

- مقایسه راندمان و شاخص بهره‌وری آبیاری پالسی با فشارهای فقلی در خاک شنی تحت کشت هندوانه ۲۰۵
مجید عرب فرد - علی شاهنظری - میرحاج قزاییان احمدی
- پهنه‌بندی اجرای سامانه‌های آبیاری در اراضی حوضه رودخانه آجی‌چای ۲۱۷
ناصر آریا آذر - ابوالفضل مجنونی هریس - رضا دلیر حسن نیا
- بررسی تغییرات زمانی و مکانی توزیع اندازه ذرات رسوب‌های معلق در رودخانه پسیخان استان گیلان ۲۲۹
ملیحه ابراهیمی - حسین اسدی - آرزو شریفی - عیسی ابراهیمی
- مقایسه روش‌های آبیاری سطحی، قطره‌ای و واترپاکس در استقرار نهال زالزالک برای کنترل پدیده بیابان‌زایی ۲۴۵
حبیب عابدی باباحیدری - روح الله فتاحی - داود نامدار خجسته
- بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب در ساختگاه سد بازفت ۲۵۹
احمد رستگاریا - مهدی کرمی - محمد غفوری
- اثر مدیریت‌های مختلف زراعی بر برخی شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک ۲۷۵
ارسلان صادق‌ان - غلام عباس صیاد - احمد فرخیان فیروزی - مجتبی نوروزی مصیر
- مقایسه روش‌های ارزیابی پایداری خاکدانه به‌عنوان یکی از شاخص‌های فیزیکی خاک ۲۸۹
سعید سعادت - لیلا اسمعیل نژاد - حامد رضایی - رسول میرخانی - جواد سیدمحمدی
- کاربرد تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی تغییرات ویژگی‌های خاک ناشی از آبیاری با پساب در اراضی
حاشیه رودخانه کشف‌رود ۳۰۵
سامان حاجی نمکی - حجت امامی - امیر فتوت
- ارزیابی توابع کاهش جذب آب کاهو برگری (Red Salad Bowl) تحت تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای ۳۰۵
الهه ذرتی‌پور - امیر سلطانی محمدی - ناصر عالم‌زاده‌انصاری
- مطالعه ژنتیکی ارتباط خاک و زمین‌نما در منطقه خشک فارس، استان کرمان ۳۳۳
زهره مقبلی - حمیدرضا اولیایی - صالح سنجر - ابراهیم ادهمی
- مطالعه علل عدم پایداری بخش‌های جدید مرمت شده ارگ تاریخی کنارصندل جیرفت در مقایسه با
بخش‌های پایدار قدیمی (بخشی از حوزه فرهنگی هلیل‌رود) ۳۴۹
صالح سنجر - محمد هادی فرپور
- ترمیم داده‌های مفقود هواشناسی با روش‌های تکاملی و یادگیری ماشین
مطالعه موردی: بارش و دمای ماهانه درازمدت مشهد ۳۶۱
محبوبه فرزندی - سید حسین ثنایی نژاد - بیژن قهرمان - مجید سرمد

Contents

- Effect of Pulsed Irrigation on Crop Water Productivity and Efficiency of Water
melon in Sandy Soil 216
M. Arab fard - A. Shahnazari- M.K. Ziatabar Ahmadi
- Zoning Application of Irrigation Systems in Ajichay River Basin Lands 228
N. Arya Azar - A. Majnooni Heris - R. Delirhasannia
- The Study of Temporal and Spatial Changes of Suspended Sediment Particles' Size
Distribution in Pasikhan River in Guilan Province 243
M. Ebrahimi - H. Asadi- A. Sharifi- E. Ebrahimi
- Comparison of Surface, Drip and Water Box Irrigation Methods on the Establishment of
Hawthorn Seedling for Controlling Desertification Phenomenon 258
H. Abedi Babaheydari - R. Fatahi- D. Namdar Khojasteh
- Investigation of Influence Factors on Water Resources Quality in Bazoft Dam Site 274
A. Rastegarnia - M. Karami - M. Ghafoori
- Effect of Different Agronomic Management on Some Physical Indicators of Soil Quality 288
A. Sadeghian - Gh.A. Sayyad-A. Farrokhan Firouzi- M. Norouzi Masir
- Comparing Aggregate Stability Tests as One of the Soil Physical Quality Indicators 303
S. Saadat - L. Esmaelnejad- H. Rezaei- R. Mirkhani- J. Seyedmohammadi
- Application of Principle Component Analysis to Identify the Changes of Soil Properties
due to Wastewater Irrigation in Margin Lands of Kashafrood River 316
S. Hajinamaki - H. Emami- A. Fotovat
- Evaluation of Water Uptake Reduction Functions of Lettuce (Red Salad Bowl) under
Drought Stress Conditions 331
E. Zoratipour - A. Soltani Mohammadi - N. Alemzadeh Ansari
- Genetic Study of Soil-Landscape Relationship in Arid Region of Faryab, Kerman Province 347
Z. Moghbeli - H.R. Owliaie-S. Sanjari- E. Adhami
- Un-stability Reasons of Recent Restored Sections of Konar Sandal Historical Citadel
Compared to Stable Ancient Parts (Halilrud Cultural Area) 360
S. Sanjari - M.H. Farpoor
- Imputation of Missing Meteorological Data with Evolutionary and Machine Learning
Methods Case Study: Long-term Monthly Precipitation and Temperature of Mashhad 377
M. Farzandi - H. Sanaeinejad - B. Ghahraman - M. Sarmad

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 2 خرداد - تیر 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)

آستارائی، علیرضا

استاد - علوم خاک (دانشگاه تبریز)

اوستان، شاهین

استادیار - آبیاری (دانشگاه اوکلاهوا، امریکا)

تقوئیان، صالح

دانشیار - هواشناسی کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

ثنائی نژاد، سید حسین

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

خرمالی، فرهاد

استاد - آبیاری و زهکشی (دانشگاه فردوسی مشهد)

علیزاده، امین

استاد - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

فتوت، امیر

استاد - خاکشناسی (دانشگاه گریفیت، استرالیا)

قدیری، حسین

دانشیار - آبیاری و زهکشی (دانشگاه شیراز)

قائمی، علی اصغر

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

کمالی، غلامعلی

استاد - آبیاری و زهکشی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان)

کیانی، علیرضا

استاد - علوم خاک (دانشگاه فردوسی مشهد)

لکزیان، امیر

استاد - آبیاری و مهندسی عمران (دانشگاه فردوسی مشهد)

مساعدی، ابوالفضل

استاد - هواشناسی کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

موسوی بایگی، محمد

استاد - آبیاری و زهکشی (پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری)

مهدیان، محمد حسین

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

- 205 مقایسه راندمان و شاخص بهره‌وری آبیاری پالسی با فشارهای ثقلی در خاک شنی تحت کشت هندوانه
مجید عرب فرد - علی شاهنظری - میرخالق ضیاءتبار احمدی
- 217 پهنه‌بندی اجرای سامانه‌های آبیاری در اراضی حوضه رودخانه آجی‌چای
ناصر آریا آذر - ابوالفضل مجنونی هریس - رضا دلیر حسن نیا
- 229 بررسی تغییرات زمانی و مکانی توزیع اندازه ذرات رسوب‌های معلق در رودخانه پسیخان استان گیلان
ملیحه ابراهیمی - حسین اسدی - آرزو شریفی - عیسی ابراهیمی
- 245 مقایسه روش‌های آبیاری سطحی، قطره‌ای و واترباکس در استقرار نهال زالزالک برای کنترل پدیده بیابان‌زایی
حبیب عابدی باباحیدری - روح الله فتاحی - داود نامدار خجسته
- 259 بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب در ساختگاه سد بازفت
احمد رستگاریا - مهدی کرمی - محمد غفوری
- 275 اثر مدیریت‌های مختلف زراعی بر برخی شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک
ارسلان صادقیان - غلام عباس صیاد - احمد فرخیان فیروزی - مجتبی نوروزی مصیر
- 289 مقایسه روش‌های ارزیابی پایداری خاکدانه به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک
سعید سعادت - لیلا اسمعیل نژاد - حامد رضایی - رسول میرخانی - جواد سیدمحمدی
- 305 کاربرد تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی تغییرات ویژگی‌های خاک ناشی از آبیاری با پساب در اراضی حاشیه رودخانه
کشف‌رود
سامان حاجی نمکی - حجت امامی - امیر فتوت
- 317 ارزیابی توابع کاهش جذب آب کاهو برگ‌ی (Red Salad Bowl) تحت تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای
الهه ذرتی‌پور - امیر سلطانی‌محمدی - ناصر عالم‌زاده‌انصاری
- 333 مطالعه ژنتیکی ارتباط خاک و زمین‌نما در منطقه خشک فاریاب، استان کرمان
زهره مقبلی - حمیدرضا اولیایی - صالح سنجرى - ابراهیم ادهمی
- 349 مطالعه علل عدم پایداری بخش‌های جدید مرمت شده ارگ تاریخی کنارصندل جیرفت در مقایسه با بخش‌های پایدار قدیمی
(بخشی از حوزه فرهنگی هلیل‌رود)
صالح سنجرى - محمد هادی فرپور
- 361 ترمیم داده‌های مفقود هواشناسی با روش‌های تکاملی و یادگیری ماشین
مطالعه موردی: بارش و دمای ماهانه درازمدت مشهد
محبوبه فرزندی - سید حسین ثنائی نژاد - بیژن قهرمان - مجید سرمد



مقایسه راندمان و شاخص بهره‌وری آبیاری پالسی با فشارهای ثقلی در خاک شنی تحت کشت هندوانه

مجید عرب فرد^{۱*} - علی شاهنظری^۲ - میرخالق ضیاءتبار احمدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶

چکیده

این تحقیق با استفاده از فشارهای ثقلی معادل ۰/۵، ۱/۵ و ۳ متر و با استفاده از دور آبیاری پالسی در بهار سال ۱۳۹۵ در مزرعه‌ای با خاک شنی در شهرستان کاشان انجام شد. هندوانه منطقه سبک طبق عرف محلی کاشته شد. تیمارهای مورد مطالعه سه روش آبیاری کوزه‌ای، قطره‌ای ثقلی و قطره‌ای نواری در مقایسه با آبیاری شیاری (تیمار شاهد) بودند و شاخص بهره‌وری آب در این تیمارها مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از طرح آماری فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی برای آنالیز داده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد با مقدار آب مصرفی معادل ۶۷۹۰ متر مکعب در هکتار در هر کدام از روش‌های آبیاری موضعی ثقلی و ۱۳۴۵۲ متر مکعب در هکتار در تیمار شاهد، میزان عملکرد هندوانه در روش‌های آبیاری کوزه‌ای، قطره‌ای ثقلی، قطره‌ای نواری و آبیاری شیاری به ترتیب معادل ۱۲۲۴، ۱۱۴۵۷، ۷۵۲۷ و ۱۱۴۲۶ کیلوگرم در هکتار و شاخص بهره‌وری آب به ترتیب معادل ۰/۲، ۱/۷، ۱/۱ و ۰/۸ کیلوگرم در هکتار به ازای هر متر مکعب آب مصرفی به دست آمد. همچنین در مقایسه با دور آبیاری یک‌روزه، با کاربرد آبیاری پالسی در آبیاری موضعی، راندمان آبیاری به طور متوسط از ۸۷ درصد به ۹۸ درصد افزایش یافت. به طور کلی با کاربرد آبیاری موضعی در مقایسه با آبیاری شیاری در خاک شنی می‌توان ضمن افزایش بهره‌وری آب، از این خاک برای کشت گیاهان مثمر همچون هندوانه با عملکرد بالا استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری موضعی ثقلی، خاک سبک، شاخص بهره‌وری آب، عملکرد هندوانه

مقدمه

در خاک‌های شنی سواحل دریا و یا ماسه‌های دشت کویر (موسوم به ماسه بادی) علاوه بر کمبود عناصر غذایی لازم برای رشد گیاه، به دلیل مشخصات فیزیکی خاص در نگهداری رطوبت و پائین بودن ظرفیت نگهداری آب، استفاده از روش‌های آبیاری معمول و شناخته شده (به‌ویژه آبیاری سطحی و یا حتی آبیاری تحت فشار) با محدودیت همراه است. لذا کاربرد روش‌هایی که بتواند با ویژگی‌های خاص خود همچون تأخیر در نفوذ آب و دبی کم، شرایط آبیاری مطلوب این قبیل خاک‌ها را فراهم کند، می‌تواند منجر به بهبود شرایط فیزیکی و مدیریت بهینه این خاک‌ها گردد.

آبیاری قطره‌ای ثقلی (Gravity Drip Irrigation) روش جدیدی است که در آن از به‌کارگیری انرژی اضافی (ایستگاه پمپاژ)

خودداری می‌گردد. مقدار کل انرژی مورد نیاز سیستم برای مزارع با حداکثر مساحت یکصد هکتار بین ۱ تا ۳ متر ارتفاع آب می‌باشد. مبانی اصلی عملکرد این سیستم بر کاهش فشار مورد نیاز قطره‌چکان‌ها قرار دارد. در سیستم آبیاری قطره‌ای ثقلی، فشار کارکرد قطره‌چکان در حدود ۰/۵ متر می‌باشد و بدین لحاظ کل شبکه با فشار کم قابل طراحی است (۱). از دیگر مزایای این سیستم نصب ساده و آسان آن با توجه به فشار بسیار پایین مورد نیاز و خنثی‌سازی اثر دما در میزان تخلیه قطره‌چکان‌ها می‌باشد. در این سیستم، با استفاده از قطر زیاد قطره‌چکان‌های میکروتیوب، اثر گرما بر افزایش قطر و دبی کاهش می‌یابد (۳). با حذف پمپاژ در آبیاری قطره‌ای ثقلی، هزینه‌ی اولیه‌ی تهیه‌ی پمپ، هزینه‌های جاری تأمین انرژی پمپاژ و نیز هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و نگهداری سیستم حذف می‌گردد و این کاهش هزینه تأثیر زیادی در انتخاب روش آبیاری به‌وجود می‌آورد (۸). در تحقیقی با بررسی خصوصیات هیدرولیکی تعدادی از قطره‌چکان‌ها در محدوده فشارهای ثقلی، مشخص شد که قطره‌چکان‌های میکروفلاپر (microflapper) و اکثر قطره‌چکان‌های ثقلی (Gravity Drip Irrigation) با نام تجاری GDI حتی در حداقل فشار آزمایش (۰/۵ متر آب) نیز خروجی آب

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق دکتری آبیاری و زهکشی، دانشیار و استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*)- نویسنده مسئول: Email: majidarabfard@yahoo.com

آن بر جبهه رطوبتی و تلفات ناشی از نفوذ عمقی از قطره‌چکان‌های با دبی ۴ لیتر در ساعت با حجم کاربردی ۱۶ و ۲۴ لیتر به ترتیب برای جریان‌های پالسی و پیوسته استفاده شد. مقایسه ابعاد جریان رطوبتی در جریان پالسی و پیوسته نشان داد که پس از اتمام آبیاری، گسترش عرضی و عمقی جریان رطوبتی در جریان پالسی نسبت به پیوسته بیشتر است. بر اساس نتایج این تحقیق از جریان پالسی می‌توان به عنوان روشی در مدیریت آبیاری، کاهش نفوذ عمقی و افزایش راندمان آبیاری بهره جست (۹).

یکی از پارامترهای مهم در طراحی هر یک از روش‌های آبیاری، تعیین تواتر و یا دور آبیاری است. در بیانی دیگر منظور از دور آبیاری فاصله‌ی بین دو واقعه‌ی آبیاری است. با توجه به آنکه دور آبیاری به‌طور معمول در روش آبیاری بارانی بین ۷ تا ۱۰ روز، در آبیاری موضعی (قطره‌ای) بین ۲ تا ۷ روز و در آبیاری‌های سطحی نیز حتی دور بیش از ۱۰ روز نیز معمول است مسلماً اگر بتوان در فواصل زمانی کم‌تری آب مورد نیاز گیاه را تأمین کرد، با جلوگیری از تنش‌های گیاهی ناشی از کمبود رطوبت، شرایط برای رشد مطلوب و در نتیجه افزایش عملکرد فراهم خواهد شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در ۴ ماهه اول سال ۱۳۹۵ در مزرعه‌ای با خاک شنی و در قسمتی از اراضی زراعی شرکت جهاد تعاون شهرستان کاشان (مطابق شکل ۱) واقع در عرض جغرافیایی $33^{\circ}59'49''$ شمالی و طول جغرافیایی $51^{\circ}28'12''$ شرقی انجام شده است. در این تحقیق طبق عرف محل از هندوانه محلی منطقه سنبل در شهر آران و بیدگل از توابع شهرستان کاشان به‌عنوان گیاه مورد مطالعه استفاده شد.

با توجه به نتایج خاکشناسی و براساس درصد ذرات تشکیل دهنده، خاک منطقه در گروه خاک‌های لومی شنی (Loamy sand) با ظرفیت نگهداری رطوبت معادل ۹۳ میلی‌متر در متر می‌باشد. طرح آماری فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی، شامل سه تیمار اصلی روش آبیاری موضعی و سه تیمار فرعی فشار آبیاری (مجموعاً ۹ تیمار) با ۳ تکرار به همراه یک تیمار روش آبیاری شیبی به‌عنوان شاهد به‌کار گرفته شد (ولی‌زاده و مقدم، ۱۳۷۵). در هر ردیف کشت ۱۲ بوته با فاصله ۱ متر روی ردیف و ۳ متر بین ردیف، در زمینی به مساحت $1080 (36 \times 30)$ متر مربع کشت گردید.

برای اعمال فشارهای مختلف ستون آب (معادل ۱/۵، ۱/۳ و ۳ متر) در روش‌های آبیاری مورد مطالعه (آبیاری قطره‌ای، قطره‌ای نواری و کوزه‌ای) از پلکان چوبی ۴ متری با قابلیت نصب سه ردیف مخزن آب ثانویه استفاده شد (شکل ۲).

داشت و در مواردی که قطره‌چکان‌های GDI خروجی نداشت این مشکل به‌راحتی قابل رفع بود، درحالی‌که رفع چنین مشکلی در سایر قطره‌چکان‌ها امکان‌پذیر نبود (۷). در پژوهشی دیگری مشخص شد که آبیاری قطره‌ای ثقلی در مقایسه با آبیاری سطحی با کم‌ترین مقدار آب مصرفی بیشترین کارایی مصرف آب را دارا می‌باشد (۱۶).

استفاده از روش آبیاری قطره‌ای نواری در سال‌های اخیر در ایران مورد توجه قرار گرفته و در این رابطه تحقیقاتی انجام شده است که هر کدام اهداف خاصی را دنبال کرده‌اند. مزایای این روش آبیاری عبارتند از: کاهش مصرف آب در واحد سطح ضمن افزایش رطوبت محدوده‌ی ریشه‌ی گیاه، افزایش راندمان مصرف آب، آبیاری در اراضی ناهموار، کاهش خسارت علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها، سهولت توزیع کود، فشار سرویس کم‌تر و کاهش هزینه و انرژی در مراحل تولید (۶). در این روش آبیاری معمولاً استفاده از نوارهایی با ضخامت ۱۷۵ میکرون و فاصله‌ی سوراخ‌های آبده ۲۰ یا ۳۰ سانتی‌متر که آبدهی آن‌ها در طول یک متر در فشار ۰/۶ تا ۰/۷ بار حدود ۴ لیتر در ساعت می‌باشد مناسب است (۲).

روش آبیاری کوزه‌ای نیز یکی از مؤثرترین روش‌ها برای آبیاری در مواجه هستند و یا زمین‌های ناهموار، خاک‌های درشت بافت و سبک با میزان نفوذ آب بالا و آب شور که در روش‌های آبیاری سطحی به‌طور معمول نمی‌تواند استفاده شود، می‌باشد (۱۵).

ویژگی تراوش کم آب از کوزه سبب می‌شود که از آن به‌عنوان وسیله‌ای نام‌برده شود که می‌تواند آب را در طی مدتی مناسب در خود نگه‌داری کند و به آرامی در اختیار گیاه قرار دهد و گیاه نیز از طریق جذب توسط ریشه، احتیاجات خود را برآورده کند. در قدیم این روش آبیاری در استان‌های کرمان، و اطراف شهرهای سبزوار و بندرعباس مورد استفاده بوده است (۴).

در تحقیقی که با هدف ارزیابی توزیع مجدد آب در خاک در آبیاری قطره‌ای برای دو حالت جریان پالسی و پیوسته با استفاده از قطره‌چکان‌هایی با دبی ۲/۴ و ۸ لیتر در ساعت برای سه بافت خاک در یک مدل فیزیکی استفاده شد، مشخص شد که مقدار توزیع مجدد در جهت قائم در خاک رسی نسبت به شنی، برای دبی کمتر در آبیاری پیوسته ۶ درصد و برای آبیاری پالسی ۴ درصد بیشتر می‌باشد. در این تحقیق با کاربرد تکنیک آبیاری پالسی در خاک شنی، ضمن بهبود راندمان کاربرد آب، به دلیل شرایط رطوبتی بهتر در محدوده ریشه شرایط برای رشد بهینه گیاه فراهم خواهد بود (۱۱).

نتایج پژوهش دیگری نشان داد که الگوهای پیشروی جبهه رطوبتی و تلفات آب با نفوذ عمقی زیر منطقه توسعه ریشه تحت تأثیر آبیاری قطره‌ای پالسی برای دو نوع خاک لومی شنی و سیلت لومی و با دو دبی به کار رفته، مؤلفه عمودی جبهه رطوبتی در آبیاری پالسی نسبت به آبیاری پیوسته در زمانی برابر با زمان آبیاری، بزرگتر بود (۵). در تحقیق دیگری به منظور بررسی آبیاری قطره‌ای پالسی و تأثیر



شکل ۱- موقعیت محل اجرای طرح
Figure 1- Location of the project



شکل ۲- سکوی تأمین فشار در تیمارهای آبیاری موضعی
Figure 2- Supply platform for localized irrigation treatments



شکل ۳- نحوه استقرار کپسول‌های رسی در تحقیق
Figure 3- How to install clay capsules in the research

به دلیل اختلاف ارتفاع موجود بین حوضچه ذخیره و مخازن ثانویه، برای انتقال آب از یک دستگاه الکتروپمپ استفاده شد. بر اساس محاسبات اولیه و به منظور مدیریت آبیاری در خاک شنی (نفوذپذیری زیاد) لازم شد که از دور آبیاری پالسی استفاده شود. در این تکنیک آبیاری از دور آبیاری کمتر از دور روزانه استفاده می‌شود (۹) هر چند که اعمال این تکنیک در انواع آبیاری سطحی و یا حتی بسیاری از انواع آبیاری‌های بارانی (همچون کلاسیک ثابت آبپاش متحرک)

در تیمار آبیاری کوزه‌ای برای هر گیاه از یک عدد کپسول رسی (۱۰) به طول ۲۰ سانتی‌متر، قطر داخلی ۱/۵ سانتی‌متر و ضخامت جداره ۰/۵ سانتی‌متر با آرایش نصب روی خط (On line) که به صورت افقی در سطح خاک و بالای بذر نصب شد (شکل ۳) استفاده گردید. برای کاهش تأثیر تابش مستقیم خورشید روی کپسول، پس از تعبیه کپسول روی سطح زمین، سطح کپسول با خاک محل پوشانیده شد.

لایه‌های خاک قبل از آبیاری، S_1 : مقدار آب ذخیره شده در لایه‌های خاک در زمان آبیاری قبلی، DB: عمق آب نفوذ یافته از انتهای لایه مورد نظر، بعد از آبیاری و t : تعداد روزهای بین دو آبیاری می‌باشد. شایان ذکر است قبل از شروع آمار برداری با دستگاه TDR، از آمار و اطلاعات هواشناسی موجود در کتاب نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی مربوط به نیاز آبی هندوانه در شهر کاشان استفاده شده است.

با توجه به بروز نشانه‌های تکامل رشد، در تاریخ ۹۵/۴/۱۸ پس از طی دوره رشد ۱۱۰ روزه، هندوانه‌ها برداشت شدند.

در این پژوهش تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-16 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطوح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثرا بیاری پالسی در راندمان آبیاری موضعی در خاک شنی

در بین روش‌های مورد بررسی با انتخاب روش آبیاری قطره‌ای ثقلی به عنوان روش مینا، نیاز آبی تیمارهای آبیاری موضعی براساس پارامترهای این روش آبیاری محاسبه و در مدیریت سایر روش‌ها به کار برده شد. در روش‌های آبیاری فوق، در پایان دوره‌ی نمونه برداری رطوبت تیمار شاهد، پس از تعیین تبخیر-تعرق گیاهی در آن دوره، به دلیل ثابت بودن حجم آبیاری هر تیمار (استفاده از تشت‌هایی با حجم مفید ۸۰ لیتر)، دور آبیاری به گونه‌ای محاسبه شد که حجم نیاز آبی آن دوره معادل ۸۰ لیتر باشد. بنابراین پس از محاسبه‌ی دور آبیاری، با مدیریت زمان قطع و وصل پمپ به کمک تایمر نصب‌شده در مسیر جریان برق ورودی الکتروپمپ، نیاز آبی گیاه تأمین شد.

امکان‌پذیر نیست، لیکن این تکنیک در آبیاری‌های موضعی قابل استفاده است. یکی از محدودیت‌هایی که در دید اول شاید بتوان در آبیاری‌های موضعی برای این تکنیک متصور شد، درگیر شدن بهره‌بردار (و یا آبیاری) در طی زمان عملیات آبیاری با قطع و وصل جریان پمپاژ است. همان گونه که در این تحقیق نیز عمل شده است با نصب یک دستگاه زمان‌سنج در مسیر جریان برق ورودی به الکتروپمپ با قابلیت کنترل زمان قطع و وصل پمپ با دقت دقیقه، این محدودیت نیز مرتفع شده است. بدین ترتیب پس از آزمایش اولیه در خصوص زمان لازم برای پر شدن تشت‌ها (مخازن ثانویه)، با توجه به دور آبیاری پالسی در هر مرحله‌ی زمانی از تحقیق، این امکان فراهم است که زمان قطع و وصل الکتروپمپ به کمک زمان‌سنج به گونه‌ای تنظیم شود که مدت قطع جریان معادل دور آبیاری و مدت وصل، معادل زمان لازم برای پر شدن تشت‌ها باشد. در روش آبیاری شیاری نیز هفته‌ای دو بار (طبق عرف منطقه) در روزهای دوشنبه و جمعه آبیاری انجام شد.

در تیمار آبیاری قطره‌ای ثقلی برای هر گیاه دو عدد درپیر ثقلی GDI با فاصله ۲۰ سانتی‌متر تخصیص داده شد و در آبیاری قطره‌ای نواری، از نوارهایی با فاصله خروجی ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد.

در تحقیق حاضر داده‌های رطوبت (توسط دستگاه TDR) در روزهای دوشنبه و جمعه هر هفته در طول دوره مورد مطالعه بین ساعات ۱۰ الی ۱۶ در تیمار شاهد قرائت شد. به کمک این داده‌ها، کمبود رطوبت محاسبه و همچنین میزان نیاز آبی گیاه در حد فاصل بین دو آبیاری با استفاده از معادله ۱ به دست آمد (۱۲).

$$ET_0 = (IR - (S_2 - S_1) - DB) \times 1000 / t \quad [1]$$

در این معادله، ET_0 : تبخیر-تعرق واقعی متوسط روزانه، IR: مقدار آب آبیاری (مجموع تغییرات رطوبت در اعماق مختلف خاک در دو مرحله زمانی قبل و بعد آبیاری)، S_2 : مقدار آب ذخیره شده در

جدول ۱- محاسبه راندمان در تیمارهای آبیاری موضعی

Table 1- Efficiency calculation in localized irrigation treatments

تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	شرح پارامتر
Tir	Khordad	Ordibehesht	Farvardin	Parameter description
7.7	6.9	1.2	1.2	حداکثر تبخیر تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز)
				Maximum Daily Evapotranspiration of the Plant (mm/day)
10	13	77	68	حداکثر دور آبیاری (ساعت)
				Maximum irrigation interval (hr)
1.0	1.4	10.0	15.0	دور آبیاری طراحی (ساعت)
				Design irrigation interval (hr)
99.5	98.8	99.5	97.4	راندمان کاربرد آبیاری (درصد)
				Irrigation application efficiency (%)

با توجه به نیاز آبتیابی لازم، دور آبیاری و مدت زمان آبیاری به گونه‌ای تعیین شده که راندمان آبیاری مناسبی بدست آید. بدین ترتیب مطابق خلاصه محاسبات ارائه شده در جدول ۲ راندمان کاربرد آبیاری در تیمار شاهد بین ۸۱/۴ تا ۹۴/۴ درصد بوده است.

در این پژوهش، مدت زمان آبیاری تیمار شاهد در هر دور آبیاری، به گونه‌ای انتخاب (مدیریت) شد که ضمن تأمین عمق آب نفوذ یافته (معادل عمق ناخالص آبیاری)، راندمان کاربرد آبیاری نیز حداکثر باشد. هرچند در آبیاری سطحی تأمین راندمان بالا آن‌هم در خاک شنی کاری دشوار است، اما در این تحقیق با توجه به طول کم شیار، شیب مناسب اراضی و براساس معادله نفوذ بدست‌آمده، تنها با مدیریت مدت آبیاری در هر دوره آبیاری، راندمان کاربرد آب آبیاری مناسب حاصل شد.

در مطالعاتی که تحت عنوان الگوهای پیشروی جبهه رطوبتی و تلفات آب با نفوذ عمقی زیر منطقه توسعه ریشه تحت تأثیر آبیاری قطره‌ای پالسی انجام شد، مشخص شد که با کاهش دور آبیاری و یا به عبارت دیگر استفاده از آبیاری پالسی، که نوعی استراتژی مدیریتی آبیاری است، می‌توان راندمان آبیاری را بهبود بخشید (۵). بنابراین در این تحقیق، با انتخاب تکنیک مدیریت آبیاری پالسی در تیمار آبیاری موضعی، ضمن تأمین عمق آب نفوذ یافته معادل عمق ناخالص آبیاری مورد نیاز، راندمان کاربرد آبیاری حداقل ۹۷/۴ درصد بوده است.

براساس محاسبات نیاز آبی طبق جدول ۱، حداکثر دور آبیاری ممکن در دوره‌های مختلف رشد از ۷۷ ساعت (۳/۲ روز) در ماه دوم رشد تا ۱۰ ساعت (۰/۴ روز) در ماه آخر رشد متغیر بود.

بدین ترتیب در روش‌های آبیاری موضعی، دور آبیاری طراحی از ۱۵ ساعت در ماه اول تا ۱ ساعت در دوره پیک و بر همین اساس میزان راندمان آبیاری از ۹۷/۴٪ تا ۹۹/۵٪ متغیر بوده است.

نقش مدیریت در افزایش راندمان آبیاری سنتی در خاک شنی در جریان ارزیابی تیمار آبیاری شاهد، معادله‌ی نفوذ مطابق معادله ۲ بدست آمد و بدین ترتیب پارامترهای طراحی آبیاری شیاری این پژوهش محاسبه گردید.

$$Z = 0/0014t^{-.78} + 0/006t \quad (2)$$

در این معادله t : زمان آبیاری (دقیقه) و Z : عمق آب نفوذ یافته (میلی‌متر) است. از این معادله برای تعیین مدت زمان آبیاری تیمار جوی و پشته استفاده شد. از آنجا که در ارزیابی آبیاری سطحی هدف آنست که با تغییر پارامترهایی همچون دبی آبیاری، طول مزرعه و یا مدت زمان آبیاری، راندمان مناسب آبیاری حاصل شود، در این تحقیق باتوجه به ثابت بودن دبی پمپ مورد استفاده جهت انتقال آب به ابتدای شیارها (دبی آبیاری) و نیز ثابت بودن طول شیار، امکان مدیریت راندمان آبیاری تنها از طریق مدیریت دور آبیاری و مدت زمان آبیاری فراهم بود. به همین دلیل با استفاده از معادله‌ی نفوذ و

جدول ۲- محاسبه راندمان در تیمار آبیاری شیاری

Table 2- Efficiency calculation in furrow irrigation treatment

شرح پارامتر Parameter description	فروردین Farvardin	اردیبهشت Ordibehesht	خرداد Khordad	تیر Tir
حداکثر تبخیر تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز) Maximum Daily Evapotranspiration of the Plant (mm/day)	1.2	1.2	6.9	7.7
ظرفیت ذخیره آب در خاک (میلی‌متر در متر) water storage capacity in the soil (mm/m)	93	93	93	93
عمق مؤثر توسعه ریشه گیاه (متر) Effective Depth of Root Crop Development (m)	0.4	0.7	0.9	1.0
حداکثر دور آبیاری (روز) Maximum irrigation interval (Day)	15	26	6	6
دور آبیاری طراحی (روز) Design irrigation interval (Day)	3	3	3	3
مدت آبیاری پیشنهادی (دقیقه) Proposed irrigation period (Min)	2.5	3.0	12.0	19.0
حداکثر راندمان کاربرد آب آبیاری در دوره مورد نظر (درصد) Maximum irrigation water use efficiency at the desired period (%)	81.4	90.5	94.4	88.8

در صورتی که اگر قرار بود از دور آبیاری روزانه (حداکثر یک‌روزه) استفاده شود برای حصول راندمان آبیاری بیش از ۸۱/۶ درصد، می‌بایست از منبع آب با حجم مفید ۲۰۰۰ لیتر به‌عنوان منبع ثانویه ذخیره آب استفاده می‌شد در حالی که حجم مخزن مورد استفاده در این تحقیق معادل ۸۰ لیتر بوده است.

اثر آبیاری پالسی در عملکرد محصول

همان‌گونه که نقش آبیاری پالسی در افزایش راندمان نشان داده شده، با مقایسه عملکرد تیمارهای موضعی و تیمار شاهد می‌توان به نقش دور آبیاری پالسی در فراهم‌سازی شرایط مساعد دوران رشد و در نتیجه افزایش عملکرد پی‌برد (۱۴). در پایان دوره رشد و پس از برداشت محصول و توزین میوه‌ها، شرایط برای مقایسه نتایج عملکرد مهیا شد. نتایج استفاده از آزمون دانکن در خصوص مقایسه‌ی تعداد میوه‌ها و عملکرد محصول تحت روش‌های آبیاری منتخب نشان داد که بین تکرارهای مختلف آزمایش از نظر تعداد هندوانه و وزن آن‌ها در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. لذا تکرار آزمایش باعث تغییر در نتایج به‌دست آمده نشده است. همین‌طور بین فشارهای مختلف آبیاری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد تفاوت معنی‌داری در عملکرد محصول حاصل نشد این در حالیست که بر اساس نتایج دیگر محققین، نقش تاثیر آبیاری پالسی در افزایش عملکرد محصولاتی چون سیب‌زمینی تا میزان ۴۹٪ با افزایش تعداد پالس‌ها به میزان ۴ پالس، ثابت شده است (۱۴).

همان‌طور که در جدول‌های ۳ و ۴ نیز بیان شده است، در روش‌های مختلف آبیاری، بین عملکرد محصول و تعداد هندوانه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود دارد، به‌گونه‌ای که میانگین تعداد هندوانه‌های هر بوته و همین‌طور میانگین وزن هندوانه‌ها در تیمارهای مختلف به

ترتیب زیر بوده است:

۱- تیمار قطره‌ای‌ثقلی و تیمار شاهد ۲- تیمار قطره‌ای نواری ۳- تیمار کوزه‌ای

بر اساس نتایج جدول ۵، در پایان دوران ۱۱۰ روزه کشت، عملکرد روش آبیاری جوی و پشته، کوزه‌ای، قطره‌ای نواری و قطره‌ای ثقلی، به‌ترتیب ۱۱۴۲۶، ۱۲۲۴، ۷۵۲۷ و ۱۱۴۵۷ کیلوگرم در هکتار بوده است. بدین ترتیب درصد بهبود عملکرد نسبت به آب مصرفی تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد، به‌ترتیب معادل ۸۵ درصد (۰/۸۵ برابر) در آبیاری کوزه‌ای، ۱۰۳۴ درصد (۱۰/۳۴ برابر) در آبیاری قطره‌ای نواری و ۱۶۲۶ درصد (۱۶/۲۶ برابر) در آبیاری قطره‌ای ثقلی بدست آمد.

اثر آبیاری پالسی در شاخص بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد محصول

شاخص بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد گیاه از تقسیم عملکرد گیاه (کیلوگرم بر هکتار) بر میزان آب مصرفی (متر مکعب بر هکتار) محاسبه می‌شود. در این تحقیق براساس نتایج جدول ۶ نسبت آب مصرفی به عملکرد در تیمارهای جوی و پشته، کوزه‌ای، قطره‌ای نواری و قطره‌ای ثقلی به‌ترتیب ۱/۱۸، ۵/۵۵، ۰/۹ و ۰/۵۹ متر مکعب بر کیلوگرم بوده است. همچنین با توجه به میزان آب مصرفی برای هر یک از تیمارها، به ازای هر کیلوگرم هندوانه تولیدی در روش آبیاری قطره‌ای ثقلی و قطره‌ای نواری نسبت به روش آبیاری متداول موجود در منطقه (روش آبیاری جوی و پشته) آب مصرفی به‌ترتیب ۴۹/۷ و ۲۳/۴ درصد کاهش و در روش کوزه‌ای ۳۷۱/۲ درصد افزایش یافته است.

جدول ۳- نتایج مقایسه آماری تعداد میوه و عملکرد محصول در تیمارهای روش آبیاری براساس آزمون دانکن

Table 3- Results of statistical comparison of fruit number and yield in irrigation treatments based on Duncan test

آزمون دانکن (تعداد) Duncan test (number)		
نوع آبیاری	میانگین (خطای ۵ درصد)	گروه‌ها
Irrigation type	Average (5% error)	Groups
Pot کوزه‌ای	6.66667	B
Tape تیپ	8.66667	B
Drip قطره‌ای	11.1111	A
Furrow جوی و پشته	11.3333	A

آزمون دانکن (وزن) Duncan test (weight)		
نوع آبیاری	میانگین (خطای ۵ درصد)	گروه‌ها
Irrigation type	Average (5% error)	Groups
Pot کوزه‌ای	4.53	C
Tape تیپ	27.88	B
Drip قطره‌ای	41.40	A
Furrow جوی و پشته	42.43	A

جدول ۴- نتایج بررسی اثر متقابل تکرار، روش آبیاری و فشار آبیاری در مقایسه تعداد میوه و عملکرد محصول براساس آزمون فیشر
Table 4- Results of Repeated Interaction, Irrigation and Irrigation Pressure Comparison of Fruit Number and Product Performance Based on Fisher's Test

تعداد هندوانه‌ها Number watermelons			
روش‌ها Methods	آزمون فیشر Fisher's Test	سطح معنی‌داری Significant level	
تکرار Repeat	T	1.124	0.385
روش آبیاری Irrigation method	A	7.17	0.026
فشار آبیاری Irrigation pressure	F	0.148	0.866
تکرار×روش آبیاری Method × Repeat	T×A	0.557	0.6
تکرار×فشار آبیاری Pressure × Repeat	T×F	0.761	0.507
روش آبیاری×فشار آبیاری Method × Pressure	A×F	0.216	0.92
تکرار×روش آبیاری×فشار آبیاری Pressure× Method × Repeat	T×A×F	0.318	0.856

وزن هندوانه‌ها Weight of watermelons			
روش‌ها Methods	آزمون فیشر Fisher's Test	سطح معنی‌داری Significant level	
تکرار Repeat	T	0.463	0.65
روش آبیاری Irrigation method	A	41.405	0.000
فشار آبیاری Irrigation pressure	F	0.012	0.988
تکرار×روش آبیاری Method × Repeat	T×A	0.003	0.997
تکرار×فشار آبیاری Pressure × Repeat	T×F	0.113	0.895
روش آبیاری×فشار آبیاری Method × Pressure	A×F	0.233	0.910
تکرار×روش آبیاری×فشار آبیاری Pressure× Method × Repeat	T×A×F	0.781	0.577

جدول ۵- مقایسه‌ی عملکرد محصول در تیمارهای روش آبیاری

Table 5- Comparison of yield in irrigation treatments

شرح پارامتر Parameter description	تیمار Treatment			
	جوی و پشته Furrow	قطره‌ای ثقلی Gravity Drip	قطره‌ای نواری Gravity Tape	کوزه‌ای Pot
مساحت زمین (متر مربع) Area (m ²)	108	324	324	324
عملکرد محصول (کیلوگرم) Yeild (kg)	124	382	251	41
آب مصرفی (لیتر) Water consumption (lit)	38160	6599	6599	6599
تعداد تکرار Repetitions	3	3	3	3
تعداد بوته Plants	36	108	108	108
تعداد ردیف کشت با احتساب تکرارها Crop rows including repetitions	3	9	9	9
نسبت واحد سطح هکتار به مساحت تحقیق Ratio of hectare unit area to research area	92	30	30	30
عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yeild (kg/ha)	11426 a	11457 a	7527 b	1224 c

جدول ۶- نتایج بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای مختلف روش آبیاری
Table 6- Irrigation water efficiency results in different irrigation treatments

شرح Description	تیمار			
	جوی و پشته Furrow	قطره‌ای ثقلی Gravity drip	قطره‌ای نواری Gravity tape	کوزه‌ای Pot
عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)	11426	11457	7527	1224
آب مصرفی در هکتار (متر مکعب) Water consumption (lit/ha)	13452	6790	6790	6790
شاخص بهره‌وری آب آبیاری Irrigation water productivity index	0.85 c	1.7 a	1.1 b	0.18 d
نسبت آب مصرفی به عملکرد (متر مکعب آب مصرفی به ازای کیلوگرم محصول تولیدی) Water consumption ratio to yield	1.18	0.59	0.9	5.55
درصد کاهش یا افزایش آب مصرفی نسبت به تیمار شاهد به ازای یک کیلوگرم هندوانه تولیدی Percentage reduction or increase of water consumption compared to control treatment per kg of watermelon	0	-49.7	-23.4	+371.2

شکل ۴- موقعیت پیشنهادی برای استقرار کپسول‌ها به صورت آرایش داخل خط
Figure 4- The proposed position for placing capsules in the In Line layout



آن که کپسول مورد نظر وظیفه اصلی خود یعنی تراوش را عهده‌دار خواهد بود، در صورت نیاز به اسیدشویی، پس از انحلال اسید با آب آبیاری و ماندگاری به مدت مناسب در مسیر جریان جهت شستشوی رسوبات، می‌توان از طریق بازکردن مسیر انتهایی لترال، نسبت به تخلیه‌ی قسمت اعظم محلول آب و اسید موجود در مسیر لترال اقدام نمود و آن را به موقعیتی خارج از محدوده‌ی فعالیت ریشه (در انتهایی ردیف آبیاری) منتقل کرد تا بدین ترتیب کم‌ترین تأثیر اسید بر فعالیت فیزیولوژیکی گیاه به وجود آید.

نتیجه‌گیری

همانگونه که در این تحقیق حصول راندمان بیش از ۸۰ درصد در روش آبیاری جوی و پشته در خاک شنی محقق شده‌است، می‌توان با مدیریت پارامترهای دخیل در راندمان آبیاری (همچون طول شیار، زمان و دبی آبیاری)، شرایط بهبود راندمان آبیاری این قبیل خاک‌ها را فراهم کرد. همانگونه که در تحقیق سایر پژوهش‌گران در خصوص امکان افزایش راندمان آبیاری (از ۸۸٫۶٪ به ۹۳٫۵٪) با استفاده از تکنیک آبیاری پالسی (با استفاده از ۴ پالس آبیاری) نیز مشخص شده،

بنابراین می‌توان گفت مطابق جدول ۶ بین تیمارهای روش آبیاری از نظر شاخص بهره‌وری آب تفاوت معنی‌داری وجود داشته است. به گونه‌ای که آبیاری قطره‌ای ثقلی در بین چهار روش مورد مطالعه از بالاترین میزان شاخص بهره‌وری آب، معادل ۱/۷ کیلوگرم هندوانه تولیدی به ازای یک متر مکعب آب مصرفی برخوردار می‌باشد. بر اساس نتایج دیگر تحقیقات مشابه نیز مشخص شده که در آبیاری کامل سیب‌زمینی با استفاده از آبیاری پالسی به میزان ۴ پالس، راندمان مصرف آب به میزان ۴۸٫۵ درصد افزایش یافته است (۱۴). در این تحقیق در آبیاری کوزه‌ای به دلیل گرفتگی کپسول‌های رسی توسط تجمع گل و لای و لجن، نتیجه مطلوب حاصل نشد. شاخص بهره‌وری کم آب در این تیمار نیز تصدیق همین موضوع است. راه‌کاری که در این قسمت می‌تواند به عنوان پیشنهاد مطرح شود، تغییر در نحوه اتصال (و استقرار) کپسول رسی به لوله لترال مطابق شکل ۴ می‌باشد.

در این تغییر پیشنهادی، کپسول رسی به صورت داخل خط (In line) در مسیر لترال قرار می‌گیرد و جریان آب از یک نقطه وارد کپسول شده و از نقطه‌ی دیگر خارج می‌شود. با این شرایط علاوه بر

این خاک برای کشت گیاهان مثمر هم‌چون هندوانه با عملکرد بالا استفاده کرد.

در نهایت با توجه به ظهور آبیاری قطره‌ای ثقلی به همراه جمیع محاسن فنی و اقتصادی، شایسته است که با ادامه تحقیقات، مراتب جهت تکمیل مشخصات فنی این روش، مهیا شده و کاربرد عملی آن فراگیر شود.

سپاسگزاری

با توجه به استفاده از امکانات اراضی زراعی شرکت جهاد تعاون شهرستان کاشان (وابسته به سپاه پاسداران انقلاب اسلامی ناحیه کاشان)، بدینوسیله از هماهنگی مدیر محترم مزرعه جناب آقای حاج محمود صلواتی به جهت همکاری همه جانبه در طول اجرای تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین با توجه به تأمین قطره‌چکان‌های ثقلی مورد استفاده در این تحقیق توسط مجموعه مدیریتی شرکت پوششگران کاراب، از همکاری این مجموعه نیز تشکر می‌شود. ضمناً از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر جهانگیر عابدی کویانی نیز به دلیل پیشنهاد استفاده از تکنیک آبیاری پالسی در این تحقیق، قدردانی می‌شود.

که با کاربرد این تکنیک در خاک شنی، حتی حصول راندمان آبیاری بیش از ۹۰ درصد نیز امکان‌پذیر است. مطابق نتایج دیگر محققین در خصوص نقش آبیاری پالسی در افزایش عملکرد (حتی به میزان ۴۹٪ افزایش عملکرد در شرایط آبیاری کامل (۱۴))، ضمن کاربرد آبیاری قطره‌ای ثقلی در خاک شنی، می‌توان با بهره‌گیری از تکنیک آبیاری پالسی در خاک شنی، شرایط برای تولید حداکثری محصول را فراهم کرد. در این تحقیق با کاربرد آبیاری پالسی در روش‌های آبیاری موضعی، به‌ازای آب مصرفی یکسان نسبت به تیمار شاهد، تولید محصول حداقل ۱۰ برابر بیشتر امکان‌پذیر شده است.

نتایج نشان داد که با مقدار آب مصرفی معادل ۶۷۹۰ متر مکعب در هکتار در هر کدام از روش‌های آبیاری موضعی ثقلی و ۱۳۴۵۲ متر مکعب در هکتار در تیمار شاهد، میزان عملکرد هندوانه در روش‌های آبیاری کوزه‌ای، قطره‌ای ثقلی، قطره‌ای نواری و آبیاری شیاری به ترتیب معادل ۱۲۲۴، ۱۱۴۵۷، ۷۵۲۷ و ۱۱۴۲۶ کیلوگرم در هکتار و شاخص بهره‌وری آب به ترتیب معادل ۰/۲، ۰/۷، ۱/۱ و ۰/۸ کیلوگرم در هکتار به ازای هر متر مکعب آب مصرفی به‌دست آمد. همچنین در مقایسه با دور آبیاری یک‌روزه، با کاربرد آبیاری پالسی در آبیاری موضعی، راندمان آبیاری به طور متوسط از ۸۷ درصد به ۹۸ درصد افزایش یافت. به‌طور کلی با کاربرد آبیاری موضعی در مقایسه با آبیاری شیاری در خاک شنی می‌توان ضمن افزایش بهره‌وری آب، از

منابع

- Ahmadi R., and Mearaji D. 1998. Gravity Drip Irrigation (GDI). Proceedings of the 9th Conference of the Iranian National Irrigation and Drainage Committee, Tehran. 333-352.
- Akhavan K. 2015. The Application of Tape Irrigation System in the Wheat Cultivars. Technical Journal, No. 83, p.22.
- Anonymous. 2001. Evaluation of Gravity Drip Irrigation Network Design. PourAfkar N. 1979. Traditional Water Sharing Practices in Iran. Journal of Art and the People 193: 48-51.
- Tavakoli A. 2009. Parameters of Moisture Front and Water Losses due to Permeation under Root Development Zone under the Influence of Pulsed Drip Irrigation. National Examination of Soil Water Plant and Agricultural Mechanization, Islamic Azad University, Dezful Branch.
- Sadeghi Z. 2003. Investigating the Possibility of Decreasing the Amount of Energy in Drip Irrigation (Gravity Drip Irrigation), Master's Degree in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz. 144 p.
- Arabfard M., Shahnazari A., and Ziatabar Ahmadi M.Kh. 2016. Comparison of the Efficiency of Irrigation Methods for Pot Irrigation, Gravity Drip Irrigation and Porous pipes Irrigation. Water and Soil Journal of Ferdowsi University of Mashhad.
- Alizadeh A. 2006. Principles of Irrigation Systems Design. Imam Reza University Publishers.
- Farajzadeh K. 2014. Simulation of Pulsed Drip Irrigation and Determination of the Diameter and Depth Wet and the Most Suitable Connection and Interconnection in it. Master's Thesis. Tabriz University.
- Ghorbani Vagheei H., Bahrami H., and Rashidi M. 2014. Porous Clay Capsules and their Application in Supplying Water Requirements of Plants in Arid and Semi-arid regions. International Journal of Analytical Resources for Water Resources and Development 2(2): 20-26.
- Mohammadbegi A., Mirzaei F., and Negin A. 2016. Investigation and Comparison of Moisture Redistribution in Drip Irrigation with Continuous Flow and Pulse Flow. Iran Water and Soil Research 74(3): 467-473.
- Mahmoudian Shoostari M., and Zandparsa Sh. 2013. Evapotranspiration Measurement Using Water Balance Method in the Field and Comparing it with some Experimental Methods in Bajgah Area of Shiraz. Second International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling, Shahid Bahonar University of Kerman. 1-11.

- 12- Valizadeh M., and Moghaddam M. 1996. Trial Designs in Agriculture 1. Parivar Publisher.
- 13- Bakeer G.A.A. et al. 2009. Effect of Pulse Drip Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Potato Crop under Organic Agriculture in Sandy Soils. *Misr J. Ag. Eng.*, 26(2): 736- 765. IRRIGATION AND DRAINAG
- 14- Bhatt N., Kanzariya B., Motiani A., and Pandit B. 2013. An experimental investigation on pitcher irrigation technique on alkaline soil with saline irrigation water. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)* 2(6): 206–212.
- 15- Khanam R., and Patra S.K. 2015. Effect of gravity drip irrigation on growth, yield and water use efficiency of gladiolus in lower gangetic plain of west bangal, India. *International Journal of Ecosystem* 5(3): 132-137.



Effect of Pulsed Irrigation on Crop Water Productivity and Efficiency of Watermelon in Sandy Soil

M. Arab fard^{1*}- A. Shahnazari²- M.K. Ziatabar Ahmadi³

Received: 12-03-2018

Accepted: 15-04-2019

Introduction: The use of commonly known irrigation methods (especially surface irrigation or even irrigation under pressure) is limited due to the specific physical characteristics of keeping moisture and lowering the water holding capacity. In sandy beaches or desert plains (called sandstones) with mentioned physical characteristics, lack of nutrients necessary for plant growth restrict the commonly known irrigation application. Gravity Drip Irrigation (GDI) is a new method that avoids the use of extra energy (pumping station). The total amount of pressure head required by the GDI for fields with a maximum area of 100 hectares is between 1 and 3 meters height. The main purpose of GDI is to reduce the required pressure by the drippers. The utilization of drip tape irrigation as one of the GDI methods has been considered in Iran in recent years. Several studies have been carried out in this regard, each of which pursues specific goals. The GDI benefits includes: reducing water consumption per unit area while increasing the moisture content of the plant root zone, increasing water use productivity, the possibility of irrigation in uneven terrain, reducing weed, pests and diseases damage, ease of distribution of fertilizer, requires lower pressure which consequences to lower cost and energy in the production process. Pot irrigation method is one of the most effective methods for irrigating in these conditions with rough terrain, coarse texture and light soils with high water penetration and saline water which surface irrigation methods normally cannot be used. The application of methods that can provide optimal irrigation conditions for such soils with their specific characteristics, such as delay in water infiltration and low outflow, can lead to improved physical conditions and optimal management of these soils.

Materials and Methods: This research was carried out in the first four months of 2016 in a sandy field located in a part of the agricultural land of Jihad-e-Tavan Co. in Kashan city. In this research, according to the custom of the region, the local watermelon of Sunbek district in Aran and Bidgol city, were chosen as a study plant. A factorial design in a completely randomized block including three main treatments of localized irrigation and three irrigation treatments (total of nine treatments) with three replications, as well as furrow irrigation treatment as control were applied. In each row, 12 plants were planted with a distance of one meter on a row and three meters between rows, on an area of 1080 (36×30) square meters.

Results and Discussion: The role of pulsed irrigation cycle in providing favorable growth conditions and consequently increasing yield can be achieved by comparing the performance of localized treatments and control treatment. The Duncan's test results for number of fruits and yield comparison using selected irrigation methods showed that there was no significant difference in the number of watermelons and their weight at the probability level of 1% and 5%. For different irrigation methods, there was a significant difference between yield and number of watermelons at same probability level. By the end of the 110 days after planting, the yield in furrow irrigation, pot irrigation, drip tape and GDI were 11426, 1224, 7527 and 11457 kg/ha, respectively. The improvement percentage of yield in comparison with the control treatment, were 85%, 1034% and 1626% in pot irrigation, drip tape and GDI, respectively. This research results revealed that the ratio of water used to yield in furrow treatments, pot, drip tape and GDI were 1.18, 5.55, 0.9 and 0.09 m³/kg. Also, considering the amount of water used for each treatment, 49.7 and 23.4 percent decrement in applied water in drip tape and GDI and 371.2 percent increment in applied water in pot irrigation observed per kilograms of watermelon produced compared to the conventional irrigation method (furrow irrigation). Highest water productivity index achieved in GDI among the four methods studied, as much as 1.7 kg of watermelon produced per cubic meter of water.

Conclusion: In this study, the efficiency of more than 80% achieved in furrow irrigation in sandy soil. Improvement in irrigation efficiency in these soils can be achieved by managing parameters involved like furrow length, time and irrigation discharge. The results showed that with the amount of water consumed equal to 6790 cm³/ha in each of the gravity localized irrigation methods and 13452 cm³/ha in the control treatment, the watermelon yield in pot irrigation, gravity drip, drip tape and furrow irrigation methods were 1224, 11457, 7527

1, 2 and 3- Ph.D Former Student, Associate Professor and Professor Department of Water Engineering, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Respectively

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

and 11426 kg/ha, respectively, and the water productivity index was equal to 0.2, 1.7, 1.1 and 0.8 kg/ha.m³, respectively. In comparison with the one-day irrigation interval, using pulses irrigation in localized irrigation, irrigation efficiency increased from 87% to 98%. In general, by using localized irrigation in comparison with furrow irrigation in sandy soils, in addition to increasing water productivity, high yield could be achieved in plants like watermelon.

Keywords: Gravity drip irrigation, Light soil, Water productivity index, Watermelon yield



پهنه‌بندی اجرای سامانه‌های آبیاری در اراضی حوضه رودخانه آجی‌چای

ناصر آریا آذر^۱ - ابوالفضل مجنونی هریس^{۲*} - رضا دلیر حسن‌نیا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹

چکیده

بدون شک محدودیت منابع آب مشکل اصلی در راه افزایش تولید محصولات کشاورزی و بزرگ‌ترین چالش کشور می‌باشد. برای استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی لازم است تاناسب‌ترین سامانه آبیاری برای تأمین نیاز آبی اراضی استفاده گردد. در پژوهش حاضر از روی تغییرات داده‌هایی نظیر کیفیت آب، خاک و اقلیم منطقه برای پهنه‌بندی و تعیین مناطق بهینه کاربرد هر یک از سامانه‌های آبیاری، از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. برای انتخاب هر یک از سامانه‌ها معیارهای تأثیرگذار مشخص و سپس به روش AHP مورد مقایسه قرار گرفتند. امتیازهای لازم برای هر معیار با کنترل نرخ سازگاری بدست آمد که در هر سه مورد کمتر از ۰/۱ بود. نتایج نشان داد که اجرای سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای به ترتیب در ۱۹۶۳۷ و ۳۱۷۵۷ هکتار از اراضی مورد مطالعه مناسب است. اما با توجه به بالا بودن مقادیر SAR و شیب زیاد زمین اجرای سامانه آبیاری سطحی بجز ۹ درصد از اراضی کشاورزی، در بقیه مناسب نیست. بطور کلی بیشتر محدودیت‌ها در دشت تبریز و در حاشیه دریاچه ارومیه است. لذا با دور شدن از دریاچه ارومیه و بطرف بالادست حوضه آجی‌چای شرایط برای اجرای این سامانه‌ها محیتر می‌شود. چنانچه کاربرد این سه سامانه در دشت بستان‌آباد و هریس نسبتاً مناسب و در دشت سراب دو سامانه بارانی و قطره‌ای مناسب و آبیاری سطحی نسبتاً مناسب تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: آجی‌چای، امتیازدهی، مناطق همگون آبیاری، AHP، GIS

مقدمه

آب به عنوان محدود کننده‌ترین عامل در تولید محصولات کشاورزی نقش مهمی در تأمین غذای جمعیت روبه‌رشد کشور دارد. بنابراین لازم است که از منابع آب محدود کشور به نحو بهینه استفاده نموده و بهره‌وری آن را افزایش داد (۲۱). بهره‌وری به فرآیندی اطلاق می‌شود که حداکثر استفاده از منابع با روند فزاینده صورت گیرد. به طور کلی ارتقای بهره‌وری می‌تواند به نتایج مهمی مانند افزایش رشد اقتصادی و استفاده بهینه از منابع به ویژه منابع کمیاب مانند آب منجر شود (۱۲). با توجه به محدودیت منابع موجود، بهینه‌سازی و بهینه‌یابی کلیه عوامل تولید یکی از اصول مهم در فعالیتهای اقتصادی دنیای امروزه است. بخش کشاورزی نیز همانند سایر بخش‌ها از این قاعده کلی مستثنی نبوده و با توجه به نوع اقلیم کشور و محدودیت‌های منابع آبی از نظر مکانی و زمانی و محدودیت‌های کشت، استفاده صحیح و اصولی از منابع آب از مؤلفه‌هایی است که در اولویت قرار دارند. بنابراین جهت بهبود راندمان آبیاری و همچنین استفاده مناسب از

اراضی و منابع آب موجود باید بهترین سامانه آبیاری برای تأمین نیاز آبی استفاده شود. این انتخاب تحت تأثیر فاکتورهای مختلفی مانند نوع کشت، مقدار آب موجود، کیفیت آب، خصوصیات خاک، شرایط آب و هوایی، الگوی کشت انتخابی، مهارت نیروی کارگری و غیره است. پارامترهای مؤثر ذکر شده بسته به شرایط منطقه ممکن است متفاوت باشند (۱۹). یکی از روش‌های افزایش بازده آبیاری، انتخاب مناسب‌ترین سامانه آبیاری و تعیین مناطق همگون آبیاری برای منطقه مورد نظر است. شناخت معایب و مزایا، اطلاع از شرایط فیزیکی منطقه، مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و غیره همگی در انتخاب مناسب‌ترین سامانه و تیپ‌بندی منطقه به واحدهای همگون از اهمیت بالایی برخوردار است (۷). این معیارها عموماً بسته به شرایط منطقه می‌توانند متفاوت باشند. پژوهش‌های مختلفی در زمینه تعیین مناطق مستعد آبیاری صورت گرفته است که می‌توان به مطالعات مهری (۱۴) که در آن به پتانسیل‌یابی اجرای سامانه آبیاری تحت فشار برای استان لرستان را مورد بررسی قرار داد، اشاره نمود. بر اساس تحقیقات انجام‌شده در پژوهش فوق، این استان از نظر پارامترهای اقلیمی، کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، دارای هیچ محدودیتی جهت اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار نمی‌باشد. نشاط و نیک‌پور (۱۵) طی تحقیقی برای مکان‌یابی مناطق مستعد برای اجرای آبیاری تحت فشار در دشت کرمان با استفاده از

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی و دانشیاران گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز

(*) - نویسنده مسئول: (Email: majnooni@tabrizu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v33i2.70314

رودخانه پس از زهکشی محیط طبیعی پیرامون خود و پیمودن مسافت زیاد از شمال و شمال غربی شهر تبریز گذشته و نهایتاً در غرب آذرشهر، در ارتفاع ۱۲۷۰ متری به دریاچه ارومیه می‌ریزد. آب رودخانه به علت گذر از رسوبات تبخیری میوسن مقادیر درخور ملاحظه‌ای نمک محلول را با خود به سوی این دریاچه می‌برد. شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی آبی‌چای را در بین دشت‌های کشور نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱ این حوضه شامل چهار دشت تبریز، هریس، سراب و بستان‌آباد می‌باشد.

روش کار

برای تعیین مناطق همگون آبیاری ابتدا با نظر کارشناسان و متخصصان امر معیارهای تأثیرگذار در انتخاب بهترین مکان آبیاری برای کاربرد سامانه‌های آبیاری بارانی، قطره‌ای و سطحی به صورت زیر مشخص گردید:

آبیاری بارانی و قطره‌ای: کسر، سرعت باد، SAR و EC آب، SAR و EC خاک، مینیم، کلسیم، سختی آب (TH)، HCO_3 ، شیب زمین، دمای هوا، SO_4 ، نفوذپذیری سدیم و pH خاک.

آبیاری سطحی: نسبت مینیم به کلسیم (Mg/Ca)، درصد سدیم، کسر، نفوذپذیری خاک، SAR و EC آب، SAR و EC خاک، سختی آب (TH)، شیب زمین و دمای هوا

اطلاعات آماری مربوط به آب و خاک از شرکت آب منطقه‌ای و اطلاعات اقلیمی از اداره هواشناسی استان آذربایجان شرقی تهیه شدند. داده‌ها با استفاده از زمین‌آمار درون‌یابی و با در نظر گرفتن محدوده استاندارد پارامترها، برای اجرای سامانه آبیاری مناسب در محیط GIS پهنه‌بندی شدند. به عنوان نمونه جدول ۱ محدوده استاندارد EC را برای سامانه آبیاری تحت فشار و جدول ۲ محدوده EC برای آبیاری سطحی را نشان می‌دهد.

برای تلفیق نقشه‌ها و استخراج نقشه مناطق همگون آبیاری، معیارها با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به صورت دو به دو باهم مقایسه شدند. در نهایت برای هر کدام از این معیارها یک وزن نسبی بدست آمد که بر اساس این وزن، نقشه‌ها در محیط GIS تلفیق و نقشه مناطق همگون آبیاری برای محدوده مطالعاتی بدست آمد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. این روش اولین بار توسط توماس ال ساعتی^۳ در سال ۱۹۸۰ مطرح شد، که بر اساس مقایسات زوجی بنا نهاده شده است و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد (۱).

سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مکان‌یابی بولین به این نتیجه رسیدند که از کل زمین‌های مناسب برای آبیاری حدود ۵ درصد برای آبیاری بارانی و ۲۵ درصد برای آبیاری قطره‌ای مناسب است. استردویچ و آبرادویچ (۲۰) پارامترهای زیادی را در انتخاب سامانه آبیاری مناسب مؤثر دانستند؛ اما طبق نظر آنها، سرمایه‌گذاری‌ها، هزینه‌های نگهداری، راندمان سامانه و بازگشت سرمایه نسبت به سایرین از اهمیت بیشتری برخوردارند. الباجی و همکاران (۲) با استفاده از GIS ارزیابی اراضی مناسب را برای آبیاری سطحی و قطره‌ای در دشت شاور خوزستان را بر اساس ویژگی‌های بافت خاک، هدایت الکتریکی، زهکشی، غلظت بی‌کربنات و شیب منطقه انجام دادند. در تحقیقی دیگر ناصری و همکاران (۱۶) با در نظر گرفتن شیب منطقه و بعضی از ویژگی‌های خاک مانند بافت، هدایت الکتریکی و غلظت بی‌کربنات، ایجاد سامانه‌های مختلف آبیاری دشت لالی در استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که اجرای آبیاری‌های بارانی و قطره‌ای نسبت به آبیاری سطحی مؤثرتر می‌باشند. در حوضه دریاچه ارومیه یکی از سیاست‌های دولت افزایش راندمان آبیاری و کاهش مصرف آب کشاورزی از طریق توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار به جای سیستم‌های سطحی است لذا در پژوهش حاضر سعی گردید با استفاده از روش امتیازدهی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) مناطق همگون سیستم‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای برای اراضی تحت آبیاری در حوضه رودخانه آبی‌چای مشخص گردد تا در خصوص سرمایه‌گذاری و توسعه این سیستم‌ها الویت اراضی مد نظر مسئولان قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

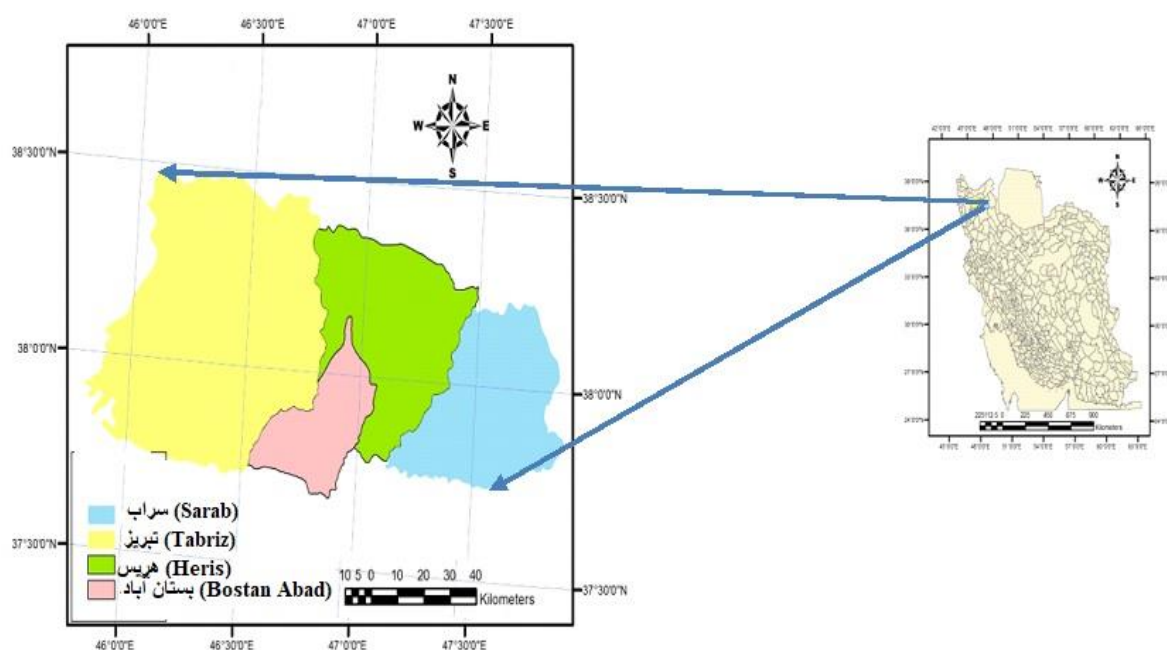
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه رودخانه آبی‌چای در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه آبی‌چای، مهم‌ترین حوضه آبریز بخش شرقی دریاچه ارومیه بوده که بین عرض‌های جغرافیایی ۳۰' تا ۳۷° و طول‌های جغرافیایی ۴۵° تا ۵۳' - ۴۷° شرقی واقع شده است. این حوضه، یکی از بزرگترین زیر حوضه هفت‌گانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه بعد از زیر حوضه سیمینه‌رود و زربینه‌رود با وسعتی معادل ۱۱۲۷۸/۸ کیلومتر مربع است و از رودخانه‌های اصلی آن می‌توان به سینخ‌چای، تاجیار، نهند و اوجان‌چای اشاره کرد. رودخانه آبی‌چای از ارتفاع ۳۴۰ متری دامنه‌های جنوب و جنوب غربی کوه سبلان سرچشمه می‌گیرد. این

1- Analytical Hierarchy process

2- Geographic information systems

3- Thomas El Saaty



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی در بین دشت‌های کشور

Figure 1- Location of study area among other country plains

جدول ۱- مقادیر شوری آب آبیاری برای سامانه‌های آبیاری تحت فشار (۱۰)

Table 1- Irrigation water salinity values for pressurized irrigation systems

کلاس Class	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر) Electrical conductivity (EC) ($\mu\text{mhos/cm}$)
بدون محدودیت Non restriction	<700
محدودیت متوسط Middle restriction	700-3000
محدودیت شدید High restriction	>3000

جدول ۲- مقادیر شوری آب آبیاری برای سامانه‌های آبیاری سطحی (۳)

Table 2- Irrigation water salinity values for surface irrigation systems (3)

کلاس Class	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر) Electrical conductivity (EC) ($\mu\text{mhos/cm}$)
بسیار خوب Very well	0-250
خوب Well	250-750
قابل قبول Acceptable	750-2250
مشکوک Dubitable	2250-3000
نامناسب Inapplicable	>3000

جدول ۳- مقادیر ارجحیت گزینه‌ها، معیارها و زیر معیارها (۱۱)

Table 3- Priority values for alternatives, criteria, and sub-criteria (11)

امتیازها	تعریف	توضیح
1	اهمیت مساوی	در تحقق هدف دو معیار اهمیت مساوی دارند
	Equally preferred	In achieving the goal, two criteria have equal preference
3	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد برای تحقق هدف اهمیت i اندکی بیشتر از j است
	Moderately preferred	In achieving the goal, i is moderately preferred than j
5	اهمیت بیشتر	تجربه نشان می‌دهد برای تحقق هدف اهمیت i بیشتر از j است
	Strongly preferred	In achieving the goal, i strongly preferred than j
7	اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد برای تحقق هدف اهمیت i خیلی بیشتر از j است
	Very strongly preferred	In achieving the goal, i strongly preferred than j
9	اهمیت مطلق	اهمیت مطلق i نسبت به j به اثبات رسیده است
	Absolutely preferred	Absolutely preferred i than j has been proven
2,4,6,8	حالت بینابین	هنگامی که حالت میانه وجود دارد
	Intermediate situation	When there is intermediate situation

تعیین وزن گزینه‌ها: تعیین وزن گزینه‌ها شامل دو مرحله است:

۱. تعیین وزن نسبی
۲. تعیین وزن نهایی

روش‌های محاسبه وزن نسبی

الف) روش حداقل مربعات

ب) روش حداقل مربعات لگاریتمی

پ) روش بردار ویژه

ت) روش‌های تقریبی (مجموع سطری، مجموع ستونی، میانگین حسابی، میانگین هندسی)

وزن نهایی: وزن نهایی هر یک از گزینه‌ها از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها بدست می‌آید.

محاسبه نرخ سازگاری: اگر گزینه a بر گزینه b ارجح باشد و گزینه b بر گزینه c ارجح باشد انتظار می‌رود گزینه a بر c نیز ارجح باشد. در این صورت ماتریس سازگار است. در غیر این صورت ماتریس ناسازگار بوده و میزان ناسازگاری و یا نرخ سازگاری باید محاسبه شود. نرخ سازگاری با روابط زیر بدست می‌آید.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{\hat{a}_{ij} \cdot w_{(i,j)}}{w_{(i,j)}} \quad (1)$$

در رابطه بالا λ_{max} میانگین بردار سازگاری $\hat{a}$ میانگین هندسی ماتریس $W_{(i,j)}$ وزن یا الویت‌های جایگزین N تعداد جایگزین‌های مورد مقایسه می‌باشد. با استفاده از رابطه (۱) شاخص سازگاری به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

که در آن n اندازه ماتریس است. برای محاسبه نرخ سازگاری از رابطه (۳) استفاده می‌کنیم.

در مدل AHP با ایجاد یک ماتریس نسبت به مقایسه دوجه‌دوی عوامل (فاکتورها) پرداخته می‌شود و بنابه ادعای محققین دارای دو خاصیت مهم شامل در نظر گرفتن فاکتورهای کمی و کیفی متعدد در حل مساله و قابلیت تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده از طریق سلسله مراتبی فاکتورها می‌باشد (۹، ۱۳ و ۱۸).

اصول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مواردی باید رعایت شود که به عنوان اصول این فرآیند شناخته شده است.

اصل ۱: شرط معکوسی؛ اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر 1/n باشد.

اصل ۲: همگنی؛ عنصر A با عنصر B همگن و قابل قیاس باشد. به بیان دیگر برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر شود.

اصل ۳: وابستگی؛ هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.

اصل ۴: انتظارات؛ هر گاه تغییر در ساختمان سلسله مراتبی رخ دهد پروسه ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد.

مقایسات زوجی: بر حسب هر معیاری میزان ارجحیت گزینه‌ها به صورت دوتایی مقایسه می‌شود و ارجحیت آن‌ها به صورت عبارتی مشخص می‌شود و به ازای هر عبارت عددی به ارجحیت گزینه‌ها تشخیص داده می‌شود. ساعتی در سال ۱۹۸۰ برای مقادیر ارجحیت گزینه‌ها جدول ۳ را توصیه کرده است.

- 1- Reciprocal condition
- 2- Homogeneity
- 3- Dependency

(۳)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

در رابطه بالا RI شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی است که با استفاده از جدول ۴ تعیین می‌شود.

جدول ۴- مقادیر شاخص شدت ناسازگاری (RI)

Table 4- Values of inconsistency rate (RI) index

n	RI	n	RI
6	1.24	1	0
7	1.32	2	0
8	1.41	3	0.58
9	1.45	4	0.9
>9	1.49	5	1.12

در صورتی که مقدار CR کمتر از ۰/۱ باشد ماتریس مقایسات زوجی سازگار خواهد بود و در غیر این صورت ماتریس قضاوت ناسازگار خواهد بود.

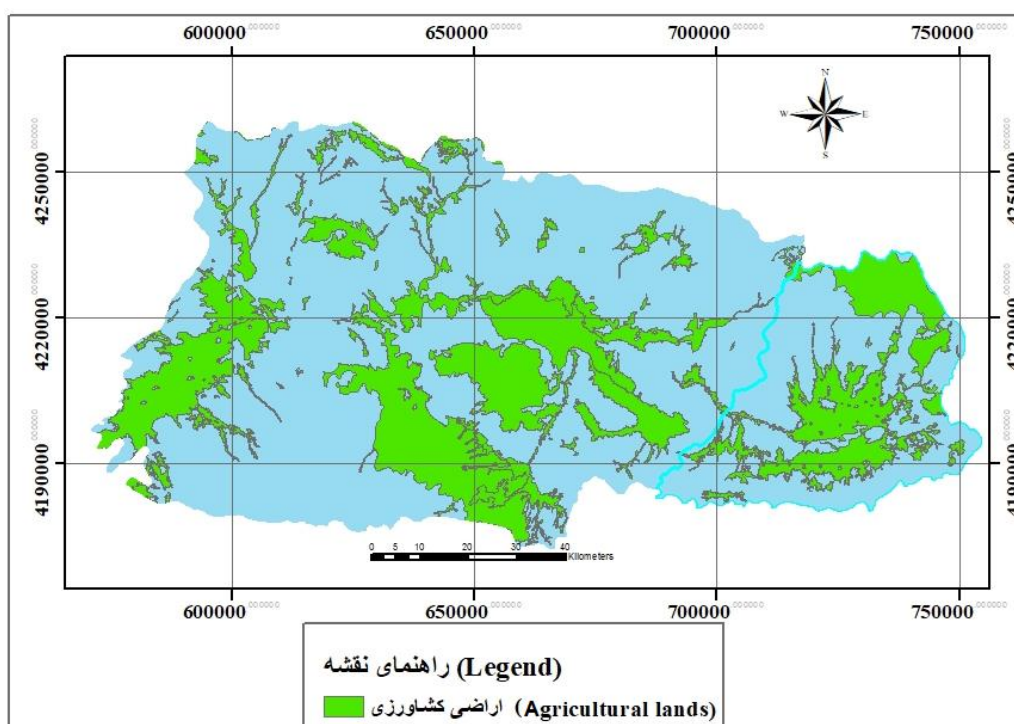
نتایج و بحث

تعیین مناطق همگون آبیاری بارانی

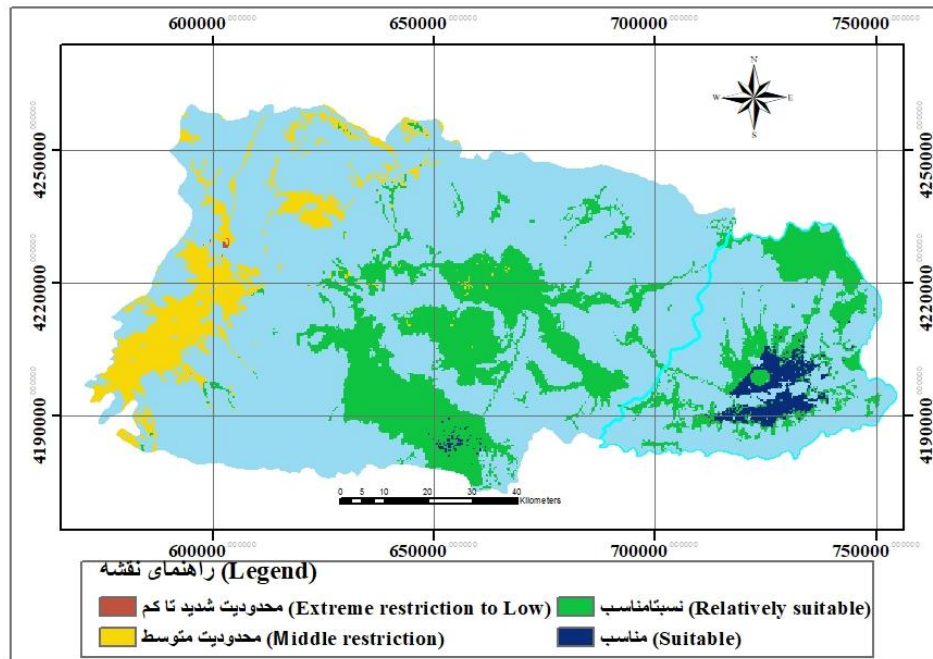
در این مطالعه ابتدا محدوده اراضی کشاورزی اعم از اراضی

فاریاب، دیم و باغی از سایر اراضی غیر زراعی تفکیک گردید. نقشه اراضی کشاورزی محدوده مطالعاتی حوضه آجی‌چای در شکل ۲ نشان داده شده است.

بررسی نقشه فوق نشان داد که اغلب اراضی کشاورزی در دشت تبریز در حواشی دریاچه ارومیه، که کیفیت آب و خاک آن نامناسب است، قرار دارند. بر خلاف دشت تبریز در دشت‌های سراب، بستان‌آباد و هریس ارای کشاورزی دارای کیفیت آب و خاک مطلوبی هستند. نقشه مناطق همگون آبیاری بارانی برای محدوده مطالعاتی در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل، در منطقه سراب با بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی این دشت نسبت به سایر دشت‌ها برای اجرای سامانه آبیاری مناسب‌ترین است. در زمین‌های کشاورزی و زراعی دشت تبریز با محدودیت متوسط و بعضی اراضی با محدودیت شدیدی برای اجرای سامانه آبیاری بارانی مواجه است. در بخش‌های جنوبی دشت بستان‌آباد نیز اجرای سامانه آبیاری بارانی مناسب است. اما در سایر قسمت‌های حوضه و زمین‌های کشاورزی و زراعی اجرای سامانه آبیاری بارانی نسبتاً مناسب خواهد بود. در حالت کلی در ۱۹۶۳۷ هکتار از اراضی کشور حوضه اجرای این سامانه مناسب است. چنانچه در ۶۴ درصد اراضی نسبتاً مناسب و در حدود ۳۱ درصد با محدودیت کم تا شدید مواجه است.



شکل ۲- نقشه اراضی کشاورزی در محدوده مطالعاتی
Figure 2- Map of agricultural lands in study area



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی مناطق هم‌گون آبیاری بارانی در اراضی کشاورزی محدوده مطالعاتی
Figure 3- Zoning map of homogeneous regions for sprinkler irrigation in studied agricultural lands

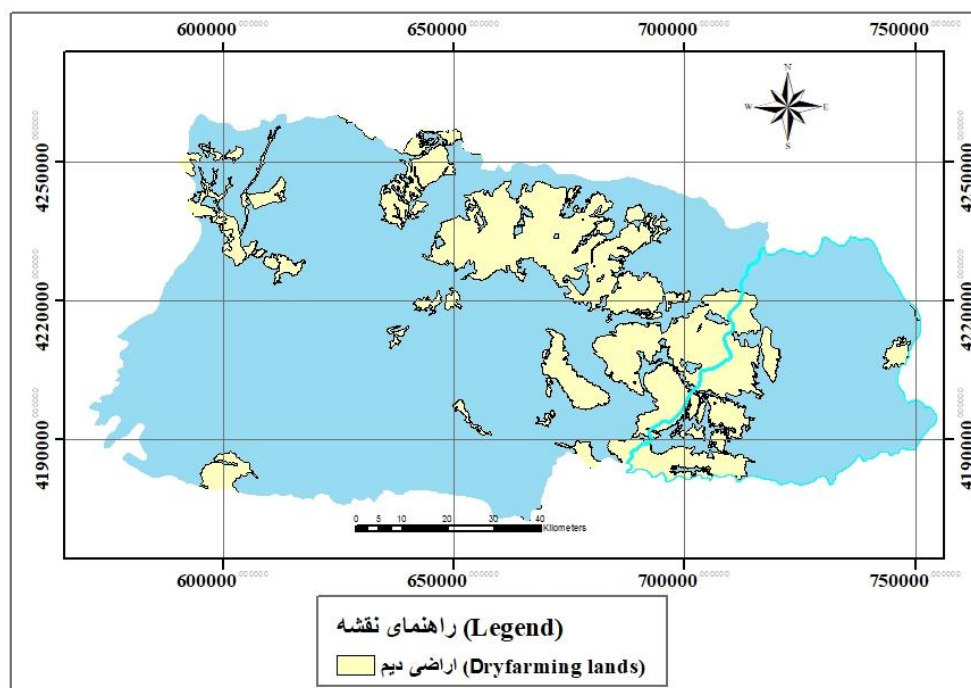
دشت تبریز و رها شدن فاضلاب شهر تبریز در رودخانه آجی‌چای در محل روستای مایان باعث به وجود آمدن جریان دائمی آب در شبکه آبیاری و زهکشی تبریز شده و این اراضی را به اراضی آبی تبدیل کرده‌اند.

در این بخش امکان اجرای آبیاری بارانی در اراضی دیم حوضه بررسی گردید. در اراضی دیم هدف بررسی پتانسیل اراضی دیم از دیدگاه تجهیز به سامانه بارانی صرف‌نظر از وجود یا عدم وجود آب است. اگر آبیاری بارانی در زمین‌های دیم اجرا گردد با توجه به شکل ۵ برای زمین‌هایی که در محدوده دشت‌های بستان‌آباد، هریس و سراب قرار گرفته‌اند نسبتاً مناسب خواهد بود ولی برای دشت تبریز که کیفیت آب زیرزمینی و خاک آن پایین است، اجرای این سامانه دارای محدودیت متوسط می‌باشد. این در حالی است که برای بخشی از اراضی دیم سراب پهنه مناسب هم قابل مشاهده است. در مجموع اجرای سامانه آبیاری بارانی بدون در نظر گرفتن محدودیت آب برای مزارع دیم محدوده مطالعاتی به جز بخش‌هایی از دشت تبریز که دارای محدودیت متوسط و پایین‌تر هستند، مقرون به صرفه خواهد بود، ولی در حالت کلی چنین چیزی قابل توصیه نیست. چراکه با توجه به خشک شدن دریاچه ارومیه این منطقه ظرفیت تبدیل اراضی دیم به آبی را ندارد.

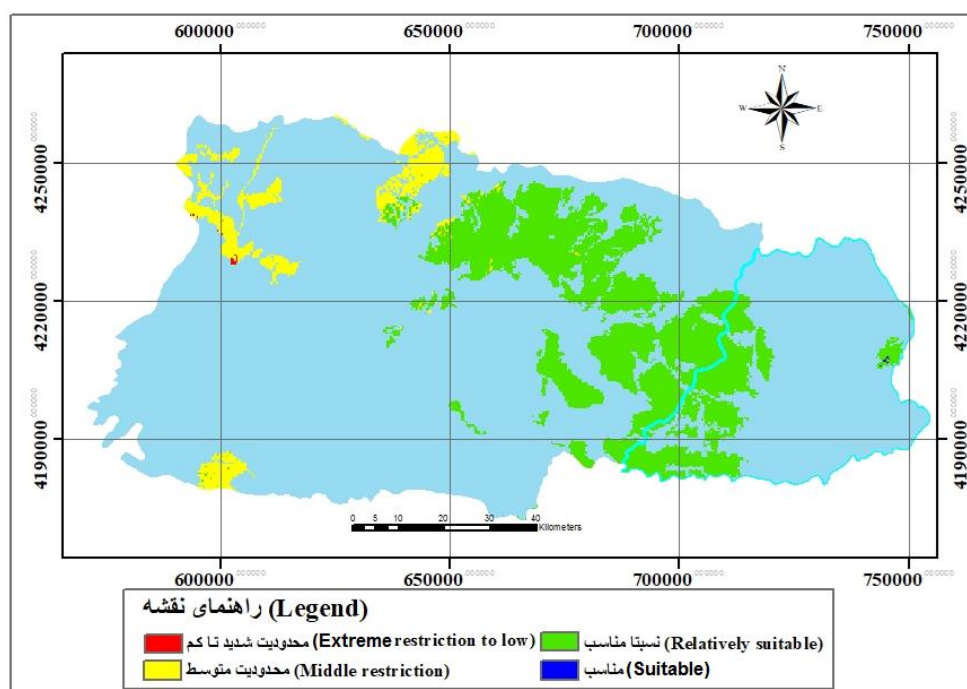
اگر به صورت کلی پهنه‌بندی و مناطق از نظر پتانسیل تجهیز به سامانه آبیاری بارانی جداسازی گردد، مناطق شرق حوضه شامل سراب در ردیف اول، بستان‌آباد در ردیف دوم، منطقه هریس در الویت سوم و دشت تبریز در الویت چهارم قرار می‌گیرد. لذا در صورت تغییر سامانه سنتی به بارانی بایستی سرمایه‌گذاری‌ها از سراب شروع گردد. نتایج پژوهش قره داغی و همکاران در سال ۱۳۹۲ که در شبکه آبیاری و زهکشی باباخان انجام شد (۸) نشان داد، در ۳۷ درصد اراضی محدوده مطالعاتی که معادل ۴۵۹۸ هکتار بود اجرای سامانه آبیاری بارانی مناسب بوده است.

تعیین مناطق هم‌گون آبیاری بارانی برای اراضی دیم محدوده مطالعاتی

اراضی دیم محدوده مطالعاتی در شکل ۴ نشان داده شده است. بر خلاف اراضی زراعی آبی که طبیعتاً در شیب‌های ملایم جای گرفته‌اند اراضی دیم بیشتر در ارتفاعات و شیب‌های تند قرار گرفته‌اند. به دلیل محدودیت منابع آب آبیاری مطابق شکل فوق اراضی دیم در دو دشت بستان‌آباد و هریس بیشتر متمرکز هستند. دشت تبریز در دهه‌های گذشته اغلب به صورت دیم کشت می‌شد، که احداث چاه‌های مجاز و غیر مجاز و احداث سد شهید مدنی تبریز آبرسانی به



شکل ۴- اراضی دیم محدوده مطالعاتی
Figure 4- Rainfed lands in Study area



شکل ۵- نقشه مناطق همگون آبیاری بارانی در اراضی دیم منطقه
Figure 5- Map of homogeneous regions for sprinkler irrigation in rainfed area

تعیین مناطق همگون آبیاری قطره‌ای

در حوضه آجی چای مساحت باغات نسبت به سایر کاربری‌ها کمتر است. اخیراً در این حوضه باغات در حال گسترش بوده و از

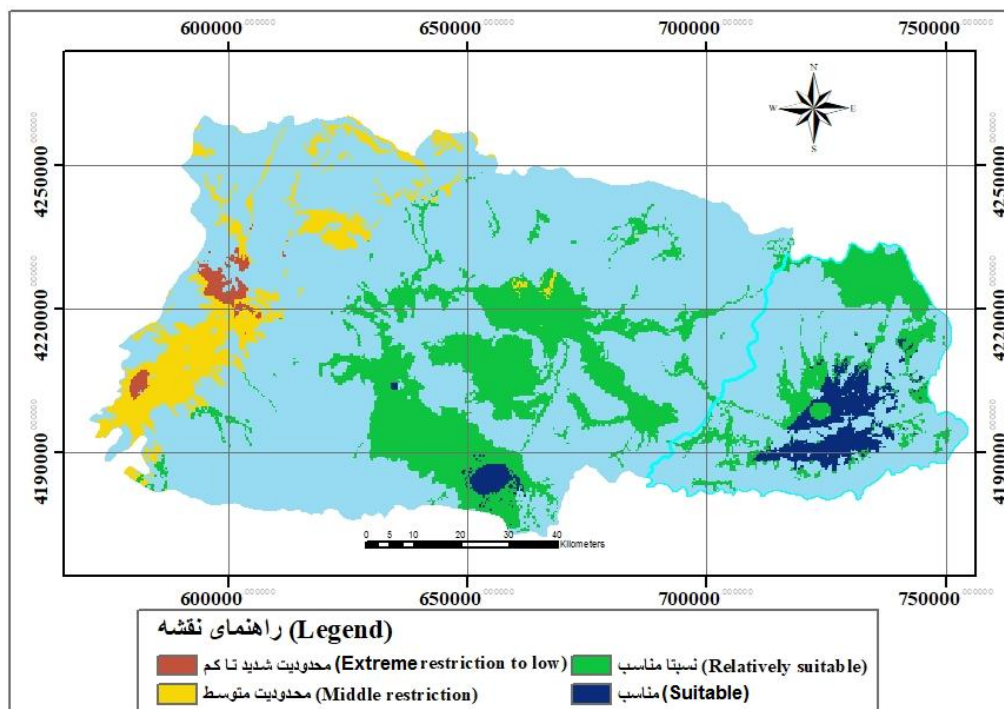
سیستم‌های قطره‌ای نیز بدون توجه به کیفیت آب و خاک استفاده می‌شود. لذا در این مطالعه بدون توجه به سطح باغات موجود امکان اجرای سیستم قطره‌ای برای کلیه اراضی کشاورزی بررسی گردید

یک درصد است، همچنین کیفیت آب آبیاری نه چندان مناسب باعث شده است تا اراضی که آبیاری سطحی در آن‌ها مناسب باشد مشاهده نشود. عامل SAR آب و شیب زمین، از نظر کارشناسان بیشترین اثرگذاری را در اجرای سامانه مورد نظر داشته‌اند. اگر باکارهای مدیریتی و برنامه‌ریزی بتوان این دو پارامتر را اصلاح کرد، اجرای این سامانه در بسیاری از اراضی حوضه مناسب خواهد بود، اما به دلیل اینکه راندمان آبیاری در آبیاری سطحی پایین است و همچنین به دلیل محدودیت منابع آبی این کار توصیه نمی‌شود و بهتر است سرمایه‌گذاری را برای آبیاری تحت فشار که راندمان بالایی دارد، انجام داد. با توجه به شکل ۷ در مناطقی از دشت تبریز اجرای این سامانه دارای محدودیت شدید تا کم است. بیشتر زمین‌های کشاورزی با اجرای این سامانه دارای محدودیت متوسط هستند، نکته قابل توجه در این نقشه عدم وجود کلاس مناسب است. در منطقه سراب و قسمتی از اراضی کشاورزی منطقه هریس اجرای این سامانه نسبتاً مناسب است. البته یک نکته را باید در خصوص استفاده از آبیاری سطحی در نظر گرفت. پیشنهاد می‌گردد اراضی را که روی سفره‌های آب زیرزمینی قرار دارند از نظر تغذیه آب زیرزمینی توسط آبیاری سطحی بررسی گردد تا اجرای سیستم‌های تحت فشار باعث تنزیل بیشتر سطح آب زیرزمینی نگردد.

