌عنوان مثال در مقیاس‌های فصلی براساس شاخص SPEI خشک دوره خیلی شدید مشاهده نشد، این درحالی است که در مقیاس ۹ ماه منتهی به ماه آبان، خشک دوره‌های خیلی شدید نیز به چشم می‌خورد. بزرگ شدن مقیاس زمانی مورد مطالعه و افزایش شدت خشکسالی‌ها می‌تواند به دلیل افزایش بیشتر دما توأم با کاهش بارش در مقیاس مورد بررسی باشد. براساس شاخص erDI وقایع خشکسالی در دوره آینده نزدیک نسبت به آینده میانی و دور کمتر می‌باشد. براساس RCP8.5 الگوی تغییرات خشکسالی براساس تعداد وقایع و شدت همانند الگو تغییرات خشکسالی در سه دوره آتی براساس RCP4.5 می‌باشد، با این تفاوت که براساس RCP8.5 شدت خشکسالی در طبقه خشکسالی‌های شدید بیشتر شده است. براساس هر دو RCP سال‌های خشکسالی در هر طبقه از شدت، یکسان می‌باشد. در بررسی نتایج مشخص شد که روند تغییرات خشکسالی در دوره‌های آتی همانند روند تغییرات در دوره پایه می‌باشد. این وضعیت یکسان روند مقادیر خشکسالی در دوره‌های آتی و دوره پایه در تمامی مقیاس‌های مورد بررسی و براساس هر دو شاخص خشکسالی مشاهده شد. نکته‌ی دیگری که براساس هر دو شاخص و با توجه به هر دو سناریو RCP دیده می‌شود، افزایش شدت خشکسالی‌ها در دوره‌های آتی است، به‌عبارت دیگر شدت خشکسالی دوره آتی میانی از شدت خشکسالی دوره آینده نزدیک بیشتر و شدت خشکسالی آینده دور از آینده میانی و نزدیک بیشتر می‌باشد. براساس هر دو سناریو، افزایش دما مشاهده می‌شود، در سناریوی انتشار $4/5$ این افزایش کمتر و در سناریوی انتشار ۸۵ این افزایش کمی بیشتر است. بنابراین شدت خشکسالی در سال‌های آتی بیشتر می‌شود. پارامتر بارش نیز براساس هر دو سناریوی انتشار کاهش را نشان می‌دهد. بنابراین براساس هر دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI افزایش شدت خشکسالی‌ها امری بدیهی پیش‌بینی می‌شود. در بررسی نتایج خشکسالی باتوجه به دو شاخص SPI و SPEI و براساس هر دو RCP مشخص شده است که همان‌گونه که در دوره پایه مشاهده شد، در دوره‌های آتی نیز شاخص SPEI شدت خشکسالی را نسبت به شاخص SPI با شدت کمتر نشان می‌دهد، این در حالی است که شاخص SPI در شدت‌های مختلف خشکسالی به خصوص در شدت خیلی شدید همانند erDI می‌باشد.

مشاهده می‌شود که در دوره‌های آتی به ویژه در دوره آینده نزدیک، فراوانی وقایع خشکسالی کمتر خواهد شد، اما شاید بتوان گفت که شدت خشکسالی در سال‌های آتی نسبت به دوره پایه کمی افزایش خواهد داشت.

گلخانه‌ای، شدت و یا حتی تعداد دفعات خشکسالی‌ها افزایش می‌یابد که البته این مطلب در نتایج بدست آمده از شاخص خشکسالی SPEI بهتر نمایان است، چرا که در این شاخص علاوه بر بارش، پارامترهای دمایی نیز دخیل هستند. با افزایش گازهای گلخانه‌ای حبس شدن گرمای (مادون قرمز) منعکس شده از سطح زمین افزایش و در نتیجه باعث بالارفتن دماهای سطحی خواهد شد. براساس شاخص eRDI

جدول ۵- تعداد وقایع خشکسالی (ریسک) در دوره‌های پایه، آینده نزدیک، میانی و دور براساس شاخص‌های SPI، SPEI و eRDI در مقیاس زمانی فصل ۹ ماهه منتهی به فصل کشت

Table 5- The number of drought events (risk) in base, near-term, middle and distant periods based on the SPI, SPEI and eRDI indicators at the time scale of the 9-month season leading to the cultivation season

Drought class طبقه خشکسالی		eRDI index شاخص eRDI				SPEI index شاخص SPEI				SPI index شاخص SPI			
		Exte ra Seve re شدید خیلی	Sever e شدید	Med ium متو سط	Mil d خفیف	Exte ra Seve re شدید خیلی	Sever e شدید	Mediu m متوسط	Mild خفیف	Exte ra Seve re شدید خیلی	Sever e شدید	Mediu m متوسط	Mild خفیف
Basic period دوره پایه		-	2	3	12	-	2	5	10	-	-	3	9
RCP 4.5	Near futur e آینده نزدیک	-	1	1	12	-	1	3	6	-	1	3	7
	Midd le futur e آینده میانی	-	2	2	13	-	2	3	12	-	1	4	12
	Far futur e آینده دور	-	2	2	13	-	2	3	12	-	1	4	11
RCP 8.5	Near futur e آینده نزدیک	-	1	2	11	-	1	3	9	-	1	4	8
	Midd le futur e آینده میانی	-	2	2	9	-	1	2	11	-	1	4	7
	Far futur e آینده دور	-	2	3	13	1	2	3	11	-	2	3	12