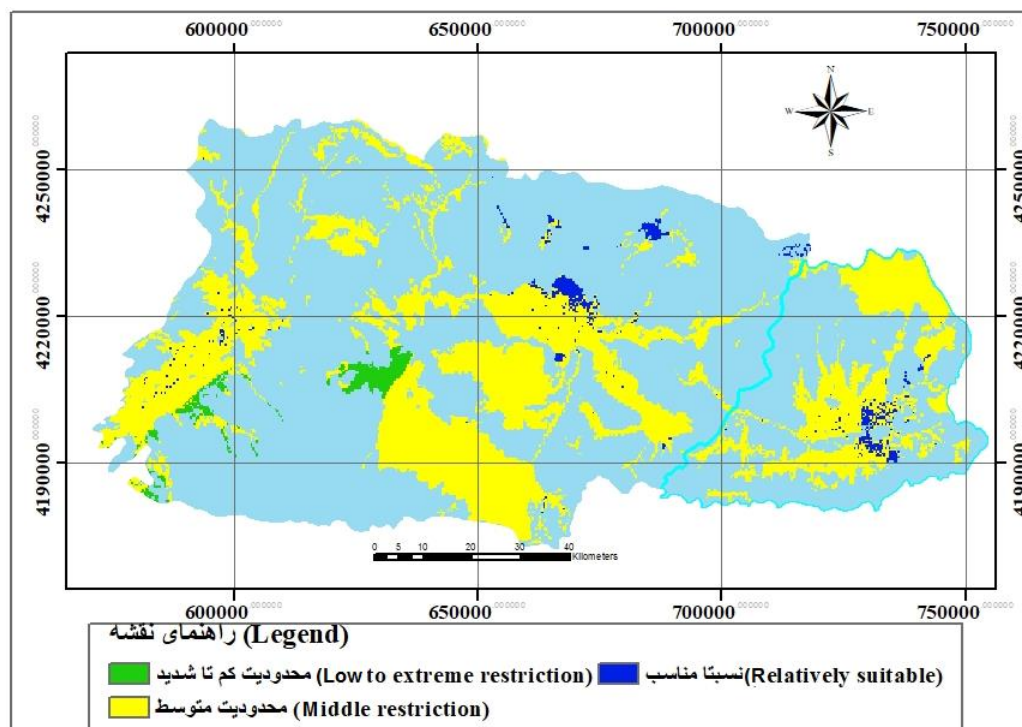
اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای در زمین‌های کشاورزی و در بخش بزرگی از دشت سراب و قسمت‌های جنوبی دشت بستان‌آباد مناسب تعیین گردید. اما در دشت تبریز و زمین‌های مجاور دریاچه ارومیه اجرای این سامانه محدودیت شدیدی را به دنبال خواهد داشت. همانند آبیاری بارانی بیشتر زمین‌های کشاورزی دشت تبریز با محدودیت متوسط مواجه هستند و بیشتر اراضی هریس، بستان‌آباد و سراب اجرای سامانه مورد نظر نسبتاً مناسب به نظر می‌رسد. دلیل عمده این امر کیفیت آب آبیاری است که دخالت زیادی در اجرای سامانه دارد. در مطالعه‌ای که رمزی و همکاران (۱۷) در سال ۹۳، به تعیین مناطق مستعد آبیاری قطره‌ای برای استان خراسان جنوبی پرداختند، به این نتیجه رسیدند که ۵۰ درصد اراضی محدوده مطالعاتی قابلیت اجرای این سامانه آبیاری را دارند و در ۵۰ درصد قسمت باقیمانده در ۹ دشت با اجرای تمهیداتی می‌توان از آبیاری قطره‌ای استفاده نمود. شکل ۶ نقشه مناطق همگون آبیاری قطره‌ای را برای حوضه آبی‌چای نشان می‌دهد.

مناطق همگون آبیاری سطحی

شکل ۷ نقشه مناطق همگون آبیاری سطحی را برای محدوده مطالعاتی آبی‌چای نشان می‌دهد. اجرای آبیاری سطحی با توجه به معیارهایی که در نظر گرفته شده است، چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. شیب اراضی منطقه در بسیاری از اراضی کشاورزی بیشتر از



شکل ۶- نقشه مناطق همگون آبیاری قطره‌ای اراضی کشاورزی محدوده مطالعاتی
Figure 6- Map of homogeneous regions for drip irrigation in studied agricultural lands



شکل ۷- مناطق هم‌گون آبیاری سطحی در اراضی کشاورزی
Figure 7- Map of homogeneous regions for surface irrigation in agricultural lands

نتیجه‌گیری

حوضه آجی‌چای با داشتن مساحتی بالغ بر ۱۲۶۰۰ کیلومتر مربع یکی از بزرگترین زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه می‌باشد. شبکه رودخانه‌ای این حوضه از ۳۶ شاخه اصلی و چندین شاخه فرعی در امتداد حوضه تشکیل شده و این منطقه دارای ۱۰ سفره آب زیرزمینی می‌باشد. وجود پتانسیل منابع آب سطحی و زیرزمینی باعث اهمیت کشاورزی در این حوضه شده است. با وجود پتانسیل آبی این حوضه تغییرات کیفیت آب از شرق به غرب حوضه چشمگیر بوده و در بیشتر قسمت‌ها کیفیت آب پایین است. لذا توجه اساسی به کاربرد انواع روش‌های آبیاری لازم و ضروری است. در این مطالعه با در نظر گرفتن پارامترهای آب، اقلیم و خاک مناطق مناسب و نامناسب برای کاربرد آبیاری‌های سطحی، بارانی و قطره‌ای مشخص شد. بدین صورت که اجرای سامانه آبیاری بارانی در ۳۸۳ هکتار از اراضی کشاورزی بخصوص اراضی غرب حوضه دارای محدودیت شدید است. با دور شدن از دریاچه ارومیه و بسمت شرق حوضه رودخانه کیفیت آب زیرزمینی و سطحی بهتر شده و اجرای این سامانه نیز در ۶۴ درصد اراضی کشاورزی کل حوضه نسبتاً مناسب است. چنانچه در

بخش‌های جنوبی دشت سراب اجرای سامانه مذکور بدون مشکل و محدودیت خواهد بود. همچنین در ۸۰ درصد از اراضی دیم که عمدتاً شامل مناطق هریس و بستان‌آباد و قسمتی از دشت‌های تبریز و سراب می‌شود اجرای سامانه بارانی نسبتاً مناسب بود، ولی برای مزارع دیم تبریز با فرض تبدیل به اراضی آبی اجرای آبیاری بارانی مقرون به صرفه نخواهد بود. با اجرای آبیاری قطره‌ای در اراضی کشاورزی بخش‌های مرکزی و جنوب‌غربی دشت تبریز دارای محدودیت شدیدی خواهد بود، لذا اجرای این سامانه مقرون به صرفه نخواهد بود. در زمین‌های جنوبی دشت بستان‌آباد و سراب بدون مشکل خواهد بود. اما در مزارع دشت تبریز نیز محدودیت متوسط ایجاد می‌شود و در سایر مزارع حوضه نسبتاً مناسب است. برای اجرای سامانه آبیاری سطحی، محدودیت شدیدی در ۴۵۴ هکتار از اراضی به دلیل شیب خیلی بالای زمین یا نفوذپذیری نامناسب وجود دارد. این محدودیت شدید بیشتر در دشت تبریز وجود دارد. در دیگر قسمت‌های دشت تبریز و بخش عمده‌ای از بستان‌آباد و هریس دارای محدودیت متوسط و در ۲۹۷۰۰ هکتار از اراضی اجرای این سامانه که بیشتر زمین‌های بخش جنوبی دشت سراب را شامل می‌شود، بدون محدودیت است.

منابع

- 1- Ahadnejad H., Ebrahimzadeh A., and Shafei Y. 2010. Spatial Organization and Planning of Health Services by the Use of GIS; The Case of Zanjan City, 3: 39-58.
- 2- Albaji M., Landy S., Boroomand Nasab M., and Moravej K. 2008. Land suitability evaluation for surface and drip irrigation in Shavoor plain, Iran, *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7: 955-960.
- 3- Alizadeh A. 2011. Principles of Irrigation Systems Design. Imam Reza University Press.
- 4- Detailed Study Report of Semi-detailed Soil Science in Tabriz Plain. 1992. Company of Regional Water East Azarbaijan -Ardebil.
- 5- Detailed Study Report of Semi-detailed Soil Science in The lands of Kurd Kandi Dam in Bostanabad. 2002. Company of Regional Water East Azarbaijan -Ardebil.
- 6- Detailed Study Report of Semi-detailed Soil Science in Sarab Plain. 1992. Company of Regional Water East Azarbaijan -Ardebil.
- 7- Ebadi H., Liaghat A., and Keshavarz A. 2004. Evaluation of ISYS model of expert decision making system for selecting irrigation system. Second National Student Conference on Soil and Water Resources. University of Shiraz.
- 8- Gharadaghi M.M., Babayi Kh., and Mansoori F. 2014. Potentiality of susceptible regions for pressurized irrigation systems implementation using GIS (Case Study: Babakhan Irrigation and Drainage Network). *Journal of Water and Soil* 27(6): 1111-1122.
- 9- Ghodsipour S.H. 2007. Analytical hierarchy process (AHP), Amirkabir University of Tech. Pub., Tehran.
- 10- Irrigation and Drainage - Issue 286. Publications of Management and Planning of country.
- 11- Guneri A.F., and Cengiz M.S. 2009. A Fuzzy ANP approach to shipyard location selection, Department of industrial Engineering, Yildiz Technical University, Turkey, pp. 7992-7999.
- 12- Mamanpoosh A.R., and Moosavi F. 2006. Water productivity in Zayandehrood irrigation networks (Nekooabad and Abshar). First National Conference on Irrigation and Drainage Management. Ahvaz. University of Chamran, Ahvaz.
- 13- Mehdipour F., and Mesgari M.S. 2007. A model for location based on multi-criteria decision-making methods in GIS. Tehran Geomatics Conference. National Surveying Organization.
- 14- Mehri A. 2007. Potential of Pressure Irrigation Systems in Lorestan Province. M.Sc. Thesis. Faculty of Water Engineering. Chamran University of Ahvaz.
- 15- Neshat A., and Nikpour N. 2011. Locating suitable areas to implementation pressurized irrigation using GIS (Case Study: Kerman Plain). *Journal of Water Resources Engineering* 4: 77-84.
- 16- Naseri A., Rezaia A.R., and Boroomand Nasab M. 2009. Investigation of soil quality for different irrigation system in Lali plain. *Journal of Applied Sciences* 8: 654-659.
- 17- Ramzi R., Khashei-Siuki A., and Shahidi A. 2014. Determination of Suitable Zone of Drip Irrigation using Analytical Hierarchy Process Method in South Khorasan Province, *JWSS* 18(69): 227-236.
- 18- Saaty T.L. 1980. The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York.
- 19- Sedghkia M., Nateghi M.B., Kaviani Kocharkhizi Sh., and Naghipoor N. 2014. Evaluation and Zoning of Irrigation Methods on Etka Organization Lands in Dorud, Using Analytical Hierarchy Process. *Publication Water Research in Agriculture* 4: 749-758.
- 20- Srdjevic B., and Obradovic D. 1997. Reliability and risk in agricultural irrigation. Third International Workshop on Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture, pp 97-102, Hannover, Germany.
- 21- Ziadali S., and Kholghi M. 2001. Evaluation of water efficiency in Moghan irrigation and drainage network based on the new definitions of water productivity. First Water Resources Management Conference. Iranian Water Resources Sciences and Engineering Society. Faculty of Engineering, University of Tehran.



Zoning Application of Irrigation Systems in Ajichay River Basin Lands

N. Arya Azar¹- A. Majnooni Heris^{*2}- R. Delirhasannia³

Received: 09-06-2018

Accepted: 29-04-2019

Introduction: Water as the most limiting factor in agricultural production plays an important role in providing food for population of the country. Therefore, it is necessary to use optimal water resources of the country and increased its productivity. So to improve irrigation efficiency, as well as the proper use of land and available water resources the best irrigation system should be used to supply plant water requirement. This selection is influenced by various factors such as cultivar type, available water content, water quality, soil characteristics, climatic conditions, selective cultivar pattern, labor force skill, and etc. The mentioned effective parameters depending on the region may change. Therefore, it is necessary to identify the homogenies areas for application of irrigation system.

Materials and Methods: The study area is the Ajichay River Basin in East Azarbaijan Province. This basin is located between 37° 30' to 38 ° '30 northern and 45° 24 ' 47° 53' eastern. In this study AHP method and GIS were used for identifying homogeneous zones of irrigated and rainfed areas. Analysis Hierarchical Process method is one of the most comprehensive systems designed for decision making with multiple criteria. This method was first proposed by Thomas El Saaty in 1980, which is based on paired comparisons. This gives managers the opportunity to study different scenarios. In the AHP model, we construct a matrix for comparing two factors. It has two important features, 1- Considering multiple quantitative and qualitative factors in problem solving and 2- The ability to analysis complex issues through hierarchical factors. In this study, to determine the homogeneous irrigation regions, first, the criteria was determined. In AHP method questionnaires were prepared, to score, these questionnaires were provided to the experts of this field. Then using the AHP method the criteria was compared with together. Finally, for each of the criteria, the interpolation maps in the GIS using geostatistical methods were obtained. These maps were divided into different zones using available tables and resources. The maps were combined in their scores in GIS and homogeneous irrigation areas (sprinkler, drip and surface irrigation systems) were selected.

Results and Discussion: In this study, the agricultural lands, including under irrigation lands, dry farming and gardens, were distinguished from non-cultivated lands. In agricultural land of Tabriz plain, applying sprinkler irrigation system has moderate restrictions and some areas face severe restrictions. In the southern parts of Bostanabad plain, the implementation of the sprinkler irrigation system is suitable. The possibility of sprinkler irrigation in dry farming lands was also investigated. Lands that located in the Bostanabad, Heris and Sarab plains will be relatively suitable for sprinkler irrigation. But for the Tabriz plain, the underground water and soil quality are low, applying sprinkler irrigation system has moderate restrictions. However, in Sarab plain, the appropriate area is visible. Implementation of drip irrigation system in the study area, in a large part of the Sarab plain and the southern parts of the plain of Bostanabad were appropriately determined. But in Tabriz plain and lands near the Urmia Lake, the implementation of this system has severe restriction. Like sprinkler irrigation, agricultural land of Tabriz plain has a moderate restrictions. Most areas of Heris, Bostanabad and Sarab plains, for applying this system will be relatively suitable. According to expert, water SAR and land gradients have more effect on the implementation of surface irrigation systems. If we can correct these two parameters with management and planning tasks, the implementation of this system will be appropriate in many areas of the basin. Most agricultural land has a moderate restriction on the implementation of this system.

Conclusion: The AjiChay Basin with an equivalent area of 12600 km² is one of the largest sub basins in Lake Urmia basin. Since agriculture is important in this basin and also the quality of irrigation water in some parts of this basin is low, therefore, it is essential to pay attention to the type of irrigation method. Considering the parameters of water, climate and soil, suitable and unsuitable areas for surface irrigation, sprinkler and drip irrigation systems were determined. Thus, implementing irrigation system in agricultural lands in the margins of

1, 2 and 3- Former Graduate M.Sc. Student and Associate Professors, Water Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Respectively

(*- Corresponding Author Email: majnooni@tabrizu.ac.ir)

Lake Urmia and in some areas, will be severe restrictions. Getting away from Lake Urmia the groundwater quality, which is mainly used for agriculture, using irrigation systems is relatively appropriate.

Keywords: AHP, AjiChay, GIS, Homogeneous Zones of Irrigated Areas, Scoring



بررسی تغییرات زمانی و مکانی توزیع اندازه ذرات رسوب‌های معلق در رودخانه پسیخان استان گیلان

ملیحه ابراهیمی^۱ - حسین اسدی^{۲*} - آرزو شریفی^۳ - عیسی ابراهیمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶

چکیده

بررسی ویژگی‌های فیزیکی ذرات معلق از موضوعات مهم در مطالعه رودخانه‌ها است. یکی از این ویژگی‌ها، توزیع اندازه ذرات رسوب معلق است، که بیان‌گر ارتباط بین منابع رسوب و فرآیندهای رسوب‌گذاری می‌باشد. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات زمانی و مکانی توزیع اندازه ذرات رسوب معلق رودخانه پسیخان در استان گیلان می‌باشد. طی دوره زمانی هفت ماهه از مهر ۱۳۹۲ تا فروردین ۱۳۹۳، از دو ایستگاه هیدرومتری (مبارک‌آباد در بالادست و نوخاله در پایین‌دست) نمونه‌برداری صورت گرفت. به این منظور تعدادی نمونه رسوب معلق با فواصل زمانی ۱۵ روزه به روش انتگراسیون عمقی در شرایط عادی و سیلابی دبی رودخانه برداشت و پس از آماده‌سازی، توزیع اندازه ذرات رسوب به روش پیپت اندازه‌گیری شد. میانگین وزنی قطر ذرات رسوب (MWD) و قطر ذرات با فراوانی ۵۰ درصد (d_{50}) در هر ایستگاه در تاریخ‌های نمونه‌برداری تعیین و منحنی توزیع اندازه ذرات رسم گردید. نتایج نشان داد که مقدار متوسط MWD و d_{50} به ترتیب ۰/۰۶۲ و ۰/۰۵۲ میلی‌متر در ایستگاه مبارک‌آباد و ۰/۰۴۷ و ۰/۰۵۲ میلی‌متر در ایستگاه نوخاله بود. حداکثر MWD و d_{50} به ترتیب ۰/۰۷ و ۰/۰۶۱ میلی‌متر در ایستگاه مبارک‌آباد مشاهده شد. همچنین مطالعه توزیع اندازه ذرات رسوب نشان داد که ذرات کوچک‌تر از دو میلی‌متر در ایستگاه نوخاله بین ۸۷-۹۹ درصد و در ایستگاه مبارک‌آباد بین ۸۳-۹۴ درصد است. علاوه بر این در اکثر نمونه‌برداری‌ها، بین دبی جریان و اندازه ذرات رسوب معلق ارتباطی وجود نداشت که نشان‌دهنده طبیعت غیرهیدرولیکی و تأثیر متغیرهای متفاوت دیگر مثل منشأ رسوبات، تاریخ و انرژی انتقال، توانایی فرسایش‌پذیری و ته‌نشینی در اندازه ذرات رسوبات معلق در جریان رودخانه‌ای است. همچنین براساس نتایج اندازه ذرات رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد درشت‌تر از ایستگاه نوخاله می‌باشد که این موضوع را می‌توان به نوع فرسایش موجود در منطقه و برداشت شن از رودخانه نسبت داد. در نواحی بالادست به دلیل کوهستانی بودن احتمال وقوع فرسایش خندقی و زمین‌لغزش بیش‌تر، در حالی که در پایین‌دست فرسایش عمدتاً پاشمانی و ورقه‌ای است. ضمن اینکه با کاهش شیب عمومی رودخانه، ذرات درشت‌تر قبل از رسیدن به ایستگاه نوخاله ته‌نشین می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: بار رسوب، روش پی‌پیت، فرسایش، قطر میانه، میانگین وزنی قطر ذرات

مقدمه

زیستن انسان در کره زمین را نیز تعیین می‌نماید (۲۰). فرسایش آبی باعث بروز مشکلات فراوانی در زمین‌های کشاورزی و محیط زیست می‌شود (۲۳، ۲۴ و ۲۶). یکی از ویژگی‌های مکانیکی بسیار مهم که تأثیر زیادی بر روی تنش برشی جریان داشته و در فرسایش کنار رودخانه‌ای نیز مؤثر است، توزیع اندازه ذرات رسوب می‌باشد (۲۷). مطالعه توزیع اندازه ذرات رسوب موجود در سامانه‌های رودخانه‌ای از دیدگاه‌های مختلفی از جمله درک رفتار هیدرودینامیکی جریان و رسوب حائز اهمیت است (۳۷). از آن جایی که بار معلق به‌طور متوسط بیش از ۸۵ درصد بار کل حوضه آبخیز را شامل می‌شود (۱۷)، ژئومورفولوژیست‌ها و هیدرولوژیست‌ها رسوب‌های معلق را به دلیل فراهم‌سازی اطلاعات مهمی درباره فرآیند فرسایش و تولید رسوب مد نظر قرار می‌دهند (۴۵). برآورد بار رسوب حوضه آبخیز و تغییرات

مهم‌ترین پدیده در فرآیندهای پوسته زمین جریان آب‌ها است و رودخانه‌ها نه تنها در سیمای کلی زمین نقش دارند، بلکه شکل

۱ و ۴- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: ho.asadi@ut.ac.ir)

۳- دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

زمانی آن برای حل مشکلاتی نظیر طراحی سدها و انتقال آلاینده‌ها، طراحی عملیات حفاظتی خاک و تعیین عوامل موثر مدیریت آبخیز و غیره مورد نیاز است (۴۶). فهم بهتر دینامیک توزیع اندازه ذرات، درک فرایندهای فرسایش و رسوب‌گذاری را آسان کرده و مدل‌سازی فرسایش را بهبود می‌بخشد. همچنین نحوه انتقال عناصر غذایی و آلوده‌کننده‌ها از زمین‌های کشاورزی و حوضه‌های آبریز به آبراهه‌ها را به آسانی توصیف می‌کند (۳ و ۲۵). ترکیب اندازه ذرات رسوب معلق ارتباط بین منابع، انتقال، نشست و خروجی رسوب معلق را نشان می‌دهد که به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم رسوب در حوضه‌های آبخیز و رودخانه‌ها شناخته می‌شود (۱، ۳۲ و ۳۶).

اندازه ذرات رسوب‌های معلق یکی از ویژگی‌های مهم هیدرولوژی و ژئومورفولوژی رسوب‌های رودخانه‌ای است که تأثیر فراوانی بر فرآیند رسوب‌زایی و مصرف انرژی دارد و بیان‌گر ترکیب‌های مواد سطح زمین در حوضه آبخیز می‌باشد. این پارامتر یکی از متغیرهای کلیدی در طراحی ابعاد و ویژگی‌های تله‌های رسوب‌گیر می‌باشد. بنابراین تغییرات زمانی اندازه ذرات رسوب معلق رودخانه، فرآیندهای رسوب‌زایی مانند فرسایش، انتقال و ته‌نشینی را هم در حوضه آبخیز و هم در مجاری رودخانه منعکس می‌کند (۴۵، ۴۶ و ۴۷). به همین دلیل پژوهشگران مختلفی در سال‌های اخیر توزیع اندازه ذرات رسوب معلق را از دیدگاه‌های مختلفی مورد توجه قرار داده‌اند. وودوارد و والینگ (۴۴) به بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و انتقال ذرات رسوبی معلق ترکیبی در سامانه رودخانه پرداختند. ویلیامز و همکاران (۴۲) نیز ویژگی‌های اندازه ذرات رسوب معلق در رودخانه اگز^۱ را در مقیاس زمانی گوناگون بررسی کردند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که توزیع اندازه ذرات رسوب معلق تحت شرایط عادی و سیلابی بسیار متفاوت می‌باشد. زو (۴۵) به بررسی ارتباط بین اندازه ذرات رسوب معلق، دبی آب و غلظت رسوب معلق در رودخانه زرد پرداخت. همچنین زو (۴۶) به بررسی ارتباط بین توزیع اندازه ذرات و کاربری اراضی در حوضه آبریز رودخانه دن چین نیز پرداخته است. لنزی و همکاران (۱۸) تغییرات درون سالی رسوب‌های معلق و اندازه ذرات آن‌ها را در حوضه آبخیز آلپ مورد بررسی قرار دادند. هرتیشیا و همکاران (۱۱) ویژگی‌های اندازه ذرات رسوب معلق منتقل شده با برف‌آب‌های ناشی از هیمالیای مرکزی، تغییرات مکانی و منشا اثر آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. والینگ و همکاران (۴۰) به بررسی مؤلفه‌های اندازه ذرات رسوب معلق در رودخانه هومیر و توود^۲ در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف پرداخته و در مقیاس زمانی به بررسی تغییرات دبی در زمان وقوع رگبار و در فصل‌های مختلف و

تأثیر آن در انتقال توزیع اندازه ذرات و ارتباط بین آن‌ها پرداختند. گاوو و همکاران (۱۰) تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب معلق ناشی از فرسایش توده‌ای را در چین بررسی کردند. نتایجی که این پژوهشگران به‌دست آوردند نشان داد که در اثر فرسایش بخش ذرات اندازه شن از ۷۱ به ۵۰ درصد کاهش یافته، در حالی که بخش رس و سیلت به طور معنی‌داری از ۱/۳ به ۷/۳ و از ۲۷/۵ به ۴۱/۹ افزایش یافته است. که این ریزتر شدن اندازه ذرات باعث حرکت آسان‌تر رسوب به سمت کانال می‌شود. همچنین مشاهده شد که d_{50} و یکنواختی اندازه ذرات رسوب کاهش یافته است، که نشان‌دهنده غیریکنواختی و نامنظمی توزیع اندازه ذرات رسوب معلق می‌باشد. صادقی و سینگ (۳۳) غلظت رسوب معلق، دبی جریان و توزیع اندازه ذرات رسوب را در داده‌های ۲۴ ایستگاه رسوب‌سنجی در امریکا بررسی کردند. بیش‌تر ایستگاه‌ها تفاوت معنی‌داری در غلظت رسوب معلق روزانه (از ۱۸ ایستگاه؛ یکی افزایش و ۱۷ مورد کاهش)، دبی جریان (از ۱۹ ایستگاه؛ هفت مورد افزایش و ۱۲ مورد کاهش)، و درصد اندازه ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرون (از ۱۵ ایستگاه؛ ۵ مورد افزایش و ۱۰ مورد کاهش) نشان داد. صادقی و کیانی هرچگانی (۳۵) تغییرات مکانی و زمانی توزیع اندازه ذرات رسوب معلق را در رودخانه کجور بررسی کرده و مشاهده کردند که تغییرات مکانی و زمانی ماسه و سیلت در رسوبات چشم‌گیر بوده ولی میزان رس تغییر نداشت. همچنین کیانی هرچگانی و صادقی (۱۴) در مطالعه‌ای دیگر خصوصیات اندازه ذرات رسوب معلق انتقالی را در جریان پایه و سیلابی رودخانه کجور بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که حداکثر مقدار ماسه در شرایط پایه و حداکثر مقدار لای و رس در شرایط سیلابی به وقوع پیوسته است. در پژوهشی دیگر صادقی و ذاکری (۳۲) توزیع ذرات رسوب معلق را در شرایط مختلف دبی جریان رودخانه با استفاده از دستگاه تعیین قطر لیزری تعیین کردند. نتایج آنها نشان داد که ذرات معلق این رودخانه طی مدت نمونه‌برداری و در شرایط مختلف در بازه قطری ۰/۸۲ تا ۳۵۳/۵۵ میکرون قرار داشته و سهم اصلی ترکیب بار معلق را ذرات سیلت تشکیل داده است.

رودخانه پسیخان از ارتفاعات ۲۸۰۰ متری استان گیلان سرچشمه می‌گیرد، از سرشاخه‌های اصلی سیاه‌مزگی، چوبر (امامزاده ابراهیم) و چناررودخان تشکیل شده است. این رودخانه یکی از اصلی‌ترین رودخانه‌های گیلان است که پس از عبور از روستای پسیخان، در ناحیه شرقی تالاب انزلی تخلیه می‌شود (۲). علی‌رغم اهمیت توزیع اندازه ذرات رسوب، موضوع بررسی تغییرات اندازه ذرات رسوب و به ویژه رسوبات معلق و تغییرات مکانی و زمانی آن سابقه‌ای چندان طولانی در جهان (۱۰) و ایران ندارد (۳۲ و ۳۵). برای مدیریت بهتر و کارآمدتر رودخانه‌ها و مسایل مربوط به آن داشتن اطلاعات از توزیع اندازه ذرات رسوب بسیار ضروری است لذا، هدف از این مطالعه بررسی توزیع اندازه‌ی رسوب معلق در دبی جریان عادی و ارتباط آن

1- Exe

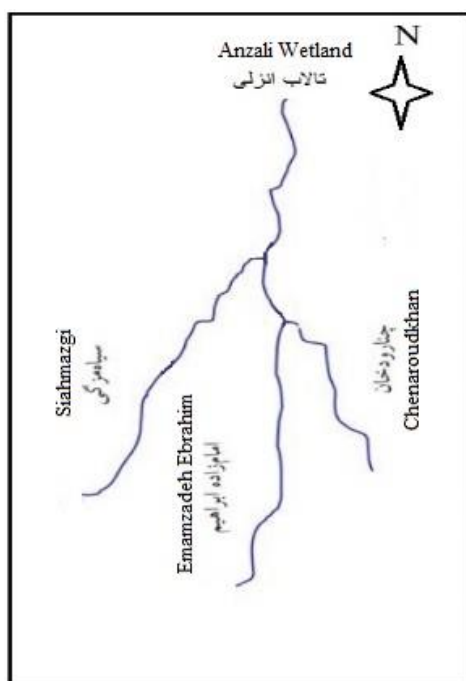
2- Humber and Tweed catchments

با بار رسوب و دبی جریان در دو نقطه بالادست و پایین‌دست از رودخانه پسیخان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی رودخانه پسیخان در استان گیلان با طول تقریبی ۹۴/۴۵ کیلومتر و حوضه آبریزی به مساحت ۷۳۵ کیلومتر مربع انجام پذیرفته است که در محدوده طول جغرافیایی ۸° ۴۹' تا ۳۴' ۴۹° طول شرقی و ۵۴' ۳۶° تا ۲۷' ۳۷° عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). حوضه آبریز پسیخان دارای محیط ۱۶۳/۹۲ کیلومتر می‌باشد. حداکثر ارتفاع در آن ۲۸۰۰ متر و ارتفاع متوسط حوضه، ۶۰۱/۴ متر است. شیب خالص شاخه اصلی، ۳/۰۸ درصد و شیب متوسط حوضه، ۱۹/۶۲ درصد می‌باشد. زمان تمرکز شاخه اصلی ۱۱/۹۶ ساعت و زمان تاخیر آن ۷/۱۶ ساعت گزارش شده است. رودخانه پسیخان مهم‌ترین رودخانه منطقه فومنات می‌باشد و از دو شاخه اصلی با نام‌های چوبر (امامزاده ابراهیم) و سیاه‌مزگی و یک شاخه کوچک‌تر با نام چنارودخان تشکیل شده است. دو شاخه اول در حدود ۲ کیلومتر بالاتر از روستای نهزم به یکدیگر متصل شده و شاخه چنارودخان در محل این روستا به رودخانه اصلی می‌پیوندد. جهت جریان در دو شاخه اصلی رودخانه از جنوب غرب و جنوب به سمت شمال بوده که در مسیر شاخه‌های متعدد کوچک دیگری به آنها اضافه می‌گردد. طول رودخانه سیاه‌مزگی که از ارتفاعات ۲۸۰۰ متری

سرچشمه می‌گیرد و طولانی‌تر از بقیه شاخه‌های رودخانه پسیخان است، از سرچشمه تا محل الحاق به چوبر برابر ۵۴ کیلومتر بوده و از این نقطه تا تالاب نیز حدود ۴۰ کیلومتر می‌باشد. نمونه‌برداری در دو نقطه، یکی در ابتدای دشت به نام ایستگاه هیدرومتری مبارک‌آباد و دیگری در محل پایین‌دست به نام ایستگاه هیدرومتری نوخاله انجام گرفته است (شکل ۲). طی زمان مورد مطالعه براساس اطلاعات اداره کل هواشناسی استان گیلان، میزان بارندگی ماهانه در ایستگاه مبارک‌آباد با عنوان ارتفاعات و هم‌چنین در ایستگاه نوخاله که به عنوان منطقه دشت نام‌گذاری شده است، به تفکیک ماه‌های مورد نظر در جدول ۱ آمده است. برای ارتفاعات در آبان ماه بیش‌ترین مقدار و برای منطقه دشت نیز مهر دارای بیش‌ترین بارندگی می‌باشد. علاوه بر این در ایستگاه مبارک‌آباد ۱۳ درصد از رسوب به صورت بار بستر است و در ایستگاه نوخاله نیز این مقدار تفاوت زیادی نکرده است اما تفاوت در مقدار بار بستر است که در ایستگاه نوخاله سه برابر مقدار رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد است. فرسایش ویژه بدست آمده سالانه در ایستگاه مبارک‌آباد، ۴۶۸/۱۴ تن در هزار بر کیلومترمربع در سال و نیز در ایستگاه نوخاله به میزان ۲۳۵/۴ تن در هزار بر کیلومترمربع در سال گزارش شده است. برآورد رسوب معلق سالانه در ایستگاه نوخاله، ۱۸۳/۷۲ تن در هزار و ایستگاه مبارک‌آباد ۵۶/۸۸ تن در هزار است. برای هر دو ایستگاه بیشترین مقدار رسوب‌های معلق در مهر ماه (نوخاله ۴۱ و مبارک‌آباد ۱۰/۷ تن در هزار) مشاهده شده است (۴).



شکل ۱- رودخانه پسیخان و سرشاخه‌های آن
Figure 1- Pasikhan River and its branches



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه پسیخان
Figure 2- Location of hydrometric stations of Pasikhan River

جدول ۱- میزان بارندگی ماهانه در ارتفاعات و دشت محدوده فومانات (میلی‌متر)

Table 1- The monthly rainfall in the highlands and plains of Foumanat (mm)

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	سالانه
	September	October	November	December	January	February	March	Annual
ارتفاعات Highland	106	140	125	91	114	117	130	1236
دشت Plain	185	163	144	101	95	92	71	1271

تعیین گردید. لازم به توضیح است که مقدار کل املاح محلول در هر نمونه نیز جداگانه محاسبه شده و از مقدار کل رسوب در هر نمونه کسر گردید تا وزن رسوب واقعی به دست آید.

با توجه به داشتن پارامتر اندازه کلاس ذرات و نیز مقدار رسوب در هر کلاس، درصد فراوانی و نیز درصد تجمعی ذرات محاسبه شد و منحنی تجمعی برای هر کدام از ایستگاه‌ها جداگانه رسم گردید. پس از به دست آوردن درصد تجمعی قطر ذرات کوچک‌تر از قطر معین که به صورت روزانه تفکیک شده است، می‌توان نمودار درصد تجمعی ذرات را رسم کرد. اندازه قطر ذرات بر اساس تقسیم‌بندی اروپایی، به چهار گروه شن ریز ($0/2\text{ mm}$)، سیلت درشت ($0/6\text{ mm}$)، سیلت متوسط ($0/2\text{ mm}$) و رس (مساوی و کوچک‌تر از $0/06\text{ mm}$) تقسیم‌بندی شد. قطر میانه d_{50} (قطری از ذرات که ۵۰ درصد ذرات از این قطر کوچکتر هستند) نیز از روی منحنی تجمعی

نمونه‌برداری از رسوب معلق به روش انتگرالسیون عمقی در دو ایستگاه مبارک‌آباد و نوخاله در شرایط عادی و رخداد سیلاب انجام گرفت. نمونه‌ها به مدت هفت ماه از تاریخ ۹۲/۰۷/۱۵ تا ۹۳/۰۱/۳۱ از قسمت وسط آب رودخانه با ظروف پلاستیکی دو لیتری (۹ و ۱۹) برداشته شد. در شرایط عادی جریان، هر ۱۵ روز نمونه آب رودخانه در حال جریان برداشته و به آزمایشگاه منتقل شد. توزیع اندازه ذرات رسوب در نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه و مراحل آماده‌سازی، بر اساس قانون استوکس و اندازه‌گیری در زمان‌های ۳۰، ۱۸۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰، ۱۸۰۰، ۳۶۰۰، ۵۴۰۰، ۷۲۰۰، ۹۰۰۰، ۱۰۸۸۰، ۱۸۶۴۰۰ ثانیه از عمق ۱۰ سانتی‌متری سیلندر به روش پیت تعیین شد (۱۹). مقدار نمونه به داخل ظروف آلومینیومی با وزن اولیه مشخص ریخته شده و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک شد. توزیع اندازه ذرات شن ته‌نشین شده نیز به روش جدا کردن با الک

غلظت مشاهده شده، مربوط به نیمه دوم آذر ماه، به مقدار ۱/۱۰ گرم بر لیتر با دبی جریان ۳/۹۸ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. به طور کلی با مقایسه مقدار رسوب در دو ایستگاه در زمان‌های مشابه مشاهده می‌شود که غلظت رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد نسبت به نوخاله کمتر است. این موضوع نشان‌دهنده این است که مقدار رسوب در طول رودخانه افزایش خواهد یافت و تغییرات مکانی در مقدار رسوب مشاهده می‌گردد. علت این افزایش را می‌توان به این صورت بیان نمود که در ابتدای مسیر عامل محدود کننده برای انتقال رسوب عدم وجود ذرات به اندازه کافی است اما در طول مسیر مقدار ذرات وارد شده به رودخانه افزایش یافته است و مساحت بیش‌تری تحت تأثیر حرکت آب قرار گرفته، و در نتیجه در انتهای مسیر مقدار رسوب بیش‌تر است. منشاء تامین رسوبات می‌تواند اراضی شالیزاری باشد. تغییر در ویژگی‌های رسوب، در مکان‌های مختلف، حاصل فرایندهای زیادی است که در بیش از یک دوره زمانی اتفاق افتاده است (۱۵). عوامل خاکی، زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی باعث ایجاد این تغییرات هستند. از عوامل مؤثر در ایجاد رسوب و تغییرپذیری زمانی و مکانی آنها می‌توان به فرایندهای مجاری رودخانه، شامل جورشدگی، سایش، شکستگی، تأثیر منابع شاخه‌های فرعی روی ویژگی‌های رسوب رودخانه اصلی، و تغییرپذیری جریان اشاره کرد که در دهه‌های اخیر بسیاری از پژوهشگران آن را مطرح کرده‌اند (۷، ۱۶ و ۳۱). طبق آمار رسوب‌سنجی دریافتی از سازمان آب منطقه‌ای گیلان برای دوره آماری ۸۱ تا ۹۴ حداکثر غلظت رسوب اندازه‌گیری شده برای ایستگاه‌های مبارک‌آباد و نوخاله به ترتیب ۴۳۱۰ و ۵۸۱۸ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر دبی جریان متناظر آنها به ترتیب ۸۰/۷ و ۳۱۲/۶ متر مکعب بر ثانیه بوده است.

توزیع اندازه ذرات رسوب در ایستگاه‌ها

توزیع اندازه ذرات رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد و نوخاله به ترتیب در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. در کل نمونه‌برداری‌های انجام شده، مقدار ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۲ میلی‌متر در ایستگاه مبارک‌آباد ۸۳-۹۴ و در ایستگاه نوخاله ۸۷-۹۹ درصد است. هم‌چنین ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۶ میلی‌متر به ترتیب در ایستگاه مبارک‌آباد و نوخاله بین ۶۷-۵۰ و ۴۷-۸۹ درصد متغیر است. ضمن اینکه درصد ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۲ و ۰/۰۰۶ میلی‌متر به ترتیب در ایستگاه مبارک‌آباد بین ۳۳-۱۲ و ۱۶-۳ درصد و در ایستگاه نوخاله بین ۶۴-۱۰ و ۲۴-۵ درصد تغییر کرده است.

به دست آمد. مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) بر اساس رابطه ۱ تعیین گردید و در هر ایستگاه هیدرومتری جداگانه محاسبه شد.

نمایه میانگین وزنی قطر ذرات (MWD) از معادله ارایه شده توسط وان‌باول (۳۹) تعیین شد (معادله ۱).

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad (1)$$

X_i معادل با میانگین قطر ذرات رسوب در هر قرائت و W_i نیز نسبت وزن رسوب در هر قرائت به وزن کل رسوب می‌باشد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم افزار Excel 2013 استفاده شده است.

نتایج و بحث

دبی جریان و غلظت رسوب

دبی جریان و غلظت رسوب در دو ایستگاه نوخاله و مبارک‌آباد در جدول ۲ آمده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده شده است، بیش‌ترین دبی جریان در ایستگاه نوخاله مربوط به ۹۲/۱۱/۱۵ به مقدار ۵۱/۴ متر مکعب بر ثانیه و کمترین دبی جریان مربوط به اواخر فروردین به مقدار ۵/۲۷ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. زیاد بودن دبی در بهمن ماه را می‌توان به وقوع بارندگی‌های شدید در ماه‌های قبل و اشباع شدن خاک نسبت داد. ضمناً با توجه به رخداد این بارندگی‌ها در فصل زمستان که پوشش گیاهی مناسب در منطقه وجود ندارد، رواناب و در نهایت حجم آب رودخانه افزایش می‌یابد. هم‌چنین پایین بودن دبی فروردین می‌تواند به علت کاهش بارندگی در این ماه و بهبود وضعیت پوشش گیاهی و نهایتاً افزایش نفوذ آب در خاک باشد. بیش‌ترین غلظت رسوب به دست آمده به مقدار ۴/۱۶۲ گرم در لیتر در تاریخ ۹۲/۸/۱۲ و کمترین غلظت رسوب نیز در نیمه دوم آذر ماه مشاهده شده که مقدار آن ۱/۲۷۵ گرم بر لیتر با دبی جریان ۱۹/۶ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. در فصل زمستان به دلیل بارندگی زیاد و اثر رقت مقدار رسوب به کمترین حد می‌رسد این در حالی است که در سایر زمان‌ها به دلیل کاهش حجم آب مقدار رسوب افزایش پیدا می‌کند.

بیشترین دبی جریان به دست آمده در ایستگاه مبارک‌آباد مربوط به نیمه دوم بهمن ماه به مقدار ۹/۸ متر مکعب بر ثانیه و کمترین دبی جریان مربوط به نیمه دوم دی ماه به مقدار ۱/۴۳ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد (جدول ۲). در مورد غلظت رسوب به دست آمده، بیش‌ترین مقدار، ۲/۶۳۳ گرم در لیتر است که مربوط به نیمه اول فروردین ماه می‌باشد، این در حالی است که مقدار دبی جریان محاسبه شده در این تاریخ، ۱/۷۰ متر مکعب بر ثانیه به دست آمده است. کم‌ترین مقدار

جدول ۲- دبی جریان و غلظت رسوب رخدادهای اندازه‌گیری شده در دو ایستگاه

مبارک آباد Mobarakabad			نوخاله Nokhaleh	
تاریخ Date	غلظت رسوب Sediment concentration (g.L ⁻¹)	دبی جریان Flow discharge (m ³ .s ⁻¹)	غلظت رسوب Sediment concentration (g.L ⁻¹)	دبی جریان Flow discharge (m ³ .s ⁻¹)
92/07/15 (2013.10.07)	-	-	3.259	41.5
92/08/02 (2013.10.24)	-	-	2.413	29.0
92/08/12 (2013.11.03)	-	-	4.162	45.3
92/09/15 (2013.12.06)	1.293	7.13	1.576	36.5
92/09/30 (2013.12.21)	1.101	3.98	1.275	19.6
92/10/15 (2014.01.05)	1.329	2.24	1.809	14.9
92/10/30 (2014.01.20)	1.429	1.43	1.479	9.49
92/11/15 (2014.02.04)	1.538	3.68	1.284	51.4
92/11/30 (2014.02.19)	1.595	9.80	1.420	25.3
92/12/15 (2014.03.06)	1.477	4.90	1.360	16.9
93/01/03 (2014.03.23)	-	-	1.622	35.3
93/01/15 (2014.04.04)	2.633	1.70	2.257	26.0
93/01/31 (2014.04.20)	1.461	1.68	2.558	5.27

در مورد ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۶ میلی‌متر نیز کمترین مقدار محاسبه شده در ایستگاه مبارک‌آباد مربوط به نمونه‌برداری نیمه دوم آذر ماه با دبی ۳/۹۸ متر مکعب در ثانیه و غلظت رسوب ۱/۱۰۱ گرم در لیتر بوده است. بیش‌ترین مقدار به دست آمده نیز مربوط به نمونه‌برداری نیمه اول فروردین ماه است، که دبی جریان آن ۲/۶۹ متر مکعب بر ثانیه و غلظت رسوب آن ۲/۶۳۳ گرم در لیتر است. همچنین کمترین مقدار ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۶ میلی‌متر در ایستگاه نوخاله در نمونه‌برداری نیمه دوم فروردین ماه با دبی ۵/۲۷ متر مکعب در ثانیه و غلظت رسوب ۲/۵۸۸ گرم در لیتر و بیش‌ترین مقدار آن نیز از نمونه‌برداری نیمه دوم بهمن ماه به دست آمده است. در ایستگاه مبارک‌آباد کم‌ترین درصد ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۰۲ میلی‌متر در نیمه دوم آذر ماه با دبی ۲/۶۹ متر مکعب بر ثانیه و غلظت رسوب ۲/۶۳۳ گرم در لیتر و بیش‌ترین مقدار آن نیز در نیمه اول فروردین ماه مشاهده شده است. در ایستگاه نوخاله نیز کمترین مقدار محاسبه شده مربوط به نمونه‌برداری تاریخ ۹۲/۸/۱۲ است، که دبی و غلظت رسوب آن به ترتیب ۴۵/۳ متر مکعب در ثانیه و ۴/۱۶۲

کمترین مقدار ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۲ میلی‌متر، در ایستگاه مبارک‌آباد مربوط به نمونه‌برداری نیمه اول بهمن ماه است که دبی جریان محاسبه شده در آن ۳/۶۸ متر مکعب در ثانیه و هم‌چنین غلظت رسوب آن نیز ۱/۵۳۸ گرم در لیتر به دست آمده است. بیش‌ترین مقدار به دست آمده نیز مربوط به نمونه‌برداری نیمه اول فروردین ماه است که دارای دبی جریان ۱/۶۹ متر مکعب بر ثانیه و غلظت رسوب ۲/۶۳۳ گرم در لیتر است. در سایر نمونه‌برداری‌های انجام شده مقدار درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۲ میلی‌متر تقریباً نزدیک به هم به دست آمده است. علاوه بر این در ایستگاه نوخاله کمترین مقدار ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۲ میلی‌متر مربوط به نمونه‌برداری نیمه دوم فروردین ماه است که دبی جریان آن ۵/۲۷ متر مکعب در ثانیه و غلظت رسوب ۲/۵۸۸ گرم در لیتر دارد. بیش‌ترین مقدار به دست آمده نیز همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود مربوط به چند نمونه‌برداری است که مقدار ۹۹ درصد محاسبه شده است. در بقیه نمونه‌برداری‌های انجام شده مقدار درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطر ۰/۲ میلی‌متر ما بین اعداد ذکر شده می‌باشد.

گرم در لیتر به‌دست آمده است.

از نظر درصد ذرات کوچک‌تر از قطر 0.06 میلی‌متر، کمترین مقدار محاسبه شده در ایستگاه مبارک‌آباد مربوط به نمونه‌برداری نیمه دوم آذر ماه و در ایستگاه نوخاله مربوط به نیمه دوم فروردین ماه است. بیش‌ترین مقدار به‌دست آمده نیز در ایستگاه مبارک‌آباد در نیمه اول فروردین ماه مشاهده شده است که دبی جریان $2/69$ متر مکعب بر ثانیه و غلظت رسوب $2/633$ گرم در لیتر است. بیش‌ترین مقدار اندازه‌گیری شده در ایستگاه نوخاله نیز مربوط به نمونه‌برداری نیمه دوم بهمن ماه است که دبی جریان آن $25/38$ متر مکعب بر ثانیه و غلظت رسوب آن نیز $1/420$ گرم در لیتر است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در نواحی کوهستانی که شیب رودخانه زیاد است، قطعات درشت سنگ به همراه دانه‌های خرد شده شن و ماسه، و در مناطق کوهپایه‌ای و در آستانه ورود به نواحی جلگه‌ای دانه‌های رسوبی با قطر کم دیده می‌شوند (40) مطالعات گذشته حکایت از آن دارد که توزیع اندازه ذرات به شیب رودخانه، شدت جریان آب و انتقال انتخابی ذرات بستگی دارد (5 ، 21 ، 22 ، 38 و 41). شیب زیاد رودخانه در بالادست توان انتقال را افزایش داده و امکان حمل مواد رسوبی درشت‌دانه را فراهم می‌کند. در قسمت پایین‌دست با کاهش شیب طولی، مواد درشت‌دانه ته‌نشین شده و رسوبات ریزدانه فرصت انتقال پیدا می‌کنند. همچنین از عوامل هواشناسی موثر بر انتقال رسوب می‌توان به شدت بارندگی و مدت دوام آن اشاره کرد که در تعیین نرخ فرسایش و انتقال خاک به شبکه آبراهه‌ها اهمیت دارند. ضمن اینکه ویژگی‌های ریخت‌شناسی رودخانه‌ها نیز بر پدیده انتقال رسوب تأثیرگذار است (13). همچنین از جمله عواملی که بر انتقال رسوب و توزیع اندازه ذرات آن مؤثر است انتقال انتخابی است. انتقال انتخابی

برای بار بستر زمانی اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند که تنش برشی کمی بالاتر از تنش برشی بحرانی برای حرکت ذرات باشد (8). بنابراین انتقال انتخابی به طور عمده توسط قدرت هیدرولیکی نیروهای رودخانه کنترل می‌شود. همچنین مطالعات فراوانی وجود دارد که نقش انتقال انتخابی را در روند ریز شدن ذرات رسوب به سمت پایین‌دست نشان می‌دهند (29 و 30). مقدار رسوب حمل شده به اندازه دانه‌های موجود در بستر و کناره‌ها نیز بستگی دارد. مواد رسوبی ریزدانه به مراتب بیش‌تر از دانه‌های درشت حمل می‌شوند. همان‌گونه که ملاحظه شد در بین نمونه‌برداری‌های انجام شده در فواصل زمانی و فصول مختلف در ایستگاه نوخاله، درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطرهای معین نسبت به هم متفاوت است که تنها در قطر کوچک‌تر از 0.2 میلی‌متر مقادیر مشابه زیاد دیده می‌شود. اگر مقدار دبی جریان در نمونه‌های اندازه‌گیری شده با روند تغییرات مقدار درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطر معین در نظر گرفته شود، نتیجه‌ای مبنی بر این که این دو عنوان اندازه‌گیری وابسته به هم می‌باشند دیده نمی‌شود. نتایج به دست آمده با نتایج هرتیشیا و همکاران (11) که بیان می‌کند بین دبی و اندازه ذرات رسوب معلق ارتباطی وجود ندارد، مطابقت دارد. این مطلب نشان دهنده طبیعت غیرهیدرولیکی و تأثیر متغیرهای متفاوت دیگر مثل منشأ رسوب، تاریخ و انرژی انتقال، فرساینده‌گی، فرسایش‌پذیری و ته‌نشینی در اندازه ذرات رسوب معلق در جریان رودخانه‌ای است. ذرات و اجزایی که تحت تأثیر پدیده‌ی فرسایش از بستر اصلی خاک جدا می‌شوند، می‌توانند توسط جریان آب به عنوان مهم‌ترین عامل انتقال به سه صورت بار محلول، بار معلق و بار کف، انتقال یافته و از حوضه خارج شده و رسوب را به وجود آورند (6).

جدول ۳- درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطر معین در ایستگاه مبارک آباد

Table 3- The cumulative percentage of particles smaller than a given diameter at the Mobarakabad station

تاریخ Date	درصد ذرات کوچک‌تر از قطر معین (mm) Percentage of particles smaller than the given diameter of (mm)			
	< 0.2	< 0.06	< 0.02	< 0.006
92/09/15 (2013.12.06)	91	57	15	5
92/10/30 (2014.01.20)	91	59	21	9
92/11/30 (2014.02.19)	92	62	24	11
92/12/15 (2014.03.06)	92	60	21	9
93/01/15 (2014.04.04)	94	67	33	16
93/01/31 (2014.04.20)	92	59	19	8

جدول ۴- درصد تجمعی ذرات کوچک‌تر از قطر معین در ایستگاه نوخاله

Table 4- The cumulative percentage of particles smaller than a given diameter at the Nokhaleh station

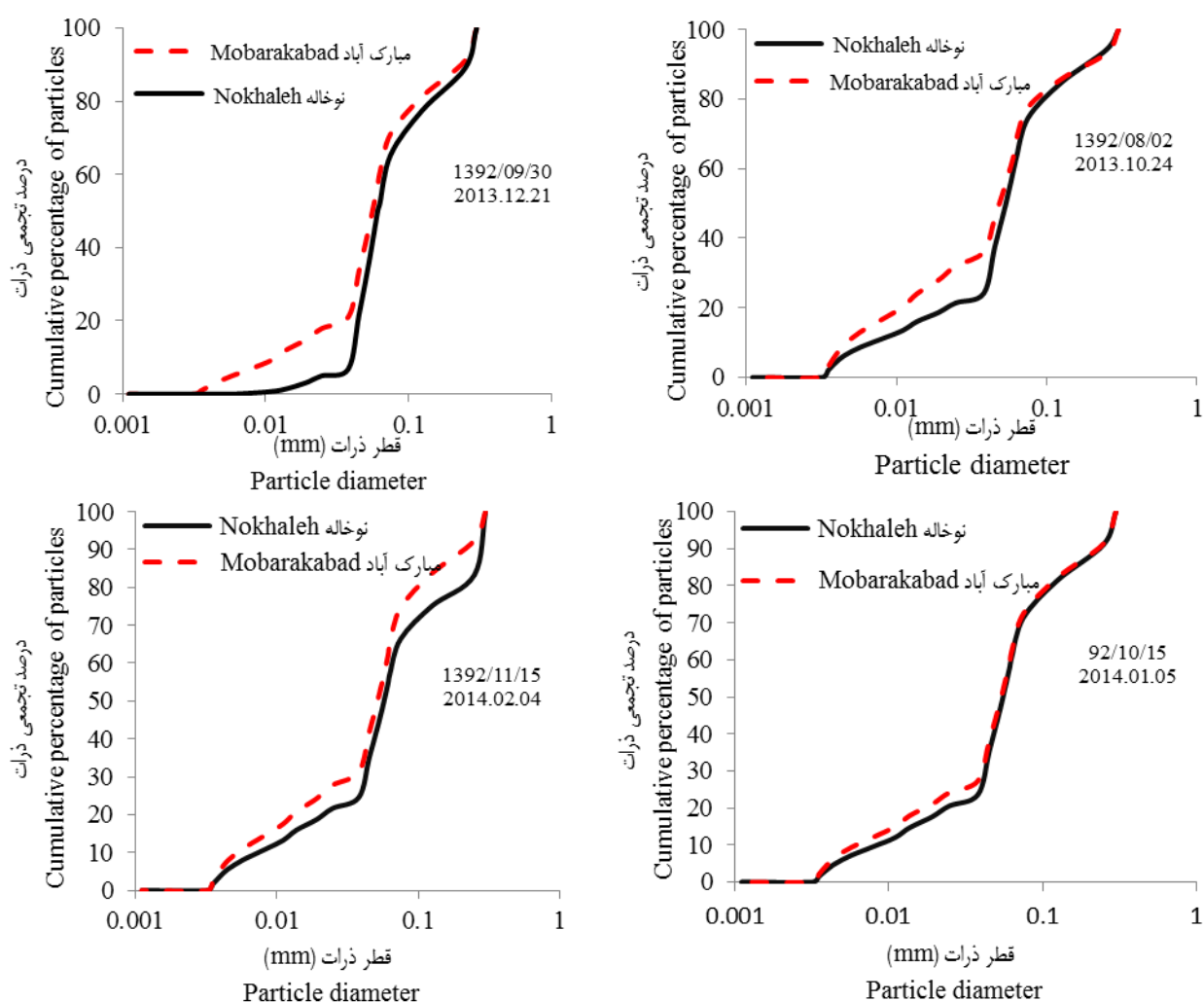
تاریخ Date	درصد ذرات کوچک‌تر از قطر معین (mm) Percentage of particles smaller than the given diameter of (mm)			
	< 0.2	< 0.06	< 0.02	< 0.006
92/07/15 (2013.10.07)	97	72	41	20
92/08/12 (2013.11.03)	91	51	10	6
92/09/15 (2013.12.06)	99	64	21	9
92/10/30 (2014.01.20)	99	62	22	10
92/11/30 (2014.02.19)	97	89	64	24
92/12/15 (2014.03.06)	99	62	18	8
93/01/03 (2014.03.23)	98	60	15	6
93/01/15 (2014.04.04)	97	63	22	10
93/01/31 (2014.04.20)	87	47	13	5

مقایسه منحنی‌های توزیع اندازه ذرات رسوب دو ایستگاه

شکل ۳ نمودارهای توزیع اندازه ذرات رسوب دو ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمودار مربوط به ماه آذر نشان از درشت‌تر بودن اندازه قطر ذرات ایستگاه مبارک‌آباد نسبت به ایستگاه نوخاله دارد. اما همان‌گونه که در منحنی دی ماه مشاهده می‌شود دو نمودار تغییر چندانی ندارند. دلیل این امر را می‌توان به عدم تغییرات محسوس شرایط جوی در طول ماه در دو منطقه نسبت داد. با شروع فصل زمستان بارندگی‌های به‌وقوع پیوسته در منطقه کوهستانی به صورت ریزش برف بوده و سرعت جریان به وجود آمده نیز در طول مسیر رودخانه تقریباً نزدیک به هم است که این مسئله باعث می‌شود که درصد تجمعی قطر ذرات در دو نقطه نمونه‌برداری نزدیک به هم باشد. شکل مربوط به بهمن ماه نشان می‌دهد که درصد تجمعی قطر ذرات بین دو ایستگاه در هر نمونه‌برداری اختلاف محسوسی دارد و اندازه ذرات در ایستگاه مبارک‌آباد درشت‌تر از ایستگاه نوخاله است که دلیل آن می‌تواند اوج بارش‌های زمستانی به صورت برف باشد. در مناطق کوهپایه‌ای با کاهش شیب رودخانه و در آستانه ورود به نواحی جلگه‌ای قطر دانه‌های رسوبی کاهش می‌یابد (۶)، که احتمالاً دلیل آن ته‌نشینی ذرات درشت در طول مسیر می‌باشد. سرعت جریان آب‌های حاصل از بارش در حداقل مقدار خود بوده و توان حمل ذرات با قطر درشت را ندارد. بنابراین درصد ذرات رسوب با قطر درشت در بالادست رودخانه بیشتر از مناطق پایین‌دست است. بر اساس قانون استوکس سرعت سقوط ذرات مختلف در مخلوط آب و رسوب به شعاع ذرات و گرانیوی آب بستگی دارد، دمای آب رابطه عکس با گرانیوی آن دارد، به گونه‌ای که با کاهش دما گرانیوی افزایش و

سرعت سقوط ذرات کاهش و برعکس با افزایش دما گرانیوی آب کاهش و سرعت سقوط ذرات افزایش می‌یابد که احتمالاً این قضیه در مورد دو نمونه‌برداری بهمن ماه صدق می‌کند. یکی دیگر از دلایل درشت‌تر بودن ذرات در ایستگاه مبارک‌آباد را می‌توان به برداشت شن و ماسه در فاصله بین دو ایستگاه نسبت داد. در همین راستا نوحه‌گر و محمودی (۲۳) بیان نمودند که اگر در مسیر رودخانه‌ای استخراج شن و ماسه وجود داشته باشد سبب افزایش فرسایش در بالادست محل برداشت و کاهش اندازه ذرات در پایین‌دست آن خواهد شد. هم‌چنین جباری و فرضی (۱۲) نیز تغییرات بار رسوبی معلق در پایین‌دست محل استخراج شن و ماسه در رودخانه رازآور را بررسی کردند. این پژوهشگران بیان کردند که در مکان برداشت شن و ماسه تا فاصله دویست متری میزان بار رسوبی به شدت افزایش خواهد یافت و در فاصله‌ی ششصد متری از محل برداشت به حالت تعادل باز می‌گردد. صادقی و خیرفام (۳۴) نیز تأثیر برداشت شن و ماسه بر میزان انتقال بار بستر و معلق را در رودخانه‌ی کجور واقع در استان مازندران بررسی کردند. نتایج این پژوهشگران نیز نشان داد که پس از برداشت شن و ماسه از این رودخانه بار معلق به میزان ۱۸ تا ۳۳ درصد و بار بستر نیز به طور متوسط ۴۵ درصد نسبت به حالت بدون برداشت افزایش یافته است.

در مجموع نتایج نشان می‌دهد که تقریباً در اکثر نمودارها در ماه‌های گذشته، نمودار ایستگاه نوخاله پایین‌تر از ایستگاه مبارک‌آباد قرار دارد. به طور کلی پذیرفته شده است که توزیع اندازه ذرات رسوب در جهت پایین‌دست کاهش می‌یابد مگر آنکه موادی از رسوب‌های درشت از شاخه‌های فرعی یا کناره‌ها به رودخانه وارد شود (۲۸، ۳۱ و ۴۱). این نتایج با یافته‌های هرتیشیا و سینگ (۱۱) مطابقت دارد.

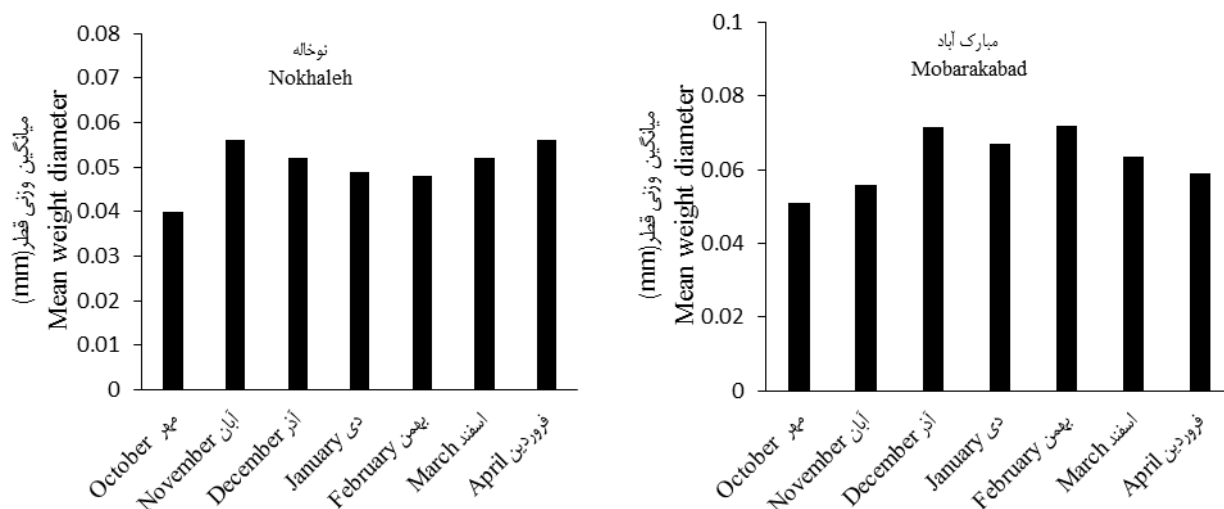


شکل ۳- منحنی توزیع اندازه ذرات رسوب در دو ایستگاه
Figure 3- Sediment particle size distribution at the two stations

بین $0.05-0.07$ و در نوخاله بین $0.04-0.06$ میلی‌متر تغییر می‌کند. متفاوت بودن مقدار میانگین وزنی قطر ذرات رسوب در ایستگاه نوخاله و مبارک آباد، با یافته‌های ویلیامز و همکاران (۴۲) مبنی بر تغییرپذیری زیاد دانه‌بندی رسوبات در مقیاس‌های زمانی و مکانی گوناگون مطابقت دارد. علت تغییرات مشاهده شده در مقدار میانگین وزنی قطر ذرات رسوب در زمان‌های مختلف را می‌توان به اختلاف در میزان بارندگی‌های موجود در تاریخ‌های مورد نظر، تفاوت سرعت جریان ایجاد شده از ورود آب‌های سطحی ناشی از بارندگی و قدرت حمل ذرات رسوب توسط جریان رودخانه‌ای نسبت داد (۲۵).

میانگین وزنی قطر ذرات رسوب در دو ایستگاه

شکل ۴ میانگین وزنی قطر ذرات را در هر ایستگاه در زمان‌های مختلف هر ماه به صورت جداگانه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ایستگاه مبارک‌آباد میانگین وزنی قطر در ماه‌های آذر و بهمن بالاترین و در مهر ماه کم‌ترین مقدار است. در مورد ایستگاه نوخاله نیز آبان و فروردین بالاترین و مهرماه کمترین مقادیر را نشان می‌دهند. علاوه بر این همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار میانگین به‌دست آمده در ایستگاه مبارک‌آباد که در بالادست مسیر اصلی رودخانه واقع شده است در اکثر نمونه‌برداری‌های انجام شده بیشتر از ایستگاه نوخاله می‌باشد. به‌طوری‌که این مقدار در مبارک‌آباد



شکل ۴- میانگین‌های وزنی قطر ذرات رسوب در ماه‌های مختلف

Figure 4- Comparison of the mean weight diameter of sediment particles in different months

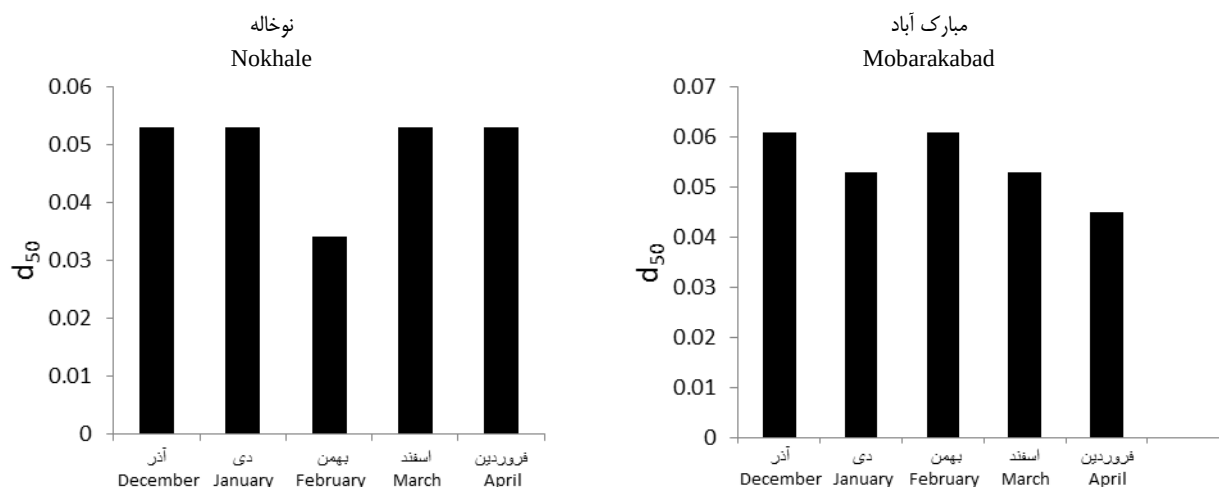
رگبار بر میزان و توزیع اندازه رسوب معلق تأثیر به‌سزایی دارد که با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات ویلیامز و همکاران (۴۲) مطابقت دارد. صادقی و همکاران (۳۱) از d_{90} استفاده کردند و بیان نمودند که در طول رودخانه کاهش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری

یکی از ویژگی‌های مهم هیدرولوژی و ژئومورفولوژی رسوب‌های رودخانه‌ای که تأثیر فراوانی بر فرآیند رسوب‌زایی و مصرف انرژی داشته و بیان‌گر ترکیبات مواد سطح زمین در حوضه آبخیز است، توزیع اندازه ذرات رسوب معلق است. تغییر در اندازه مواد در جهت پایین‌دست رودخانه اطلاعات مهمی را برای علوم مرتبط با حوضه آبخیز فراهم می‌کند که برای طراحی زیر ساخت‌های مناسب، بازسازی مناطق تخریب شده و مدیریت صحیح منابع آبی نظیر مخازن ضروری است. آگاهی از توزیع اندازه ذرات رسوب برای طراحی تله‌های رسوب‌گیر و همچنین برآورد و مدیریت انتقال آلاینده‌هایی که همراه ذرات منتقل می‌شوند، کاربرد دارد. در اکثر نمونه‌برداری‌ها در دو ایستگاه مبارک‌آباد و نوخاله، بین دبی جریان و اندازه ذرات رسوب معلق ارتباطی وجود نداشت که می‌تواند به‌دلیل طبیعت غیرهیدرولیکی و تأثیر عوامل دیگر مانند منشأ رسوب، فرسایش‌دهندگی، قابلیت فرسایش و ته‌نشینی در اندازه ذرات رسوب معلق در جریان رودخانه‌ای باشد. مقادیر میانگین وزنی قطر و d_{50} به طور متوسط در ایستگاه مبارک‌آباد ۰/۰۶۲ و ۰/۰۵۲ و در ایستگاه نوخاله ۰/۰۵۲ و ۰/۰۴۷ میلی‌متر می‌باشد.

قطر میانه d_{50} ذرات رسوب دو ایستگاه

قطر میانه d_{50} ذرات رسوب ایستگاه نوخاله و مبارک‌آباد در شکل ۵ نمایش داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد قطر میانه ذرات رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد متغیر و مقادیر به‌دست آمده در آن‌ها بین ۰/۰۴۵-۰/۰۶۱ میلی‌متر تعیین شده است. این در حالی است که در ایستگاه نوخاله در نمونه‌برداری‌های انجام شده مقدار d_{50} ذرات رسوب تقریباً نزدیک به هم و مقدار به‌دست آمده در اکثر نمونه‌ها ۰/۰۵۳ میلی‌متر است. تنها در یک مورد که در شکل نیز مشخص است مقدار ۰/۰۳ میلی‌متر تعیین گردیده است. والینگ و همکاران (۴۰) به بررسی مولفه‌های اندازه ذرات رسوب‌های معلق در رودخانه هومبر و توود در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف به بررسی تغییرات دبی در زمان وقوع رگبار و در فصل‌های مختلف و تأثیر آن در انتقال توزیع اندازه ذرات و ارتباط بین آن‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که در بعضی ایستگاه‌ها با افزایش دبی، ذرات درشت (d_{50}) افزایش و ذرات ریز کوچک‌تر از دو میکرون کاهش می‌یابد و در بعضی دیگر با افزایش دبی ذرات درشت (d_{50}) کاهش و ذرات ریز افزایش می‌یابد. این در حالی است که در وقایع سیلابی ذرات درشت کاهش و ذرات ریز افزایش داشته‌اند (۴۰). بنابراین به‌طور کلی نتایجی که از مقایسه توزیع اندازه ذرات رسوب دو ایستگاه در بالادست و پایین‌دست رودخانه اصلی حاصل شده است با نتایج تحقیقات ویلیامز و همکاران (۴۳) که مبنی بر تغییرپذیری مکانی اندازه‌ی رسوب‌های معلق است، مطابقت دارد. همچنین نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر نیز دلالت بر تغییرپذیری زیاد دانه‌بندی رسوب در مقیاس‌های زمانی گوناگون داشته است. توزیع اندازه رسوب معلق تحت شرایط عادی و سیلابی بسیار متفاوت می‌باشد و آشفتگی‌های ایجاد شده مثل دبی طی رخداد



شکل ۵- قطر میانه ذرات رسوب در ایستگاه‌های مبارک‌آباد و نوخاله
 Figure 5- The median diameter of sediment particles at Nokhaleh and Mobarakabad stations

داشته است. با توجه به این که این مطالعه در دو ایستگاه هیدرومتری مبارک‌آباد و نوخاله صورت گرفت، پیشنهاد می‌شود که مطالعات بیش‌تری بر روی ایستگاه‌های دیگر موجود در مسیر رودخانه انجام گرفته و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه گردد. همچنین با توجه به این که توزیع اندازه ذرات رسوب دارای تغییرات زمانی و مکانی می‌باشد، پیشنهاد می‌شود که یک مطالعه بلندمدت با فواصل زمانی و مکانی در فصل‌های مختلف سال صورت گیرد تا تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب و سایر خصوصیات در این فواصل زمانی نیز به دقت مطالعه شود. علاوه بر این توصیه می‌شود که نمونه‌برداری در مکان‌هایی صورت گیرد که تغییرات شیب در آن‌ها شدیدتر است تا تأثیر توپوگرافی از جنبه فرسایشی نیز به طور کامل بررسی شود.

همچنین به طور کلی اندازه ذرات رسوب در ایستگاه مبارک‌آباد درشت‌تر بود که این ریزتر بودن رسوب در ایستگاه نوخاله و درشت‌تر بودن آن در ایستگاه مبارک‌آباد را می‌توان به نوع فرسایش نسبت داد. در بالادست به دلیل کوهستانی بودن فرسایش بیش‌تر از نوع خندقی و زمین لغزش، اما در پایین‌دست و به ویژه در اراضی شالیزاری عمدتاً از نوع فرسایش سطحی مانند پاشمانی و ورقه‌ای است. همچنین اندازه ذرات رسوب معلق در رودخانه مورد مطالعه، دارای تغییرات زمانی و مکانی بوده که فرآیندهای رسوب‌زایی مثل فرسایش، انتقال و ته‌نشینی را هم در حوضه آبخیز و هم در کانال رودخانه منعکس می‌کند. توزیع اندازه ذرات رسوب در دو ایستگاه مورد مطالعه، بسیار متفاوت بوده و آشفتگی‌های ایجاد شده مثل دبی در حوضه آبخیز طی رخداد رگبار بر میزان و توزیع اندازه رسوب‌های معلق تأثیر به‌سزایی

منابع

- 1- Abarca M., Guerra P., Guillermo A., Montecinos M., Escauriaza C., Coquery M., and Pastén P. 2017. Response of suspended sediment particle size distributions to changes in water chemistry at an Andean mountain stream confluence receiving arsenic rich acid drainage. *Hydrological Processes* 31: 296–307.
- 2- Ansari Pour A.H., Ebrahimi K., and Omid M.H. 2013. Check the self-purification of river flow with the development and application of mathematical models Case Study: Pasikhan River. *Guilan. Journal of Research in Agricultural Engineering* 14(2): 42-31. (In Persian with English abstract)
- 3- Asadi H., Moussavi A., Ghadiri H., and Rose C.W. 2011. Flow-driven soil erosion processes and the size selectivity of sediment. *Journal of Hydrology* 406: 73–81.
- 4- Asarab Consulting Eng. 2011. Engineering study, Procurement and Construction (EPC) of waterways in Anzali Wetland: Soil Erosion and Sediment. Organization of Agriculture-Jahad of Guilan Province.
- 5- Attal M., and Lave J. 2006. Changes of bed load characteristics along the Marsyandi river central Nepla: implications for understanding hillslope sediment supply, sediment load evolution along fluvial network, and denudation in active orogenic belts. *Geological Society of America Special Paper*, 398: 143-171.
- 6- Danandemehr M.A., and Niksefat GH. 2010. The Principals of River Engineering. Second Edition, Dibagaran Press. (In Persian)
- 7- Demur T. 2003. Downstream changes in bed material size and shape characteristics in a small upland stream,

- Cwm Treweryn, in South Wales. Bulletin of Earth Sciences Application and Research Center of Hacettepe University, Yerbimlari, 28: 33-47.
- 8- Duan J.G., and Scott S. 2007. Selective bed-load transport in Las Vegas Wash, a gravel-bed stream. *Journal of Hydrology* 342: 320-330.
- 9- Fernández S., Villanueva U., de Diego A., Arana G., and Madariaga J.M. 2008. Monitoring trace elements (Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn) in deep and surface waters of the estuary of the Nerbioi- Ibaizabal River, (Bay of Biscay, Basque Country). *Journal of Marine Systems* 72: 332-341.
- 10- Guo W.Z., Xu X., Liu Y., Zhang H., and Zhu M. 2017. Changes in particle size distribution of suspended sediment affected by gravity erosion on the Loess Plateau, China. *Geophysical Research Abstracts* 19: 2017-11271.
- 11- Haritashya U.K., Kumar A., and Singh P. 2010. Particle size characteristics of suspended sediment transported in melt water from the Gangotri Glacier, central Himalaya- An indicator of subglacial sediment evacuation. *Geomorphology* 122: 140-152.
- 12- Jabari A., and Farzi V.H. 2009. Production of sand and sediment transport Razavar results in changing patterns. *Geographical Research Quarterly* 24(2): 145-160. (In Persian with English abstract)
- 13- Kheirfam H., and Vafakhah M. 2014. Evaluation of gamma test, cluster analysis, discriminant function analysis and Andrews curves methods to separate homogeneous watersheds for regional analysis of suspended sediment. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 4(2): 65-85. (In Persian with English abstract)
- 14- Kiani Harchegani M., and Sadeghi S.H.R. 2010. Particle size characteristics of suspended sediment transported in River Base and Flood-Flows. *Water and Wastewater Journal* 22(1): 114-117. (In Persian with English abstract)
- 15- Knighton D.A. 1980. Longitudinal change in size and sorting of stream bed material in our English river. *Geological Society of America Bulletin* 91(1): 55-62.
- 16- Kodama Y., Daigaku T., and Senta S.J. 2007. Effect of abrasion on downstream gravel size reduction in the Watarase River, Japan: fieldwork and laboratory experiments. *Environmental Research Center, the University of Tsukuba*, 88 Pp.
- 17- Lee Y.H., and Singh V.P. 1999. Prediction of sediment yield by coupling kalman filter with instantaneous unit sediment graph. *Hydrological Process* 13: 2861-2875.
- 18- Lenzi M.A., Mao L., and Comiti F. 2003. Inter annual variation of suspended sediment load and sediment yield in an alpine catchment. *Hydrological Sciences Journal* 48(6): 899-915.
- 19- Mahdavi M. 2011. *Applied Hydrology. Part 1, 7th Edition*. Tehran University Press, 359 Pp. (In Persian)
- 20- Morisow M. 1968. *Stream; Their Dynamics and Morphology*; Mc. Graw-Hill, New York, N.Y.
- 21- Muskatirovic J. 2007. Analysis of bedload transport characteristics of Idaho streams and rivers. *Earth Surface Processes and Landforms* 33: 1757-1768.
- 22- Nino Y. 2002. Simple model for downstream variation of median sediment size in Chilean rivers. *Hydraulic Engineering* 128 (10): 934-941.
- 23- Nohegar A., and Mahmoudi F.A. 2003. Investigation of effects of harvesting aggregates (sand and gravel) on the river bed and the regime of Minab. *Geographical Studies* 45: 58 -45. (In Persian with English abstract)
- 24- Ochoa-Cueva P., Fries A., Montesinos P., Rodríguez-Díaz J., and Boll J. 2015. Spatial estimation of soil erosion risk be land-cover change in the Andes of Southern Ecuador. *Land Degradation and Development* 26: 565-573.
- 25- Ozturk M. 2017. Sediment size effects in acoustic Doppler velocimeter-derived estimates of suspended sediment concentration. *Water* 9(7)529: 2-18.
- 26- Palacio R.G., Bisigato A.J., and Bouza P.J. 2014. Soil erosion in three grazed plant communities in Northeastern Patagonia. *Land Degradation and Development* 25: 594-603.
- 27- Parker C., Simon A., and Thorne C.R. 2008. The effects of variability in bank material properties on riverbank stability: Goodwin Creek, Mississippi. *Geomorphology* 101: 533-543.
- 28- Pizzutom J.E. 1995. Downstream fining in a network of gravel bedded rivers. *Water Resources Research* 31(3): 753-759.
- 29- Rengers F., and Wohl E. 2007. Trend of grain sizes on gravel bars in the Rio Chagres, Panama. *Geomorphology* 83: 282-293.
- 30- Rice S. 1999. The nature and controls on downstream fining within sedimentary links. *Journal of Sedimentary Research* 69: 32-39.
- 31- Sadeghi R.H.S., Khaledi Darvishan A., Vafakhah M., and Gholami L. 2007. Study on changes in morphometric characteristics of bed materials (case study: Vaz watershed, Mazandaran). *Journal of the Iranian Natural Resources* 4: 1197-1185. (In Persian with English abstract)
- 32- Sadeghi S.H.R., and Zakeri M.A. 2014. Suspended sediment particle size distribution in Kojour River. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 3(2): 73-82. (In Persian with English abstract)
- 33- Sadeghi S.H.R., and Singh V.P. 2017. Dynamics of suspended sediment concentration, flow discharge and sediment particle size interdependency to identify sediment source. *Journal of Hydrology* 554: 100-110.
- 34- Sadeghi S.H.R., and Khyrfam H. 2011. The effect takes of sand and gravel on the transport of Suspended load and bed in the river Kojour. *Fifth National Conference of Watershed Management and Soil and Water Resources*

- Management, Kerman, 10 to 11 March, 7. (In Persian)
- 35- Sadeghi S.H.R., and Kiani Harchegani M. 2009. Spatial and temporal changes in the distribution of particle size of suspended sediments of the Kojour River. *Journal of Science and Engineering of Watershed Management of Iran* 3(8): 63-66. (In Persian with English abstract)
- 36- Shi Z.H., Fang N.F., Wu F.Z., Wang L., Yue B.J., and Wu G.L. 2012. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. *Journal of Hydrology* 454-455.
- 37- Siakeu J., Oguchi T., Aokic T., Esaki Y., and Jarvie H.P. 2004. Change in riverine suspended sediment concentration in Cental Japan in response to late 20th century human activities. *Catena* 55: 231-254.
- 38- Surian N. 2002. Downstream variation in grain size along an Alpine river: analysis of controls and processes. *Geomorphology* 43: 137-149.
- 39- Van Bavel C.H.M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society of America Journal* 14: 20-23.
- 40- Walling D.E., Owens P.H.N., Waterfall B.D., leeks G.J.L., and Wass P.D. 2000. The Particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments. UK. *The Science of the Total Environment*, 251/252: 205-222.
- 41- Whitaker A., and Potts C. 2007. Coarse bed load transport in an alluvial gravel bed stream, Dupuyer Creek, Montana. *Earth Surface Processes and Landforms* 32(13): 1984-2004.
- 42- Williams N.D., Walling D.E., and Leeks G.J.L. 2007. High temporal resolution in situ Measurement of the effective particle size characteristics if fluvial suspended Sediment. *Water Research* 41: 1081-1093.
- 43- Williams N.D., Walling D.E., and Leeks G.J.L. 2008. An analysis of the factors contributing to the settling potential of fine fluvial sediment. *Hydrological Processes* 22: 4153-4162.
- 44- Woodward J.C., and Walling D.E. 2007. Composite suspended sediment particles in river systems: their incidence, dynamics and physical characteristics. *Hydrological Processes* 21: 3601- 3614.
- 45- Xu G. 2000. Grain-size Characteristics of suspended load sediment of the Yellow River, China. *Catena* 43(2): 176-186.
- 46- Xu G. 2002. Implication of relationships among suspended sediment size. Water discharge and suspended sediment concentration: The Yellow River basin, China. *Catena* 49: 289-307.
- 47- Xu G. 2013. Fractal features of soil particle-size distribution and total soil nitrogen distribution in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China. *Catena* 101: 17-23.



The Study of Temporal and Spatial Changes of Suspended Sediment Particles' Size Distribution in Pasikhan River in Guilan Province

M. Ebrahimi¹ - H. Asadi^{2*} - A. Sharifi³ - E. Ebrahimi⁴

Received: 08-10-2018

Accepted: 15-04-2019

Introduction: The study of physical properties of suspended sediments is one of the main topics in river studies. Sediment size distribution is one of the sediment physical properties which indicate the relation between the sediment source and its sedimentation process in watersheds. It is also important for prediction of the load of non-point source pollution, and for planning sediment trap structures. The Anzali Wetland, located on the southern coast of the Caspian Sea in northern Iran, is a large complex of freshwater lagoons with extensive reed-beds, shallow impoundments and seasonal flooded meadows. Environmental conditions in the Anzali Wetland have been degraded due to the increased inflow of sewerage, wastewater and solid waste from the industry, agriculture and urban area, and sediment from the upper stream mountainous area. The lagoon has decreased in size since the 1930s to less than a quarter of its former extent. The aim of the present study was to assess the changes in size distribution of suspended sediment in Pasikhan River as the most important river interring to Anzali Wetland.

Material and Methods: Pasikhan River originates from the South Mountains, has two branches namely Siahmezgi and Imamzadeh Ebrahim. The sampling carried out during a seven month time period (October 2013 to April 2014) at two hydrometric stations; Mobarakabad (upstream) and Nokhaleh (downstream). The samples were collected in 15 days intervals by depth-integration technique at normal condition. Particle size distribution was measured by Pipette method based on Stocks law. The mean weight diameter (MWD) of sediment particles was calculated, the sediment size distribution curve was drawn and the median grain size (d_{50}) was calculated. According to the European classification, the particles size distribution was divided into four groups of fine sand (0.2 mm), coarse silts (0.06 mm), medium silt (0.02 mm), and fine silt and clay (equal to and less than 0.006 mm). The data were compared for each sampling time for both Stations. Flow discharge and suspended sediment load were also determined at each sampling date.

Results and Discussion: At the Nokhaleh station, the maximum observed flow discharge and sediment concentration were 51.4 m³/s and 4.162 g/L, occurred in February 4, 2014 and November 3, 2013, respectively. The highest flow discharge and sediment concentration of the Mobarakabad were 9.8 m³/s and 2.633 g/L which were observed on February 19, 2014 and April 4, 2014, respectively. These changes and differences were partly due to topography and land use differences between upland and lowland and partly due to rainfall pattern. Results showed that the MWD and d_{50} were 0.062 and 0.052 mm on average, respectively at Mobarakabad station, and 0.055 and 0.051 mm, respectively at Nowkhaleh station. The maximum values of MWD and d_{50} were observed to be 0.07 and 0.061 mm, respectively at normal condition at Mobarakabad station. The study of sediment size distribution indicated that the particles smaller than 2 mm comprised 83-94 percent of the suspended sediment at Mobarakabad station, and 87-99 percent at Nokhaleh station. The percentage of particles smaller than 0.02 mm were observed to be 12-33 and 10-64 at Mobarakabad and Noukhaleh stations, respectively. Also the amount of fine silt and clay in suspended sediment were 3-16 and 5-24 percent at these stations. There was not any correlation between flow discharge and sediment concentration or sediment size distribution characteristics.

Conclusion: In most of the samples, there was not any relationship between the flow discharge and particle size distribution of suspended sediment which emphasize on the non-hydraulic nature of sediment transport and the effects of different factors including sediment sources, the season, transport energy, rainfall erosivity, soil erodibility and deposition process. Generally, the size of sediment particles at Mobarakabad station was coarser

1 and 4- Graduate M.Sc. Student and Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan

2- Associate Professore, Soil Science Department, University of Tehran

(*- Corresponding Author Email: ho.asadi@ut.ac.ir)

3- Ph.D. Student, Soil Science Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

than Nokhaleh station. This could be due to the type of soil erosion which is different at upstream and downstream. In upstream regions, mainly because of severity of topography and vegetation cover including forest and rangeland, the occurrence of gully erosion and landslide is higher in comparison with surface soil erosion. But in downstream especially in paddy fields, the soil erosion type is mainly splash and sheet erosion. Also the cultivation practices including plowing and paddling of the field usually provides fine particles entering to the river. In addition, the river profile is very gentle at the plain before the Nokhaleh station which resulted in deposition of coarser particles.

Keywords: Erosion, Mean diameter, Mean weight diameter, Pipet method, Sediment load



مقایسه روش‌های آبیاری سطحی، قطره‌ای و واترباکس در استقرار نهال زالزالک برای کنترل پدیده بیابان‌زایی

حبیب عابدی باباحیدری^۱ - روح الله فتاحی^۲ - داود نامدار خجسته^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۱

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کمبود نزولات جوی، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده استقرار گیاهان است. با توجه به محدودیت کمی و کیفی منابع آبی در استقرار گیاهان مناطق بیابانی، انتخاب روش مناسب آبیاری گیاهان دارای اهمیت زیادی است و باید این انتخاب آگاهانه و با دقت تمام انجام گیرد. هدف از این پژوهش مقایسه واترباکس (شکل خاصی از آبیاری فنیله‌ای) با آبیاری سطحی و آبیاری قطره‌ای برای استقرار یک گونه گیاهی به نام زالزالک که اغلب برای پروژه‌های بیابان‌زدایی مورد استفاده مناطق نیمه‌خشک در ایران قرار می‌گیرد می‌باشد. در روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای آزمایش‌ها بر روی پنج رژیم کم آبیاری به ترتیب با صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد کم آبیاری و در سه تکرار انجام گرفت. در روش واترباکس نیز با توجه به خودتنظیم بودن سامانه و اینکه امکان اعمال کم آبیاری وجود نداشت آزمایش‌ها با ۱۵ تکرار مشابه انجام گرفت. پارامترهای گیاهی شامل قطر ساقه و ارتفاع نهال هنگام کاشت نهال و پس از آن و نیز درصد زنده‌مانی نهال و میزان آب مصرفی در هر تیمار در طول یک سال (۱۳۹۵-۱۳۹۶) و در بازه‌های زمانی یک ماهه جهت مقایسه اندازه‌گیری شد و در پایان پژوهش با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج تحقیق نشان داد که سامانه واترباکس ضمن کاهش چشمگیر میزان آب مصرفی (در حد ۹۲ درصد کم آبیاری نسبت به آبیاری قطره‌ای کامل) و درصد زنده‌مانی بالای نهال (در این پژوهش ۱۰۰ درصد) روشی مفید و کاربردی جهت استقرار نهال زالزالک برای مبارزه و کنترل پدیده بیابان‌زایی می‌باشد. با توجه به این که در زمینه آبیاری با سامانه واترباکس تحقیقات چندانی صورت نگرفته توصیه می‌شود تحقیقاتی در خصوص استفاده از این سامانه برای آبیاری گونه‌های مثمر انجام گیرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری فنیله‌ای، درصد زنده‌مانی، کارایی مصرف آب، کم آبیاری

مقدمه

توانسته است گوشه بسیار کوچکی (حدود ۱/۹ میلیون هکتار) از عرصه‌های وسیع را کنترل نماید. بیابان‌زایی بعد از دو چالش تغییر اقلیم و کمبود آب شیرین به عنوان سومین چالش مهم جهانی در قرن ۲۱ محسوب می‌گردد. به طوری که در کشور ما از حیث قلمرو سرزمین‌های بیابانی از کل مساحت کشور ۴۳/۷ میلیون هکتار آن در زمره اکوسیستم بیابانی است که حدود ۲۰ میلیون هکتار از اکوسیستم‌های بیابانی تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند ضمن این که ۴/۶ میلیون هکتار از آن در ۱۸۳ منطقه در ۸۲ شهرستان و ۱۸ استان کشور جز کانون‌های بحرانی فرسایش بادی قلمداد می‌شوند. به طور کلی عوامل طبیعی و انسانی از عوامل اصلی بیابان‌زایی به شمار می‌روند.

از سوی دیگر با بروز خشکسالی‌های شدید در سال‌های جاری مدیریت منابع آب در ایران اینک به جایی رسیده است که به یکی از مهم‌ترین مباحث رایج در سطح کلان کشور تبدیل شده و کارشناسان

وجود ۳۵ تا ۴۵ میلیون هکتار عرصه‌های بیابانی در کشور و محدودیت‌های حاکم بر آن‌ها، از جمله کمبود بارندگی، چالش‌های زیادی را برای توسعه پیش روی ساکنین این مناطق قرار داده است. از طرفی بهره‌برداری نامناسب از منابع موجود، بیابان‌زایی را به عنوان یک امر طبیعی مطرح نموده که از این طریق سالانه بر وسعت اراضی بیابانی کشور افزوده می‌شود. فعالیت‌هایی را که از سالیان پیش برای مهار بیابان تحت عنوان بیابان‌زدایی نیز پیگیری شده است، تنها

۱ و ۲- به ترتیب فارغ التحصیل کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی آب،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شاهد

(*)- نویسنده مسئول: Email: D.namdarkhojasteh@shahed.ac.ir

DOI: 10.22067/jsw.v33i2.74246

سیستم، هزینه آبیاری آن حدود یک پنجم هزینه آبیاری روش غرقابی است.

برنج و رامیرز (۲) با بررسی سیستم‌های آبیاری مختلف برای مناطق بیابانی به این نتیجه رسیدند که لوله‌های منفذ دار علاوه بر کاهش چشمگیر مصرف آب نسبت به سایر روش‌ها مانع از رشد علف هرز خواهد شد. اسلامی و کریمی گوغری (۷)، با مقایسه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی همراه با کم‌آبیاری نشان دادند که میزان آب آبیاری داده شده به تیمارهای مختلف (۱۰۰ و ۷۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری) در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در مقایسه با قطره‌ای سطحی به ترتیب با کاهش ۹۸، ۷۴ و ۵۲ درصد همراه بوده است. در حالی که میزان عملکرد در تیمارهای مختلف در مقایسه با قطره‌ای سطحی به ترتیب ۱۴۷، ۱۳۸ و ۱۴۹ درصد افزایش داشته است. مشخصات محصول پسته از نظر تعداد دانه در اونس، درصد خندانی، درصد ناخندانی و درصد پوکی مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف آبیاری و همچنین دو روش آبیاری به لحاظ متغیرهای کیفی اندازه‌گیری شده وجود نداشت. فال سلیمان و حاصلی (۴)، با هدف بررسی شیوه‌های نوین آبیاری و تلفیق آن با شیوه‌های سنتی برای انطباق و سازگاری آن با جغرافیای کشاورزی کشور، به معرفی روش آبیاری زیر سطحی-کوزه‌ای بیدسکان در شهرستان فردوس پرداختند. آنها با اجرای پروژه تلفیق فنون سنتی با روش‌های نوین آبیاری به این نتیجه دست یافتند که روش آبیاری زیر سطحی-کوزه‌ای صرفه‌جویی ۵۰٪ آب را نسبت به روش سنتی غرق آبی در پی داشته و چنانچه در مرحله بهره‌برداری از گیاهان زراعی و باغی کاشته شده، نتیجه مطلوب حاصل شود قابل تسری به سایر مناطق همگون جغرافیایی خواهد بود. سیال و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تولید محصول و راندمان استفاده از آب (کارایی مصرف آب) تحت شرایط آبیاری با لوله‌های زیرسطحی متخلخل رسی پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که آبیاری با این روش باعث صرفه‌جویی در مصرف آب تا حدود ۸۰ درصد و افزایش عملکردی ۵ تا ۱۶ درصد سبزیجات آبیاری شده با این روش در مقایسه با روش آبیاری سطحی شد.

سیستم آبیاری فنیله‌ای پس از استفاده در یک مزرعه براحتی قابلیت جابجایی به مزرعه دیگر را دارد. همچنین طراحی، نصب و راه اندازی آن نیاز به تخصص بالایی نداشته و چون مصرف آب در آن خودتنظیم است نیاز به محاسبات آبی ندارد. لورن (۱۰) گزارش کرد که ایده آبیاری فنیله‌ای علاوه بر این که نیاز به پمپاژ را حذف می‌کند، از انرژی پتانسیل منفی زیاد سطح خاک و ریشه جهت انتقال آب به گیاه استفاده می‌کند. وی همچنین در پایان گزارش خود مواردی که نیاز است در مورد این سیستم بررسی شوند را به شرح زیر بیان کرد:

بررسی مقیاس زمانی رسیدن به خودتنظیمی سیستم
تغییراتی که در مراحل مختلف رشد گیاه در جذب آب صورت می

زیادی را در وزارت خانه‌ها و سازمان‌های مختلف واداشته است تا با نشست‌های کارشناسی برای برون رفت از این بحران راه چاره‌ای بیابند.

کمبود آب و رطوبت از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و بقا گیاهان در مناطق بیابانی می‌باشند. در این مناطق بارندگی بسیار کم و غیرقابل پیش‌بینی بوده و علاوه بر این دمای بالا و وزش بادهای سهمگین نیز باعث تبخیر و تفرق سریع آب و تشدید محدودیت رطوبتی می‌شود. بنابراین در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کمبود نزولات جوی، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده استقرار گیاهان است. از طرفی این خشکی هوا و کمبود رطوبت عملیات بذرکاری یا کشت مستقیم نهال گیاهان را با خطر شکست مواجه می‌کند. پس در پروژه‌های بیابانی نیاز به کشت گلدانی و آبیاری است تا نهال‌ها مستقر شده و بتوانند از رطوبت لایه‌های عمقی خاک استفاده کنند. با توجه به محدودیت کمی و کیفی منابع آبی در استقرار گیاهان مناطق بیابانی، انتخاب روش مناسب آبیاری گیاهان دارای اهمیت زیادی است و باید این انتخاب آگاهانه و با دقت تمام انجام گیرد. انتخاب سیستم آبیاری مناسب جهت استقرار نهال‌ها در پروژه‌های بیابان‌زدایی به عواملی همچون شرایط اقلیمی، نیروی کارگر، بودجه، نوع گیاه کاشته شده و غیره بستگی دارد. در برخی مناطق بیابانی ایران از جمله شهرهای یزد، فردوس و اردکان روش‌های آبیاری نوینی مثل لوله‌های منفذدار، لوله‌های عمیق، گلدان‌های رسی دفن شده، آبیاری در حفاظ‌های درختی، آبیاری فنیله‌ای و کپسول‌های رسی منفذدار استفاده شده است. اگر چه روش‌های آبیاری زیر سطحی، برای استقرار گیاهان مورد آزمایش قرار گرفته است اما با وجود راندمان بالای آبیاری فنیله‌ای و واترباکس، پژوهش‌های علمی چندانی تاکنون در این زمینه خصوصاً در پروژه‌های بیابان‌زدایی صورت نگرفته و در دسترس نیست. لذا با توجه به سنگین بودن هزینه اجرای اغلب پروژه‌های بیابان‌زدایی لازم است در این زمینه تحقیقات علمی و قابل استنادی صورت پذیرد و در تحقیقات مختلف جنبه‌های گوناگون این نوآوری مورد بررسی قرار گیرد تا مدیران و مسئولان اجرایی با اطمینان بیشتر تصمیم به استفاده از این فناوری بگیرند.

مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور طرح به کارگیری لوله کوزه‌ای با استفاده از لوله‌های سفالی قطر کم را در منطقه کرج به مرحله اجرا گذاشت و چنین نتیجه گرفت که مصرف آب در روش لوله سفالی با کیفیت و کمیت بالایی است.

نتایج تحقیقات کاظمی نژاد و همکاران (۸) نشان داد که نهال‌های تاغ آبیاری شده با سیستم آبیاری لوله‌های سفالی از نظر ارتفاع و تاج پوشش، تقریباً با نهال ۴ ساله روش غرقابی برابری می‌کند، یعنی نهال ۲ ساله لوله سفالی برابر یا حتی بهتر از نهال ۴ ساله غرقابی به روش کرتی است. لازم به ذکر است که هزینه سیستم لوله سفالی خیلی بیشتر از سیستم غرقابی است ولی پس از تکمیل

پذیرد

بررسی هزینه‌های اجرایی و دوام سیستم

آشنایی و همکاران (۱) با مطالعه تاثیر واترباکس بر زنده‌مانی درختان میوه (سیب، پرتقال، آووکادو و گواوا) به نتایج زیر دست یافت: الف) درصد زنده‌مانی همه درختان میوه ۱۰۰ درصد بود بجز آووکادو که ۸۴ درصد زنده‌مانی داشت.

ب) میانگین رشد درختان سیب ۴۵/۵ سانتی‌متر، درختان پرتقال ۸۵ سانتی‌متر، درختان آووکادو ۵۱ سانتی‌متر و درختان گواوا ۸۲ سانتی‌متر بود.

این محققین به این نتیجه رسیدند که واترباکس اثر مثبتی بر بقاء و رشد ارتفاعی درختان میوه دارد. همچنین واترباکس با کاهش تبخیر از سطح آب را در خاک حفظ می‌کند.

همچنین در گزارشی از تحقیقات شرکت سازنده طی ده سال از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ و با مقایسه واترباکس با آبیاری قطره‌ای نتایج ذیل اعلام شد:

الف) به ازای هر هکتار استفاده از واترباکس به جای سیستم آبیاری قطره‌ای ۷۴۹۴ یورو صرفه اقتصادی دارد.

ب) مصرف آب سامانه واترباکس در مقایسه با آبیاری قطره‌ای ۹۴/۸۱ درصد کمتر است.

البته به دلایل ذیل نمی‌توان گفت که هزینه استفاده از سامانه واترباکس چقدر است:

الف) هزینه کارگری در کشورهای مختلف متفاوت است. به عنوان مثال در کشور ایتالیایی هزینه کارگری ۲ یورو در ساعت است در حالی که در کشور اسپانیا ۲۰ یورو در ساعت است.

ب) بسته به گونه گیاهی نیز هزینه‌ها متفاوت خواهد بود به طوری که گونه پسته ۸ یورو و مورینگا یک یورو در هکتار هزینه دارد.

ج) تراکم کشت نیز در برآورد هزینه‌ها بسیار مؤثر است (۷).

آبیاری با سامانه واترباکس^۱

در سامانه آبیاری این فناوری که با نام تجاری واترباکس، تولید و عرضه می‌شود علاوه بر این که از شیوه آبیاری فنیله‌ای استفاده شده، دارای ویژگی‌های منحصر به فرد دیگری از جمله استفاده از رطوبت موجود در هوا طبق قانون نقطه شبنم، ایجاد میکروکلیمای کوچک اطراف نهال و ایفای نقش به عنوان قیم نهال نیز می‌باشد. شکل ۱ یک نمونه واترباکس را از دو نمای مختلف را نشان می‌دهد.

از دیگر ویژگی‌های این سامانه این است که با ایجاد میکروکلیمای کوچکی اطراف نهال، دمای هوای پیرامون آن را متعادل نگه می‌دارد به نحوی که طول شب گرم‌تر از هوای محیط و

در طول روز خنک‌تر می‌باشد. همچنین این سامانه در مقابل وزش باد به عنوان یک قیم برای نهال ایفای نقش می‌کند. جنس آن پروپلی پیلن بوده که مقاوم در برابر تغییرات حرارتی روز و شب و اشعه ماوراء بنفش خورشید می‌باشد و عمر مفید آن را در شرایط بیابان و کوهستان ۱۰ تا ۲۰ سال برآورد کرده‌اند.

هدف از این پژوهش مقایسه واترباکس که شکل خاصی از آبیاری فنیله‌ای می‌باشد با آبیاری سطحی و آبیاری قطره‌ای برای استقرار یک گونه گیاهی به نام زالزالک که اغلب برای پروژه‌های بیابان‌زدایی مورد استفاده مناطق نیمه‌خشک در ایران قرار می‌گیرد می‌باشد. برای این منظور با در نظر گرفتن دو فرضیه زیر این پژوهش انجام گرفت:

الف) استفاده از واتر باکس در مقایسه با سایر روش‌ها در کشور اقتصادی نیست.

ب) آبیاری با استفاده از واتر باکس اثر مثبتی بر روی استقرار و رشد گیاه در مناطق کم بارش ندارد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محل مورد مطالعه

آزمایشات در مزرعه‌ای در دانشگاه شهرکرد و در محدوده مختصات (UTM) به عرض ۴۸۳۳۵۱ متر شمالی و طول ۳۵۸۰۱۰۵ متر شرقی و با ارتفاع از سطح دریا ۲۱۰۵ انجام شد. منطقه مورد مطالعه در فاصله ۷ کیلومتری ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرکرد قرار دارد. در تقسیم‌بندی کوپن شهرکرد دارای اقلیم نوع Dcas که مبین شرایط آب و هوای معتدل سرد با تابستان‌های گرم و خشک است.

گیاه مورد مطالعه

در این مطالعه از از نهال گلدانی یک ساله زالزالک استفاده شد. زالزالک درختچه یا درختی کوچک به ارتفاع ۵ تا ۱۴ متر، با شاخه‌های انبوه و خاردار از تیره گل‌سرخیان با میوه‌ای خوراکی می‌باشد. این درختچه دارای شکوفه‌های پُرپر زیبا به رنگ سفید یا صورتی و معطر است. درختچه زالزالک در دامنه کوه‌ها و اراضی جنگلی آفتابی در سرتاسر جهان می‌روید. نهال‌ها در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ در فاصله سه متر در سه متر کاشته شدند و تغییرات آن‌ها از جمله ارتفاع و قطر ساقه در دو فصل زراعی ۹۵ و ۹۶ اندازه‌گیری شد.

طرح آزمایشی

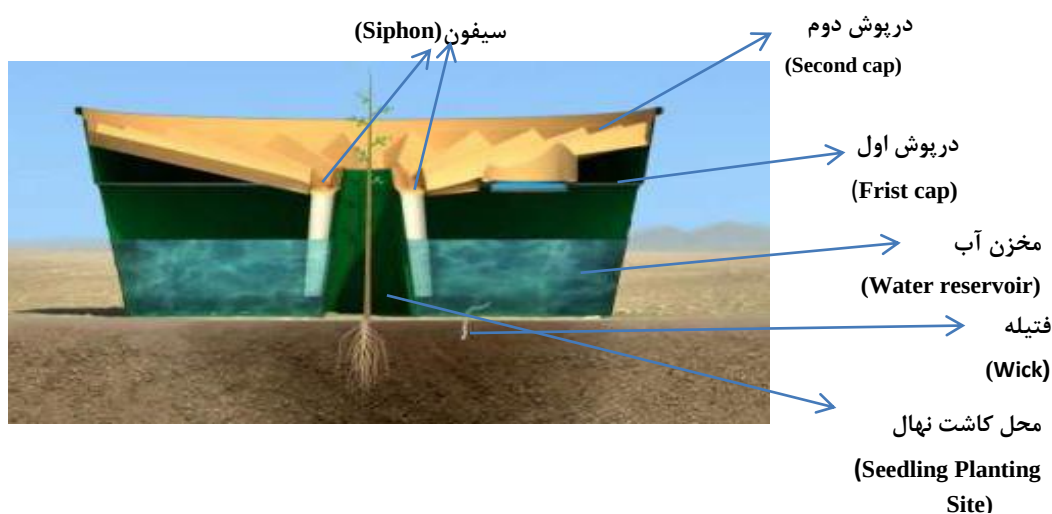
این پژوهش با سه روش آبیاری سطحی، قطره‌ای و واترباکس انجام شد که روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای در ۵ تیمار سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ و ۱۰ درصد نیاز آبی) و در سه تکرار و تیمار واترباکس با ۱۵ تکرار انجام شد که به این ترتیب ۱۱ تیمار مورد

حذف ریشه پیچ خورده در گلدان به وسیله کاتر بریده شد تا ریشه مستقیم به سمت عمق خاک رشد کند (برای تمام تیمارها انجام شد). سپس نهال را در مرکز چاله‌ای که یک روز قبل آماده شده بود کاشته و دور آن همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود یک ورق از جنس کارتوپلاست قرار داده شد. این ورق به خاطر پوشش دادن سطح خاک و کاهش تبخیر استفاده می‌شود. لازم بذکر است طبق دستورالعمل کنار هر نهال هنگام کاشت به میزان ۱۰۰ گرم قارچ مایکوریزا ریخته شد (برای تمام تیمارها انجام شد). این قارچ باعث ریشه‌زایی و استقرار بهتر نهال می‌شود. مطابق تصاویر شکل ۳.

ارزیابی قرار گرفت. لازم بذکر است اختصاص تیمارها به واحدهای آزمایشی به صورت تصادفی بود. در شکل ۳-۲، R_1, R_2, R_3 سه بلوک هستند که هر کدام به یک روش آبیاری اختصاص داده شدند و Tn نشان‌دهنده روش و سطح آبیاری سطحی و Dn نشان‌دهنده روش و سطح آبیاری قطره‌ای و Wn نشان‌دهنده روش و تکرار واترباکس می‌باشد.

اندازه‌گیری‌ها قبل و بعد از کاشت

پارامترهای گیاهی شامل قطر ساقه و ارتفاع نهال دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی، یعنی کل ۴۵ نمونه نیز این کار انجام شد. قبل از کاشت نهال‌های گلدانی ۵ سانتی‌متر از کف گلدان پلاستیکی برای



شکل ۱- قسمت‌های مختلف سامانه واترباکس

Figure 1- Different parts of the Water Box system



شکل ۲- نصب ورق کارتوپلاست در روش واترباکس

Figure 2- Installing the Cartoplast sheet in the WaterBox method



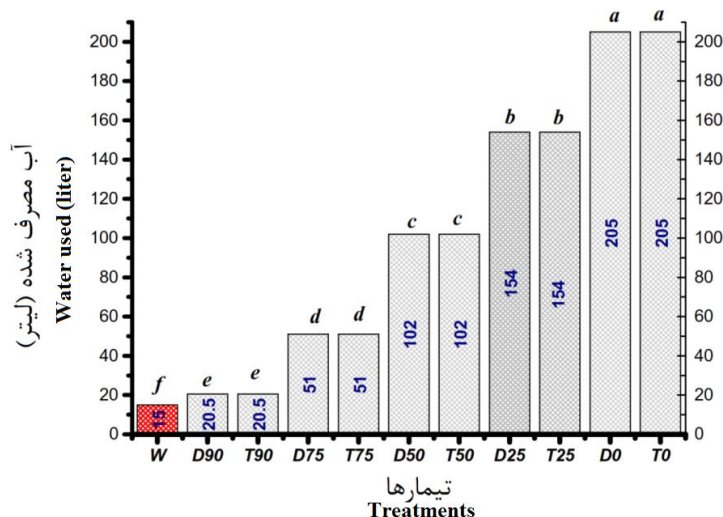
شکل ۳- نصب واترباکس بر روی نهال
Figure 3- Installing Water Box on the seedlings

نتایج و بحث

مقایسه مصرف آب سالانه واتر باکس با آبیاری قطره‌ای و سطحی

سطحی (دستی) نیز با همان درصد کم آبیاری مطابق آبیاری قطره‌ای صورت گرفته است. لذا از دیدگاه مقدار آب مصرفی تیمار واترباکس معادل ۹۲ درصد کم آبیاری نسبت به آبیاری قطره‌ای کامل می‌باشد. در این نمودار D و T و W به ترتیب نماد آبیاری سنتی، آبیاری قطره‌ای و آبیاری با واترباکس هستند. در شکل ۴ مشاهده می‌شود بین تمام تیمارها از لحاظ میزان آب مصرفی اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود دارد.

مطابق شکل ۴ مصرف آب در روش آبیاری با واترباکس سالانه ۱۵ لیتر بوده در حالی که در روش آبیاری قطره‌ای با کم آبیاری‌های صفر و ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد کم آبیاری به ترتیب ۲۰۵، ۱۵۴، ۱۰۲، ۵۱ و ۲۰/۵ لیتر در سال بوده است. میزان مصرف آب در روش



شکل ۴- مصرف آب در تیمارهای مختلف آبیاری
Figure 4- Water use in irrigation treatments

درصد زنده مانی نهال بلوط دارد ولی بر رشد نهال تأثیر معنی‌داری ندارد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

تیمار واترباکس با رشد قطری ۰/۵۵ سانتی‌متر، با وجود آنکه مصرف آب در حد ۹۲ درصد کم آبیاری (نسبت به آبیاری قطره‌ای کامل) داشته است از لحاظ رشد قطری اختلاف معنی‌داری با تیمارهای آبیاری قطره‌ای کامل و آبیاری سطحی کامل نداشته است. همانگونه که اشاره شد از لحاظ رشد قطری نهال اختلاف معنی‌داری بین روش‌های آبیاری (آبیاری قطره‌ای کامل، آبیاری سطحی کامل و واترباکس) مشاهده نشده است که با نتایج آزمایشات نیکان فر و همکار که بین رشد قطری انگور با روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای اختلاف معنی‌داری مشاهده کردند متفاوت بود.

مقایسه رشد ارتفاع سالانه گیاه در تیمارها

مطابق شکل ۶ میانگین رشد سالانه ارتفاع گیاه در روش آبیاری با واترباکس سالانه ۲۹ سانتی‌متر بوده در حالی‌که در روش آبیاری قطره‌ای با کم آبیاری‌های صفر و ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد به ترتیب ۲۷، ۴۲، ۴۰، ۲۲ و ۱۶ سانتی‌متر در سال و در روش سطحی (دستی) نیز با همان درصد کم آبیاری به ترتیب ۴۹، ۶۰، ۲۸، ۳۴ و ۱۰ سانتی‌متر بوده است. در مورد تیمار آبیاری با واترباکس علی‌رغم این‌که میزان آب مصرفی معادل ۹۲ درصد کم آبیاری (نسبت به آبیاری قطره‌ای کامل) بوده است میزان رشد ارتفاعی وضعیت مطلوبی داشته است که برای مقایسه آماری آن با سایر تیمارها داده‌ها در محیط نرم افزار SPSS مورد تحلیل قرار گرفت.

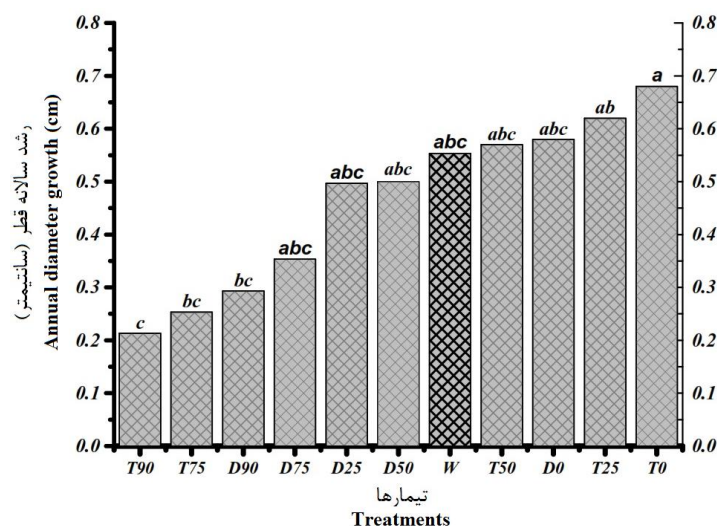
مقایسه رشد قطری سالانه گیاه در تیمارها

جهت مقایسه آماری میانگین رشد سالانه قطری تیمارها، داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS به روش آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد مورد تحلیل قرار گرفت که نتایج آن بصورت نمودار در شکل ۵ نمایش داده شده است.

در جدول ۱ خلاصه نتایج آماری رشد سالانه قطر تیمارها نشان داده شده است. بیشترین رشد مربوط به تیمارهای آبیاری سطحی کامل با ۶۸ میلی‌متر رشد سالانه قطری بوده است. همچنین کمترین رشد مربوط به آبیاری سطحی با ۹۰ درصد کم آبیاری با ۲۱ میلی‌متر رشد سالانه قطری می‌باشد.

همانطور که ملاحظه می‌شود تأثیر رژیم آبیاری بر رشد قطری در برخی از تیمارها بر خلاف انتظار بوده است. به عنوان مثال میانگین رشد قطری تیمار D50 از تیمار D25 بیشتر می‌باشد ولی اختلاف آن‌ها ناچیز و طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست.

در بین تیمارهای آبیاری سطحی فقط بین تیمار T0 با تیمارهای T90، T75 و همچنین بین تیمار T25 و T90 اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود داشته است. بین تیمارهای آبیاری قطره‌ای علی‌رغم اختلافات بین میانگین رشد قطری، مطابق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات صوفی و همکاران که تأثیر رژیم آبیاری بر رشد قطری سرو نقره‌ای را بررسی کردند و اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نکردند مطابقت دارد. همچنین تحقیقات گرجی بحری و همکاران هرچند نشان داد رژیم آبیاری تأثیر معنی‌داری بر



شکل ۵- رشد سالانه قطر در تیمارهای مختلف آبیاری (W واترباکس، D آبیاری قطره‌ای، T آبیاری دستی)

Figure 5- Annual diameter growth in different irrigation treatments

جدول ۱- خلاصه نتایج آماری رشد سالانه قطر در تیمارهای مختلف
Table 1- Statistical results of annual diameter growth in different treatments

متغیر Variable	تیمار Treatment	نماد Symbol	تعداد تکرار Repeat	میانگین رشد قطری (میلی‌متر) Average diameter growth (mm)	انحراف استاندارد (میلی متر) Standard deviation (mm)	خطای میانگین استاندارد (میلی‌متر) MSE (mm)
رشد قطر Diameter growth	آبیاری دستی کامل Full surface irrigation	T0	3	68	14	8
	آبیاری دستی با ۲۵ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 25% deficit-irrigation	T25	3	62	8	5
	آبیاری دستی با ۵۰ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 50% deficit-irrigation	T50	3	57	42	24
	آبیاری دستی با ۷۵ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 75% deficit-irrigation	T75	3	25	1	1
	آبیاری دستی با ۹۰ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 90% deficit-irrigation	T90	3	21	10	6
	آبیاری قطره ای کامل Full drip irrigation	D0	3	57	31	18
	آبیاری قطره ای با ۲۵ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 25% deficit-irrigation	D25	3	50	12	7
	آبیاری قطره ای با ۵۰ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 50% deficit-irrigation	D50	3	53	7	4
	آبیاری قطره ای با ۷۵ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 75% deficit-irrigation	D75	3	35	8	5
	آبیاری قطره ای با ۹۰ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 90% deficit-irrigation	D90	3	29	15	9
	واترباکس Water box	W	11	55	9	3

نیست.

در بین تیمارهای آبیاری قطره‌ای علی‌رغم اختلافات بین میانگین رشد ارتفاعی، مطابق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری مشاهده نشده است.

بین تیمارهای آبیاری سطحی مطابق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف تیمارهای T0، T25، T75، T90 معنی‌دار بوده است. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات صوفی و همکاران که تأثیر رژیم آبیاری بر رشد ارتفاع سرو نقره‌ای را بررسی کردند و اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نکردند مطابقت ندارد.

تیمار واترباکس با میانگین رشد ارتفاع ۲۹/۳ سانتی‌متر، با وجود آنکه مصرف آب در حد ۹۲ درصد کم آبیاری داشته است (نسبت به آبیاری قطره‌ای کامل) از لحاظ رشد ارتفاعی اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نداشته است.

همانگونه که اشاره شد از لحاظ رشد ارتفاعی نهال اختلاف معنی

در جدول ۲ خلاصه نتایج آماری رشد سالانه ارتفاع تیمارها نشان داده شده است. بیشترین رشد مربوط به تیمارهای آبیاری سطحی با ۲۵ درصد کم آبیاری با ۶۰ سانتی‌متر رشد ارتفاعی بوده است. همچنین کمترین رشد مربوط به آبیاری سطحی با ۹۰ درصد کم آبیاری می‌باشد. جهت مقایسه آماری میانگین رشد سالانه ارتفاع تیمارها، داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS به روش آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد مورد تحلیل قرار گرفت که نتایج آن بصورت نمودار در شکل ۶ نمایش داده شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود تأثیر رژیم آبیاری بر رشد ارتفاع نیز در برخی از تیمارها بر خلاف انتظار بوده است. به عنوان مثال میانگین رشد ارتفاع تیمار D0 از تیمارهای D50، D25 کمتر می‌باشد ولی اختلاف آن‌ها طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست. همچنین میانگین رشد ارتفاع تیمار T0 از تیمار T25 کمتر می‌باشد ولی اختلاف آن‌ها طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌دار

در نرم‌افزار SPSS به روش آزمون دانکن تحلیل شد که نتایج آن در شکل ۷ نمایش داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف بین تیمارها از لحاظ کارایی مصرف آب فقط بین تیمار واترباکس و سایر تیمارها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده و سایر تیمارها با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. هر چند تحقیقاتی در خصوص تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر گیاه زالزالک موجود نیست ولی نتایج بدست آمده در این پژوهش با نتایج تحقیقات ریمون و همکاران مطابقت دارد به گونه‌ای که ایشان با اعمال رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای در کشت چغندر به این نتیجه رسیدند که از لحاظ کارایی مصرف آب بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. هر چند نتایج تحقیقات توپاک و همکاران بر روی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای بر چغندر قند حاکی از آن است که از لحاظ کارایی مصرف آب بین تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی این دو تیمار با تیمار ۵۰ درصد کم آبیاری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارند.

مقایسه درصد زنده‌مانی تیمارها

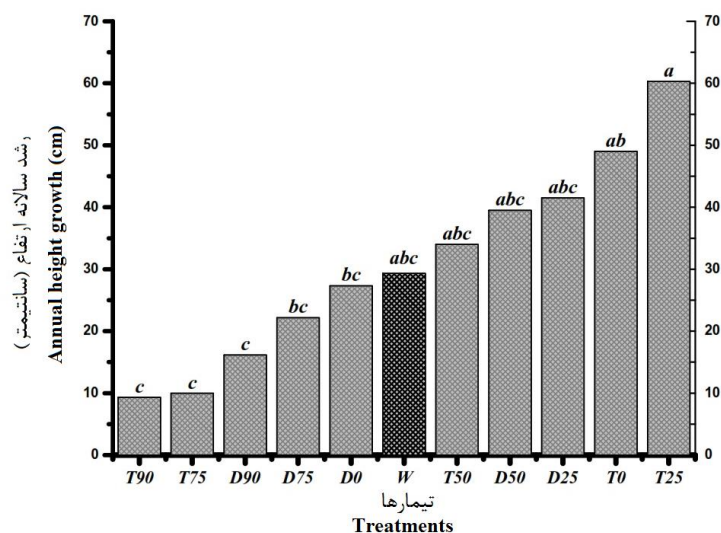
با توجه به مقاوم بودن زالزالک به خشکی فقط سه مورد از نهال‌های کشت شده خشک شدند. برای بررسی درصد زنده‌مانی به لحاظ آماری داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS تحلیل شد که نتایج در نمودار شکل ۸ نشان داده شده است. طبق نمودار درصد زنده‌مانی در روش واترباکس ۱۰۰ درصد بوده است و تنها در دو تیمار از آبیاری قطره‌ای و یک تیمار از آبیاری سطحی زنده‌مانی ۱۰۰ درصد نبوده است.

داری بین روش‌های آبیاری (آبیاری قطره‌ای کامل، آبیاری سطحی کامل و واترباکس) مشاهده نشده است که با نتایج آزمایشات نیکان فر و همکاران که بین رشد ارتفاع انگور با روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای اختلافات معنی‌داری مشاهده کردند متفاوت بود. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات گرجی بحری و همکاران که اختلاف معنی‌داری بین رژیم‌های مختلف آبیاری نهال بلوط مشاهده نکردند مطابقت دارد.

مقایسه کارایی مصرف آب در تیمارها

برای محاسبه کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف، مقدار ماده تولیدی گیاه (بر حسب سانتی‌متر مکعب) نسبت به آب مصرف شده محاسبه شد که نتایج در جدول ۳ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیش‌ترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار آبیاری با واتر باکس بوده با ۲/۵ سانتی‌متر مکعب بر لیتر که با فاصله نسبتاً زیادی از سایر تیمارها بدست آمده است و این در حالی است که همانطور که در بخش‌های قبل گفته شد مصرف آب این تیمار معادل ۹۲ درصد کم آبیاری (نسبت به آبیاری قطره‌ای کامل) بوده است. کمترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار آبیاری سطحی با ۷۵ درصد کم آبیاری بوده که مقدار آن ۰/۱۵ سانتی‌متر مکعب بر لیتر بوده است. در تیمار آبیاری قطره‌ای کامل نیز کارایی مصرف آب ۰/۱۶ سانتی‌متر بر لیتر محاسبه شده است که نشان می‌دهد علی‌رغم آن که رشد این تیمار در وضعیت مناسبی بوده است ولی از لحاظ کارایی مصرف آب بسایر عملکرد ضعیفی داشته است.

جهت مقایسه آماری میانگین کارایی مصرف آب تیمارها داده‌ها



شکل ۶- رشد سالانه ارتفاع در تیمارهای مختلف آبیاری (W واترباکس، D آبیاری قطره‌ای، T آبیاری دستی)

Figure 6- Annual height growth in different irrigation treatments

جدول ۲- خلاصه نتایج آماری رشد سالانه ارتفاع در تیمارهای مختلف
Table 2- Statistical results of annual height growth in different treatments

متغیر Variable	تیمار Treatment	نماد Symbol	تعداد تکرار Repeat	میانگین رشد ارتفاع (سانتی‌متر) Average height growth (cm)	انحراف استاندارد (سانتی‌متر) Standard deviation (cm)	خطای میانگین استاندارد (سانتی‌متر) MSE(cm)
رشد ارتفاع Height growth	آبیاری دستی کامل Full surface irrigation	T0	3	49	21.79	12.58
	آبیاری دستی با ۲۵ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 25% deficit-irrigation	T25	3	60.29	9.50	5.48
	آبیاری دستی با ۵۰ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 50% deficit-irrigation	T50	3	28.33	33.86	19.55
	آبیاری دستی با ۷۵ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 75% deficit-irrigation	T75	3	34	1.5	0.87
	آبیاری دستی با ۹۰ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 90% deficit-irrigation	T90	3	10	9.29	5.36
	آبیاری قطره ای کامل Full drip irrigation	D0	3	27.33	10.5	6.06
	آبیاری قطره ای با ۲۵ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 25% deficit-irrigation	D25	3	41.5	4.93	2.85
	آبیاری قطره ای با ۵۰ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 50% deficit-irrigation	D50	3	39.5	4	2.31
	آبیاری قطره ای با ۷۵ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 75% deficit-irrigation	D75	3	22.16	2	1.15
	آبیاری قطره ای با ۹۰ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 90% deficit-irrigation	D90	3	16.17	4.48	2.59
	واترباکس Water box	W	11	29.32	11.59	3.49

زالزالک برای مبارزه و کنترل پدیده بیابان‌زایی می‌باشد. همچنین مشاهده گردید کارایی مصرف آب در واترباکس نسبت به روش‌های آبیاری قطره‌ای و آبیاری سطحی با اختلاف معنی‌داری بیشتر است. طبق نتایج حاصل از این پژوهش با بکارگیری سامانه واترباکس ضمن استفاده حداکثری از منابع آب موجود و در دسترس می‌توان از منابع آبی که از دسترس خارج می‌شوند مثل نزولات جوی که با تبخیر از سطح از دسترس خارج می‌شوند استفاده نمود.

در بخش مقایسه رشد تیمارها در فصل بهار ۹۶ ملاحظه شد که بیش‌ترین رشد چه به لحاظ قطری و چه به لحاظ ارتفاعی مربوط به تیمار واترباکس بود و این اختلاف به احتمال قوی به خاطر اندوخته آبی است که در مخزن خود در فصل زمستان از نزولات جوی ذخیره کرده است.

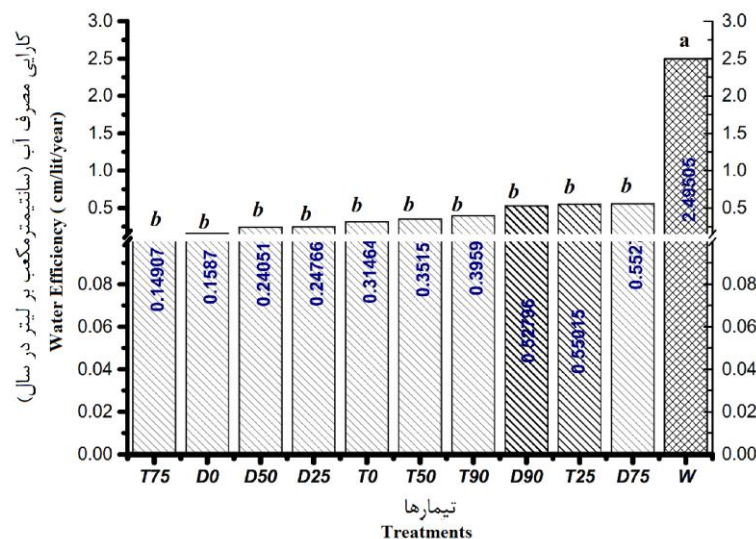
البته اختلاف در درصد زنده‌مانی طبق روش دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبوده است. نتایج درصد زنده‌مانی نهال با نتایج ناصری و همکاران مطابقت داشته است. ایشان با بررسی درصد زنده‌مانی گونه تا اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کم‌آبیاری به لحاظ درصد زنده‌مانی مشاهده نکردند. گرجی بحری و همکاران با بررسی درصد زنده‌مانی بلوط تحت رژیم‌های آبیاری متفاوت اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده کردند که با نتایج این تحقیق متفاوت بوده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

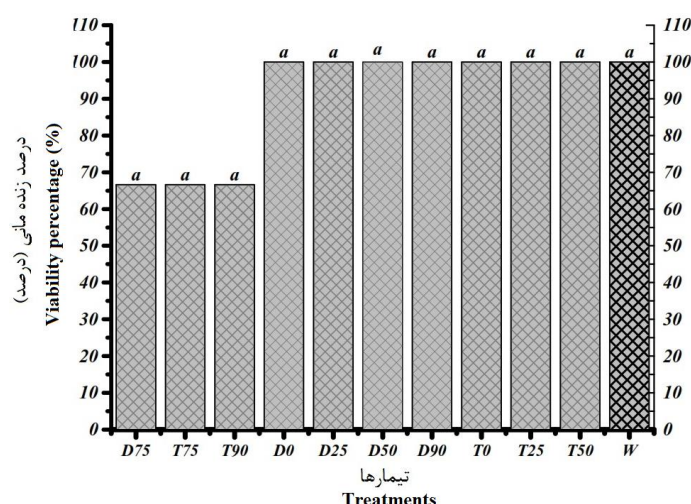
در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که سامانه واترباکس ضمن کاهش چشمگیر میزان آب مصرفی (در حد ۹۲ درصد کم آبیاری نسبت به آبیاری قطره‌ای کامل) و درصد زنده‌مانی بالای نهال (در این پژوهش ۱۰۰ درصد) روشی مفید و کاربردی جهت استقرار نهال

جدول ۳- کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف
Table 3- Water efficiency in different treatments

تیمار Treatment	نماد Symbol	رشد حجمی (سانتی متر مکعب) Volume growth (ccm)	آب مصرفی (لیتر) Water used (lit)	کارایی مصرف آب (سانتی متر مکعب بر لیتر) Water efficiency (ccm/lit)
آبیاری دستی کامل Full surface irrigation	T0	3	49	21.79
آبیاری دستی با ۲۵ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 25% deficit-irrigation	T25	3	60.29	9.50
آبیاری دستی با ۵۰ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 50% deficit-irrigation	T50	3	28.33	33.86
آبیاری دستی با ۷۵ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 75% deficit-irrigation	T75	3	34	1.5
آبیاری دستی با ۹۰ درصد کم آبیاری Surface irrigation by 90% deficit-irrigation	T90	3	10	9.29
آبیاری قطره ای کامل Full drip irrigation	D0	3	27.33	10.5
آبیاری قطره ای با ۲۵ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 25% deficit-irrigation	D25	3	41.5	4.93
آبیاری قطره ای با ۵۰ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 50% deficit-irrigation	D50	3	39.5	4
آبیاری قطره ای با ۷۵ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 75% deficit-irrigation	D75	3	22.16	2
آبیاری قطره ای با ۹۰ درصد کم آبیاری Drip irrigation by 90% deficit-irrigation	D90	3	16.17	4.48
واتر باکس Water box	W	11	29.32	11.59



شکل ۷- کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف
Figure 7- Water efficiency in different treatments



شکل ۸- درصد زنده‌مانی در تیمارهای مختلف

Figure 8- Viability percentage in different irrigation treatments

محاسبه گردد که نیاز به تحقیقات چندین ساله دارد. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد استفاده از واترباکس بر روی رشد (قطری و ارتفاعی) گیاه (در این مطالعه زالزالک) تأثیر معنی‌داری نداشته است. همچنین تأثیر این روش آبیاری بر روی زنده‌مانی نهال که از مهمترین معیارهای استقرار نهال می‌باشد در مقایسه با دو روش دیگر (قطره‌ای و سطحی) معنی‌دار نبوده است. لذا این فرضیه رد نمی‌شود.

با توجه به این‌که در زمینه آبیاری با سامانه واترباکس تحقیقات چندانی صورت نگرفته توصیه می‌شود تحقیقاتی در خصوص استفاده از این سامانه برای آبیاری گونه‌های مثمر انجام گیرد. تحقیقات و آزمایشات جهت انتخاب بهترین جنس فسیله متناسب با گونه گیاهی و بافت و ساختمان خاک لازم می‌باشد. باتوجه به اینکه آزاد سازی سامانه واتر باکس در شرایطی مشابه این تحقیق که طوقه نهال در مرکز قرار می‌گیرد دشوار است، تحقیقی در خصوص قرار دادن سامانه در مجاورت نهال انجام شود. محل نصب و کارگزاری فسیله نیز از جمله مواردی است که لازم است در تحقیقات بعدی به آن پرداخته شود.

نظر به این‌که واترباکس موجود در بازار در یک اندازه و گنجایش واحد وجود دارد به‌نظر می‌رسد طراحی مخزن از نظر شکل و گنجایش با توجه به اقلیم‌های مختلف می‌تواند موضوع دیگری برای تحقیقات آتی در زمینه واترباکس باشد.

لذا با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان درستی فرضیه‌های مطرح شده در ابتدای پژوهش را این‌گونه پاسخ داد: در طراحی سیستم آبیاری علاوه بر مسائل فنی باید به تحلیل اقتصادی پروژه نیز پرداخت بطوری‌که در هر گزینه هزینه‌های ثابت و جاری را متناسب با نوع طرح در نظر گرفته و درآمدهای اقتصادی آن را مورد مقایسه قرار داد تا بتوان نسبت به انتخاب یا عدم انتخاب نوع سیستم تصمیم‌گیری نمود. نکته‌ای را که در طرح‌های آبخیزداری و بیابان‌زدایی باید مد نظر قرار داد این است که باید میزان موفقیت و اثربخشی و توجیه اقتصادی این پروژه‌ها بعد از اجرای آنها مورد بررسی قرار گیرد و علل موفقیت و یا عدم موفقیت آنها مشخص و همچنین میزان تأثیر آن بر محیط زیست و وضعیت اجتماعی و اقتصادی منطقه اعلام گردد. لذا بررسی اقتصادی گزینه‌ها و تیمارهای مورد آزمایش در این پژوهش قبل از اجرای کامل (بعد از چند سال تا گیاه به اندازه مطلوب رسیده باشد) مستقیماً امکان‌پذیر نبوده ولی به طور غیر مستقیم می‌توان با توجه به کارایی مصرف آب گزینه‌های مختلف را مقایسه نمود.

کارایی مصرف سامانه واترباکس (۲/۵ سانتی‌متر مکعب بر لیتر) با سایر تیمارها اختلاف زیاد و معنی‌داری داشت یعنی با به کارگیری این روش آبیاری، به ازاء مصرف آب واحد (یک لیتر) میزان تولید محصول که اثر مستقیمی بر درآمد حاصل از طرح خواهد گذاشت بیشتر از سایر تیمارها بوده است. جهت تحلیل اقتصادی کامل باید ضمن محاسبه هزینه‌های اجرای طرح، درآمد حاصل از اجرای طرح در درازمدت

منابع

- 1- Ashenafi A., Mereseit H., and Dawit B. 2015. Preliminary study on effect of Waterboxx on survival rate of fruit trees (apple, avocado, gouvea and orange) at Selame elementary school garden wukro. Ethical and sustainable

- ecosystem management 22: 83-102.
- 2- Bainbridge A., and Ramirez A. 2008. More efficient irrigation systems for desert and dry land restoration. Expo Zaragoza. 14 June-14 September. Zaragoza, Spain.
- 3- Bastani Sh., 1994. Groundwater irrigation scheme with jug tubes. Seventh Seminar of the National Irrigation and Drainage Committee. August 31 to September 2. National Irrigation and Drainage Committee. Tehran.
- 4- Fal Salman M., and Haseli M. 2011. Introduction of subsurface water-irrigation method in arid and low water areas (Case study of Bidsekan village in Ferdows city). International Conference on Knowledge of Traditional Water Resources Management. 2 to 4 March. Qazvin International Center.
- 5- Fall Solomon M. My goodness 1390. Introduction of subsurface water-irrigation method in arid and low water areas (Case study of Bidsekan village in Ferdows city). International Conference on Knowledge of Traditional Water Resources Management. 2 to 4 March. Qazvin International Center and Yazd Blue Historical Structures.
- 6- Groasis. 2017. Explanation-of-the-Groasis-Technology. https://www.groasis.com/images/scientific_results/Appendix.
- 7- Islam A., and Karimi Goghari Sh. 2008. Low irrigation of pistachio trees using underwater drip irrigation. The 2nd National Conference on Irrigation and Drainage Management. 1 to 4 March. Chamran martyr of Ahwaz University.
- 8- Kazeminejad AE., Kareghar AS., Karegar H., Sadri P., Dehghan A., Ghazanfarian and Qabriyeh H. 2007. Study of the effects of sub-surface irrigation on the growth and development of halophytes in desert areas using clay pipes. Forest and Range Quarterly. 74: 88-93.
- 9- Lauren B. 2013. Wick irrigation systems for subsistence farming. Bachelor of science in mechanical engineering. 20-23 jon. Massachusetts, US.
- 10- Radiobaracoa. 2017. 5-wick-irrigation-a-sustainable-technology-available-to-everyone. <http://www.radiobaracoa.icrt.cu/en/component/k2/item/167>.



Comparison of Surface, Drip and Water Box Irrigation Methods on the Establishment of Hawthorn Seedling for Controlling Desertification Phenomenon

H. Abedi Babaheydari¹ - R. Fatahi² - D. Namdar Khojasteh^{3*}

Received: 08-10-2018

Accepted: 11-05-2019

Introduction: The existence of 35 to 45 million hectares of desert areas in Iran and many restrictions such as lack of precipitation, have caused many challenges for the development of these areas. On the other hand, improper utilization of existing resources has resulted in desertification as a natural phenomenon, which is increasing annually. The activities that have been tracked down desertification decades ago have only managed to control a very small corner (about 9.1 million hectares) of these areas. Desertification is the consequence of two challenges of climate change and freshwater scarcity. In Iran, 43.7 million hectares are desert ecosystems in the wilderness of the country, of which about 20 million hectares of desert ecosystems are affected by wind erosion. Meanwhile, 4.6 million hectares in 183 districts in 82 counties and 18 provinces of the country are considered critical wind erosion centers. In general, natural and human factors are among the main origins of desertification. In arid and semi-arid areas due to lack of precipitation, water is the most important limiting factor for plant deployment. Due to the quantitative and qualitative limitations of water resources, the survival of plants in desert areas, mainly depends on the choosing appropriate irrigation method. The purpose of this study was to compare Water Box method, which is a particular form of irrigation, with surface and drip irrigations for planting hawthorn plant, which is often used for desertification projects in semi-arid areas such as Iran.

Materials and Methods: Experiments were carried out in the research field at Shahrekord University in the coordinate 32.3526° N, 50.8261° E and 2105 meters above sea level. The study area is 7 km far from the Shahrekord synoptic meteorological station. Shahrekord climate is categorized as Dcas climate by Copenhagen division method, which is characterized by moderate cold weather conditions with warm summers. In surface and drip irrigation methods, five irrigation regimes with zero, 25, 50, 75 and 90 percent of water requirements each with three replications were applied. In the Water box method, due to the self-regulation of the system and the no possibility of deficit irrigation, experiments with 15 similar replications were performed. Plant parameters such as stem diameter, height, seedling survival percentage and water content in each treatment were measured by one-month interval and compared to each other at the end of the study.

Results: The results of this study showed that the Water Box system, while significantly reducing the amount of consumed water (92% than drip irrigation) and high survival rate of seedlings (in this research 100%), is a useful method for establishing some hawthorn seedlings for combat and control of the desertification phenomenon. The highest growth was observed in irrigation treatments with 25 percent low irrigation with 60 cm height growth. Also, the lowest growth is due to irrigation with 90 percent low irrigation. In order to compare the mean annual growth rate of treatments, data were analyzed in SPSS software using the Duncan test at a significant level of 5 percent. The highest water use efficiency was related to water Box irrigation with 2.5 cc/l, which was obtained with a relatively large distance from other treatments, while, as mentioned in the previous sections, the water consumption of this treatment 92 percent low irrigation than full drip irrigation. The lowest water use efficiency was related to irrigation with 75% irrigation, which was 0.15 m³ l⁻¹. In total drip irrigation treatment, water use efficiency was estimated to be 0.16 cm/liter, which shows that although the growth of this treatment was in good condition, it has poor results regarding water use efficiency.

Discussion: Due to the resistance of hawthorn to drought, only three of the cultivated seedlings were dried. The percentage of viability in the Water Box method was 100 percent. However, the difference in the percentage of vitality according to Duncan's method was not significant at 5 percent level. The results of seedling survival

1 and 2- M.Sc Graduate Student and Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Respectively

3- Assistant Professor, Department of Soil Science, Shahed University

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

percentage were consistent with Naseri et al.(2005). They did not observe the significant difference between irrigation treatments in terms of viability. Due to the lack of research on irrigation with the Water box system, it is recommended that other researches be carried out on the use of this system for irrigation of other (productive) species. The location of the installation and tiling of wicks is one of the things that need to be addressed in the future research.

Keywords: Deficit irrigation, Survival, Water use efficiency, Wick irrigation



بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب در ساختگاه سد بازفت

احمد رستگاریان^۱ - مهدی کرمی^۲ - محمد غفوری^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹

چکیده

بررسی کیفیت منابع آب موجود در ساختگاه سدها یکی از مطالعات اولیه در طراحی چنین سازه‌هایی می‌باشد. در این پژوهش با انجام مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی، شاخص‌های متعددی جهت بررسی کیفیت منابع آب ساختگاه سد بازفت برای اهداف مختلف بررسی شد. سد بازفت از نوع بتنی دو قوسی با ارتفاع ۲۱۱ متر از پی در جنوب غرب ایران در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. پی سنگ ساختگاه سد شامل آهک‌ها و دولومیت‌های سازند آسماری و جهرم می‌باشد. پس از مطالعات صحرایی، آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب برداشت شده از منابع آبی چشمه، رودخانه و گمانه‌های اکتشافی واقع در ساختگاه سد انجام شد. نتایج نشان داد که آنیون‌های HCO_3^- ، Cl^- ، SO_4^{2-} و CO_3^{2-} و NO_3^- به ترتیب و کاتیون‌های Ca^{2+} ، Na^+ ، Mg^{2+} و K^+ به ترتیب بیشترین هستند. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که ۸۷،۱۳ درصد از تغییرات کیفی آب توسط چهار گروه عاملی کنترل می‌شود. مهمترین عامل مؤثر بر کیفیت آب ساختگاه شامل EC ، TDS ، $\text{Na\%}$ ، SAR ، کلرید، سولفات، قلیاییت، Na و کربنات با ۵۰،۹۱ درصد می‌باشند. ماتریکس همبستگی عناصر بررسی شد و دقت برخی از روابط بر اساس معیارهای مختلف آماری بررسی شد. خوردگی آب بالا و تمام شاخص‌ها نشانگر کیفیت مناسب منابع آب ساختگاه برای کشاورزی و آشامیدن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی منابع آب، تحلیل عاملی، سد بازفت، هیدروژئوشیمی

مقدمه

در تعیین درجه وابستگی و یا ارتباط خطی بین متغیرها می‌باشد (۹ و ۲۶). تحلیل عاملی روشی مناسب برای تحلیل داده‌های نمونه‌های آبی هستند که برای ارزیابی داده‌های کیفی آب و امکان گروه‌بندی هیدروشیمیایی نمونه‌ها به کار برده می‌شوند و از نقطه نظر آماری در هیدرولوژی و زمین‌شناسی دارای اهمیت خاصی هستند (۱۴). Acikel و Ekmekci کیفیت آب زیرزمینی را با استفاده از تحلیل عاملی در یک آبخوان کربناته کارستی در شهر Mugla کشور Turkey را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات کیفیت آب توسط سه عامل کنترل می‌شود (۱). منشاء آلودگی نیترات در یک آبخوان کارستی بررسی شد و مشخص شد که منشاء آلودگی نیترات منحصر از کاربرد کود نیتروژن حاصل شده است زیرا سایر منابع بالقوه توسط داده‌های تحلیلی و کارهای میدانی تأیید نشد. در این تحقیق با استفاده از PCA پنج عامل برای منشاء یون‌ها و پارامترهای فیزیکی شیمیایی تعیین شد (۲۴).

هدف از تحقیق حاضر بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در ساختگاه سد بازفت می‌باشد. کیفیت منابع آب در ساختگاه بر اساس معیارها مختلف و تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب ساختگاه به روش تحلیل عاملی با هدف خلاصه کردن متغیرها انجام شد. مجموعه داده‌های شامل نتایج آنالیز شیمیایی تعداد ۲۰ نمونه آب

مطالعه منابع آب سازندهای کارستی، به دلیل تأمین آب مصرفی جمعیت قابل توجهی از مردم مناطق مختلف جهان دارای اهمیت بسیار زیادی است. بخش عمده‌ای از این منابع به شکل منابع آب کارست در سازندهای مستعد توسعه کارست مانند سازند کربناته آسماری در زاگرس، ایران شکل گرفته است (۱۷ و ۱۹). برخی از تحقیقات انجام شده پیرامون آبخوان‌های کارستی و مسئله آلودگی منابع آب آن در ادامه بیان می‌شود.

در مطالعات متعددی استفاده از روش‌های تحلیل عاملی چندمتغیره همچون ضریب همبستگی، آمار توصیفی، تحلیل عاملی و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای جهت گروه‌بندی و تفسیر شیمی نمونه‌های آب مورد توجه بوده است (۱۱ و ۱۴). ضریب همبستگی یک ابزار مفید

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

۲ و ۳- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی و استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول: (Email: ghafoori@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v33i2.77970

روش‌های استاندارد (۲۱)، pH و هدایت الکتریکی (EC) با دستگاه‌های pH متر و دستگاه سنجش هدایت الکتریکی در ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر به روش تیتراسیون (حجم‌سنجی) غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم به روش فلیم فتومتری (Flame photometry) و یون سولفات به روش اسپکتروفتومتری (Spectrophotometry) اندازه‌گیری شدند. روش پتانسیومتری برای اندازه‌گیری یون نترات استفاده شد. خطای انجام آزمایش در تمامی موارد کمتر از ۵ درصد بوده و نتایج تمامی آزمایشات مورد تأیید قرار گرفت.

محاسبه شاخص‌های لانژلیه و رایزنر

شاخص لانژلیه (Langelier Saturation Index (LSI) و شاخص رایزنر (RSI) (Ryznar Stability Index) با استفاده از pH واقعی آب و pHs (pH در حالت اشباع از کربنات کلسیم) محاسبه شدند (روابط ۱ تا ۷). اگر شاخص $pH > pHs$ باشد، $LSI > 0$ است در این حالت آب از کربنات کلسیم اشباع خواهد بود و آب رسوبگذار است و بر عکس اگر $LSI < 0$ باشد آب خورنده است. اگر شاخص رایزنر کمتر از ۶٫۵ باشد آب تمایل به رسوبگذاری دارد و بر عکس اگر این شاخص از ۶٫۵ بیشتر شود آب خورنده است (۱۶).

$$LSI = pH - pHs \quad (1)$$

$$RSI = 2(pHs) - pH = pHs - LSI \quad (2)$$

برداشت شده از منابع آبی چشمه، رودخانه و گمانه‌های اکتشافی واقع در محدوده ساختگاه سد می‌باشد.

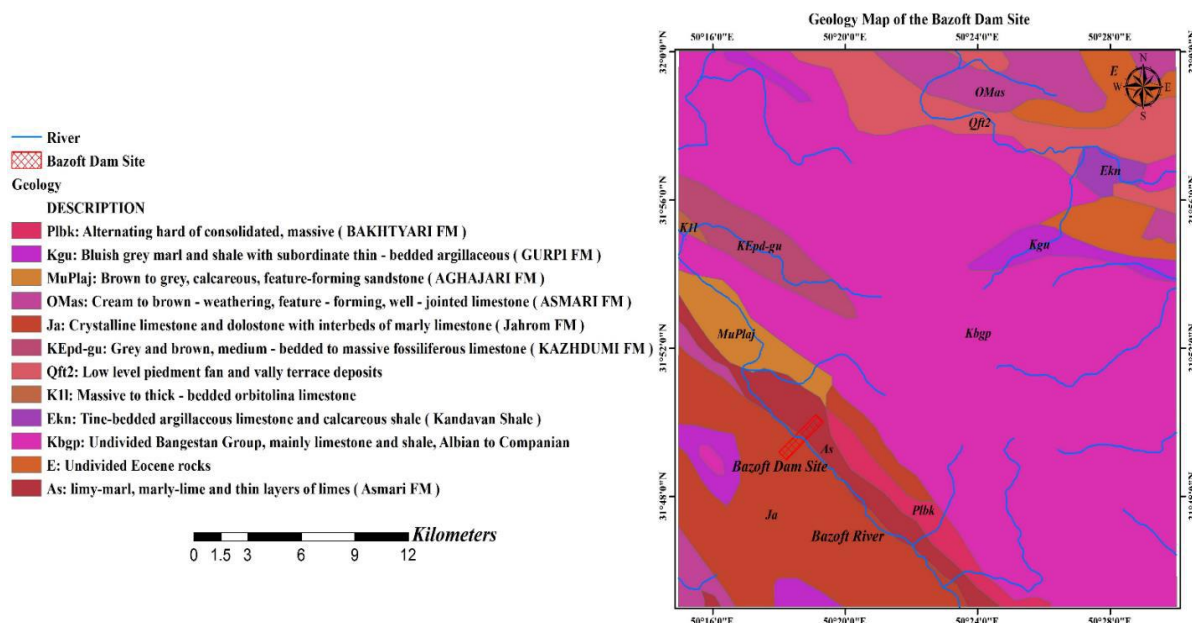
ساختگاه سد بازفت

احداث سد مخزنی بازفت برای استفاده بهینه از آب رودخانه بازفت به منظور تولید بیشینه انرژی برق-آبی، تأمین آب کشاورزی و آشامیدنی می‌باشد. این سد با ارتفاع ۲۱۱ متر در مرحله طراحی و از نوع بتنی دو قوسی است که دارای دو نیروگاه هر کدام با ظرفیت اسمی ۱۸۰ MW می‌باشد. ساختگاه سد مخزنی بازفت در حدود ۲۰۰ کیلومتری جنوب باختری شهرکرد قرار دارد. سنگ بستر ساختگاه سد بازفت به سازندهای آسماری (AS) و چهارم (Ja) (اٲو- الیگو- میوسن) تعلق دارد که سازند چهارم جناح راست، بستر رودخانه و بخش پایینی تکیه‌گاه چپ و سازند آسماری بخش میانی و بالایی تکیه‌گاه چپ را تشکیل می‌دهد. سازند چهارم از سنگ آهک بلورین و سنگ دولومیت همراه با درون لایه‌هایی از سنگ آهک مارنی بوجود آمده است.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی

در این تحقیق برای ارزیابی کیفیت منابع آب، آنالیز شیمیایی بر روی ۲۰ نمونه آب برداشت شده از منابع آبی چشمه، رودخانه و گمانه‌های اکتشافی واقع در محدوده ساختگاه سد انجام شد. نمونه‌های آب براساس دستورالعمل‌های مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند و براساس



شکل ۱- نقشه زمین شناسی ساختگاه سد بازفت
Figure 1- Geological map of Bazoft dam site

جدول ۱- درجات مختلف خوردگی و رسوبگذاری آب (۱۰)
Table 1- The degrees of corrosion and scaling of water (10)

مقدار شاخص RSI The value of RSI index	رفتار آب Water behavior	مقدار شاخص LSI The value of LSI index	رفتار آب Water behavior
5-6	رسوبگذاری ضعیف Weak scaling	0-0.5	رسوبگذاری کم Low scaling
6-7	رسوبگذاری و خوردگی ناچیز Weak scaling and corrosion	0.5-1	رسوبگذاری متوسط Medium scaling
7-7.5	خوردگی متوسط Medium corrosion	1-2	رسوبگذاری شدید High scaling
>7.5	خوردگی زیاد High corrosion		

در رابطه ۱۲ واحد یون‌ها میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

شاخص نفوذپذیری (Permeability index: PI)

استفاده طولانی مدت از آب با شوری و سدیم زیاد سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد. با توجه به اینکه نفوذپذیری خاک وابسته به میزان یون‌های Ca ، Mg ، HCO_3 ، Na است، Doneen (۳) پیشنهاد کرد که از رابطه زیر تأثیر پارامتر نفوذپذیری خاک در رده‌بندی آب برای مصارف کشاورزی محاسبه گردد.

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Na^+ + Mg^{2+} + Ca^{2+}} * 100 \quad (۱۳)$$

در رابطه بالا واحد یون‌ها میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. آب را می‌توان از لحاظ سختی، TDS، EC، SAR، RSC، Kelly Ratio (KR)، و درصد سدیم مطابق جدول ۲ به گروه‌های گوناگون تقسیم‌بندی کرد (۲۳).

نتایج و بحث

بررسی‌های صحرایی چشمه‌ها

رودخانه بازفت (دوآب) یکی از سرشاخه‌های مهم و اصلی رودخانه کارون می‌باشد. مساحت حوزه آبریز برابر با ۱۷۸۲ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن ۲۲۶۴ متر از سطح دریا می‌باشد. در محل سد تراز بستر رودخانه حدود ۱۰۳۸،۵ متر از سطح دریا می‌باشد. طول شاخه اصلی رودخانه ۱۲۲،۴ کیلومتر و شیب متوسط حوزه ۴۳،۴ درصد است. متوسط آبدهی سالانه رودخانه ۶۳،۳ متر مکعب در ثانیه برآورد شده است. بارنگی متوسط حوزه سد بازفت ۱۰۸۰ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به مقادیر بارنگی متوسط در سطح حوزه سد و آبدهی حوضه، ضریب رواناب حوزه سد بازفت ۱۰۳،۷۵ درصد محاسبه شده است. این نشان می‌دهد که حوزه مطالعه شده به وسیله حوضه‌های مجاور خود تغذیه می‌شود.

$$pHs = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (۳) \quad C = \log_{10}[TH] - 0.4 \quad (۴)$$

$$D = \log_{10}[TA] \quad A = \frac{\log_{10}(TDS) - 1}{10} \quad B = -13.12 * \log_{10}(C + 273) + 34.55 \quad (۵) \quad (۶) \quad (۷)$$

$$TH (CaCO_3 mg / L) = 50 * (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (۸) \quad TA (CaCO_3 mg / L) = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) \quad (۹)$$

که در این روابط غلظت کلسیم، منیزیم، کربنات و بیکربنات به mg/L است. TDS کل جامدات محلول به mg/L درجه حرارت به درجه سلسیوس، سختی کل (TH) بر حسب کربنات کلسیم معادل mg/L و TA کلیاتیت کل معادل کربنات کلسیم به mg/L است. جدول ۱ درجات مختلف خوردگی و رسوبگذاری را نشان می‌دهد.

نسبت جذب سدیم (Sodium Adsorption Ratio: SAR) و درصد سدیم (Soluble Sodium Percentage: Na %) مطابق روابط زیر محاسبه شد.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \quad Na\% = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} * 100 \quad (۱۰) \quad (۱۱)$$

در روابط فوق غلظت‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشند.

سدیم کربنات باقی مانده (Residual Sodium Carbonate: RSC)

مقادیر بالای یون‌های کربنات و بی کربنات سبب افزایش RSC شده و یون‌های کلسیم و منیزیم مقدار این پارامتر را کاهش می‌دهند. یون‌های بی کربنات و کربنات با کلسیم و منیزیم ترکیب شده و به صورت $CaCO_3$ و $MgCO_3$ رسوب می‌کنند. طی این واکنش غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم نسبت به یون سدیم کاهش یافته و در نتیجه pH افزایش می‌یابد. RSC توسط رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود (۲۰):

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (۱۲)$$

جدول ۲- رده بندی نوع آب زیرزمینی براساس پارامترهای مختلف (۲۳)

Table 2- the classification of the type of groundwater based on different parameters (23)

میزان سختی as CaCO ₃ (Mg/l) Hardness value as CaCO ₃ (mg/l)	نوع آب Water type	TDS (Mg/l)	نوع آب Water type	EC $\mu\text{S/cm}$	کلاس آب Water type	SAR	کلاس Class	درصد سدیم % Na	کلاس Class	RSC	کیفیت Quality	Kelly Ratio (KR)	توصیف Description
>75	نرم soft	<1000	آب تازه Fresh water	< 250	عالی Excellent	< 10	S1	<20	عالی Excellent	1.25>	عالی Excellent	<1	مناسب Suitable
75-150	نسبتاً سخت Relatively hard	1000-10000	آب لب شور Brackish water	250-750	خوب good	10-18	S2	20-40	خوب good	1.25-2.5	خوب Good	1<	نامناسب Unsuitable
150-300	سخت Hard	10000-100000	آب شور Salt water	750-2000	مجاز Permissible	18-26	S3	40-60	مجاز Permissible	2.5<	نامناسب Unsuitable		
<300	خیلی سخت Very hard	<100000	آب خیلی شور Very salt	2000-3000	مشکوک Doubtful	>26	S4	60-80	مشکوک Doubtful				
				>3000	نامناسب Unsuitable			>80	نامناسب Unsuitable				

جناح چپ) و BZ22 (بستر رودخانه) و همچنین آب رودخانه در بالا دست و پایین دست محور سد مورد ارزیابی هیدروشیمی قرار گرفت.

جدول ۳- مختصات و تراز ارتفاعی چشمه‌های مورد بررسی

Table 3- The coordinates and the altitude level of the studied springs

نام چشمه Spring name	x	y	z
ابدود Abdud	432125	3524434	1100
اب دوغ ترش Abdughtorsh	432207	3524299	1137
پس انگبین Pasangabin	432061	3524493	1085
ده زیر Dehzir	432231	3524800	1058
ده پیر Dehpir	433179	3523673	1188

میزان املاح موجود در آب‌های زیرزمینی تابعی از عوامل متعددی است که از مهمترین آنها می‌توان جنس واحدهای سنگی، طول مسیر جریان، میزان نزولات جوی، پوشش گیاهی و منشأ اولیه آب را نام برد (۱۳). در منطقه مورد مطالعه از میان این عوامل، جنس واحدهای

از ۲۵۰ چشمه شناسایی شده در محدوده ساختگاه تنها ۴ چشمه بنام ابدود، ابدوغ ترش، پس‌انگبین و ده‌زیر در مخزن قرار گرفته و بعد از آبیگری سد در دریاچه سد غرق خواهند شد. تمام این چشمه‌ها از سنگ آهک‌های کرتاسه بالایی منشأ می‌گیرند. مقدار آب‌دهی متوسط کل چشمه‌های جناح چپ رودخانه ۱۳۰ لیتر در ثانیه بوده است. مختصات و تراز ارتفاعی چشمه‌های مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

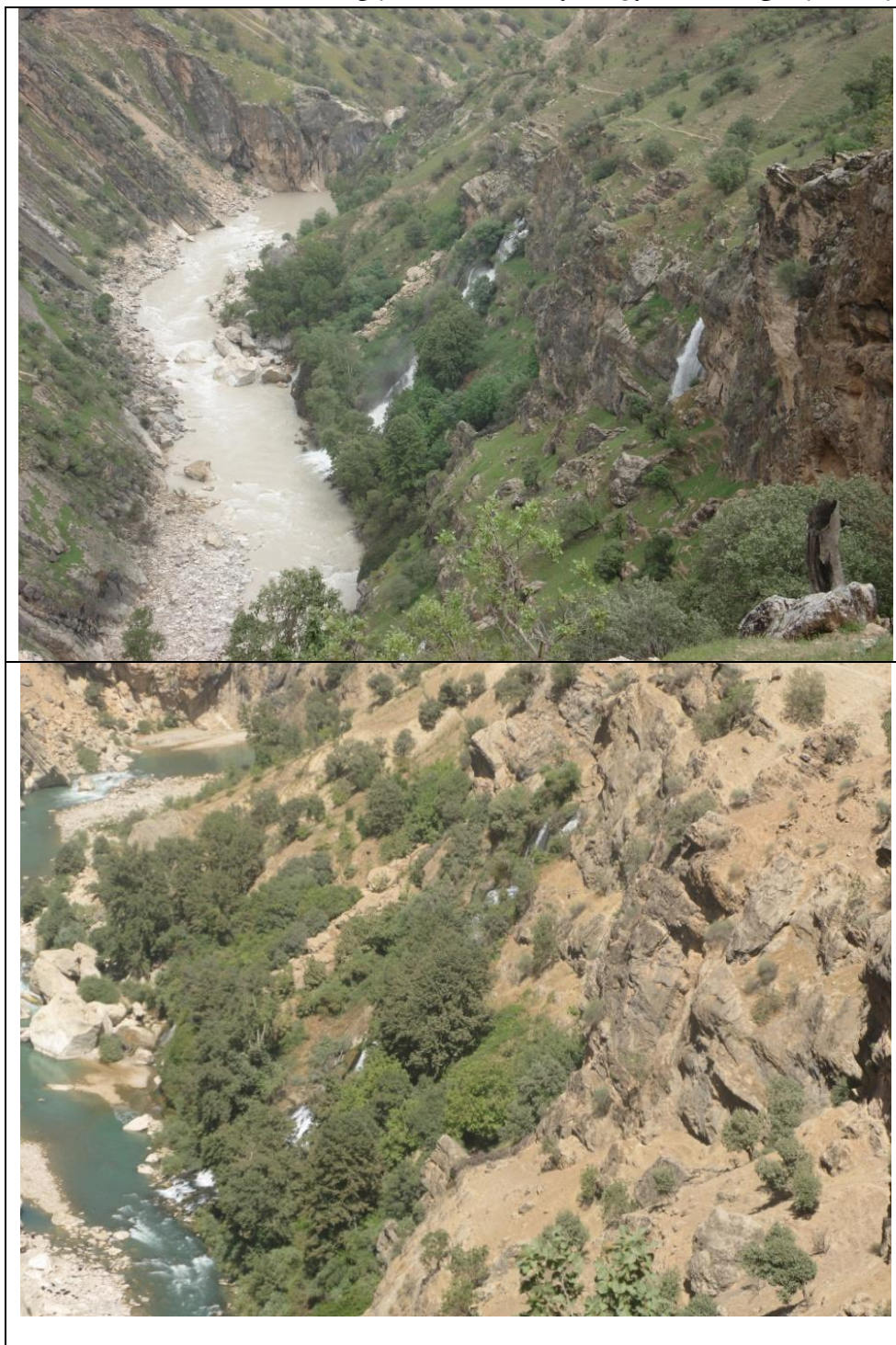
فقط سه چشمه ابدود، آب دوغ ترش، پس‌انگبین دارای آب‌دهی حدود ۲ متر مکعب در ثانیه می‌باشند. چشمه ابدود دارای آب‌دهی حدود ۲٫۵ متر مکعب بر ثانیه است. این چشمه از تیپ کربناته و دارای TDS بسیار پایین (۱۱۵ ppm) و درجه خلوص آن بسیار بالا می‌باشد. مشخصات آب این چشمه و حجم بالای آب‌دهی آن نشان می‌دهد که این چشمه تحت تأثیر بار هیدرواستاتیکی بسیار بالاتر قرار دارد و همچنین مسیر طولانی را طی می‌کند. چشمه ابدوغ‌ترش در پایین دست چشمه پس‌انگبین فصلی می‌باشد (مقایسه شکل ۲ سمت بالا در بهمن ۱۳۸۶ و پایین در آبان ۱۳۸۸ تهیه شده‌اند).

آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب

نمونه‌های آب تهیه شده از چشمه‌های جناح چپ (چشمه‌های ابدود، پس‌انگبین و ابدوغ‌ترش)، گمانه‌های BR1 (جناح راست)، BZ8

است. میانگین آنیون‌ها HCO_3 ، Cl ، SO_4 و NO_3 به ترتیب بیشترین مقدار را در دارند و کاتیون‌ها به ترتیب Ca ، Na ، Mg و K بیشترین هستند.

سنگی و منشأ اولیه آب مهمترین عوامل تأثیرگذار بر میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب چشمه‌های مورد بررسی هستند. پارامترهای آماری ترکیبات بررسی شده در جداول ۴، ۵ و ۶ آمده



شکل ۲- چشمه پس‌انگبین و آبدوغ‌ترش
Figure 2- Abdughtorsh and Pasangabin springs

توسط دان (۲) بررسی و نتایج در ادامه ارائه شده است. بر اساس EC و SAR آب چشمه‌ها در رده C1S1 و از نظر رده‌بندی برای کشاورزی آب چشمه‌ها شیرین و کاملاً بی‌ضرر است. آب گمانه‌ها و رودخانه در رده C2S1 قرار می‌گیرند که همگی برای کشاورزی مناسب هستند. کیفیت آب چشمه‌ها، رودخانه و گمانه‌ها برای کشاورزی از نظر درصد سدیم به ترتیب عالی، خوب و مجاز می‌باشد (جدول ۴). پایین بودن میزان TDS (کمتر از ۲۰۰) چشمه‌ها و گمانه‌ها نشانگر زمان ماندگاری کم آب در سیستم کارستی و توسعه محدود کارست در جناح چپ ساختگاه می‌باشد (جدول ۴). بر اساس رده‌بندی RSC و با توجه به اینکه میزان تغییرات این پارامتر بین حداقل ۱،۲۹- تا حداکثر ۲،۴۸ قرار دارد، تمامی نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در رده خوب قرار دارند (جدول ۴).

جدول ۴- توصیف پارامترها در منابع مختلف آب ساختگاه

Table 4- Description of the parameters in the different water sources of dam site

منبع Source	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	S.A. R	کلاس Class	Na %	توصیف Description	TDS (Mg/l)	توصیف Description	TH (ppm)	توصیف Description	قلیائیت (بر حسب CaO) Alkalinity (CaO)	RSC (meq/l)	توصیف Description
چشمه Spring	195.72	0.03	C1S1	1.22	عالی Excellent	108.6	آب تازه Fresh water	161.23	سخت Hard	1.02	-0.34	عالی Excellent
گمانه Borehole	329.4	0.6	C2S1	13.45	عالی Excellent	194.2	آب تازه Fresh water	199.62	سخت Hard	21.24	-0.46	عالی Excellent
رودخانه River	664.83	3.25	C2S1	54.37	قابل قبول Permissible	434.1	آب تازه Fresh water	189.6	سخت Hard	109.15	-1.1	عالی Excellent
کل ساختگاه Total dam site	369.87	1.14	C2S1	20.23	خوب good	227.63	آب تازه Fresh water	179.34	سخت Hard	38.51	-0.61	عالی Excellent

یکی از جنبه‌های مهم کیفیت آب، پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آن است. رخداد یکی از این دو پدیده می‌تواند هزینه‌های نگهداری را افزایش و عمر سامانه‌های ذخیره، انتقال و توزیع آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی را کاهش یابد. با توجه به اینکه شاخص LSI منفی و RSI بیشتر از ۷،۵ می‌باشد، از دیدگاه مصرف در صنعت منابع آب ساختگاه خورنده می‌باشد (جدول ۵). بر اساس شاخص نفوذپذیری (PI) تمامی نمونه‌های ساختگاه در کلاس ۲ قرار دارند لذا برای مصرف در کشاورزی مناسب هستند.

مقادیر متوسط پارامترهای بررسی شده به تفکیک در جناح راست و چپ در جدول ۷ آمده است. چنانچه مشاهد می‌شود غلظت املاح، کاتیون‌ها و آنیون‌ها و در نتیجه شاخص‌ها در جناح راست بیشتر از جناح چپ می‌باشند (جدول ۷).

رخساره‌های هیدروشمیایی آب زیرزمینی تعیین کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت است. تیپ و رخساره غالب منابع آب ساختگاه بی‌کربناته کلسیک ($\text{Ca} > \text{Na} + \text{K} > \text{Mg}$) و HCO_3^- و $\text{Cl} > \text{SO}_4$ می‌باشد. محدوده هدایت الکتریکی آب‌های کارستی معمولاً کمتر از ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است (۱۵). نتایج این تحقیق نیز نشان داد که EC چشمه‌ها و گمانه‌ها در ساختگاه سد بازفت کمتر از ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. EC چشمه‌ها حدود ۱۹۶ و گمانه‌ها ۳۲۹ و رودخانه ۶۶۵ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشند (جدول ۴). مقدار EC کم چشمه‌ها (کمتر از ۲۰۰) نشانگر عدم دخالت ناخالصی‌های محلی در کیفیت آب چشمه‌ها می‌باشد. میزان مقادیر هدایت الکتریکی بالا نشانگر سرعت کم جریان می‌باشد. کیفیت منابع آب موجود در ساختگاه بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده

نسبت Na اندازه‌گیری شده به مجموع Ca و Mg را شاخص کلی (Kelly Rate: KR) می‌نامند. هرچه Na در خاک بیشتر گردد سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود، لذا مقادیر بیشتر شاخص کلی بعنوان شاخصی از خطر کاهش نفوذپذیری نیز می‌تواند بکار رود. شاخص کلی همچنین می‌تواند بعنوان شاخص خطر آکالینیت در آب نیز مطرح گردد. مقدار این پارامتر توسط معادله زیر محاسبه می‌گردد (۸).

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (14)$$

در رابطه ۱۴ واحد یون‌ها میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. بر طبق رده‌بندی کلی، اگر میزان این پارامتر کمتر از یک باشد، آب برای کشاورزی مناسب و در غیر این صورت نامناسب می‌باشد که بر این اساس در منطقه مورد مطالعه، تمامی نمونه‌ها برای کشاورزی مناسب می‌باشند. بر طبق رده‌بندی کلی (Kelly Ratio) در منطقه مورد مطالعه، تمامی نمونه‌ها برای کشاورزی مناسب می‌باشند (جدول ۵).

جدول ۵- توصیف شاخص‌های منابع آب ساختمانی

Table 5- Description of the indicators in the dam site water resources

منبع Source	KR	توصیف Description	RSI	توصیف Description	LSI	توصیف Description	PI %	کلاس class	توصیف Description
چشمه Spring	0.01	مناسب Suitable	10.37	خورندگی زیاد High corrosive	-1.15	رسوبگذاری کم Low scaling	52	کلاس ۲ Class 2	مناسب Suitable
گمانه Borehole	0.02	مناسب Suitable	10.8	خورندگی زیاد High corrosive	-1.01	رسوبگذاری کم Low scaling	53	کلاس ۲ Class 2	مناسب Suitable
رودخانه River	1.23	نامناسب unsuitable	10.36	خورندگی زیاد High corrosive	-1.12	رسوبگذاری کم Low scaling	73	کلاس ۲ Class 2	مناسب Suitable
کل ساختمانی Total dam site	0.42	مناسب Suitable	10.29	خورندگی زیاد High corrosive	-1.11	رسوبگذاری کم Low scaling	58	کلاس ۲ Class 2	مناسب Suitable

جدول ۶- پارامترهای آماری عناصر و ترکیبات بررسی شده و مقایسه با مقادیر مجاز بنا به پیشنهاد سازمان جهانی بهداشت (۲۵)

Table 6- The statistical properties of the assessed parameters and compared with the allowable values of WHO

پارامتر Parameter	حداقل Min.	حداکثر Max.	میانگین Mean	انحراف استاندارد Std. Deviation	واریانس Variance	چوایی Skewness	کشیدگی Kurtosis	حد مجاز مطابق WHO (1994a) WHO (1994a) permissible
pH	7.87	8.23	8.08	0.115	0.013	-0.302	-1.08	6.5-8.5
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	172	735	369.87	218.55	47764	0.654	-1.41	750
TDS	100	495.58	227.63	153.28	23495.8	0.712	-1.31	1000
Na%	0.83	58.08	20.23	24.97	623.66	0.636	-1.65	
SAR	0.01	3.88	1.14	1.51	2.28	0.771	-1.35	
HCO_3^-	128.10	237.94	167.24	30.04	902.72	1.053	1.62	
Cl	4.25	202.10	67.27	83.05	6897.5	0.738	-1.46	250
SO_4	4.10	37.08	14.05	11.99	143.79	0.723	-1.13	500
CO_3	0.00	21.00	8.11	8.342	69.59	0.182	-1.85	
Ca	37.00	78.00	49.36	9.32	86.81	1.669	3.73	200
Mg	3.60	21.00	13.72	3.13	9.82	-1.194	6.53	150
Na	0.5	126.1	37.73	50.28	2528.1	0.791	-1.276	200
K	0.20	3.80	0.63	.794	0.63	3.626	14.71	30
NO_3^-	2.60	4.20	3.62	.586	0.34	-0.774	-0.97	50
TH	159.25	221.53	179.34	19.22	369.31	0.556	-0.69	500
Alkalinity	0.69	131.20	38.51	50.96	2596.8	0.794	-1.239	600
LSI	-1.31	-.78	-1.104	.13674	.019	1.139	1.389	-
RSI	10.53	9.80	10.293	.19082	.036	-1.713	2.977	-

جدول ۷- مقادیر متوسط پارامترهای بررسی شده در جناح راست و چپ (غلظت‌ها بر حسب ppm)

Table 7- Values of the investigated parameters on the right and left abutments (concentrations in ppm)

پارامتر/جناح Abutment/parameter	PH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS	Na %	SAR	HCO_3^-	CL^-	SO_4^-	CO_3^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
جناح چپ Left abutment	8.02	249	139.2	0.86	0.02	164.7	4.25	12.36	21	37	21
جناح راست Right abutment	7.92	433	265.6	22.31	0.77	167.75	42.9	16.48	21	78	3.6
جناح / پارامتر Abutment/parameter	TH	Alkal. (CaO)	Alkal. (CaCO_3)	LSI	RSI	RSC	PI	KR	K^+	NO_3^-	Na^+
جناح چپ Left abutment	179	0.87	3.4	-1.1	10.2	-0.2	45.97	0.01	0.37	3	0.5
جناح راست Right abutment	210	29.3	3.45	-1.15	10.22	-0.75	52.12	0.26	3.8	4	25.5

ماتریکس همبستگی

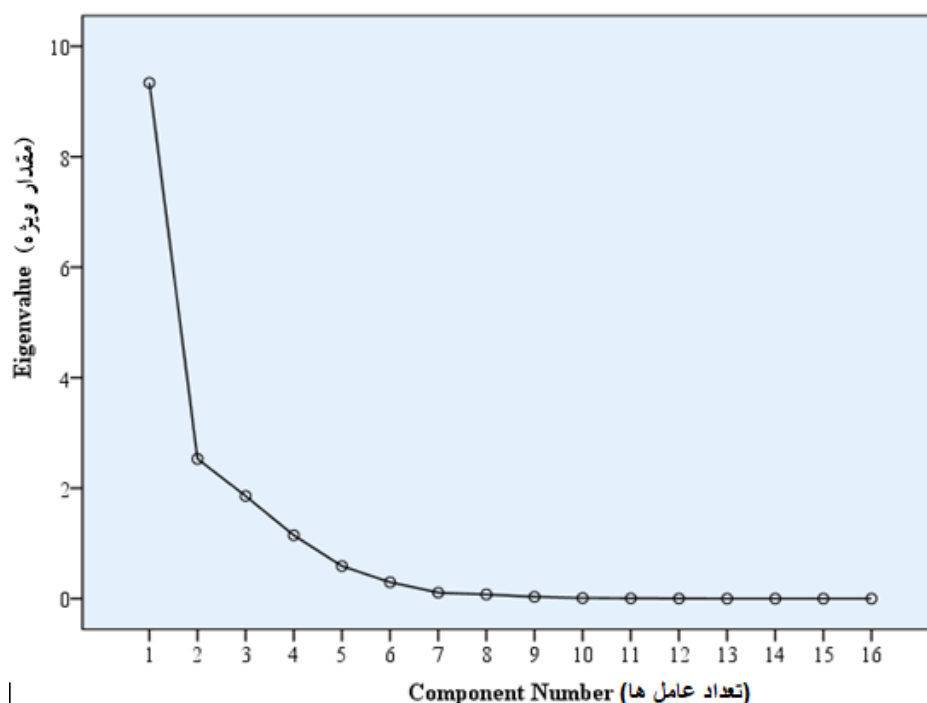
به طور صریح می‌توان گفت پارامترهایی که $r > 0/7$ نشان می‌دهند، به صورت همبستگی قوی، $r < 0/7$ و $r < 0/5$ همبستگی متوسط و $r < 0/5$ همبستگی ضعیف در نظر گرفته می‌شوند (۱۲). ماتریس همبستگی رسم شده، نشان‌دهنده وجود همبستگی بالای یون‌های کلسیم، منیزیم، می‌باشد که نشانگر منشأ (به دلیل انحلال سنگ‌های کربناته) این عناصر در آب زیرزمینی می‌باشد که در ارتباط با خصوصیات زمین‌شناسی نمونه‌ها است (۷). غلظت یون نیترات نیز همبستگی بالایی با بی‌کربنات دارد که علت آن می‌تواند منشأ

مشترک آن‌ها باشد. همبستگی مثبت EC با pH نشانگر ارتباط مستقیم آن‌ها در فرآیندهای انحلال است که با افزایش pH انحلال و در نتیجه آن مواد محلول افزایش می‌یابد. همبستگی منفی pH با دیگر یون‌ها به خوردگی بالای محیط اسیدی نسبت به خاک و سنگ میزبان نسبت داده می‌شود که غلظت بیشتر یون‌ها را افزایش می‌دهد. همبستگی قوی بین سدیم و کلرید را می‌توان به انحلال هالیت و آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی نسبت داد (۲۲). قلیائیت کل نیز با سختی همبستگی متوسطی دارد (جدول ۸)، Rafferty (۱۶) نیز همبستگی معنی دار قلیائیت کل و سختی کل را گزارش کردند.

جدول ۸- ماتریکس همبستگی پارامترها

Table 8- Correlation matrix of the parameters

	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (Mg/l)	Na %	S.A.R	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NO ₃ ⁻	TH (ppm)
pH	1														
EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.21	1													
TDS(Mg/l)	0.21	1	1												
Na%	0.21	0.98	0.98	1											
S.A.R	0.24	0.96	0.96	0.99	1										
HCO ₃ ⁻	0.06	(0.63)	(0.63)	(0.62)	(0.65)	1									
CL ⁻	0.21	0.96	0.96	0.99	0.99	(0.64)	1								
SO ₄ ⁻	0.16	0.89	0.89	0.93	0.91	(0.56)	0.92	1							
CO ₃ ²⁻	(0.04)	0.45	0.43	0.37	0.37	(0.63)	0.33	0.41	1						
Ca ²⁺	(0.20)	0.44	0.44	0.45	0.36	0.06	0.37	0.47	0.15	1					
Mg ²⁺	0.25	(0.00)	(0.00)	0.01	0.07	(0.04)	0.08	0.07	(0.06)	(0.70)	1				
Na ⁺	0.24	0.95	0.95	0.99	0.99	(0.65)	1.00	0.92	0.36	0.37	0.07	1			
K ⁺	(0.25)	0.35	0.34	0.29	0.20	(0.13)	0.19	0.30	0.47	0.85	(0.76)	0.20	1		
NO ₃ ⁻	(0.07)	0.20	0.20	0.24	0.24	(0.58)	0.21	0.15	0.32	0.00	(0.27)	0.25	0.21	1	
TH (ppm)	(0.02)	0.63	0.62	0.65	0.58	0.03	0.60	0.72	0.21	0.83	(0.20)	0.59	0.58	(0.20)	1
Alkalinity (cao)	0.23	0.95	0.94	0.99	0.99	(0.65)	1	0.92	0.37	0.38	0.05	1	0.22	0.26	0.60



شکل ۳- نمودار سنگریزه مربوط به مقادیر ویژه عامل‌ها

Figure 3- The Scree plot of eigenvalues of the factors

در آب زیرزمینی مؤثرند (۵). تأثیر منفی اسیدیته در عامل چهارم بر این نکته اشاره دارد که سرعت هوازدگی کانی‌ها در محیط‌های اسیدی بیشتر از محیط‌های بازی است. شکل ۴ مشخصه‌های مؤثر در هر عامل در فضا را نشان می‌دهد. در این نمودار پراکنش متغیرهای مورد بررسی نسبت به عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم مشاهده می‌شود.