جدول ۶- تعداد وقایع خشکسالی (ریسک) در دوره‌های پایه، آینده نزدیک، میانی و دور براساس شاخص‌های SPI، SPEI و eRDI در مقیاس زمانی ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک

Table 6- Number of drought events (risk) in base, near, mid, and distant periods based on SPI, SPEI and eRDI indices in 9-month time intervals leading to barberry harvest season

Drought class طبقه خشکسالی Time period دوره زمانی		eRDI index شاخص eRDI				SPEI index شاخص SPEI				SPI index شاخص SPI			
		Extera Severe خیلی شدید	Severe شدید	Medium متوسط	Mild خفیف	Extera Severe خیلی شدید	Severe شدید	Medium متوسط	Mild خفیف	Extera Severe خیلی شدید	Severe شدید	Medium متوسط	Mild خفیف
Basic period دوره زمانی پایه		1	3	1	11	-	3	2	12	1	2	-	9
RCP 4.5	Near future آینده نزدیک	1	-	3	5	-	1	3	6	1	-	3	6
	Middle future آینده میانی	1	2	2	10	-	3	2	9	1	3	-	9
	Far future آینده دور	1	3	۱	10	-	4	3	8	1	3	-	9
RCP 8.5	Near future آینده نزدیک	1	3	-	9	-	1	3	7	1	3	1	8
	Middle future آینده میانی	1	2	2	7	-	1	3	9	1	3	-	8
	Far future آینده دور	1	1	3	6	1	3	3	8	1	1	2	8

منطقه را دارد. نتایج خشکسالی نشان می‌دهد که در فصل زمستان بیشترین تغییرات تعداد دفعات خشکسالی نسبت به دوره پایه حادث خواهد شد.

مدل‌های پیش‌بینی میزان مخاطره خشکسالی برای مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه، باتوجه به انتخاب بهترین مدل براساس نمودارهای acf و pacf و سعی و خطا در انتخاب مدل‌های احتمالی

نتایج بررسی هر سه شاخص خشکسالی نشان داد که بیشترین تغییرات خشکسالی در مقیاس‌های مورد مطالعه، در فصل زمستان مشاهده می‌شود. با توجه به موقعیت منطقه و بررسی مقادیر بارش در فصل‌های مختلف این منطقه مشخص می‌شود که تاکنون غالب بارش‌ها در فصل زمستان با متوسط ۸۳ میلی‌متر و پس از آن در فصل بهار با مقدار ۴۱/۷ رخ داده است و این نشان از رژیم مدیترانه‌ای در

است، از این رو افزایش دمای حداقل در منطقه در فصل تابستان می‌تواند مؤثر در خشکسالی آن باشد. همچنین افزایش دمای حداقل، افزایش در دمای متوسط را نیز سبب می‌شود. براساس خروجی‌های CORDEX و با توجه به دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 دمای حداقلی علاوه بر دمای حداکثری در منطقه در حال افزایش است.

به‌منظور صحت‌سنجی مدل‌ها، ۱۰ سال آخر دوره پایه برای این منظور استفاده شد. بدین ترتیب که ۳۳ سال نخست (۲۰۰۵-۱۹۸۳) برای انتخاب مدل و ۱۰ سال پس از آن (۲۰۱۵-۲۰۰۶) برای صحت‌سنجی استفاده شد. برای تعیین درستی و مناسب بودن مدل‌ها، از آزمون T.student و نیز ضریب همبستگی R^2 استفاده شده است. با استفاده از آزمون T.student، وجود و یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مخاطره مشاهده شده (۱۰ سال اخیر) با مقادیر مخاطره بدست آمده از روش‌های مدلسازی، تعیین می‌شود. با استفاده از R^2 ، همراستایی میان مقادیر دو دسته مشخص می‌شود. در بررسی مقادیر ریسک بدست آمده از مدل سری زمانی با مقادیر ریسک مشاهده شده در ده سال اخیر، همراستایی قوی بین مدل‌های پیش‌بینی و مقادیر مشاهده شده دیده می‌شود ($R^2 > 0.69$) جز در فصل بهار که $R^2 = 0.55$ دارد). اما نتایج آزمون T.student، اختلاف معنی‌دار بین میانگین مقادیر مخاطره روش مستقیم و مدل‌های ARIMA بدست آمده داشته است. دلیل این امر، می‌تواند کم برآوردی یا بیش‌برآوردی مدل‌های ARIMA باشد. در بحث پیش‌بینی ریسک برای دوره‌های آتی، به منظور بررسی مناسب بودن مدل‌های پیش‌بینی، مقادیر ریسک بدست آمده از مدل‌های سری زمانی با مقادیر ریسک خشکسالی که به صورت مستقیم براساس خروجی‌های CORDEX محاسبه شده است (ریسک مستقیم)، مقایسه شده است. در این بخش نیز به‌منظور مقایسه میان دو ریسک بدست آمده (روش مستقیم و روش مدلسازی) از مقدار p-value آزمون T.student و R^2 استفاده شده است.