رابطه EC با TDS

با توجه به این که هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با TDS و نمک‌های محلول در آب دارد، لذا اندازه‌گیری آن به منظور کنترل کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار است. هدایت الکتریکی معیاری از توان آب برای هدایت جریان الکتریکی می‌باشد که این ویژگی با کل غلظت مواد یونیزه شده در آب (یون‌های مثبت و منفی) و دمایی که اندازه‌گیری در آن انجام می‌شود مرتبط می‌باشد. نمودار هدایت الکتریکی در مقابل مجموع املح جهت تعیین رابطه این دو پارامتر در ساختمان سد بازفت به شکل زیر می‌باشد (شکل ۵):

$$TDS = 0.70Ec - 31.24 \quad (15)$$

پارامترهای مربوط به روابط EC با TDS و LSI با RSI جهت سنجش اعتبار آن‌ها در جدول ۱۰ آمده است. به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آزمونی به نام آزمون دوربین واتسون استفاده می‌شود. مقدار این آماره باید بین ۱٫۵ تا ۲ باشد. در اینجا مقدار Durbin-Watson نشان می‌دهد که استقلال خطاها از یکدیگر وجود دارد و امکان استفاده از مدل‌ها وجود دارد (جدول ۱۰). مقدار سطح معنی‌داری (Sig.<0.05) حاصل از آنالیز واریانس (ANOVA) نشان می‌دهد که مدل‌های برازش شده مناسب می‌باشند (جدول ۱۰).

واسنجی روابط Ihejirika و همکاران (۶) کلاتری و همکاران (۲۷)، اسپندار و همکاران (۲۸) و تحقیق حاضر بر اساس R^2 و RMSE در شکل ۶ ارائه شده است. پارامترهای R^2 و RMSE به منظور بررسی عملکرد روابط استفاده می‌شود (۴ و ۱۸). هر چه R^2 به عدد یک و RMSE به عدد صفر نزدیکتر باشد رابطه ارائه شده عملکرد بهتری خواهد داشت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y - y')^2} \quad (16)$$

y' و y در این روابط به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که روند مناسبی بین EC و TDS حاصل از روابط مختلف وجود دارد. کمترین خطا مربوط به تحقیق حاضر هست (شکل ۶). در مجموع می‌توان گفته که هر رابطه برای یک ناحیه بخصوص کاربرد دارد چونکه روابط سایر محققین دارای خطای زیادی می‌باشد.

تحلیل مؤلفه اصلی^۱

کاربرد تکنیک‌های آماری چند متغیره مانند تحلیل عاملی به ما این امکان را می‌دهد تا منابعی را که ممکن است سیستم‌های آبی را تحت تأثیر قرار دهد شناسایی کرده، و ابزاری مناسب برای مدیریت صحیح منابع آب پیشنهاد کنیم (۲۶). تحلیل مؤلفه اصلی کاهش ابعاد مجموعه داده‌های اولیه را از طریق چرخاندن مؤلفه‌های اصلی حول محورهای عمودی و افقی مختصات انجام می‌دهد. این چرخش در حقیقت اختلاف واریانس بین مؤلفه‌های اصلی را به حداکثر می‌رساند و به همین دلیل به آن چرخش Varimax گفته می‌شود.

نمودار سنگریزه (Scree plot) بصورت بصری تعداد عامل‌های استخراج شده را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن مقدار یک در محور عمودی میتوان تعداد عامل‌های نهایی را مشخص کرد. وجود شیب تند بین عامل‌ها می‌تواند مبنای تکمیلی جهت انتخاب عامل‌های نهایی باشد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بین عامل چهارم و پنجم شیب تندی وجود دارد و بعد از عامل چهارم شیب مقدار ویژه به طور محسوسی کاهش می‌یابد.

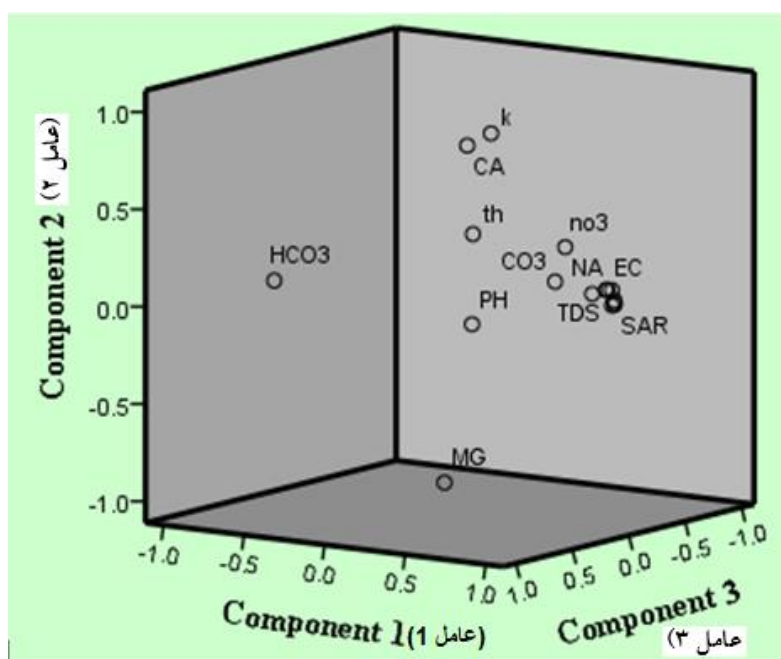
جدول ۹ سهم متغیرها را در عامل‌ها بعد از چرخش نشان می‌دهد. هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی بالایی معنی‌داری داشته باشد. زمانی که هر متغیر تنها با یک عامل دارای همبستگی بالا باشد و با عامل‌های دیگر دارای همبستگی ضعیف و ناچیز (کمتر از ۰٫۳۰) باشد نشان از مناسب بودن عامل‌های استخراج شده می‌باشد.

در تحلیل عاملی عناصر، ۴ عامل که زیر مجموعه ۱۹ پارامتر مورد تحلیل می‌باشند، شناسایی شدند (جدول ۹). نتایج نشان می‌دهد که در این ساختمان می‌توان به میزان ۸۷٫۱۳ درصد تغییرات کیفی منابع آب را با استفاده از ۴ عامل مورد ارزیابی قرار دارد. عامل اول شامل EC، TDS، Na٪، SAR، کلرید، سولفات و قلیا به با ۵۸٫۳۷ درصد دارای بالاترین تأثیرگذاری بر کیفیت منابع آب این ساختمان می‌باشد. پس از آن عامل‌های دوم شامل کلسیم، منیزیم و پتاسیم با ۱۵٫۸۲ درصد می‌باشند. عامل سوم شامل یون‌های بیکربنات، نیترات و سختی با ۱۱٫۶۱ درصد می‌باشند. در نهایت کربنات و pH با ۷٫۱۷ درصد در عامل چهارم قرار می‌گیرند. عامل اول را می‌توان به انحلال کانی‌های موجود در سازندهای منطقه نسبت داد. عامل دوم نشان دهنده واکنش آب-سنگ است که این عامل در ارتباط با انحلال سنگ‌های کربناته است. عامل سوم را با توجه به وجود یون نیترات می‌توان عامل انسانی دانست. استفاده از کودهای شیمیایی نیترات‌دار در زمین‌های کشاورزی و فعالیت‌های انسانی در ایجاد آلودگی نیترات

جدول ۹- مقدار بار عامل‌ها بعد از چرخش Varimax

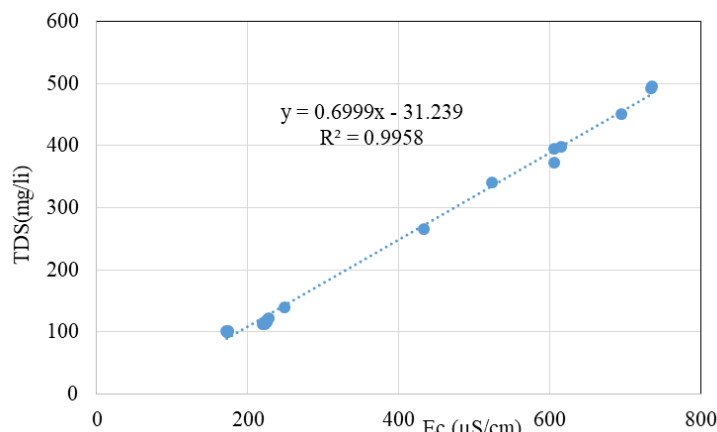
Table 9- The loading value of the factors following the Varimax rotation

	Component			
	1	2	3	4
pH				-0.88
EC	0.97			
TDS	0.97			
Na%	0.99			
SAR	0.99			
HCO ₃	-0.64		0.64	-0.34
Cl	0.99			
SO ₄	0.94			
CO ₃	0.51			0.62
Ca	0.34	0.86	0.34	
Mg		-0.89	0.32	
Na	0.99			
K		0.86		0.36
No ₃			-0.90	
TH	0.57	0.47	0.61	
قلیابیت Alkalinity	0.99			
درصد واریانس % of variance	58.37	15.82	11.61	7.17
درصد واریانس تجمع % of cumulative variance	58.368	74.185	85.8	92.97



شکل ۴- دیاگرام ضرایب چرخش عامل‌ها

Figure 4- Factors rotation coefficients diagram



شکل ۵- رابطه هدایت الکتریکی EC با TDS در ساختگاه

Figure 5- The relationship of the EC with TDS in dam site

جدول ۱۰- پارامترهای آماری مربوط به روابط EC با TDS و LSI با RSI

Table 10- The statistical parameters related to EC relation with TDS and LSI with RSI

مدل Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	ANOVA	
						F	Sig.
EC با TDS	0.998	0.996	0.996	10.19	1.51	4280	0
TDS correlation with EC							
RSI با LSI	0.94	0.88	0.87	0.07	1.84	127.6	0
LSI correlation with RSI							

ارتباط LSI با RSI

گاهی اوقات لازم خواهد بود که بتوان مقدار شاخص رایزرن را از مقدار شاخص لانژلیه تخمین زد. مانند هنگامی که مقدار شاخص لانژلیه گزارش شده ولی مقدار برخی مولفه‌ها گزارش نشده باشد که محاسبه شاخص RSI را غیر ممکن می‌سازد. در این صورت با وجود رابطه‌ی واقعی بین دو شاخص لانژلیه و رایزرن می‌توان مقدار شاخص رایزرن را در صورت نیاز برآورد کرد. رابطه‌ی معکوس LSI و RSI (شکل ۷) طبق معادله دور از انتظار نیست.

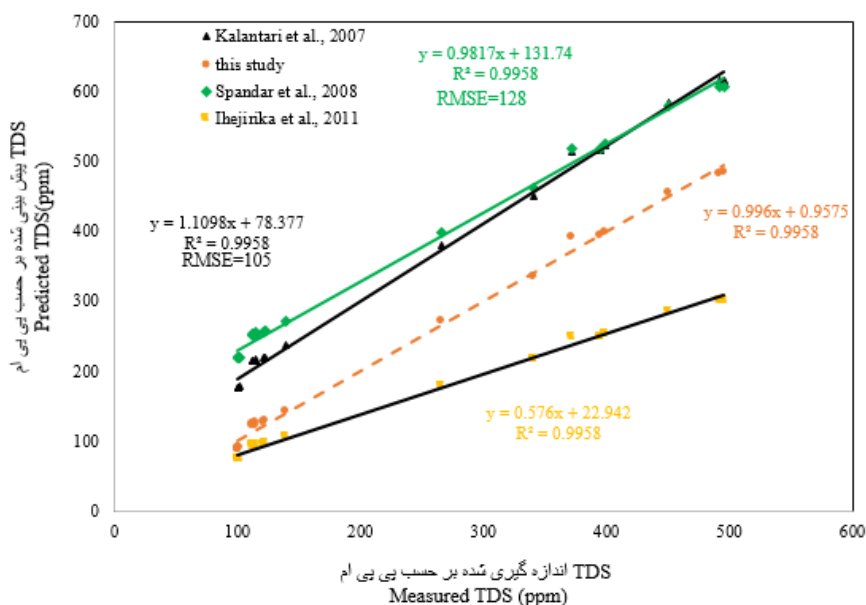
واسنجی رابطه حاصل از تحقیق حاضر (منابع آب ساختگاه سد بازفت) و روابط استواری و بیگی هرچگانی (۲۹) که برای آب زیرزمینی دشت جمال و دشت لردگان در غرب ایران ارائه شده، در شکل ۸ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی بالای بین مقادیر اندازه‌گیری شده در تحقیق حاضر وجود دارد. روند نقاط حاصل از هر معادله دارای سازگاری مناسبی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

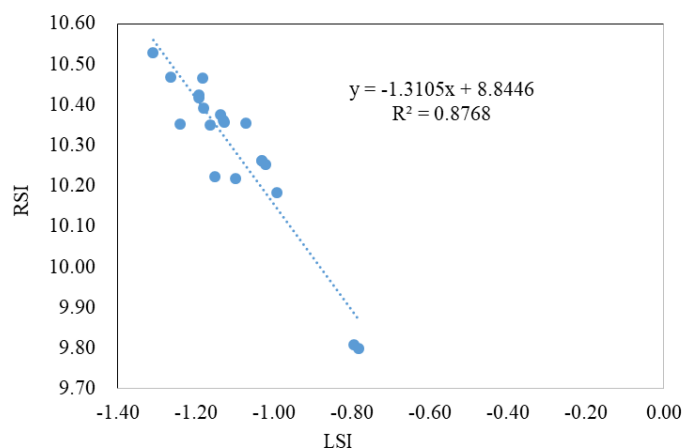
در این پژوهش خطرات آلودگی مربوط به پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های متعددی (LSI, RSI, RSC, PI, KR) جهت تعیین کیفیت منابع آب (چشمه، گمانه و رودخانه) برای اهداف

کشاورزی، صنعت و آشامیدن در ساختگاه سد بازفت بررسی شد. نتایج نشان داد که غلظت املاح، کاتیون‌ها و آنیون‌ها، در نتیجه شاخص‌های بررسی شده در جناح راست بیشتر از جناح چپ می‌باشد. همچنین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها همه کمتر از حد مجاز WHO می‌باشند. از نظر رده‌بندی برای کشاورزی آب چشمه‌ها شیرین و کاملاً بی‌ضرر است و در رده C1S1 قرار می‌گیرد. آب رودخانه و گمانه‌ها کمی شور ولی مناسب برای کشاورزی است.

از دیدگاه مصرف در صنعت آب، منابع آب در ساختگاه در رده خوردندگی زیاد قرار می‌گیرند که باید برای جلوگیری از خوردندگی لوله‌ها و تاسیسات نیروگاه‌ها تمهیداتی در نظر گرفته شود. از دیدگاه سختی تمام آب‌ها در رده سخت قرار می‌گیرند. بر ساس رده بندی درصد Na، آب چشمه‌ها عالی، آب گمانه‌ها خوب و مابقی قابل قبول می‌باشد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که ۴ عامل به میزان ۸۷،۱۳ درصد تغییرات کیفی منابع آب را کنترل می‌کنند. عامل اول شامل EC، TDS، %Na، SAR، کلرید، سولفات و قلیائیت با ۵۸،۳۷ درصد عامل‌های دوم شامل کلسیم، منیزیم و پتاسیم با ۱۵،۸۲ درصد، عامل سوم شامل یون‌های بیکربنات، نیترات و سختی با ۱۱،۶۱ درصد و کربنات و pH با ۷،۱۷ درصد در عامل چهارم قرار می‌گیرند.



شکل ۶- مقایسه رابطه شاخص EC با TDS حاصل از تحقیقات پیشین و تحقیق حاضر
Figure 6- The comparison of EC with TDS in the present study and previous studies

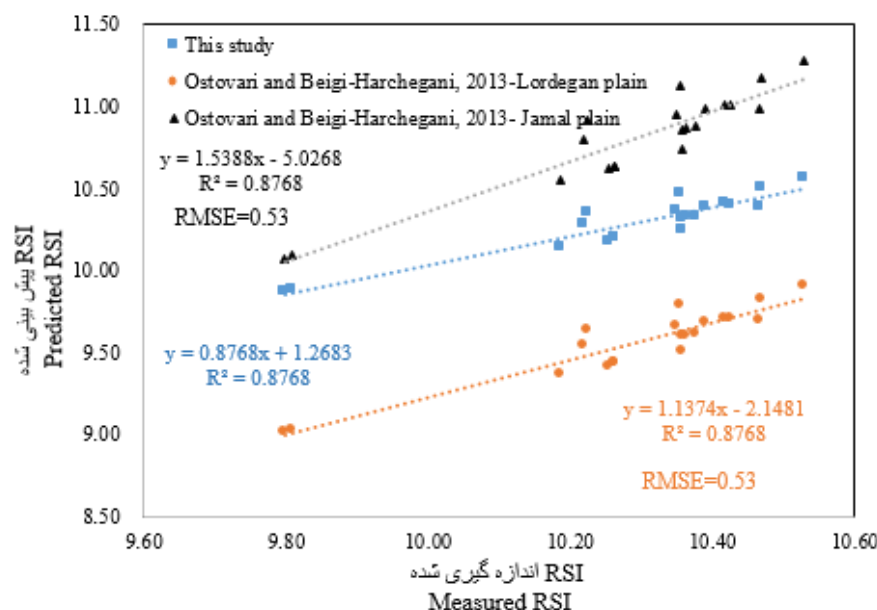


شکل ۷ - ارتباط شاخص LSI با RSI در منابع آب ساختگاه
Figure 7- The correlation of RSI index with LSI in water resources of the site

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از شرکت مهندسين مشاور قدس نيرو به دليل در اختيار قرار دادن اطلاعات جهت انجام اين تحقيق تشكر و قدرداني مي نمايند.

رابطه شاخص LSI با RSI و رابطه هدايت الكتريكي با TDS در ساختگاه و مقايسه با روابط پيشين بر اساس پارامترهاي آماري (مانند ضريب تعيين، RMSE، آماره دوربين-واتسون و آناليز واريانس) نشان مي دهد كه همبستگي بالايي وجود دارد و هر رابطه براي يك ناحيه بخصوص کاربرد دارد.



شکل ۸- مقایسه رابطه شاخص RSI اندازه گیری شده و پیش بینی شده با تحقیقات پیشین
Figure 8- The comparison of predicted and measured RSI with previous equations

منابع

- Acikel S., and Ekmekci M. 2018. Assessment of groundwater quality using multivariate statistical techniques in the Azmak Spring Zone, Mugla, Turkey. *Environmental Earth Sciences* 77: 1–14.
- Don C.M. 1995. A grows guide to water quality. University college station, Texas, pp. 601–9
- Doneen L.D. 1962. The influence of crop and soil on percolating water. *Proceedings: in Biennial Conference on Groundwater recharge*, 156–163.
- Ghafoori M., Rastegarnia A., and Lashkaripour G.R. 2018. Estimation of static parameters based on dynamical and physical properties in limestone rocks. *Journal of African Earth Sciences* 137: 22–31.
- Hounsflow A.W. 2018. *Water quality data: Analysis and interpretation*. CRC press. 1-398 pp.
- Ihejirika C.E, Njoku J.D, Ujowundu C.O, Uchenna S., and Uzoka C.N. 2011. Synergism between Season , pH , conductivity and total dissolved solids (TDS) of Imo River quality for agricultural irrigation. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 1: 26–31.
- Karimi H., Raeisi E., and Rezaei A. 2018. Determination of karst aquifer characteristics using physicochemical parameters (A case study from west of Iran). *Geopersia* 8: 293-305.
- Kelley W.P. 1951. Alkali soils; their formation, properties, and reclamation No. 04; RMD, S595 K4. 1951.
- Lashkaripour G.R., Rastegarnia A., and Ghafoori M. 2018. Assessment of brittleness and empirical correlations between physical and mechanical parameters of the Asmari limestone in Khersan 2 dam site, in southwest of Iran. *Journal of African Earth Sciences* 138: 124–32.
- Liska R., Margolin L., and Wendroff B. 1995. *Nonhydrostatic two-layer models of incompressible flow*, Vol. 29. McGraw-Hill Companies. 25-37 pp.
- Ndlovu M.S., and Demlie M. 2018. Statistical analysis of groundwater level variability across KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Environmental Earth Sciences* 77: 739.
- Oinam J.D., Ramanathan A.L., and Singh G. 2012. Geochemical and statistical evaluation of groundwater in Imphal and Thoubal district of Manipur, India. *Journal of Asian Earth Sciences* 48: 136–49.
- Prasanna M.V., Chidambaram S., Senthil Kumar G., Ramanathan A.L, and Nainwal HC. 2011. Hydrogeochemical assessment of groundwater in neyveli basin, Cuddalore district, South India. *Arabian Journal of Geosciences* 4: 319–30.
- Prusty P., Farooq S.H, Zimik H.V., and Barik S.S. 2018. Assessment of the factors controlling groundwater quality in a coastal aquifer adjacent to the Bay of Bengal, India. *Environmental Earth Sciences* 77: 762.
- Raeissi E., and Moore F. 1993. Hydrochemistry of karst springs from two carbonatic units in Zagrosides of Iran. *J Sci Islam Repub Iran* 4: 302–7.
- Rafferty K. 1999. *Scaling in Geothermal Heat Pump Systems*. Geo-Heat Center Klamath Falls, OR. 63 pp.

- 17- Rastegar Nia A., Lashkaripour G.R., and Ghafoori M. 2017. Prediction of grout take using rock mass properties. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 76: 1643–54.
- 18- Rastegarnia A., Sharifi Teshnizi E., Hosseini S., Shamsi H., and Etemadifar M. 2018. Estimation of punch strength index and static properties of sedimentary rocks using neural networks in south west of Iran. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 128: 464–78.
- 19- Rastegarnia A., Sohrabibidar A., Bagheri V., Razifard M., Zolfaghari A. 2017. Assessment of Relationship Between Grouted Values and Calculated Values in the Bazoft Dam Site. *Geotechnical and Geological Engineering*. 35:1299–1310.
- 20- Richards A.L. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agric. Handbook* 60. Agriculture handbook. 60:160.
- 21- Snyder R.G. 1961. Vibrational spectra of crystalline n-paraffins. II. Intermolecular effects. *Journal of Molecular Spectroscopy* 7: 116–44.
- 22- Srivastava S.K, and Ramanathan AL. 2008. Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods. *Environmental Geology* 53: 1509–28.
- 23- Subramani T., Elango L., and Damodarasamy S.R. 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Geology* 47: 1099–1110.
- 24- Tziritis E.P. 2010. Assessment of NO₃-contamination in a karstic aquifer, with the use of geochemical data and spatial analysis. *Environmental Earth Sciences* 60: 1381–90.
- 25- WHO. 1994. Drinking water guidelines., Vol. 102. World Health Organization. 271 pp.
- 26- Xiao M., Bao F., Wang S., and Cui F. 2016. Water quality assessment of the Huaihe River segment of Bengbu (China) using multivariate statistical techniques. *Water Resources* 43: 166–76.
- 27- Kalantari N., Rahimi M.H., and Churchchi A. 2007. Using Combined Diagrams, Factor Analysis and Saturation Indexes in Groundwater Quality Evaluation of Zvirjary and Khuran Plains, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 2 (1), https://www.civilica.com/PaperJR_JEGJR_JEG21_004. (In Persian)
- 28- Spindar R., Beigi M., and Siarian Nejad M. 2008. Hydrogeological study of Seymare Dam site using Hydrogeochemical data; Second National Conference on Hydroelectric Power Plants, Tehran, Iran Water and Power Resources Development Co., https://www.civilica.com/PaperNCHP02NCHP02_112. (In Persian)
- 29- Ostovari Y., and Beigi Harchegani H. 2013. Comparison of scaling and corrosion potentials and their components in two aquifers of the Lordegan and Jamal plains (Case study in Charmahal va Bakhtiari province) *Iranian Journal of Water & Environment Engineering* 1: 15-26. (In Persian)



Investigation of Influence Factors on Water Resources Quality in Bazoft Dam Site

A. Rastegarnia¹ - M. Karami² - M. Ghafoori^{3*}

Received: 28-01-2019

Accepted: 29-04-2019

Introduction: Water resources quality assessment of the dam sites is one of the primary studies in the designing of these structures. The main challenges in Iran are the reduction of water resources and the limitation of groundwater exploitation. Much of these resources are formed in karst water resources in the karstic susceptible formations such as the Asmari carbonate formation in Zagros Mountain, Iran. In this study using laboratory and field studies, various parameters and indices were assessed to investigate the water resources quality of Bazoft dam site for different purposes. Bazoft dam is a double-curvature arch dam with a height of 211 meters which is located in Chaharmahal and Bakhtiari Province of Iran. The bedrock of the dam site consists of limestone and dolomite rocks of the Asmari and the Jahrom formations. The Jahrom formation formed the right abutment, the riverbed and the lower parts of the left abutment. The Asmari formation formed the rocks in the middle and upper part of the left abutment.

Materials and Methods: After field studies, chemical analyses have been performed on the collected water samples from the water resources such as springs, river and the exploratory boreholes in the dam site. PH and electrical conductivity (EC) were measured by pH meter and electrical conductivity apparatus was measured at 25 ° C. Concentration of ions such as calcium, magnesium, bicarbonate was measured by titration method. The concentration of ions such as sodium and potassium, sulfate and nitrate were measured using the Flame-Photometry, and Spectrophotometry methods, respectively.. The test error in all cases was low and the results were confirmed. The indices such as Langelier saturation index and Ryznar stability index, sodium adsorption ratio (SAR), soluble sodium percentage, residual sodium carbonate, permeability index, Kelly ratio, were calculated based on related equations. Principal factor analysis (PCA) is used to determine the most influential variables when the number of variables is investigated and the relationship between them is unknown. In this method the variables are set on the elements so that the first factor is reduced to the next factor of the variance, hence the variables that are based on the first factors are the most influential. PCA reduces the dimensions of the initial data by turning the main components around the vertical and horizontal axes of coordinates. This rotation actually increases the variance between the main components and therefore it is called Variance Maximize Varimax or orthogonal rotation. The Varimax command is one of the most common methods of orthogonal rotation that preserves the independence between the extracted agents. This method reduces the number of the larger factor loadings to the lowest number. In this method, the scree plot chart determined the number of factors extracted. Parameters of R^2 and RMSE in order to investigate the performance of relations have been used. As R^2 is closer to the one and the RMSE is closer to the zero, the proposed relationship will yield better performance.

Results and Discussion: Anions such as HCO_3 , Cl , SO_4 , CO_3 and NO_3 and cations such as Ca, Na, Mg, and K are the most, respectively. From the viewpoint of hardness, all waters are placed in the hard category. According to the percentage of Na, the spring's water is excellent, the water of the borehole is good and the river is acceptable. The results of factor analysis showed that 87.13 percent of the water quality variations are controlled by four factors. The most important factors affecting the water quality of the dam site include EC, TDS, Na %, SAR, Cl , SO_4 , alkalinity, Na, and CO_3 with 50.91 %. The second factor include calcium, magnesium, potassium ions with 15.82 %, the third factor include nitrate, bicarbonate, and hardness with 11.61 % and pH and carbonate with 7.17 % are fall into the fourth factor. The correlation matrix of the parameters was investigated and the accuracy of some relationships was examined on the basis of different statistical criteria. The relationships of LSI with RSI and EC with TDS in the dam site and their comparison with previously

1- Young Researchers and Elite Club, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

2 and 3- Ph.D Student of Engineering Geology and Professor Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: ghafoori@um.ac.ir)

suggested equations indicated that there is a high correlation and each relationship is applicable for a particular area. Also, the trend of points obtained from each equation has the appropriate consistency but the RMSE of the assessed equations is high. EC plot against TDS to determine the relationship between the two parameters in the Bazoft dam site is $TDS=0.70Ec-31.24$.

Conclusion: The concentration of all assessed cations and anions is lower than the WHO permissible limit. The water resources are corrosive and all indices indicated the appropriate quality of water resources for farming and drinking.

Keywords: Bazoft dam, Factor analysis, Hydrogeochemistry, Water resources pollution



اثر مدیریت‌های مختلف زراعی بر برخی شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک

ارسلان صادقیان^۱ - غلام عباس صیاد^۲ - احمد فرخیان فیروزی^{۳*} - مجتبی نوروزی مصیر^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶

چکیده

خاک از جمله منابع طبیعی دیر تجدید شونده است که تخریب و یا حفاظت آن بستگی به نحوه استفاده و مدیریت اراضی دارد. مدیریت‌های زراعی مختلف تأثیرات متفاوتی بر شاخص‌های کیفی خاک می‌گذارند. در این تحقیق اثر مدیریت‌های زراعی مختلف بر برخی از شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک شامل مقدار مواد آلی، تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه، ظرفیت آب قابل دسترس، مقاومت فروروی، هدایت هیدرولیکی اشباع و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور سه مزرعه با مدیریت‌های زراعی مختلف شامل سیستم تک کشتی - حذف بقایای گیاهی، تناوب زراعی - حذف بقایای گیاهی و تک کشتی - حفظ بقایای گیاهی در سطح انتخاب شدند. آزمایشی در قالب طرح آماری بلوک‌های تصادفی با چهار تکرار صورت گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که نوع مدیریت زراعی در سطح احتمال یک درصد بر همه پارامترهای فیزیکی مورد مطالعه اثر معنی‌دار داشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در روش مدیریت زراعی تک کشتی - حذف بقایای گیاهی، مقدار جرم مخصوص ظاهری ($1/31$ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و مقاومت فروروی خاک ($0/40$ مگاپاسکال) بیشتر از تیمارهای دیگر بود، در حالی که بیشترین مقدار مواد آلی ($1/038\%$)، تخلخل ($55/7$ درصد)، میانگین وزنی قطر خاکدانه ($1/04$ میلی‌متر)، شاخص پایداری خاکدانه‌ها (28 درصد)، ظرفیت آب قابل دسترس ($0/15$ درصد)، هدایت هیدرولیکی اشباع ($46/17$ سانتی‌متر بر ساعت) و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف ($0/053$) در تیمار سیستم تک کشتی - با حفظ بقایای گیاهی مشاهده شد. به طور کلی نتایج این پژوهش نتایج نشان داد که سیستم تک کشتی - با حفظ بقایای گیاهی در افزایش کیفیت فیزیکی خاک نقشی بسزایی دارد.

واژه‌های کلیدی: سیستم تک کشتی - با حفظ بقایا، سیستم تناوب زراعی - حذف بقایای گیاهی، سیستم تک کشتی - حذف بقایای گیاهی، شاخص‌های کیفیت خاک

مقدمه

ضروری است که کیفیت خاک همواره مورد ارزیابی گردد. کیفیت خاک را نمی‌توان به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرد، بلکه باید آن را از شاخص‌های کیفیت خاک استنتاج نمود. بهبود کیفیت خاک می‌تواند از راه حفظ یا بهبود هم‌زمان ویژگی‌های فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی باشد (۲). کاهش کیفیت فیزیکی خاک اثراتی زیان‌بار بر کیفیت بیولوژیکی و شیمیایی خاک نیز دارد و در نهایت موجب فروسایي کیفیت خاک می‌گردد (۸).

یکی از عوامل مؤثر بر شاخص‌های کیفیت خاک، مدیریت‌های زراعی است. مدیریت زراعی یکی از ارکان اصلی تولید در کشاورزی است، زیرا این روش با تأثیر مستقیم بر ویژگی‌های خاک در بلند مدت نقش به‌سزایی در افزایش یا کاهش محصولات زراعی در یک منطقه دارد. از دیرباز روش‌هایی چون سوزاندن بقایای گیاهی، باقی‌گذاشتن بقایا بر سطح خاک (خاکپوش)، جمع‌آوری بقایا از سطح مزرعه و شخم بقایا در خاک (خاک‌ورزی) جهت مدیریت بقایای گیاهان مطرح بوده است. همچنین به دلیل محدودیت منابع حاصل‌خیز خاک و بهبود

کیفیت خاک به ظرفیت خاک در حفظ باروری بیولوژیکی، پایداری در تولید و عملکرد گیاهان اطلاق می‌گردد (۹). با توجه به اینکه وسعت محدودی از خاک‌های جهان برای تولید محصولات کشاورزی مناسب هستند و این محدودیت در مناطق خشک و نیمه خشک شدیدتر است، حفظ کیفیت خاک برای تولید پایدار غذا در خاک ضروری است. به کارگیری روش‌های مدیریتی نادرست می‌تواند کیفیت خاک‌های مناسب را از طریق فرسایش، آلودگی و تخریب فیزیکی کاهش دهد (۱). برای مدیریت پایدار خاک

۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیاران و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
(Email: a.farrokhi@scu.ac.ir)
(*) - نویسنده مسئول
DOI: 10.22067/jsw.v33i2.69543

عملکرد محصول از روش‌های دیگر مدیریت‌های زراعی مانند مدیریت بقایا و تناوب زراعی استفاده می‌شود (۱۱). تفاوت در عملیات مدیریتی خاک معمولاً سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شده که در نتیجه آن وضعیت سلامت خاک تغییر می‌کند. اعمال هر یک از مدیریت‌های زراعی نتایج مختلفی بر شاخص‌های کیفیت خاک می‌گذارد. به طوری که باقی گذاشتن بقایا در سطح تاثیر مثبت بر روی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد (۱۳). طی پژوهشی میرزایی و محمودآبادی (۲۷) اظهار داشتند مخلوط کردن بقایای گیاهی (گندم، سویا و یا هر دو) با خاک تغییراتی چشم‌گیر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ایجاد می‌کند. به طور کلی مدیریت بقایای گیاهی، طرز رفتار با پسماندهای حاصل از برداشت محصول است که از طریق روش‌های مختلفی اعمال می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به جمع‌آوری بقایا، باقی گذاشتن در سطح، مخلوط و یا دفن کردن در خاک و همچنین سوزاندن آن‌ها اشاره کرد (۱۸). مخلوط کردن بقایای گیاهی با خاک یکی از روش‌های مدیریتی است که آثار مثبت قابل توجهی بر مقدار مواد آلی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک دارد. استفاده از بقایای گیاهی در اراضی کشاورزی، ساختمان و ظرفیت نگهداری آب در خاک را بهبود بخشیده و همچنین میزان نفوذپذیری را افزایش می‌دهد (۵). به طور کلی، برگرداندن بقایا به خاک باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش تخلخل و نفوذپذیری و همچنین بهبود کارایی مصرف آب در مزرعه می‌شود (۳۸). ساها و همکاران (۳۷) و همچنین باروت و آکیولات (۳) دریافتند که اگر روش‌های خاک‌ورزی با مخلوط کردن بقایا توأم گردد، از طریق کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌شود. این در حالی است که نتایج اغلب پژوهش‌های گذشته حاکی از آن است که با خارج کردن بقایا از مزرعه، عکس این حالت اتفاق می‌افتد (۱۷). نتایج پژوهشی که در خصوص تاثیر جمع‌آوری بقایای گندم از سطح خاک مزرعه انجام شده (۳۳) نشان می‌دهد که این روش در کوتاه مدت تأثیری معنی‌دار بر ویژگی‌های خاک ندارد، ولی در بلندمدت سبب کاهش ذخیره مواد آلی و تخریب ساختمان خاک می‌شود. نتیجه چنین وضعیتی، کاهش نفوذپذیری و افزایش شدت تولید رواناب است. حذف بقایای گیاهی بعد از برداشت محصول یکی از روش‌های نادرستی است که متأسفانه در برخی مناطق کشور رواج دارد (۲۲) بیشتر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه (۱۸) دلالت بر اثرات نامطلوب این روش بر میزان مواد آلی و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک داشته است، به طوری که در دراز مدت تولید پایدار محصولات زراعی را به خطر می‌اندازد. حیدری و همکاران (۱۳۹۲) اظهار کردند که در تیمار تک کشتی به دلیل کاهش و از بین رفتن مواد آلی، اثرات نامطلوبی بر تخلخل، ساختمان و پایداری خاکدانه‌ها گذاشته و در نتیجه منجر به افت کیفیت خاک می‌

گردد (۱۹). نتایج مرادی و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان داد که با کاهش ماده آلی و پایداری خاکدانه، مقدار مقاومت فروروی به صورت لگاریتمی و نمایی با شیب زیاد افزایش می‌یابد (۲۹). البته در برخی پژوهش‌ها نیز گزارش شده که مدیریت زراعی اثری معنی‌دار بر مقدار ماده آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک ندارد (۶). در مقایسه با جمع‌آوری بقایای محصول، نگهداری بقایا در سطح خاک از تشکیل سله و انسداد سطحی جلوگیری نموده و از این طریق نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد. شاور و همکاران (۳۸) دریافتند که تناوب زراعی محصولاتی که زیست توده و بقایای بیشتری تولید و به سطح خاک باز می‌گردانند، باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش تخلخل و بهبود ظرفیت نگهداشت آب می‌شوند. مولاما و لال (۳۰) اثر مثبت کاربرد مالچ کاه و کلش گندم بر بهبود تخلخل خاک، میزان آب قابل استفاده، خاکدانه‌سازی و جرم مخصوص ظاهری را گزارش کردند. نظر به این که تاکنون پژوهش‌های اندکی تاثیر انواع مدیریت زراعی را بر شاخص‌های کیفیت خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور مورد ارزیابی قرار داده‌اند، لذا در این پژوهش تلاش بر آن بوده است تأثیر سه نوع مدیریت زراعی مختلف شامل تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی، سیستم تک کشتی-با حفظ بقایای گیاهی و سیستم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی کیفیت خاک شامل (مواد آلی، تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه، ظرفیت آب قابل دسترس، مقاومت فروروی، هدایت هیدرولیکی اشباع و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف) بررسی و مقایسه شود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه آزمایشی شماره دو دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه عرض جغرافیایی و ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی طول جغرافیایی و در حاشیه غربی رود کارون با ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا در پاییز ۱۳۹۵ اجرا گردید. هدف از این مطالعه بررسی اثر مدیریت‌های زراعی مختلف بر برخی از شاخص‌های کیفیت خاک (مواد آلی، تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه، ظرفیت آب قابل دسترس، مقاومت فروروی، هدایت هیدرولیکی اشباع و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف) بود. بدین منظور سه مزرعه با مدیریت‌های زراعی مختلف شامل سیستم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی، تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی و تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی انتخاب شدند. در تیمار تک کشتی-حذف بقایای گیاهی به مدت ۸ سال مداوم کشت گندم صورت گرفته بود. در تیمار تناوب، گندم و ماش به مدت ۲ سال در تناوب با یکدیگر کشت شدند و تیمار سیستم تک کشتی-با حفظ بقایای گیاهی به مدت ۱۰ سال زیر کشت گندم بود که ۱۰ تن

خاکدانه‌ها^۲ به روش الک تر اندازه‌گیری شد (۲۱). شاخص درصد پایداری خاکدانه‌ها^۳ با دو بار الک کردن نمونه خاک و به صورت درصد نسبت MWD در الک کردن نوبت دوم (MWD₂) به MWD در الک کردن نوبت اول (MWD₁) تعیین شد (۳۲) و با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد:

$$ASI = \frac{MWD_2}{MWD_1} \times 100 \quad (3)$$

شیب نقطه عطف منحنی رطوبت، شاخص دکستر (S) می‌باشد که به عنوان شاخص کمی کیفیت فیزیکی خاک ارزیابی می‌شود. برای به دست آوردن شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف از داده‌های منحنی نگهداری رطوبت استفاده شد. جهت تعیین پارامترهای مدل منحنی رطوبتی وان گنوختن (۴۱) از برنامه RETC (۴۲) استفاده شد. بدین منظور ویژگی‌های زود یافت خاک شامل درصد شن، سیلت و رس، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به عنوان ورودی به برنامه داده شدند. در این برنامه با استفاده توابع انتقالی شبکه عصبی موجود در آن پارامترهای معادله منحنی رطوبتی $(\theta_r, \theta_s, \alpha, n, m)$ برآورد شدند. سپس با استفاده از معادله زیر شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف بدست آمد.

$$S = -n(\theta_s - \theta_r) \left[\frac{2n-1}{n-1} \right]^{\frac{1}{n-2}} \quad (4)$$

که در آن، θ_s رطوبت اشباع خاک، θ_r رطوبت باقیمانده خاک است و n ضریب تجربی که شکل منحنی رطوبتی را تعیین می‌کند (۹).

این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار (نوع مدیریت زراعی) و ۴ بلوک یا تکرار (هر بلوک شامل ۱۰ نمونه) انجام گرفت که مجموعاً شامل ۱۲۰ نمونه برداشت شد. برای مقایسه اثر مدیریت‌های مختلف زراعی بر شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک از طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی و آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. از برنامه آماری SAS برای تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده استفاده شد. برای ترسیم نمودارها نیز از برنامه EXCEL استفاده گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌های مورد مطالعه

نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

در هکتار از بقایای گیاه گندم پس از برداشت با خاک مخلوط شدند. بدین منظور تعداد ۱۲۰ نمونه خاک (از هر مزرعه ۴۰ نمونه) با روش نمونه‌برداری سیستماتیک از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری تهیه شد. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. جرم مخصوص ظاهری از عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک با به کارگیری استوانه‌های نمونه‌برداری (با حجم تقریبی ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب) و تهیه نمونه دست نخورده و خشک کردن آنها در دمای ۱۰۵^o در آن به دست آمد (۲۱). برای اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی خاک از روش پیکنومتر استفاده شد (۲۱). تخلخل کل با استفاده از جرم مخصوص حقیقی و جرم مخصوص ظاهری خاک و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$n = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_p} \right) \times 100 \quad (1)$$

که در آن n تخلخل کل، ρ_b و ρ_p به ترتیب جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص حقیقی خاک می‌باشد (۲۰).

برای اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت زراعی از هر بلوک یک قطعه ۱×۱ متر مربع مشخص شده و از بقایای گیاهی پاک و کاملاً اشباع گردید. به منظور جلوگیری از تبخیر سطحی آب از خاک، روی قطعه مورد نظر با استفاده از پلاستیک پوشانده شده و رطوبت وزنی ظرفیت زراعی با استفاده از روش تهیه نمونه‌های خاک از عمق ۱۰ سانتی‌متری و خشک کردن آن در آون تا زمان ثابت ماندن رطوبت اندازه‌گیری شد (۷). رطوبت نقطه پژمردگی (PWP) با قرار دادن نمونه‌های خاک در دستگاه صفحات فشاری در مکش ۱۵ اتمسفر به دست آمد (۲۰). در نهایت ظرفیت آب قابل استفاده (AWC) با استفاده از رابطه ۲ به صورت زیر به دست آمد.

$$AWC = \left(\frac{\theta_{FC} - \theta_{PWP}}{100} \right) \times D \times \frac{\rho_b}{\rho_w} \quad (2)$$

که در آن AWC ظرفیت آب قابل استفاده بر حسب درصد، θ_{FC} و θ_{PWP} به ترتیب رطوبت وزنی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، D عمق خاک بر حسب سانتی‌متر و ρ_b و ρ_w به ترتیب جرم مخصوص ظاهری خاک و آب بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

مقاومت فروری^۱ به طور مستقیم در مزرعه با استفاده از دستگاه فروسنج مخروطی (Bongshin DBBP-100, Korea) در رطوبت ظرفیت زراعی اندازه‌گیری شد. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش بار افتان با پنج بار تکرار اندازه‌گیری شد (۲۱). میانگین قطر

به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۰۳۸ درصد بود (جدول ۱).

اثر نوع مدیریت زراعی بر شاخص‌های کیفیت

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که نوع مدیریت زراعی بر مقدار مواد آلی، تخلخل کل، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه، شاخص پایداری خاکدانه، ظرفیت آب قابل دسترس، مقاومت فروروی، هدایت هیدرولیکی اشباع و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جداول ۲ و ۳).

نشان داد که بافت خاک در هر سه تیمار مدیریت زراعی لوم شنی بود. همچنین با آنالیز درصد اندازه ذرات خاک مشخص شد که مدیریت تک کشتی-حذف بقایای گیاهی دارای ۵۰ درصد شن، ۵ درصد رس و ۴۵ درصد سیلت، مدیریت تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی دارای ۴۶ درصد شن، ۶ درصد رس و ۴۸ درصد سیلت و مدیریت تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی دارای ۴۷ درصد شن، ۶ درصد رس و ۴۷ درصد سیلت بود. همچنین مقدار پ.هاش در مدیریت تک کشتی-حذف بقایای گیاهی، تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی و تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی به ترتیب برابر با ۷/۳، ۶/۸ و ۶/۶ بود. مقدار هدایت الکتریکی برای تیمارهای فوق به ترتیب برابر با ۳/۵، ۳/۲ و ۲/۸ دسی زیمنس بر متر بود. همچنین ماده آلی تیمارهای فوق

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌های مورد مطالعه

Table 1- Physical and chemical properties of the studied soils

مدیریت زراعی مختلف Different agronomic management	بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	رس Caly (%)	سیلت Silt (%)	پ.هاش pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	ماده آلی Organic matter (%)
تک کشتی - حذف بقایای گیاهی Monoculture-crop residual removal	لوم شنی	50	5	45	7.3	3.5	0.6
تناوب زراعی - حذف بقایای گیاهی Crop rotation-crop residues removal	لوم شنی	46	6	48	6.8	3.2	0.8
تک کشتی - حفظ بقایای گیاهی Monoculture-crop residual retention	لوم شنی	46	6	47	6.6	2.8	1.038

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مدیریت‌های مختلف زراعی بر مواد آلی، تخلخل کل، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه، شاخص پایداری خاکدانه

Table 2- Analysis of variance of different agronomic management organic matter, total porosity, bulk density, mean weight diameter, aggregate stability index

میانگین مربعات Mean square						
منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	شاخص پایداری خاکدانه Aggregate stability index (ASI)	میانگین وزنی قطر خاکدانه Mean weight diameter (MWD)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	تخلخل کل Total porosity	مواد آلی خاک Soil organic matter (SOM)
بلوک Block	3	0.46 ^{**}	0.000198 ^{ns}	0.00009542 ^{ns}	0.135 ^{ns}	0.0000052 ^{ns}
مدیریت زراعی Agronomic management	2	94.96 ^{**}	0.122401 ^{**}	0.0015032 ^{**}	28.12 ^{**}	0.084786 ^{**}
خطا Error	6	0.018	0.00012025	0.00012875	0.18	0.000003
ضریب تغییرات (CV) (CV)	11	0.58	1.23	0.04	0.8	1.3

^{**} و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری می‌باشد.
^{**} and ^{ns} indicate the significance at the level of 0.01 and not meaningful

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مدیریت‌های مختلف زراعی بر ظرفیت آب قابل دسترس، مقاومت فروروی خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف

Table 3- Analysis of variance of different agronomic management on available water capacity, soil penetration resistance, soil saturated hydraulic conductivity and Dexter index

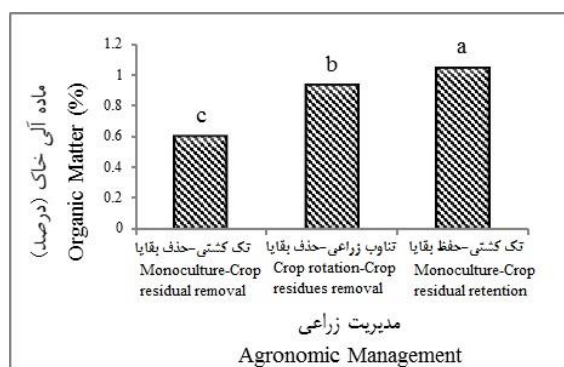
میانگین مربعات Mean square					
منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف Dexter Index (S)	هدایت هیدرولیکی اشباع Saturated hydraulic conductivity (Ks)	مقاومت فروروی خاک Penetration resistance (PR)	ظرفیت آب قابل دسترس Available water capacity (AWC)
بلوک Block	3	0.00000008 ^{ns}	5.18 ^{**}	0.0000052 ^{ns}	0.00000414 ^{ns}
مدیریت زراعی Agronomic management	2	0.0012 ^{**}	563.12 ^{**}	0.084786 ^{**}	0.00179043 ^{**}
خطا Error	6	0.00000007	0.36	0.000003	0.00000485
ضریب تغییرات (CV)	11	1.23	1.86	0.75	1.63

^{**} و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری می‌باشد.
^{**} and ^{ns} indicate the significance at $P < 0.01$ and non-significant.

نشان داد که عملیات حفاظتی خاک مانند سیستم تک کشتی-با حفظ بقایا و تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی در مقایسه با سیستم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی توانست مقدار مواد آلی خاک را افزایش دهد. عباسی و همکاران (۱) با مقایسه اثر سیستم‌های مختلف خاکورزی بر شاخص‌های کیفیت خاک، علت حفظ بیشتر ماده آلی در تیمار بدون خاکورزی و خاکورزی حفاظتی را به ترتیب به عدم به هم خوردن خاک و به هم خوردگی کمتر خاک دانستند. همچنین بر پایه پژوهش‌های و بیر و همکاران (۴) در روش خاکورزی مرسوم، به هم خوردن خاک باعث تجزیه بیشتر و سریعتر بقایای گیاهی گشته و کربن و ازت موجود در ماده آلی خاک زودتر معدنی و در نتیجه ماده آلی سریعتر از دست می‌رود.

اثر مدیریت زراعی بر مقدار مواد آلی خاک

نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان داد تفاوت بین مدیریت‌های زراعی مختلف (تک کشتی-حفظ بقایا، تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی و تک کشتی-حذف بقایای گیاهی) بر مقدار مواد آلی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر سه نوع مدیریت زراعی مختلف بر شاخص‌های مورد بررسی نشان داد که بالاترین مقدار مواد آلی خاک (۱/۰۳۸٪) در مدیریت زراعی تک کشتی-حفظ بقایا مشاهده شد، همچنین مقادیر به‌دست آمده درصد مواد آلی خاک در سیستم تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی (۰/۸٪) کمتر از روش مدیریت زراعی تک کشتی-حفظ بقایا و بیشتر از روش مدیریت تک کشتی-حذف بقایای گیاهی (۰/۶٪) بود (شکل ۱). نتایج



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت زراعی بر ماده آلی خاک

Figure 1- Comparison the effect of agronomic management methods on organic matter

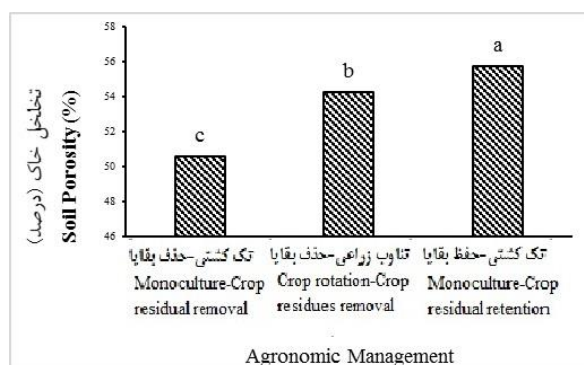
اثر مدیریت زراعی بر تخلخل خاک

خاک، تشکیل خاکدانه‌های درشت را به خصوص در ۲/۵ سانتی‌متری سطحی افزایش می‌دهد که این عمل همراه با افزایش تخلخل مؤثر بود. مقایسه شکل های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که تیمارهای حاوی مقادیر بیشتر مواد آلی، تخلخل بیشتری دارند. به همین ترتیب کاهش نسبی تخلخل کل در تیمار تک کشتی-حذف بقایای گیاهی را می‌توان به کاهش میزان مواد آلی نسبت داد. باروت و اکبولات (۳) نیز به طور مشابهی گزارش کردند که میزان تخلخل در تیمارهای حاوی بقایای کاه و کلش محصول بیشتر از کرت‌های فاقد بقایا بود. مک‌کول و همکاران (۲۶) نشان دادند افزایش تخلخل کل باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود که در تیمارهای حاوی منابع آلی به وضوح مشاهده گردید. اوهیو و همکاران (۳۳) گزارش کردند مقدار خلل و فرج در خاک های با باقی گذاشتن بقایای گیاهی در سطح در سیستم خاک‌ورزی مرسوم ۴ برابر بیشتر از اراضی دیگر بود، در نتیجه باقی گذاشتن بقایای گیاهی در سطح موجب افزایش معنی‌دار تخلخل خاک شد.

اثر مدیریت زراعی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

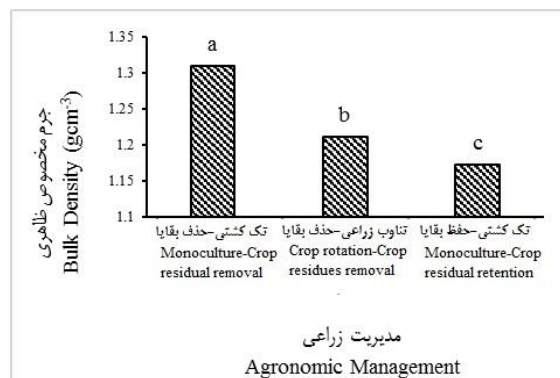
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع مدیریت زراعی تأثیری معنی‌دار در سطح یک درصد بر جرم مخصوص ظاهری خاک داشت (جدول ۲). مدیریت زراعی تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری (۱/۱۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در مقایسه با تیمار تک کشتی-حذف بقایای گیاهی گردید. همچنین نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان داد تیمارهای بقایای گیاهی و تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی باعث کاهش چشم‌گیر جرم مخصوص ظاهری شد (شکل ۳). این در حالی بود که سیستم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی افزایش جرم مخصوص ظاهری را در پی داشت.

نتایج بدست آمده از آزمون تجزیه واریانس حاکی از آن بود که نوع مدیریت زراعی تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان تخلخل خاک داشت (جدول ۲). همچنین نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان داد تیمار سیستم تک کشتی-با حفظ بقایای گیاهی نسبت به سایر تیمارها باعث افزایش تخلخل (۵۵/۷ درصد) شد (شکل ۲). این در حالی است که در بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که در روش مدیریت زراعی تک کشتی مقدار تخلخل خاک ۵۰/۵۶ درصد است. از سویی دیگر مدیریت تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی اگرچه بر میزان تخلخل خاک تأثیر معنی‌داری را داشت، اما مقادیر به‌دست آمده میزان تخلخل آن (۵۴/۲۶ درصد) کمتر از روش سیستم تک کشتی-با حفظ بقایای گیاهی و بیشتر از روش مدیریت تک کشتی تک کشتی-حذف بقایای گیاهی بود. (شکل ۲) که دلیل این موضوع را می‌توان به افزایش مواد آلی حاصل از بقایای گیاهی نسبت داد. همانطور که اشاره شد بیشترین مقدار ماده آلی در سیستم تک کشتی-با حفظ بقایای گیاهی مشاهده گردید. مواد آلی حاصل باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله کاهش جرم مخصوص ظاهری شده که نتیجه آن افزایش تخلخل می‌باشد. همچنین مقادیر به‌دست آمده درصد مواد آلی خاک در سیستم تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی بیشتر از روش مدیریت تک کشتی-حذف بقایای گیاهی بود. علت آن وجود سیستم ریشه ای در تناوب زراعی گندم ماش است که نسبت به سیستم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی ماده آلی بیشتری به خاک اضافه می‌گردد. این امر بیانگر اثر مواد آلی بر افزایش تخلخل در مدیریت تناوب زراعی است (۴۰). نتایج به‌دست آمده در این مورد با یافته‌های حیدری و همکاران (۱۸) مشابه است. آن‌ها دریافتند برگرداندن بقایا نسبت به تیمارهای شاهد و سوزاندن بقایا باعث افزایش معنی‌دار تخلخل کل شد. شاور و همکاران (۳۸) گزارش کردند که افزایش زیست توده حاصل از برگرداندن بقایا به



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت زراعی بر تخلخل خاک

Figure 2- Comparison the effect of agronomic management methods on soil porosity



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت زراعی بر جرم مخصوص ظاهری خاک
Figure 3- Comparison the effect of agronomic management methods on soil bulk density

میانگین مقادیر توزیع اندازه خاکدانه‌ها و شاخص پایداری خاکدانه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بالاترین میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه (۱/۰۴ میلی‌متر) و شاخص پایداری خاکدانه‌ها (۲۸ درصد) در مدیریت زراعی تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی مشاهده شد. این در حالی است که در بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که روش مدیریت زراعی تک کشتی-حذف بقایای گیاهی موجب کاهش معنی‌دار میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه (۰/۶۹ میلی‌متر) و شاخص پایداری خاکدانه (۱۸/۴ درصد) نسبت به تیمارهای دیگر شد. از آنجایی که در تیمار تک کشتی-حذف بقایای گیاهی میزان ماده آلی نسبت به سایر تیمارها حداقل بوده، در نتیجه با کاهش برهم آوری و چسبندگی ذرات خاک، می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی خاک را تحت تأثیر قرار دهد و موجب سست شدن و شکستن خاکدانه‌ها شود، در نتیجه مقدار پایداری خاکدانه‌ها در سیستم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی کمتر از سایر تیمارها می‌گردد (۱). بیشترین و کمترین مقدار پایداری خاکدانه‌ها به ترتیب در تیمارهای سیستم تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی و تک کشتی-حذف بقایای گیاهی مشاهده شد (شکل ۴). این نتایج نشان می‌دهد که سیستم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی موجب افزایش حساسیت خاک به عوامل فرساینده از جمله فرسایش آبی می‌شود. یکی از علل اصلی افزایش حساسیت به تنش و کاهش پایداری خاکدانه‌ها در سیستم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی کاهش ماده آلی و عدم انسجام خاکدانه‌ها دانست. از سویی دیگر مدیریت تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی اگرچه بر میزان کلیه ویژگی‌های مورد بررسی در این پژوهش تأثیر معنی‌داری را داشت، اما مقادیر به‌دست آمده در شاخص‌های مورد بررسی کمتر از روش مدیریت زراعی بقایای گیاهی و بیشتر از روش مدیریت تک کشتی-حذف بقایای گیاهی بود (شکل ۳). طبق رتبه‌بندی استاندارد نتایج آزمون ال‌ک تر استرالیا، رتبه پایداری خاک‌هایی با خاکدانه‌های پایدار کمتر از ۱۰ درصد خیلی کم، بین ۲۰-۱۰ درصد کم، ۳۰-۲۰ درصد متوسط و

در سه تیمار مدیریت زراعی مورد بررسی، بیشترین میزان کاهش (۱/۱۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و افزایش (۱/۳۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) جرم مخصوص ظاهری خاک به ترتیب در تیمار تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی و تیمار تک کشتی-حذف بقایای گیاهی مشاهده شد (شکل ۲). در سایر پژوهش‌های انجام شده در ایران (۲۷) و در سایر کشورها (۱۲ و ۴۳) نیز کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر افزودن مواد آلی به خاک گزارش شده است. یکی از دلایل کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری در تیمار تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی را می‌توان به مواد آلی بیشتر و در نتیجه تخلخل بیشتر در این تیمارها نسبت به تیمار مدیریت زراعی و تک کشتی نسبت داد. افزایش تخلخل کل باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود که در تیمارهای حاوی مواد آلی به وضوح مشاهده گردید. گرونیگن و همکاران (۱۴) کاهش جرم مخصوص ظاهری را در تیمار باقی گذاشتن بقایا در سطح خاک مشاهده کردند. با این وجود، یکی از دلایل کاهش بیشتر جرم مخصوص ظاهری در اثر مخلوط کردن بقایا نسبت به کاربرد سطحی آن‌ها، ترکیب بخش بیشتری از بقایا با خاک می‌باشد (۳۹)، که تأثیر بیشتری در بهبود ساختمان و افزایش تخلخل دارد. از طرفی تخریب خاکدانه‌ها و فقدان ماده آلی در سیستم تک کشتی می‌تواند دلیل افزایش جرم مخصوص ظاهری باشد. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با گزارش حیدری و همکاران (۱۹) نیز مطابقت دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری مربوط به تیمار برگرداندن بقایا و بیشترین آن مربوط به تیمار سوزاندن بقایا می‌باشد. موذنی (۲۸) دریافت حفظ بقایای گیاهی سبب افزایش رطوبت خاک، کاهش جرم مخصوص خاک و به تأخیر انداختن زمان رسیدن به حداکثر درز و ترک در خاک شد.

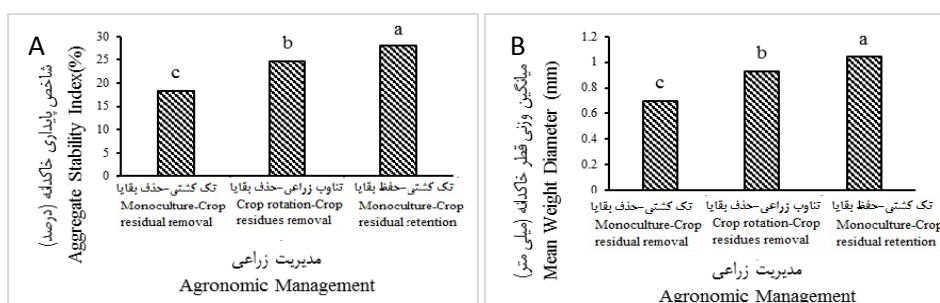
اثر مدیریت زراعی بر پایداری خاکدانه

جدول ۲ معنی‌دار بودن تیمارهای مختلف را از نظر توزیع اندازه خاکدانه‌ها و شاخص پایداری خاکدانه‌ها نشان می‌دهد. مقایسه

اثر مدیریت زراعی بر ظرفیت آب قابل دسترس

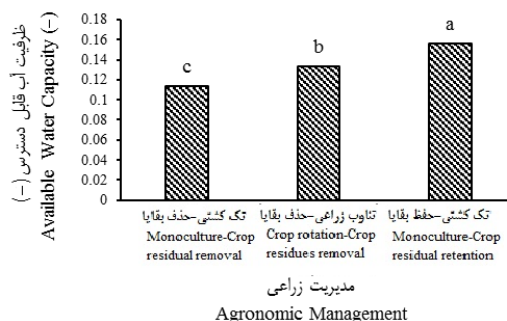
در مطالعه تأثیر نوع مدیریت زراعی بر شاخص‌های مورد بررسی مشخص شد که بالاترین مقدار ظرفیت آب قابل دسترس (۱۵ درصد) مربوط به مدیریت زراعی تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی است. این در حالی است که روش مدیریت زراعی تک کشتی-حذف بقایای گیاهی موجب کاهش ظرفیت آب قابل دسترس (۱۱ درصد) نسبت به سایر تیمارها شد. از سویی دیگر مدیریت تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی اگرچه بر میزان کلیه شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش تأثیر معنی‌داری را داشت، اما مقادیر به‌دست آمده در ظرفیت آب قابل دسترس کمتر از روش مدیریت زراعی تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی و بیشتر از روش مدیریت زراعی تک کشتی-حذف بقایای گیاهی بود (شکل ۵). کایود و همکاران (۲۳) با بررسی تأثیر مدیریت زراعی بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مشاهده کردند که در هنگام آبیاری، خاک‌هایی که بقایای گیاهی به آن‌ها برگردانده می‌شود، نسبت به مدیریت تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی زراعی تک کشتی، مقدار آب بیشتری دریافت و ذخیره خواهند کرد. هم‌چنین طبق مطالعه رینولدز و همکاران (۳۶) افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌تواند به طور مستقیم محتوی آب خاک و گنجایش هوایی خاک را کاهش دهد.

بیشتر از ۳۰ درصد زیاد می‌باشد (۳۱). بر اساس این رتبه‌بندی تیمار بقایای گیاهی و تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی دارای پایداری متوسط و تیمار تک کشتی-حذف بقایای گیاهی پایداری کمی را داراست. نتایج فوق با گزارش عباسی و همکاران (۱) مطابقت داشت. آن‌ها نیز بیشترین شاخص پایداری خاکدانه و میانگین وزنی قطر خاکدانه را در روش خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به شاهد مشاهده کردند. هم‌چنین نتایج آن‌ها نشان داد که یک رابطه رگرسیونی بین ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها وجود دارد. از آن جایی که ماده آلی یکی از مهم‌ترین عوامل خاکدانه‌سازی می‌باشد، همبستگی مناسبی بین ماده آلی و پایداری خاکدانه وجود دارد و با افزایش ماده آلی، پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش حیدری و همکاران (۱۹) نشان داد که تأثیر برگرداندن بقایای گیاهی بر منحنی مشخصه آب خاک، ناشی از طبیعت جاذب الرطوبت بودن این مواد و هم‌چنین تأثیر بقایا بر افزایش تخلخل، بهبود ساختمان خاک و افزایش میانگین قطر خاکدانه‌ها (MWD) می‌باشد که در تیمار تک کشتی-حذف بقایای گیاهی به دلیل کاهش و از بین رفتن مواد آلی، باعث ایجاد اثرات نامطلوبی بر تخلخل، ساختمان و پایداری خاکدانه‌ها می‌گردد. اوهیو و همکاران (۳۳) گزارش کردند از بین بردن بقایای گیاهی گندم، باعث کاهش پایداری خاکدانه می‌گردد.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت زراعی بر شاخص پایداری خاکدانه (A) و میانگین قطر خاکدانه (B)

Figure 4- Comparison the effect of agronomic management methods on ASI (A) and MWD (B)



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت زراعی بر ظرفیت آب قابل دسترس

Figure 5- Comparison the effect of agronomic management methods on available water capacity

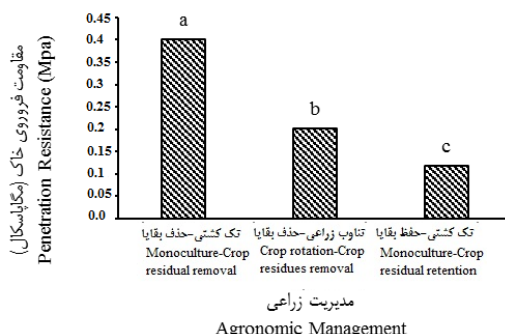
اثر مدیریت زراعی بر مقاومت فروروی خاک

در این مطالعه مشخص شد که روش مدیریت زراعی تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی موجب کمترین مقدار مقاومت فروروی (۰/۱۱ مگاپاسکال) گردید. این در حالی است که در روش مدیریت زراعی تک کشتی مقدار مقاومت فروروی (۰/۴۰ مگاپاسکال) است که این امر موید سطوح نامناسبی از تراکم خاک می‌باشد. میزان مقاومت فروروی در روش مدیریت تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی کمتر از روش تک کشتی-حذف بقایای گیاهی و بیشتر از روش مدیریت زراعی بقایای گیاهی بود (شکل ۶). از آنجا که جرم مخصوص ظاهری خاک یکی از ویژگی‌های فیزیکی موثر بر کیفیت خاک است و همچنین رابطه مستقیمی بین جرم مخصوص ظاهری خاک و مقاومت فروروی خاک وجود دارد، بنابراین مقاومت خاک می‌تواند به طور مستقیم رشد ریشه گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (۳۶). نتایج فوق با گزارش مرادی و همکاران (۲۹) نیز مطابقت دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که مقاومت فروروی هم‌بستگی مثبتی با مقدار جرم مخصوص ظاهری و درصد رس و هم‌بستگی منفی و معنی‌داری با مقدار مواد آلی و پایداری خاکدانه‌ها داشت. همچنین با کاهش ماده آلی و پایداری خاکدانه، مقدار مقاومت فروروی به صورت لگاریتمی و نمایی با شیب زیاد افزایش می‌یابد. نکته فوق به نوعی دیگر اهمیت پارامترهای ماده آلی و پایداری خاکدانه را بر مقاومت فروروی آشکار می‌کند. مقاومت فروروی در خاک‌هایی با صفر تا یک درصد کربن آلی بالاترین مقدار و با افزایش کربن آلی به تدریج کاهش می‌یابد (۲۲). به نظر می‌رسد خاک‌هایی با ماده آلی کم در برابر تنش‌های ناشی از مرطوب شدن سریع، ناپایدارند. مقاومت زیاد خاک در برابر فروروی، رشد ریشه را محدود می‌سازد، هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری خاک را کاهش، روان آب و تلفات خاک را افزایش داده و اثر نامطلوبی بر کیفیت خاک دارد. مقاومت فروروی به متغیرهای زیادی مانند تراکم، تخلخل، بافت و ساختمان، عوامل سیمانی‌کننده، ماده آلی و رطوبت خاک بستگی دارد، اما اغلب تحت تأثیر جرم

مخصوص ظاهری و رطوبت خاک مزرعه می‌باشد (۱۵).

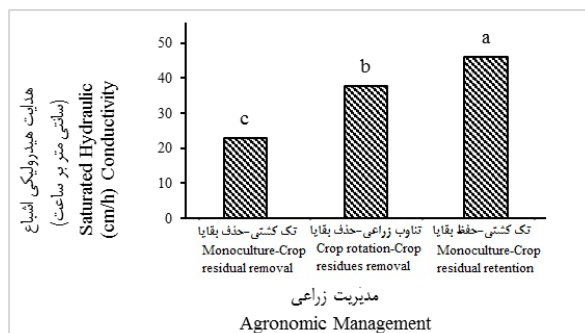
اثر مدیریت زراعی بر هدایت هیدرولیکی اشباع

بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) (۴۶/۱۷ سانتی‌متر بر ساعت) در تیمار سیستم تک کشتی-با حفظ بقایای گیاهی و کمترین آن (۲۲/۷۷ سانتی‌متر بر ساعت) در تیمار تک کشتی-حذف بقایای گیاهی مشاهده شد (شکل ۷). از آن جایی که حرکت آب در خاک به توزیع و پیوستگی منافذ خاک وابسته است، بقایا می‌تواند موجب افزایش ماده آلی و تشکیل بهتر خاکدانه‌ها در خاک شود و در نتیجه باعث افزایش فراوانی منافذ درشت به‌ویژه در خاک‌های متوسط و ریزبافت گردد. با توجه به این که تیمار بقایای گیاهی تخلخل بیشتری نسبت به تیمارهای دیگر دارد، لذا احتمال وجود خلل و فرج درشت در آن بیشتر بوده و در نتیجه آب را بهتر از خود عبور داده و هدایت هیدرولیکی اشباع بیشتری را دارا هستند. لذا می‌توان نتیجه گرفت، خاک‌هایی که در آن‌ها بقایای گیاهی به جای سوزاندن و یا جمع‌آوری، به خاک برگردانده می‌شوند، بهتر می‌توانند آب را از خود عبور دهند. مکری و همپوز (۲۵) نیز به این موضوع اشاره و برگرداندن بقایای گیاهی به خاک را یکی از عوامل افزایش نفوذپذیری، بهبود هدایت هیدرولیکی خاک و در نتیجه کاهش فرسایش خاک ذکر کرده‌اند. کایود و همکاران (۲۳) گزارش کردند که مدیریت بقایا تأثیر مستقیم و فوری بر روی ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که اگرچه سوزاندن بقایا تغییرات معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری، محتوای رطوبتی، توزیع اندازه ذرات و ظرفیت رطوبت قابل استفاده خاک نداشت، اما کاهش معنی‌داری در مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع، پایداری ساختمان، خاک، ضریب جذب و سرعت نفوذ آب در خاک بعد از سوزاندن بقایای گیاهی را گزارش کردند. والزانو و همکاران (۴۰) نشان دادند از بین بردن پوشش گیاهی از سطح خاک منجر به کاهش هدایت هیدرولیکی خاک می‌شود.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت زراعی بر مقاومت فروروی خاک

Figure 6- Comparison the effect of agronomic management methods soil penetration resistance



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت زراعی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

Figure 7- Comparison the effect of agronomic management methods on saturated soil hydraulic conductivity

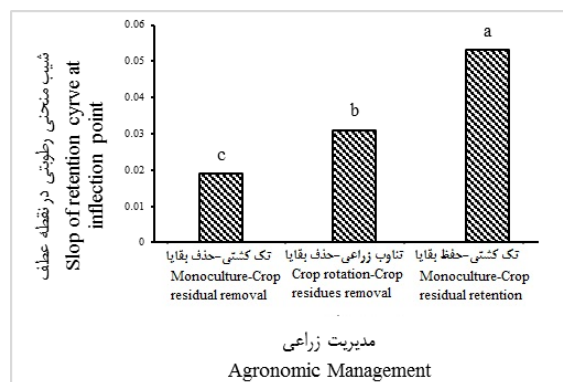
شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف

با توجه به گروه‌بندی که توسط دکستر (۸) برای کیفیت فیزیکی خاک پیشنهاد شده است ($S > 0.050$ خیلی خوب، $0.035 < S < 0.050$ خوب، $0.02 < S < 0.035$ ضعیف و $S < 0.020$ خیلی ضعیف)، در مطالعه تأثیر نوع مدیریت زراعی بر شاخص‌های مورد بررسی مشخص شد که بالاترین مقدار شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (0.053) در مدیریت زراعی تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی مشاهده شد. این در حالی است که در بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که روش مدیریت زراعی تک کشتی-حذف بقایای گیاهی موجب کاهش معنی‌دار شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (0.019 درصد) نسبت به سایر تیمارها شد. از سویی دیگر مدیریت تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی اگرچه بر کلیه شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش تأثیر معنی‌داری داشت، اما مقادیر به دست آمده شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف کمتر از روش مدیریت زراعی تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی و بیشتر از روش مدیریت تک کشتی-حذف بقایای گیاهی بود. (شکل ۸). بر اساس این گروه بندی، تک کشتی-حذف بقایای گیاهی در گروه خیلی ضعیف، مدیریت تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی در گروه خوب و سیستم تک کشتی-با حفظ بقایا در گروه خیلی خوب قرار گرفت. تیمار سیستم تک کشتی-با حفظ بقایا به علت وجود مواد

آلی مناسب و ساختمان فیزیکی متخلخل، فشردگی کمی داشته و مقدار شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف در این تیمار بالا بود. نتایج فوق با گزارش عثمانی و همکاران (۳۴) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که نامطلوب شدن وضعیت فیزیکی خاک ناشی از ویژگی‌های ذاتی خاک نبوده و مدیریت نادرست اراضی مانند کمبود مواد آلی خاک، شخم نادرست و تردد زیاد ماشین آلات کشاورزی در این امر مؤثر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر حاکی از این است که نوع مدیریت‌های مختلف زراعی اثرات کاملاً متفاوتی بر ویژگی‌های فیزیکی و رفتار رطوبتی خاک دارد. در بین مدیریت‌های مورد مطالعه، سیستم تک کشتی-با حفظ بقایای گیاهی (۱۰ تن در هکتار) بیشترین اثر را در افزایش تخلخل کل، ماده‌ی آلی، پایداری خاکدانه‌ها و کاهش جرم مخصوص ظاهری و مقاومت فروروی خاک داشت. علاوه بر این مشخص گردید که مدیریت تناوب زراعی-حذف بقایای گیاهی نیز باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌شود، هر چند کارایی آن کمتر از تیمار تک کشتی-حفظ بقایای گیاهی بود.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت زراعی بر شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف

Figure 8- Comparison the effect of agronomic management methods on curve at inflection point

اثرات مطلوب آن بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مناسب می‌باشد. در صورتی که سیستم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی با کاهش مواد آلی نسبت به سایر تیمارهای مدیریت زراعی، اثرات نامطلوبی بر خاک‌های زراعی گذاشته که در نهایت منجر به از بین رفتن ویژگی-های مطلوب فیزیکی خاک و در نتیجه کاهش عملکرد در محصولات زراعی می‌شود. در مجموع از بین روش‌های مختلف مدیریت زراعی، سیستم تک کشتی-با حفظ بقایای گیاهی جهت دست‌یابی به مدیریت پایدار پیشنهاد می‌گردد.

این در حالی است که سیستم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی اثرات منفی ویژگی‌های یادشده را داشت، به نحوی که باعث کمترین مقدار مواد آلی و در نتیجه تخلخل، ظرفیت آب قابل استفاده و پایداری خاکدانه‌ها و هم‌چنین افزایش جرم مخصوص ظاهری و مقاومت فروروی خاک در مقایسه با سایر تیمارها شد. براساس نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد افزایش ماده آلی و پایداری خاکدانه یک راه‌کار در خاک‌های متراکم تک کشتی-حذف بقایای گیاهی در کاهش مقاومت فروروی خواهد بود. برگرداندن بقایا به خاک به دلیل

منابع

- Abbasi H., Khodaverdiloo H., Ghorbani Sh., and Ahmadi Moghadam P. 2013. The effect of some soil tillage methods on soil physical quality index in arid and semi-arid region. *Agricultural Mechanization Journal* 1(2): 37-45. (In Persian)
- Aziz I., Mahmood T., Raut Y., Lewis W., Islam R., and Weil R.R. 2009. Active organic matter as a simple measure of field soil quality, ASA Internation Meetings, Pittsburg, PA.
- Barut Z.B., and Akbolat D. 2005. Evaluation of conventional and conservation tillage systems for maize. *Journal of Agronomy* 4(2): 122-126.
- Bear M.H., Hendrix, P.F., and Coleman, D.C. 1994. Water stable aggregates and organic matter fraction in conventional and no-tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 777-786.
- Bhattacharyya R., Chandra S., Singh R.D., Kundu, S., Srivastva A.K., and Gupta H.S. 2007. Long-term farmyard manure application effects on properties of a silty clay loam soil under irrigated wheat-soybean rotation. *Soil and Tillage Research* 94: 386-396.
- Brye K.R. 2006. Soil physiochemical changes following 12 years of annual burning in a humid-subtropical tallgrass prairie: a hypothesis. *Acta Oecologica* 30: 407-413.
- Cavazza L., Patruno A., and Cirillo E. 2007. Field capacity in soils with a yearly oscillating water table. *Biosystems* 98: 364-370.
- Dexter A. 2004. Soil physic quality part III: unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S theory, *Geoderma* 120: 227-239.
- Dexter A.R. 2006. Applications of S-theory in tillage research. p. 429-442. *Proceedings of the 17th Triennial Conference*, August 3- 28. Kiel, Germany.
- Doran J.W., and Parkin T.B. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. *Soil Science society of America* 58: 3-21.
- Farhoudi R., Chaychi M., Majnounhoseini N., and Savaghebi Gh. 2008. The Effect of Managing Wheat Plant Residues on Soil Properties and Sunflower Performance in Double Dual Cultivation System. *Journal of Iranian Crop Science* 1: 11-21. (In Persian)
- Fuentes M., Govaerts B., Leon F.D., Hidalgo C., Dendooven L., Sayre K.D., and Etchevers J. 2009. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *Europian Journal of Agronomy* 30: 228-237.
- Gharanjiki A., and Miri A.A. 2007. Management of first crop residue for second planting in wheat-cotton planting system. 10th Soil Science congress of Iran.
- Groenigen K.J., Hastings A., Forristal D., and Roth J.M. 2011. Soil carbon storage as affected by tillage and straw management: An assessment using field measurements and model predictions, *Agriculture, Ecosystem and Environment* 140: 218-225.
- Grunwald S., Rooney D.J., McSweeney K., and Lowery B. 2001. Development of pedotransfer functions for a profile cone penetrometer. *Geoderma* 100: 25-47.
- Guenet B., Neill C., Bardoun G., and Abbadie L. 2010. Is there a liner relationship between priming effect intensity and the amount of organic matter input?, *Applied Soil Ecology* 49: 436-442.
- Heidari A. 2004. Effect of plant residue management and plowing depth on wheat yield and soil organic matter in maize-wheat rotational rotation. *Journal of Agricultural Engineering Research* 5(19): 81-94. (In Persian)
- Heidari F., Rasoulzadeh A., Sepaskhah A., Asghari A., and Ghacidel A. 2013. The Effect of Management of Plant Remains on Physical and Biological Properties of Soils and the Efficiency of Maize and Forage Barley, *Journal of Agricultural Science and Technology. Water and Soil Science* 17(65): 233-248. (In Persian)

- 19- Heidari F., Rasoulzadeh A., Sepaskhah AR. and Asghari A. 2010. Effect of Plant Remnants Recovery and Burning on Soil Physical and Hydraulic Properties. Second National Conference on Integrated Water Resources Management, Kerman. (In Persian)
- 20- Hillel D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press, New York.
- 21- Jacob H., and Clarke G. 2002. Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Method. Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- 22- Karami A., Homaee M., Afzalnia S., Ruhipour H., and Basirat S. 2012. Organic residue management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physic-chemical properties. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment 148: 22-28.
- 23- Kayode S., Gabriel A., Olatagu A.L., Adebayo D.A., and Oke O. 2009. Slash and burn effect on soil quality of Alfisol: Soil physical properties. Soil and Tillage Research 103: 4-10.
- 24- Lou X., Xu M., Wang W., Sun X., and Zhao K. 2010. Return rate of straw residue affects soil organic carbon sequestration by chemical fertilization, Soil and Tillage Research 98: 287-291.
- 25- MacRae R.J., and Mehuys G.R. 1985. The effect of green manuring on the physical properties of temperate area soils. Advance in Soil Science 3: 71-94.
- 26- McCool D.K., Pannkuk C.D., Kennedy A.C., and Fletcher P.S. 2008. Effects of burn/low-till on erosion and soil quality. Soil and Tillage Research 101: 2-9.
- 27- Mirzaei M., and Mahmoudabadi M. 2014. The effect of different type and management of plant residues on some physical properties and water infiltration in soil. Soil and Water Science Researches 28(4): 659-671. (In Persian)
- 28- Moazeni M. 2008. Effect of plant residual on hydraulic and water properties of soil in paddy soil of Gillan provinc. M.Sc. Thesis. Esfahan Technical University, 186p. (In Persian)
- 29- Moradi F., Ghorbani Z., Misaghi P., and Khalili Moghadam B. 2015. Influencing factors on immersion resistance in three soil cultivars, cultivars and cane sugar in some soils of Khuzestan. Soil and Water Science Researches 29(2): 163-174. (In Persian)
- 30- Mulumba L.N., and Lal R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties, Soil and Tillage Research 98: 106-111.
- 31- Neyshabouri M., and Reyhani Tabar A. 2010. Interpretation of soil test results. Tabriz University, 216 pp.
- 32- Niewczas J., and Witkowska-Walczak B. 2003. Index of aggregates stability as linear function value of transition matrix elements, Soil and Tillage Research 70(2): 121-130.
- 33- Ohu J.O., Raghavan G.S.V., and McKyes E. 1985. Peatmoss effect on the physical and hydraulic characteristics of compacted soils, American Society Agriculture Engineering 28: 420-424.
- 34- Osmani A., Asgarzadeh H., and Asadzadeh F. 2015. Evaluation of physical quality of a number of surface and sub-surface soils of Orumieh plain based on Dexter index. Research Institute of Tehran University, New Energy and Environment Research Center, 7 Pp. (In Persian)
- 35- Porteaes F., Hill J., Ball A.S., Pinter P.J., Kimball B.A., Wall G.W., Thompson T.L., Matthias A.D., Brooks T.J. and Morris C.F. 2009. Effect of free air carbon dioxide enrichment (FACE) on the chemical composition and nutritive value of wheat grain and straw, Animal Feed Science and Technology 14: 322-332.
- 36- Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A., and Yang X.M. 2009. Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify soil physical quality, Geoderma 152: 252- 263.
- 37- Saha S., Chakraborty D., Sharma A.R., Tomar R.K., Bhadraray S., Sen U., Behera U.K., Purakayastha T.J., Garg R.N. and Kalra N. 2010. Effect of tillage and residue management on soil physical properties and crop productivity in maize (*Zea mays*)-Indian mustard (*Brassica juncea*) system. Indian Journal of Agricultural Sciences 80(8): 679-685.
- 38- Shaver T.M. 2010. Crop residue and soil physical properties. In: Proceeding of the 22nd Annual Central Plains Irrigation Conference. Keamey, NE.
- 39- Singh A., and Kaur J. 2012. Impact of conservation tillage on soil properties in ricewheat cropping system. Agricultural Science Research Journal 2(1): 30-41.
- 40- Valzano F.P., Greene R.S.B., and Murphy B.W. 1997. Direct effects of stubble burning on soil hydraulic and physical properties in a direct drill tillage system. Soil and Tillage Research 42: 209-219.
- 41- Van Genuchten M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of saturated soils. Soil Science Society of America Journal 44: 892-898.
- 42- Van Genuchten M.Th., Lesch S.M., and Yates S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Version 1.0. U.S. Salinity Lab., Riverside, CA.
- 43- Zhang G.S., Chan K.Y., Oates A., Heenan D.P., and Huang G.B. 2007. Relationship between soil structure and runoff-soil loss after 24 years of conservation tillage. Soil and Tillage Research 92: 122-128.



Effect of Different Agronomic Management on Some Physical Indicators of Soil Quality

A. Sadeghian¹ - Gh.A. Sayyad² - A. Farrokhan Firouzi^{3*} - M. Norouzi Masir⁴

Received: 01-01-2018

Accepted: 25-02-2019

Introduction: Soil is one of the renewable natural resources that take a long time to get renewed; its destruction or conservation depends on how land is used and managed. Soil quality refers to soil capacity in maintaining biological fertility, sustainability in plant production and yield. Maintaining soil quality is essential for sustainable food production and decomposition of organic wastes. Different agronomic managements have various effects on soil quality indicators. There are few published researches about the effect of various agronomic managements on soil quality indices in arid and semi-arid regions (such as Iran). Therefore, this study was conducted to investigate and compare the effects of three different agronomic management including crop rotation-crop residue removal, monoculture-crop residue removal and monoculture-crop residue retention systems on some physical indicators of soil quality.

Materials and Methods: In this research, three farms with three crop management systems including crop rotation-crop residue removal, monoculture-crop residue removal and monoculture-crop residue retention (10 ton per hectare) systems were investigated. In the monoculture-crop residue removal treatment, wheat was continuously cultivated for 8 years. In the rotation-crop residue removal system, wheat - mung bean were cultivated in rotation for 2 years. For the monoculture-crop residue retention system, wheat was planted for 10 years, after which the post-harvest residues were mixed with topsoil (0-15 cm). One hundred twenty soil samples (40 samples from each field) were prepared by systematic sampling from 0 to 15 cm depth. In order to investigate the effect of different agronomic management on soil physical quality, some indicators including soil organic matter, total porosity, bulk density, mean weight diameter of aggregates, aggregate stability, available water capacity, penetration resistance, saturated hydraulic conductivity, and slope of retention curve at inflection point (S-index) were measured. The experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications. Also, the mean comparison was performed using Duncan's multiple range test.

Results and Discussion: The results of analysis of variance showed that the type of crop management had a significant effect ($p < 0.01$) on organic matter, total porosity, bulk density, mean weight diameter of aggregates, aggregate stability, available water capacity, penetration resistance, saturated hydraulic conductivity and S-index. The results of mean comparison indicated that the monoculture-crop residue removal system resulted in a significant increase in bulk density (1.31 g cm^{-3}) and soil penetration resistance (0.4 MPa) than other systems, while the highest organic matter content (1.038 %), porosity (55.7%), mean weight diameter (1.04 mm), aggregate stability index (28%), available water capacity (0.15%), saturated hydraulic conductivity (46.17 cm h^{-1}) and S-index (0.053) was observed in the monoculture-crop residue retention system. The most measured values for soil quality indicators were more in monoculture-crop residual retention system compared with the other treatments. The amount of S-index of soils under monoculture-crop residual retention, crop rotation-crop residues removal, and monoculture-crop residual removal systems were 0.053, 0.032 and 0.019, respectively. The high S-index value of soil under monoculture-crop residual retention system can be attributed to its suitable amount of soil organic carbon and better soil structural quality. By contrast, in monoculture-crop residue removal system, elimination of organic matter had undesirable effect on soil porosity, and aggregate stability. Furthermore, the S-index values of the soils under crop rotation-crop residues removal, and monoculture-crop residual removal systems are below the Dexter's soil quality index threshold (0.035); therefore, the results indicated that the soils are degraded.

Conclusion: The results of this study showed that crop management plays an important role in changing soil physical quality indicators. Among the studied crop managements, monoculture-crop residue retention management system showed more positive effects on soil physical parameters than the others. Retention of crop residues on soil surface increases the soil organic matter which in turn has positive effects on soil properties such

1, 2, 3 and 4- M.Sc. Student, Associate Professors and Assistant Professor Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Respectively

(* - Corresponding Author Email: a.farrokhan@scu.ac.ir)

as aggregate stability, saturated hydraulic conductivity, available water content and slope of retention curve at the inflection point. On the other hand, the monoculture-crop residue removal treatment, with less soil organic matter, had more undesirable effects on agronomic soils than other treatments. Based on the results, the effect of different agronomic management systems on improving soil physical quality indexes was in the following order: monoculture-crop residue retention > crop rotation-crop residue removal > monoculture-crop residue removal. According to the results, it can be concluded that soil organic matter is the central index of soil quality, which is intensely influenced by crop management system. Therefore, in arid and semiarid areas such as Iran, monitoring of the long-time effect of agronomic management on status of soil organic matter and soil physical indices is urgent.

Keywords: Crop rotation-crop residue removal, Monoculture- crop residue removal, Monoculture- crop residue retention, Soil quality indices



مقایسه روش‌های ارزیابی پایداری خاکدانه به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک

سعید سعادت^۱ - لیلا اسمعیل نژاد^{۲*} - حامد رضایی^۳ - رسول میرخانی^۴ - جواد سیدمحمدی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

چکیده

پایداری خاکدانه، توانایی خاک در نگهداری و حفظ ترتیب فاز جامد و فضای خلل و فرج بعد از اعمال تنش‌های مکانیکی است. گرچه تاکنون یک روش رضایت‌بخش جامع برای تعیین کیفیت فیزیکی خاک ارائه نشده است ولی پایداری خاکدانه می‌تواند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک قلمداد شود. هدف از این مطالعه، ارزیابی روش‌های مناسب و استاندارد تعیین پایداری خاکدانه است که قادر به تشخیص شرایط کیفی فیزیکی خاک‌های دارای بافت متوسط در هر دو منطقه خشک و مرطوب باشد. تعداد ۱۲۰ نمونه خاک که شصت نمونه مربوط به منطقه مرطوب گیلان و شصت نمونه دیگر از استان فارس با اقلیم خشک انتخاب شدند. هر ۱۰ نمونه خاک با بافت مشابه مخلوط شده و در نهایت یک نمونه خاک تعیین شد. بعد از هوا خشک شدن و الک کردن نمونه‌ها، تعیین بافت به‌روش پیت و کربن‌آلی خاک به‌روش اکسیداسیون انجام گرفت. همچنین نمونه‌های دست‌نخورده با استفاده از استوانه‌های فلزی جهت تعیین ضریب آبگریز اشباع، منحنی رطوبتی و جرم مخصوص ظاهری خاک برداشته شد. تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع به‌روش بار ثابت صورت گرفت. برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه، از روش‌های کمپر-رزنا، لایبسونایس، و دی‌لینهیر-دی‌بودت استفاده شد. براساس نتایج حاصل از این تحقیق، مقادیر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در روش‌های کمپر-رزنا و لایبسونایس برای مطالعه پایداری ساختمان در هر دو اقلیم مناسب هستند. اگر یک روش بررسی سریع و ساده از وضعیت ساختمان خاک مورد نیاز باشد، تست‌های ساده مثل کمپر-رزنا با اشباع سریع و همچنین لایبسونایس در حالت مرطوب شدن سریع می‌توانند مورد استفاده واقع شوند.

واژه‌های کلیدی: دی‌لینهیر-دی‌بودت، لایبسونایس، ساختمان خاک، کمپر-رزنا، شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک

مقدمه

پایداری خاکدانه، توانایی خاک در نگهداری و حفظ ترتیب فاز جامد و فضای خلل و فرج بعد از اعمال تنش‌های مکانیکی یا نیروهای مخرب است (۱۵). هنگامی که تنش‌های اعمال شده بیش از نیروهای پیوندی است، خاکدانه‌های ضعیف شکسته شده و تخریب ساختمان خاک را به دنبال دارد (۲ و ۲۲). روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه وجود دارد که اساس آن‌ها بر خرد شدن نمونه‌های خاکدانه پس از اعمال تنش‌های مکانیکی است (۱). طبق نظر لال و شوکلا (۲۰۰۴)، روش‌های ارزیابی پایداری ساختمان خاک را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد (۲۴): (۱) بررسی سهولت پخشیده

شدن^۲ خاکدانه توسط روش‌های کدورت‌سنجی^۳ (۱۶)، (۲) ارزیابی مقاومت خاکدانه تحت تأثیر انرژی قطرات آب (۶)، (۳) بررسی توزیع اندازه خاکدانه و پایداری آن به‌وسیله الک تر (۴۶)، روش‌های متعدد دیگری مبتنی بر روش الک تر، توسعه یافته‌اند که در یک یا چند مورد زیر با هم تفاوت دارند (۲۵): (۱) روش‌های قبل از مرطوب شدن (۵)، (۲) اندازه خاکدانه‌های مورد استفاده (۳۱)، (۳) استفاده از یک الک منفرد یا سری الک‌ها (۵، ۱۰ و ۲۵) و تفاوت در شدت انرژی مکانیکی مخرب وارد شده به نمونه‌ها (۱)، (۴) تفاوت در مایع به‌کار رفته جهت غوطه‌وری خاکدانه‌ها (۲۰ و ۲۵). موارد ذکر شده باعث می‌شوند که مقایسه پایداری حاصل از روش‌های متفاوت سخت شود. علاوه بر این هر روش، بیان متفاوتی از پایداری خاکدانه داشته که باعث پیچیدگی مقایسه نتایج آن‌ها می‌شود. به‌عنوان مثال برخی روش‌ها نتایج را براساس درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA^۴)، بعضی

۱ و ۳- اعضای هیأت علمی بخش اصلاح خاک و مدیریت پایدار اراضی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۲ و ۵- محققین مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Esmaeelnejad.leila@gmail.com)

DOI: 10.22067/jsw.v33i2.73916

2- Ease of dispersion

3- Turbidimetry

4- Water stable aggregate

ویژگی‌های این خاک‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. نمونه‌برداری از لایه سطحی ۰-۲۰ سانتی‌متری صورت گرفت. بعد از هوا خشک شدن و الک کردن نمونه‌ها، تعیین بافت به روش پیپت، کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون و پایداری خاکدانه نیز به روش‌های گوناگونی که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد در سه تکرار انجام گرفت (۴۰).

همچنین نمونه‌های دست‌نخورده با استفاده از استوانه‌های فلزی (با قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر) از لایه ۱۵-۵ سانتی‌متری خاک جهت تعیین ضریب آب‌گذری اشباع، منحنی رطوبتی و جرم مخصوص ظاهری خاک برداشته شد. تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت صورت گرفت. منحنی رطوبتی خاک نیز بر اساس اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک در هفت مکش ۰، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۵۰۰ کیلو پاسکال ترسیم شد. جرم مخصوص ظاهری خاک خشک در پتانسیل ماتریک ۱۰- کیلوپاسکال تعیین شد. با استفاده از داده‌های منحنی رطوبتی شاخص‌های ظرفیت تهویه (AC)^۳، آب قابل استفاده گیاه (PAWC)^۴ و مقدار نسبی رطوبت (RWC)^۵ (۲۸) تعیین شدند:

$$AC = \theta_{h\ 0cm} - \theta_{h-100cm} \quad (۱)$$

$$PAWC = \theta_{h-300cm} - \theta_{h-15000cm} \quad (۲)$$

$$RWC = \theta_{h-300cm} / \theta_{h\ 0cm} \quad (۳)$$

در معادلات فوق‌الذکر، $\theta_{h-300cm}$ ، $\theta_{h-100cm}$ ، $\theta_{h\ 0cm}$ و $\theta_{h-15000cm}$ به ترتیب مقادیر رطوبت در مکش‌های ۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر می‌باشد.

برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها از نمونه‌های هوا خشک استفاده شد. به این منظور از سه روش متفاوت (۱) روش دی‌لین‌هر و دی‌بودت (۱۰) که بر اساس الک تر و با استفاده از الک‌های مضاعف انجام شد، (۲) روش لی‌بیزسونایس (۲۵) و (۳) روش کمپر و رزنا (۲۳) به‌وسیله یک الک تر انجام شد. در روش دی‌لین‌هر و دی‌بودت ابتدا نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شد. سپس ۲۰ گرم از خاک الک شده یک بار به‌صورت رطوبت هوا خشک (پیش تیمار مرطوب کردن سریع) و بار دیگر با رطوبت گنجایش (پیش تیمار مرطوب کردن آهسته) بر روی یک سری الک به ترتیب از بالا به پایین (۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۰۵ میلی‌متر) ریخته شد و با سرعت ۳۰ نوسان در دقیقه و زمان ۵ دقیقه تحت الک تر قرار گرفت. روش لی‌بیزسونایس شامل سه مرحله است: (۱) خیس کردن خاکدانه‌ها، (۲) غربال کردن آن‌ها در اتانول ۹۶ درصد، و (۳) جمع‌آوری مواد به جا مانده بر روی غربال ۰/۰۵ میلی‌متری. خشک کردن آن و غربال کردن آن‌ها با سری الک‌های ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ میلی‌متر است.

دیگر بر حسب میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD^1) و تعدادی هم به‌صورت شاخص پایداری (SI^2) ارائه می‌دهند که همین امر مقایسه آن‌ها را مبهم می‌کند. البته روش‌های ساده‌ای مثل ارزیابی بصری ساختمان خاک (۲۸) تا روش‌های پیشرفته لیزری و امواج صوتی (۳۶) نیز توسعه یافته‌اند.

در این تحقیق تمرکز بر ارزیابی روش‌های استاندارد اندازه‌گیری خاکدانه‌های پایدار در آب به‌وسیله الک کردن می‌باشد. اگرچه یک روش مشخص، رضایت‌بخش و جامع برای ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک ارائه نشده است، ولی پایداری خاکدانه به‌عنوان یک ویژگی فیزیکی مهم در تعیین کیفیت فیزیکی خاک کاربرد وسیعی دارد (۳) و (۳۴). البته چندین شاخص دیگر نیز وجود دارند که به‌طور غیرمستقیم به‌عنوان شاخص‌های کیفیت فیزیکی ساختمان خاک کاربرد دارند. به‌عنوان مثال رابطه بین توزیع اندازه ذرات و مواد آلی خاک (۲۳)، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، تخلخل تهویه‌ای، رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه و مقدار آب قابل استفاده گیاه (۳۵ و ۳۶). برخی از این ویژگی‌ها به‌خوبی با شاخص S که توسط دکستر (۱۲) پیشنهاد شده ارتباط دارند که یکی از شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک تلقی می‌شود (۱۱). در اکثر خاک‌ها، مقادیر بزرگ‌تر S حاکی از وجود میکروساختارهای خوب توسعه یافته‌اند. کارایی شاخص S در بیان کیفیت خاک در مطالعات قبلی دکستر (۱۲، ۱۳ و ۱۴) نشان داده شده است.

هدف از این مطالعه ارزیابی روش‌های اندازه‌گیری پایداری خاکدانه است که قادر به تعیین شرایط کیفی فیزیکی خاک‌های میان بافت در دو منطقه خشک و مرطوب باشد. علاوه بر این ارزیابی روش‌های منتخب از طریق مقایسه آن‌ها با سایر شاخص‌های کیفی فیزیکی خاک با هدف استفاده از پایداری خاکدانه به‌عنوان یک شاخص قابل اطمینان از وضعیت ساختمان خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تجزیه خاک

تعداد ۱۲۰ نمونه خاک که شصت نمونه مربوط به منطقه مرطوب و از سطح استان گیلان با اقلیم خیلی مرطوب با میانگین بارندگی سالانه ۱۲۸۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد و شصت نمونه دیگر از سطح استان فارس با اقلیم خشک و میانگین بارندگی سالانه ۲۲۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۲۷ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان منطقه خشک انتخاب شدند. هر ۱۰ نمونه خاک با بافت مشابه مخلوط شده و در نهایت یک نمونه خاک تعیین شد.

3- Air capacity

4- Plant available water capacity

5- Relative water content

1- Mean weight diameter

2- Stability index

جدول ۱- ویژگی خاک‌های مورد مطالعه مناطق مرطوب گیلان (G1-G6) و خشک استان فارس (F1-F6)
 Table 1- Studied soil properties of Guilan moist regions (G1-G6) and Fars arid regions (F1-F6)

کربن آلی	شن	سیلت	رس	کلاس بافت	خاک
Organic carbon	Sand	Silt	Clay	Texture class	Soil
(g.kg ⁻¹)					
42.6	516.2	198.6	285.2	لوم رسی شنی SCL	G1
24.4	426.7	282.3	291	لوم رسی CL	G2
17.5	476.5	350.7	172.8	لومی L	G3
20.3	284.7	485.8	229.5	لومی L	G4
29.1	156	583	261	لوم سیلتی SiL	G5
16.1	75.6	501.3	423.1	رسی سیلتی SiC	G6
10.6	743.9	119.6	136.5	لوم شنی SL	F1
10.4	207.6	627.9	164.5	لوم سیلتی SiL	F2
9.4	216.9	657.7	125.4	لوم سیلتی SiL	F3
9.6	370.5	531.8	97.7	لومی L	F4
8.1	475.2	371.8	153	لومی L	F5
6.5	379.7	519	101.3	لوم سیلتی SiL	F6

خیلی خوب، ۰/۸-۰/۶۶ خوب، ۰/۵-۰/۶۶ نامناسب و کمتر از ۰/۵ حاکی از کلاس پایداری بد است (۹).

روش لی‌بیزسونایس (۲۴)، که در اینجا به اختصار LB نشان داده می‌شود، دارای سه تیمار مختلف است که بیانگر حالت‌های مختلف مرطوب شدن است: مرطوب شدن سریع (LB1)، مرطوب شدن آرام (LB2)، پیش تیمار مرطوب شدن و سپس شکستگی مکانیکی خاکدانه‌ها به‌وسیله تکان دادن (LB3). پایداری خاکدانه حاصل از سه روش فوق به‌صورت محاسبه MWD و SI بیان می‌شوند. لی‌بیزسونایس (۲۴)، بر اساس مقادیر MWD حاصل از تیمارهای فوق‌الذکر کلاس‌های پایداری زیر را بیان کرده است: اگر MWD بیشتر از ۲ باشد خیلی پایدار، ۱/۳-۲ پایدار، ۰/۸-۱/۳ متوسط، ۰/۸-۰/۴ ناپایدار و کمتر از ۰/۴ خیلی ناپایدار است.

روش Yoder که به‌وسیله کمپر و رزنا (۲۳) تعدیل و اصلاح شده است و در اینجا با علامت اختصاری KR نمایش داده می‌شود، برای اندازه‌گیری خاکدانه‌های هوا خشک ۲-۱ میلی‌متری به کار رفت. روش مذکور مبتنی بر الک کردن خاکدانه‌ها در آب است. بدین منظور ۲۰ گرم خاکدانه هوا خشک در الک ۰/۲۵ میلی‌متری ریخته شده و برای اشباع کردن تدریجی آن‌ها در داخل دسیکاتور و پتانسیل ماتریک ۳- سانتی‌متر به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. پس از اشباع شدن آرام (SW) و سریع (FW)، الک ۰/۲۵ میلی‌متری در درون دستگاه الک تر قرار گرفته و به مدت ۳ دقیقه در یک سرعت ثابت و کنترل شده (۳۰ نوسان در دقیقه) در آب مقطر الک شد. در این روش، WSA به‌عنوان ملاک پایداری برابر با نسبت وزن خاکدانه‌های متلاشی نشده به وزن اولیه آن‌ها پس از کسر شن بزرگتر از ۰/۲۵ میلی‌متر است. سپس

MWD از مقدار خاکدانه باقی‌مانده بر روی هر الک محاسبه و معمولاً بر حسب میلی‌متر بیان می‌شود. روش کمپر و رزنا (۲۳) مبتنی بر غربال کردن خاکدانه‌ها در آب است. برای این منظور ۲۰ گرم خاکدانه هوا خشک در غربال ۰/۲۵ میلی‌متری با قطر دهانه ۶ سانتی‌متر ریخته شد و برای اشباع کردن تدریجی در داخل دسیکاتور قرار گرفت. پس از اشباع غربال ۰/۲۵ میلی‌متر داخل دستگاه غربال تر که مخصوص اندازه‌گیری این نمایه بود، قرار داده شد. مدت غربال کردن خاکدانه‌ها در آب مقطر پنج دقیقه، ارتفاع نوسان یک سانتی‌متر و شدت آن ۳۰ نوسان در دقیقه انتخاب شد. در این روش WSA به‌عنوان ملاک پایداری برابر با نسبت وزن خاکدانه‌های متلاشی نشده به وزن اولیه آن‌ها پس از کسر شن بزرگتر از ۰/۲۵ میلی‌متر است. نتیجه به‌صورت درصد خاکدانه‌های پایدار بیان می‌شود.

همه تجزیه‌ها در سه تکرار صورت گرفت. در روش دی‌لین هر و دی‌بودت (۱۰) که در اینجا به اختصار dLdB نامیده می‌شود، نتایج بر حسب MWD بیان می‌شود. شاخص ناپایداری^۱ (IS)، بر اساس تفاوت بین MWD اولیه (الک خشک) و MWD نهایی (الک تر) قابل محاسبه است. معکوس IS شاخص پایداری یا SI است که مقیاسی از پایداری خاکدانه‌ها است (SI=1/IS). دی‌لین هر و دی‌بودت (۹)، برای خاک‌های متوسط بافت بلژیک بر اساس SI طبقه‌بندی زیر را ارائه کرده‌اند: SI بیشتر از یک نشان‌دهنده پایداری عالی، ۰/۸-۱

1- Instability index

تجزیه آماری داده‌ها

جهت بررسی تفاوت‌های آماری بین روش‌های گوناگون، مقایسه میانگین از طریق آزمون LSD و برای تعیین میزان تغییرپذیری یا همگنی روش‌ها از آزمون تعیین همگنی Levene استفاده شد. میزان شباهت بین روش‌ها به صورت مقیاس‌بندی چند بعدی با استفاده از روش ALSCAL در نرم‌افزار SPSS بر روی داده‌های استاندارد شده انجام شد. در این روش داده‌ها بر اساس تشابهات یا تفاوت‌هایشان دسته‌بندی، رتبه‌بندی و ترجیح داده می‌شوند. سپس تشابهات موجود را به شکل نقاطی در یک فضای چند بعدی در آورده و آن‌ها را به گونه‌ای پیکربندی می‌کند که حداکثر تطابق را داشته باشند. از ماتریس همبستگی Spearman Rho جهت بیان عددی درجه همبستگی بین شاخص‌های پایداری روش‌های مختلف استفاده شد. این عملیات نیز در نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

برای نمایش داده‌های پایداری خاکدانه‌ها با یک شاخص مشترک، نتایج حاصل از سه روش ذکر شده در مواد و روش‌ها بر حسب MWD بیان شدند. البته بر اساس روش به کار رفته در بعضی موارد مقادیر WSA و SI نیز آورده شده است (جدول ۲). تفاوت MWD اولیه و نهایی نشانگر مقایسه وضعیت خاکدانه‌ها پس از الک خشک و تر است. در مورد روش dLdB، مقدار MWD اولیه ۴/۴۵ میلی‌متر بود. خاک‌های G1، G2 و G5 کمتر از ۲۰ درصد کاهش MWD داشتند. خاک‌های G6 و F3 به میزان ۳۰-۴۰ درصد و سایر خاک‌ها بیش از ۵۰ درصد کاهش نسبت به MWD اولیه داشتند. کاهش بیشتر در مقدار MWD بیان کننده ناپایداری بیشتر و بنابراین شاخص SI کمتر است. خاک‌های G1، G2 و G5 دارای $SI_{dLdB} > 1$ و درجه پایداری عالی، F3 دارای درجه پایداری خاکدانه خوب با $SI_{dLdB} = 0.68$ و سایر خاک‌ها دارای شاخص پایداری پایین و $SI_{dLdB} < 0.66$ بودند.

همانطور که در شکل ۱ قسمت‌های الف و ب نشان داده شده است، بیش از ۷۰ درصد از خاکدانه‌های پایدار در آب خاک‌های G1، G2 و G3 دارای قطر ۲-۸ میلی‌متر و ۵۰-۷۰ درصد خاکدانه‌های خاک‌های G1، G2، F1، F2 و F3 دارای این قطر بودند. در مورد سایر خاک‌ها بیش از ۵۰ درصد جرمی خاکدانه‌های پایدار در آب، دارای قطر کمتر از ۰/۵ میلی‌متر بودند. به‌طور کلی روش dLdB نشان داد که خاک‌های G1، G2، G3 و F3 خاک‌هایی با پایداری خاکدانه بیشتر و شرایط ساختمانی "خوب" هستند.

شکل ۲ توزیع اندازه خاکدانه‌ها پس از هر سه تیمار روش LB را نمایش می‌دهد. توزیع اندازه خاکدانه‌ها به‌وضوح متأثر از تیمارهای مورد استفاده بود. در خاک‌های مناطق مرطوب، خاک‌های G1، G2 و

MWD بر حسب WSA محاسبه می‌شود (۴):

$$MWD = \frac{W_s \cdot d}{W_t} \quad (4)$$

در آن: W_s همان WSA، d میانگین قطر خاکدانه‌ها و W_t وزن کل نمونه به کار رفته است.

در این مطالعه برای روش‌های dLdB و LB یک خاک خیلی پایدار، حاکی است که بیش از ۷۰ درصد خاکدانه‌های پایدار در آب آن، بر روی الک ۰/۵ میلی‌متر و بالاتر قرار گرفته باشد. این مقدار برای خاک ناپایدار کمتر از ۵۰ درصد است. در روش KR، خاک پایدار، حاکی است که بیش از ۷۰ درصد خاکدانه‌ها پس از الک تر، بر روی الک ۰/۲۵ میلی‌متری قرار گیرد و در مورد خاک ناپایدار این رقم کمتر از ۵۰ درصد است.

همچنین از توزیع اندازه ذرات و مقدار کربن آلی خاک برای محاسبه شاخص پایداری ساختمانی (SI) استفاده شد. این شاخص به‌وسیله پی‌یری (۳۲) پیشنهاد شد و بیان کننده خطر تخریب ساختمان خاک ناشی از تخلیه کربن آلی خاک است:

$$SI = (1.72 \times SOC/clay + silt) \times 100 \quad (5)$$

در رابطه ۵ همه مقادیر بر حسب درصد است.

طبقه‌بندی ارائه شده توسط پی‌یری بر حسب SI بدین شرح است: اگر SI کمتر از ۵ درصد باشد نشان می‌دهد که خاک از لحاظ ساختمانی تخریب شده است، ۷-۵ درصد بیانگر خطر زیاد تخریب ساختمان خاک، ۹-۷ درصد خطر کم تخریب، بیش از ۹ درصد حاکی از وجود مقادیر کافی کربن آلی جهت ابقا و پایداری ساختمان خاک است.

با استفاده از نرم افزار RETC معادله ونگنختن (۴۳) بر داده‌های اندازه‌گیری شده منحنی رطوبتی برازش داده شد و پارامترهای آن مشخص شدند.

$$\theta_h = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} \quad (6)$$

که در آن θ_s و θ_r به ترتیب رطوبت اشباع و باقی‌مانده (بر اساس کیلوگرم بر کیلوگرم)، h مکش بر حسب سانتی‌متر، α ، n و m نیز پارامترهای شکل منحنی هستند. معادله زیر جهت محاسبه شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف منحنی رطوبتی، S-Index، به کار رفت:

$$S = \left| -n(\theta_s - \theta_r) \left[\frac{2n-1}{n-1} \right]^{\left(\frac{1}{n} - 2 \right)} \right| \quad (7)$$

با توجه به اینکه مقدار شاخص S همواره منفی است، لذا از قدر مطلق آن استفاده می‌شود. بر اساس S، این طبقه‌بندی ارائه شده است (۱۳): اگر S بیش از ۰/۳۵ باشد شاخص کیفیت فیزیکی خاک خوب است، ۰/۳۵-۰/۲ ضعیف و کمتر از ۰/۲ خیلی ضعیف می‌باشد.

۰/۱-۰/۵ میلی‌متر قرار گرفتند. بعد از تیمار LB₂ تخریب خاکدانه‌ها در خاک‌های F1 و F2 خیلی کم بود؛ به‌طوری‌که به‌ترتیب ۹۱ و ۸۲ درصد از خاکدانه‌ها بین الک‌های ۰/۵-۲ میلی‌متری قرار داشته که این وضعیت در خاک‌های F3، F4، F5 و F6 متفاوت بود. پس از اعمال تیمار LB₃ بیش از ۵۰ درصد از خاکدانه‌های خاک‌های F1، F3، F4، F5 و F6 دارای قطر ۰/۵-۲ میلی‌متر بوده، در حالی‌که در مورد خاک F2 بیش از ۵۰ درصد خاکدانه‌ها روی الک‌های ۰/۵-۲ میلی‌متر جمع شده بودند.

G5 بیشترین نسبت خاکدانه‌های ۰/۵-۲ میلی‌متر را پس از هر سه تیمار LB داشتند. سایر خاک‌ها پس از تیمار LB₁ بیش از ۵۰ درصد جرمی خاکدانه‌ها در بین الک‌های ۰/۵-۰/۰۵ میلی‌متر قرار داشتند. همچنین پس از تیمارهای LB₂ و LB₃ ۴۰-۵۰ درصد از خاکدانه‌ها بین الک‌های ۰/۲-۰/۰۲ میلی‌متر قرار گرفتند. ر خاک‌های مناطق خشک (F1-F6)، روند توزیع اندازه خاکدانه‌ها در هر سه تیمار LB متفاوت از خاک‌های منطقه مرطوب بود. پس از اعمال تیمار LB₁، بیش از ۵۰ درصد جرمی خاکدانه‌ها بین الک‌های

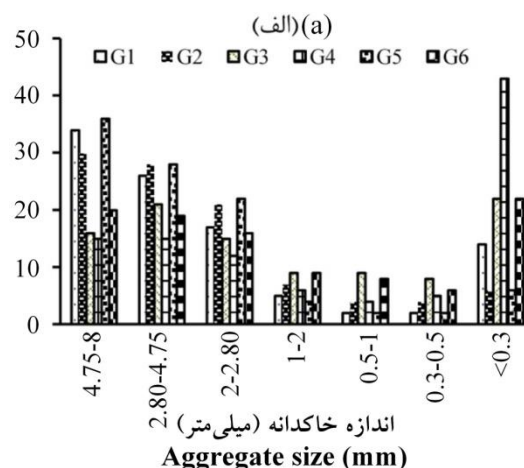
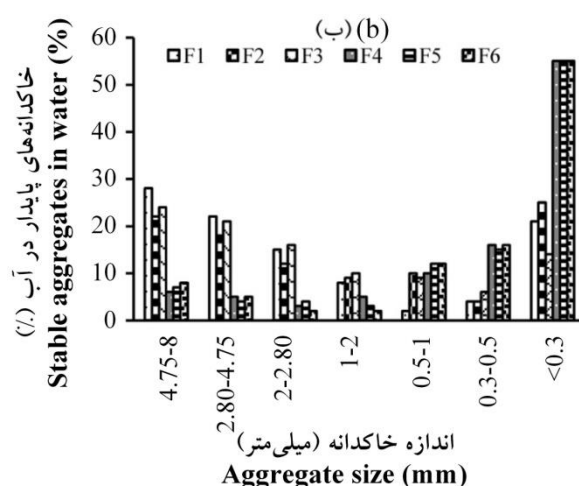
جدول ۲- میانگین مقادیر شاخص‌های پایداری در خاک‌های مورد مطالعه

Table 2- Mean values of stability indicators in studied soils

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
MWD _{dLdB}	3.63(0.06)	3.58(0.15)	2.29(0.31)	1.93(0.70)	3.97(0.08)	(0.5)2.62
SI _{dLdB}	1.22(0.10)	1.15(0.21)	0.46(0.07)	0.40(0.15)	2.07(0.31)	0.55(0.16)
MWD _{LB1}	1.78(0.19)	1.86(0.22)	0.51(0.06)	0.79(0.33)	2.99(0.09)	0.93(0.17)
MWD _{LB2}	3.46(0.01)	3.37(0.05)	1.64(0.16)	1.99(0.44)	3.46(0.02)	1.89(0.33)
MWD _{LB3}	3.15(0.12)	3.18(0.06)	1.50(0.10)	1.82(0.43)	3.38(0.02)	1.99(0.34)
MWD _{KRWF}	0.73(0.05)	0.61(0.07)	0.18(0.02)	0.42(0.11)	1.00(0.02)	0.58(0.07)
MWD _{KRSW}	1.02(0.03)	0.82(0.03)	0.77(0.05)	0.68(0.02)	1.01(0.02)	0.84(0.03)
WAS _{KRWF}	70.8(4.67)	82.2(5.39)	37.1(4.37)	43.1(10.43)	93.4(1.47)	57.3(5.97)
WAS _{KRSW}	92.7(1.70)	99.3(0.42)	91.1(0.88)	68.9(0.87)	97.7(0.24)	83.6(0.24)
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MWD _{dLdB}	2.11(0.22)	2.92(0.33)	2.92(0.33)	0.82(0.17)	0.75(0.21)	0.71(0.32)
SI _{dLdB}	0.43(0.04)	0.43(0.04)	0.66(0.14)	0.28(0.01)	0.26(0.03)	0.25(0.05)
MWD _{LB1}	0.73(0.10)	0.67(0.09)	0.53(0.07)	0.33(0.06)	0.34(0.12)	0.31(0.19)
MWD _{LB2}	3.25(0.05)	2.85(0.37)	1.60(0.17)	2.04(0.27)	2.00(0.04)	1.99(0.23)
MWD _{LB3}	0.65(0.08)	1.98(0.18)	0.71(0.03)	0.80(0.08)	0.72(0.16)	0.75(0.05)
MWD _{KRWF}	0.46(0.10)	0.41(0.10)	0.40(0.08)	0.38(0.12)	0.32(0.21)	0.35(0.09)
MWD _{KRSW}	0.84(0.02)	0.90(0.17)	0.83(0.01)	0.76(0.04)	0.69(0.03)	0.71(0.02)
WAS _{KRWF}	44.9(8.34)	37.9(9.95)	34.5(7.17)	39.6(11.46)	35.2(12.12)	34.9(8.18)
WAS _{KRSW}	82.3(1.00)	83.7(0.75)	77.2(0.62)	74.4(3.21)	69.6(0.21)	71.3(0.61)

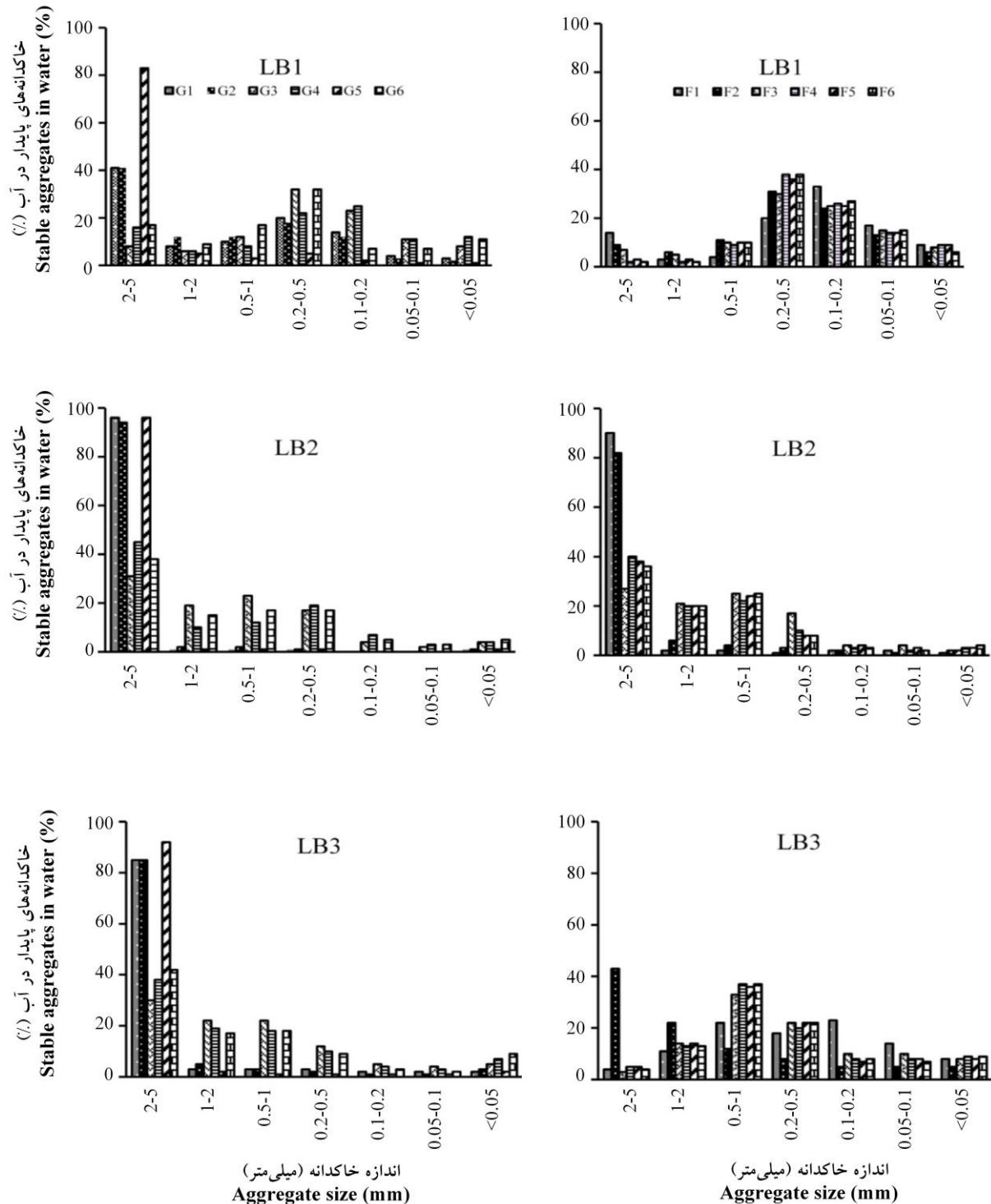
Values are presented in parentheses are standard deviation.

مقادیر داخل پرانتز انحراف معیار داده‌ها هستند.



شکل ۱- توزیع اندازه خاکدانه خاک‌ها، (الف): منطقه مرطوب (G1-G6)، (ب): منطقه خشک (F1-F6) بر اساس روش dLdB

Figure 1- Distribution of soils aggregate size, (a): moist region (G1-G6), (b): arid region (F1-F6) according to dLdB method



شکل ۲- توزیع اندازه خاکدانه بر اساس روش LB برای خاک‌های مناطق مرطوب (G1-G6) و خشک (F1-F6)
Figure 2- Distribution of aggregate size according to LB method for moist region soils (G1-G6) and arid region (F1-F6)

G5 در کلاس خیلی پایدار، G1 و G2 پایدار، G6 متوسط و سایر خاک‌ها ناپایدار هستند. بر حسب MWD_{LB2} همه خاک‌ها در رده خیلی پایدار و پایدار قرار می‌گیرند و در نهایت طبق MWD_{LB3} در

این تفاوت‌ها بین تیمارهای LB، برای همه خاک‌ها به‌جز خاک‌های G1 و F1 به این شرح است: $MWD_{LB2} > MWD_{LB3} > MWD_{LB1}$ بر اساس MWD_{LB1} خاک

۳۰ دقیقه استفاده شد همه خاک‌ها پس از تکان خوردن در الک تر در کلاس خیلی پایدار قرار می‌گیرند. این مطلب حاکی از این است که پایداری خاکدانه خاک‌های متوسط بافت مورد مطالعه به‌شدت متأثر از مقدار رطوبت خاکدانه‌ها قبل از الک تر است.

تجزیه تفاوت بین ضرایب تغییرات روش‌های مختلف با هدف مقایسه تغییرپذیری در کلاس ارائه شده توسط روش‌های مختلف صورت گرفت (جدول ۳). طبق جدول ۳ در خاک‌های مناطق مرطوب دو گروه تشکیل شده است. KR_{FW} و LB_1 در یک گروه و LB_3 و LB_2 در یک گروه دیگر قرار دارند. به‌عبارتی بر طبق نتایج آزمون Levene، روش‌هایی که دارای همگنی ضریب تغییرات بودند در یک گروه قرار گرفته‌اند که حاکی از مشابه بودن نتایج روش‌ها در کلاس‌بندی کیفیت خاک‌های مورد مطالعه است. روش‌هایی که بر پایه مرطوب شدن آرام هستند یعنی LB_2 و KR_{SW} در دو گروه مجزا از هم قرار گرفته‌اند. این تفاوت در گروه‌بندی مؤید این مطلب است که فرآیند به‌کار رفته در هر روش خاکدانه‌ها را با شدت متفاوتی تخریب می‌کنند. در مورد روش‌های $dLdB$ ، KR_{FW} و LB_3 و LB_1 انرژی وارد شده بر خاکدانه‌ها توسط تکان دادن، مخرب‌تر از روش‌هایی است که قبل از اعمال الک تر از پیش تیمار مرطوب شدن آرام استفاده می‌کنند. هر دو روش تعیین MWD_{LB_2} و MWD_{KRSW} با حذف هوا از خاکدانه‌ها آغاز می‌شوند (پیش مرطوب شدن در یک ماتریک مشخص به‌وسیله آب و اتانول) قبل از اینکه انرژی به‌صورت دستی یا مکانیکی به خاکدانه‌ها وارد شود. ولی تفاوت ایجاد شده بین دو روش فوق‌الذکر می‌تواند به دلایل زیر باشد: (۱) روش LB_2 نسبت به KR دوره الک کوتاه‌تری دارد، (۲) غوطه‌وری خاکدانه‌ها در مایعات متفاوت برای الک تر و (۳) اندازه‌های مختلف خاکدانه‌های استفاده شده.

کلاس خیلی پایدار و پایدار قرار می‌گیرند به‌جز خاک‌های $F1$ ، $F3$ ، $F4$ که در گروه خاک‌های ناپایدار قرار می‌گیرند.

برای هر دو مورد خاک‌های مورد بررسی در مناطق خشک و مرطوب، در بین تمام روش‌های اندازه‌گیری پایداری خاکدانه، روش LB مقادیر MWD بیشتری ارائه داد که نشان می‌دهد این روش بیش از سایرین از فروپاشی و تخریب خاکدانه‌ها جلوگیری می‌کند. تفاوت در روند مشاهده شده از تیمارهای مختلف روش LB حاکی از این است که تیمار LB_2 خاک‌های بیشتری را در رده پایدار قرار می‌دهد؛ به‌طوری‌که خاک‌هایی که در اثر تیمارهای LB_1 و LB_3 کلاس ناپایدار داشتند در اثر LB_2 در کلاس پایدار قرار گرفتند.

نتایج حاصل از روش KR بر حسب WSA و MWD گزارش شده‌اند. با توجه به WSA ، پس از پیش تیمار مرطوب شدن سریع، کلاس‌های پایداری زیر قابل رویت است: خاک‌های $G1$ ، $G2$ و $G5$ خیلی پایدار، $G6$ پایدار و سایر خاک‌ها ناپایدار هستند (جدول ۲). کاهش MWD پس از مرطوب شدن سریع خاکدانه‌های ۱-۲ میلی‌متری برای خاک $G5$ ۳۰ درصد، خاک‌های $G1$ ، $G2$ و $G6$ ۶۰-۵۰ درصد و بیش از ۷۰ درصد برای سایر خاک‌ها می‌باشد. مقایسه کاهش MWD این روش با روش‌های قبلی نشان می‌دهد به‌جز خاک $G5$ هنگامی که الک تر پس از پیش تیمار مرطوب شدن سریع خاکدانه‌ها صورت می‌گیرد که خاکدانه‌های ۱-۲ میلی‌متری مقاومت و پایداری کمتری دارند. جدول ۲ نشان می‌دهد هنگامی که پیش تیمار مرطوب شدن آرام بر روی خاکدانه‌ها اعمال می‌شود، همه خاک‌ها خیلی پایدار هستند و ۷۰-۵۰ درصد از خاکدانه‌ها پس از الک کردن باقی می‌مانند. نتایج نشان‌دهنده کاهش کمتر از ۳۰ درصد MWD_{KRSW} برای همه خاک‌هاست. در نتیجه هنگامی که از پیش تیمار مرطوب شدن آرام در پتانسیل ماتریک ۳- سانتی‌متری به مدت

جدول ۳- آماره‌های شاخص‌های پایداری مربوط به خاک‌های مناطق مرطوب و خشک

Table 3- The statistics of stability indicators of moist and arid regions soils

روش‌ها Methods	شاخص Indices	نام اختصاری Abbreviations	خاک‌های مرطوب Moist soils					خاک‌های خشک Arid soils				
			میانگین Mean	انحراف معیار St. Dev.	ضریب تغییرات* CV	کمینه Min	بیشینه Max	میانگین Mean	انحراف معیار St. Dev.	ضریب تغییرات* CV	کمینه Min	بیشینه Max
dLdB	MWD	MWDdLdB	3.00	0.88	29c	0.95	4.12	1.83	1.32	72b	0.15	3.67
		SI	1.07	0.74	69	0.29	3.03	0.52	0.30	57	0.23	1.29
		MWDLB1	1.47	0.87	59b	0.32	3.18	0.58	0.19	33bc	0.24	1.06
LB	MWD	MWDLB2	2.63	0.86	33a	1.16	3.53	2.47	0.82	33a	0.00	3.45
		MWDLB3	2.50	0.79	31a	1.13	3.42	1.06	0.61	57c	0.46	2.47
		MWDKRFW	0.59	0.26	45b	0.14	1.04	0.41	0.11	26c	0.24	0.69
KR	MWD	MWDKRSW	0.86	0.13	15b	0.61	1.07	0.83	0.06	7.2d	0.69	0.93
	WSA	WSAKRFW	64.03	21.27	33	33.67	95.50	39.28	9.55	24	24.00	60.17
		WSAKRSW	88.76	11.40	12	54.75	99.33	79.44	6.01	7.5	67.67	88.58

*بررسی همگنی ضرایب تغییرات از طریق آزمون Levene بین MWD روش‌های مختلف.

*Homogeneity investigation of correlations variation by Levene test among MWD from different methods.

از طرف دیگر اکثر روش‌های به کار رفته برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه در خاک‌های منطقه مرطوب دارای ضرایب همبستگی بالایی با یکدیگر هستند (جدول ۴). بالاترین همبستگی بین MWD_{LB1} و MWD_{KRFW} مؤید نتایج مشابه آنهاست. این روش‌ها در میزان مخرب وارد بر خاکدانه‌ها شباهت داشته که باعث افزایش میزان تخریب خاکدانه‌های ناپایدار می‌شوند. حتی اگر آن‌ها شامل اندازه‌های مختلف خاکدانه‌ها باشند ولی نیروی مکانیکی تخریب و فروپاشی یکسانی بر خاکدانه‌ها اعمال می‌کنند.

در مورد خاک‌های مناطق خشک، کارایی روش‌های

جدول ۴- ماتریس همبستگی (Spearman Rho) روش‌های استفاده شده برای ارزیابی پایداری خاکدانه

Table 4- Spearman correlation matrix of used methods for aggregate stability assessment

	MWD_{dLdB}	MWD_{LB1}	MWD_{LB2}	MWD_{LB3}	MWD_{KRFW}	MWD_{KRSW}
MWD_{dLdB}	1.00	0.92**	0.85**	0.90**	0.91**	0.73**
MWD_{LB1}	-0.74**	1.00	0.89**	0.94**	0.98**	0.63**
MWD_{LB2}	-0.74**	0.86**	1.00**	0.90**	0.86**	0.70*
MWD_{LB3}	-0.38 ^{ns}	0.12 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	1.00	0.93**	0.66**
MWD_{KRFW}	0.34 ^{ns}	0.10 ^{ns}	-0.00 ^{ns}	0.07 ^{ns}	1.00	0.64**
MWD_{KRSW}	0.19 ^{ns}	-0.33 ^{ns}	-0.42*	0.33 ^{ns}	0.18 ^{ns}	1.00

مقادیر واقع در سمت چپ قسمت بالا مربوط به مناطق مرطوب و در قسمت پایین به سمت راست مربوط به مناطق خشک است.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, ns عدم معناداری.

Located values in left above part related to moist regions and in right below part related to arid regions.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, ns no significant.

جدول ۵- میانگین شاخص‌های کیفیت برای خاک‌های مناطق مرطوب و خشک

Table 5- Quality indicators mean for moist and arid regions soils

Indices	G1	G2	G3	G4	G5	G6	F1	F2	F3	F4	F5	F6
SOC	4.26 (0.31)	2.44 (0.56)	0.75 (0.06)	2.03 (0.54)	2.91 (0.53)	1.61 (0.37)	1.06 (0.15)	1.04 (0.10)	0.94 (0.05)	0.96 (0.07)	0.81 (0.06)	0.65 (0.05)
SI	15.25 (1.95)	7.32 (1.67)	2.48 (0.16)	4.97 (1.69)	5.94 (1.09)	2.98 (0.63)	7.79 (1.03)	2.91 (0.21)	2.08 (0.14)	2.63 (0.20)	2.01 (0.21)	2.13 (0.29)
BD	1.10 (0.08)	1.41 (0.09)	1.55 (0.09)	1.34 (0.05)	1.65 (0.06)	1.53 (0.11)	1.33 (0.09)	1.44 (0.11)	1.51 (0.09)	1.46 (0.10)	1.12 (0.09)	1.23 (0.11)
AC	0.16 (0.05)	0.12 (0.04)	0.08 (0.01)	0.05 (0.02)	0.04 (0.02)	0.05 (0.01)	0.17 (0.01)	0.07 (0.03)	0.09 (0.04)	0.05 (0.01)	0.05 (0.03)	0.06 (0.03)
PAWC	0.13 (0.03)	0.17 (0.08)	0.13 (0.01)	0.18 (0.02)	0.13 (0.01)	0.13 (0.02)	0.17 (0.01)	0.17 (0.02)	0.16 (0.01)	0.18 (0.01)	0.17 (0.02)	0.16 (0.04)
RWC	0.66 (0.07)	0.65 (0.10)	0.68 (0.03)	0.78 (0.04)	0.82 (0.05)	0.82 (0.04)	0.49 (0.02)	0.72 (0.07)	0.65 (0.07)	0.73 (0.03)	0.62 (0.05)	0.65 (0.04)
S-Index	0.048 (0.015)	0.047 (0.01)	0.047 (0.002)	0.057 (0.005)	0.038 (0.003)	0.038 (0.005)	0.086 (0.01)	0.059 (0.009)	0.057 (0.008)	0.061 (0.003)	0.06 (0.004)	0.06 (0.005)
K_{sat}	53.82 (416.9)	25.97 (16.87)	0.88 (1.62)	0.87 (1.18)	0.75 (3.49)	2.30 (117.2)	77.00 (102.5)	11.11 (224.1)	18.90 (31.31)	0.36 (9.64)	0.32 (8.28)	0.36 (10.36)

SOC: کربن آلی خاک (%), SI: شاخص پایداری ساختمان Pieri (%), BD: جرم مخصوص ظاهری ($Mg\ m^{-3}$), AC: ظرفیت تهویه کل خاک ($m^3\ m^{-3}$), مقدار رطوبت قابل استفاده گیاه ($m^3\ m^{-3}$), RWC: ظرفیت رطوبت نسبی ($m^3\ m^{-3}$), S-Index: نقطه عطف منحنی رطوبتی و شاخص کیفیت Dexter, K_{sat} : هدایت هیدرولیکی اشباع (میانگین هندسی، cmh^{-1}).

انحراف معیار هر شاخص در پرانتز ارائه شده است ($\pm$).

SOC: soil organic carbon (%), StI: pieri structure stability indicator (%), BD: bulk density ($mg\ m^{-3}$), AC: aeration capacity of total soil ($m^3\ m^{-3}$), PAWC: plant available water capacity ($m^3\ m^{-3}$), RWC: rational water capacity ($m^3\ m^{-3}$), S-Index: turning point of moisture curve and Dexter quality index, K_{sat} : saturation hydraulically conductivity (geometric mean cmh^{-1}).

Standard deviation for each index is presented in parentheses ($\pm$).

برای خاک‌های G1 و G2 (خاکدانه‌های پایدار) و G3، G4 و G6 (پایداری متوسط تا ناپایدار) مطابقت داشتند. ولی درجه‌بندی کیفیت خاک G5 بر اساس پایداری خاکدانه و ارزیابی از طریق سایر شاخص‌های کیفی متفاوت بود.

خاک‌های مناطق خشک دارای مقادیر SOC زیر کمترین مقدار حد بحرانی ($\leq 2/2\%$) بودند. همچنین مقادیر SI آن‌ها زیر 5% بود به‌جز خاک F1 که نشان‌دهنده یک خاک دارای ساختمان تخریب شده می‌باشد. به‌جز خاک F3 مقدار BD سایر خاک‌ها در محدوده بهینه ($1/84 \leq BD \leq 1/33$) بود. مقادیر PAWC در دامنه دارای محدودیت برای خاک‌های F1 و F3 ($0/15 \leq PAWC \leq 0/10$) و در محدوده خوب برای F2، F4، F5 و F6 ($0/2 \leq PAWC \leq 0/15$) بود. برای همه خاک‌ها به‌جز F1 مقادیر AC و RWC پایین‌تر از حداقل ($AC \leq 0/10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ، $RWC \leq 0/6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) قرار داشت. K_{sat} برای خاک F5 خیلی کم بود. بر اساس این شاخص‌ها کلاس‌های کیفیت فیزیکی خاک برای خاک‌های خشک از کلاس نسبتاً خوب برای خاک‌های F1 و F2 تا کلاس دارای محدودیت برای سایرین می‌باشد. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد خاک‌های منطقه مرطوب مورد مطالعه بر اساس مقادیر میانگین MWD_{dLdB} ، MWD_{LB1} ، MWD_{KRFW} و MWD_{LB3} در طبقه ناپایدار قرار داشتند به‌جز خاک‌های F2 و F3 که بر اساس MWD_{LB3} و MWD_{dLdB} کلاس متفاوتی داشتند.

با توجه به S-Index در هر دو گروه از خاک‌ها مقادیر بیش از $0/35$ بود که حاکی از شرایط کیفی فیزیکی خاک بهینه می‌باشد (۱۱). این شاخص در مقایسه با سایرین قادر به تعیین تفاوت‌ها در شرایط کیفیتی خاک‌های مورد مطالعه نمی‌باشد. ظاهراً S-Index همیشه معتبر نیست و در شرایط خاک‌های مورد مطالعه در این تحقیق کارایی لازم را ندارد. زیرا شکل منحنی رطوبتی خاک و به تبع آن شیب آن در نقطه عطف (شاخص دکستر) تابعی از ویژگی‌های مختلف خاک مثل پایداری ساختمان خاک، اندازه و آرایش منافذ خاک، آبگریزی و آبدوستی خاک و ... می‌باشد. همچنین هر عامل خارجی که شکل منحنی رطوبتی خاک و به‌ویژه شیب آن را در محدوده خیس تحت تأثیر قرار دهد، بر شاخص دکستر نیز مؤثر است. از جمله این عوامل می‌توان به کاربرد کودهای دامی و فسفات، ماده آلی و کربنات کلسیم و حتی جاذب‌های پلیمری اشاره کرد. این عوامل معمولاً با تأثیر مثبت بر ساختمان خاک می‌توانند باعث افزایش شاخص دکستر شوند.

آزمون مقیاس‌بندی چندبعدی ارائه شده در شکل ۳ یک بیان تصویری از شباهت بین روش‌های مختلف بر حسب MWD و سایر شاخص‌های کیفیت خاک‌ها را نشان می‌دهد. نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی بین پارامترها نشان‌دهنده بیشترین شباهت آن‌ها در ارائه کیفیت فیزیکی خاک‌ها می‌باشد. در مورد خاک‌های منطقه مرطوب

برای انتخاب یک روش ارزیابی پایداری خاکدانه مناسب برای خاک‌های خشک و مرطوب، اعتبار آن‌ها از طریق بررسی ارتباط و همبستگی‌شان با سایر شاخص‌های کیفی فیزیکی خاک ذکر شده توسط رینولدز و همکاران (۳۷) سنجیده شد. میانگین شاخص‌های کیفی فیزیکی خاک به‌جز در مورد جرم مخصوص ظاهری (جدول ۵) با مقادیر بهینه پیشنهاد شده توسط رینولدز و همکاران (۳۷) مقایسه شد. جرم مخصوص ظاهری خاک‌های مورد مطالعه با مقادیر بحرانی این پارامتر که رشد ریشه را برای خاک‌های مختلف محدود می‌کند و توسط پی‌برک و همکاران (۳۳) پیشنهاد شده بود مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

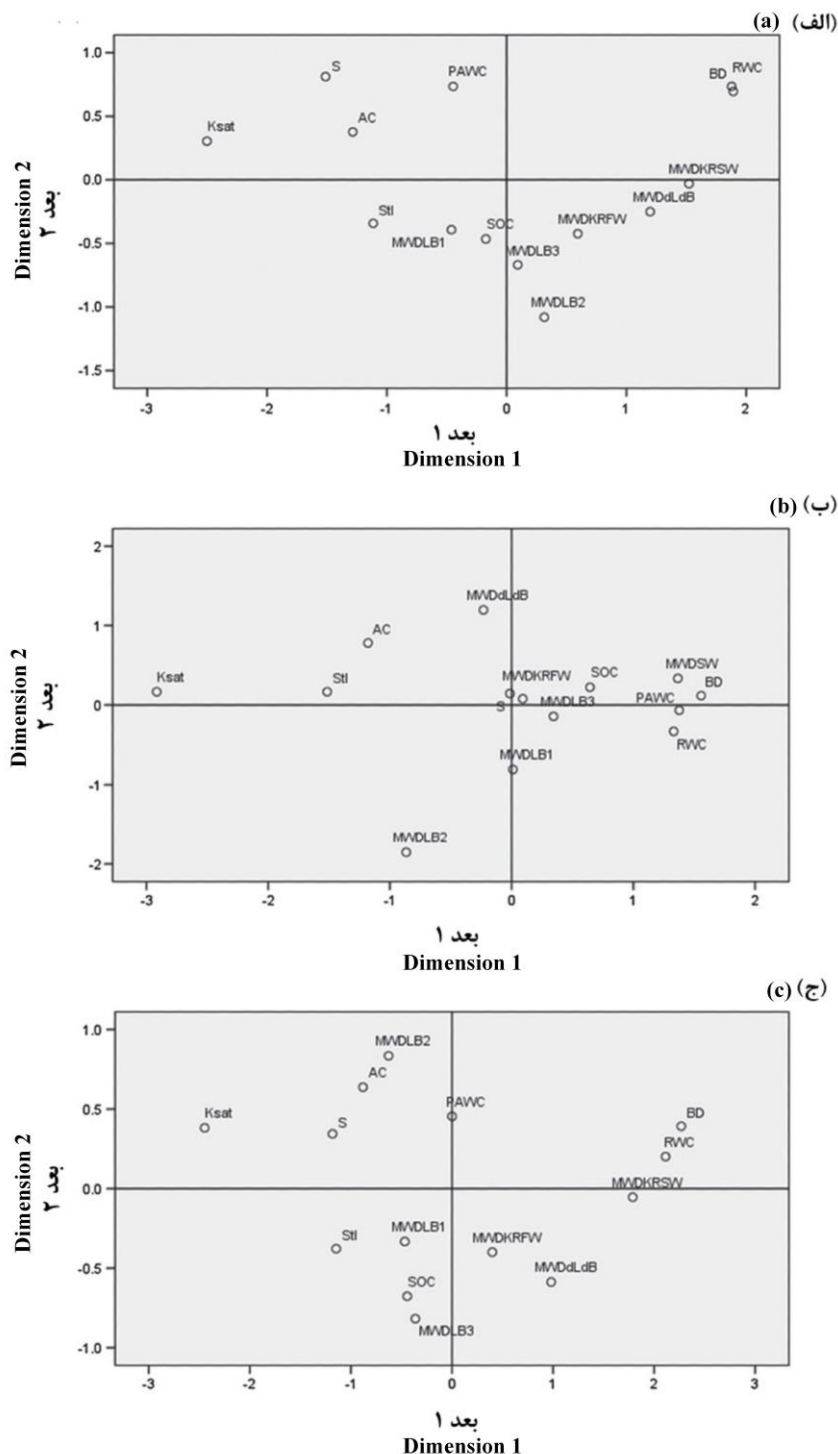
در بین خاک‌های منطقه مرطوب، با توجه به شاخص‌های کیفی فیزیکی خاک به‌جز S-Index، دو گروه کیفی خاک قابل تشخیص است: گروه اول محدوده بهینه خاک‌هاست که خاک‌های G1 و G2 دارای شاخص کیفیت خوب و خاک G3 در کلاس نسبتاً خوب است. گروه دوم گروه دارای محدودیت برای خاک‌های G4 با کلاس نسبتاً ضعیف و G5 و G6 دارای شاخص کیفی ضعیف می‌باشند. این گروه‌بندی کیفیت به‌صورت زیر است:

به‌جز خاک‌های G1، G2 و G5 مقدار SOC خاک‌ها کمتر از $2/3\%$ (ماده آلی خاک) بودند که کمتر از حد بحرانی پیشنهاد شده به وسیله گرینلند (۱۹۸۱) برای حفظ ساختمان خاک در خاک‌های شخم خورده است. بر پایه درجه‌بندی SI ارائه شده توسط پی‌بری (۱۹۹۲) خاک G1 دارای ساختمان پایدار و G2 دارای خطر کم تخریب ساختمان است. در مقابل، سایر خاک‌ها ساختمان تخریب شده دارند. خاک‌های G5 و G6 دارای جرم مخصوص ظاهری بالاتر از مقدار بحرانی (به ترتیب $1/67$ و $1/49$ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بوده که موجب کاهش در ریشه‌دوانی گیاه می‌شوند. سایر خاک‌ها میانگین جرم مخصوص ظاهری‌شان در محدوده بهینه برای ریشه‌دوانی قرار دارند. خاک‌های G1 و G3 دارای AC بیش از $0/10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ که مقدار مورد نیاز برای تولید زراعی خوب و تهویه منطقه ریشه در خاک‌های لوم شنی و لوم رسی می‌باشد. سایر خاک‌ها تهویه خوبی نداشتند. طبقه‌بندی مشابهی نیز بر اساس RWC به دست آمد. با توجه به PAWC، فقط خاک‌های G1، G5 و G6 در طبقه دارای محدودیت قرار گرفتند که زیر حد بهینه برای عملکرد ریشه‌دوانی و مقاومت به خشکی می‌باشند. مقادیر K_{sat} در خاک‌های G3، G4 و G5 زیر حد بهینه ($1/8 - 18 \text{ cmh}^{-1}$) قرار دارد که ممکن است گواه بر شرایط ضعیف برای انتقال و حرکت آب باشد.

همچنین قابل ذکر است که گروه‌های کیفیت فیزیکی خاک محدود تا بهینه تعیین شده بر اساس شاخص‌های SOC، SI، BD، AC، RWC، PAWC و K_{sat} مطابق با نتایج حاصل از آزمایش‌های پایداری خاکدانه بودند و با MWD_{dLdB} ، MWD_{KRFW} و MWD_{LB1}

و با فاصله بیشتر از این خوشه، MWD_{dLdB} و MWD_{KRSW} بودند که حاکی از شباهت کمتر با شاخص‌های قبلی است.

(شکل ۳ قسمت الف)، MWD_{LB1} ، MWD_{LB2} و MWD_{LB3} نزدیک‌ترین شاخص‌ها به SOC بودند. شاخص‌های دورتر



شکل ۳- مدل فاصله اقلیدسی MWD و سایر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک برای خاک‌های منطقه مرطوب (الف) و خشک (ب) و کل خاک‌های مورد بررسی (ج)

Figure 3- Euclidian distance of MWD and soil physical quality indicators for moist region soils (a), arid (b) and total soils (c)

متوسط است. در هر دو مورد خاک‌های مناطق خشک و مرطوب هنگامی که روش dLdB به‌کار رفت کاهش در مقدار MWD بعد از الک تر کمتر از سایر روش‌ها بود که می‌تواند مربوط به محدوده اندازه خاکدانه‌های استفاده شده (۱۷)، همچنین به‌دلیل انرژی کم اثر قطره اعمال شده و مقدار رطوبت اولیه خاکدانه قبل از الک تر باشد (۶). در هر دو مورد خاک‌های خشک و مرطوب، مقادیر MWD_{KRFW} و MWD_{LB1} قابل مقایسه هستند. مقایسه پایداری خاکدانه‌های خاک‌های مختلف در صورت استفاده از هر یک از این دو روش امکان‌پذیر است. این نتیجه با نتایج ناصری و همکاران (۲۹) مطابقت دارد.

روهوسکووا و والا (۳۹) نشان دادند که LB1 و KRFW روش‌های قابل مقایسه‌ای بر حسب پایداری خاکدانه خاک‌های احیا شده می‌باشند. هر دو روش LB1 و KRFW از طریق مرطوب شدن سریع خاکدانه‌های هواخشک انجام می‌شوند. سیبولد و هرریک (۴۰) بیان کردند که کاربرد مرطوب شدن سریع شاخص بهتری برای تشخیص تغییرات در پایداری خاکدانه‌ها به‌عنوان نتیجه‌ای از نحوه مدیریت خاک می‌باشد (۳۸). از طرفی مرطوب شدن سریع، شبیه‌ترین حالت به آبیاری سنتی در مزارع می‌باشد.

در خاک‌های مناطق خشک روش LB3 کارایی خوبی نشان می‌دهد. این روش شامل استفاده از اتانول است که بر طبق اظهارات نیمو و پرکین (۳۲) از ساختار خاکدانه در شرایط خشک محافظت می‌کند (۳۲). اما شباهت یافت شده بین روش‌های LB1، LB3 مؤید این مطلب است که برای خاک‌های مناطق خشک چسبندگی مکانیکی مرطوب خاکدانه‌ها^۱ در حضور یا عدم حضور فرآیند تکان دادن، مشابه به نظر می‌رسند. با این وجود روش به‌کار رفته در KRFW نسبت به LB3 زمان کمتری نیاز دارد.

عدم شباهت بین شاخص پایداری خاکدانه روش‌های مختلف (MWD) و سایر شاخص‌های کیفی خاک، پیچیدگی ساختمان خاک را تشریح می‌کند که وابسته به مکان است (۲۷). به‌نظر می‌رسد که SOC می‌تواند به‌عنوان یک شاخص با همبستگی زیاد با شاخص پایداری خاکدانه روش‌های LB و KRFW حداقل در خاک‌های متوسط بافت مورد مطالعه می‌باشد. SOC و WSA به‌عنوان شاخص‌های دینامیک کیفیت خاک مطرح هستند که قادرند تحت عملیات مدیریتی مختلف تغییر کنند (۳۹). بنابراین برای ارزیابی اثر تغییرات مقدار SOC بر وضعیت ساختمان خاک، بررسی پایداری خاکدانه به روش‌های KRFW و LB1 می‌تواند مفید باشند. در هنگام استفاده از SOC به‌عنوان یک تخمین‌گر از پایداری خاکدانه

با توجه به خاک‌های مناطق خشک که در شکل ۳ قسمت ب نشان داده شده است MWD_{KRFW} ، MWD_{LB1} و MWD_{LB3} نزدیک‌ترین فاصله را به SOC، و S-Index داشتند. شاخص‌های دورتر از این خوشه، مربوط به روش‌هایی است که از پیش تیمار مرطوب شدن استفاده کردند (MWD_{LB2} ، MWD_{KRSW} و MWD_{dLdB}). شاخص‌هایی مثل SI، AC، RWC، BD و PAWC دورتر از MWD مربوط به روش‌های KRFW، KRSW و LB1 و LB3 قرار داشتند. K_{sat} یک موقعیت مجزا در این ماتریکس فاصله داشت که ممکن است مربوط به ضریب تغییرات بالای این ویژگی فیزیکی خاک باشد.

هنگامی که یک مقیاس‌بندی چندبعدی برای همه خاک‌های منطقه مرطوب و خشک به صورت یکجا ترسیم شد (شکل ۳ قسمت ج)، KRFW و LB1 شبیه‌ترین روش‌ها بودند. شرایط مجزای MWD_{KRSW} و MWD_{LB2} و شاخص‌هایی چون K_{sat} ، AC، S-Index، BD، RWC و PAWC نیز مشهود است. نزدیکترین شاخص کیفیت به MWD_{KRFW} و MWD_{LB1} SOC بود.

تفاوت‌های زیاد در تخمین پایداری خاکدانه بین KRSW و LB2 با سایر روش‌ها مؤید این مطلب است که پایداری خاکدانه با افزایش درجه مرطوب شدن خاک افزایش می‌یابد. این موضوع به کاهش حجم هوای محبوس شده مربوط است که منجر به کاهش نیروهای متراکم کننده بر خاکدانه‌ها در طول مرطوب شدن سریع می‌شود (۴۲). اما عدم شباهت بین روش‌های KRSW و LB2 بر حسب MWD حاکی از این است که نتایج حاصل از این دو روش هم برای خاک‌های خشک و هم مرطوب قابل مقایسه نمی‌باشند.

تفاوت در توزیع اندازه خاکدانه حاصل از هر سه تیمار روش LB در مناطق خشک نسبت به مناطق مرطوب بیشتر بود (شکل ۲). چنین تفاوت‌هایی در تیمارهای روش LB قبلاً توسط دی‌هانی (۹) و لئوری و همکاران (۲۶) برای خاک‌های مناطق گرم و خشک گزارش شده بود (۸ و ۲۵). همچنین روهوسکووا و والا (۳۹) گزارش کردند که سه تیمار روش LB امکان تمایز بین مکانیزم‌های خاص فروپاشی خاکدانه را فراهم می‌آورند که یک مزیت برای ارزیابی عوامل پیوندی است (۳۷). در اینجا فقط خاک‌های منطقه خشک بر اساس روش LB (تیمارهای LB1 و LB3 بر اساس MWD) ($P < 0.05$) قابل مقایسه هستند.

علاوه بر این، دویرن سایگین (۱۱) بیان کردند که روش dLdB در مقایسه با LB و KR کارایی بهتری برای ارزیابی خاک‌های درشت بافت دارند (۱۰). این موضوع در مورد خاک‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر صحت ندارد، زیرا روش dLdB در ماتریکس فاصله شکل ۳ قسمت ب، در مکانی مجزا و دور از سایر روش‌ها و شاخص‌های ارزیابی قرار دارد. همچنین بافت خاک‌های مورد مطالعه

باید احتیاط لازم به عمل آید زیرا اجزاء خاصی از SOC می‌تواند به‌عنوان عامل اصلی و مهم استحکام و پایداری خاک باشد (۳۳).

نتیجه‌گیری

در مورد خاک‌های مناطق خشک، کارایی روش‌های کمپر-رزنا با پیش تیمار مرطوب شدن سریع، لایبوسونایس با پیش تیمار مرطوب شدن سریع، و سپس شکستن مکانیکی خاکدانه‌ها به‌وسیله تکان دادن در اندازه‌گیری پایداری خاکدانه مشابه می‌باشند. در بین روش‌های مختلف آزموده شده تعیین کیفیت خاک بر حسب پایداری خاکدانه، فقط تک الک تر با روش KRFW و LB1 نتایج مشابهی برای هر دو خاک مناطق مرطوب و خشک ارائه می‌کنند. مقادیر MWD هر دو روش برای ارزیابی پایداری خاکدانه می‌توانند به‌عنوان یک شاخص قابل اعتماد از وضعیت ساختمان خاک برای مقایسه خاک‌های مختلف

منابع

باشد. از آنجا که فقط یک شاخص کیفیت خاک (SOC) روند مشابهی با شاخص پایداری حاصل از این دو روش داشت، می‌توان نتیجه گرفت که پایداری خاکدانه باید با قضاوت و تشخیص صحیح و به اتفاق سایر شاخص‌ها برای یک ارزیابی کلی از شرایط کیفیت فیزیکی خاک استفاده شود. برای خاک‌های متوسط بافت ارزیابی پایداری خاکدانه حاصل از روش‌های dLdB، LB2 و KRSW کارایی لازم جهت تشخیص تفاوت بین شرایط کیفی خاک‌های مختلف را ندارند. هنگامی که هدف از ارزیابی، مقایسه بین شرایط مختلف مثل خاک‌های مناطق خشک و مرطوب یا خاک‌های دو اقلیم متفاوت است، باید از روش‌های مبتنی بر پیش تیمار مرطوب شدن اجتناب کرد. در نهایت اگر یک روش بررسی سریع و ساده از وضعیت ساختمان خاک مورد نیاز باشد، تست‌های ساده مثل KRFW و LB1 می‌توانند مورد استفاده واقع شوند.

- 1- Amezketta E. 1999. Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture* 14: 83–151.
- 2- An S., Mentler A., Mayer H., and Blum W. 2010. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. *Catena* 81: 226–233.
- 3- Arshad M.A., and Coen G.M. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7: 25–32.
- 4- Bartlova J., Badalikova B., and Pospisilova L. 2015. Water stability of soil aggregates in different systems of tillage. *Soil and Water Research* 10: 147–154.
- 5- Beare M.H., and Bruce R.R. 1993. A comparison of methods for measuring water-stable aggregates: implications for determining environmental effects on soil structure. *Geoderma* 56: 87–104.
- 6- Bruce-Okine E., and Lal R. 1975. Soil erodibility as determined by the raindrop technique. *Soil Science* 119: 149–157.
- 7- Cerdà A. 2000. Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. *Soil and Tillage Research* 57: 159–166.
- 8- Cornelis W.M., Khlosi M., Hartmann R., Van Meirvenne M., and De Vos B. 2005. Comparison of unimodal analytical expressions for the soil–water retention curve. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1902–1911.
- 9- D'Haene K., Vermang J., Cornelis W.M., Leroy B.L.M., Schiettecatte W., De Neve S., Gabriels D., and Hofman G. 2008. Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil and Tillage Research* 99: 279–290.
- 10- de Leenheer L., and de Boodt M. 1959. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *Mededelingen van landbouwhoghe school en de opzoekings stations van de staat te Gent* 24: 290–300.
- 11- Deviren Saygin S., Cornelis W.M., Erpul G., and Gabriels D. 2012. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. *Applied Soil Ecology* 54: 1–6.
- 12- Dexter A.R. 2004a. Soil physical quality: part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120: 201–214.
- 13- Dexter A.R. 2004b. Soil physical quality: part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma* 120: 215–225.
- 14- Dexter A.R. 2004c. Soil physical quality: part III: unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma* 120: 227–239.
- 15- Diaz-Zorita M., Perfect E., and Grove J.H. 2002. Disruptive methods for assessing soil structure. *Soil and Tillage Research* 64: 3–22.
- 16- Emerson W.W. 1967. A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Australian Journal of Soil Research* 5: 47–57.
- 17- Gee G.W., and Or D. 2002. Particle-size analysis. In: Dane, J.H., Hopmans, J.W. (Eds.) *Methods of Soil Analysis Part 4 Physical Methods*. SSSA Book Series 5'. Soil Science Society of America, Madison.
- 18- Gijsman A.J. 1996. Soil aggregate stability and soil organic matter fractions under agropastoral systems established in native savanna. *Australian Journal of Soil Research* 34: 891–907.
- 19- Greenland D.J. 1981. Soil management and soil degradation. *Journal of Soil Science* 32: 301–322.

- 20- Henin S., Monnier G., and Combeau A. 1958. Methode pour l'étude de la stabilite structural des sols. *Ann. Agron.*, 9: 73–92.
- 21- Hofman G. 1973. Kritische Studie van de Instabiliteit van Bodemaggregaten en de Invloed op Fysische Bodemparameters. Dissertation. Faculty of Agricultural Sciences, University of Ghent, Belgium.
- 22- Horn R., Taubner H., Wuttke M., and Baumgartl T. 1994. Soil physical properties related to soil structure. *Soil and Tillage Research* 30: 187–216.
- 23- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution, In: Klute, A. (Ed), *Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph N° 9 (2nd Edition), American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI.
- 24- Lal R., and Shukla M.K. 2004. *Principles of Soil Physics*. Marcel Dekker, New York. ISBN 0-8247-5324-0.
- 25- Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47: 425–437.
- 26- Leroy B.L.M., Herath H.M.S.K., De Neve S., Gabriels D., Bommele L., Reheul D., and Moens M. 2008. The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture.
- 27- Mueller L., Shepherd G., Schindler U., Ball B.C., Munkholm L.J., Hennings V., Smolentseva E., Rukhovic O., Lukin S., and Hu C. 2013. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. *Soil and Tillage Research* 127: 74–84.
- 28- Mueller L., Kay B.D., Hu C., Li Y., Schindler U., Behrendt A., Shepherd T.G., and Ball B.C. 2009. Visual assessment of soil structure: evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany part I: comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. *Soil and Tillage Research* 103: 178–187.
- 29- Naseri M., Alimohammadi S., and Jafari A.A.N. 2007. Soil compaction due to sugarcane mechanical harvesting and the effects of physical soil of improvement the on subsoiling. *Journal of Applied Sciences* 7: 3638–3639.
- 30- Nelissen V., Ruyschaert G., Abusi D.M., D'Hose T., De Beuf K., Al-Barri B., Cornelis W., and Boeckx P. 2015. Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment. *Eur J Agron.*, 62: 65–78.
- 31- Niewczas J., and Witkowska-Walczak B. 2003. Index of aggregates stability as linear function value of transition value of transition matrix elements. *Soil and Tillage Research* 70: 121–130.
- 32- Nimmo J.R., and Perkins K.S. 2002. Aggregate stability and size distribution. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 4 Physical Methods*. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America 317–328.
- 33- Pierce F.J., Larson W.E., Dowdy R.H., and Graham W.A.P. 1983. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion. *Journal of Soil Water Conservation* 38: 39–44.
- 34- Pieri C.J.M.G. 1992. *Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- 35- Pulido Moncada M., Lobo L.D., and Lozano P.Z. 2009. Association between soil structure stability indicators and organic matter in Venezuelan agricultural soils. *Agrociencia* 43: 221–230.
- 36- Rawlins B.G., Wragg J., and Lark R.M. 2013. Application of a novel method for soil aggregate stability measurement by laser granulometry with sonication. *European Journal of Soil Science* 64: 92–103.
- 37- Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A., and Yang X.M. 2009. Use of indicators of pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma* 152: 252–263.
- 38- Reynolds W.D., Drury C.F., Yang X.M., Fox C.A., Tan C.S., and Zhang T.Q. 2007. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. *Soil and Tillage Research* 96: 316–330.
- 39- Rohoskova M., and Valla M. 2004. Comparison of two methods for aggregate stability measurement – areview. *Plant Soil and Environment* 50: 379–382.
- 40- Seybold C.A., and Herrick J.E. 2001. Aggregate stability kit for soil quality assessments. *Catena* 44: 37–45.
- 41- Shukla M.K., Lal R., and Ebinger M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research* 87: 194–204.
- 42- Soil Survey Staff. 2014. *Soil survey laboratory methods manual*. Soil survey investigations report No. 42, Version 5. USDA, NRCS, National Soil Survey Center.
- 43- van Genuchten M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44: 892–898.
- 44- Vermang J., Cornelis W.M., Demeyer V., and Gabriels D. 2009. Aggregate stability and erosion response to antecedent water content of a loess soil. *Soil Science Society of America Journal* 73: 718–726.
- 45- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science* 6: 251–263.
- 46- Yoder R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of the American Society of Agronomy* 28: 337–351.



Comparing Aggregate Stability Tests as One of the Soil Physical Quality Indicators

S. Saadat¹ - L. Esmaeelnejad^{2*} - H. Rezaei³ - R. Mirkhani⁴ - J. Seyedmohammadi⁵

Received: 29-07-2018

Accepted: 01-06-2019

Introduction: Soil aggregates refers to groups of soil particles which attach to each other stronger than neighbour particles. Aggregate stability shows the capability and strength of soil aggregates to tolerate breakup when disruptive stresses and destructive forces via mechanical agricultural operation such as tillage and water or wind erosion are applied. Wet aggregate stability shows how well a soil can withstand raindrop impact and water erosion, while size distribution of dry aggregates can be used to predict resistance to abrasion and wind erosion. Aggregate stability changes can act as the first indicators of recovery or degradation of soils. Aggregate stability is an indicator of organic matter content, biological activity, and nutrient cycling in soil. Generally, in small aggregates (< 0.25 mm), the particles are bound by older and more stable forms of organic matter. Microbial decomposition of fresh organic matter releases products (that are less stable) that bind small aggregates into large aggregates ($> 2-5$ mm). Although, there is not a unique acceptable methodology that serves and applies the entire world up to now, aggregate stability has been introduced as a soil physical quality indicator. Difficulties remain when comparison of aggregate stability from different methodologies are done. The objective of the present study was to assess appropriate and satisfactory aggregate stability tests that enable to distinguish the soil physical quality condition of both arid and moist medium textured soils.

Materials and Methods: A total of 120 soil samples which contained 60 wetland samples from Guilan province with a very humid climate, average annual rainfall of 1285 mm, and average annual temperature of 16°C, and 60 samples from Fars province with dry climate, average rainfall of 225 mm, and the average annual temperature of 27°C were provided. Soil sampling was performed from surface layer (0-20 cm). Each 10 soil samples with similar texture were mixed and one soil sample for each texture was finally obtained. After air drying and sieving, soil texture and organic carbon were determined by pipette and oxidation methods, respectively. Also, undisturbed samples were taken using metal cylinders from surface layer of 5-15 cm for determination of soil saturation coefficient, soil moisture curve, and soil bulk density. Also, in order to determine the aggregate stability, Kemper and Rosenau, de Leenheer and de Boodt, as well as Le Bissonnais were used.

Results and Discussion: Among different tested methods, wet sieving using the well known fast wetting methods of Kemper & Rosenau and of Le Bissonnais presented similar results in both climates. The mean weight diameter value of both methods for assessing aggregate stability can be considered as a dependable indicator of soil structure status for comparing soils. These aggregate stability tests were in correspondence with only one out of the eight soil physical quality indicators when the entire soils were used. It was concluded that the aggregate stability should be used judiciously and in accordance with other indicators for an overall assessing of the soil physical quality condition. The great differences in the estimation of aggregate stability between KRSW and LB2 with other methods confirm that aggregate stability increases with increasing soil moisture content. This involves reducing the amount of air condensed, which results in the reduction of compressive forces on the aggregates during rapid wetting. But the lack of similarity between the KRSW and LB2 methods in terms of MWD suggests that the results of these two methods are not comparable to dry and wet soils. The difference in aggregate size distribution from all three treatments of LB method was higher in dry areas than wet areas. Only dry soils based on LB (LB1 and LB3 treatments based on MWD) ($P < 0.05$) are comparable. In dry soils, the LB3 method is very efficient. This method involves the use of ethanol that protects the aggregate structure against dryness stresses. The lack of similarity between the MWD and other soil quality indicators describes the complexity of the soil structure, which is dependent on the location. It seems that SOC can be considered as an indicator with high correlation with the aggregate sustainability index of LB and KRSW methods, at least in the studied medium-textured soils.

1, 3 and 4- Members of Scientific Board, Soil Reclamation and Sustainable Land Management Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)

2 and 5- Researchers of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)

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

Conclusion: Since only a soil quality index (SOC) had a similar trend to the sustainability index derived from these two methods (LB1 and KRFW), it can be concluded that aggregate stability should be judged and recognized correctly, along with other used soil physical indicators for a general assessment of the conditions. In case of arid land soils, efficiency of pre-wetted methods of Kemper and Rosenau and of Le Bissonnais as well as pre-wetted Le Bissonnais with mechanical slaking and shaking were similar. If a simple and rapid analysis of the structure status is needed, single tests such as fast wetted Kemper and Rosenau and Le Bissonnais can be used.

Keywords: Aggregate stability, De Leenheer and de Boodt, Kemper and Rosenau, Le Bissonnais, Soil physical quality indicators

کاربرد تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی تغییرات ویژگی‌های خاک ناشی از آبیاری با پساب در اراضی حاشیه رودخانه کشف‌رود

سامان حاجی نمکی^۱ - حجت امامی^{۲*} - امیر فتوت^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰

چکیده

با توجه به بحران کمبود منابع آب و لزوم بهره‌برداری از منابع آب نامتعارف، بهره‌گیری مطلوب و بهینه از پساب فاضلاب شهری یکی از مباحث مهم پژوهش‌ها می‌باشد. در اراضی حاشیه رودخانه کشف‌رود مشهد از پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد به عنوان منبع جایگزین آب آبیاری استفاده می‌شود. در این مطالعه برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در دو گروه خاک‌های آبیاری شده با پساب به مدت ۱۰ سال و آب چاه مورد بررسی قرار گرفتند. اراضی به شکلی انتخاب شدند که همگی بافت یکسان (لومی) داشتند. کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه با پارامترهای جرم مخصوص ظاهری (BD)، درصد رس، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، شاخص پایداری ساختمان خاک (SI)، pH، نسبت جذب سدیم (SAR)، نیتروژن کل، پتاسیم، فسفر، کربن آلی، زیست توده (MBC) و تنفس میکروبی (BR) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد آبیاری با پساب سبب افزایش معنی‌دار پارامترهای SI، SAR، فسفر قابل دسترس، MBC، BR و کربن آلی نسبت به خاک‌های شاهد شد و پارامترهای BD و درصد رس در خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه کاهش معنی‌داری داشتند. همچنین در مورد pH، MWD، نیتروژن کل و پتاسیم تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد. همچنین نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی نشان داد کربن آلی، نسبت جذب سدیم، نیتروژن، pH، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، تنفس میکروبی و پتاسیم قابل دسترس بیشترین تغییرات را در اثر آبیاری با پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد در زمین‌های حاشیه رودخانه کشف رود نشان دادند؛ به طوری که بر اساس تغییر این ویژگی‌ها، خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه را در دو گروه مجزا قرار گرفتند که نشان می‌دهد آبیاری با پساب بر خاک‌های مورد مطالعه تأثیر قابل توجهی داشته است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، پرکندآباد، پساب تصفیه شده، کیفیت خاک

مقدمه

آشامیدنی می‌باشد (۲۲). استفاده از پساب خانگی در بخش کشاورزی نه تنها منابع آب شیرین را کاهش نمی‌دهد بلکه عناصر غذایی موجود در فاضلاب موجب افزایش سریع رشد محصولات کشاورزی می‌شوند و از طرفی در کاهش مصرف کودهای شیمیایی نقش دارند (۳۰). اثرات آبیاری با پساب بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است که بسیاری از این مطالعات بر اساس استفاده مستقیم از فاضلاب تصفیه نشده در آبیاری اراضی کشاورزی می‌باشد. در واقع مقدار زیادی از پساب که در بخش کشاورزی استفاده می‌شود به صورت غیرمستقیم وارد رودخانه‌ها، و از آنجا در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. آبیاری با پساب ممکن است تأثیراتی بر پارامترهای خاک از قبیل pH، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، قدرت بافاری، آلانده‌های سمی و عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و همچنین گیاه داشته باشد (۲). سپاسخواه و سکوت (۳۴) گزارش کردند در اثر کاربرد پساب جرم مخصوص

کمبود منابع آب یکی از مسائل مهم در بخش کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جمله ایران است. عواملی مانند بهره‌برداری بیش از حد آب زیرزمینی در کشاورزی، صنعت و مصارف خانگی منجر به تشدید کمبود آب می‌شوند. بنابراین، چالش پیش‌روی بخش کشاورزی در این مناطق پیدا کردن منابع جدید آب برای آبیاری است. یکی از راه‌هایی که در سال‌های اخیر بیشتر رایج شده، استفاده مجدد از فاضلاب به عنوان منبع ثانویه و جایگزین آب

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*) نویسنده مسئول
(Email: hemami@um.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v33i2.74937

ظاهری خاک کاهش و پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری آب در خاک افزایش یافت. روحانی مهدوی و همکاران (۳۲) نیز گزارش کردند آبیاری با پساب سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود. همچنین آبیاری طولانی مدت با پساب اثرات منفی بر ویژگی‌های خاک دارد. شور شدن، تخریب ساختمان خاک و تجمع فلزات سنگین نمونه بارز تأثیرات نامطلوب استفاده از پساب می‌باشند (۲۷). راسان و همکاران (۳۱) گزارش کردند آبیاری با پساب سبب افزایش مقدار سدیم محلول خاک می‌شود که به نوبه خود سبب کاهش پایداری خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی می‌شود. افزایش سدیم اثرات نامطلوبی بر ویژگی‌های خاک دارد ولی در خاک‌های غنی از کلسیم و منیزیم این نقش مخرب کمتر است (۱۶). شیپر و همکاران (۳۳) گزارش کردند آبیاری با پساب به مدت سه سال بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی اثر معنی‌داری نداشت؛ در حالی که چن و همکاران (۵) افزایش فعالیت آنزیمی را پس از ده سال آبیاری با پساب گزارش کردند. با توجه به اینکه کیفیت پساب تصفیه شده در تصفیه خانه‌های مختلف متفاوت است و کاربرد پساب‌های مختلف تصفیه شده بر ویژگی‌های خاک نیز متفاوت است و تاکنون در مورد امکان استفاده از پساب تصفیه خانه پرکندآباد بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک پژوهشی صورت نگرفته است. از سوی دیگر تکیه کردن به تجارب سایر کشورها (بدون توجه به شرایط بومی هر منطقه) ممکن است باعث تخریب خاک و کاهش عملکرد محصولات کشاورزی شود. بنابراین هدف از انجام این مطالعه: ۱- بررسی امکان استفاده از پساب به عنوان جایگزینی در آبیاری اراضی کشاورزی در منطقه پرکندآباد، ۲- ارزیابی شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی کیفیت خاک و ۳- انتخاب حداقل ویژگی‌های مؤثر (MDS)^۱ بر کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه پس از ۱۰ سال آبیاری با پساب تصفیه شده بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر آبیاری با پساب بر ویژگی‌های خاک در اردیبهشت ۱۳۹۴ از چندین نقطه اراضی حاشیه رودخانه کشف‌رود واقع در شمال شهر مشهد و بین ۵۹°۳۶' تا ۵۹°۴۱' طول شرقی و ۳۶°۱۹' تا ۳۶°۲۲' عرض شمالی قرار داشتند و با پساب تصفیه خانه پرکندآباد به مدت ۱۰ سال آبیاری می‌شدند، نمونه‌برداری صورت گرفت. این منطقه دارای متوسط بارندگی سالیانه ۲۰۹ میلی‌متر (کمتر از میانگین بارش سالیانه کشور، ۲۵۰ میلی‌متر)، درجه حرارت سالیانه ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد و میزان تبخیر سالانه ۲۲۲۵ میلی‌متر است.

نمونه‌ها به صورت مرکب و از هر نقطه سه تکرار با فاصله یک کیلومتر از یکدیگر و از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشته شد. به طور کلی ۱۵ نقطه که به مدت ۱۰ سال با پساب آبیاری شده بودند انتخاب شد، علاوه بر این از نقاط مجاور آن‌ها که با آب چاه آبیاری شده بودند، به عنوان خاک شاهد نمونه‌برداری انجام گرفت. اراضی طوری انتخاب شدند که همگی دارای بافت یکسان و لومی بودند. تمامی نقاط تحت کشت رایج منطقه و الگوی کشت تناوب گندم و صیفی‌جات بودند. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه انتقال داده شدند و جهت آنالیزهای شیمیایی قسمتی از خاک هوا خشک و از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. همچنین برای اندازه‌گیری تنفس و زیست توده میکروبی مقداری خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

pH خاک با دستگاه pH متر در گل اشباع، بافت خاک به روش پیپت، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پوشش دادن با پارافین، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (رابطه ۱) به روش کمپر و روزنا (۱۵)، نسبت جذب سدیم به روش پاگ و همکاران و شاخص پایداری ساختمان خاک (SI) که خطر تخریب ساختمان خاک در اثر کشت و کار را نشان می‌دهد بر اساس رابطه ۲ تعیین شد (۲۵).

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_i \bar{x}_i} \quad (1)$$

$$SI = \frac{1.724 OC}{(Silt + Clay)} \times 100 \quad 0 \leq SI \leq \infty \quad (2)$$

در این روابط، w_i نسبت وزنی خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک (mm)، $\bar{x}_i$ میانگین قطر دو الک متوالی (mm)، OC درصد کربن آلی خاک و (Silt+ Clay) مجموع درصد رس و سیلت در خاک است. کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک، فسفر قابل دسترس به روش استخراج با بیکرنات سدیم (۲۴)، پتاسیم قابل دسترس به روش استخراج با استات آمونیوم، نیتروژن کل به روش کج‌لدال، اندازه‌گیری زیست‌توده میکروبی به روش تدخین-استخراج (۳۶) و تنفس میکروبی پایه به روش ایزرمایر (۱۳) انجام شد.

برای آنالیز داده‌های به‌دست آمده از خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه ابتدا از آزمون‌های شاپیرو-ویلک^۲ و کولموگوروف اسمیرونوف^۳ برای نرمال بودن داده‌ها استفاده شد و داده‌هایی که توزیع نرمال نداشتند با روش باکس-کاکس نرمال شدند و از مقایسه میانگین به روش توکی در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد.

انتخاب ویژگی‌هایی از خاک که به بهترین شکل نشان‌دهنده وضعیت کیفیت خاک هستند، اهمیتی کلیدی در ارزیابی کیفیت خاک

2- Shapiro-Wilk

3- Kolmogorov-Smirnov

1- Minimum data set

نتایج و بحث

در جدول ۱ ویژگی‌های آب چاه و پساب ارائه شده است، که بر اساس آن تنها EC دو نوع آب مورد استفاده تفاوت معنی‌داری داشت و مقدار pH در دو نوع آب آبیاری مورد استفاده بین ۶/۴۱ تا ۷/۱۸ بود (جدول ۱). همچنین غلظت عناصر سنگین قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبود.

تمامی خاک‌های مورد مطالعه دارای بافت یکسان (لوم) بودند، نتایج نشان داد آبیاری با پساب سبب افزایش زیست‌توده و تنفس میکروبی، کربن آلی، نسبت جذب سدیم، فسفر و شاخص پایداری ساختمان خاک شده است (شکل ۱)، که با نتایج برخی از پژوهشگران هم‌خوانی دارد. به عنوان مثال، آدروور و همکاران (۱) دریافتند آبیاری با پساب طی دوره‌های ۱۵، ۲۰ و ۸۰ ساله باعث افزایش در مقدار ماده آلی خاک می‌شود. همچنین آلوآرز-برنال و همکاران (۲) گزارش کردند آبیاری با پساب به مدت ۲۵ سال افزایش معنی‌داری در مقدار ماده آلی خاک سطحی داشته است. دمارالگوسیل و همکاران (۷) گزارش کردند آبیاری با پساب سبب افزایش در مقدار فسفر و ماده آلی خاک شد که در نهایت منجر به افزایش زیست‌توده میکروبی شد.

چن و همکاران (۵) گزارش کردند آبیاری با پساب بر فعالیت و زیست توده میکروبی اثرات مثبتی دارد که به علت تجزیه راحت مواد آلی و عناصر غذایی می‌باشد. فرینک و همکاران (۱۰) گزارش کردند زیست‌توده میکروبی خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به شاهد افزایش داشت. شاخص پایداری پارامتری است که از نسبت ماده آلی به مجموع درصد رس و سیلت بدست می‌آید و چون با کربن آلی رابطه مستقیم دارد افزایش در ماده آلی سبب افزایش در مقدار SI هم می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که درصد رس خاک‌های شاهد بیشتر از خاک‌های آبیاری شده با پساب (احتمالاً به دلیل آبشویی و نفوذ عمقی از لایه سطحی به زیرین) بود، که از نظر آماری معنی‌دار شده است، این افزایش در مخرج کسر سبب کاهش در مقدار شاخص پایداری در خاک‌های شاهد شده است (شکل ۱). همچنین کاهش در مقدار جرم مخصوص ظاهری مشاهده شد (شکل ۱)؛ که با نتایج مهیدا (۱۹) در مورد تخلخل و اسفنجی شدن خاک‌های آبیاری شده با پساب هم‌خوانی دارد. تغییرات جرم مخصوص ظاهری در اثر آبیاری با پساب به کیفیت پساب بستگی دارد. وگلر (۳۷) نشان داد که کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر افزایش ماده آلی موجود در پساب می‌باشد. پارامترهای پتاسیم قابل دسترس، نیتروژن، pH و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به شاهد افزایش نشان دادند، اما از نظر آماری معنی‌دار نبودند (شکل ۱). تغییرات pH خاک به علت خاصیت بافری بالای خاک به ویژه در خاک‌های آهکی به آسانی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

دارد. ویژگی‌های انتخاب‌شده باید محدوده‌ی گسترده‌ای از مشخصات خاک را پوشش دهند و با این حال هر یک به‌طور مستقیم بر کیفیت خاک اثر داشته باشد (۲۶). در اغلب موارد، تعداد زیادی از متغیرها با یکدیگر همبستگی دارند. در چنین شرایطی به دلیل وجود افزایش اثر چند هم خطی^۱ کاربرد این متغیرها به عنوان ورودی روابط رگرسیونی چندمتغیره موجب ایجاد خطاهایی در تفسیر نتایج می‌شود. بنابراین نتایج حاصل از برآورد ضرایب و تفسیر حاصل از این روابط چندان کاربردی نمی‌باشد (۲۳). روش‌های آنالیز چند متغیره مثل آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) با حذف اثر هم‌خطی، چارچوبی منطقی را برای مطالعه اثر متغیرهای مؤثر با همبستگی متقابل فراهم می‌آورد. هدف اصلی این آنالیز فشرده‌سازی اطلاعات موجود در متغیرهای اصلی است (۲۱). این روش توصیف ساختار واریانس یا کوواریانس مجموعه‌ای از پارامترهای مختلف را از طریق روابط خطی متغیرهای اولیه میسر می‌سازد. آنالیز مؤلفه‌های اصلی تعداد متغیرها را به متغیرهای جدید غیرهمبسته به عنوان مؤلفه‌های اصلی دربرگیرنده واریانس کل مجموعه داده‌ها کاهش می‌دهد (۱۴). در این پژوهش ۱۲ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک که در منابع مختلف به عنوان ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک معرفی شده‌اند به عنوان مجموعه کل ویژگی‌ها (TDS) در نظر گرفته شدند. برای انتخاب MDS، از روش PCA استفاده شد (۹). روش PCA برای کاهش حجم داده‌ها، به صورت انتخاب ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک منطقه دارند، به صورت زیرمجموعه‌ای از کل ویژگی‌های مورد بررسی خاک استفاده شد (۲۶).