براساس این نمودارها، مدل $ARIMA(0,0,0)$ (به استثناء فصل بهار با مدل $ARIMA(1,0,0)$ برای هر سه شاخص) مناسب تشخیص داده شد. این مدل به این معنی می‌باشد که داده‌های ریسک خشکسالی هر سال، به ریسک خشکسالی سال‌های قبل وابسته نمی‌باشد و تنها مقادیر ریسک خشکسالی وابسته به زمان می‌باشند. پیش‌بینی میزان ریسک براساس این مدل از یک فرایند گوسی تبعیت می‌کند.

براساس شاخص خشکسالی SPI با توجه به اینکه تنها متغیر برای محاسبه شاخص، بارش می‌باشد، از این‌رو مدل‌های سری زمانی بدست آمده، ضرایب مختلفی از بارش با عرض مبداهای متفاوت هستند. با توجه به شاخص‌های SPEI و eRDI که چهار پارامتر متوسط دما، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر و بارش برای محاسبه مقدار آن لازم می‌باشد، براساس مدل‌های سری زمانی و انتخاب بهترین مدل، پارامترهای مؤثر در برآورد خشکسالی در هر یک از مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه، مشخص و پیش‌بینی میزان مخاطره و پس از آن، محاسبه ریسک صورت پذیرفت (جدول ۷).

همانطور که از مدل‌ها مشخص است پارامتر بارش برای تمامی مقیاس‌های زمانی شاخص SPI و برای چهار مقیاس زمانی فصل بهار، فصل پاییز، فصل زمستان و سالانه شاخص خشکسالی SPEI، پارامتری مؤثر در برآورد خشکسالی و تأثیرگذار بر وقوع خشکسالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. پارامتر دمای حداقل و دمای متوسط در دو مقیاس زمانی سالانه و ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک تأثیرگذار می‌باشد. با توجه به اینکه در فصول مورد بررسی تنها بارش پارامتر مؤثر است و همچنین به دلیل بارش بسیار کم در فصل تابستان این منطق، و با عنایت به اینکه دو مقیاس زمانی سالانه و ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک فصل تابستان را نیز شامل می‌شود، می‌توان گفت که احتمالاً دمای حداقل منطقه و نیز متوسط دما در این مقیاس‌ها به‌ویژه در فصل تابستان بسیار تأثیرگذار است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه، منطقه‌ای با تابستان‌های گرم

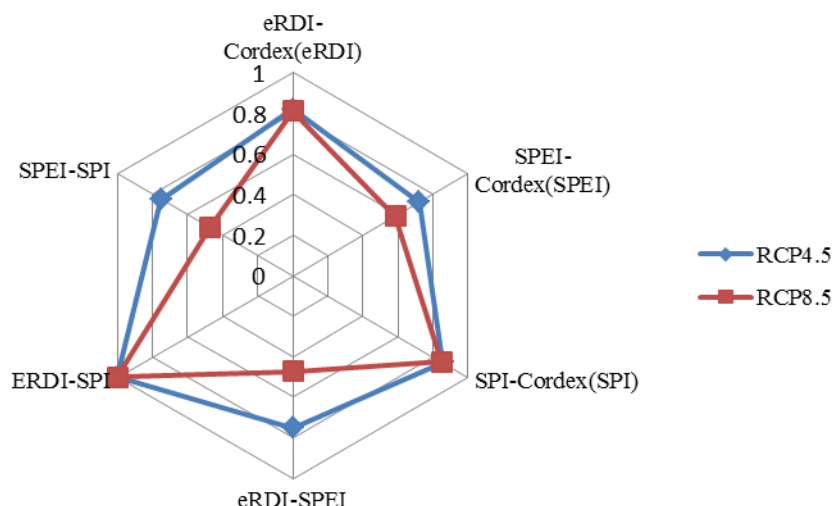
جدول ۷- مدل‌های سری زمانی ARIMA بدست آمده برای هر یک از مقیاس‌های زمانی براساس هر دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI

Table 7- ARIMA time series models for each time scale based on each SPI and SPEI drought indicator

Time step گام زمانی	eRDI drought index شاخص خشکسالی eRDI	SPEI drought index شاخص خشکسالی SPEI	SPI drought index شاخص خشکسالی SPI
Winter زمستان	$haz = -0.002 pri + 0.24$	$haz = -0.002 pri + 0.22$	$haz = -0.002 pri + 0.25$
Spring بهار	$haz = -0.002 pri + 0.2 + 0.55ar_1$	$haz = -0.002 pri + 0.2 + 0.6ar_1$	$haz = -0.002 pri + 0.18 + 0.6ar_1$
Fall پاییز	$haz = -0.004 pri + 0.2$	$haz = -0.004 pri + 0.25$	$haz = -0.004 pri + 0.19$
9 months leading up to the barberry harvest season ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک	$haz = -0.002 pri + 0.25$	$haz = -0.15T_{min} + 0.217T_{max} - 2.03$	$haz = -0.002 pri + 0.26$
Annual سالانه	$haz = -0.002 pri + 0.37$	$haz = -0.117T_{min} + 0.08T_{max} - 0.001pri$	$haz = -0.002 pri + 0.34$

بدست آمده از مدل است (شکل ۲). در ۸۱ سال آینده، براساس شاخص خشکسالی SPI، ریسک خشکسالی پیش‌بینی شده براساس روش مدل‌سازی ARIMA با مقادیر ریسک مستقیم، نتایج تقریباً یکسانی برای هر دو RCP (4.5 و 8.5) نشان داد. بعبارت دیگر براساس این روش مدل‌سازی با روش محاسبه ریسک مستقیم هم‌راستایی بالایی ($R^2 > 0.70$ برای RCP4.5 و $R^2 > 0.72$ برای RCP8.5) مشاهده شد. مقدار P-value از مزمون T-student در این روش، براساس RCP4.5 در مقیاس‌های زمانی پاییز، بهار و سالانه و براساس RCP8.5 در پاییز، بهار، ۹ ماهه و سالانه اختلاف معنی‌داری را در سطح ۹۹٪ نشان ندادند. براساس شاخص خشکسالی SPEI نیز ریسک‌های خشکسالی پیش‌بینی شده بر مبنای روش ARIMA با روش مستقیم در RCP8.5 همبستگی کمتری را نشان داده است ($RCP4.5 > 0.58$ و $RCP8.5 > 0.40$) (جدول ۹).