طبق روش لیو و چن (۱۸) برای انتخاب MDS، مؤلفه‌های اصلی (PC) با ارزش ویژه^۲ بزرگتر از یک با استفاده از روش PCA به عنوان MDS انتخاب شدند. در هر مؤلفه پارامترهایی با ضریب ویژه بیشتر از ۰/۴ انتخاب می‌شوند و اگر در مؤلفه‌ای ضریب ویژه بالاتر از ۰/۴ نبود، بیشترین ضریب ویژه در آن مؤلفه و همچنین ۱۰ درصد تغییرات بیشترین ضریب ویژه انتخاب می‌شوند و در نهایت همبستگی بین پارامترها بررسی می‌شود، و پارامترهایی که همبستگی بالای ۰/۶ با پارامتری که بیشترین ضریب ویژه را دارند حذف می‌شوند و اگر همبستگی کمتر از ۰/۶ باشد به عنوان مهم‌ترین پارامترها انتخاب می‌شوند (۱۸). علاوه بر این آزمون کرویت بارلت برای بررسی همبستگی بین متغیرها انجام شد. تمامی آنالیزها با استفاده از نرم‌افزار SPSS Statistics 22 انجام گرفت.

1- Multi-linearity
2- Eigen value

جدول ۱- آنالیز آماری ویژگی‌های شیمیایی پساب و آب چاه

Table 1- Statistical analysis of chemical properties of wastewater and well

ویژگی‌ها Properties	تیمار Treatm ent	تعداد Number	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	انحراف معیار SD	معنی‌داری Sig
هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	S	15	1.58	1.79	1.66	0.067	***
	C	15	0.59	1.31	0.82	0.018	-
نسبت جذب سدیم SAR	S	15	4.11	14.03	8.52	3.49	-
	C	15	1.82	7.32	4.53	1.85	-
پ هاش pH	S	15	6.41	7.16	6.8	0.07	-
	C	15	6.61	7.18	6.87	0.07	-
آهن Fe	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-
روی Zn	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-
مس Cu	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-
کادمیوم Cd	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-
نیکل Ni	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-
سرب Pb	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-

***: معنی‌داری در سطح ۱٪؛ nd: غیرقابل تشخیص؛ S: پساب؛ C: آب چاه (S: Wastewater; C: Well); nd: Not detected; Significant P < 0.01; ***).

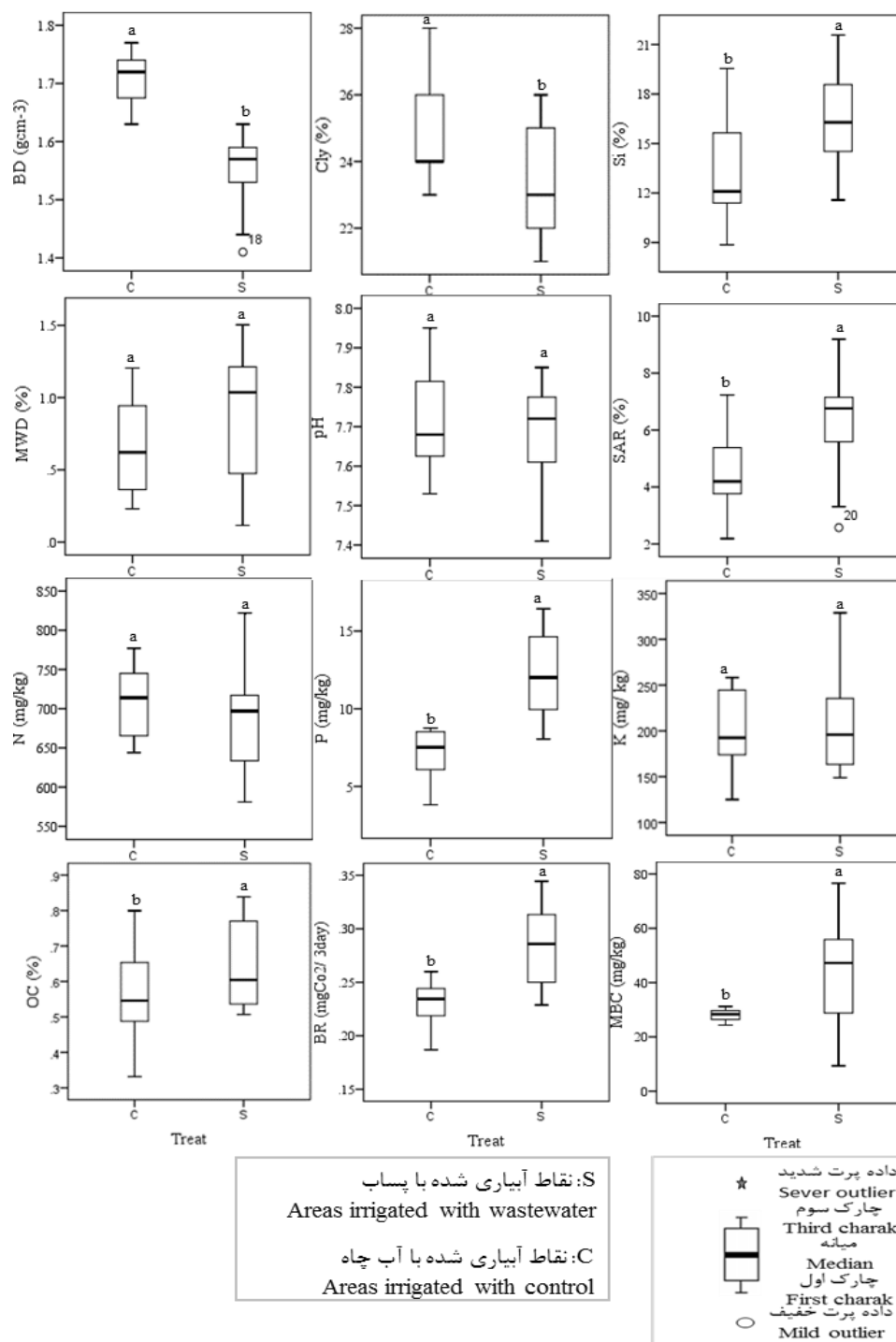
نقش مهمی دارد، و تحت تأثیر ماده آلی و غلظت املاح (سدیم) است (۳۷).

با توجه به اینکه بسیاری از ویژگی‌های خاک مورد بررسی در این پژوهش در اثر آبیاری با پساب تغییر یافتند و اندازه‌گیری و بررسی تمام این ویژگی‌ها از یک سو وقت‌گیر و هزینه‌بر و از سوی دیگر بررسی تمامی آنها ضروری نیست، بنابراین با استفاده از روش‌هایی مانند PCA برای کاهش تعداد داده‌ها استفاده می‌شود (۲۶، ۱۱ و ۲۸) با استفاده از PCA پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی در مؤلفه‌های اصلی مختلفی قرار گرفتند. مؤلفه‌هایی با مقدار ویژه کمتر از یک بیانگر توصیف بخش کمتری از واریانس توسط آن مؤلفه نسبت به هر یک از متغیرهای مورد مطالعه است، بنابراین مؤلفه‌های اصلی با مقادیر ویژه بزرگتر از یک برای تفسیر انتخاب شدند پنج مؤلفه اصلی (PC) به دست آمد که PC1 و PC2 با ارزش ویژه ۵۰/۶

روسان و همکاران (۳۱) گزارش کردند آبیاری با پساب نسبت به خاک شاهد سبب افزایش معنی‌دار در مقدار فسفر و پتاسیم خاک شده است. هاینز و همکاران (۱۲) گزارش کردند آبیاری با پساب بر مقدار نیتروژن خاک اثری نداشته است. افزایش سدیم در اثر آبیاری با پساب سبب افزایش معنی‌دار نسبت جذب سدیم در خاک‌های آبیاری شده با پساب شده است. اگرچه مقدار زیاد سدیم محلول در خاک سبب پراکنش ذرات رس و تخریب ساختمان خاک می‌شود که بر خصوصیات فیزیکی خاک از جمله نفوذ و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اثر می‌گذارد (۳). همچنین افزایش نسبت جذب سدیم در انواع خاک‌ها باعث پراکندگی و تخریب می‌شود که بسته به نوع خاک فرق می‌کند (۳۵)، اما به نظر می‌رسد افزایش مقدار ماده آلی همزمان با افزایش معنی‌دار نسبت جذب سدیم مانع از تخریب خاکدانه‌ها شده در نتیجه تغییر معنی‌داری در میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مشاهده نشد. پایداری خاکدانه‌ها عامل مهمی است که در نفوذ آب به خاک

همان‌طور که مشاهده می‌شود PC1 با ۳۰ درصد واریانس داده‌ها دارای دامنه اطلاعات وسیع‌تری نسبت به سایر مؤلفه‌ها می‌باشد (جدول ۲).

درصد به عنوان مهم‌ترین مؤلفه‌های اصلی بودند. مؤلفه اصلی اول با بیشترین مقدار ویژه (۷/۵۶) جدول ۲ دربرگیرنده تعداد پارامترهای بیشتر با ضرایب ویژه بزرگتر نسبت به سایر مؤلفه‌ها می‌باشد.



شکل ۱- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه (معنی‌دار بودن در سطح ۵٪)

Figure 1- Mean comparison of physicochemical properties of soil irrigated with Wastewater and control (Significant at 5% probability level)

بالا تر و پارامترهایی با ۱۰ درصد تغییرات بیشترین ضریب ویژه انتخاب شدند (۱۸)، و همبستگی بین پارامترها با پنج مؤلفه اصلی مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهایی که همبستگی بالایی با یکدیگر داشتند حذف شدند و تنها یکی از آنها انتخاب شد. بنابراین پارامترهای کربن آلی، نسبت جذب سدیم، نیتروژن، pH، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، تنفس میکروبی و پتاسیم قابل دسترس مهم‌ترین پارامترهایی بودند که در نتیجه آبیاری با پساب تغییر یافته‌اند (جدول ۲).

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مؤلفه‌های پایین‌تر در توضیح میزان تغییرات نقش کمتری دارند (۵). نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی نشان داد که پنج مؤلفه اصلی با مقدار ویژه بزرگتر از یک در برگیرنده ۸۶/۱ درصد تغییرات داده‌های اندازه‌گیری شده بودند (جدول ۲)، و طبق نظر منلی (۲۱) می‌توان گفت پنج مؤلفه اول در این آنالیز دارای بیشترین حجم اطلاعات مجموعه‌ی متغیرهای مورد مطالعه هستند. جهت انتخاب MDS از روش PCA استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲ گزارش شده است. در هر مؤلفه پارامتر با ضریب ویژه

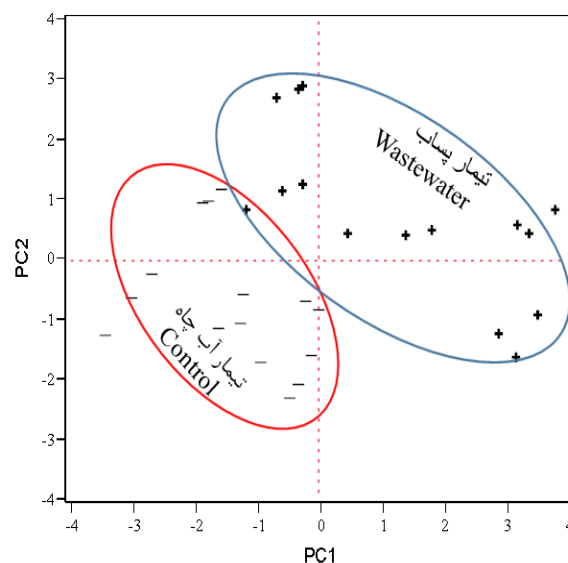
جدول ۲- انتخاب مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر خاک‌های مورد مطالعه

Table 2- Select the most important parameters in the studied soils

متغیرها Variables	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
مقدار ویژه Eigenvalue	4.07	2.01	1.64	1.43	1.17
سهم واریانس Variance (%)	33.9	16.7	13.7	11.9	9.7
واریانس تجمعی Cumulative variance (%)	33.9	50.6	64.5	76.4	86.1
مقدار ویژه متغیرها Eigen value variables					
پ هاش pH	0.029	0.070	0.651	0.197	0.072
زیست توده میکروبی MBC (mg/kg)	0.381	-0.148	0.362	0.012	- 0.187
تنفس میکروبی BR (mgCO ₂ /3 day)	0.377	0.021	0.252	- 0.064	- 0.404
جرم مخصوص ظاهری BD (g/cm ³)	-0.377	-0.177	0.028	0.496	0.175
رس Clay	-0.298	-0.242	0.072	- 0.261	- 0.303
نسبت جذب سدیم SAR	0.103	0.554	0.264	0.169	0.020
شاخص پایداری SI (%)	0.409	-0.043	- 0.212	0.294	0.153
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD (%)	0.012	0.337	- 0.353	0.434	- 0.273
کربن آلی OC (%)	0.420	-0.159	- 0.146	0.222	0.257
فسفر P (mg/kg)	0.289	0.206	- 0.328	- 0.359	- 0.209
پتاسیم K (mg/kg)	0.093	0.219	0.062	- 0.397	0.677
نیتروژن TN (%)	0.244	-0.588	- 0.032	0.030	0.074

در هر مؤلفه اعدادی که زیر آن‌ها خط کشیده و پررنگ هستند به عنوان MDS انتخاب شدند

In each PC, underline and highlighted values were selected as MDS.



شکل ۲- قرارگیری پارامترهای خاک در دو گروه خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی
 ++: نقاط آبیاری شده با پساب؛ -: نقاط آبیاری شده با آب چاه

Figure 2- The soil parameters in both soils irrigated with wastewater and control with using principal component analysis
 ++: Soil samples irrigated with wastewater; -: Soil samples irrigated with cotrol

و فسفر قابل دسترس همبستگی منفی داشت. نیتروژن با کربن آلی، زیست توده و تنفس میکروبی همبستگی بالا و معنی‌دار داشت (۲۰)، که این افزایش به علت منبع نیتروژن و عناصر غذایی (پساب) می‌باشد و باعث بهبود این شرایط شده است. این در حالی است که در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه همبستگی منفی با تنفس میکروبی داشت که به علت نبود منبع تغذیه (آب چاه) و مصرف نیتروژن توسط ریزجاندان خاک است (۱)، از طرفی نیتروژن در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه با شاخص پایداری ساختمان خاک و کربن آلی همبستگی مثبت داشت. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به عنوان پارامتری بود که در هر دو گروه خاک‌ها به طور کلی با هیچ پارامتری همبستگی نداشت، که نشان می‌دهد تحت تأثیر آبیاری با پساب نبوده و در شکل ۱ هم نشان داده شده است که آبیاری با پساب بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اثر نداشته است. مشابه با پژوهش دای‌بن و همکاران (۸) pH در خاک‌های آبیاری شده با پساب فقط با زیست توده میکروبی و کربن آلی همبستگی مثبت و در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه با تنفس میکروبی، نیتروژن و نسبت جذب سدیم همبستگی مثبت بالا و با شاخص پایداری ساختمان خاک و فسفر همبستگی منفی داشت. به نظر می‌رسد دلیل همبستگی بین pH با کربن آلی و زیست توده میکروبی در خاک‌های آبیاری شده با پساب این است که با افزودن پساب به خاک، سدیم و در نتیجه pH افزایش یافته و همزمان با آن ماده آلی و در نتیجه زیست توده میکروبی نیز افزایش یافته است.

جرم مخصوص ظاهری در خاک‌های آبیاری با پساب با پتاسیم

نموجراف PC1 و PC2 پارامترهای اندازه‌گیری شده را در دو گروه مجزا قرار داد (شکل ۲). زینگ و همکاران (۳۸) گزارش کردند مقایسه دو نوع خاک با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، در دو قسمت مجزا از نظر PC1 قرار گرفتند که نشان می‌دهد از نظر ویژگی‌ها با هم تفاوت دارند. بیشتر نقاط آبیاری شده با پساب در PC1 قسمت سمت راست و از نظر PC2 در قسمت بالا قرار داشتند، به عبارتی در قسمت مثبت مؤلفه‌های اصلی قرار دارند و نقاط آبیاری شده با آب چاه در سمت چپ PC1 و از نظر PC2 در قسمت پایین PC قرار داشتند یا به عبارتی در قسمت منفی مؤلفه‌های اصلی قرار دارند. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است نقاط آبیاری شده با پساب و آب چاه در دو گروه مجزا قرار دارند که نشان می‌دهد آبیاری با پساب بر ویژگی‌های خاک نقش داشته است.

پس از انتخاب مهم‌ترین پارامترها همبستگی بین این پارامترها در دو گروه خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). کربن آلی در هر دو گروه خاک‌ها بیشترین همبستگی را با شاخص پایداری ساختمان خاک داشت. کربن آلی در خاک‌های آبیاری شده با پساب با تنفس و زیست توده میکروبی، نیتروژن و شاخص پایداری ساختمان خاک همبستگی مثبت بالا و معنی‌دار داشت (۱ و ۲۰). در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه کربن آلی با شاخص پایداری ساختمان خاک، نیتروژن، تنفس و زیست توده میکروبی همبستگی مثبت و بالایی داشت جدول ۳ که این همبستگی به علت معدنی شدن عناصر غذایی و ماده آلی در خاک‌های آبیاری با آب چاه بود (۱). نسبت جذب سدیم در هر دو گروه خاک‌ها با نیتروژن

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک شده است، در حالی که در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه با فسفر و شاخص پایداری ساختمان خاک همبستگی مثبت و با درصد رس و زیست توده میکروبی همبستگی منفی بالا و معنی‌داری داشت. تنفس میکروبی در خاک‌های آبیاری شده با پساب با پارامترهای شاخص پایداری ساختمان خاک، کربن آلی و نیتروژن همبستگی مثبت بالا داشت، که این افزایش به علت کربن و نیتروژن موجود در پساب بوده و سبب افزایش در مقدار آن نسبت به شاهد شده است (شکل ۱).

چنگ و همکاران (۶) رابطه منفی بین فسفر و تنفس خاک را گزارش کردند. لاگو ماریسینو و همکاران (۱۷) گزارش کردند که بین تنفس و زیست توده میکروبی در خاک‌های آبیاری شده با پساب همبستگی مثبت و بالایی وجود دارد.

همبستگی بالای منفی به علت همبستگی بالای پتاسیم با سدیم محلول (۴) و با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها همبستگی بالای مثبت داشت، در حالی که در خاک‌های آبیاری با آب چاه فقط با تنفس میکروبی همبستگی برابر با ۰/۶ داشته، و می‌توان گفت که کاهش در مقدار جرم مخصوص ظاهری در خاک‌های آبیاری شده با پساب ناشی از افزایش پتاسیم و پراکنش رس‌ها و قرار گرفتن آن‌ها در فضای خالی منافذ بوده است. پتاسیم در خاک‌های آبیاری شده با پساب با پارامترهای کربن آلی، شاخص پایداری ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها همبستگی منفی و معنی‌دار داشت و با نتایج رنگاسمی (۲۹) که گزارش کردند پتاسیم نقشی مشابه با سدیم در خاک دارد و باعث تخریب ساختمان خاک می‌شود مطابقت دارد زیرا در خاک‌های آبیاری شده با پساب مقدار پتاسیم بالا بود و باعث کاهش شاخص پایداری ساختمان خاک و

جدول ۳- همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه

Table 3- The correlation between measured parameters in soils irrigated with wastewater and control

	پ هاش pH	زیست توده میکروبی MBC	تنفس میکروبی BR	جرم مخصوص ظاهری BD	رس Clay	نسبت جذب سدیم SAR	شاخص پایداری ساختمان SI	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD	کربن آلی OC	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن N
پ هاش pH	1	0.55*	0.48	-0.14	-0.3	0.17	0.47	-0.38	0.51*	0.03	0.04	0.35
زیست توده میکروبی MBC	0.1	1	0.8***	-0.36	-0.1	0.08	0.7**	-0.49	0.86***	-0.36	-0.04	0.74***
تنفس میکروبی BR	0.6**	0.29	1	-0.38	-0.17	-0.4	0.62**	-0.3	0.84***	0.02	-0.2	0.96***
جرم مخصوص ظاهری BD	0.19	-0.15	0.66**	1	-0.25	0.39	0.3	0.72***	-0.04	-0.2	-0.75***	-0.4
رس Clay	-0.21	0.55*	-0.1	-0.33	1	-0.14	-0.48	-0.16	-0.42	-0.36	0.09	-0.08
نسبت جذب سدیم SAR	0.63**	-0.24	0.2	0.19	-0.3	1	0.27	-0.1	0.03	-0.57**	-0.01	-0.56*
شاخص پایداری ساختمان SI	-0.55*	-0.64**	-0.7**	-0.23	-0.4	-0.33	1	0.09	0.93***	-0.27	-0.57**	0.49*
میانگین وزنی قطر خاکدانه- MWD	0.15	-0.26	-0.1	0.11	-0.1	0.48	0.02	1	-0.11	0.03	-0.69**	-0.23
کربن آلی OC	-0.4	0.62*	0.66**	-0.29	-0.5*	-0.3	0.97***	0.01	1	-0.16	-0.37	0.74***
فسفر P	-0.72**	-0.01	-0.52*	-0.46	0.18	-0.62*	0.46	-0.47	0.4	1	0.24	0.1
پتاسیم K	0.19	-0.84***	-0.25	0.17	-0.7**	0.41	0.59*	0.41	0.63**	-0.29	1	-0.17
نیتروژن N	0.62*	-0.23	-0.6**	-0.36	-0.2	-0.73**	0.82***	-0.3	0.82***	0.66**	0.18	1

*, **, and ***: Significant at P < 0.05, 0.01, and 0.001, respectively. درصد. ۱ و ۰/۸ درصد.

اعدادی که زیر آن خط کشیده شده است نشان دهنده خاک‌های آبیاری شده با پساب می‌باشند.

Underline numbers represent soil samples irrigated with wastewater.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد آبیاری به مدت ۱۰ سال با پساب اثرات منفی بر ویژگی‌های خاک نداشته است. نتایج نشان داد که آبیاری با پساب سبب افزایش معنی‌دار پارامترهای SAR، SI، فسفر قابل دسترس، BR، MBC و کربن آلی در خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به شاهد و کاهش معنی‌دار پارامترهای BD و درصد رس در خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه شد و در مورد pH، MWD، نیتروژن و پتاسیم تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد. از طرفی مقایسه آنالیز مؤلفه‌های اصلی دو گروه خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه را دو گروه مجزا قرار داد که نشان می‌دهد آبیاری با پساب بر خاک‌های مورد مطالعه تأثیر قابل توجهی داشته است. با استفاده از آنالیز

منابع

مؤلفه‌های اصلی هشت ویژگی کربن آلی، نسبت جذب سدیم، نیتروژن، pH، BD، MWD، BR و پتاسیم قابل دسترس به عنوان مهم‌ترین پارامترها جهت بررسی اثرات آبیاری با پساب انتخاب شدند و برای مقایسه مورد استفاده قرار گرفتند. به طور کلی استفاده از پساب تصفیه خانه پرکند آباد مشهد برای آبیاری در مدت ۱۰ سال، به جز نسبت جذب سدیم بر بیشتر ویژگی‌های خاک تأثیر مثبت داشته است، بنابراین به نظر می‌رسد با توجه به کمبود آب برای آبیاری در مناطق نیمه خشک مثل مشهد، می‌توان با ترکیب این پساب تصفیه شده با آب چاه ضمن تأمین آب آبیاری به بهبود ویژگی‌های خاک نیز کمک نمود.

- 1- Adrover M., Farrús E., Moyà G., and Vadell J. 2012. Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. *Journal of Environmental Management* 95: S188-S192.
- 2- Alvarez-Bernal D., Contreras-Ramos S.M., Trujillo-Tapia N., Olalde-Portugal V., Frías-Hernández J.T., and Dendooven L. 2006. Effects of tanneries wastewater on chemical and biological soil characteristics. *Applied Soil Ecology* 33(3): 269-277.
- 3- Bond W.J. 1998. Effluent irrigation-an environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research* 36(4): 543-556.
- 4- Bourazanis G., Katsileros A., Kosmas C., and Kerkides P. 2016. The Effect of Treated Municipal Wastewater and Fresh Water on Saturated Hydraulic Conductivity of a Clay-Loamy Soil. *Water Resources Management* 30(8): 2867-2880.
- 5- Chen W., Wu L., Frankenberger W.T., and Chang, A.C. 2008. Soil enzyme activities of long-term reclaimed wastewater-irrigated soils. *Journal of Environmental Quality* 37(5): S-36.
- 6- Cheng Q., Guo Y., Wang W., and Hao S. 2014. Spatial variation of soil quality and pollution assessment of heavy metals in cultivated soils of Henan Province, China. *Chemical Speciation and Bioavailability* 26(3): 184-190.
- 7- del Mar Alguacil M., Torrecillas E., Torres P., García-Orenes F., and Roldán A. 2012. Long-term effects of irrigation with waste water on soil AM fungi diversity and microbial activities: The Implications for Agro-Ecosystem Resilience 7(10): e47680.
- 8- Di Bene C., Pellegrino E., Debolini M., Silvestri N., and Bonari E. 2013. Short-and long-term effects of olive mill wastewater land spreading on soil chemical and biological properties. *Soil Biology and Biochemistry* 56: 21-30.
- 9- Doran J.W., and Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment, (definingsoilqua)*, 1-21.
- 10- Frenk S., Hadar Y., and Minz D. 2014. Resilience of soil bacterial community to irrigation with water of different qualities under Mediterranean climate. *Environmental Microbiology* 16(2): 559-569.
- 11- Ghaemi M., Astaraei A.R., Emami H., Nassiri Mahallati M., and Sanaei Nejad S.H. 2014. Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad-Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 14: 987-1004.
- 12- Heinze S., Chen Y., El-Nahal Y., Hadar Y., Jung R., Safi J., and Marschner B. 2014. Small scale stratification of microbial activity parameters in Mediterranean soils under freshwater and treated wastewater irrigation. *Soil Biology and Biochemistry* 70: 193-204.
- 13- Isermeyer H. 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde* 56(1-3): 26-38.
- 14- Johnson R.A., and Wichern D.W. 2002. *Applied multivariate statistical analysis*. 5th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- 15- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A. (ed), *Methods of soil analysis. Part1. Agronomy monographs*, 9. America Society of Agronomy, Madison, WI.
- 16- Lado M., and Ben-Hur M. 2009. Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and

- semiarid zones: A review. *Soil and Tillage Research* 106(1): 152-163.
- 17- Lagomarsino A., Moscatelli M.C., Di Tizio A., Mancinelli R., Grego S., and Marinari S. 2009. Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment. *Ecological Indicators* 9(3): 518-527.
- 18- Lyu S., and Chen W. 2016. Soil quality assessment of urban green space under long-term reclaimed water irrigation. *Environmental Science and Pollution Research* 23(5): 4639-4649.
- 19- Mahida U.N. 1981. *Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land*. Mc Growhill pub. New Delhi. 323p.
- 20- Masto R.E., Chhonkar P.K., Singh D., and Patra A.K. 2009. Changes in soil quality indicators under long-term sewage irrigation in a sub-tropical environment. *Environmental Geology* 56(6): 1237-1243.
- 21- Manly B.F.J. 1994. *Multivariate statistical methods* (Second edition). Chapman and Hall.
- 22- Morugán-Coronado A., García-Orenes F., Mataix-Solera J., Arcenegui V., and Mataix-Beneyto J. 2011. Short-term effects of treated wastewater irrigation on mediterranean calcareous soil. *Soil and Tillage Research* 112(1): 18-26.
- 23- Neter J., Kutne M.H., Nachtsheim C.J., and Wasserman W. 1996. *Applied linear statistical models* (4th ed.). Irwin Series in Statistics. Irwin Publ., Chicago, IL.
- 24- Olsen S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate.
- 25- Pieri C.J.M.G. 1992. *Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- 26- Qi Y., Darilek J.L., Huang B., Zhao Y., Sun W., and Gu Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma* 149(3): 325-334.
- 27- Qishlaqi A., Moore F., and Forghani G. 2008. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 141: 257-273.
- 28- Ranjbar A., Emami H., Khorassani R., and Karimi Karouyeh A. 2016. Soil quality assessments in some iranian saffron fields. *Journal of Agricultural Science and Technology* 18: 865-878. (In Persian)
- 29- Rengasamy P. 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology* 37(7): 613-620.
- 30- Rhee H.P., Yoon C.G., Son Y.K., and Jang J.H. 2011. Quantitative risk assessment for reclaimed wastewater irrigation on paddy rice field in Korea. *Paddy and Water Environment* 9(2): 183-191.
- 31- Rusan M.J., Albalasmeh A.A., and Malkawi H.I. 2016. Treated olive mill wastewater effects on soil Properties and plant growth. *Water, Air, and Soil Pollution* 227(5): 1-10.
- 32- Rohani Shahraki F., Mahdavi R., and Rezaee M. 2005. Effect of Irrigation with Wastewater on Certain Soil Physical and Chemical properties. *Journal of Water and Sewage* 16 (1): 23- 29. (In Persian)
- 33- Schipper L.A., Williamson J.C., Kettles H.A., and Speir T.W. 1996. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. *Journal of Environmental Quality* 25(5): 1073-1077.
- 34- Sepaskhah A.R., and Karizi A. 2011. Effects of alternate use of wastewater and fresh water on soil saturated hydraulic conductivity. *Archives of Agronomy and Soil Science* 57: 149-158.
- 35- Sumner M.E. 1995. Sodic soils: New perspectives. In *Australian Sodic Soils: Distribution, Properties and Management*, pp. 1-34. CSIRO Publications, Melbourne, Victoria.
- 36- Vance E.D., Brookes P.C., and Jenkinson D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass Carbon. *Soil biology and Biochemistry* 19(6): 703-707.
- 37- Vogeler I. 2009. Effect of long-term wastewater application on physical soil properties. *Water, air, and soil pollution* 196(1-4): 385-392.
- 38- Xing Z., Du C., Zeng Y., Ma F., and Zhou J. 2016. Characterizing typical farmland soils in China using Raman spectroscopy. *Geoderma* 268: 147-155.



Application of Principle Component Analysis to Identify the Changes of Soil Properties due to Wastewater Irrigation in Margin Lands of Kashafrud River

S. Hajinamaki¹ - H. Emami^{2*} - A. Fotovat³

Received: 10-09-2018

Accepted: 20-05-2019

Introduction: Water scarcity is one of the important issues in agriculture, especially in arid and semi-arid regions of Iran. Therefore, the challenge for the agriculture in these areas is to find new sources of water for irrigation. One of the ways that has become more common in recent years is the reuse of wastewater as a secondary source and replaces drinking water. The effects of irrigation with wastewater on physical, chemical and biological properties of soil have been studied by many researchers, which most of them are based on the direct use of untreated wastewater in agricultural land irrigation. In fact, a large amount of wastewater used in the agriculture is indirectly entered into the rivers, and used in the agriculture lands. Irrigation with wastewater may have effects on soil properties such as pH, EC, nutrient content, sodicity, pollutants and etc.

Materials and Methods: In order to determine the effect of irrigation by wastewater on soil properties in May 2015, several points of the Kashafrud River in the north of Mashhad were selected. The studied points were located between 59°36'- 59°41' E and 36°19'- 36°22' N geographical position. The wastewater is refined in Parkandabad station, and used for irrigation. The samples were taken from a depth of 0-30 cm in each point and three replications were regarded for them. Sampling distance was one kilometer from each other. In general, 15 points were irrigated with wastewater were selected. 12 physical, chemical and biological properties including pH, soil texture, bulk density (BD), dispersible clay (DC), mean weight diameter of aggregates (MWD), sodium adsorption ratio (SAR), organic carbon (OC), available phosphorous (P), available potassium (k), total nitrogen (TN), microbial biomass and base respiration (BR) were measured as a total data set (TDS). According to Liu and Chen the main component with an Eigen value greater than one using the PCA method were chosen as minimum data set (MDS). Within each PC, highly weighted properties were defined as those with absolute values within 10% of the highest weighted loading. When more than one variable was retained in a PC, each was considered important and was retained in the MDS if they were not correlated ($r < 0.60$). Among well-correlated variables within a PC, the variable having the highest correlation sum was selected for the MDS. Data analysis were performed using SPSS Statistics22 software.

Results and Discussion: The results showed that irrigation with wastewater increased biomass and BR, OC, SAR, K and stability index of soil structure. The parameters of K, TN, pH and MWD have been increased compared to the control, but were not statistically significant. Using PCA, five PCs were obtained, which PC1 and PC2 with Eigen value of 50.6 % were the most important components. The parameters of OC, SAR, TN, pH, BD, MWD, BR and K were chosen as MDS due to be changed as a result of irrigation with wastewater. Then, the correlations between these parameters in two groups of irrigated soils with wastewater and control were investigated. Organic carbon in both soil groups had the highest correlation with the SI. The SAR in both soil groups was negatively correlated with nitrogen and phosphorus. Nitrogen in irrigated soils with control was positively correlated with the SI and OC. The MWD was not correlated with any parameter. PH had shown positive correlation with microbial biomass and OC was positively correlated with BR, TN and SAR in soil controls. Potassium in the irrigated soils with wastewater had the negative and significant correlation with OC, SI, BD and MWD. Microbial respiration had a high positive correlation with SI, OC and TN in irrigated soils, which is due to carbon and nitrogen in the wastewater and causes an increase in its amount compared with the control.

Conclusion: The results showed that irrigation with wastewater caused a significant increase in parameters SI, SAR, P, BR, MBC and organic carbon in irrigated soil with wastewater and pH, MWD, TN and K had no a significant difference. On the other hand, the principal component analysis of the two groups of irrigated soils with wastewater and control had two distinct groups indicating that the irrigation with wastewater had a

1, 2 and 3- Former M.Sc. Student, Associate Professor and Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

(*- Corresponding Author Email: hemami@um.ac.ir)

significant impact on the soil properties. According to the principal components analysis, eight parameters including OC, SAR, TN, MWD, BD, pH, BR and K were selected as the most important parameters to study the effects of irrigation by wastewater.

Keywords: Irrigation, Parkandabad, Refinery wastewater, Soil quality



ارزیابی توابع کاهش جذب آب کاهو برگی (Red Salad Bowl) تحت تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای

الهه ذرتی پور^۱ - امیر سلطانی محمدی^{۲*} - ناصر عالم زاده انصاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹

چکیده

مدل‌های جذب آب اگر بتوانند مسیر حرکت آب و واکنش گیاه به تنش را به‌طور صحیح پیش‌بینی کنند، ابزاری مفید در بهینه‌سازی مصرف آب محسوب می‌گردند. هدف از تحقیق حاضر بررسی مدل‌های جذب آب کاهوبرگی تحت تنش خشکی می‌باشد. برای این منظور آزمایشی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، در پاییز ۱۳۹۶ انجام شد. آزمایش با سه تیمار آبی ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در سه تکرار و در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. برای تعیین زمان آبیاری از روش وزنی استفاده گردید. تعرق نسبی با استفاده از تغییرات رطوبت روزانه خاک محاسبه و مدل‌های کاهش جذب آب فلدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و همایی (۱۹۹۹) مورد ارزیابی قرار گرفتند. از شاخص‌های آماری بیشینه خطای نسبی، ضریب تعیین، ریشه میانگین مربعات خطا، کارایی مدل‌سازی و ضریب جرم باقیمانده استفاده شد. نتایج نشان داد، مدل همایی (۱۹۹۹) نسبت به سایر مدل‌ها برازش بهتری ارائه می‌دهد ($R^2 = 0.96$ و $RMSE = 9/14$). ضمن اینکه مدل‌های فلدس و همکاران (۱۹۷۸) با $R^2 = 0.43$ و $RMSE = 16/46$ ، ون‌گنوختن (۱۹۸۷) با $R^2 = 0.51$ و $RMSE = 8/62$ و دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) با $R^2 = 0.48$ و $RMSE = 12/5$ ، برازش نزدیکی نسبت به هم داشتند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کاهوبرگی، مدل‌های کاهش جذب

مقدمه

اندازه‌گیری‌های صحرایی، می‌توان زمان آبیاری را برای حداکثر رشد، به کمک خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آب و خاک و پارامترهای مشخص گیاهی، تعیین کرد (۹). دو گروه گسترده از رویکردهای مدل‌سازی جذب آب وجود دارد که از داده‌های ریشه به روش‌های مختلفی استفاده می‌کنند، مدل‌های میکروسکوپی که شامل شرح مفصلی از گیاه، سیستم ریشه و خاک و تعامل فیزیکی بین این اجزاء می‌باشد، درواقع این مدل‌ها جریان آب را به طرف تک ریشه بررسی می‌کنند. مدل‌های ماکروسکوپی براساس اصول اولیه انتقال انرژی و جرم می‌باشند، که از طریق مشخص کردن ظرفیت آب موجود در منطقه ریشه، تمایل به ساده‌تر کردن خواص ریشه‌ها دارند، این مدل‌ها برداشت آب به وسیله کل ناحیه ریشه را بدون در نظر گرفتن تاثیر تک تک ریشه‌ها بررسی می‌کنند و به‌طور کلی در مدل‌های مدیریت محصول و مدل‌های انتقال خاک-گیاهی-اتمسفر مورد توجه قرار گرفته‌اند. با وجود سادگی و توان بالقوه آن، این رویکرد نیز دارای اشکالاتی می‌باشد، از جمله این که اکثر پارامترهای ماکروسکوپی نمی‌توانند به‌طور مستقیم تعیین یا اندازه‌گیری شوند، بنابراین نیاز به واسنجی دارند، که این مرحله نیز دارای محدودیت‌های عمده و غیر

رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر و محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نیاز به استفاده از منابع آب با کیفیت پایین و اعمال مدیریت کم‌آبیاری و یا هر دو استراتژی را ضروری می‌سازد (۲). کمبود آب و شوری خاک دو محدودیت مهم برای تولیدات کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک هستند. تنش آبی و شوری جذب آب را کاهش می‌دهند (۱۳). تنش آبی وقتی رخ می‌دهد که از دست دادن آب از برگ‌ها از طریق فرآیند تعرق، از آب موجود در منطقه ریشه فراتر رود (۱۰). مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب اگر جریان آب را به سمت ریشه‌ها به‌طور صحیح پیش‌بینی کنند، بدون نیاز به

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*) نویسنده مسئول: (Email: a.soltani@scu.ac.ir)

۳- دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
DOI: 10.22067/jsw.v33i2.76461

انحصاری پارامترهای مدل است، همچنین با استفاده از توزیع ریشه یا تراکم توده، این مدل‌ها اثر ساختار و خواص هیدرولیکی ریشه را نادیده می‌گیرند (۵). مزیت روش‌های ماکروسکوپی در هندسه جریان آسان‌تر نسبت به روش‌های میکروسکوپی و همچنین اجتناب از مشکلات روش‌های میکروسکوپی برای شبیه‌سازی جذب ریشه‌های انفرادی در سیستم ریشه‌هاست (۱۸). از مهم‌ترین مدل‌های جذب آب ماکروسکوپی می‌توان به مدل فدس و همکاران (۱۹۷۸)، مدل ون-گنوختن (۱۹۸۷)، مدل دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و مدل همایی (۱۹۹۹) اشاره کرد.

کاهو از محبوب‌ترین سبزیجات، با بالاترین میزان مصرف و اهمیت اقتصادی در سراسر جهان است. عدم انجام آبیاری منظم، ایجاد محیط غرقابی یا خشکی خاک در زمان برداشت موجب از دست رفتن کیفیت محصول کاهو می‌شود. به‌طور کلی وجود تنش‌های زیستی و غیر زیستی سبب کاهش کیفیت و کمیت محصول نهائی خواهد شد (۳).

همایی و همکاران (۱۲)، اثر مقادیر مختلف پتانسیل آب خاک را روی الگوی جذب آب گیاه یونجه، در شرایط تنش آبی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که توابع کاهش جذب آب خطی رضایت‌بخش نبوده و اکثر توابع کاهش جذب آب غیر خطی تنها برای نیمی از داده‌ها مناسب بودند، که براین اساس تابع غیرخطی پیشنهادی همایی و همکاران (۱۲)، نسبت به دیگر مدل‌های جذب آب به دلیل در نظر گرفتن دو حد آستانه برای مدل، همخوانی بیشتری با داده‌های اندازه‌گیری شده داشت. الهی‌کیا (۷)، به منظور ارزیابی چهار مدل جذب آب ماکروسکوپی فدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳)، و همایی (۱۹۹۹) در شرایط تنش خشکی برای گیاه کاهو، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام داد، نتایج نشان داد مدل همایی، با در نظر گرفتن دو حد آستانه برای مدل، برازش خوبی روی کل محدوده داده‌های اندازه‌گیری شده تعلق نسبی در مقابل قدرمطلق پتانسیل ماتریک، برای تیمارهای تحت تنش دارد. حسینی و همکاران (۱۴)، به ارزیابی توابع کاهش جذب آب گیاه فلفل در شرایط تنش همزمان خشکی و شوری در محیط کشت گلخانه پرداختند و پنج تابع کاهش جذب آب ماکروسکوپی وان‌گنوختن (جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر)، دایرکسن و آگوستینجن، وان‌دم و همکاران و همایی و همکاران را با استفاده از داده‌های کشت گلدانی گیاه فلفل دلمه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که از میان مدل‌های ضرب‌پذیر، مدل دایرکسن در سطوح شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر نزدیکی بیشتری با نتایج اندازه‌گیری‌ها داشت. در سطوح شوری بالاتر (۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، مدل همایی و مدل وان‌دام برازش بهتری را با داده‌های

اندازه‌گیری‌شده نشان دادند. سرائی تبریزی و همکاران (۱۸)، برای ارزیابی برخی توابع کاهش جذب آب در شرایط تنش آبی روی گیاه ریحان، آزمایشی با چهار سطح مختلف آب آبیاری شامل ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی با سه تکرار انجام دادند. نتایج نشان داد در برآورد جذب نسبی روزانه، مدل غیرخطی همایی و همکاران (۱۳) برازش بهتری نسبت به دیگر مدل‌ها ارائه داد، همچنین مدل خطی فدس و همکاران (۱۹۸۷) و مدل‌های غیرخطی ون‌گنوختن (۱۹۸۷) و همایی و همکاران (۲۰۰۲) در برآورد میزان جذب نسبی تجمعی طی فصل رشد دقت مناسبی داشتند. براد و همکاران (۴)، مدل‌های مختلف جذب آب ریشه را تحت شرایط تنش آبی، بر مبنای تعلق پتانسیل و بیان انرژی سطحی، با هم مقایسه و ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس‌تر، که براساس تعلق پتانسیل عمل می‌کنند به دلیل توانمندی بیشتر، برای مدل‌سازی جذب آب مناسب‌ترند. لی و همکاران (۱۵)، برای توسعه مدل‌های جذب آب ریشه تحت شرایط تنش آبی یک مدل نمایی تعدیل یافته ارائه کردند که هم توزیع ریشه و هم تنش آبی را شامل می‌شد. مدل پیشنهادی تابعی از تعلق پتانسیل، قابلیت دسترسی به آب خاک، و تراکم طولی ریشه بود. نتایج نشان داد این مدل میزان آب خاک و جذب آب توسط ریشه را، به ویژه در نیمه دوم فصل رشد، در عمق‌های کم، به طور مناسب شبیه‌سازی کرد. پیترز و همکاران (۱۶)، تابع کاهش تنش فدس اصلاح شده را برای مدل‌سازی جذب آب ریشه با توجه به کاهش پتانسیل آب ارائه دادند. نتایج نشان داد مدل اصلاح شده از لحاظ فیزیکی پایدارتر از مدل فدس بود و به ویژه برای شبیه‌سازی در خاک‌های ناهمگن مرتبط بوده است. همچنین شبیه‌سازی عددی جریان آب و جذب آب ریشه در خاک‌های ناهمگن و همگن نشان‌دهنده تأثیر مدل جدید بر جذب آب ریشه و تعلق واقعی بود. بابازاده و همکاران (۲)، اثرات توام تنش شوری و خشکی را روی الگوی جذب آب ریشه گیاه ریحان مورد بررسی قرار دادند و از هفت معادله جذب آب ماکروسکوپی استفاده کردند. نتایج نشان داد که از بین مدل‌های ارائه شده، مدل همایی و همکاران (۲۰۰۲) بهترین توافق را با داده‌های تجربی داشت و افزایش شوری و خشکی باعث کاهش پتانسیل جذب آب توسط ریشه گردید. عزیزیان و همکاران (۱)، در مطالعه خود به اصلاح مدل شبیه‌سازی شده تحت سطوح مختلف آب، نیتروژن و شوری روی گیاه ذرت پرداختند، نتایج نشان داد که مدل همایی و فدس (۱۹۹۹) نسبت به سایر توابع جذب آب، برآورد بهتری داشت. همایی و همکاران (۱۳)، به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف پتانسیل آب خاک و سطوح مختلف شوری روی الگوی جذب آب گیاه یونجه، آزمایشی انجام دادند و یک مدل جذب آب تحت تنش آبی و شوری ارائه کردند. نتایج نشان‌دهنده توافق بالای مدل پیشنهادی با داده‌های تجربی بود و تابع کاهش جذب ارائه

ریشه، پتانسیل آب و هدایت هیدرولیکی خاک کنترل می‌شود (۹). مدلی که فدس و همکاران (۱۹۷۸) در شرایط تنش آبی برای گیاهان ارائه کردند به صورت زیر است:

$$S = \alpha(h) \times S_{max} \quad (2)$$

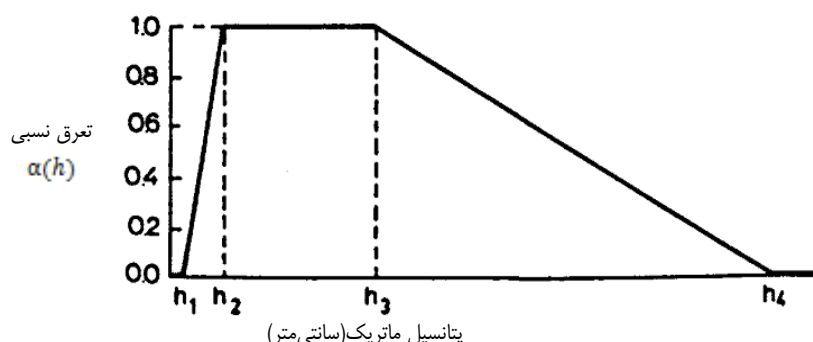
$$S_{max} = \frac{T_p}{Z_r} \quad (3)$$

$$S = \alpha(h) \times S_{max} = \alpha(h) \times \frac{T_p}{Z_r} \quad (4)$$

$\alpha(h)$: تابع کاهش بدون بعد پاسخ به تنش آبی است، S : میزان جذب آب گیاه، S_{max} : حداکثر میزان جذب آب گیاه، T_p : تعرق پتانسیل و Z_r : عمق توسعه ریشه می‌باشند، همچنین اعلام کردند ضریب تابع کاهش تنش آبی به صورت یک تابع خطی تکه‌ای است که با چهار مقدار مشخص پتانسیل ماتریک پارامتری می‌شود (رابطه ۵):

$$\alpha(h) = \begin{cases} \frac{h - h_4}{h_3 - h_4} & , \quad h_3 > h > h_4 \\ 1 & , \quad h_2 \geq h \geq h_3 \\ \frac{h - h_1}{h_2 - h_1} & , \quad h_1 > h > h_2 \\ 0 & , \quad h \leq h_4 \text{ or } h \geq h_1 \end{cases} \quad (5)$$

حداکثر مقدار جذب آب توسط ریشه‌ها زمانی رخ می‌دهد که $h > h_3$ باشد و هنگامی که $h > h_2$ یا $h < h_3$ باشد جذب آب به‌طور خطی کاهش می‌یابد. همچنین، زمانی که $h \leq h_4$ یا $h \geq h_1$ باشد مقدار جذب صفر می‌گردد. مقدار h_3 نیز تابعی از نیاز تبخیری اتمسفر است (شکل ۱) (۸). در شکل مقادیر پتانسیل ماتریک بدون در نظر گرفتن علامت قدر مطلق می‌باشند.



شکل ۱- نمایی از تابع کاهش جذب آب (فدس و همکاران، ۱۹۷۸)

Figure 1- A view of the water uptake reduction function (Feddes et al., 1978)

شده قادر بود به‌همراه هر تابع غیرخطی دیگر استفاده گردد. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی چهار تابع کاهش جذب آب ماکروسکوپی فدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و همایی (۱۹۹۹) در پیش‌بینی جذب آب توسط ریشه گیاه کاهو در شرایط تنش آبی و تعیین مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی کاهش جذب آب توسط کاهو در شرایط تنش آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تئوری مدل‌های مورد استفاده:

مناسب‌ترین روش کمی کردن جذب آب توسط ریشه گیاهان از معادله ریچاردز به‌دست می‌آید. تقریباً همه مدل‌های ریاضی حرکت آب و املاح در خاک از راه حل عددی معادله ریچاردز-دارسی با در نظر گرفتن قسمت جذب آب برای جریان در بعد عمودی معرفی گشته‌اند. با توجه به اینکه جذب آب توسط گیاهان در رطوبت‌های غیراشباع صورت می‌گیرد، باید آن را در معادله ریچاردز لحاظ کرد. شکل معادله ریچاردز، پس از لحاظ کردن قسمت جذب آب توسط گیاه به صورت رابطه (۱) می‌باشد (۱۷):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = c(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k(h) \frac{\partial h}{\partial z} + k(h) \right) - s(h) \quad (1)$$

θ : درصد رطوبت حجمی خاک (درصد)، h : بار فشاری آب خاک (متر)، t : زمان (ساعت)، C : دیفرانسیل ظرفیت رطوبت خاک (معکوس متر) که برابر با شیب منحنی آب خاک است. z : گرادیان بار عمودی خاک (متر)، $K(h)$: هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک (متر بر ساعت)، $S(h)$: میزان جذب آب توسط ریشه گیاهان (معکوس ساعت)، که تابعی از پتانسیل ماتریک، پتانسیل اسمزی، ویژگی‌های ریشه و شرایط آب و هوایی (همچون نیاز تبخیری) است (۱۱). آبیاری زمانی لازم است، که خاک قادر به تأمین نیاز آبی گیاه نباشد. تنش آبی هنگامی اتفاق می‌افتد که میزان تعرق بیشتر از مقدار جذب آب باشد. جذب آب توسط سرعت تعرق، انتشار و کارایی سیستم‌های

کاهش مقدار α در تنش‌های آبی بیشتر از h^* ادامه می‌یابد تا به یک تنش آبی معین (h_{max}) برسد. در پتانسیل‌های ماتریک بیشتر از h_{max} افزایش تنش آبی نمی‌تواند با همان روند قبلی در مقدار α کاهش ایجاد کند. این واقعیت نشان می‌دهد در $h > h_{max}$ گیاه هنوز زنده است و در سطحی بسیار اندک به فعالیت‌های حیاتی خود ادامه می‌دهد. همایی (۱۹۹۹) شاخص بدون بعد P را با توجه به h_{max} به صورت رابطه (۱۱) تعریف کرد، که بستگی به محصول، خاک و شرایط آب و هوایی دارد:

$$P = \frac{h_{max}}{h_{max} - h^*} \quad (11)$$

که در آن h_{max} (مقدار آستانه دوم) بار فشار آب خاک است که فراتر از آن تغییرات h بر تخرق نسبی به طور معنی‌دار تأثیر نمی‌گذارد و α_0 ، تخرق نسبی وابسته به h_{max} است (۱۰، ۱۲ و ۲). روش اجرای تحقیق:

این پژوهش در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، در پاییز ۱۳۹۶ انجام شد. خاک مورد استفاده از مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی علوم آب برداشت گردید که دارای بافت متوسط بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل، بافت خاک و درصد ذرات تشکیل‌دهنده خاک (به روش هیدرومتری)، شوری و پ‌هاش خاک با تهیه عصاره اشباع، جرم مخصوص ظاهری با استفاده از استوانه فلزی با حجم مشخص و تعیین رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین گشت، که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. در جدول ۲ نیز خصوصیات کیفی آب آبیاری نشان داده شده است.

کشت به صورت غیر مستقیم (کاشت نشاء) درون گلدان‌هایی به قطر ۲۲ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر صورت گرفت. دوره رشد گیاه مورد نظر در حدود ۷۰ روز بود. پس از ریختن فیلتر در ته گلدان‌ها و پرکردن آن‌ها از مقدار معینی خاک خشک، انتقال نشاءها به گلدان‌ها انجام و اعمال تیمار صورت گرفت. آزمایش با سه تیمار آبی I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در سه تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. به همین جهت ۹ گلدان مورد استفاده قرار گرفت و با توجه به اینکه اندازه‌گیری وزن بوته‌ها به صورت روزانه امکان‌پذیر نبود، ۱۲ گلدان نیز به عنوان گلدان‌های تخریبی برای اندازه‌گیری وزن بوته، در نظر گرفته شدند و هر ده روز یکبار با خارج کردن بوته از یکی از این گلدان‌ها، وزن بوته اندازه‌گیری شد. شکل ۲ نحوه قرارگیری تیمارها را نشان می‌دهد.

در نهایت فدس و همکاران (۱۹۷۸)، در شرایط تنش خشکی تابع خطی ساده زیر را پیشنهاد دادند که توسط h_3 و h_4 کنترل می‌گردد:

$$\alpha(h) = \frac{h - h_4}{h_3 - h_4} \quad (6)$$

که در آن h : مقادیر پتانسیل ماتریک اندازه‌گیری شده، h_3 : مقدار آستانه کاهش پتانسیل ماتریک و h_4 : پتانسیل ماتریک در نقطه پژمردگی است. فدس و همکاران (۱۹۷۸) پیشنهاد کردند که مقدار آستانه تنها وابسته به تقاضای تبخیر می‌باشد در حالی که به نظر می‌رسد وابسته به خاک نیز باشد (۱۰).

یکی دیگر از مدل‌های معروف، که برای تعیین ضریب کاهش جذب در هنگام تنش آبی وجود دارد، تابع کاهش سیگموییدی شکلی است که ون‌گونختن (۱۹۸۷) پیشنهاد کرده است (رابطه ۷):

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}}\right)^P} \quad (7)$$

h_{50} : پتانسیل ماتریکی است که به ازای آن عملکرد ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و معمولاً از طریق آزمون و خطا به دست می‌آید و P : یک ضریب تجربی است که معمولاً مقدار آن ۳ در نظر گرفته می‌شود. ضریب تجربی P را می‌توان به کمک رابطه (۸) زیر محاسبه کرد:

$$P = \frac{h_{50}}{h_{50} - h^*} \quad (8)$$

h^* : پتانسیل ماتریک در حد آستانه کاهش عملکرد محصول در شرایط تنش آبی است. مهمترین ایراد مدل سیگموییدی ون‌گونختن (۱۹۸۷) این بود که براساس این مدل بیشترین مقدار جذب آب در رطوبت اشباع اتفاق می‌افتد. بدیهی است که این مدل به صورت فوق برای رطوبت‌های نزدیک به رطوبت اشباع فاقد اعتبار است. دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳)، معادله ون‌گونختن (۱۹۸۷) را نسبت به مقدار پتانسیل ماتریک در آستانه کاهش جذب (h^*) تعدیل و با این فرض که جذب آب ریشه، مقدار آستانه بار فشار آب خاک را کاهش نمی‌دهد رابطه زیر را ارائه دادند:

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h^* - h}{h^* - h_{50}}\right)^P} \quad (9)$$

نتایج تحقیقات پژوهشگران مختلف نشان می‌دهد پاسخ گیاهان به تنش آبی در پتانسیل ماتریک‌های کم خطی نیست. از طرف دیگر مدل دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) در پتانسیل ماتریک‌های نزدیک به صفر مقدار $\alpha(h)$ را زیاد برآورد می‌کرد. همایی (۱۹۹۹)، برای برآورد تنش آبی رابطه (۱۰) را ارائه داد:

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \alpha_0}{\alpha_0}\right) \left[\frac{h^* - h}{h^* - h_{max}}\right]^P} \quad (10)$$

جدول ۱- خصوصیات خاک مورد آزمایش

Table 1- Experimental soil properties

بافت خاک Soil texture	درصد رس Clay percent	درصد سیلت Silt percent	درصد شن Sand percent	θ_{vFC} (%)	θ_{vPWP} (%)	$\rho_b(g/cm^3)$	ECe (dS/m)	pH
لوم رسی شنی Sandy clay loam	24.4	28	47.6	24	13	1.4	2.15	7.86

جدول ۲- خصوصیات کیفی آب آبیاری

Table 2- Characteristics quality of irrigation water

تیما Treatment	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	NO_3^-	pH	EC
	(meq/lit)								(dS/m)
S₁	1.65	0.04	1.91	0.5	0.4	3.75	0.025	8	0.5

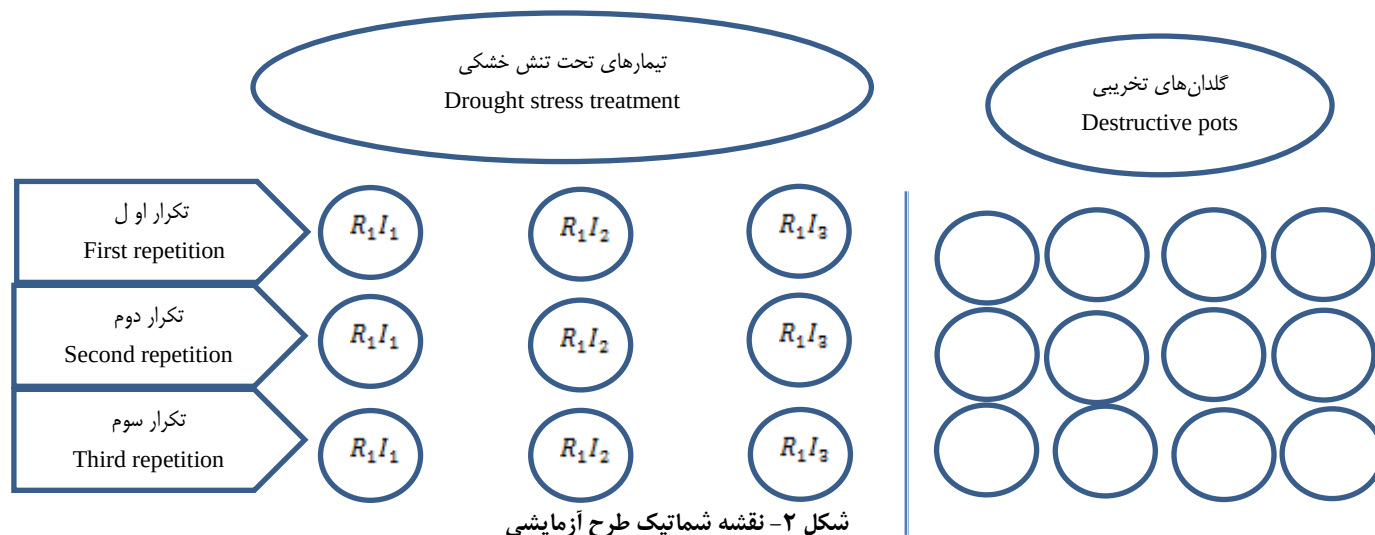


Figure 2- Schematic map of experimental design

اندازه‌گیری شد. برای تعیین زمان آبیاری از روش وزنی استفاده گردید، به این صورت که با وزن کردن روزانه گلدان‌های شاهد (بدون تنش) و با کسر وزن خشک خاک و وزن گیاه (که از طریق گلدان‌های تخریبی به دست آمد)، مقدار آب موجود در گلدان تعیین و با تقسیم بر وزن خشک خاک مقدار رطوبت خاک گلدان محاسبه شد:

$$\theta_{vi} = \frac{(\text{جرم خاک خشک} + \text{جرم پوتنه} + \text{جرم گلدان خالی}) - \text{جرم گلدان و خاک مرطوب}}{\text{جرم خاک خشک}} \times \rho_b \quad (12)$$

زمانی که رطوبت سهل الوصول توسط گیاه مورد استفاده قرار می‌گرفت، به همین اندازه آبیاری می‌شد تا رطوبت گلدان دوباره به حد ظرفیت زراعی ارتقاء داده شود. کوددهی (NPK) به صورت محلول در طول دوره رشد اعمال شد. قابل توجه است که، مصرف بیش از اندازه کود آسیب جدی به گیاه وارد می‌کند، لذا غلظت استفاده شده کود در این آزمایش، یک گرم در هر لیتر آب بود و به صورت یک در میان در

آبیاری به صورت دستی و به کمک پیمانه مدرج انجام شد. حجم آب آبیاری نیز براساس مرحله رشد و نیاز آبی گیاه باتوجه به توسعه عمق ریشه در طی فصل رشد متغیر بود. در طول فصل رشد گیاه، پانزده بار آبیاری صورت گرفت و حجم آب مصرفی برای تیمارهای I_1 و I_2 به ترتیب ۷۹۲، ۱۰۵۵ و ۱۳۲۰ متر مکعب بر هکتار به دست آمد، که این مقادیر باتوجه به نیاز آبی گیاه در هر مرحله از رشد گیاه برای تیمار شاهد (نیاز آبی ۱۰۰ درصد) و در نظر گرفتن ضریبی از آن برای دو تیمار دیگر لحاظ گردید.

برای اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک، ابتدا منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و نرم افزار RETC تعیین و سپس با جایگزینی مقادیر رطوبت‌های روزانه اندازه‌گیری شده در منحنی مشخصه رطوبتی خاک قدرمطلق پتانسیل ماتریک محاسبه شد. درصد رطوبت حجمی در مکش‌های ۰/۳، ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ بار

خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و وارد کردن درصد رطوبت حجمی خاک به ازای نقاط پتانسیل ماتریک مهم، در نرم افزار RETC حاصل گردید (شکل ۳). سپس با استفاده از داده های به دست آمده از آزمایش، مدل های جذب آب در شرایط تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفتند.

به منظور بررسی توابع کاهش جذب آب در شرایط تنش خشکی، از تعرق نسبی (ضریب کاهش جذب آب واقعی) حاصل از تقسیم مقادیر اندازه گیری تعرق روزانه تیمارهای تحت تنش خشکی بر تیمار شاهد (بدون تنش) استفاده گردید. لازم به ذکر است، $\alpha(h)$ (ضریب کاهش جذب آب) برای تیمار شاهد، برابر با یک می باشد. شکل ۴ نمودار تعرق نسبی $(\alpha(h) = \frac{T_a}{T_p})$ در برابر رطوبت حجمی روزانه، مربوط به تیمارهای تحت تنش، از زمان اعمال تیمار تا پایان آزمایش را نشان می دهد.

با داشتن درصد رطوبت حجمی برای تیمارها و با استفاده از منحنی مشخصه رطوبتی خاک، میزان پتانسیل ماتریک متناظر با رطوبت حجمی برای تمامی تیمارها از طریق درونیابی تعیین شد. شکل ۵، نشان داد که رابطه غیرخطی بین مقادیر تعرق نسبی $(\frac{T_a}{T_p})$ اندازه گیری شده و قدرمطلق پتانسیل ماتریک وجود دارد.

همان گونه که مشاهده می شود بیشترین پراکنش داده ها در محدوده $4000 < |h| < 800$ سانتی متر قرار گرفت. حد آستانه h (جایی که مقادیر قدر مطلق پتانسیل ماتریک به یک باره کاهش یافته اند) در حدود ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ سانتی متر است. همایی (۱۹۹۹) حد آستانه h را در حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ سانتی متر برای گیاه یونجه در نظر گرفت.

هر بار آبیاری، به صورت محلول با آب به گلدان ها داده شد. به منظور ارزیابی مدل های جذب آب در شرایط تنش خشکی، تعرق نسبی $(\frac{T_a}{T_p})$ در مقابل قدرمطلق پتانسیل ماتریک رسم شد و با برازش مدل های فلدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و همایی (۱۹۹۹)، بهترین مدل انتخاب گردید. برای این منظور از شاخص های آماری بیشینه خطای نسبی (ME)، ضریب تعیین (R^2) ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، کارایی مدل سازی یا راندمان مدل (EF) و ضریب جرم باقیمانده (CRM) استفاده شد:

$$ME = \max |P_i - O_i| \quad i=1 \quad n \quad (13)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (14)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (15)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (16)$$

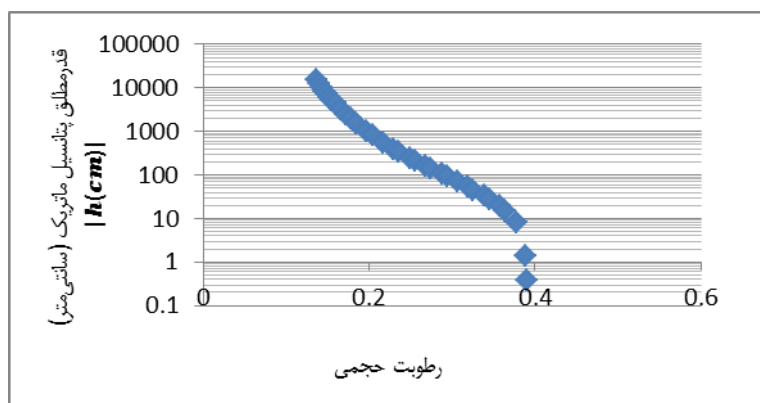
$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (17)$$

P_i : مقادیر برآورد شده، O_i : مقادیر اندازه گیری شده، n : تعداد مشاهدات و $\bar{O}$: میانگین مقادیر O_i است (۲ و ۱۰). برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SPSS و برای مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه ای دانکن (در سطح پنج درصد) استفاده گردید.

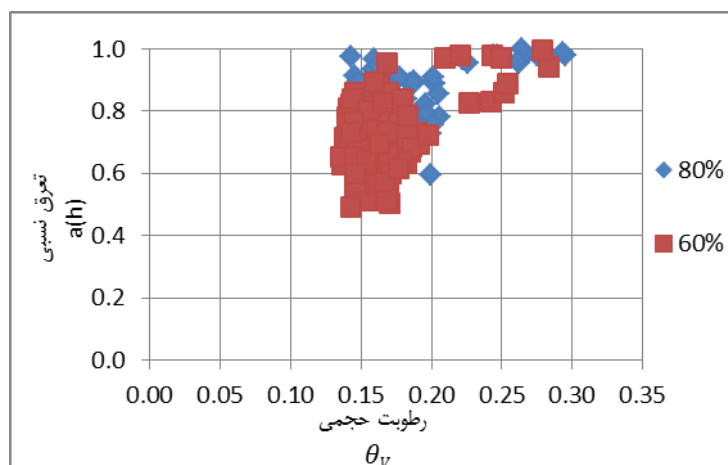
نتایج و بحث

ارزیابی مدل های کاهش جذب آب تحت تنش خشکی:

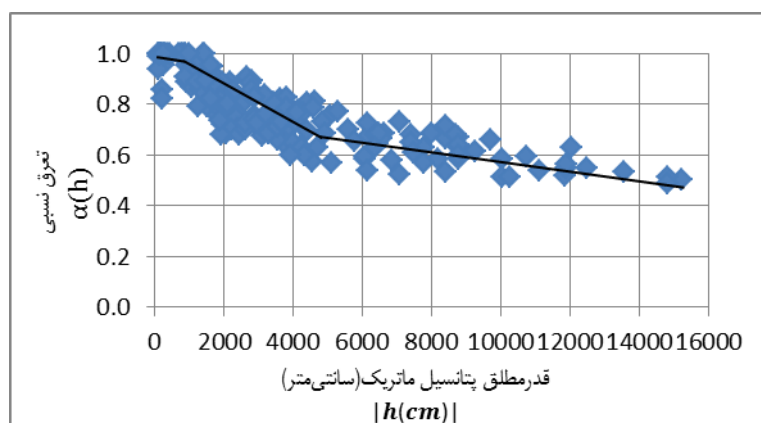
برای ارزیابی مدل های جذب آب، ابتدا منحنی مشخصه رطوبتی



شکل ۳- منحنی مشخصه رطوبتی خاک
Figure 3- Soil moisture characteristic curve



شکل ۴- تعرق نسبی اندازه‌گیری شده در برابر رطوبت حجمی روزانه مربوط به تیمارهای تحت تنش
Figure 4- Measured relative transpiration against daily moisture content of treatments under stress



شکل ۵- تعرق نسبی اندازه‌گیری شده در برابر قدر مطلق پتانسیل ماتریک مربوط به تیمارهای تحت تنش
Figure 5- The measured relative transpiration against the absolute value of the matric potential of treatments under stress

پارامترهای مدل‌های مورد استفاده

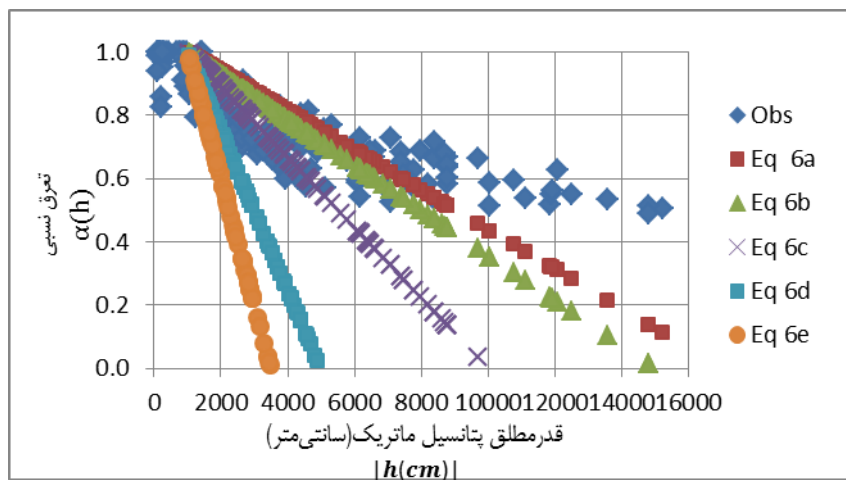
پارامترهای مدل‌های مورد استفاده تحت شرایط تنش خشکی با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ تخمین و در جدول ذیل آمده است، براین اساس با توجه به شکل‌های مذکور و پارامترهای مدل‌های پیشنهادی توسط ون‌گنوختن (۱۹۸۷) و همایی (۱۹۹۹)، مقادیری برای هر کدام از پارامترها در نظر گرفته شد، سپس حالت‌های مختلف از قرارگیری مقادیر پیشنهادی برای هر پارامتر مورد آزمایش قرار گرفت، هر ردیف از حالت‌ها با یک حرف انگلیسی معین گشت، سپس برای مشخص نمودن بهترین مقادیر پیشنهادی پارامترها برای هر مدل، از شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2) و ضریب همبستگی (r) استفاده شد. به عنوان مثال، در مدل فدس و همکاران (۱۹۷۸)، معادله (۶)، h_3 برابر ۱۰۰۰- و برای h_4 مقادیر ۳۵۰۰-، ۵۰۰۰-، ۱۰۰۰۰-، ۱۵۰۰۰- و ۱۷۰۰۰- پیشنهاد شد و در نهایت با استفاده از معیارهای آماری (R^2) و (r) بهترین پارامترهای پیشنهادی انتخاب شد و به عنوان پارامترهای مدل مذکور مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به پارامترهای موجود در جدول ۳ و براساس نتایج حاصل از مقایسه تعرق نسبی اندازه‌گیری شده با تعرق نسبی به‌دست آمده از مدل فدس و همکاران (۱۹۷۸) که هر دو تابعی از قدر مطلق پتانسیل ماتریک هستند، شکل ۶ ارائه گردید. براساس شکل ۶ و استفاده از معیارهای آماری ضریب تعیین و ضریب همبستگی (جدول ۳) می‌توان پی برد بهترین برازش مربوط به معادله ۶a بود که در آن $|h_3|$ برابر ۱۰۰۰ و $|h_4|$ برابر ۱۷۰۰۰ سانتی‌متر است، لذا با داده‌های اندازه‌گیری شده مطابقت بیشتری دارد. یک تابع خطی نمی‌تواند همه محدوده داده‌های اندازه‌گیری شده را شامل گردد و از نقطه نظر تولید محصول، مهم‌ترین قسمت داده‌های اندازه‌گیری شده در بازه‌ی $|h| < ۴۰۰۰$ cm قرار می‌گیرند، بنابراین مقادیر تعرق نسبی بزرگتر از آن را می‌توان نادیده گرفت (همایی، ۱۹۹۹).

جدول ۳- پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های کاهش جذب آب تحت تنش خشکی و معیارهای آماری برای هر مدل

Table 3- Parameters used in water uptake reduction models under drought stress and statistical criteria for each model

معادله Equation	h_3 or h^* (cm)	h_4 (cm)	h_{50} (cm)	h_{max} (cm)	p	α_0	R^2	r
6a	-1000	-17000	-	-	-	-	0.69	0.83
6b	-1000	-15000	-	-	-	-	0.68	0.83
6c	-1000	-10000	-	-	-	-	0.66	0.81
6d	-1000	-5000	-	-	-	-	0.63	0.79
6e	-1000	-3500	-	-	-	-	0.56	0.75
7a	-	-	-8000	-	1.14	-	0.67	0.82
7b	-	-	-9000	-	1.15	-	0.54	0.73
7c	-	-	-10000	-	1.08	-	0.63	0.79
7d	-	-	-14000	-	1.07	-	0.66	0.81
7e	-	-	-12000	-	0.9	-	0.78	0.68
7f	-	-	-15000	-	1.05	-	0.67	0.82
9a	-1000	-	-8000	-	1.14	-	0.66	0.82
9b	-1200	-	-9000	-	1.15	-	0.67	0.82
9c	-800	-	-10000	-	1.08	-	0.68	0.83
9d	-1000	-	-14000	-	1.07	-	0.65	0.81
9e	-1200	-	-12000	-	1.11	-	0.59	0.77
9f	-800	-	-15000	-	1.05	-	0.67	0.82
10a	-1000	-	-	-7000	0.88	0.59	0.67	0.82
10b	-1200	-	-	-10000	1.36	0.58	0.59	0.77
10c	-800	-	-	-13000	1.06	0.53	0.68	0.82
10d	-1000	-	-	-7000	0.64	0.59	0.70	0.84
10e	-1200	-	-	-10000	0.82	0.58	0.59	0.77
10f	-800	-	-	-13000	0.56	0.53	0.71	0.84
10g	-1400	-	-	-15000	1.10	0.51	0.63	0.79



شکل ۶- برازش خطی بر داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده ($\frac{T_a}{T_p}$) در مقابل قدرمطلق پتانسیل ماتریک $|h|$ با استفاده از مدل فدس و همکاران

(۱۹۷۸) و پارامترهای ارائه شده در جدول ۳

Figure 6- Linear fit on the measured relative transpiration data ($\frac{T_a}{T_p}$) in comparison with the matric potential $|h|$ using Feddes et al., (1978) and the parameters presented in table 3

می‌دهد، که بهترین مقادیر برای h_{50} و p در نظر گرفته شده است. بنابر نتایج، بهترین برازش مربوط به معادله ۷e بود (جدول ۵) که در آن $|h_{50}|$ برابر ۱۲۰۰۰ سانتی‌متر و p برابر ۰/۹ است و تقریباً مابقی

شکل ۷ برازش غیرخطی روی داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده ($\frac{T_a}{T_p}$) در مقابل $|h|$ را توسط مدل ون‌گونوختن (۱۹۸۷) نشان

(۱۹۹۹) می‌باشد. مقدار پارامترهای موردنیاز برای این مدل شامل h^* ، α_0 ، h_{max} و p می‌باشند، که نسبت به مدل‌های قبل دارای مقدار آستانه دوم و تعرق نسبی متناظر با آن می‌باشد و به همین دلیل در مقایسه با مدل‌های قبل برتری دارد. همان‌گونه که از شکل پیداست، این مدل بهترین برازش را نسبت به مدل‌های دیگر داشت و کل محدوده داده‌های اندازه‌گیری شده را پوشش داد. همچنین باتوجه به نتایج حاصل و ضریب تعیین به‌دست آمده (جدول ۳) بهترین برازش را معادله $f = 10$ با مقادیر $h^* = 13000$ ، $h_{max} = 13000$ ، $\alpha_0 = 0.53$ و $p = 0.56$ شامل گردید.

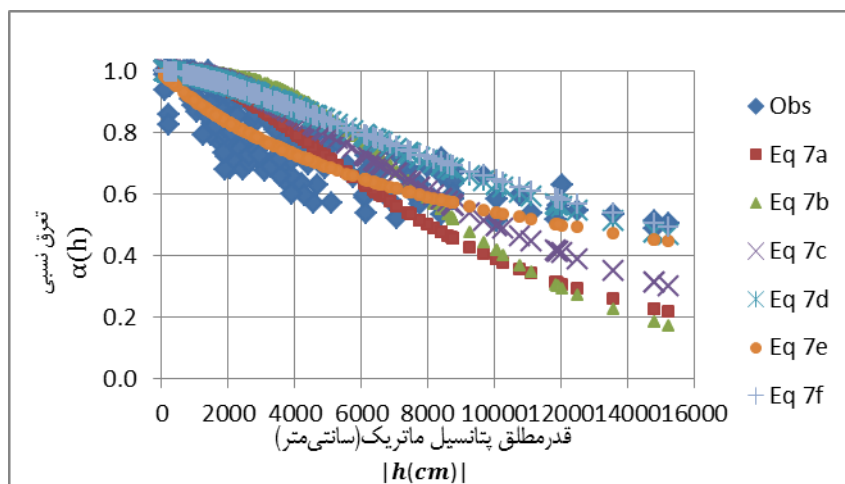
همایی (۱۹۹۹، ۲۰۰۲a)، مقدار h_3 یا h^* را ۸۰۰ و ۱۰۰۰- سانتی‌متر برای گیاه یونجه در نظر گرفت که بیشتر مقادیر در نظر گرفته شده در این تحقیق نیز همین مقدار می‌باشند. هر دو پارامتر h^* و h_{50} وابسته به خصوصیات خاک هستند (همایی، ۱۹۹۹). علت اختلاف جزئی بین کلیه مقادیر در نظر گرفته شده توسط همایی (۲۰۰۲a) و تحقیق حاضر را می‌توان تفاوت در نوع خاک، نوع و رقم گیاه، حساسیت و واکنش گیاه به تنش، شرایط کشت و نیاز آبی گیاه دانست.

منحنی‌ها برازش خوبی روی کل محدوده داده‌های اندازه‌گیری شده نداشتند. با توجه به نتایج دریافتی از سایر معادلات و بنا بر نتایج همایی (۱۹۹۹)، مقادیر پارامترهایی که بهترین نتیجه را برای $|h|$ ‌های پایین به‌دست می‌دهند برای $|h|$ ‌های بالا نتیجه خوبی ارائه ندادند و این یک نقطه ضعف برای این مدل است علاوه بر آن، مدل مذکور مقدار آستانه‌ای به‌عنوان پارامتر ورودی نداشت.

مدل دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) برازش غیرخطی دیگری را روی داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده $(\frac{T_a}{T_p})$ در مقابل $|h|$ نشان

داد. بهترین برازش در گستره $0.45 \leq \alpha(h) \leq 1$ قرار داشت و مربوط به معادله ۹c بود (جدول ۳)، ولی درپتانسیل ماتریک‌های بالا برازش خوبی ارائه نداد. به طور کلی در این مدل نیز، باوجود تعریف مقدار آستانه، هیچ‌یک از منحنی‌ها تمام گستره‌ی داده‌های آزمایشی را پوشش ندادند و برای بهبود آن به تعریف نقاط کنترلی دیگر (مقدار آستانه دوم) لازم بود. در شکل ۸ نتایج مدل دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) نشان داده شده است.

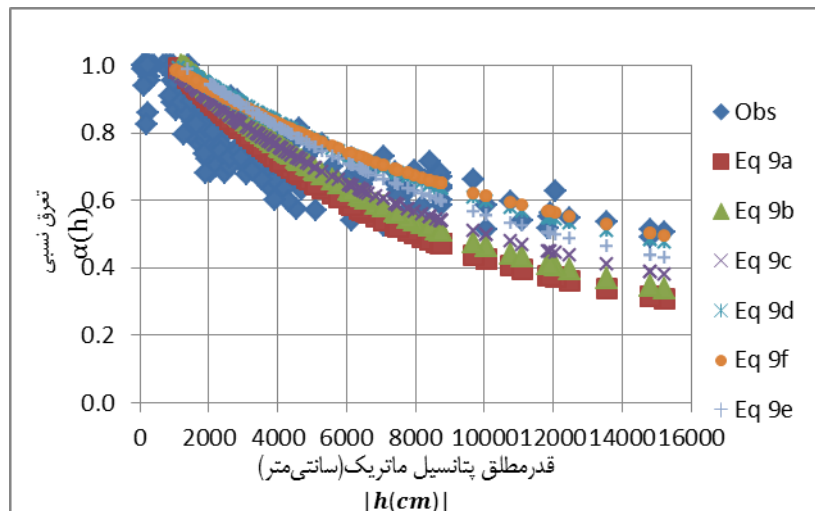
شکل ۹ نیز نشان‌دهنده برازش غیرخطی روی داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده $(\frac{T_a}{T_p})$ در مقابل $|h|$ توسط مدل همایی



شکل ۷- برازش غیر خطی بر داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده $(\frac{T_a}{T_p})$ در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک $|h|$ با استفاده از مدل ون‌گنوختن و

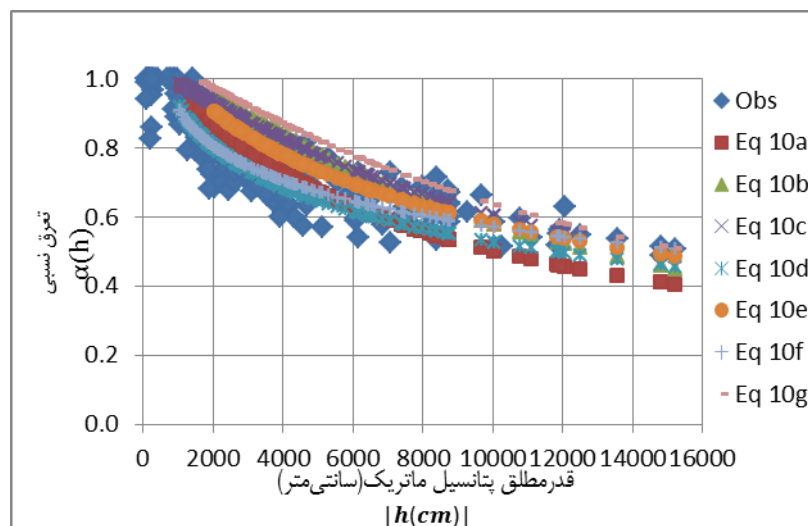
همکاران (۱۹۸۷) و پارامترهای ارائه شده در جدول ۳

Figure 7- Non-linear fit on the measured relative transpiration data $(\frac{T_a}{T_p})$ in comparison with the matric potential $|h|$ using Van Genuchten (1987) and the parameters presented in table 3



شکل ۸- برازش غیرخطی بر داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده ($\frac{T}{T_0}$) در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک $|h|$ با استفاده از مدل دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و پارامترهای ارائه شده در جدول ۳

Figure 8- Non-linear fit on the measured relative transpiration data ($\frac{T}{T_0}$) in comparison with the matric potential $|h|$ using the Dirksen et al., (1993) and the parameters presented in table 3



شکل ۹- برازش غیرخطی بر داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده ($\frac{T}{T_0}$) در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک $|h|$ با استفاده از مدل همایی (۱۹۹۹) و پارامترهای ارائه شده در جدول ۳

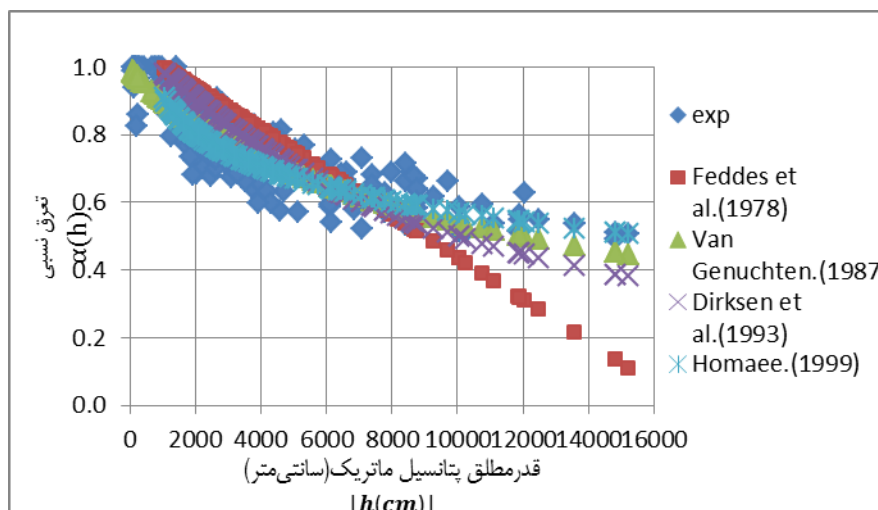
Figure 9- Non-linear fit on the measured relative transpiration data ($\frac{T}{T_0}$) in comparison with the matric potential $|h|$ using Homaei (1999) and the parameters presented in table 3

نظر گرفتن h_3 برابر -1000 و برای h_4 برابر 17000 ، مربوط به معادله (۶a)، بهترین پارامترهای مدل شناخته شدند. شکل ۱۰ برازش مدل‌های کاهش جذب آب شبیه‌سازی شده در شرایط تنش آبی را بر داده‌های اندازه‌گیری شده تعرق نسبی روزانه در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک، نشان می‌دهد، براین اساس می‌توان پی برد که مدل همایی (۱۹۹۹) برازش بهتری نسبت به مدل‌های دیگر داشته است.

باتوجه به نتایج دریافتی از بررسی داده‌های آزمایشی و مدل‌های پیشنهاد شده، مقادیر مربوط به پارامترهای بهترین برازش برای هر مدل در جدول ۴ ارائه شد. براین اساس پارامترهای هر کدام از حالت‌های پیشنهاد شده در جدول ۳ مورد آزمون قرار گرفت و برای هر مدل پارامتری که بهترین برازش را به وجود آورد، انتخاب گشت و در ارزیابی مدل‌های جذب آب مورد استفاده قرار گرفت. به عنوان مثال در معادله قدس و همکاران (۱۹۷۸)، معادله (۶)، بهترین پارامترها با در

جدول ۴- بهترین پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های کاهش جذب آب تحت تنش خشکی
Table 4- The best parameters used in water uptake reduction models under drought stress

معادله Equation	h_3 or h^* (cm)	h_4 (cm)	h_{50} (cm)	h_{max} (cm)	p	α_0
6a	-1000	-17000	-	-	-	-
7e	-	-	-12000	-	0.9	-
9c	-800	-	-10000	-	1.08	-
10f	-800	-	-	-13000	0.56	0.53



شکل ۱۰- برازش بر داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده ($\frac{T_r}{T}$) در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک $|h|$ با استفاده از بهترین مدل‌های پیشنهادی

و تحلیل آماری جدول ۳

Figure 10- Fit to measured relative transpiration data ($\frac{T_r}{T}$) in comparison with the matric potential $|h|$ using the best proposed models and statistical analysis, table 3

جدول ۵- معیارهای آماری محاسبه شده جهت مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف در برآورد تعرق نسبی روزانه با داده‌های اندازه‌گیری شده

Table 5- The statistical measures calculated to compare the performance of different models in estimating daily relative transpiration with measured data

مدل Model	ME	R^2	RMSE	EF	CRM
فدس و همکاران (۱۹۷۸) Feddes et al.(1978)	0.39	0.43	16.46	0.18	-0.05
ون گنوختن و همکاران (۱۹۸۷) Van Genuchten.(1987)	0.15	0.51	8.62	0.77	0.01
دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) Dirksen et al.(1993)	0.22	0.48	12.5	0.4	-0.02
همایی (۱۹۹۹) Homaee.(1999)	0.14	0.96	9.14	0.67	0.02

مدل همایی (۱۹۹۹)، بهترین برازش را روی کل محدوده داده‌های اندازه‌گیری شده داشت و بعد از آن، مدل ون گنوختن (۱۹۸۷) در رتبه دوم قرار گرفت. سپس مدل دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و در نهایت مدل فدس و همکاران (۱۹۷۸) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. ضمن

در جدول ۵ مقایسه آماری نتایج حاصل از داده‌های اندازه‌گیری شده تعرق نسبی و داده‌های حاصل از بهترین مدل‌های مختلف کاهش جذب، در شرایط تنش خشکی ارائه شد. باتوجه به نتایج حاصل از شکل ۱۰ و جدول ۵ می‌توان پی برد که

دو حد آستانه برای مدل، همخوانی بیشتری با داده‌های اندازه‌گیری شده داشت.

نتیجه‌گیری

هدف از تحقیق حاضر، بررسی توابع کاهش جذب آب کاهوبرگی تحت تنش خشکی، کارایی این توابع در پیش‌بینی جذب آب توسط ریشه و تعیین مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی کاهش جذب در شرایط تنش خشکی بود. براین اساس پارامترهای موردنیاز توابع تعیین و بر مبنای بهترین آن‌ها مدل‌های جذب آب بررسی شدند. با توجه به نتایج یافته شده و تجزیه و تحلیل آماری، مدل همایی (۱۹۹۹) نسبت به سایر مدل‌ها برآزش بهتری ارائه داد البته در مکش‌های کوچکتر از ۸۰۰۰ سانتی‌متر، مدل‌های فدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) برآزش بسیار خوب و نزدیکی نسبت به هم داشتند. همچنین، در شبیه‌سازی مقادیر جذب آب، مدل‌های فدس و همکاران (۱۹۷۸) و دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳)، اندکی بیش‌برآوردی و مدل‌های ون‌گنوختن (۱۹۸۷) و همایی (۱۹۹۹) اندکی کم‌برآوردی از خود نشان دادند.

این‌که در $|h|$ های کوچکتر از ۸۰۰۰ سانتی‌متر، مدل‌های فدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) برآزش بسیار خوب و نزدیکی در مقایسه با یکدیگر داشتند، بابازاده و همکاران (۲۰۱۷)، در بررسی اثرات توام تنش شوری و خشکی روی الگوی جذب آب ریشه گیاه ریحان، به این نتیجه رسیدند که از بین مدل‌های ارائه شده، مدل همایی و همکاران (۲۰۰۲b) بهترین توافق را با داده‌های تجربی داشت و افزایش خشکی باعث کاهش پتانسیل جذب آب توسط ریشه گردید. نتایج سرائی تبریزی و همکاران (۱۳۹۴) نیز حاکی از آن است که، مدل همایی (۱۹۹۹) بهترین برآزش را بر داده‌های اندازه‌گیری شده داشته و با نتیجه تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. قابل ذکر است، در شبیه‌سازی مقادیر جذب آب، مدل‌های فدس و همکاران (۱۹۷۸) و دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳)، اندکی بیش‌برآوردی و مدل‌های ون‌گنوختن (۱۹۸۷) و همایی (۱۹۹۹) اندکی کم‌برآوردی داشته‌اند، همایی (۲۰۰۲b، ۱۹۹۹) نیز برای تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی یونجه نشان داد که مدل فدس و همکاران (۱۹۷۸) بیش‌برآوردی و سه مدل دیگر کم‌برآوردی داشته‌اند که نزدیک به نتایج دریافتی می‌باشد و تابع غیرخطی پیشنهادی همایی و همکاران (۲۰۰۲b)، نسبت به دیگر مدل‌های جذب آب به دلیل در نظر گرفتن

منابع

- 1- Azizian A., Sepaskhah A.R., and Zand-Parsa Sh. 2015. Modification of a maize simulation model under different water, nitrogen and salinity levels. *International Journal of Plant Production* 9(4): 609-632.
- 2- Babazadeh H., Sarai Tabrizi M., and Homaee M. 2017. Assessing and modifying macroscopic root water extraction basil (*Ocimum basilicum*) models under simultaneous water and salinity stresses. *Soil Physics and Hydrology, Soil Science Society of America Journal*, 5585 Guilford Rd, Madison WI 53711 USA.
- 3- Badavi H., Alemzadeh Ansari N., Mahmudi Servestani M., and Eskandari F. 2015. Effect of drought stress and mycorrhizal fungus on some morpho-physiological characteristics of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plant Products (Agricultural Science Magazine)* 38(3): 27-39. (In Persian)
- 4- Braud I., Varado N., and Oliso A. 2005. Comparison of root water uptake modules using either the surface energy balance or potential transpiration. *Journal of Hydrology* 301: 267-286.
- 5- Couvreur V., Vanderborgh J., and Javaux M. 2012. A simple three-dimensional macroscopic root water uptake model based on the hydraulic architecture approach. *Hydrology and Earth System Sciences* 16: 2957-2971.
- 6- Dirksen C., Kool J.B., Koorevaar P., and Van Genuchten M.Th. 1993. simulation model of hysteretic water and solute transport in the root zone. *Water Flow and Solute Transport in Soils* 99-122.
- 7- Elahi Kia E. 2018. Evaluating water uptake models under water stress conditions for Lettuce plant. M.Sc. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz.
- 8- Feddes R.A., Kowalik P., and Zarandy H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. the netherlands saline water in supplemental irrigation of wheat and barley under rainfed agriculture. *Agricultural Water Management* 78: 122-127.
- 9- Green S.R., Kirkham M.B., and Clothier B.E. 2006. Root uptake and transpiration from measurements and models to sustainable irrigation. *Agricultural Water Management* 86: 165-176.
- 10- Homaee M. 1999. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University.
- 11- Homaee M., Dirksen C., and Feddes R.A. 2002a. Simulation of root water uptake I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *Agricultural Water Management* 57: 89-109.
- 12- Homaee M., Feddes R.A., and Dirksen C. 2002b. Simulation of root water uptake II. Non-uniform transient water stress using different reduction functions. *Agricultural Water Management* 57: 111-126.
- 13- Homaee M., Feddes R.A., and Dirksen C. 2002c. A macroscopic water extraction model for nonuniform transient salinity and water stress. Published in *Soil Sciences* 66: 1764-1772.

- 14- Hoseini Y., Babazadeh H., and khakpour Arablo B. 2015. Evaluation of water uptake reduction functions of pepper plant under simultaneous stress conditions of drought and salinity stress. *Journal of Water Research in Agriculture* 29(4): 509-523. (In Persian)
- 15- Li K.Y., De Jong R., and Boisvert J.B. 2001. An exponential root water uptake model with water stress compensation. *Journal of Hydrology* 252: 189-204.
- 16- Peters A., Durner W., and Iden S. 2017. Modified feddes type stress function reduction for modeling root water uptake, Accounting for limited aeration and low water potential. *Agricultural Water Management* 185: 126-136.
- 17- Richards L.A. 1931. Capillary conduction of liquids in porous mediums. *Physics* 1: 318–333.
- 18- Sarai Tabrizi M., Homaee M., Babazadeh H., Kaveh F., and Parsinejad M. 2015. Modeling basil response to water stress under different soil water levels. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 46(2): 163–171. (In Persian)
- 19- van Genuchten M.Th. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Research Report, US Salinity Laboratory, Riverside, CA.



Evaluation of Water Uptake Reduction Functions of Lettuce (Red Salad Bowl) under Drought Stress Conditions

E. Zoratipour¹ - A. Soltani Mohammadi^{2*} - N. Alemzadeh Ansari³

Received: 21-11-2018

Accepted: 29-04-2019

Introduction: when the loss of water from the leaves by transpiration process exceeds the water in the root zone, water stress occurs. If water uptake reduction functions can predict the flow of water to the roots properly, with no need to field measurements, it is possible to determine the time of irrigation for maximum yield with the help of chemical and physical properties of water and soil and specific plant parameters. From a conceptual point of view, two main approaches of water uptake modeling exist, which differ in the way they predict the volumetric rate of root water uptake. The microscopic models describe the water flow towards the single root. Macroscopic models are based on the principles of energy and mass transfer and described water uptake by the entire root area, regardless of the impact of individual roots. In general, macroscopic models have been considered in plant growth and soil-plant-atmosphere models. The most important models of macroscopic water uptake can be referred to the model of Feddes et al. (1978), the Van-Genuchten model (1987), the Dirksen et al. (1993) and Homaei (1999). Saraei Tabrizi et al. (2015) with an evaluation of the water uptake reduction functions under water stress conditions on basil plant showed that the Homaei (1999) model was more suitable than other models. The purpose of the present study is to evaluate the four macroscopic water uptake reduction functions of Feddes et al., (1978), Van Genuchten (1987), Dirksen et al., (1993) and Homaei (1999) in order to predict water uptake by lettuce root and determining the most suitable model to predict the reduction of water uptake of lettuce under water stress conditions.

Materials and Methods: The experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in 2017 in the research greenhouse of Agriculture Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz. The experiment consisted of irrigation water at three levels (I_1 :100%, I_2 :80% and I_3 :60% of crop water requirement). The soil texture was medium. The cultivation was indirect (seedling) in pots of diameter 22 and height 30 cm. For this purpose, 9 pots were used. The plant's growth period was about 70 days. The irrigation was done by the manual method and by the graduated bushel. During the growing season, treatments were irrigated fifteen times. The volume of water used for treatments I_3 , I_2 and I_1 were respectively 792, 1055 and 1320 ($m^3 \cdot ha^{-1}$). The weighted method was used to determine the time of irrigation and the soil moisture characteristic curve was used to measure the matric potential. 12 pots were considered as destructive ones for measuring plant weight as it was not possible to measure the weight of plants per day. In order to evaluate the water uptake reduction functions, relative transpiration was plotted against the absolute value of matric potential and the best model was determined by fitting them, to the measured data. For this purpose, the statistical indicators of the Maximum Error (ME), coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE), modeling efficiency (EF) and Coefficient of Residual Mass (CRM) were used.

Results and Discussion: Based on the results, the model of Homaei (1999) and the model of Van Gennuchten (1987) had the best fit on the whole range of measured data, respectively. Then, the model of Dirksen et al. (1993) and, the model of Feddes et al. (1978) were ranked. In addition, in models that $|h|$ was smaller than 8000 cm, like Feddes et al. (1978), Van Gennuchten (1987), Dirksen et al. (1993) showed good fit and proximity to each other. Babaazadeh et al. (2017) in studying the effect of salinity and drought stress on the uptake of root water of basil, concluded that the Homaei (1999) model had the best agreement with experimental data and increasing drought stress reduced the potential of water uptake by roots. Also Saraei

1 and 2- M.Sc. Student and Associate Professor of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(*- Corresponding Author Email: a.soltani@scu.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Tabrizi et al. (2015) concluded that the Homaee (1999) model had the best fit with the measured data and the results were in accordance with the results of this study. Based on the results of this study, for simulation of water uptake, the models of Feddes et al. (1978) and Dirksen et al. (1993) are slightly overestimated and Van Gennuchten (1987) and Homaee (1999) models have slightly underestimated. Homaee (1999) in his research was conducted that in treatment of 70% water requirement supply for alfalfa, Feddes et al. (1978) model was overestimated and other models were underestimated which are close to the results. Homaee (1999) model was more consistent compared to other water uptake models because of considering two thresholds for the model.

Conclusion: According to the results, Homaee (1999) model was better than other models (RMSE=9.14 and $R^2 = 0.96$). The results of the models of Feddes et al. (1978) with $R^2 = 0.43$ and RMSE = 16.46, Van Gennuchten (1987) with $R^2 = 0.51$ and RMSE = 8.62 and Dirksen et al. (1993) with $R^2 = 0.48$ and RMSE = 12.5 were closely related to each other.

Keywords: Lettuce, Uptake reduction functions, Water stress



مطالعه ژنتیکی ارتباط خاک و زمین‌نما در منطقه خشک فاریاب، استان کرمان

زهرا مقبلی^۱ - حمیدرضا اولیایی^{۲*} - صالح سنجرى^۳ - ابراهیم ادهمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

چکیده

جهت افزایش بهره‌وری از خاک در کشاورزی پایدار، آگاهی از ویژگی‌های مختلف آن ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر به منظور مطالعه نحوه تشکیل، طبقه‌بندی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی خاک‌های منطقه فاریاب در استان کرمان با رژیم رطوبتی و حرارتی اریدیک و هایپرترمیک، در سطوح ژئومورفیک مختلف انجام گرفت. اشکال اراضی منطقه شامل مخروط‌افکنه، دشت رسوبی، اراضی پست و تپه در منطقه بودند. بر روی هر واحد ژئومورفیک، یک یا چند خاک رخ حفر، تشریح و نمونه‌برداری شدند. نمونه‌های خاک تحت آزمایش‌های معمول قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با حرکت از واحدهای تپه و مخروط‌افکنه به سمت واحدهای پایین‌دست، بافت خاک سنگین‌تر، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل، هدایت الکتریکی، پهاش، نسبت سدیم جذب، بیشتر و میزان گچ کمتر گردید. زیرگروه جدید Calcic Natrigypsis برای افزودن به تاکسونومی پیشنهاد می‌شود. کانی‌های رسی شامل ایلیت، پالیکورسکیت، کلریت، اسمکتیت، کاتولینیت، ورمی کولیت و کوارتز می‌باشند. بیشترین میزان پالیکورسکیت در افق‌های تجمعی گچ در واحدهای تپه و مخروط‌افکنه بود و با حرکت به سمت واحدهای مرکزی دشت به میزان زیادی از مقدار آن کاسته و به میزان اسمکتیت افزوده شد. کانی‌های کاتولینیت، ایلیت و کلریت، کانی‌های توارشی تشخیص داده شدند. بررسی مقاطع نازک نشان‌دهنده وجود کربنات کلسیم به شکل‌های نودول، پوشش در دیواره حفرات می‌باشد. همچنین بلورهای گچ به فرم عدسی‌شکل، کروی و بی‌شکل و یا پرشدگی و یا به صورت صفحات در هم قفل شده مشاهده شدند. پوشش رسی در افق ناتریک در موقعیت اراضی پست در دیواره کانال‌های خاک مشاهده شد. نتایج پژوهش، نمایانگر نقش مهم سطوح ژئومورفیک در تغییرپذیری ویژگی‌های خاک‌های منطقه مطالعاتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم خشک، تکامل خاک، کانی‌شناسی رس، میکرومورفولوژی

مقدمه

خاک‌های مختلف بیان داشتند که شدت خاکسازى تا حد زیادى به خصوصیات سطوح ژئومورفولوژى وابسته است و خصوصیات این سطوح باعث تغییر درجه هوایدگی، میزان شست و شوى املاح محلول خاک، مراحل و فرایندهای شست و شو و انتقال مواد، عمق تجمع املاح و در نهایت عمق سولوم می‌گردد. اریدی‌سول‌ها مهمترین راسته خاک‌ها در مناطق خشک هستند. این خاک‌ها بیش از ۱۸ درصد از خاک‌های سطح زمین را اشغال کرده‌اند و بیشترین خاک‌های معمول در جهان هستند (۲۱). رابطه خاک و ژئومورفولوژی در مناطق خشک و نیمه خشک، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است (۹، ۳۰ و ۴۲).

خاک‌های گچی به طور معمول در مناطق خشک و نیمه خشک گسترش دارند (۴۸). این خاک‌ها به طور خاص، بیش‌ترین سطح را در اریدی‌سول‌های ایران تشکیل می‌دهند (۲۱). این خاک‌ها بر حسب منشأ در واحدهای ژئومورفیک متفاوتی تجمع می‌یابند و لایه‌های سخت شده گچی بیشتر به صورت موضعی در بیابان‌های گرم با

تحولات خاک تحت تأثیر عوامل خاکسازى اقلیم، مواد مادری، پستی و بلندی، موجودات زنده و زمان می‌باشد که این مجموعه تحت عنوان شرایط محیطی مختلف معرفی شده‌اند و در تشکیل و تکامل انواع خاک‌ها با درجه توسعه‌یافتگی متفاوت ایفای نقش می‌کنند. خاک‌های مختلف تحت تأثیر عوامل متفاوت و طی فرایندهای مختلف تشکیل، توسعه و تکامل می‌یابند (۱۷). رابطه خاک و ژئومورفولوژی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است (۱، ۳۷، ۳۸ و ۴۰). آنجوس و همکاران (۳) با بررسی

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

*- نویسنده مسئول: (Email: owliaie@gmail.com)

۳- مربی گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت

در منطقه نیمه خشک گچساران در جنوب غرب ایران، خاک‌های تکامل‌یافته‌تر با افق‌های آرچیلیک، کلسیک و جیسیک را در سطوح پایدارتر مشاهده نمودند. کانی‌های رسی مشاهده شده در همه موقعیت‌ها از نظر نوع کم و بیش مشابه بوده اما مقادیر بیشتر پالیگورسکیت و مقادیر کمتر اسمکتیت در در خاک‌های قدیمی‌تر گچی مشاهده شدند. همچنین در مطالعات میکرومورفولوژی در این منطقه، کریستال‌های بزرگتر گچ در خاک‌های با بافت سبکتر و همچنین در سطوح پایدارتر ژئومورفیک مشاهده شدند.

بسیاری از پدیده‌ها و فرآیندهای تشکیل خاک با چشم غیر مسلح دارای وضوح کافی نیست و از این رو میکرومورفولوژی مطمئن‌ترین روش برای تشخیص فرآیندهای پیچیده در خاک است (۱۹). سنجری و همکاران (۴۲) مطالعه میکرومورفولوژی را در خاک‌های منطقه جیرفت انجام داده که این مطالعات حاکی از وجود عوارض خاکساخت پوشش رس و آهک، بلورهای سوزنی‌شکل آهک، بلورهای عدسی-شکل گچ و صفحات درهم قفل‌شده گچ در سطح پایدار پدیمت پوشیده می‌باشد. در شکل اراضی حدواسط، پدوفیچرهای گچ مشاهده نشد و تنها پوشش رس، پُرشدگی رس و نیز عوارض خاکساخت مرکب حاصل از پوشش رس و پرشدگی آهک مشاهده گردید. اولیایی و همکاران (۳۷) طی مطالعه میکرومورفولوژی خاک‌های منطقه نیمه-خشک دهدشت و چرام در جنوب غربی ایران، پوشش و پرشدگی حفرات از بلورهای گچ و آهک و همچنین وجود نودول‌های اکسید Fe و Mn را عوارض خاکساخت غالب مشاهده شده در این خاک‌ها گزارش نمودند. همچنین وجود اشکال متفاوت از گچ در سطوح متفاوت ژئومورفیک بیانگر پویایی محیط خاک این منطقه بوده است. خرمالی و همکاران (۲۳) در مطالعه میکرومورفولوژیکی افق آرچیلیک خاک‌های شور و سدیمی، نوع متفاوتی از پوسته‌های رسی را مشاهده کردند که در معرض سدیم بالا قرار داشتند. اغلب این پوسته‌ها به صورت قطعات پراکنده مشاهده گردیدند. این نوع پوسته‌های رسی، ویژه افق‌های ناتریک می‌باشند که رس درشت در اثر انتشار توسط یون سدیم، حرکت و تجمع می‌یابد. معاذالهی و فرپور (۲۹) بیان کردند که توپوگرافی و آب و هوا نقش مهمی در پیدایش و میکرومورفولوژی خاک‌های منطقه لاله‌زار استان کرمان دارند و در این خاک‌ها، پدوفیچرهای گچ را به صورت عدسی شکل و صفحات در هم قفل‌شده گزارش کردند. آنها همچنین پدوفیچرهای آهک را به شکل پوشش، پرشدگی و نادول در افق‌های Btk و Bk مشاهده کردند.

نظر به عدم وجود گزارش‌های خاک‌شناسی در منطقه فاریاب در استان کرمان از یک سو و اهمیت زیاد مطالعات روابط خاک و سطوح زمین‌نما در درک فرآیندهای ژئومورفیکی و خاک‌سازی، تکامل اشکال اراضی و مدیریت خاک‌ها از سوی دیگر، این پژوهش با توجه به تنوع سطوح ژئومورفیک در این منطقه برای دستیابی به اهداف زیر صورت

بازراندگی سالیانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر دیده می‌شوند (۴۸). فرپور و همکاران (۸) ویژگی‌های اربیدی سول‌های گچی و نمکی منطقه نوق رفسنجان را در ارتباط با سطوح ژئومورفیک بررسی کردند. بر اساس نتایج آنها منشاء گچ، واحد پدیمت سنگی در منطقه می‌باشد. تومانیان و همکاران (۴۸) نحوه تشکیل خاک را در واحدهای فیزیوگرافی در منطقه اصفهان بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که افق‌های گچی در ارتباط با سطوح ژئومورفیک از توالی تکاملی متفاوتی به لحاظ میکرومورفولوژی برخوردار هستند. تومانیان و همکاران (۴۷) با کاربرد دو سامانه تاکسونومی و طبقه‌بندی جهانی برای کلاس-بندی خاک‌های گچی شمال غربی اصفهان بیان نمودند که هرچند تاکسونومی تلاش می‌کند تا کاستی‌های موجود در سطوح بالاتر خود را در سطح فامیل برطرف کند؛ اما هنوز قادر به رقابت با سامانه طبقه‌بندی جهانی برای کلاس‌بندی خاک‌های گچی نمی‌باشد.

نوع و میزان کانی‌های رسی، بیانگر بسیاری از ویژگی‌های مربوط به تشکیل و تکامل خاک‌ها در زمان گذشته و اقلیم دیرینه آن‌ها می‌باشد (۱۸ و ۱۱). مطالعاتی در ارتباط با تعیین کانی‌های رسی خاک-های استان کرمان انجام شده است. برای مثال، فرپور و همکاران (۹) پس از مطالعه بر روی نحوه تشکیل و توزیع پالیگورسکیت و کانی‌های رسی همراه در خاک‌های موجود بر سطوح مختلف ژئومورفیک در حوالی رفسنجان دریافتند که رابطه نزدیکی بین مورفولوژی پالیگورسکیت و موقعیت ژئومورفیک وجود دارد و بیان کردند در سطوح ژئومورفیک بالادست (پدیمت سنگی)، بلورهای بزرگتر و تعداد بیشتری از این کانی وجود دارند، در حالی که در قسمت‌های پایین‌تر (پلایا)، بلورها دارای تعداد کمتر و اندازه کوچکتر می‌باشند. سنجری و همکاران (۴۲) در مطالعه کانی‌شناسی رسی خاک‌های منطقه جیرفت، وجود کانی‌های کلریت، ایلیت، پالیگورسکیت، اسمکتیت و کائولینیت را گزارش کردند. آن‌ها بیان کردند که با حرکت به سمت دشت ابرفتی، به علت بالا بودن سطح آب زیرزمینی، از پایداری پالیگورسکیت کاسته می‌شود و اسمکتیت، کانی غالب خاک می‌باشد. منشأ کانی پالیگورسکیت در اشکال اراضی پدیمت پوشیده، قدیمی حد واسط و دشت ابرفتی، به ترتیب، موروثی، پدوژنیک و آواری می‌باشد.

باهورزهی و همکاران (۴) در مطالعه کانی‌شناسی رسی خاک‌های واقع بر سطوح مختلف ژئومورفیک در منطقه ساردوئیه-جیرفت، کانی‌های رسی ایلیت، اسمکتیت، کلریت، ورمیکولیت، پالیگورسکیت و کائولینیت را گزارش کردند. آنها بیان کردند که کانی‌های پالیگورسکیت (سطح پایدار پدیمت پوشیده)، ورمیکولیت (اراضی پست) و اسمکتیت (اراضی پست) به ترتیب، دارای منشأ خاکساز، تغییر شکل یافته و اتوژنیک می‌باشند و اسمکتیت در سطوح دیگر دارای منشأ تغییر شکل یافته می‌باشد. اولیایی و همکاران (۳۸) در مطالعه یک ردیف سنگی و پستی و بلندی

پذیرفت: ۱- مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی رسی و میکرومورفولوژی خاک‌ها در ارتباط با سطوح ژئومورفیک و ۲- مطالعه نحوه پیدایش و بررسی میزان کارایی و همبستگی دو سامانه رده‌بندی آمریکایی و طبقه‌بندی جهانی در ارتباط با گروه‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی

مواد و روش‌ها

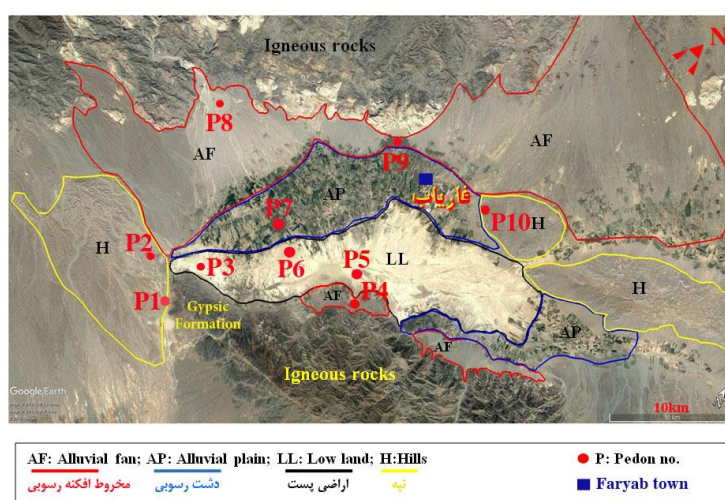
مشخصات منطقه

دشت فاریاب با وسعت ۱۴ هزار هکتار در جنوب شرقی ایران و در فاصله‌ی ۳۳۰ کیلومتری جنوب غرب شهر کرمان، در استان کرمان قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع متوسط دشت فاریاب ۶۳۰ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط دمای این منطقه ۲۳/۸ سانتی‌گراد و میزان بارندگی سالانه آن حدود ۱۶۰ میلی‌متر است. مختصات منطقه مورد مطالعه بین عرض جغرافیایی $28^{\circ}09'58''$ و $28^{\circ}05'41''$ شمالی و طول جغرافیایی $57^{\circ}13'59''$ و $57^{\circ}23'15''$ شرقی قرار گرفته است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه به ترتیب اریدیک و هایپرترمیک

می‌باشد. منطقه فاریاب به طور عمده از رسوبات جوان دوران چهارم (کوآترنری) تشکیل شده است که شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن‌های گچ‌دار تشکیل شده است. این رسوبات جوان عمدتاً بر روی دو بخش شامل آبرفت‌های جوان رودخانه‌ای و مخروط‌افکنه‌های جوان قرار دارند. کوه شاه، در جنوب و جنوب شرق منطقه فاریاب با ارتفاع ۱۹۴۲ متر از سطح دریا قرار داشته که متشکل از سنگ‌های اولترابازیک شامل دولومیت، لرزولیت، هارزبورژیت بوده که به صورت موضعی سرپانتینی شده است. کوه مهرگل در شمال دشت فاریاب از آهک مرمری شده همراه با آمفیبولیت‌های شیبست سبز رنگ تشکیل شده است. کوه پاسفید در شمال شرق دشت فاریاب از فیلیت، ماسه‌سنگ دگرگونی، میکاشیست، آمفیبولیت، مرمر و کوارتزیت تشکیل شده است. هر سه این کوه‌ها مربوط به دوره Prepermian-Paleozoic است. همچنین سازندهای جوان‌تر از جنس ماسه‌سنگ، کنگلومرای گچ‌دار و مارن گچ‌دار مربوط به دوره Oligi-Mio-Pliocene در بخش‌هایی از شرق گسترش دارد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی فاریاب در استان کرمان و ایران
Figure 1- Location of the Faryab study area in Kerman Province and Iran



شکل ۲- عکس ماهواره‌ای منطقه مطالعاتی به همراه موقعیت‌های ژئومورفیک و خاک‌رخ‌های مطالعه شده
Figure 2- Sattelite image of the study area along with geomorphic positions and the studied pedons

کلوخه‌های دست‌نخورده با دست و یا جعبه‌های کوبینا از افق‌های مورد نظر تهیه گردید. مقاطع نازک تهیه شده (۳۲) با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل Lite مورد مطالعه، تشریح (۴۶) و در دو حالت نورپولاریزه صفحه‌ای (PPL) و متقاطع (XPL) مورد مطالعه و از قسمت‌های مورد نظر بوسیله دوربین دیجیتالی عکسبرداری گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و نحوه‌ی تشکیل و

طبقه‌بندی خاک‌ها

موقعیت اشکال اراضی و خاکرخ‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های شاهد را نشان می‌دهد. جدول ۲ میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک واحدهای ژئومورفیک را به تفکیک نشان می‌دهد. بافت خاک منطقه به طور کلی سبک تا بسیار سبک بوده (به جز خاکرخ‌های ۵ تا ۷ که در موقعیت‌های اراضی پست و دشت رسوبی قرار دارند) میانگین میزان شن، سیت و رس در خاک‌های منطقه به ترتیب ۶۳/۹، ۲۱/۵ و ۱۴/۶ درصد می‌باشد (جدول ۱). بیشترین میزان شن در خاکرخ‌های ۴، ۸ و ۱۰ در موقعیت‌های مخروط‌افکنه (۸۴/۵ درصد) و تپه (۷۶/۹ درصد) مشاهده شد (جدول ۲). پهاش خاک‌ها نیز در دامنه ۷/۱ تا ۸/۲ گزارش شد. مقادیر بالاتر پهاش در خاک‌های سدیمی با مقادیر بالاتر سدیم محلول و SAR مشاهده شدند. این خاک‌ها در موقعیت اراضی پست و دشت رسوبی (خاکرخ‌های ۵، ۶ و ۷) قرار داشتند. براساس نتایج جدول ۲ مقدار میانگین پهاش در اراضی پست و دشت رسوبی ۷/۸۶ و ۷/۶۲ و در واحدهای تپه و مخروط افکنه به ترتیب ۷/۴۱ و ۷/۴۲ بوده است که نشان دهنده تجمع سدیم در اراضی پست‌تر بوده است. بر همین اساس میزان SAR در اراضی پست و دشت رسوبی به ترتیب ۷۸/۱ و ۳۹/۷ و بالاتر از حد بحرانی ۱۳ که مرز خاک سدیمی و غیر سدیمی است، می‌باشد (جدول ۲). هدایت الکتریکی (EC) خاک‌های منطقه در دامنه ۰/۳ تا ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده است. خاک‌های شور منطقه در موقعیت اراضی پست (خاکرخ‌های ۳، ۵ و ۶) با زهکشی نسبتاً ضعیف قرار داشتند. خاکرخ ۷ نیز در موقعیت دشت رسوبی و در حاشیه اراضی پست قرار داشته و نسبت به سایر خاکرخ‌ها شوری بیشتری را نشان داد. مقدار میانگین هدایت الکتریکی در اراضی پست و دشت رسوبی ۴/۲ و ۲/۳۴ و در واحدهای تپه و مخروط افکنه به دلیل بافت سبک‌تر و شیب بیشتر به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۵۸ دسی‌زیمنس بر متر بوده است.

با توجه به حضور سازندهای گچی به ویژه در بخش‌های شرقی و جنوبی منطقه، انتظار حضور این ترکیب در خاک منطقه می‌رفت.

در مجموع دشت فاریاب متأثر از سازندهای رسوبی، آذرین و دگرگونی می‌باشد (۱۲). پوشش درختی و درختچه‌ای منطقه شامل کهور، کنار، گز، اسکنبیل و پوشش علفی شامل آلاله، آویشن، پونه، مریم گلی و گون می‌باشد. حدود ۷۰۰ هکتار از منطقه به باغ‌های مرکبات و نخلستان اختصاص پیدا کرده است.

برای انجام این پژوهش، ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰)، نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰)، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت و مطالعات صحرایی، اشکال اراضی مخروط‌افکنه، دشت رسوبی، اراضی پست و تپه در منطقه مطالعاتی شناسایی و تفکیک شدند (شکل ۲). سپس تعداد ۱۰ خاکرخ روی اشکال اراضی مزبور حفر، تشریح (۴۴) و از افق‌های ژنتیکی آن‌ها برای انجام آزمایش‌های مورد نظر نمونه‌برداری شد. پس از انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی رسی و میکرومورفولوژی، خاکرخ‌های منطقه مطالعاتی توسط سامانه رده‌بندی آمریکایی (۴۵) و طبقه‌بندی جهانی (۱۴) رده‌بندی شدند.

تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌ها در آزمایشگاه، هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برای تعیین بافت خاک، از روش هیدرومتر (۷) استفاده گردید. واکنش خاک در گل اشباع توسط دستگاه پهاش‌سنج مدل Jenway، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی مدل Jenway اندازه‌گیری شد. کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون برگشتی (۴۰)، گچ به روش ترسیب با استون (۳۴)، ماده آلی به روش اکسایش تر (۳۳)، سدیم محلول به‌وسیله دستگاه نشر اتمی مدل Jenway و کلسیم و منیزیم محلول به‌وسیله تیتراسیون (۲۶) تعیین گردید.

مطالعات کانی‌شناسی رس

پس از طی مراحل آماده‌سازی به روش جکسون (۱۵) و کیتریک و هوپ (۲۵)، بخش رس موجود در نمونه‌های خاک با استفاده از سانتریفیوژ جدا و چهار تیمار مختلف شامل اشباع با منیزیم، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول، اشباع با پتاسیم و اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس تهیه شد. نمونه‌های آماده شده به‌وسیله دستگاه پراش پرتو ایکس مدل Bruker در زاویه ۲θ بین صفر تا ۴۰ درجه در ولتاژ ۴۰ کیلوولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر بررسی و نمودارهای پراش پرتو ایکس مربوطه حاصل شد.

مطالعات میکرومورفولوژی

جهت مطالعات میکرومورفولوژی در زمان تشریح خاکرخ‌ها،

می‌باشد.

به جز خاک‌رخ‌های ۳، ۵، ۶ و ۷ (واحدهای دشت رسوبی و اراضی پست)، سایر خاک‌رخ‌ها دارای حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد سنگریزه در سطح بودند که به طور معمول با افزایش عمق مقدار آن زیاد می‌شود. خاک‌های منطقه بر اساس طبقه‌بندی تاکسونومی در راسته اریدیسول و در سه زیر راسته Argids، Calcids و Gypsids و بر اساس طبقه‌بندی سامانه جهانی در سه گروه مرجع Gypsisols، Solonetz و Calcisols طبقه‌بندی شدند (جدول ۱). در خاک‌رخ‌های ۱ و ۲ حضور توام آهک و گچ ثانویه مشاهده شد که البته حضور گچ مشهودتر بوده است و با توجه به حلالیت و تحرک بیشتر گچ نسبت به آهک، افق جیپسیک در زیر افق کلسیک تشکیل شده است. رده‌بندی هر دو خاک مزبور بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی به صورت Typic Calcigypsids می‌باشد. میزان شوری، پهاش و SAR به دلیل شیب بیشتر و حرکت املاح به طرف سطوح پایین‌دست، در مقایسه با خاک‌رخ‌های ۳، ۵، ۶ و ۷ کمتر می‌باشد. خاک‌رخ‌های ۴، ۸ و ۹ بر روی موقعیت مخروط‌افکنه قرار گرفته‌اند. هر سه این خاک‌رخ‌ها دارای تجمع گچ ثانویه در افق‌های زیرین بوده و دارای بافت بسیار سبک با زهکشی خوب بوده‌اند. رده‌بندی این خاک‌ها بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی به صورت Typic Haplogypsids و بر مبنای سامانه رده‌بندی جهانی Haplic Gypsisols می‌باشد. خاک‌رخ‌های ۳، ۵ و ۶ در واحد اراضی پست قرار داشته و دارای بیشترین میزان رس (۲۵٪)، ماده آلی (۰/۶۲٪)، گچ (۱۴٪)، هدایت الکتریکی (۴/۲ دسی‌زیمنس بر متر)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۱۰/۳ سانتی‌مول بر کیلوگرم)، سدیم (۳۱۴ میلی‌اکی والان بر لیتر) و SAR (۷۸/۱) می‌باشند (جدول ۲). رده‌بندی این خاک‌ها بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی به صورت Typic Natrigypsids و بر مبنای سامانه رده‌بندی جهانی Gypsic Solonetz می‌باشد.

یکی از وظائف مهم سامانه‌های طبقه‌بندی خاک، شناسایی تفاوت ویژگی‌های مهم خاک برای اهداف مدیریتی می‌باشد. از نظر مقایسه قابلیت دو سامانه تاکسونومی و رده‌بندی جهانی (WRB) در طبقه‌بندی خاک‌های این منطقه بایستی ذکر کرد که سامانه رده‌بندی جهانی، وجود ویژگی فلوویک (Fluvic) را در برخی خاک‌رخ‌ها در سطح صفت کمکی نشان می‌دهد، در حالی که در تاکسونومی در زیر راسته‌های Argids و Gypsids مشخصه‌ای برای بیان این ویژگی تاسطح زیرگروه ارائه نشده است. در تاکسونومی میان افق تجمع گچ (Gypsum) و انهدریت (Anhydrite) تمایز قائل شده و در حالی که این شناسی و نامگذاری افق این تمایز لحاظ می‌شود، در حالی که این تفکیک در رده‌بندی جهانی (WRB) صورت نگرفته است. مورد دیگر اینکه حضور پوشش رسی در خاک سدیمی Solonetz که با صفت کمکی cutanic (و نه صفت اصلی) نشان داده می‌شود در حالی که در تاکسونومی حضور پوشش رسی در شرایط سدیمی (افق ناتریک) در

مقدار میانگین گچ در خاک‌های منطقه ۱۰/۶ درصد و در دامنه مقادیر ناچیز تا ۴۱/۲ درصد (افق Bym خاک‌رخ ۲) متغیر بوده است. گچ ثانویه در این خاک‌ها به شکل میسلوم (رشته‌ای)، بلورین، آویزه (پندانت) و سخت کفه مشاهده شد (شکل ۳). فرپور و همکاران (۸) منشأ گچ را در ایران مرکزی در نتیجه فعالیت‌های کوه‌زایی اواخر کرتاسه تا میوسن می‌دانند. در اثر این فعالیت‌ها دریای عمیق تتیس به چندین دریاچه کم عمق بسته مجزا تقسیم گردیده است. تبخیر آب این دریاچه‌ها در اثر آب و هوای گرم و خشک ترشیری باعث تبلور کانی گچ در سواحل این دریاچه‌ها شده است. مقدار میانگین کربنات کلسیم معادل خاک ۳۴/۲ درصد و در دامنه ۱۳/۶ تا ۵۳ درصد بوده است (جدول ۱). کربنات کلسیم ثانویه خاک در اشکال رشته‌ای، تجمعات نرم و سخت دانه مشاهده شد. با توجه به حلالیت ناچیز کربنات کلسیم و جوان بودن خاک‌های منطقه تمایز چندان زیادی از نظر میزان کربنات کلسیم معادل در بین واحدهای مختلف مشاهده نشد (جدول ۲). مقادیر کربن آلی خاک نیز با توجه فقر پوشش گیاهی کم بوده و حداکثر به یک درصد می‌رسد. نکته قابل توجه تغییرات نامنظم میزان کربن آلی با عمق در بسیاری از خاک‌رخ‌ها به ویژه در واحدهای دشت رسوبی و اراضی پست بوده که بیانگر رسوبگذاری‌های متوالی در دوره‌های گذشته بوده است (ویژگی فلوویال). حداکثر میزان میانگین کربن آلی در واحد اراضی پست ۰/۶۲ درصد و حداقل در واحدهای تپه و مخروط افکنه ۰/۳۶ درصد بوده است. آبشویی رس نیز در مناطق مرکزی دشت در واحدهای دشت رسوبی و اراضی پست (خاک‌رخ‌های ۳، ۵، ۶ و ۷) مشاهده گردید که علاوه بر افزایش نسبی میزان رس، پوشش رسی به صورت پوسته‌های رسی پراکنده بر روی واحدهای ساختمانی خاک مشاهده شدند. شرایط سدیمی این خاک با پراکنش خاکدانه‌ها امکان جدا شدن ذرات و انتقال عمودی آنها را در طول خاک‌رخ فراهم نموده است. با توجه به اقلیم خشک کنونی منطقه محتمل است که افق تجمع رس در این خاک‌رخ‌ها مربوط به اقلیم مرطوب‌تر گذشته است. شواهد وجود آب و هوای مرطوب‌تر در گذشته ایران مرکزی توسط خرمالی و همکاران (۲۲)، خادمی و مرموت (۲۱) و فرپور و همکاران (۹) نیز گزارش شده است. افزایش میزان رس، حضور پوسته‌های رسی در سطوح خاکدانه‌ها و حفرات و حضور پوشش‌های رسی در مقطع نازک شواهدی از تغییر مکان رس‌ها و ایجاد افق آرجیلیک محسوب می‌گردند. رطوبت قابل دسترس بیش‌تر در اقلیم گذشته باعث شست‌وشوی کربنات‌ها و سولفات‌ها و به دنبال آن تسهیل انتقال رس و تشکیل افق تجمع رس آبشویی شده گردیده است. بعد از آن، تغییر رژیم رطوبتی و خشک شدن اقلیم باعث نهشته شدن رسوبات جدید روی افق آرجیلیک و مدفون شدن آن گردیده است. عامل کلیدی برای تجمع رس، وجود دوره‌های خشکی است تا رس منتقل شده نگهداری شود (۱۰). تتلون و همکاران (۳۵) معتقدند افق آرجیلیک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پدیده‌ای معمول

سطح گروه بزرگ (Natrigypsids) نشان داده می‌شود که جایگاه بالاتری است.

همچنین کانی‌شناسی خاک که به ویژه در مدیریت خاک اهمیت دارد، در سامانه آمریکایی در سطح فامیل نشان داده می‌شود در حالی که در سامانه جهانی در اکثر موارد این ویژگی در نام خاک ذکر نمی‌شود. به علاوه در صورت حضور توأمان افق‌های کلسیک، جیپسیک و ناتریک در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری سطح خاک (خاکرخ ۳)، رده‌بندی خاک بر اساس تاکسونومی در سطح زیرگروه به صورت Typic Natrigypsids می‌باشد، در حالی که حضور افق کلسیک نشان داده نمی‌شود، در حالی که در رده‌بندی جهانی به صورت Calcic Gypsic Solonetz (cutanic) طبقه‌بندی می‌شود که هر سه ویژگی در گروه مرجع و صفات اصلی و کمکی نشان داده می‌شود. پیشنهاد می‌شود برای این منظور زیرگروه جدید Calcic Natrigypsids به تاکسونومی افزوده شود. در مجموع می‌توان بیان کرد که هر چند سامانه طبقه‌بندی جهانی، از دو سطح مختلف در ساختار خود بهره می‌گیرد؛ اما به دلیل انعطاف‌پذیری در استفاده از صفات مختلف، در اغلب اوقات، به یک سطح قابل قبول از صحت طبقه‌بندی خاک‌های این منطقه به عنوان نمونه‌ای از خاک‌های مناطق خشک با مواد مادری گچی، نمکی و آهکی دست می‌یابد. سرمست و همکاران (۴۳) در مطالعه توانمندی دو سامانه طبقه‌بندی یاد شده در خاک‌های آهکی و گچی مرکز ایران، اظهار نمودند که هر کدام از این دو سامانه دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود می‌باشند، اما در مجموع سامانه رده‌بندی جهانی را دارای انعطاف‌پذیری بیشتری جهت توصیف خاک‌های مطالعه شده دانسته‌اند اما استفاده همزمان از هر دو سامانه را توصیه نموده‌اند.

کانی‌شناسی رسی خاک‌ها

جدول ۳ مقادیر نیمه کمی کانی‌های رسی مشاهده شده را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج کانی‌های مشاهده شده به ترتیب شامل ایلیت، پالیگورسکیت، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت، ورمی‌کولیت و کوارتز می‌باشند. حضور این کانی‌ها در خاک‌های مناطق خشک جنوب ایران در منابع زیادی گزارش شده است (۲۷، ۹، ۴۲، ۳۹ و ۴). بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش کانی‌های ایلیت و کلریت در تمامی خاکرخ‌ها در مقادیر متوسط تا نسبتاً زیادی حضور دارند. با توجه به رژیم آریدیک منطقه و میزان بالای این کانی‌ها در مواد مادری (از جمله افق‌های C خاکرخ‌های ۸ و ۱۰) و هوازدگی پایین، این کانی‌ها با منشأ زمین‌ساخت به خاک‌های منطقه منتقل شده‌اند. نقش توارث در منشأ کانی کلریت در خاک‌های منطقه مورد مطالعه مشهود می‌باشد. عدم وجود شرایط مناسب برای تشکیل کانی کلریت شامل آب‌شویی شدید، اسیدیته کم‌تر از ۶ دمای زیاد و خارج شدن هیدروکسیدهای بین‌لایه‌ای، مؤید وراثتی بودن کانی کلریت می‌باشد. خرمالی و ابطحی (۲۳) معتقدند که فراوانی کلریت در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک استان فارس به حضور آن در سنگ بستر ارتباط دارد. همچنین با توجه به عدم شرایط اقلیمی لازم برای تشکیل کانی کائولینیت، منشأ مادری و یا بادرستی برای این کانی در خاک‌های منطقه مورد انتظار است. خرمالی و ابطحی (۲۳) وجود کانی‌های کلریت، ایلیت و کائولینیت را در خاک‌های مناطق خشک گزارش کردند و منشأ ارثی را عامل اصلی وجود آن‌ها در خاک می‌دانند.



بادورهای سوزنی شکل گچ (خاکرخ ۲) (P 2) Needle-like gypsum



سخت گد، گچی (خاکرخ ۲) (P 2) Gypsic hardpan



آویزه گچی (خاکرخ ۲) (P 2) Gypsum pendent



آویزه گچی (خاکرخ ۱) (P 1) Gypsum pendent

شکل ۳- برخی عوارض گچی مشاهده شده در خاکرخ‌های مطالعه شده
Figure 3- Some gypsiferous pedofeatures in the studied pedons

کانی اسمکتیت در مقابل کاهش میزان پالیگورسکیت می‌تواند بیانگر تغییر شکل این کانی در نتیجه آبشویی و افزایش هوازدگی باشد. اولیایی و همکاران (۳۸) در مطالعه رابطه ویژگی‌های پدوژنیک خاک و زمین‌نما در خاک‌های نیمه‌خشک جنوب غرب ایران اظهار داشتند که مقدار زیادی از اسمکتیت از مواد مادری حاوی مارن به ارث برده می‌شود، گرچه بعضی از آن‌ها ممکن است محصول تبدیل ایلیت و همچنین هوازدگی پالیگورسکیت، به ویژه در افق‌های سطحی باشد. نورمندی‌پور و همکاران (۳۶) با مطالعه خاک‌های گچی منطقه کشکوئیه کرمان، تشکیل اسمکتیت در این خاک‌ها را نتیجه تغییر شکل پالیگورسکیت به اسمکتیت گزارش کرده‌اند. پالیگورسکیت از کانی‌های حساس به میزان هوازدگی و بارندگی در منطقه است. بر اساس نظر پاکوت و میلوت (۴۱) در صورتی که بارندگی سالیانه منطقه از ۳۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید، پالیگورسکیت به اسمکتیت تبدیل می‌شود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌های خاک منطقه نیز حضور رشته‌های کلاف‌مانند این کانی را به صورت بیرون‌زدگی‌های شعاعی از درون کانی‌های گچی نشان می‌دهد (شکل ۵). محققان معتقدند این نوع آرایش سوزن‌های پالیگورسکیت بیانگر پدوژنیک بودن این کانی است (۳۷). میلوت (۲۸) معتقد است که برای تشکیل پالیگورسکیت، شرایط شیمیایی خاصی نظیر وجود کربنات‌ها ضروری بوده و محیط غنی از سیلیکا، آهک و منیزیم تشکیل این کانی را تسریع می‌کند. لذا با توجه به وجود شرایط مزبور در سطوح بالادست این منطقه، منشأ پدوژنیک برای کانی پالیگورسکیت مورد انتظار است. اولیایی و همکاران (۳۷) در مطالعه‌ای بر روی خاک‌هایی با مواد مادری آهکی و گچی در جنوب غرب ایران نیز، پالیگورسکیت را به صورت بیرون‌زدگی‌هایی بر روی سطح بلورهای گچ مشاهده و به منشأ پدوژنیک بودن این کانی اشاره کردند. خاک‌های گچی و آهکی قادر به ایجاد محیط قلیایی بافر به همراه کاتیون‌ها و آنیون‌های لازم برای تبلور پالیگورسکیت می‌باشند، اما ویژگی‌های شیمیایی محلول در خاک‌های گچی در مقایسه با خاک‌های آهکی شرایط مناسب‌تری را برای تشکیل کانی پالیگورسکیت ایجاد می‌کند (۳۷).

میکرومورفولوژی خاک‌ها

خلاصه ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی خاک‌های منطقه در جدول ۴ نشان داده شده است. عوارض خاکساخت یا همان پدوفیچرهای مشاهده در مقاطع نازک خاک‌ها شامل گچ (پوشش درون حفرات، بلورهای عدسی شکل در ابعاد مختلف در حفرات و زمینه خاک، صفحات در هم قفل شده گچی)، کربنات کلسیم (پوشش درون حفرات و پرشدگی و سخت‌دانه)، پوشش رس در امتداد کانال و حفرات و تجمعات اکسیدهای آهن و منگنز در زمینه خاک بوده‌اند. کانی‌های اولیه‌ای چون کوارتز، میکا، کلریت، پیروکسن و مگنتیت نیز

بیشترین مقادیر کانی اسمکتیت در واحدهای اراضی پست و دشت رسوبی (خاک‌رخ‌های ۳، ۵، ۶ و ۷) مشاهده شدند. تیمار نمونه‌های رسی با اتیلن گلیکول موجب انبساط پیک ۱/۴ نانومتری به بیش از ۱/۷ نانومتر شده است که بیانگر پایین بودن بار لایه‌ای این رس می‌باشد (شکل ۴ ب و د). مقادیر اندک اسمکتیت در نمونه‌های رس واحدهای بالادست از جمله تپه و مخروط‌افکنه و افزایش نسبتاً زیاد این کانی در واحدهای دشت رسوبی و اراضی پست می‌تواند بیانگر تشکیل پدوژنیک این کانی در واحدهای پست‌تر و با شیب کمتر، با توجه به مهیا بودن شرایط شیمیایی تشکیل این کانی در خاک می‌باشد. طبق اظهارات بورچاردت (۶) عواملی که منشأ و تشکیل اسمکتیت‌ها را در خاک‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهند عبارت از توپوگرافی پست، زهکشی ضعیف و مواد مادری غنی از بازها می‌باشند، که منجر به شرایط شیمیایی مساعد برای تشکیل اسمکتیت یعنی pH بالا، فعالیت بالای سیلیسیم و کاتیون‌های بازی فراوان می‌گردد. همچنین حضور کوه‌های آذرین شاه، مهرگل و پاسفید در منطقه، امکان تشکیل اسمکتیت را از میکای موجود در سنگ‌های مشتق شده از این رشته کوه ممکن می‌سازد. فرپور و همکاران (۹) در بررسی اربیدی‌سول‌های گچی و نمکی رفسنجان اعلام کردند که کانی‌های رسی اسمکتیت، پالیگورسکیت، ایلیت و کلریت در تمام خاک‌های این منطقه وجود داشته است و آن‌ها معتقدند که پس از تبلور گچ در محیط‌های دریاچه‌ای قدیمی، نسبت Mg/Ca در آب افزایش یافته است. بنابراین شرایط تشکیل پالیگورسکیت به صورت نتوژن در سواحل قدیمی مهیا گردیده است. ولی در اثر ادامه تبخیر و تبلور گچ و تشکیل پالیگورسکیت از یک سو، و پایین افتادن سطح آب دریاچه‌ای از سوی دیگر، پس از مدتی نسبت Mg/Ca کاهش یافته و بنابراین شرایط برای تشکیل اسمکتیت در سطوح ژئومورفولوژی پایین‌تر فراهم شده است. در پراش‌نگاشت‌های برخی نمونه‌ها از جمله افق 2Btyzn1 خاک‌رخ ۵ در واحد اراضی پست، تیمار پتاسیم منجر به کاهش شدت پیک ۱/۴ نانومتر و افزایش شدت پیک ۱/۰ نانومتر گردیده که به حضور برخی کانی‌های انبساط‌پذیر با بار لایه‌ای زیاد مثل ورمی‌کولیت نسبت داده می‌شود. این کانی به عنوان یک کانی حدواسط در تغییر شکل کانی‌های میکایی به اسمکتیت مطرح می‌باشد (۲۵).

کانی رشته‌ای پالیگورسکیت نیز در مقادیر متوسط تا نسبتاً زیادی در خاک‌های منطقه مشاهده شد. پیک‌های رده اول ۱/۰۵ و رده دوم ۰/۶۴ نانومتر در پراش‌نگاشت، بیانگر حضور این کانی می‌باشد (شکل ۴ الف، ب، د). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشترین میزان این کانی در افق‌های تجمعی گچ (By و Cy) در واحدهای تپه و مخروط‌افکنه بوده و با حرکت به سمت واحدهای مرکزی دشت به میزان زیادی از مقدار این کانی کاسته می‌شود. افزایش نسبی میزان

جزء کانی‌های زمین‌زاد مشاهده شده در نمونه‌های خاک بوده‌اند. توزیع ذرات درشت به ریز ($10\ \mu\text{m}$) در دامنه $3/7$ تا $8/2$ و فاصله میان اجزای درشت در دامنه باز تا بسته بوده است. از آنجا که در همه نمونه‌ها واحدهای بزرگ‌تر در یک زمینه متراکم از واحدهای کوچکتر قرار گرفته‌اند، توزیع به صورت پورفیریک بوده است. در مطالعات صحرایی در افق B واحدهای اراضی پست و دشت رسوبی مقادیری پوشش رسی بر روی واحدهای ساختمانی مشاهده شدند. افزایش میزان رس آبشویی شده در این افق‌ها نسبت به افق‌های بالایی شرایط را برای در نظر گرفتن این افق‌ها به عنوان آرجیلیک (ناتریک) مهیا نموده‌است. مطالعات میکرومورفولوژیکی، نشان‌دهنده وجود عوارض خاکساخت پوشش رس و بلورهای گچ در این افق‌ها می‌باشد (شکل ۶د). عوارض خاکساخت یاد شده باعث ایجاد بی‌فابریک خرده بلوری^۱ و حفره محور در این افق‌ها شده است. به طور معمول نتایج مطالعات میکرومورفولوژی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان داده‌اند که پوسته‌های رسی در این افق‌ها بسیار کم بوده که پژوهشگران این امر را به خصوصیت انبساط و انقباض این خاک‌ها در اثر رس زیاد و شرایط خشکی و رطوبتی دوره‌ای این مناطق نسبت می‌دهند (۲۰ و ۴۹). پوشش‌های رس در خاک، شواهدی از انتقال رس از افق‌های بالایی به افق‌های تحتانی در نتیجه نفوذ آب هستند که بافت نسبتاً سبک تا متوسط خاک هم در افزایش آبشویی رس مؤثر بوده است. وجود دوره‌های خشک به عنوان عامل کلیدی برای تجمع رس گزارش گردیده است. به این صورت که دوره‌های خشک این امکان را فراهم می‌آورند تا رس انتقال یافته نگهداری شود (۵). در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله منطقه فاریاب، افق ناتریک سریعتر از افق آرجیلیک تشکیل می‌شود که علت آن خصوصیت پراکنش‌دهندگی سدیم و نقش مهم آن در متلاشی‌کردن خاکدانه‌ها و در نتیجه انتقال سریعتر کلویدهای رسی به اعماق خاک است.

ابطحی (۲) در بررسی تأثیر پستی و بلندی و عمق سفره آب زیرزمینی شور و سدیمی در تشکیل خاک منطقه سروستان به این نتیجه رسید که در دشت‌های رسوبی با سفره آب نسبتاً عمیق افق جیپسیک، در دشت‌های دامنه‌ای پایین با سفره آب عمیق افق ناتریک و در دشت‌های دامنه‌ای بالایی با سفره آب خیلی عمیق، افق آرجیلیک تشکیل شده‌اند. نتایج پژوهش فرپور و همکاران (۸) در منطقه نوق رفسنجان نشان داد که افق Bt موجود در این منطقه، در اثر اقلیم مرطوب‌تر گذشته تشکیل شده است و با افزایش نمک از سطوح اطراف به سطح پلایا و سپس شست‌وشوی عمقی آن، این افق به صورت Btz (آرجیلیک و سالیک) در آمده است. بلورهای

گچ با توجه به گسترش سازندهای گچی در منطقه در بسیاری از خاک‌ها مشاهده شدند. این بلورها به طور معمول در فرم‌های عدسی‌شکل، شبه شش ضلعی، مدور، بی‌شکل و همچنین به صورت صفحات در هم قفل شده مشاهده شدند. به طور معمول با توجه به حلالیت نسبتاً زیاد این کانی، میزان گچ با افزایش عمق زیاد می‌شود. صفحات در هم قفل شده در حفرات خاک می‌تواند در اثر حل شدن سایر شکل‌های گچ از جمله بلورهای عدسی‌شکل باشد.

جعفرزاده و بورنهام (۱۶) گزارش کردند که امکان تشکیل بلورهای عدسی‌شکل گچ در تمام شرایط آب و هوایی وجود دارد. اندازه حفرات و بافت خاک ارتباط مستقیمی در اندازه بلورهای عدسی‌شکل گچ دارند. در خاک‌های مطالعه شده این بلورها در اندازه ۵۰ تا ۴۰۰۰ میکرومتر مشاهده شدند (شکل ۶ع و ۶ف). در مطالعات انجام شده توسط اولیایی و همکاران (۳۷) بلورهای عدسی‌شکل بزرگتر گچ، در خاک‌های با بافت سبک‌تر و همچنین در سطوح پایدارتر ژئومورفیک مشاهده شدند. فرپور و همکاران (۸) ضمن مطالعه خاک‌های گچی منطقه نوق رفسنجان، به کم شدن سنگریزه، ریزتر شدن خلل و فرج و ریزتر شدن بافت خاک به عنوان شرایط تشکیل فرم عدسی گچ اشاره نموده‌اند. هاشمی و همکاران (۱۳) معتقدند که حضور کلرید سدیم منجر به دهیدراته شدن و جذب رطوبت از محیط اطراف شده و لذا به رشد بلورهای گچ کمک می‌کند. نامبردگان همچنین اشاره نمودند که میکرومورفولوژی گچ به میزان زیادی تابع رژیم رطوبتی خاک است به گونه‌ای که در رژیم اریدیک بیشتر فرم‌های سوزنی، فیبری، منشوری، تیغه‌ای و صفحات در هم قفل‌شده و در رژیم نیمه‌خشک فرم عدسی شکل غالب است.

در خاکرخ‌های ۳ و ۵، افق‌های تجمع توام گچ و آهک مشاهده شدند. به طور معمول انتظار وجود آهک و گچ در مجاورت یکدیگر به دلیل تفاوت در حلالیت آن‌ها نمی‌رود. اگر گچ قبل از آهک تجمع می‌یافت، با توجه به حلالیت بالاتر گچ نسبت به آهک، می‌بایست در هنگام تجمع آهک، گچ آبشویی می‌شد. به نظر می‌رسد که ابتدا آهک در زمان‌های مرطوب‌تر تجمع یافته و سپس با ایجاد دوره‌های خشک‌تر و افزایش گچ، این کانی نیز به خاک اضافه گردیده و در مجاور آهک قرار گرفته است. مقیسه و حیدری (۳۱) در مطالعه خاک‌های پلی‌ژنیک شور و گچی منطقه بم در استان کرمان، حضور توام نمک‌های با حلالیت مختلف در یک افق را بیانگر افزوده شدن آنها به یک افق در دوره‌های مختلف یا همان پلی‌ژنیک بودن خاک می‌دانند. در مجموع نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی خاک‌های منطقه به میزان زیادی از موقعیت ژئومورفیک، بافت خاک و مواد مادری می‌باشد. حضور تجمعات اکسید آهن نیز به ویژه در خاکرخ‌های اراضی پست به تناوب دوره‌های اکسایش و کاهش در خاک و انحلال و رسوب این ترکیبات مرتبط می‌باشد (شکل ۶ الف).

جدول ۲- میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک واحدهای ژئومورفیک در منطقه مطالعه شده

Table 2- The average of physical and chemical properties of the soils of geomorphic units in the study area

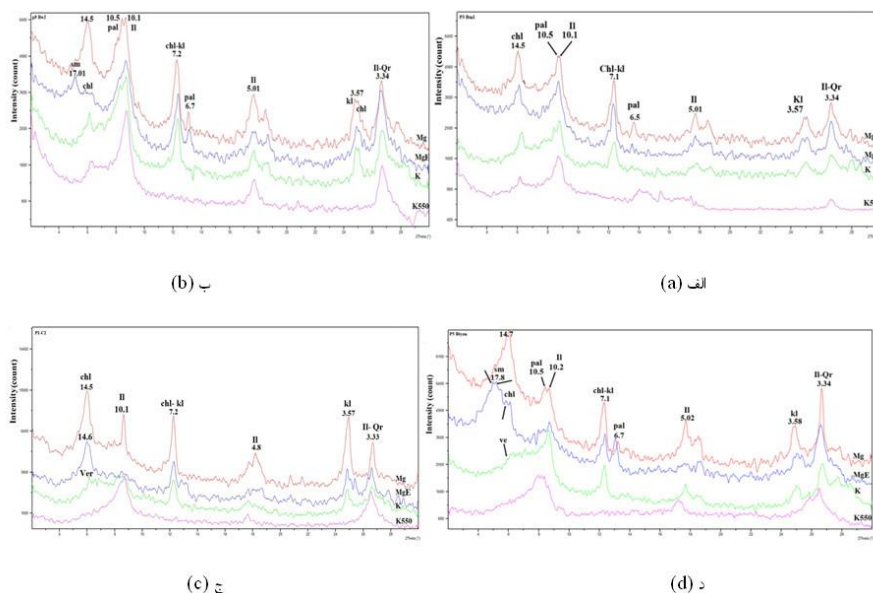
واحد ژئومورفیک Geomorph unit	شن Sand (%)	رس Clay (%)	pH (گل اشباع)	ماده آلی OM (%)	گچ Gypsum (%)	آهک CCE (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	سدیم Na me.l ⁽¹⁾	نسبت سدیم جذبی SAR
تپه Hill	76.9	9.1	7.41	0.36	10.0	33.3	0.32	7.95	3.34	4.0
مخروط افکنه Alluvial fax	84.5	6.0	7.42	0.36	11.4	32.5	0.58	7.8	3.17	4.6
اراضی پست Low land	36.5	25.0	7.86	0.62	14.0	37.4	4.2	10.3	314	78.1
دشت رسوبی Alluvial plain	51.8	23.0	7.62	0.56	0.78	37.8	2.34	9.84	218	39.7

جدول ۳- فراوانی نسبی کانی‌های رسی در برخی خاک‌های مطالعه شده

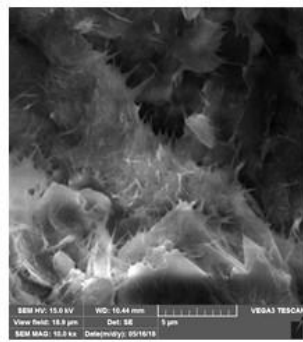
Table 3- Relative frequency of clay minerals in selected soils under study

خاکرخ Pedon	افق Horizon	اسمکتیت Smectite	ایلیت Illite	کلریت Chlorite	ورمیکولیت Vermiculite	کائولینیت Kaolinite	پالیکورسکیت Palygorskite	کوارتز Quartz
1	By3	+	++	++	-	+	+++	+
3	Btyn1	++	+++	++	-	+	++	-
5	2Btyzn1	++	++	+	++	+	++	+
6	Byz	+++	++	++	+	++	-	+
7	2Btyn2	++	++	++	-	+	++	+
8	Cy3	-	+++	++	+	++	++	+
9	By2	-	+++	++	-	++	+++	-
10	Ck2	-	++	+++	+	+	++	-

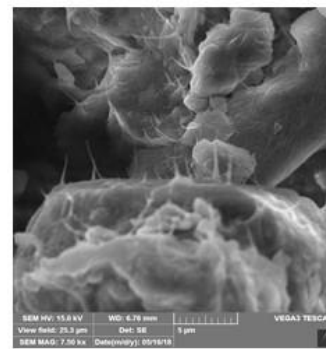
- جزئی یا وجود ندارد، +: کمتر از ۱۵ درصد، ++: ۱۵ درصد تا کمتر از ۲۵ درصد، +++: ۲۵ درصد تا کمتر از ۳۵ درصد، ++++: ۳۵ درصد تا ۴۵ درصد
- negligible; +: <15%; ++: 15-25%; +++: 25-35%; ++++: >35%.



شکل ۴- پراش نگاشت‌های رسی. الف) افق By2 خاکرخ ۹، ب) افق Btyn1 خاکرخ ۳، ج) افق y3 خاکرخ ۸، د) افق 2Btyzn1 خاکرخ ۵، Mg: اشباع با منیزیم، MgE: اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، K: اشباع با پتاسیم K550: اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد
Figure 4- X-Ray diffractograms of the clay fraction, a) P9/By2, b) P3/Btyn1 c) P8/Cy3, d) P5/2Btyzn1, Mg= Mg saturated; MgE= Mg saturated with Ethylene glycol; K=K saturated; K550=K saturated and heated to 550 °C, Sm= Smectite, V: Vermiculite, Ch:Chlorite, K:Kaolinite, I: Illite, Pal:Palygorskite



(ب)



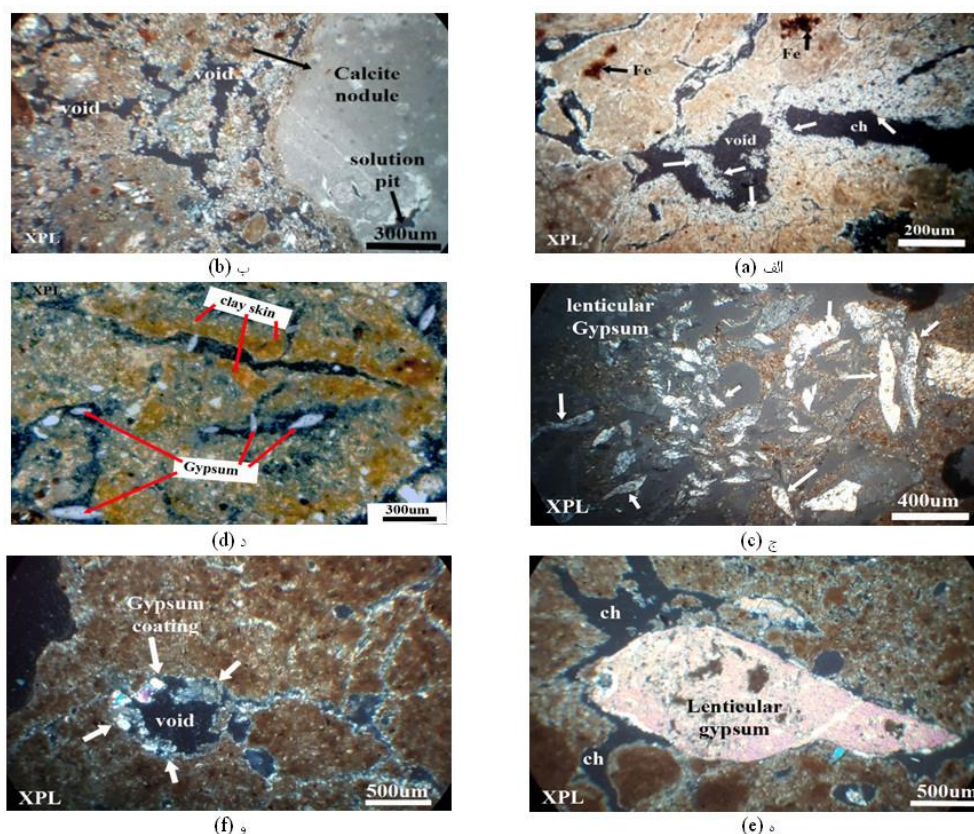
(الف)

شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از رشته‌های پالیکورسکیت بر روی کریستال‌های گچ (الف) خاکرخ ۱ / By3، (ب) خاکرخ ۸ / Cy3
Figure 5- SEM micrographs of palygorskite fibers on gypsum crystals (a) P1/By3 (b) P8/Cy3

جدول ۴- ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی مقاطع نازک مطالعه شده

Table 4- Micromorphological properties of the studied thin sections

خاکرخ / افق Pedon/Horizon	عوارض خاکساخت Pedofeature	بی-فابریک b-fabric	نسبت ذرات درشت به ریز C/F ratio (10 μm)	حفرات- ساختمان Pore- Structure
1/Bky1	نودول آهکی، پوشش آهک در حفرات و کانالها، گچ عدسی شکل Calcite nodules, coating and infilling of calcite, lenticular gypsum crystals	خرده بلوری کلسیتی و گچی Calcitic & gypsic crystallitic	8/2 پورفیریک یک فاصله Single-spaced porphyritic	حجره و صفحه‌ای Chamber and Plane
2/Bk	نودول زمین‌ساخت، پوشش و پرشدگی آهک در حفرات و کانالها Geogenic nodule, coating and infilling of calcite in voids and channels	خرده بلوری کلسیتی Calcitic crystallitic	6/4 پورفیریک یک فاصله Single-spaced porphyritic	کانال، حجره و صفحه‌ای Channel, Chamber and Plane
3/Btyn2	پوشش رس، بلور عدسی گچ Clay Coating, lenticular gypsum crystals	خرده بلوری گچی، لکه‌ای و خطی Crystallitic Gypsic Crystallitic, Speckled and linear	5/5 پورفیریک یک- فاصله، کیتونیک Double-spaced porphyritic, chitonic	کانال و صفحه‌ای Channel and Plane
5/Ayz	بلورهای هالیت، بلور عدسی شکل گچ Halite crystals, lenticular gypsum crystals (20-100 μm)	خرده بلوری گچی Gypsic Crystallitic	8/2 پورفیریک دو فاصله Double-spaced porphyritic	حجره و وگ Chamber and Vugh
5/Byz1	گچ عدسی شکل، صفحات قفل شده گچ، پوشش گچ در حفرات، اکسید آهن Lenticular gypsum crystals, interlocked gypsum plates, coating of gypsum in voids, Fe oxides	خرده بلوری گچی Gypsic Crystallitic	6/4 پورفیریک باز Open porphyritic	کانال، حجره و وگ Channel, Chamber and Vugh
5/Byz2	گچ عدسی شکل، صفحات قفل شده گچ، پوشش گچ در حفرات Lenticular gypsum crystals, interlocked gypsum plates, coating of gypsum in voids	خرده بلوری گچی Gypsic Crystallitic	پورفیریک 3/7 یک فاصله Single-spaced porphyritic	کانال، حجره و وگ Channel, Chamber and Vugh
5/Btyzn1	بلور عدسی و شبه‌شش ضلعی گچ، صفحات در هم قفل شده و پرشدگی گچ Lenticular and pseudohexagonal gypsum crystals, Interlocked gypsum plates and gypsum infilling	خرده بلوری گچی Gypsic Crystallitic	4/6 پورفیریک یک فاصله Single-spaced porphyritic	کانال، حجره و وگ Channel, Chamber and Vugh
5/Btyzn2	صفحات درهم قفل شده گچ و پرشدگی ناقص آنها Interlocked gypsum plates and incomplete infilling of gypsum	خرده بلوری گچی Gypsic Crystallitic	5/5 پورفیریک بسته Single-spaced porphyritic	کانال، حجره و وگ Channel, Chamber and Vugh
6/Btyzn2	گچ عدسی شکل، صفحات درهم قفل شده گچ و پرشدگی کامل آنها Lenticular gypsum crystals, Interlocked gypsum plates and complete infilling of gypsum	خرده بلوری گچی Gypsic Crystallitic	3/7 پورفیریک دو فاصله Double-spaced porphyritic	کانال، حجره و صفحه‌ای Channel, Chamber and Plane



شکل ۶- تصاویر مقاطع نازک انتخابی، (الف) کوتینگ کربنات کلسیم در حفرات به همراه تجمع اکسید آهن پخشیده در ماتریکس خاک (خاکرخ ۱)، (ب) سخت دانه کلسیت توارثی به همراه حفرات انحلالی (خاکرخ ۲ افق Bk)، (ج) بلورهای عدسی شکل گچ در اندازه های مختلف توزیع شده در حفرات بزرگ (خاکرخ ۵ افق Ayz)، (د) پوشش رسی در دیواره کانال به همراه بلور عدسی شکل گچ درون حفرات (خاکرخ ۳ افق Bty2)، (ه) کریستال عدسی شکل گچ در اندازه بسیار بزرگ (خاکرخ ۵ افق Btyzn1)، (و) کوتینگ گچ در دیواره حفره خاک (خاکرخ ۵ افق Byz2)

Figure 6- Selected thin section images, a) coating of calcium carbonate carbonate in voids cavities, along with diffused Fe oxide in soil matrix (P1/Bk), b) Geogenic calcite nodule with solution pits (P2/Bk), c) Lenticular gypsum crystals in different sizes distributed in large voids (P5/Ayz), d) clay skin along challel with lenticular gypsum crystals (P3/Btyzn1), e) Large lenticular gypsum crystal (P5/Btyzn1), f) coating of gypsum inside a void (P5/Byz2)

نتیجه گیری

خاک‌های این منطقه را در مقایسه با تاکسونومی ارائه می‌دهد. بر اساس نتایج کانی‌شناسی، کانی‌های مشاهده شده به ترتیب شامل ایلیت، پالیکورسکیت، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت، ورمی‌کولیت و کوارتز بوده‌اند. بیشترین میزان پالیکورسکیت در افق‌های تجمعی گچ در واحدهای تپه و مخروط‌افکنه بوده و با حرکت به سمت واحدهای مرکزی دشت به میزان زیادی از مقدار این کانی کاسته و به میزان اسمکتیت افزوده شد. به دلیل عدم وجود شرایط لازم برای تشکیل کانی‌های کائولینیت، ایلیت و کلریت، این کانی‌ها به ارث رسیده از مواد مادری هستند. کانی پالیکورسکیت در خاک‌های منطقه به نظر می‌رسد دارای منشأ خاکساز باشد که کربنات کلسیم ثانویه و همچنین گچ ثانویه باعث پایداری این کانی گردیده است. نتایج مطالعات میکرومورفولوژیکی، حاکی از وجود عوارض خاکساخت گچ و آهک (به صورت پوشش و پرشدگی) بلورهای عدسی شکل گچ و صفحات در

نتایج این پژوهش، حاکی از آن است که خاک‌های با تکامل خاکرخی بیشتر، بر روی سطوح ژئومورفیک اراضی پست و دشت رسوبی و خاک‌های با تکامل کم‌تر بر روی سطوح تپه و مخروط‌افکنه مشاهده شدند. مهم‌ترین فرایندهای پدوژنیکی در خاک‌های این منطقه، آبشویی نمک، گچ، آهک و رس و تشکیل افق‌های کلسیک، جیپسیک، پتروجیپسیک و ناتریک می‌باشد. خاک‌های منطقه بر اساس طبقه‌بندی تاکسونومی در راسته اریدیسول و در سه زیر راسته Argids، Calcids و Gypsids و بر اساس طبقه‌بندی سامانه جهانی در سه گروه مرجع Solonetz و Gypsisols و Calcisols طبقه‌بندی شدند. زیرگروه جدید Calcic Natrigypsisols برای افزودن به تاکسونومی پیشنهاد می‌شود. سامانه طبقه‌بندی جهانی، به دلیل انعطاف‌پذیری در استفاده از توصیف‌کننده‌ها، وضعیت بهتری از

ژئومورفیک قرار گرفته است. با توجه به موقعیت‌های مختلف ژئومورفیک در منطقه، تکوین و تکامل، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی رسی، میکرومورفولوژی و طبقه‌بندی خاک‌ها تحت تأثیر این عامل قرار گرفته است و موجب تفاوت این ویژگی‌ها در منطقه فاریاب شده است.

هم قفل شده گچ و پوشش رسی می‌باشد. سدیمی بودن خاک در موقعیت اراضی پست به پراکنش ذرات رس و آبشویی آن و ایجاد پوشش رسی و تشکیل افق ناتریک کمک نموده است. از میان عوارض خاکساخت، اشکال مختلف گچ به دلیل پویایی بیشتر به میزان زیادتری تحت تأثیر عوامل خاکساز از جمله موقعیت

منابع

- 1- Abtahi A. 1980. Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent material under semiarid condition in Iran. *Soil Science Society of America Journal* 44: 329-336.
- 2- Abtahi A. 1989. Soil genesis as affected by topography and depth of saline and sodic ground water under semiarid condition of Iran. *Iran Agricultural Research* 8: 1-21.
- 3- Anjos L.H., Fernandes M.R., Pereira M.G., and Franzmeier D.P. 1998. Landscape and pedogenesis of an Oxisols-Inceptisols-Ultisols sequence in southeastern Brazil. *Soil Science Society of America Journal* 62: 1651-1659.
- 4- Bahoorzahi M.A., Farpoor M.H., and Jafari A. 2016. Genesis and development of soils along different geomorphic surfaces in Kouh Birk Area, Mehrestan City. *Journal of Water and Soil* 30: 555-568. (In Persian)
- 5- Boixadera J., Poch R.M., Garcia-Gonzalez M.T., and Vizcayno C. 2003. Hydromorphic and clay-related processes in soils from the Llanos de Moxos (Northern Bolivia). *Catena* 54: 403-424.
- 6- Borchardt G. 1989. Smectites. In: Dixon, J. B., S. B. Weed, (eds), 1989. *Minerals in soil environment*. 2nd ed. Number I in the SSSA book series. Published by SSSA. Madison. Wisconsin. USA.
- 7- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron* 54: 464-465.
- 8- Farpoor M.H., Eghbal M.K., and Khademi H. 2003. Genesis and micromorphology of saline and gypsiferous Aridisols on different geomorphic surfaces in Nough area, Rafsanjan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science* 7(3): 71-93. (In Persian)
- 9- Farpoor M.H., Khademi H., and Eghbal M.K. 2002. Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surface. *Iran Agriculture Research* 21: 39-60.
- 10- Fedoroff N., Courty M.A., and Thompson M.L. 1990. Micromorphological evidence of paleoenvironmental change in Pleistocene and Holocene paleosols. *Developments in Soil Science* 19: 653-665.
- 11- Fernandez Sanjurjo M.J., Corti G., and Ugolini F.C. 2001. Chemical and mineralogical changes in a polygenetic soil of Galicia, NW Spain. *Catena* 43: 251-265.
- 12- Geological survey and mineral exploration of Iran. 1995. Faryab map 1:100000. Tehran map publication.
- 13- Hashemi S.S., Baghernejad M., Owliaie H.R., and Najafi-Ghiri M. 2014. Effect of soil moisture regime on micromorphology of gypsum pedofeatures in soils of Fars province. *Journal Water and Soil Conservation* 21: 59-83.
- 14- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015, International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, Italy.
- 15- Jackson M.L. 1975. Soil Chemical Analysis-advanced Course. Univ. of Wisconsin College of Agric., Dept of Soils Science, Madison, WI.
- 16- Jafarzadeh A.A., and Burnham C.P. 1992. Gypsum Crystals in Soils. *Soil Science*, 43: 409-421.
- 17- Jenny H. 2011. *Factors of Soil Formation-A System of Quantitative Pedology*. Dover Inc, New York.
- 18- Karimi A., Khademi H., and Jalalian A. 2009. Genesis and distribution of palygorskite and associated sediments of southern Mashhad. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 16: 545-558. (In Persian)
- 19- Kemp R.A. 1999. Soil micromorphology as a technique for reconstructing paleoenvironmental change. PP: 41-71. In: Singh V., and Derbyshire A.S. (Eds.), *Paleoenvironmental Reconstruction in Arid Lands*. Balkema Pub., The Netherlands.
- 20- Kemp R.A., and Zarate M.A. 2000. Pliocene pedosedimentary cycles in the southern Pampas, Argentina. *Sedimentology* 47:3-14.
- 21- Khademi H., and Mermut A.R. 2003. Micromorphology and classification of Argids and associated gypsiferous Aridisols from central Iran. *Catena* 54: 430-455.
- 22- Khormali F., Abtahi A., and Stoops G. 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, southern Iran. *Geoderma* 132: 31-46.
- 23- Khormali F., Abtahi A., Mahmoodi S., and Stoops G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semi-arid regions of southern Iran. *Catena* 776: 1-29.
- 24- Khormali F., and Abtahi A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals* 38: 511-527.
- 25- Kittrik J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soil for X-ray diffraction analysis.

- Soil Science 96: 312-325.
- 26- Lanyon L.E., and Heald W.R. 1982. Magnesium, calcium, strontion and barium. p. 247-260. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 27- Mahmoudian F., Karimi A., and Lakzian A. 2018. Investigation of the soil-landform relationship in South of Herat, Western Afghanistan. Journal Water and Soil 32(5): 905-918. (In Persian with English abstract)
- 28- Millot G. 1970. Geology of clay. Masson. Et Cie., Paris.
- 29- Moazallahi M., and Farpoor M.H. 2012. Soil genesis and clay mineralogy along the xeric aridic climotoposequence, South central Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 14: 683-696.
- 30- Moazallahi M., and Farpoor M.H. 2009. Soil Micromorphology and Genesis along a Climotoposequence in Kerman Province, Central Iran. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 3: 4078-4084.
- 31- Moghiseh E., and Heidari A. 2012. Polygenetic saline gypsiferous soils of the Bam region, Southeast Iran. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 12(4): 729-746.
- 32- Murphy C.P. 1986. Thin Section Preparation of Soils and Sediments. AB Academic Publishers, Berkhamsted, Herts, UK.
- 33- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic matter. p. 539-577. In Page A.L. et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 34- Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. p. 181-196. In In Page A.L. et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 35- Nettleton W.D., Flach K.W., and Brusher B.R. 1969. Argillic horizons without clay skins. Soil Science Society of America Proceedings 33: 121-125.
- 36- Noormandipoor F., Farpoor M.H., and Sarcheshmepoor M. 2014. Genesis, classification and clay mineralogy of saline gypsiferous soils in Koshkooiyeh-Anar area, Kerman. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 22(2): 269-280. (In Persian)
- 37- Owliaie H.R. Najafi Ghiri M., and Shakeri S. 2018. Soil-landscape relationship as indicated by pedogenesis data on selected soils from Southwestern, Iran. Eurasian Journal Soil Science 7(2): 167-180.
- 38- Owliaie H.R., Adhami E., Najafi Ghiri N., and Shakeri S. 2018. Pedological Investigation of a Litho-Toposequencen a Semi-Arid Region of Southwestern Iran. Eurasian Soil Science 51(12): 1-15.
- 39- Owliaie H.R. 2012. Micromorphology of calcitic features in calcareous soils of Kohgilouye Province, Southwestern Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 14: 225- 239.
- 40- Page A.L., Miller R.H., and Kenney D.R. 1992. Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 41- Paquet H., and Millot C. 1972. Geochemical evolution of clay minerals in the weathered products and soils of Mediterranean climates. p. 199-202. In: Proceedings of the 9th International Clay Conference. Madrid, Spain.
- 42- Sanjari S., Farpoor M.H. Eghbal M.K., and Esfandiarpour I. 2011. Genesis, micromorphology and clay mineralogy of soils located on different geomorphic surfaces in Jiroft area. Journal of Water and Soil 25: 411-425. (In Persian with English abstract)
- 43- Sarmast M., Farpoor M.H. Esfandiarpour Boroujeni I. 2016. Comparing Soil Taxonomy (2014) and updated WRB (2015) for describing calcareous and gypsiferous soils, Central Iran. Catena 145: 83-91.
- 44- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., and Soil Survey Staff. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska.
- 45- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th edition. United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C., USA.
- 46- Stoops G. 2003. Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- 47- Toomanian N., Jalalian A., and Karimian Eghbal M. 2003. Application of the WRB (FAO) and US Taxonomy systems to gypsiferous soils in Northwest Isfahan, Iran. Journal of Agricultural Science Technology 5: 51-66.
- 48- Toomanian N., Jalalian A., and Eghbal M.K. 2001. Genesis of gypsum enriched soils in north-west Isfahan, Iran, Geoderma 99: 199-224.
- 49- Verheye W., and Stoops G. 1973. Micromorpholoical evidence for identification of an argillic horizon in Terra Rossa Soils. p. 817-831. In G.K. Rutherford (ed.) Soil Microscopy. The Limestone Press, Kingston, Canada.



Genetic Study of Soil-Landscape Relationship in Arid Region of Faryab, Kerman Province

Z. Moghbeli¹ - H.R. Owliaie^{2*} - S. Sanjari³ - E. Adhami⁴

Received: 28-01-2019

Accepted: 11-03-2019

Introduction: In sustainable agriculture, it is essential to know soil various characteristics for increasing the soil productivity. The relationship between soil and geomorphology in arid and semi-arid regions has been considered by many researchers. Faryab plain is located in arid region of Kerman Province and has diversity in geomorphic positions and parent materials. No previous study has been conducted in this region. Therefore, the objectives of the present research were 1) to study the genesis and development of soils related to different geomorphic surfaces in Faryab region, 2) to study the physicochemical properties, clay mineralogy and micromorphology of soils, and 3) to classify the soils according to Soil Taxonomy (ST) (2014) and World Reference Base (WRB) (2015) systems and compare them.

Materials and Methods: Faryab region with a mean elevation of 630 m above sea level is located in Kerman province, south-eastern of Iran. Mean annual rainfall and temperature of the area are 160 mm and 23.8 °C, respectively. Soil temperature and moisture regimes of the area are thermic and aridic, respectively. From geological point of view, the studied area is a part of west and south west zones and Flysch zone of east of Iran. Ten representative pedons on different geomorphic units including hill, alluvil-colluvial fan, alluvial plain, and lowland were selected, sampled, and described. Routine physicochemical analyses, clay mineralogy, and micromorphological observations performed on soil samples. Soil pH, texture, electrical conductivity, calcium carbonate, Na, Ca, Mg, cation exchangeable capacity and gypsum were identified. Eight samples were selected for clay mineralogy investigations. Four slides including Mg saturated, Mg saturated treated with ethylene glycol, K saturated, and K saturated heated up to 550 °C were analyzed. A Brucker X-Ray diffractometer at 40 kV and 30 mA was used for XRD analyses. Undisturbed soil samples from some representative pedons were selected for micromorphological observations. A vestapol resin with stearic acid and cobalt as hardener was used for soil impregnation. A Lite petrographic microscope was used for micromorphology investigations.

Results and Discussion: The results of the present study indicated that the soils with more evolution were located on the geomorphic surfaces of the lowland and alluvial plain and the soils with lower development on the hill and alluvil-colluvial fan. The most important pedogenic processes of the soils were the eluviation of salt, gypsum, calcium carbonate as well as clay, and the formation of calcic, gypsic, petrogypsic and natric horizons. The soils of the region were classified using ST as Aridisols with three suborders of Argids, Calcids and Gypsid and classified according to the WRB as three soil reference groups of Solonetz, Gypsisols and Calcisols. A new subgroup of Calcic Natrigypsid is suggested for inclusion to ST for the soils with aridic soil moisture regime and three horizons of gypsic, calcic and natric. The WRB system, due to its flexibility in the use of principle and supplementary qualifiers, prepare a better qualification than ST for the soils of the region. According to mineralogical results, the observed minerals consisted of illite, palygorskite, chlorite, smectite, kaolinite, vermiculite and quartz. The highest amount of palygorskite was observed in the gypsic horizons of hill and alluvil-colluvial fan. By moving to the central part of the plain (lowland), the amount of palygorskite was greatly reduced and the amount of smectite was increased. Two origins of inheritance and transformation (illite and palygorskite) are suggested for the occurrence of smectite in the soils. Due to the lack of the conditions for the formation of kaolinite, illite and chlorite, these minerals are inherited from parent materials. SEM observations suggested a pedogenic pathway for the occurrence of large amounts of palygorskite in the soils of the region. Calcareous and gypsiferous media seems to prepare a favorite environment for the pedogenic formation and stabilizing of this mineral in the studied soils. Coating and infilling of gypsum and calcite crystals in voids and channels, clay coating along channels as well as Fe and Mn oxide nodules were among the common pedofeatures observed in the thin sections of the studied soils. Occurrence of variable habits of gypsum crystals in different geomorphic surfaces suggested a dynamic soil environment. Larger lenticular gypsum crystals were found in the

1, 2 and 4- Former M.Sc. Student and Associate Professors, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Respectively

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

3- Scientific Member of Soil Science Department, Jiroft University

soils with lighter texture located on more stable geomorphic surfaces.

Conclusion: Different geomorphic situations in the region affected the development and evolution, physicochemical properties, clay mineralogy, micromorphology and soil classification and caused the differences in these characteristics in the Faryab region.

Keywords: Arid climate, Clay mineralogy, Micromorphology, Soil classification, Soil evolution



مطالعه علل عدم پایداری بخش‌های جدید مرمت شده ارگ تاریخی کنارصندل جیرفت در مقایسه با بخش‌های پایدار قدیمی (بخشی از حوزه فرهنگی هلیل رود)

صالح سنجرى^۱ - محمد هادی فرپور^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰

چکیده

تا دهه ۱۹۶۰ میلادی اغلب سؤالات باستان‌شناختی با بهره‌گیری از روش‌های استدلال و تفسیر در علوم اجتماعی و فلسفه پاسخ گفته می‌شد اما با شکل‌گیری «باستان‌شناسی نوین» از دهه ۱۹۶۰ میلادی، کاربرد و اهمیت علوم تجربی در پژوهش‌های باستان‌شناسی شناخته و بسیاری از نظریات و فرضیات باستان‌شناختی با کمک روش‌های کمی و آزمون‌گری در علوم تجربی بازنگری شد. یکی از شاخه‌های علوم تجربی که در تبیین شیوه معیشت گروه‌های انسانی گذشته، منشأیابی خاک سفالگری و معماری، گزینش خاک مناسب برای مرمت آثار باستانی، بررسی دلایل تخریب یا ماندگاری بناهای تاریخی و دلایل ترک و تخریب شهرهای باستانی نقش مهمی دارد، علم «خاک‌شناسی» است. مقاله حاضر، به منظور مطالعه خاک‌شناسی بخش‌های قدیمی و مرمت شده ارگ حاکم‌نشین تپه باستانی پنج هزار ساله کنارصندل جنوبی جیرفت به انجام رسید. نتایج نشان داد درصد رس بخش قدیمی حدوداً دو برابر بخش مرمت شده است. از سوی دیگر، میزان املاح بخش مرمت شده حدود ۳ برابر خشت‌های قدیمی می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد به تازگی خاکی با درصد رس کمتر و املاح بیشتر به منظور مرمت بنا به کار رفته است، در حالی که خاک بخش‌های قدیمی، احتمالاً توسط سازندگان اولیه بنا از جای دیگری از منطقه با درصد رس بیشتر و املاح کمتر آورده شده است. کانی‌های رسی اسمکتیت، کلریت، ایلیت، پالیگورسکیت و کائولینیت در خاک‌های بخش مرمت شده مشاهده شد. از سوی دیگر، تمام کانی‌های فوق‌الذکر به جز کانی پالیگورسکیت و سیپولیت در خاک بخش قدیمی شناسایی شد. همچنین، در بخش‌های قدیمی مواد آلی، تکه‌های ذغال و قطعات خرد شده سفال مشاهده شد که به نظر می‌رسد دلیلی بر استحکام و پایداری بیشتر بخش‌های قدیمی نسبت به مرمت شده باشد.