در روش ریسک خشکسالی مستقیم، با استفاده از پارامترهای هواشناسی (متوسط دما در ارتفاع ۲ متری، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر و بارش) سال‌های آتی، در ابتدا شاخص‌های خشکسالی SPI، SPEI و eRDI محاسبه، پس از آن مخاطره هر یک از خشکسالی‌ها تعیین و در انتها با توجه به ثابت فرض نمودن مقدار آسیب‌پذیری در طی دوره پایه و آینده (برای دوره آینده مقدار آسیب‌پذیری با مقدار مثبت و منفی میزان انحراف معیار آن در نظر گرفته شد بعبارت دیگر آسیب‌پذیری سال‌های آتی برابر است با بازه $(\frac{36}{70})$ تا $(\frac{70}{70})$ ، مقدار ریسک خشکسالی برای هر یک از مقیاس‌های مورد مطالعه محاسبه شد. در بررسی نتایج ریسک حاصل از داده‌ها مشاهداتی و روش مدل‌سازی سری زمانی (دوره صحت‌سنجی مدل‌ها) مشخص گردید که مدل‌های سری زمانی با مقادیر ریسک مشاهده شده، همبستگی‌های قوی (جدول ۸) و معنی‌دار را نشان می‌دهند که این بیانگر وجود هم‌راستایی بسیار بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر



شکل ۲- نمودار مقادیر ضریب همبستگی ریسک خشکسالی SPI، SPEI و eRDI حاصل از مدل سری زمانی و ریسک بدست آمده حاصل از خروجی های CORDEX براساس RCP4.5 و RCP8.5 در مقیاس زمانی ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک

Figure 2- Spi, SPEI, and eRDI correlation coefficients for the time series and the obtained risk from CORDEX outputs based on RCP4.5 and RCP8.5 on the 9-month time interval of the harvesting season of Barberry

جدول ۸- مقادیر ضریب همبستگی و p-value از مزمون T-student بین ریسک خشکسالی‌های SPI و SPEI براساس مقدار بدست آمده از مدل‌های سری زمانی و مقادیر ریسک مشاهده شده ده سال اخیر

Table 8- Correlation coefficient and p-value of T-student between SPI and SPEI drought risk based on the obtained time series models and observed values of ten years

Time sptep گام زمانی Drought index طبقه خشکسالی	Annual سالانه	9 months leading up to the barberry harvest season ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک	Spring بهار	Winter زمستان	Fall پاییز
SPI	0.88 0.34	0.93 0.28	0.55 0.42	0.81 0.55	0.93 0.15
SPEI	0.59 0.001	0.32 0	0.58 0.13	0.83 0	0.92 0
eRDI	0.39 0.30	0.95 0.56	0.60 0.2	0.56 0.8	0.92 0.05

جدول ۹- مقادیر ضریب همبستگی (R^2) و مقدار p-value آزمون T-student بین مقادیر ریسک خشکسالی بدست آمده از مدل‌های پیش‌بینی سری زمانی با ریسک خشکسالی مستقیم براساس دو سناریو انتشار (RCP4.5, RCP8.5)

Table 9- The correlation coefficient (R^2) and the value of p-value of the T-student test between the drought risk values obtained from time series prediction models with direct drought risk based on two scenarios (RCP4.5, RCP8.5)

Drought index طبقه خشکسالی Time step گام زمانی	eRDI		SPEI		SPI	
	p-value (t.student)	R2	p-value (t.student)	R2	p-value (t.student)	R2
Fall پاییز	(0) 0	0.78 (0.64)	(0) 0	0.75 (0.74)	(0) 0	0.92 (0.94)
Winter زمستان	(0.55) 0.58	0.74 (0.74)	(0) 0	0.56 (0.73)	(0.32) 0.32	0.85 (0.86)
Spring بهار	(0) 0	0.75 (0.76)	(0) 0	0.49 (0.78)	(0) 0	0.79 (0.8)
9 months leading up to the barberry harvest season ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک	(0.12) 0.51	0.82 (0.81)	(0) 0	0.75 (0.75)	(0.05) 0.42	0.89 (0.87)
Annual سالانه	(0.2) 0.06	0.48 (0.38)	(0) 0.001	0.72 (0.74)	(0) 0.003	0.70 (0.72)

دما و کاهش بارش در دوره‌های آتی، می‌تواند تایید کننده وجود تغییر اقلیم باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به بررسی وضعیت ریسک خشکسالی هواشناسی در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۹) و در دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۲۰) پرداخته شد. برای محاسبه ریسک خشکسالی، در ابتدا نیاز به تعیین خشکسالی می‌باشد که برای این منظور از شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI استفاده شد. بررسی نتایج این تحقیق نشان داد که: شاخص خشکسالی SPI و eRDI در مقایسه با شاخص خشکسالی SPEI شدت خشکسالی‌ها را بیشتر نشان می‌دهد. این موضوع نه تنها در دوره پایه بلکه در دوره‌های آتی براساس هر دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 نیز قابل مشاهده است (مقایسه بین دو شاخص SPI و SPEI) (۱۷). در بررسی خشکسالی‌های دوره‌های آتی (۳ دوره ۲۷ ساله آینده) در دوره‌های آتی براساس RCP8.5 تعداد وقایع خشکسالی‌ها در هر دوره نسبت به RCP4.5 تفاوت ندارد، اما شدت خشکسالی‌ها نسبت به RCP4.5 بیشتر خواهد شد. علت این افزایش می‌تواند به دلیل بدبینانه بودن سناریوی RCP8.5 باشد. در این سناریو بیشترین میزان انتشار وجود دارد که این امر باعث افزایش دمایی می‌شود. این افزایش دمایی در دمای حداقل، دمای حداکثر و نیز در متوسط دما دیده می‌شود. در بحث آسیب‌پذیری مقدار آسیب‌پذیری ۵۳٪ بدست آمده بیانگر تأثیر عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در میزان آسیب‌پذیری هر واقعه خشکسالی است. به عبارت دیگر به طور متوسط نیمی از آسیب‌پذیری خشکسالی زیرحوضه افین تحت تأثیر این سه عامل می‌باشد و نیم دیگر می‌تواند به دلیل کاربری اراضی و بافت خاک نیز باشد. در پیش‌بینی ریسک

در جدول ۸ مقدار بالایی هر مقیاس زمانی، مقدار ضریب همبستگی و مقدار پایین مقدار p-value از مون T-student می‌باشد. در جدول فوق اعداد داخل پرانتز مربوط به RCP8.5 و بیرون از پرانتز مرتبط با RCP4.5 می‌باشد.

به‌طور کلی می‌توان گفت هر سه شاخص خشکسالی، با مدل سری زمانی ARIMA (0,0,0) توانسته‌اند به‌خوبی مقادیر ریسک خشکسالی را پیش‌بینی کند (با توجه به مقادیر ضریب همبستگی در دوره صحت‌سنجی) تنها کمی اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهده شده و نتایج بدست آمده از مدل‌ها وجود دارد که به دلیل کالیبره نبودن مدل‌ها می‌باشد (جدول ۸). در بحث پیش‌بینی ریسک در آینده بر اساس روش مستقیم و روش مدل‌سازی، مشاهده می‌شود که مدل‌ها توانسته‌اند به خوبی، ریسک را برای ۸۱ سال آینده پیش‌بینی کنند. شاخص خشکسالی SPEI بهتر توانسته است مدل‌سازی برای آینده داشته باشد (براساس مقادیر ضریب همبستگی و p-value آزمون t-student در دوره صحت‌سنجی و در ۸۱ سال آینده).

در بحث آشکارسازی وجود تغییر اقلیم و تأثیر آن بر مخاطرات خشکسالی‌های هواشناسی، که با استفاده از آزمون مقایسه میانگین من-ویتنی انجام شد، مشخص گردید که در تمامی دوره‌ها (آینده نزدیک، میانی و دور) و در مقایسه با دوره پایه و همچنین با توجه به دو سناریو انتشار مورد بررسی در این مطالعه، اختلاف معنی‌دار بین هر یک از دوره‌ها با دوره پایه وجود دارد. همچنین در مقایسه‌ای که بین هر یک از دوره‌های ۲۷ ساله مورد بررسی با دوره ۸۱ ساله آتی (دوره کل ۲۰۲۰-۲۱۰۰) انجام شد نیز دیده شد که تمامی دوره‌ها نسبت به دوره کل دارای اختلاف میانگین معنی‌داری می‌باشند. وجود این اختلاف معنی‌دار می‌تواند حاکی از تغییر اقلیم در منطقه باشد که براساس نتایج مدل‌های اقلیمی استفاده شده در این مطالعه، افزایش

ریسک بدست آمده از مدل ARIMA مقیاس زمانی ۹ ماهه منتهی به فصل برداشت زرشک، می‌توان گفت که مدل‌های تصادفی سری زمانی نیز در برآورد میزان پارامترهای دمایی نیز به‌خوبی عمل کرده‌اند. نتایج تحقیقات گودرزی و روزبهانی (۶)، سلطانی گردفرامری و همکاران (۲۵) و جاویدی صباغیان و شریفی (۱۰) همراستایی با نتایج این تحقیق دارد. در بحث آشکارسازی وجود تغییر اقلیم و تأثیر آن بر مخاطرات خشکسالی‌های هواشناسی، که با استفاده از آزمون مقایسه میانگین من- ویتنی انجام شد، اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های دوره پایه و دوره‌های آتی دیده شد، همچنین این اختلاف معنی‌دار بین دوره‌های آتی در مقایسه با یکدیگر نیز دیده شد، که این امر می‌تواند بیانگر تغییر اقلیم در منطقه باشد که براساس نتایج مدل‌های اقلیمی استفاده شده در این مطالعه، افزایش دما و کاهش بارش در دوره‌های آتی، می‌تواند تأیید کننده وجود تغییر اقلیم باشد (۱۶). در انتها لازم به ذکر است برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، پیشنهاد می‌شود که از مدل‌های بیشتر (بیش از سه مدل) گزارش ششم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شود.

برای دوره‌های آتی، مشخص گردید که براساس شاخص SPEI بارش پارامتری مؤثر در مدلسازی ریسک خشکسالی‌های منطقه در مقیاس‌های بهار، پاییز و زمستان است. از میان سه پارامتر دمایی، متوسط دمای حداکثر و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری در پیش‌بینی ریسک خشکسالی در مقیاس زمانی سالانه مؤثر می‌باشد (۱). براساس شاخص eRDI بارش تنها پارامتر تأثیرگذار در پیش‌بینی میزان مخاطره و بدنبال آن ریسک در آینده برای پنج مقیاس زمانی مورد مطالعه در این تحقیق، می‌باشد. نتایج بررسی هر سه شاخص خشکسالی نشان داد که بیشترین تغییرات خشکسالی در مقیاس‌های مورد مطالعه، در فصل زمستان مشاهده می‌شود. نتایج خشکسالی نشان می‌دهد که در فصل زمستان بیشترین تغییرات تعداد دفعات خشکسالی نسبت به دوره پایه حادث خواهد شد. مدل‌های پیش‌بینی ریسک خشکسالی، مدل ARIMA(0,0,0) بدست آمد. مدل‌های سری زمانی با توجه به ماهیت تصادفی بودن آنها بسیار مفید برای پیش‌بینی مقادیر بارش می‌باشد. با توجه به همبستگی قوی و نیز عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر روش محاسبه ریسک مستقیم با

منابع

- 1- Alizade Chopari O., and Najafi S. 2016. Changes in temperature and precipitation in different regions of Iran. *Physics of Earth and Space* 43: 569-584.
- 2- Bachmair S., Svensson C., Prosdociimi I., Hannaford J., and Stahl K. 2017. Developing drought impact functions for drought risk management. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17: 1947-1960.
- 3- Chopra P. Drought risk assessment using remote sensing and GIS: a case study of Gujarat. 2006. ITC.
- 4- Ghaseminezhad S., Soltani S., and Safiyanian A.R. 2013. Drought risk assessment in Isfahan province. *Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Soil Science* 18(68): 225-213.
- 5- Ghaznavi M., Mosaedi A., and Ghabaie Sogh M. 2018. Investigation of the effect of climatic conditions on drought status persistence in six stations Synoptic Selection of the Country. The 7th National Conference on Rainfall Rainfall Systems - Tehran- 1st and 2nd of March, 2018, Soil and Watershed Management Institute - Rainwater Leveling Systems Association.
- 6- Godarzi L., and Rozbahani A. 2016. Evaluation of the Efficiency of Arima & Halt Winters Time Series Models in Monthly Temperature and Precipitation Estimation (Case Study: Lotyan Station). *Irrigation Sciences and Engineering* 40: 137-149.
- 7- Hay L. E., Wilby R.L., and Leavesley G.H. 2000. A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 36: 387-397.
- 8- Hashemi-ana S.K., Khosravi M., and Tavousi T. 2015. Validation of AOGCMs capabilities for simulation length of dry spells under the climate change in Southwestern area of Iran. *Open J Air Pollut* 4: 76-85
- 9- Hoshyar M., Sobhani B., and Hoseyni S.A. 2017. Uranium Maximum Temperature Variation Vision Using the CanESM2 Model Output. *Geography and Planning Journal* 22: 305-325.
- 10- Javidi Sabaghian R., and Sharifi M.B. 2009. Using random models in river flow simulation and forecasting annual average annual discharge of the river by time series analysis. *Iran Water Resources Management Conference*. number 1.
- 11- Khalil A. 2015. Quantitative Investigation and Modeling of Agricultural Damage Risk of Flood Precipitation in Iran. *Agricultural Meteorology Journal* 3(2): 33-24.
- 12- Khalili A., and Bazrafshan J. 2006. Drought persistence and survival assessment using annual precipitation data at Iranian stations. *Proceedings of the Second Conference on Water Resources Management*. 23 and 24 January . Esfahan.
- 13- Khalil N., Rezaee Pazhand H., Derakhshan H., and Davari K. 2017. Development of a framework for assessing agricultural drought risk on wheat. *Iranian Water Resources Research* 14: 59-70
- 14- Kavakebi GH., Mousavi Baygi M., Mosaedi A., and Jabbari Noghabi M. 2013. Determination of effective factors on drought occurrence by analyzing panel data (Case study: Khorasan Razavi province). *Water and Soil* 6: 1298-1310.
- 15- Lehner F., Coats S., Stocker T.F., Pendergrass A.G., Sanderson B.M., Raible C.C., and Smerdon J.E. 2017.

- Projected drought risk in 1.5 C and 2 C warmer climates. *Geophysical Research Letters* 44: 7419-7428.
- 16- Mckee T B., Doesken N J., and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology.
- 17- Mosaedi A., Kavakebi GH., and Abdollahzade S. 2010. Detection of climate change based on Mann-Whitney statistical test in Mashhad. First National Conference on Meteorology and Water Management.
- 18- Mostafazade R., and Zabihi M. 2015. Analysis and comparison of SPI and SPEI indices in meteorological drought evaluation using R software (Case study: Kurdistan province). *Physics of Earth and Space* 42: 633-643.
- 19- Pandey S., Pandey A., Nathawat M., Kumar M., and Mahanti N. 2012. Drought hazard assessment using geoinformatics over parts of Chotanagpur plateau region, Jharkhand, India. *Natural Hazards* 63: 279-303.
- 20- PEI W., FU Q., LIU D., LI T.-X., CHENG K., and CUI S. 2017. Spatiotemporal analysis of the agricultural drought risk in Heilongjiang Province, China. *Theoretical and Applied Climatology* 1-14.
- 21- Pittock A.B. 2003. Climate change: an Australian guide to the science and potential impacts.
- 22- Portahermi M., Roknabadieftekhari A., and Kazemi N. 2013. The Role of Drought Risk Management Approach in Reducing Economic-Social Vulnerability of Rural Farmers (From the Perspectives of Officials and Experts) Case Study: Sulduz Village, West Azarbaijan. *Rural Research Quarterly*, 1.
- 23- Prathumchai K., Honda K., and Nualchawee K. 2001. Drought risk evaluation using remote sensing and GIS: a case study in Lop Buri Province. 22nd Asian conference on remote sensing. 9.
- 24- Sabziparvar A.A., Saghaie S., and Nozari H. 2012. Comparison of the Hargreaves-Somoni Reference Flow Evaporation and the FAO Governorate 56 on the Scale of the Karkheh Basin.
- 25- Shahid S., and Behrawan H. 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Natural Hazards* 46: 391-413.
- 26- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., and Miller H.L. 2007. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2007. Cambridge University Press, Cambridge.
- 27- Soltani Gerd faramarzi S., Saberi A., and Gheysori M. 2016. Determine the best time series model for predicting annual precipitation of selected stations in West Azarbaijan province. *Journal of Applied Geosciences Research*.
- 28- Tigkas D., Vangelis H., and Tsakiris G. 2017. An Enhanced Effective Reconnaissance Drought Index for the Characterisation of Agricultural Drought. *Environmental Processes*. 4(1): 137-148.
- 29- Tsakiris G. 2007. Practical application of risk and hazard concepts in proactive planning. *European Water* 19: 47-56.
- 30- Vicent-serrano S.M., Begueria S., and Lopez-moreno J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23: 1696-1718.
- 31- Wentz F.J., Ricciardulli L., Hilburn K., and Mears C. 2007. How much more rain will global warming bring? *Science* 317: 233-235.
- 32- Wilhite D. 1992. Drought management and climate change. Contractors' report prepared for the Office of Technology Assessment, Washington, DC.
- 33- Wilhite D.A., Hayes M.J., Knutson C., and Smith K.H. 2000. Planning for Drought: Moving From Crisis to Risk Management 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 36: 697-710.
- 34- Wu H., and Wilhite D.A. 2004. An operational agricultural drought risk assessment model for Nebraska, USA. *Natural Hazards* 33: 1-21.
- 35- Yuan X.-C., Zhou Y.L., Jin J.L., and Wei Y.-M. 2013. Risk analysis for drought hazard in China: a case study in Huaibei Plain. *Natural Hazards* 67: 879-900.



Development of Weather Meteorological Drought Forecast Model (Case Study: Sub-basin Afin Watershed)

Gh. Kavakebi¹- M. Mousavi Baygi^{2*}- A. Alizade³- A. Mosaedi⁴- M. Jabbari Noghabi⁵

Received: 08-07-2019

Accepted: 11-11-2019

Introduction: Drought is the most complex, but less well-known risk among all natural hazards, which affects more people than any other natural hazard. Meteorological and seasonal hydrological drought is a common phenomenon in subtropical countries and is expected to increase further in the future. Drought is one of the natural and frequent climate phenomena. Drought risk analysis is a combination of drought risk and drought vulnerability analysis. Drought risk assessment can be estimated either by remote sensing or by statistical methods or by a combination of both previous methods. Drought risk assessment shows a more suitable and accurate view of the drought. Drought risk in addition to drought severity is simultaneously includes the probability of occurrence of drought and the impact this phenomenon on the environment and the region. This study has been made to illustrate the visionary of changes in future meteorological drought risk.

Materials and Methods: The study was conducted as a case study for the Afin sub-basin. In this research the average of minimum average of maximum temperature, the average temperature at 2 meters above ground level and rainfall data have been used. The statistical period used for the base period is 33 years (1983-2015). Future data is derived from three models of the cordev project. The upcoming period is divided into three 27-year periods including the near future (2020-2046), the middle term (2047-2073) and the distant future (2074-2100). In order to investigate the drought in future, a combined model of three climatic models using the Bayesian method. Then, the future values of the meteorological parameters were calculated. Drought risk for the upcoming periods was calculated by the direct method and modeling method. Finally, a comparison was made between the two methods in order to determine the appropriateness of the predicted model.

Results and Discussion: In the survey of the intensity of SPI and SPEI drought indices during the base time period for time scales studied, the SPEI and SPI drought indices showed that both, drought events were the same during the studied period, while the SPEI shows more mild and moderate droughts, and the SPI index has shown intense intensity on some scales. In future periods, according to the RCP8.5 scenario, the number of drought events in each period does not differ from the RCP4.5 scenario, but the intensities are higher than RCP4.5. By completing the questionnaire and using exploratory and confirmatory factor analysis methods, the drought vulnerability was determined 53%. ARIMA (0, 0, 0), the appropriate time series model was used to predict the level of risk. In the drought risk prediction section, the results showed that according to the SPI drought index in the upcoming periods, the number of drought events relative to the base period is relatively higher, thus the number of drought events (including four drought conditions) will increase in the far future than the two upcoming middle and nearer periods. According to prediction of models of risk, rainfall parameter for all time scales of SPI index and for four-time scales of spring, autumn, winter and annual drought index SPEI, is an effective parameter in drought estimation and effect on drought occurrence in the study area.

Conclusion: The results of this study indicate an increase in temperature in future periods based on both RCP emission scenarios. Increasing the severity of droughts in future is another result of this study. The risk outcomes obtained from the direct risk-measurement method, which was obtained with CORDEX data as well as the method of using the risk-predictive model obtained in this study, showed strong correlation and no significant difference in mean, which indicates the model's appropriateness for risk prediction (hazard and after that risk) for the future. Also, the risk outcomes obtained from the direct risk calculation method, which is based on CORDEX data with the method of using the risk prediction model obtained in this study, indicates an increase in the number of drought events followed by an increase in drought risk events in the region. Also, it was observed that the severity of drought risk according to the RCP8.5 release scenario is higher than RCP4.5. It is suggested that a number of models (more than three models) being used from the sixth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Keywords: ARIMA, CORDEX, Drought risk, Drought vulnerability, Drought Hazard

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Student and Professors, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.

(*- Corresponding Author Email: mousavib@um.ac.ir)

5- Assistant Professor of Mathematical Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

Contents

Using Reservoir Performance Indices for Evaluating the Lar Storage Dam Behavior	806
M. Ahmadian - M. Montaseri	
Determination of Water Productivity and Greenhouse Cucumber Water Requirement in Qazvin	821
R. Najafipour - H. Ramezani Etedali - B. Nazari	
Evaluation of Yield and Yield Components of Sunflower under Soil Water Potential	832
T. Raeisinejad - N. Yazdanpanah	
Modeling Lead and Cadmium Sorption onto Sepiolite Using Response Surface Methodology	844
M. Piri- E. Sepehr - A. Samadi- Kh. Farhadi- M. Alizadeh	
Estimation of Soil Erosion by RUSLE and Remote Sensing Data of Gawshan Dam Basin	856
M.A. Mahmoodi - P. Naghshbandi	
The Effects of Simultaneous Drought and Salinity Stresses on Growth, Water Uptake and Leaf Water Potential of Almond in Semi-Arid Condition	871
A. Onnabi Milani - M. Zarrinbal	
The Effect of Humic Acid on the Availability of Phosphorus Fertilizer and some Physiological Traits of Rapeseed (Canola)	884
A. Jahandideh - M. Barani Motlagh- E. Dordipur- R. Ghorbani Nasrabadi	
The Effect of Sub-irrigation on Rice Yield with Refined Municipal Wastewater	896
L. Ghorbaniminaei - M. Zakerinia - A. Rezaeiasl - H.R. Mirkarimi	
Effects of Chickpea Inoculation with Rhizobium (<i>Mesorhizobium caesar</i>) and Mycorrhizae (<i>Glomus mosseae</i>) on Soil Structural Stability and Aggregates Size Distribution under both Greenhouse and Field Conditions	911
L. Heydari - H. Bayat - J. Hamzei - T. Ghytasi Rangbar- S. Bahramian Ragheb- F. Madine Khorrami	
Effect of Wildfire on some Chemical Properties of Forest Soil Near Base Trunk and Crown Border of Persian Oak (<i>Quercus brantii</i> Lindl.)	922
E. Yazdani - V. Hosseini- K. Mohammadi Samani	
Evaluating the Ability of Grapevine Cultivation in Iran Based on Climatic Conditions	942
T. Shojaee - Gh.A. Fallah Ghalhari - A. Kashki	
Development of Weather Meteorological Drought Forecast Model (Case Study: Sub-basin Afin Watershed)	958
Gh. Kavakebi - M. Mousavi Baygi- A. Alizade- A. Mosaedi- M. Jabbari Noghabi	

WATER AND SOIL

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 33

No. 6

2020

Published by: Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Manager in Charge: Valizadeh, R. (Ruminant Nutrition) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editor in Chief: Fotovat, A. (Soil Science) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

Alizadeh, A.	Irrigation and Drainage	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Fotovat, A.	Soil Science	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Ghadiri, H.	Soil Science	Prof. Griffith University
Kamali, Gh.	Agricultural Meteorology	Assoc. Prof., Islamic Azad University, Tehran
Khormali, F.	Soil Science	Prof., Agricultural Sciences & Natural Resources University of Gorgan
Lakzian, A.	Soil Science	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Liaghat, A.	Irrigation and Drainage	Prof., University of Tehran
Mosaedi, A.	Irrigation and Civil Eng.	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mousavi Baygi, M	Agricultural Meteorology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Oustan, Sh.	Soil Science	Prof., Tabrzi University
Taghvaeian, S.	Irrigation	Assoc. Prof., Oklahoma University

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad, Press.

Address: Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O. Box: 91775- 1163

Fax: +98 511 8787430

E-Mail: jsa3@um.ac.ir

Web Site: <http://jm.um.ac.ir>

Journal of Water and Soil is published bimonthly (six issues per year).