واژه‌های کلیدی: باستان‌شناسی نوین، رس، کانی، کنار صندل جیرفت، مرمت

مقدمه

کنارصندل، تاریخ اوج قدرت این تمدن را به ۲۴۵۰ سال پیش از میلاد (۴۴۶۳ سال قبل) مرتبط می‌سازد (۱۵). پژوهش درباره‌ی این تمدن، طرحی نسبتاً جدید و پروژه‌ی باستان‌شناسی چند ملیتی است که تمدنی کمتر شناخته شده را در جنوب شرقی ایران به ویژه تپه کنارصندل جیرفت آشکار می‌سازد. نخستین تمدن جیرفت که در منطقه‌ای به نام کنارصندل در ۳۰ کیلومتری شهر جیرفت در حوزه فرهنگی هلیل‌رود شکل گرفت. آثار این تمدن در حال حاضر به صورت دو تپه‌ی باستانی کنارصندل شمالی به ارتفاع ۱۷ متر و کنارصندل جنوبی به ارتفاع ۲۱ متر و محوطه‌ی وسیع اطراف این دو تپه در عرض جغرافیایی ۵' ۲۸° شمالی و طول ۸' ۵۷° شرقی بر جای مانده است.

در تپه کنارصندل شمالی، حدود ۴۵۰۰ متر مربع از نمای شمالی سازه‌ی خشتی عظیم سکو مانند و پله پله با خشت‌های با ابعاد ۴۰×۴۰×۱۰ سانتی‌متر و ابعاد کلی ۴۰×۴۰ متر خاک‌برداری شده

فرهنگ و تمدن جیرفت در هزاره سوم پیش از میلاد، یکی از تمدن‌های درخشان عصر برنز در کرمان و جنوب شرق ایران است. مقایسه سبک‌شناسی و فنی آثار سنگ کلریتی، مفرغی و سفالی حوزه فرهنگی جیرفت تأییدی موکد و انکارناپذیر از وجود رابطه‌ی همه جانبه فرهنگی و اقتصادی میان جنوب شرق ایران و مناطق غربی به ویژه بین‌النهرین است (۱۳ و ۱۴). مقایسه سبک شناختی آثار و مواد منقول فرهنگی و آزمایش‌های کربن ۱۴ در ارگ حاکم‌نشین

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(*) - نویسنده مسئول: (Email: farpoor@uk.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v33i2.78702

از مطالعات خاکشناسی و میکرومورفولوژی خاک‌های مورد استفاده در ساخت بناهای تاریخی می‌توان در بازسازی هر چه بهتر این بناها کوشش نمود. فرپور (۵)، با مقایسه داده‌های خاکشناسی بخش‌های مرمت شده و قدیمی ارگ تاریخی بم گزارش کرد که هدایت الکتریکی در نمونه‌های قدیمی رخنمون شده به مراتب کمتر از بخش‌های مرمت شده است. ایشان نتیجه گرفت که اخیراً یک خاک شور جهت مرمت بکار رفته است درحالی‌که خاک غیر شور بکار رفته برای ساخت خشت‌های قدیمی احتمالاً توسط سازندگان اولیه ارگ از جای دیگری به منطقه آورده شده است. هم‌چنین ایشان بیان کرد که در کلیه نمونه‌ها، ریز ساختمان توده‌ای مشاهده گردید اما بلورهای گچ و میکرولیت‌های آذرین تنها در بخش‌های مرمت شده یافت شدند. میزان مواد آلی در زمینه (ماتریکس) خاک مربوط به بخش‌های قدیمی زیاد بود.

هادیان (۷)، طی مطالعات خاکشناسی مصالح خشتی تاریخی و باستانی در مناطق مختلف ایران گزارش کرد که خاک استفاده شده در ساخت خشت‌ها اساساً از نوع رسی ماسه‌ای و گاه همراه سیلت است. وی همچنین بیان کرد که بیش‌ترین کانی‌های رسی کائولینیت در مناطق شمالی دیده می‌شود، در حالی‌که در مناطق جنوب شرقی و فلات مرکزی کانی‌ها بیشتر از نوع مونت‌موریلونیت است. کائولینیت‌ها به سبب جذب کم آب، ساختار پایدارتری دارند و در عوض مونت‌موریلونیت‌ها آب بیشتری جذب می‌کنند و خاصیت آماس‌پذیری دارند. بنابراین نوع و میزان کانی‌های رسی در کیفیت مصالح گلی نقش مهمی ایفا می‌کند. وجود نمک‌های محلول کلرور در مناطق شمال شرقی و فلات مرکزی و جنوب شرقی، علاوه بر کاهش چسبندگی ذرات رس و از بین بردن انسجام خشت طی چرخه‌های تر و خشک، از طریق فرایند فیزیکی و شیمیایی موجب واگرایی ساختار رس می‌شود.

هدف از این پژوهش، بررسی نقش و اهمیت مطالعات خاکشناسی (خصوصیات فیزیکی شیمیایی، میکرومورفولوژی، و کانی‌شناسی رس) در پاسخگویی به برخی ابهامات و سوالات باستان‌شناختی و مرمت بناهای باستانی در دو بخش قدیمی (هزاره سوم ق.م) و مرمت شده‌ی (سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۷) ارگ حاکم نشین تپه باستانی کنارصندل جنوبی جیرفت است.

مواد و روش‌ها

شهر جیرفت در کرانه‌ی هلیل‌رود و دامنه‌های جنوبی جبالبارز در استان کرمان واقع است. از نظر موقعیت جغرافیایی، منطقه‌ی مطالعاتی در حد فاصل عرض‌های $28^{\circ}28'40''$ تا $28^{\circ}52'6''$ شمالی و طول‌های شرقی $57^{\circ}30'8''$ تا $58^{\circ}4'27''$ قرار دارد. این شهر با ۶۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا، در ۲۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر کرمان واقع

است (۱۴). بر فراز تپه کنارصندل جنوبی، سازه‌ی خشتی مستحکم و عظیمی شناسایی شده که به عنوان دژ یا ارگ مرکزی این شهر کاربرد داشته و فاصله‌ی آن از تپه شمالی کنارصندل حدود ۲ کیلومتر است. ابعاد سکویی که این دژ روی آن ساخته شده حدود 20×25 متر بوده و با خشت‌هایی به طول ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر و ضخامت ۱۳ تا ۱۵ سانتی‌متر بنا شده است (۱۴) این دو تپه عظیم و زمین‌های اطراف آن‌ها که اکنون به علت فعالیت‌های کشاورزی و باغداری تسطیح شده‌اند، با وسعت چند صد هکتاری (به دلیل کشاورزی و تخریب فراوان در محوطه این شهر و کامل نبودن کاوش‌های تعیین حریم، وسعت دقیق شهر مشخص نیست) یکی از بزرگترین مراکز تمدنی در جنوب شرق ایران و خاورمیانه می‌باشند.

رابطه بین فرهنگ گروه‌های انسانی و متغیرهای محیطی و بوم‌شناختی برای مدت‌های طولانی مورد بحث دانشمندان بوده است. مطالعات چند بعدی که دانشمندان را قادر سازد، داده‌های به دست آمده در زمینه‌های مختلف تاریخی و علوم طبیعی را در کنار هم داشته باشند و بتوانند فاکتورهای طبیعی و فرهنگی را با هم مقایسه کنند، در این راه بسیار مفید خواهد بود. در این راستا زمین‌شناسی باستانی^۱ علمی است میان رشته‌ای، که این عوامل را با هم مرتبط می‌کند؛ به ویژه با روش‌های قدرتمندی مانند میکرومورفولوژی که در این علم از آن‌ها استفاده می‌شود (۱). این رویکردهای بین رشته‌ای پایه‌گذاری مکاتب باستان‌شناسی نوین از دهه ۱۹۶۰ میلادی مانند روندگرایی^۲ و پست روندگرایی^۳، باستان‌شناسی منظر^۴ و باستان‌شناسی محیطی^۵ اهمیت یافت و بهره‌گیری از این نظریات و رویکردها، در کنار روش‌های استدلالی و تفسیر در علوم اجتماعی و فلسفه، نقش مهمی در پاسخگویی به سوالات باستان‌شناسی است.

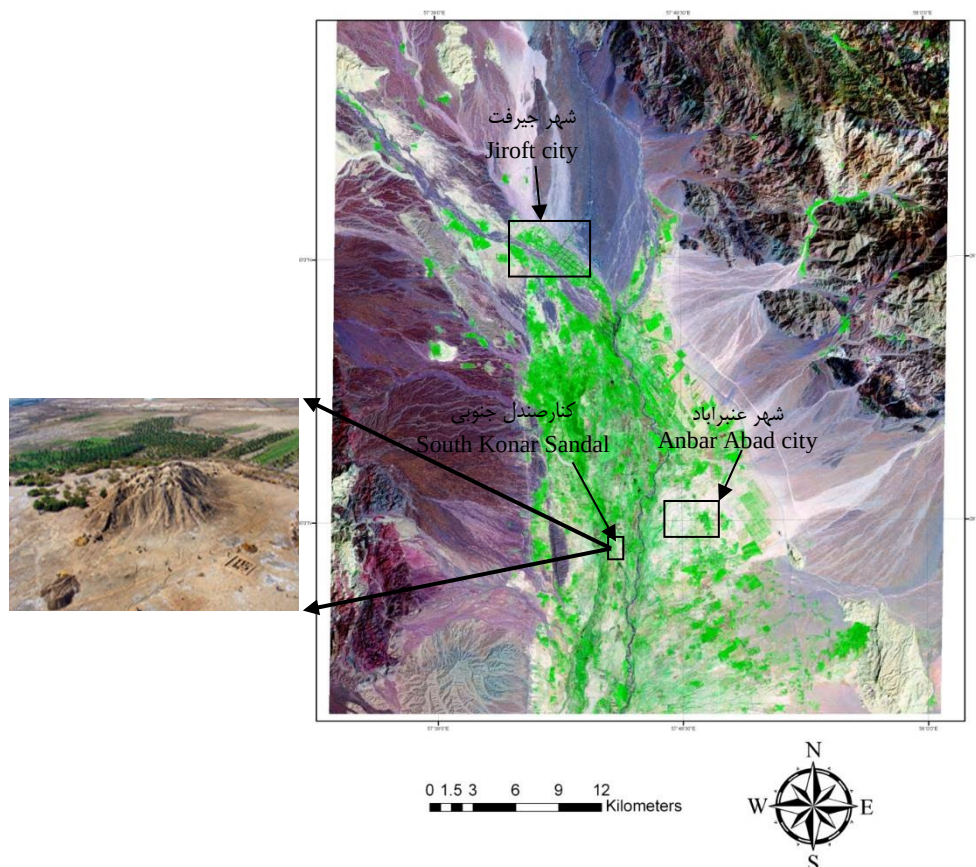
در باستان‌شناسی از مطالعات خاک به عنوان یک مطالعه‌ی مکمل استفاده می‌شود. در این خصوص در دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی میکرومورفولوژی خاک در ترکیه (۸) مصوب شد که از این پس، مقالات مربوط به کاربرد میکرومورفولوژی در باستان‌شناسی نیز مورد داوری و پذیرش قرار گیرند. بنابراین می‌توان با بررسی ویژگی‌های مورفولوژی، فیزیکی و شیمیایی، کانی‌شناسی رسی و به ویژه میکرومورفولوژی به دستاوردهای مهمی درباره شیوه معیشت گروه‌های انسانی، منشاء یابی خاک مورد استفاده در سفالگری و معماری، علل تخریب یا ماندگاری بناهای تاریخی و گزینش خاک مناسب برای حفاظت و مرمت بناهای باستانی دست یافت. از طرفی با استفاده

- 1- Geoarchaeology
- 2- Processual
- 3- Post processual
- 4- Landscape archaeology
- 5- Environmental archaeology

سه نمونه بخش قدیمی؛ از خشت‌های خام قسمت بالا، میانه و پایین ارگ حاکم نشین کنارصندل انتخاب گردید (شکل ۲). پس از انجام آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی از هر بخش یک نمونه شاهد، جهت کانی‌شناسی رسی و میکرومورفولوژی، انتخاب گردید.

شده است. شکل ۱ موقعیت تپه باستانی کنارصندل واقع در حوزه فرهنگی جیرفت را نشان می‌دهد. شکل ۲ نمایی از تپه کنارصندل جنوبی را نشان می‌دهد.

نمونه‌برداری از دو بخش قدیمی و مرمت شده انجام پذیرفت. از بخش قدیمی ۳ نمونه و از بخش مرمت شده یک نمونه برداشته شد.

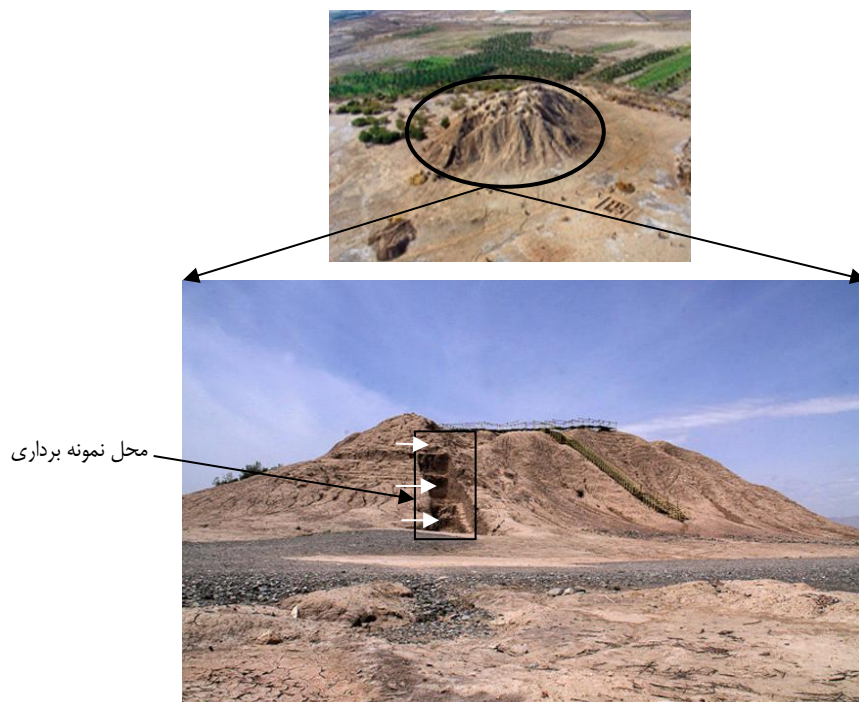


شکل ۱- موقعیت تپه باستانی کنارصندل واقع در حوزه فرهنگی جیرفت
Figure 1- Location of Konar Sandal an ancient hill in Jiroft cultural area

کیتریک و هوپ (۱۲) برای حذف مواد سیمانی و جدا نمودن بخش رس استفاده شد. چهار تیمار مختلف شامل اشباع با منیزیم، اشباع با پتاسیم، اشباع با منیزیم و تیمار اتیلن‌گلیکول، اشباع با پتاسیم و تیمار ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بر روی هر یک از نمونه‌ها اعمال گردید. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به وسیله‌ی دستگاه پراش پرتو ایکس بروکر مدل DH8 Advance در ولتاژ ۴۰ کیلوولت و ۳۰ میلی‌آمپر، سرعت اسکن ۰/۰۲ درجه در یک ثانیه در مرکز پیشرفته‌ی علوم محیطی کرمان بررسی شدند.

بررسی‌های آزمایشگاهی

نمونه‌ها در آزمایشگاه خاک‌شناسی، هواخشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری (۴) استفاده شد. برای اندازه‌گیری پهایش خمیر اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک به ترتیب از دستگاه پهایش‌سنج و هدایت‌سنج الکتریکی مدل ملتی‌لاین پی ۴ استفاده شد. اندازه‌گیری کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۱۶) انجام شد. کربن آلی به روش اکسایش تر (۱۷) اندازه‌گیری شد. برای تعیین نوع کانی‌های رسی در خاک از روش جکسون (۹) و



شکل ۲- موقعیت ارگ حاکم نشین جیرفت در محوطه باستانی کنارصندل جنوبی
Figure 2- Location of the ruling citadel of Jiroft in the ancient area of the south Konar Sandal

مالات‌های بخش قدیمی و اندوهای بخش مرمت شده را نشان می‌دهد. مقدار رس در بخش‌های قدیمی حدود دو برابر بخش‌های مرمت شده است (جدول ۱). به دلیل دو خاصیت چسبندگی و شکل‌پذیر بودن رس، سازندگان ارگ حاکم‌نشین محوطه باستانی کنارصندل جنوبی در هزاره‌ی سوم پیش از میلاد از خاک‌هایی با رس بالا برای ساختن این بنا استفاده کرده‌اند در حالی که در بخش‌های مرمت شده در فاصله سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ مقدار بیشتری شن مشاهده شد. به طور کلی ذراتی که بتوانند به هنگام خشک شدن به هم نزدیک‌تر شوند، پیوند محکم‌تر و استحکام بیشتری ایجاد می‌کنند. وجود دانه‌های ریز (کوچک‌تر از ۲ میکرون) و سطح مثل کانی‌های رسی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بالا بردن استحکام خشک خشت است. نتیجه پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که فرسایش‌پذیری خشت تابعی از دانه‌بندی و میزان چسبندگی خاک مورد استفاده در آن است (۶ و ۲۱). لذا می‌توان بیان کرد که برای ساخت بخش‌های قدیمی احتمالاً توسط سازندگان ارگ حاکم‌نشین محوطه باستانی کنارصندل، خاک از جای دیگری به منطقه آورده شده است. فرپور (۵) نیز به نتیجه مشابهی در خصوص ارگ تاریخی بم دست یافته است.

میزان شوری بخش‌های مرمت شده (۲۵/۸ دسی‌زیمنس بر متر) حدود سه برابر قسمت‌های قدیمی است (جدول ۱). به دلیل شوری بالا و حلالیت زیاد نمک، قسمت‌های مرمت شده مقاومت کمتری در برابر تغییرات محیطی در طول چند سال اخیر داشته‌اند. برای بازسازی

به منظور انجام مطالعات میکرومرفولوژی، کلوخه‌های دست‌نخورده با استفاده از رزین سه‌جزئی وستاپول^۱ و تحت مکش، تلقیح و در شرایط هوای آزاد سخت و خشک شدند. پس از برش، سایش و چسباندن مقاطع بر روی لام، در نهایت تفسیر مقاطع نازک تهیه شده، توسط میکروسکوپ پلاریزان مدل BK-POL در دو حالت نور پلاریزه‌ی صفحه‌ای (PPL) و متقاطع (XPL) بر اساس راهنمای استوپس (۲۰) صورت پذیرفت و از قسمت‌های مورد نظر عکسبرداری شد.

نمونه خاک بخش مرمت شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning electron microscopy) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه خشک شده بر روی پایه‌های آلومینیومی با چسب کربن نصب و سپس با لایه ای از طلا پوشش داده شدند. نمونه‌های تهیه شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی با قدرت بزرگ نمایی ۱۲۰۰۰ برابر مورد مطالعه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

الف) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بخش قدیمی و بخش

مرمت شده

جدول ۱ بعضی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک خشت‌ها و

1- Vestapool

ماسه ریز، خرده سفال، ذغال، موی حیوانات به منظور ایجاد چسبندگی بیشتر بین اجزای گل و استحکام بخشی) به میزان زیاد در خشت‌ها و ملات‌های بخش قدیمی ارگ باستانی کنارصندل مشاهده شد. در این بنای پنج هزار ساله، از تکه‌های سفال برای چسبندگی بیشتر و از زغال چوب برای استحکام بخشی و مقاومت بیشتر در برابر تغییرات محیطی استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیقات انجام شده روی خشت‌های تاریخی نشان داده است که بعضی از مواد افزودنی مانند خرده‌های آجر به سبب وجود سیلیس بی شکل و پیوند شیمیایی با ترکیبات کربناتی در طول زمان می‌توانند استحکام خشت را بالا ببرند (۲). بر طبق این نتایج، به نظر می‌رسد جهت ساخت این زیگورات از خاک‌هایی خارج از منطقه دژ استفاده شده است.

ماده آلی بخش قدیمی حدود دو برابر بیشتر از خاک‌های مورد استفاده در بخش مرمت شده است. وجود این مواد آلی چسبندگی بیشتر را در خشت‌ها و ملات بناهای باستانی در پی دارند (جدول ۱). از طرفی دو بخش قدیمی و مرمت شده تفاوت کمی در میزان آهک و واکنش خاک دارند.

این بنای تاریخی از خاک‌های اطراف منطقه کنارصندل استفاده شده است که شوری و گچ بیشتری در این خاک مشاهده شد، این در حالی است که در مقطع نازک خاک بخش قدیمی گچ یافت نشد. از طرفی یون سدیم نقش مهمی در تورم و پراکنده شدن ذرات خاک دارد (۶)، زیرا یون‌های یک ظرفیتی مانند سدیم آماس بیشتری از یون دوظرفیتی مثل کلسیم ایجاد می‌کنند. لذا خاک‌های آماس پذیر، متأثر از وجود نمک، در برابر رطوبت و آب مقاومت کمی از خود نشان می‌دهند. سنجرى و همکاران (۱۸) در مطالعه خاک‌های منطقه جیرفت بیان کردند خاک‌های اطراف منطقه کنارصندل دارای شوری بالا و تا حدودی گچی هستند. وجود این نمک‌های محلول علاوه بر کاهش چسبندگی ذرات رس و از بین بردن انسجام ملات‌های بخش مرمت‌شده طی چرخه‌های تر و خشک، از طریق فرآیند فیزیکی و شیمیایی موجب پراکندگی ساختار رس می‌شود.

از سوی دیگر، تکه‌های خرد شده سفال و زغال چوب به عنوان آمیزه یا شاموت (مواد معدنی یا آلی که معمولاً در سفالگری یا ساخت خشت و آجر استفاده می‌شود مانند؛ کاه، علف خرد شده، رس، شن و

جدول ۱- مقایسه برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دو بخش قدیمی و مرمت شده

Table 1- Comparison of some physical and chemical properties between old and restored sections

نمونه Sample	محل نمونه Sample location	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	EC (dS/m)	pH	Na ⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (meq/L)	SAR	کربنات کلسیم معادل (%) CCE	گچ Gypsum (%)	کربن آلی Organic carbon (%)
بخش مرمت شده (۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷) Restored section (2002 up to 2008)	-	55.7	25.3	19.0	25.8	7.9	40	8	14.1	13.2	3.6	0.3
بخش قدیمی پنج هزار ساله (old section back to five thousand years)	بالا upper	21.7	44.5	33.8	8.7	8.1	24	15.6	6.1	15.5	0.0	0.6
	میان Middle	26.5	43.7	29.8	9.37	7.9	26	12	7.5	29.5	0.0	0.68
	پایین Down	15.7	48.5	35.8	10.7	8.1	18	8.2	6.3	30	0.0	0.76

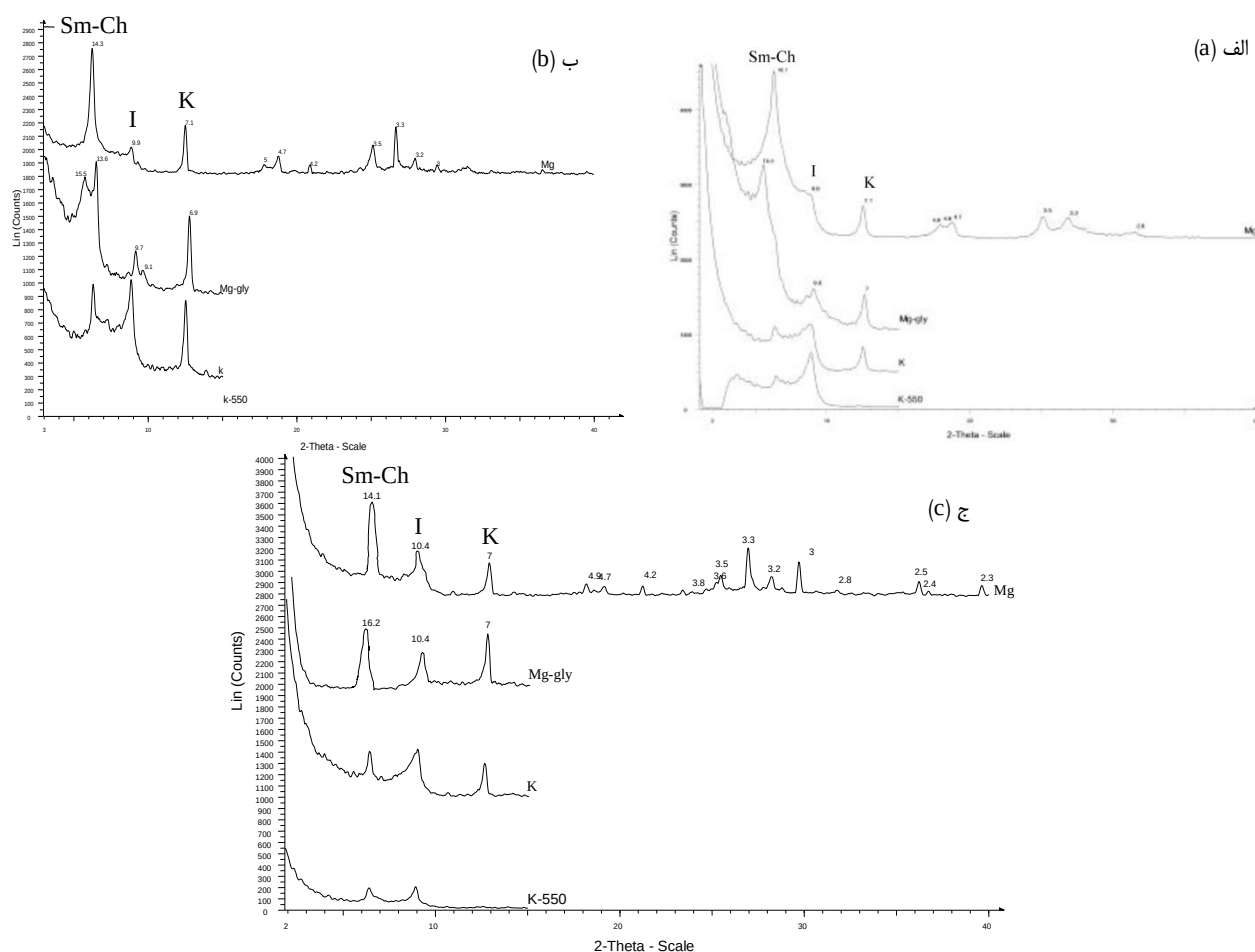
سپiolیت در خاک‌های قدیمی خود دلیلی بر اقلیم مرطوب گذشته منطقه است زیرا این کانی در رطوبت بالا ناپایدار است و به کانی اسمکتیت تبدیل می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد این کانی دارای منشا خاکساز در منطقه است (۱۹). از طرفی به دلیل افزایش تبخیر و نیز افزایش شوری و تشکیل رسوبات تبخیری (مانند گچ و نمک)، اقلیم خشک کنونی می‌تواند محیطی مناسب برای تشکیل کانی‌های فیبری پالیگورسکیت و سپiolیت باشد. بنابراین مشاهده این دو کانی فیبری در بخش‌های مرمت شده نشان‌دهنده خاکساز بودن آن‌ها در منطقه جیرفت می‌باشد (۳ و ۱۹). مطالعه میکروسکوپ الکترونی روبشی این افق (شکل ۵)، تأیید کننده مطلب فوق می‌باشد. به نظر

ب) کانی‌شناسی رسی بخش قدیمی و بخش مرمت شده

طبق مطالعه کانی‌شناسی بخش رس، کانی‌های ایلیت، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت، کوارتز و کانی‌های حدواسط در خاک‌های بخش قدیمی مشاهده گردید (شکل ۳). در حالی که در خاک‌های بخش مرمت‌شده علاوه بر کانی‌های ذکر شده کانی پالیگورسکیت و کمی سپiolیت نیز یافت شد (شکل ۴). کانی اسمکتیت در خاک‌های منطقه به صورت پدوژنیک توسط سنجرى و همکاران (۱۹) گزارش شده است. به نظر می‌رسد کانی‌های کلریت، ایلیت و کائولینیت از مواد مادری به ارث رسیده‌اند (۱۹). مشاهده نشدن پالیگورسکیت و

بخش مرمت شده قابل توجه است اما میزان آن در نمونه خاک قدیمی کمتر است.

می‌رسد هنگامی که این کانی با بلورهای گچ همراه باشد بهتر حفظ می‌شود (۱۰ و ۱۱). پیک ۳/۳ انگستروم مربوط به کوارتز است که در



شکل ۳- کانی‌شناسی بخش قدیمی پنج هزار ساله (الف: نمونه قسمت بالایی بنا؛ ب: وسط؛ ج: پایین)

(Mg=Mg اشباع با منیزیم، Mg-E: اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول، K: اشباع با پتاسیم، K-550: اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، Sm: اسمکتیت، I: ایلیت، K: کائولینیت، Ch: کلریت)

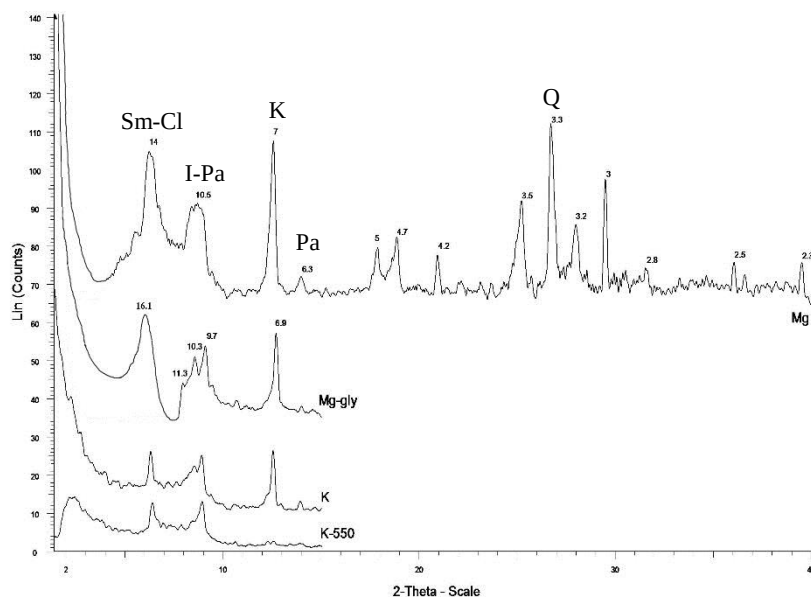
Figure 3- Clay mineralogy of old section back to five thousand years (a: sampled from the upper part of the citadel; b: middle; c: bottom)

(Mg=Mg saturated; Mg-Eg=Mg saturated with Ethylene glycol; K=K saturated; K-550=K saturated and heated to 550 °C, Sm: Smectite, I: Illite, K: Kaolinite, Ch: Chlorite)

ج) میکرومرفولوژی بخش قدیمی و بخش مرمت‌شده

طبق مطالعه میکرومرفولوژی ماده آلی در متن خاک مشاهده شد (شکل ۶- الف و ب) که به نظر می‌رسد یکی از عوامل استحکام بخشی قسمت قدیمی وجود همین ماده آلی است. فرپور (۵) نیز در مطالعه خاک‌های بخش قدیمی ارگ بم چنین نتیجه‌ای را گزارش کرده است. از طرفی در بخش مرمت شده ماده آلی کمتری در زمینه خاک مشاهده شد (شکل ۶-ج)، اما اشکال در هم قفل شده و عدسی شکل و پرشدگی گچ یافت شد (شکل ۶-ج؛ شکل ۷- الف و ب)، در صورتی که در بخش قدیمی کانی گچ مشاهده نشد.

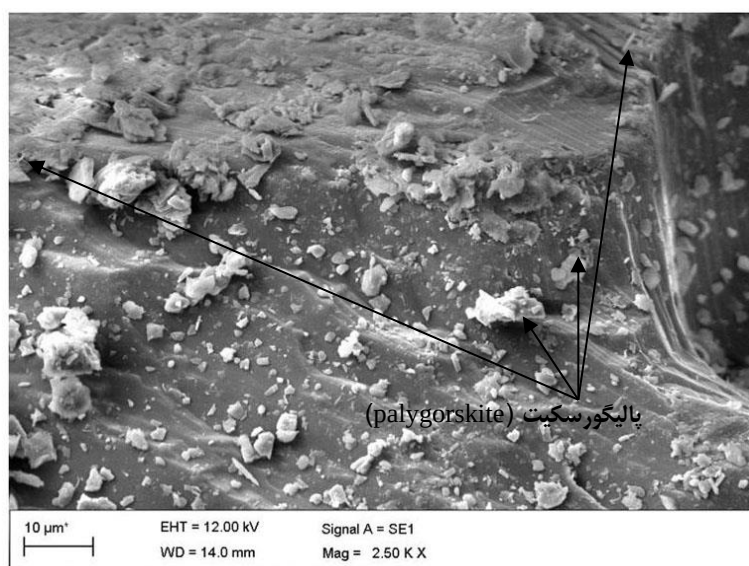
با این وجود، ساختار متفاوت کانی‌های رسی مختلف موجود در خاک‌های سازنده مصالح خشتی ملات‌های بخش مرمت شده در مقایسه با یکدیگر، رفتارهای فیزیکی متفاوتی دارند. وجود کانی رسی اسمکتیت به دلیل ریزدانه بودن بیشترین چسبندگی و همچنین بیشترین میزان جذب آب را در میان سایر کانی‌های رسی مشاهده شده در دو بخش قدیمی و مرمت شده دارند. بنابراین وجود مقادیر کمی از این کانی در خاک می‌تواند استحکام را بالا ببرد اما از سوی دیگر در صورت زیاد بودن این کانی در خاک به دلیل جذب آب زیاد و متورم شدن آن ساختار خشت تضعیف می‌شود.



شکل ۴- کانی‌شناسی بخش مرمت شده (۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷)

(Pa: پالیگورسکیت، Q: کوارتز)

Figure 4- Clay mineralogy of restored section (2002 up to 2008)
(Pa: palygorskite, Q: Quartz)

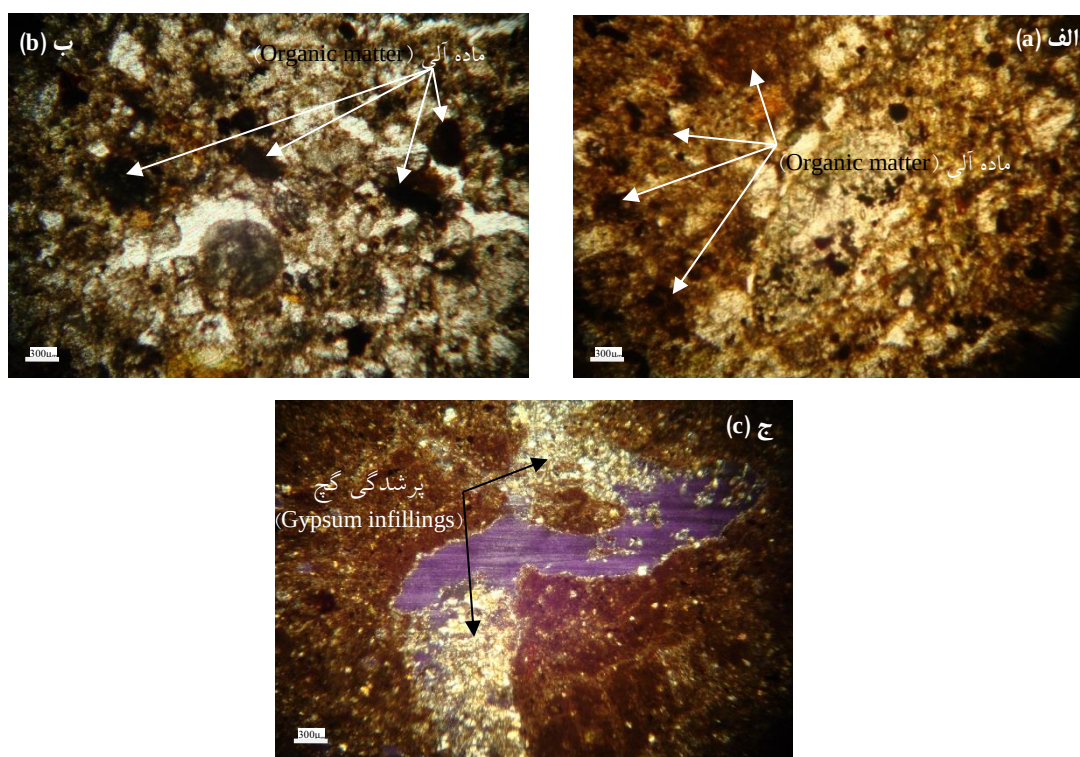


شکل ۵- میکروگراف میکروسکوپ الکترونی روبشی بخش مرمت شده

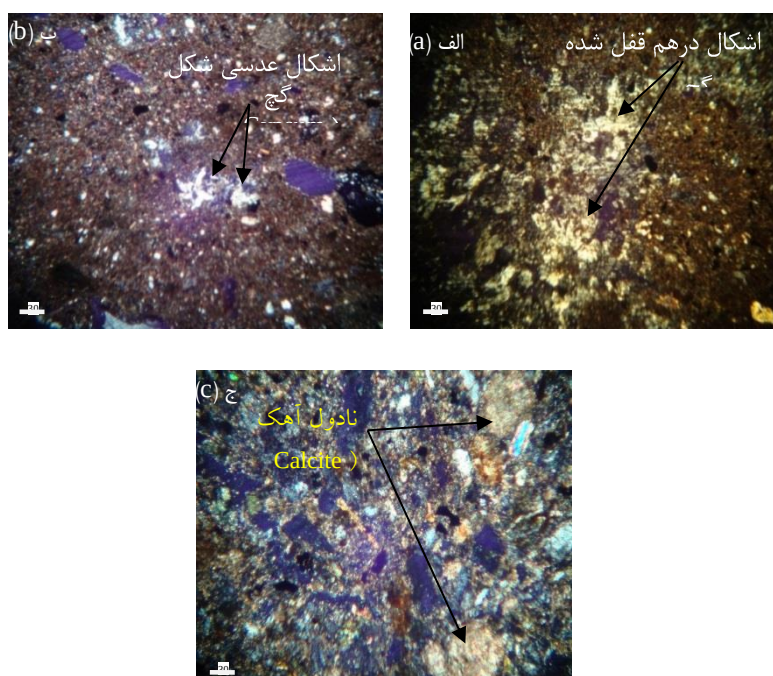
Figure 5- Scanning electron micrograph of restored parts

کردند که فرسایش‌پذیری خشت تابعی از نوع کانی‌های رسی و نمک‌های محلول و غیرمحلول در آن است (۶ و ۲۱). از طرفی در مقاطع میکرومورفولوژی بخش قدیمی نادل آهک مشاهده شد (شکل ۷-ج).

وجود گچ فراوان در مقطع نازک خاک‌های بخش مرمت شده باعث شده است که تخریب این بخش در کمتر از ۵ سال رخ دهد در حالی که این بنای باستانی دارای قدمتی حدوداً پنج هزار ساله است. فرپور (۵) نیز وجود گچ و نمک و میکروولیت‌های آذرین را در بخش مرمت شده ارگ بم گزارش کرد. تعدادی از محققین دیگر نیز بیان



شکل ۶- مقایسه ماده آلی در زمینه خاک بخش قدیمی (الف و ب) (PPL) و مرمت شده (ج) (XPL)
 Figure 6- Comparison of organic matter in the groundmass of old section (a and b, PPL) and restored section (c, XPL)



شکل ۷- اشکال گچ و آهک در بخش مرمت شده (الف و ب) و قدیمی (ج). (XPL)
 Figure 7- Gypsum and calcite crystals in restored section (a and b) and old section (c). (XPL)

قدیمی در برابر تغییرات محیطی مؤثر است در حالی که تخریب بخش مرمت‌شده (کمتر از ۵ سال) در پی وجود رس کم و وجود گچ و املاح محلول‌تر از آن رخ داده است. در طی مطالعه کانی‌شناسی رسی، کانی‌های ایلیت، کلریت، کائولینیت و اسمکتیت در هر دو بخش مشاهده شد، اما در بخش مرمت شده کانی پالیگورسکیت و کوآرتز نیز مشاهده گردید. تمام موارد بالا این مهم را تأیید می‌کند که خاک‌های استفاده شده برای ارگ حاکم نشین تپه باستانی کنار صندل جنوبی از مکانی دیگر توسط سازندگان آن آورده شده است و به استناد دانش و نبوغ مردمان ساکن در این شهر باستانی، احتمالاً ساکنان آن پس از بررسی خاک مناطق مختلف حوزه‌ی فرهنگی هلیل رود با آگاهی کامل به گزینش مکان خاکبرداری اقدام کرده‌اند. نتایج تحقیق، حاکی از آن است که مطالعات خاکشناسی می‌تواند در پروژه‌ها و مطالعات باستان‌شناسی به عنوان یک ابزار مفید، به کار برده شود.

بعضی از مواد افزودنی مانند خرده سفال‌های موجود در بخش قدیمی و رس بیشتر این بخش و ترکیب آن‌ها با ترکیبات کربناتی در طول زمان می‌توانند استحکام خشت را بالا ببرند. نتایج تحقیقات بالداراما و کیاری (۲) نشان داد که بعضی از مواد افزودنی مانند خرده‌های آجر به سبب وجود سیلیس آمورف و پیوند شیمیایی با ترکیبات کربناتی در طول زمان می‌توانند استحکام خشت را بالا ببرند.

نتیجه‌گیری

بر طبق نتایج مطالعات فیزیکی و شیمیایی و میکرومرفولوژی، شوری بخش مرمت شده بیشتر از بخش قدیمی است و نیز میزان گچ زیادی در سطح مقطع نازک بخش مرمت شده مشاهده شد. در حالی که میزان رس و ماده آلی در بخش قدیمی حدود دو برابر بیشتر است. علاوه بر این، تکه‌های سفال و زغال چوب در این بخش نیز مشاهده گردید. به نظر می‌رسد تمام موارد فوق در مقاومت بخش

منابع

- 1- Angelucci D.E. 2003. Geoarchaeology and Micromorphology of Abric de la Catiuera (Catalonia, Spain). Catena 54:573-601.
- 2- Baldrama A.Kh., and Jiakomo K. 1998. Restoration and conservation of raw brick structures explored from archaeological investigations. In Price, S., Conservation and restoration of archaeological investigations. Translated by Mousavi, M.M. Tehran University Press.
- 3- Boroomand N., and Sanjari S. 2012. Impacts of climate change on soil clay mineral composition of the Jiroft region. The first desert Conference, International desert Research Center, Tehran University. (In Persian)
- 4- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. Journal 54: 464-465.
- 5- Farpoor M.H. 2010. Soil Data Comparison in the Old vs. Restored Section of the Bam Citadel Archaeological site in Kerman, Iran. Journal Agricultur Science Technology 12: 91-98.
- 6- Hadian Dehkordi M., Vatandoust M., Vatandoust R., Majidzadeh Y., and Kashi M. 2008. Archaeological Site of Konar Sandal, Jiroft, Iran Conservation of Earthen Remains. In 10th International conference on; Study and Conservation of earthen Architectural heritage, Bamako, Mali.
- 7- Hadian Dehkordi M. 2016. Soil science studies in historical and archaeological raw bricks of different areas in Iran. Science, Technology, Art Journal 75: 86-96.
- 8- 12th International meeting on Soil Micromorphology, Adana, Turkey, 2004.
- 9- Jackson M.L. 1975. Soil Chemical Analysis-advanced Course. University of Wisconsin College of Agriculture, Department of Soil Science, Madison, WI.
- 10- Karimi A., Khademi H., and Jalalian A. 2009. Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in soils and sediments of southern Mashhad. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 16(4): 545-558. (In Persian with English abstract)
- 11- Khademi H., and Mermut A.R. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous aridisols and associated sediments from central Iran. Clay Mineralogy 33: 561-578.
- 12- Kittrik J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soil for X-ray diffraction analysis. Soil Science Society 96: 312-325.
- 13- Majidzadeh Y. 2003a. Jiroft, the oldest orient civilization. Country heritage organization. P: 248.
- 14- Majidzadeh Y. 2003b. Jiroft, the oldest orient civilization. Anthropology Journal 2(4): 197-208.
- 15- Majidzadeh Y. 2009. Jiroft raw bricks and Ilami handwriting. Anthropology Journal 2(10): 97-126.
- 16- Nelson R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. P. 181-196. In: A. L. Page et al.(ed), Methods of Soil Analysis. Part II. 2nd ed., Agron. Monog. No: 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
- 17- Nelson D.W., and Sommer L.E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. pp. 539-577. In: A.L. Page et al., (Ed), Methods of Soil Analysis. Part II. 2nd ed., Agron. Monog. No: 9, ASA and SSSA. Madison, WI.

- 18- Sanjari S., Farpour M.H., Eghbal M.K., and Esfandiarpour I. 2011(a). Genesis, micromorphology and clay mineralogy of soils located on different geomorphic surfaces in Jiroft area. *Journal Water Soil* 25(2): 411-425. (In Persian with English abstract)
- 19- Sanjari S., Farpour M.H., Esfandiarpour I., and Karimian M. 2011(b). Micromorphology and clay mineralogy comparison of past and present soils in Jiroft area. *Journal Water and Soil Science* 15(58): 173-185. (In Persian with English abstract)
- 20- Stoops G. 2003. Guidelines for the analysis and description of soils and regolith thin sections. SSSA, Madison, WI. 182 p.
- 21- Watanabe K., Vatandoust R., and Okada Y. 2003. Physical, mineralogical and chemical properties of mud brick of the Choga Zanbi. In 9th International conference on the study and conservation of earthen architecture Terra 2003, Yazd, Iran.



Un-stability Reasons of Recent Restored Sections of Konar Sandal Historical Citadel Compared to Stable Ancient Parts (Halilrud Cultural Area)

S. Sanjari¹- M.H. Farpoor^{2*}

Received: 28-01-2019

Accepted: 20-05-2019

Introduction: Soil studies have been used as complementary data in archaeological investigations. Review and acceptance of papers focusing on the use of micromorphology in archaeology were discussed and agreed in the 12th International Micromorphology Meeting in Turkey (8). Morphology, physicochemical, clay mineralogy, and micromorphology investigations may provide invaluable data about the way ancient people used to live, the source of soil that was used for pottery and architecture, the reason of degradation or existence of monuments, and the suitable soil for the restoration of monuments. On the other hand, the restoration of our ancestor's monuments could be better performed if soil data and micromorphology techniques are used.

Materials and Methods: The present research was conducted to study the ancient and restored sections of Konar Sandal historical (5000 YBP) citadel, South Jiroft, Iran. The area under study located 30 km south of Jiroft in the Halilrud cultural area. Samples were collected from both ancient (3 samples) and restores (1 sample) sections of the citadel. Representative samples (3 from the ancient and the other from the restored sections) were also collected for clay mineralogy and micromorphology (undisturbed samples) investigations after physicochemical analysis performed on all samples. Routine physicochemical analysis performed on the air-dried samples that were passed through a 2 mm sieve.

Results and Discussion: Results of the study showed that the clay percentage of the ancient section was rough twice the restored section. On the other hand, soluble salts were about 3 times higher in the restored section than the ancient section. High salinity and solubility of salts caused restored sections to have lower resistance to environmental variations of the recent years. It seems that saline and gypsiferous soils close to the citadel were used for the restoration of Konar Sandal citadel. However, no gypsum was found in the thin section of the ancient section. Besides, Na monovalent cation plays an important role in the dispersion of soil particles compared to divalent Ca cation. Results of this study showed that soil with low clay content and high salinity was used for restoration recently. On the other hand, soils for construction of ancient sections with higher clay and lower salinity (compared to restored sections) were probably transferred from another area by our ancestors. Besides, pottery pieces to provide more stickiness and charcoal for more resistance to environmental variations were also used to construct the raw bricks in the old (5000 YBP) monument.

Illite, chlorite, smectite, and kaolinite clay minerals were found in the samples from the ancient section (Fig. 3). Palygorskite, quartz and trace amounts of sepiolite were only found in the restored sections together with the previously mentioned clay minerals (Fig. 4). The absence of palygorskite in the ancient samples may prove the presence of paleoclimate with more available humidity in the area because palygorskite is unstable in humid environments and transforms to smectite. It seems that palygorskite has a pedogenic origin in the area.

Micromorphological observations showed that the organic matter in the groundmass of the ancient samples (Fig. 6 a, b) is the reason for stability in this section. The same conclusion was also reported for samples of Bam citadel by Farpoor (4). Lenticular and interlocked plates of gypsum were found in the restored section (Figs. 6 c, and 7 a, b). Gypsum crystals were not observed in the thin sections of ancient samples. Calcium carbonate nodules were also observed in the ancient section (Fig. 7c). It seems that additives such as pottery pieces together with calcium carbonate have probably increased the stability of raw bricks through time.

Conclusion: Physicochemical properties showed more salinity in the restored compared to ancient sections and micromorphology showed gypsum crystals only in the restored samples. Besides, clay content and organic matter in the ancient section are about twice the restored section. Meanwhile, pottery pieces and charcoal were also found in the ancient section. These seem to be a reason for higher stability of ancient sections against environmental variations compared to restores sections with low clay content and high gypsum and more soluble

1 and 2- Ph.D. Student and Professor Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(*- Corresponding Author Email: farpoor@uk.ac.ir)

salts that were degraded in 5 years. Illite, chlorite, kaolinite, and smectite clay minerals were investigated in both sections, but palygorskite and quartz were only found in the restored section. Results of the study clearly showed that soil data might be used as a helpful technique in archaeology studies and projects.

Keywords: Clay, Jiroft, Konar Sandal, Mineral, Modern archaeology, Restoration



ترمیم داده‌های مفقود هواشناسی با روش‌های تکاملی و یادگیری ماشین

مطالعه موردی: بارش و دمای ماهانه درازمدت مشهد

محبوبه فرزندی^۱ - سید حسین ثنائی نژاد^{۲*} - بیژن قهرمان^۳ - مجید سرمد^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶

چکیده

بارش و دما از مهم‌ترین متغیرهای هوا و اقلیم‌شناسی هستند. طول دوره آماری اهمیت بسزایی در دقت تحلیل این دو متغیر دارد. حجم نمونه کمتر از ۱۰۰ سال نمی‌تواند نوسانات دراز مدت را به خوبی منعکس کند. طولانی‌ترین آمار مربوط به دما و بارش ماهانه مشهد نزدیک به ۱۲۵ سال (از حدود ۱۸۹۳ الی ۲۰۱۷) است. متأسفانه این آمار مفقودی دارد. ترمیم داده‌های مفقود و افزایش دقت برآورد آن‌ها هدف این پژوهش است. ایستگاه‌هایی از کشورهای مجاور به‌عنوان ایستگاه‌های مبنا انتخاب شدند. ابتدا داده‌های مفقود با برازش ده الگوی رگرسیونی چندگانه برای بارش ماهانه (با ضرایب تعیین ۰/۶۳ تا ۰/۸۱) و شش الگو برای دمای ماهانه (۰/۹۸۶ تا ۰/۹۹۳) ترمیم شدند. سپس برای کاهش خطاها، پارامترهای الگوهای رگرسیونی با روش‌های GA و ACO بهینه شدند. افزون بر این دو روش ANN و SVR نیز به‌منظور الگوسازی این داده‌ها نیز به کار گرفته شدند. نتایج نشان داد GA و ACO دقت برآورد داده‌های مفقود بارش را نسبت به روش‌های رگرسیونی فوق به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. کمترین RMSE بین تمام الگوهای رگرسیونی بارش ۹/۷۹ میلی‌متر است. این معیار با روش GA به ۲/۵۶۰ میلی‌متر و با ACO به ۲/۵۵۹ کاهش می‌یابد. کمترین RMSE بین الگوهای رگرسیونی دما ۰/۹۸۶ میلی‌متر است. این معیار با روش ANN به ۰/۷۲۶ میلی‌متر و با SVR نیز به ۰/۵۵۱ کاهش می‌یابد. مقایسه ترمیم دما و بارش نشان می‌دهد که روش‌های تکاملی برای بارش و روش‌های یادگیری ماشین برای دما عملکرد بهتری دارند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، داده مفقود، رگرسیون بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی، کلونی مورچگان

مقدمه

تحلیل فراوانی، تحلیل سری‌های زمانی، تحلیل خشکسالی‌ها و ... باید حداقل ۱۰۰ سال باشد، زیرا داده‌هایی با طول کمتر نوسانات دراز مدت را منعکس نمی‌کنند. دوره بازگشت نیز به طول دوره آماری وابسته است. برآورد بزرگترین دوره بازگشت با دقت قابل قبول معادل یک پنجم طول داده‌ها است (۱۰). بنابراین در اختیار داشتن آمار طولانی مدت و کامل اولین نیاز تحلیل‌های قابل اعتماد در آب و هواشناسی است. این خود نیاز به روش‌های دقیق تری برای برآورد داده‌های مفقود دارد. زیرا مفقودی در داده‌های آب و هواشناسی معمول است. روش‌های مختلفی برای ترمیم داده‌های مفقود پیشنهاد شده است. که هر یک بر اصول ریاضی خاصی بنا شده‌اند. رگرسیون به عنوان یک روش کلاسیک آماری با روش برآورد کمترین مربعات کاربرد زیادی در آب و هواشناسی دارد (۱۷). اکبال و همکاران (۹) تغییرات بارش در دریای زرد چین را در دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۶۰ بررسی کرده‌اند. آن‌ها روش رگرسیون خطی را برای برآورد داده‌های مفقود بارش به کار برده‌اند. طولانی‌ترین آمار دما و بارش ماهانه ایران در شهر مشهد و از سال ۱۸۹۳ (بیش از ۱۲۵ سال) قابل دسترس

داده‌های گمشده^۵ (مفقودی) در آمار اهمیت ویژه‌ای دارد. تحلیل‌های کلاسیک آماری با نمونه‌های کامل (بدون مفقودی) سروکار دارد. زیرا تحلیل نمونه‌های شامل مفقودی اریب هستند. یعنی در صحت آنها تردید وجود دارد (۱). تحلیل‌های معمول آماری در آب و هواشناسی به روش‌های کلاسیک صورت می‌گیرد. بنابراین وجود داده‌های مفقود می‌تواند خللی در صحت نتایج به وجود آورند. مقدار اریبی با رشد نسبت گمشدگی افزایش می‌یابد (۱۳). حجم نمونه (طول دوره آماری) به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک برای

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول: Email: sanaei@um.ac.ir

۴- دانشیار گروه آمار، دانشکده ریاضی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
DOI: 10.22067/jsw.v33i2.74125

5- Missing data

است (۶ و ۲۰). این آمار مفقودی دارد. ترمیم ماهانه این داده‌ها توسط فرزندی و همکاران (۶) با الگوهای رگرسیونی انجام شده است. همچنین دو پژوهش در مقیاس سالانه بر روی بارش داده‌های فوق صورت گرفته است. ابتدا مفقودی‌ها ترمیم و سپس داده‌های کامل سالانه تحلیل شده‌اند. خلیلی و بذرافشان (۱۱) تداوم خشکسالی‌ها را با تحلیل فراوانی بارش سالانه طولانی مدت مشهود بررسی کردند. آن‌ها روش خودهمبستگی را برای ترمیم بارش سالانه انتخاب کردند. قهرمان و احمدی (۷) پانزده سال مفقودی بارش سالانه مشهود را با روش کریجینگ و برازش رگرسیون چندگانه بر میانگین‌های متحرک باران سالانه ترمیم کردند. آن‌ها فقط اطلاعات درون خود داده‌ها را به کار بردند.

امروزه روش‌های دیگری با عنوان کلی هوش مصنوعی شامل روش‌های یادگیری ماشین (شبکه عصبی، رگرسیون بردار پشتیبان و ...) و روش‌های تکاملی (الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچگان و ...) برای بهینه‌سازی و کاهش خطای برآورد پیشنهاد شده است (۱۳). پریس و استفیلد (۱۵) از روش الگوریتم ژنتیک برای کالیبراسیون پارامترهای مدل درخت (MT) استفاده کردند. سپس این مدل ترکیبی را برای پیش‌بینی اجزای کیفیت جریان آب استفاده کردند. دیپاک و بیچکار یک روش ترکیبی شامل الگوریتم ژنتیک و درخت تصمیم برای بالا بردن دقت برآورد داده‌های مفقود ارائه داده‌اند (۴). دستورانی و همکاران داده‌های مفقودی ماهانه ده ایستگاه مختلف آبسنجی ایران را به چهار روش ANN، عصبی فازی، همبستگی و نسبت نرمال^۱ برآورد و نتیجه گرفتند که هر چهار روش جواب قابل قبولی را می‌دهند. روش عصبی فازی نسبت به بقیه برتر و روش شبکه عصبی در رتبه دوم قرار دارد (۲). یوزگانلیجیل و همکاران شش روش ترمیم داده‌های مفقود را برای بارش و دمای ماهانه ترکیه ارزیابی و مقایسه نمودند. روش‌ها در این تحقیق به دو دسته ساده و پیچیده تقسیم شدند. روش‌های ساده عبارتند از میانگین حسابی، نسبت نرمال (NR) و نسبت نرمال وزنی با روش همبستگی. روش‌های پیچیده شامل پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، استراتژی جاگذاری چندگانه با زنجیره مارکوف-مونت کارلو بر اساس حداکثر کردن امید ریاضی (EM-MCMC) و یک روش اصلاح شده EM-MCMC است. آنها مجموع مربعات خطا را برای انتخاب روش برتر به کار بردند. افزون بر این روش تحلیل سری‌های زمانی پویای غیرخطی را با فن همبستگی بی‌بعد نیز برای وابستگی فضایی مکانی داده‌های جاگذاری شده به کار گرفتند. تحلیل آنها نشان داد که دو روش ANN و EM-MCMC از بقیه بهتر عمل می‌کنند (۲۳). برخی محققین برای بالا بردن دقت برآوردهای خود از روش‌های ترکیبی

استفاده نموده‌اند. لیائو و همکاران (۱۲) از یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی به نام SAEM-HMM پیشنهاد دادند که شامل مدل مخفی مارکف (HMM) الگوریتم EM و الگوریتم گرم و سرد کردن (SA) است. این الگوریتم برای غلبه بر حساسیت مدل مارکف مخفی به مقادیر اولیه از EM و برای رهایی از گیر افتادن در بهینه‌های محلی از SA استفاده می‌کند. اسعد و همکاران (۵) نیز روشی ترکیبی ارائه کردند که با استفاده از الگوریتم EM پارامترهای الگوی پیشنهادی را با دقت بیشتری برآورد می‌کند. الگوریتم پیشنهادی این مقاله VEM-DyMix نام دارد که از ترکیب الگوریتم تغییرات بیشینه‌سازی-امید ریاضی (VEM) با یک مدل مخلوط گوسی با متغیرهای پنهان با توزیع گام زدن تصادفی (DyMix) به دست می‌آید.

هدف این پژوهش افزایش دقت برآورد داده‌های مفقود در آمار بارش و دمای طولانی مدت ماهانه شهر مشهد است. الگوریتم‌های تکاملی کلونی مورچگان (ACO) و ژنتیک (GA) و روش‌های یادگیری ماشین شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) در این راستا به کار گرفته شده و دقیق‌ترین ترمیم‌ها انتخاب شده‌اند. این آمار می‌تواند مبنای ارزشمندی برای مطالعات منابع آب، خشکسالی‌ها، تغییر اقلیم، گرمایش جهانی و ... باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش مبادرت به ترمیم داده‌های مفقود ۱۲۵ ساله دما و بارش ماهانه مشهد با چند روش کرده است. امروزه روش‌های کارآمدتری برای رفع مشکل داده مفقود ارائه شده است که به سازوکار داده‌های مفقود بستگی دارد.

رگرسیون

تابعی است که وابستگی یک متغیر (پاسخ) به یک یا چند متغیر (پیشگو) را ارائه می‌دهد. این تابع می‌تواند خطی، غیرخطی، ساده و چندگانه باشد. رگرسیون چندگانه ابزاری سودمند در ترمیم و گسترش داده‌های مفقود است (۳). بررسی باقی‌مانده‌ها (آسیب‌شناسی^۲) الگوی رگرسیونی یکی از نقاط قوت رگرسیون است. رگرسیون امیدریاضی شرطی Y به شرط متغیرهای X_1 تا X_k مطابق رابطه $Y = E(Y | X_1 = x_1, \dots, X_k = x_k)$ است. رابطه (۱) رگرسیون چندگانه خطی را براساس k متغیر پیشگو نشان می‌دهد. β_0 تا β_k پارامترهای الگو هستند که باید با داده‌های در دسترس برآورد شوند. u مؤلفه خطاست که از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت σ^2

مارکوارت^۴ (LM) است در مطالعات هیدرولوژیکی رایج است (۱۸ و

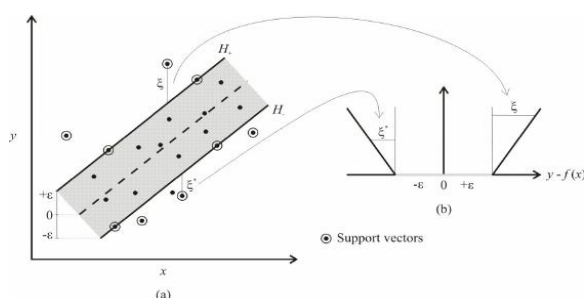
رگرسیون بردار پشتیبان^۵

رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) مستقیماً از نظریه ماشین بردار پشتیبان (SVM) استخراج شده است (۲۱). این روش یک طبقه‌بندی کننده اطلاعات با حاشیه اطمینان نواری ایجاد می‌کند (شکل ۲). این کار کمینه کردن تابع ریسک عملی است (رابطه ۲). مجموعه‌ای از داده‌ها به شکل $(x_i, y_i)_{1 \leq i \leq n}$ که $x_i \in R^n$ و $y_i \in R$ در اختیار است. SVR ساده‌ترین تابع تخمینگر را به صورت $f(x) = w^T x + b$ در نظر می‌گیرد، به‌طوری که رابطه بین داده‌های برداری x و مقادیر خروجی y را به بهترین شکل ممکن (کمترین خطا) تخمین می‌زند.

$$R_{\text{emp}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^N |y_k - w^T x_k - b|_{\varepsilon} \quad (2)$$

رابطه (۲) تابع ریسک است. عبارت داخل سیگما در عبارت فوق تابع هزینه وپنیک نام دارد و تابعی به شکل رابطه (۳) و شکل ۳ است (۲۱).

$$|y - f(x)|_{\varepsilon} = \begin{cases} 0 & \text{if } |y - f(x)| \leq \varepsilon \\ |y - f(x)| - \varepsilon & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$



شکل ۲- نمودار تابع هزینه وپنیک
Figure 2- Vapnik's cost function graph

الگوریتم ژنتیک^۶

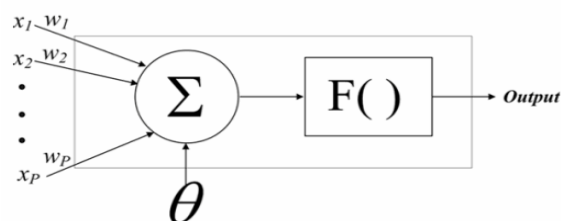
الگوریتم ژنتیک (GA) بر اساس نظریه تکاملی داروین بنا شده است و جواب مساله‌ای که از این طریق حل می‌شود رفته رفته بهبود می‌یابد. الگوریتم ژنتیک با یک مجموعه از جواب‌ها که از طریق کروموزوم‌ها نشان داده می‌شوند شروع می‌شود. این مجموعه

پیروی می‌کند. σ^2 نیز باید توسط داده‌ها برآورد شود (۱۵ و ۱۶).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + u \quad (1)$$

شبکه عصبی مصنوعی^۱

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) در واقع نوعی رگرسیون غیرخطی است. این روش برگرفته از سیستم‌های یادگیری دستگاه عصبی است که در آنها یک مجموعه پیچیده نرون‌های متصل در کار یادگیری دخیل هستند (شکل ۱). عصب‌ها (اجتماعی از نرون‌ها) اطلاعات و پیام‌های الکتروشیمیایی را منتقل می‌کنند. اگر پیام از حدی مشخص (آستانه یا سرحد) بیشتر شود، پیام منتقل می‌شود. مغز قادر است برای شناسایی الگوها و تفکیک الگوهای ناقص، آموزش ببیند. به‌علاوه، عملکرد مغز با از دست دادن برخی از نرون‌ها، از دست نخواهد رفت. نرون یک واحد تخمین‌گر ساده است که سیگنال‌ها را از طریق راه‌های ورودی رشته‌ای شکل به نام دندریت دریافت و ترکیب می‌کند. نرون‌ها دارای سوما (بدنه‌ی سلول، هسته و قسمت‌های حفاظتی)، دندریت (منطقه‌ی ورودی سلول، مجموعه‌ای از الیاف شاخه‌ای)، آکسون (ناحیه‌ی خروجی و خط انتقال نرون، رشته‌های شاخه‌ای و بلندتر از سایر اجزای سلول) و سیناپس (محل تلاقی آکسون سلول با دندریت سلول دیگر) است (۱۹).



شکل ۱- ساختار یک نرون مصنوعی
Figure 1- The structure of an artificial neuron

ANN با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها با فرآیند یادگیری^۲ و با نرون‌ها تلاش می‌کند، نگاشتی میان فضای ورودی (لایه ورودی) و فضای مطلوب (لایه خروجی) ارائه دهد. لایه (یا لایه‌های مخفی)، اطلاعات دریافت شده از لایه ورودی را پردازش کرده و در اختیار لایه خروجی قرار می‌دهند. چندین الگوریتم آموزشی ANN وجود دارد. شبکه عصبی پس انتشار خطا^۳ (RBP) و پرسپترون چندلایه (MLP) با الگوریتم‌های آموزشی مختلف که معروف‌ترین آن‌ها لونیبرگ

4- Levenberg-Marquart
5- Support vector Regression
6- Genetic Algorithm

1- Artificial neural network
2- Learning
3- Back propagation

عشق آباد (T_{Ash})، بایرامعلی (T_{Bai})، گودان (T_{Gud})، سرخس (T_{Ser}) و تاجن (T_{Ted}) از ترکمنستان برای ترمیم دمای ماهانه ایستگاه مشهد انتخاب شدند. سه متغیر فاصله، همبستگی و وجود داده در ماه‌های مفقود در انتخاب این ایستگاه‌ها مؤثر بودند. مشخصات ایستگاه‌های برگزیده و سه عامل فوق در جدول ۱ آمده است. آزمون t در کلیه موارد (با $p\text{-value} < 2.2e-16$) همبستگی بارش ماهانه شش ایستگاه برگزیده با ایستگاه پاسخ را تأیید می‌کند.

الگوهای رگرسیونی

ترمیم بارش ماهانه مشهد به کمک ایستگاه‌های ذکر شده در جدول ۱ با ده الگوی رگرسیونی خطی و تمام لگاریتمی به شرح زیر انجام شده است. این کار با برنامه نویسی در محیط R-Studio صورت گرفت. الگوهای برازشی به ترتیب در الگوهای (P_1) تا (P_{10}) آمده است (متغیرها در بخش قبل تعریف شده‌اند).

$$R_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 R_{Ash} + \beta_2 R_{Kus} + \beta_3 R_{Ser} \quad (P_1)$$

$$(P_2)$$

$$\log(R_{Mas} + 1) = \beta_0 + \beta_1 \log(R_{Ash} + 1) + \beta_2 \log(R_{Kus} + 1) + \beta_3 \log(R_{Ser} + 1)$$

$$R_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 R_{Kus} + \beta_2 R_{Rep} + \beta_3 R_{Ser} \quad (P_3)$$

$$(P_4)$$

$$\log(R_{Mas} + 1) = \beta_0 + \beta_1 \log(R_{Kus} + 1) + \beta_2 \log(R_{Rep} + 1) + \beta_3 \log(R_{Ser} + 1)$$

$$R_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 R_{Bai} + \beta_2 R_{Kus} + \beta_3 R_{Ser} \quad (P_5)$$

$$(P_6)$$

$$\log(R_{Mas} + 1) = \beta_0 + \beta_1 \log(R_{Bai} + 1) + \beta_2 \log(R_{Kus} + 1) + \beta_3 \log(R_{Ser} + 1)$$

$$R_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 R_{Kus} + \beta_2 R_{Ker} + \beta_3 R_{Kus} \quad (P_7)$$

$$(P_8)$$

$$\log(R_{Mas} + 1) = \beta_0 + \beta_1 \log(R_{Bai} + 1) + \beta_2 \log(R_{Ker} + 1) + \beta_3 \log(R_{Kus} + 1)$$

$$R_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 R_{Ash} + \beta_2 R_{Bai} + \beta_3 R_{Ser} \quad (P_9)$$

$$(P_{10})$$

$$\log(R_{Mas} + 1) = \beta_0 + \beta_1 \log(R_{Ash} + 1) + \beta_2 \log(R_{Bai} + 1) + \beta_3 \log(R_{Ser} + 1)$$

ترمیم دمای ماهانه مشهد به کمک ایستگاه‌های مینا (جدول ۱) با شش الگوی رگرسیونی غیرخطی و نیمه لگاریتمی به شرح زیر انجام شده است. الگوهای دما به ترتیب در الگوهای (T_1) تا (T_6) آمده است.

$$(T_1)$$

$$T_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 T_{Ash}^2 + \beta_2 T_{Bai}^{0.2} + \beta_3 \log(T_{Gud} + 5) + \beta_4 \exp(T_{Ted})$$

$$(T_2)$$

$$T_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 T_{Ash}^2 + \beta_2 \log(T_{Bai} + 6) + \beta_3 \log(T_{Gud} + 5)$$

جواب‌ها جمعیت^۱ اولیه نام دارد. در این الگوریتم جواب‌های حاصل از یک جمعیت برای تولید جمعیت بعدی استفاده می‌شوند. در این فرآیند امید است که جمعیت جدید نسبت به جمعیت قبلی بهتر باشد. انتخاب بعضی از جواب‌ها از میان کل جواب‌ها (والدین)^۲ به منظور ایجاد جواب‌های جدید یا همان فرزندان^۳ بر اساس میزان برازندگی آن‌ها است. طبیعی است که جواب‌های مناسب‌تر شانس بیشتری برای تولید مجدد داشته باشند. این فرآیند تا برقراری شرط تعیین شده (مانند تعداد جمعیت‌ها یا میزان بهبود جواب) ادامه می‌یابد. دو عملگر ترکیب و جهش پایه‌ی GA است (۱۴).

بهینه‌سازی گروه مورچه‌ها^۴

الگوریتم کلونی مورچگان یا ACO از رفتار مورچگان طبیعی اقتباس شده است. مورچه‌ها مسیرهای رسیدن به غذا را به تصادف انتخاب می‌کنند. هر مورچه ماده شیمیایی (به نام فرومون) را در هنگام حرکت به عنوان اثر روی مسیر به جا می‌گذارد. تعداد تردهای زیاد و ایجاد فرومون بیشتر منجر به ایجاد مسیر بهینه می‌شود. روش ACO از این خاصیت استفاده کرده و راه حل بهتری برای مساله با محاسباتی عددی بر مبنای علم احتمالات بهترین مسیر را در یک تابع پیدا می‌کند. هر مورچه که ماده شیمیایی را در مسیر خود به جا می‌گذارد با احتمال رابطه (۴) می‌تواند مورچه بعدی را در این مسیر قرار دهد.

$$P_A(t+1) = \frac{(c + n_A(t))^\alpha}{(c + n_A(t))^\alpha + (c + n_B(t))^\alpha} = 1 - P_B(t+1) \quad (4)$$

$n_A(t)$ و $n_B(t)$ تعداد مورچه‌هایی که در زمان t در مسیر A و B قرار دارند. c درجه جذب برای یک مسیر ناشناخته هر چه c بزرگتر باشد به معنی مقدار فرومون بیشتر برای عدم انتخاب مسیر تصادفی است. α اریبی (انحراف) به سمت فرومون به جا مانده در روند تصمیم‌گیری است (۱۴).

نتایج و بحث

بارش ماهانه ایستگاه‌های عشق آباد (R_{Ash})، سرخس (R_{Ser})، کوشکا (R_{Kus})، بایرام علی (R_{Bai})، کرکی (R_{Ker}) و رپتک (R_{Rep}) از کشور ترکمنستان به عنوان متغیر توضیحی (پیشگو) برای برآورد و ترمیم بارش‌های ماهانه مفقودی مشهد (R_{Mas}) انتخاب شدند. همچنین برآورد و ترمیم دمای ماهانه مشهد (T_{Mas}) با دماهای ماهانه

- 1- Population
- 2- Parents
- 3- Offspring
- 4- Ant Colony optimization

جدول ۱- ایستگاه‌های منتخب هواشناسی ترکمنستان برای ترمیم داده‌های مفقودی ماهانه مشهد

Table 1- The selected stations of Turkmenistan for imputation monthly missing data of Mashhad

ایستگاه‌های مستقل Independent stations	سرخس Serahs	عشق آباد Ashghabad	کوشکا Kushka	بایرام علی BairamAli	رپتک Repetek	کرکی Kerki	تجن Tedzen	گودان Gudan
فاصله تا مشهد (مایل) Distance to Mashhad (mil)	91.48	137.43	166.68	168.85	252.28	326.46	91.28	116.01
فاصله تا مشهد (کیلومتر) Distance to Mashhad (km)	147.2	221.1	268.2	271.7	405.9	525.3	146.9	186.7
همبستگی با بارش مشهد Correlation with Mashhad precipitation	r آماره t	0.81 41.41	0.70 32.08	0.70 30.68	0.68 30.95	0.68 24.80	0.64 27.55	- -
همبستگی با دمای مشهد Correlation with Mashhad temperature	r آماره t	0.995 255.08	0.990 226.19	- -	0.992 256.92	- -	- -	0.991 225.22
								0.986 154.67

جدول ۲- ضرایب الگوهای P۱ تا P۵ بارش مشهد، عامل تورم واریانس (VIF)، آماره دوربین واتسون، خطا و قدرت الگو

 Table 2- The Mashhad rainfall Coefficients for p1 to p5 patterns, VIF¹, Durbin-Watson Statistics, RMSE and Pattern power

ضرایب Coefficients	برآورد ضریب Coefficient estimate	خطای معیار Standard error	آماره t	هم خطی (VIF)	ضریب تعیین (R^2_{adj})	جذر مربع خطا (RMSE)	آماره F	دوربین واتسون (D-W)
الگوی (P۱)	β_0	2.05	3.87	-	0.78	9.79	968	1.76
	β_1	0.29	0.03	11.34				
	β_2	0.11	0.02	5.92				
	β_3	0.68	0.03	19.74				
الگوی (P۲)	β_0	0.27	0.04	6.27	0.81	13.56	1165	1.77
	β_1	0.34	0.03	12.96				
	β_2	0.17	0.03	5.57				
	β_3	0.46	0.04	12.59				
الگوی (P۳)	β_0	3.84	0.57	6.76	0.75	12.00	677	1.61
	β_1	0.11	0.02	4.63				
	β_2	0.22	0.05	4.73				
	β_3	0.73	0.04	18.46				
الگوی (P۴)	β_0	0.54	0.04	13.09	0.79	14.31	824	1.60
	β_1	0.19	0.04	4.50				
	β_2	0.19	0.04	4.40				
	β_3	0.52	0.05	11.16				
الگوی (P۵)	β_0	4.15	0.53	7.82	0.74	12.23	801	1.65
	β_1	0.096	0.038	2.50				
	β_2	0.14	0.02	6.67				
	β_3	0.78	0.042	18.57				

بارشی پایا است (با مقادیر احتمال نزدیک به صفر). همچنین نمودار پراکنش تثبیت واریانس نیز آن را تأیید می‌کند (مقادیر پیش‌بینی شده در برابر باقیمانده‌های استاندارد شده به صورت ایده‌آل و مستطیلی توزیع شده‌اند).

داده پرت: مقدار کم آماره میانگین فاصله کوک در تمام الگوها $0/0012$ تا $0/0024$ برای الگوهای بارشی و $0/0016$ تا $0/0038$ برای الگوهای دمایی) نبود داده پرت را نشان می‌دهد.

نرمال بودن باقیمانده‌ها: بررسی نرمال بودن باقیمانده‌ها با آزمون شاپیرو و نمودار چندکی انجام شد. نتایج نشان داد که باقیمانده‌ها در الگوهای دمایی به صورت نرمال توزیع شده‌اند. اما در الگوهای بارشی کمی انحراف از نرمال بودن باقیمانده‌ها مشاهده شد. با توجه به اینکه اندازه نمونه به میزان کافی بزرگ و سایر فروض کلاسیک برقرار، انحراف از فرض نرمال بودن معمولاً کم‌اهمیت و پیامدهای آن ناچیز است (۲۲) لذا می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد.

$$T_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 T_{Ash}^2 + \beta_2 T_{Bai}^{0.2} + \beta_3 T_{Gud}^{0.3} \quad (T3)$$

$$T_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 T_{Ash}^2 + \beta_2 T_{Bai}^{0.2} + \beta_3 \log(T_{Gud} + 5) \quad (T4)$$

$$T_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 T_{Ash} + \beta_3 \log(T_{Gud} + 6) \quad (T5)$$

$$T_{Mas} = \beta_0 + \beta_1 T_{Ser} + \beta_3 \log(T_{Gud} + 6) \quad (T6)$$

نتایج برای الگوهای $(P1)$ تا $(P10)$ در جداول (۲ و ۳) و الگوهای $(T1)$ تا $(T6)$ در جدول ۴ آمده است.

آزمون‌های آسیب‌شناسی الگوها (تحلیل باقیمانده‌ها) انجام شد. به دلیل حجم بالا از آوردن نمودارها صرف نظر می‌شود و فقط به نتایج حاصل اکتفا می‌کنیم.

استقلال باقیمانده‌ها: آماره آزمون دوربین واتسون در محدوده ناهمبسته بودن مقادیر جدول دوربین واتسون $(2/26 - 1/60)$ قرار دارد. بنابراین استقلال باقیمانده‌ها تأیید می‌شود (جدول ۲ تا ۴).

پایایی واریانس: مقدار آماره کای-دو در آزمون پایایی واریانس (ncvtest) نشان می‌دهد واریانس باقیمانده‌ها برای الگوهای دمایی و

جدول ۳- ضرایب الگوهای $P6$ تا $P10$ بارش مشهد، عامل تورم واریانس (VIF)، آماره دوربین واتسون، جذر مربع خطا و قدرت الگو

Table 3- Coefficients of Mashhad rainfall for p6 to p10 patterns, VIF, Durbin-Watson Statistics, RMSE and Pattern power

دوربین واتسون (D-W)	آماره F	جذر مربع خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R_{adj}^2)	همخطی (VIF)	آماره t	خطای معیار Standard error	برآورد ضریب Coefficient estimate	ضرایب Coefficients
الگوی $(P6)$	1.67	14.80	0.79	6.3	14.68	0.037	0.54	β_0
					7.39	0.041	0.30	β_1
					5.82	0.032	0.19	β_2
					9.34	0.045	0.42	β_3
الگوی $(P7)$	1.60	13.48	0.63	2.4	8.33	0.59	4.91	β_0
					10.55	0.039	0.41	β_1
					5.39	0.041	0.22	β_2
					11.62	0.022	0.26	β_3
الگوی $(P8)$	1.70	15.84	0.75	4.7	14.56	0.039	0.57	β_0
					12.46	0.037	0.47	β_1
					2.89	0.038	0.11	β_2
					9.23	0.031	0.29	β_3
الگوی $(P9)$	0.71	11.48	0.74	2.01	5.15	0.55	2.83	β_0
					9.89	0.028	0.28	β_1
					0.98	0.039	0.04	β_2
					0.33	0.036	0.78	β_3
الگوی $(P10)$	1.78	12.32	0.81	6.9	6.84	0.042	0.29	β_0
					5.19	0.041	0.21	β_1
					11.22	0.027	0.30	β_2
					12.74	0.037	0.47	β_3

جدول ۴- ضرایب الگوهای T۱ تا T۶ دمای مشهد، عامل تورم واریانس (VIF)، آماره دوربین واتسون، جذر میانگین مربع خطا و قدرت الگو
Table 4- Mashhad temperature Coefficients of T1 to T6, VIF, Durbin-Watson Statistics, RMSE and Pattern power

دوربین واتسون (D-W)	آماره F	جذر مربع خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R^2_{adj})	همخطی (VIF)	آماره t	خطای معیار Standard error	برآورد ضریب Coefficient estimate	ضرایب Coefficients
							10	β_0
					35.25	0.046		
					47.77	0.00025		β_1
الگوی (T۱)	1.3×10^4	0.90	0.9877	5.7	22.12	0.47	0.012	β_2
				10.0	16.25	0.197	10.38	β_3
				9.6	-2.12	3.9×10^{-15}	8.6×10^{-15}	β_4
				1.4				
					-5.40	0.35	-1.89	β_0
					71.23	0.01	0.74	β_1
الگوی (T۲)	1.7×10^4	1.00	0.9864	7.0	-2.52	0.18	-0.46	β_2
				8.3	13.00	0.14	1.89	β_3
				8.7				
					-	0.57	-14.74	β_0
					25.78	0.0003	0.02	β_1
الگوی (T۳)	10^4 $1.6 \times$	0.90	0.9868	5.3	47.39	0.53	10.25	β_2
				10	19.19	0.25	3.7	β_3
				10	14.69			
					-	0.45	-16.40	β_0
					52.51	0.0003	0.12	β_1
الگوی (T۴)	1.7×10^4	0.89	0.9874	9.5	22.78	0.47	10.63	β_2
				10	15.90	0.19	3.03	β_3
				4.6				
					-	0.021	-4.55	β_0
					15.86	0.0096	0.79	β_1
الگوی (T۵)	3.7×10^4	0.93	0.9931	8.7	18.55	0.16	1.81	β_2
				8.7	11.17			
					-	0.31	-4.87	β_0
					70.50	0.0097	0.69	β_1
الگوی (T۶)	2.8×10^4	0.71	0.9881	7.5	16.15	0.16	2.74	β_2
				7.5				

بهینه‌سازی الگوها با الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچگان

برآورد پارامترهای رگرسیونی به روش کمترین مربعات خطا انجام می‌شود. چون این الگوها برازش خوبی بر داده‌ها دارند صورت کلی الگوها را پذیرفته و ضرایب الگوها با دیدگاه دیگری (GA و ACO) برآورد می‌شوند. با توجه به اینکه نتایج الگوهای بارشی مشابه هستند پنج الگوی اصلی (الگوهای خطی) انتخاب شد. پارامترهای این پنج الگو و ۶ الگوی دما (جدول ۲ تا ۴) به کمک GA و الگوریتم ACO بهینه‌سازی می‌شوند. شبیه‌سازی این الگوریتم‌ها در محیط نرم‌افزار

متلب انجام شده است. پیش فرض‌های GA عبارتند از: محدوده تغییرات ضرایب ۲۰- تا ۲۰+ (براساس تحلیل پایلوت). بیشترین تکرار الگوریتم از ۲۰۰ تا ۳۰۰۰ برای هر الگو. ورودی‌های اولیه مشترک برای الگوها مطابق جدول ۵ است. بهینه‌سازی با ACO نیز نیازمند مقادیر اولیه است. پارامترهای ثابت در همه الگوها در جدول ۶ آمده است. تعداد جمعیت اولیه را ۱۰ در نظر می‌گیریم. مقدار وزن‌ها و احتمالات به دست آمده مطابق جدول ۷ است.

جدول ۵- مفروضات و ورودی‌های اولیه برای اجرای الگوریتم ژنتیک

Table 5- Assumptions and initial inputs for implementing the genetic algorithm

روش Method	پارامتر μ Mutation parameter	پارامتر گاما Gamma	تعداد والدین Number of parents	احتمال (درصد) انتخاب داده μ mutation rate	درصد تقاطع Crossover rate	تعداد جمعیت اولیه Population size	بیشترین تکرار Maximum iteration
چرخ رولت Roulette wheel	0.02	0.05	2	0.3	0.8	30	1000 to 3000

جدول ۶- پارامترهای ثابت در همه الگوهای الگوریتم کلونی مورچگان

Table 6- Fixed Parameters in All Patterns of the Ant Colony Algorithm

تعداد جمعیت اولیه Initial population count	بیشترین تکرار Maximum iteration	اندازه نمونه n Sample size	فاکتور شدت q Intensification factor	نرخ فاصله-خطا (زیتا) Deviation-distance ratio
10	100	50	0.5	1

جدول ۷- مقدار وزن‌ها و احتمالات به دست آمده در همه الگوهای الگوریتم کلونی مورچگان

Table 7- Value of the weights and probabilities obtained in all patterns of the Ant Colony Algorithm

وزن‌ها (w) Weights	0.0798	0.0782	0.0737	0.0666	0.0579	0.0484	0.0388	0.0299	0.0222	0.0158
احتمالات (p) Probabilities	0.1560	0.1529	0.1440	0.1303	0.1133	0.0946	0.0759	0.0586	0.0434	0.0309

بارش ماهانه مشهد و دمای ماهانه ایستگاه‌های عشق آباد، گودان، سرخس و تجن نیز برای مدل‌سازی دمای ماهانه مشهد با روش ANN انتخاب شد. تعداد نرون‌های پنهان در لایه ورودی برای دما ۵ و برای بارش ۳ انتخاب شد (با تکرار و خطا) بهترین تابع فعالیت تابع سیگموئید (tanh) و الگوریتم آموزش LM است. تقسیم بندی داده‌ها به صورت تصادفی است. میزان کارایی با MSE سنجیده می‌شود. به الگوریتم اجازه می‌دهیم تا ۵۰۰ بار تکرار شود. کارایی (میزان خطا) و گرادین اعدادی نزدیک صفر و تعداد شکست ۲۰ یعنی اجازه می‌دهیم ۲۰ بار شکست بخورد. هر کدام از موارد فوق صورت گیرد باعث توقف فرآیند می‌شود. نتیجه در تکرار ۳۶ و خطای ۰/۴۵۸ حاصل شده و الگوریتم خاتمه یافت.

رسم کل داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط شبکه داده‌ها در شکل‌های ۳ و ۴ به همراه میزان خطا و ضریب تعیین رگرسیونی آمده است. نحوه توزیع خطاها در شکل ۵ آمده است. توزیع میزان خطا در بخش‌های آموزش، آزمایش و اعتبارسنجی با رنگ‌های مجزا مشخص شده است. توزیع خطاها تقریباً نرمال و میانگین نزدیک به صفر است. خطای MSE برای مدل‌سازی دما در تکرار هشتم به کمترین مقدار خود یعنی ۰/۴۹۸ می‌رسد. در مورد بارش تکرار ۴۳ام با مقدار ۸۴/۷ برای MSE کمینه است (RMSE=9.2). این مقادیر کمینه خطا در بخش اعتبارسنجی می‌باشد و برای کل داده‌ها کمی افزایش می‌یابد (اشکال ۳ و ۴). یعنی خطای برآورد بارش در روش ANN نسبت به رگرسیون تفاوت چندانی ندارد اما در مورد دما عملکرد خوبی داشته است (RMSE=0.725).

نتایج شامل ضرایب بهینه شده و معیار خطا (RMSE) برای الگوهای دمایی مطابق جدول ۸ و برای الگوهای بارشی مطابق جدول ۹ است. همان‌طور که در جدول ۹ آمده است خطای برآورد (RMSE) در همه الگوها کمتر از ۳ است. مقدار RMSE نشان می‌دهد که این روش‌ها در برآورد بارش ماهانه بسیار موفق عمل کرده و خطای الگوها به طور چشمگیری کاهش یافته است. الگوی (P۱) بارش پس از بهینه‌سازی به کمک GA و ACO با RMSE = 2.56 کمترین خطا را دارد (جدول ۹). لذا داده‌های مفقود ماهانه بارش طولانی مدت مشهد با یکی از این الگوها تکمیل و جاگذاری می‌شود. نمودار سری زمانی بارش طولانی مدت سالانه مشهد پس از تکمیل و ترمیم با الگوی GA در شکل ۸ آمده است. مقادیر جاگذاری شده با رنگ قرمز نشان داده شده است. تغییر محسوسی در کاهش میزان خطای الگوهای دما پس از بهینه‌سازی با این دو روش (ACO و GA) مشاهده نمی‌شود (جدول ۸).

برآورد داده‌های مفقود دما و بارش ماهانه مشهد به روش شبکه عصبی مصنوعی

مدل MLP از روش ANN به منظور مدل‌سازی داده‌های بارش و دمای ماهانه مشهد انتخاب و اجرا شده است. بسته نرم‌افزاری nftool در نرم‌افزار متلب ۲۰۱۷ برای اینکار استفاده شده است. ۷۰٪ داده‌های کامل و معلوم برای آموزش شبکه ۱۵٪ برای اعتبارسنجی و ۱۵٪ برای آزمایش به طور تصادفی انتخاب شد. بارش ماهانه عشق آباد، کوشکا و سرخس به منظور مدل‌سازی

جدول ۸- ضرایب اصلاح شده الگوهای دما با الگوریتم ژنتیک و الگوریتم کلونی مورچگان

Table 8- Improved coefficients of temperature patterns with genetic algorithm and Ant colony algorithm.

ضرایب Coefficients	برآورد ضرایب با GA Coefficient estimate by GA	بیشترین تکرار Max iteration	NFE	RMSE _{GA}	برآورد ضرایب ACO Coefficient estimate by ACO	RMSE _{ACO}
الگوی (T _۱)	β_0	-2.263			-10.137	
	β_1	0.016			0.014	
	β_2	-4.735	500	16530	-0.071	0.976
	β_3	7.035			7.119	
	β_4	-0.308			-0.222	
الگوی (T _۲)	β_0	-15.53			-13.979	
	β_1	0.016	200	6630	0.018	1.004
	β_2	3.006			2.007	
	β_3	6.287			6.287	
الگوی (T _۳)	β_0	-13.773			-37.382	
	β_1	0.0123	500	16530	0.009	0.874
	β_2	-5.146			18.706	
	β_3	14.320			5.993	
الگوی (T _۴)	β_0	-17.655			-18.592	
	β_1	0.018	200	6630	0.017	0.976
	β_2	5.469			4.320	
	β_3	6.304			7.386	
الگوی (T _۵)	β_0	-2.913			-5.235	
	β_1	0.758	200	6630	0.681	0.854
	β_2	1.589			2.926	
الگوی (T _۶)	β_0	-5.47			-4.439	
	β_1	0.757	200	4420	0.790	0.744
	β_2	2.364			1.764	

الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)

SVR به عنوان یک روش یادگیری ماشین به منظور ترمیم بارش و دمای ماهانه مشهد برازش داده شد. نتایج حاصل از برازش الگوی SVR به دمای ماهانه ایستگاه مشهد در برابر پنج ایستگاه مبنا در جدول ۱۰ آمده است. روش تابع کرنل^۱ رادیال^۲ برای الگوریتم SVR انتخاب شد. پارامترهای ورودی هزینه و اپسیلون در مرحله اول به طور پیش فرض به ترتیب ۱ و ۰/۱ را در نظر گرفته شد. بازه ای از اعداد حقیقی در مراحل بعدی برای هر کدام از این دو پارامتر آزمایش و بهترین خروجی انتخاب شد. بازه به کار رفته در مرحله دوم برای

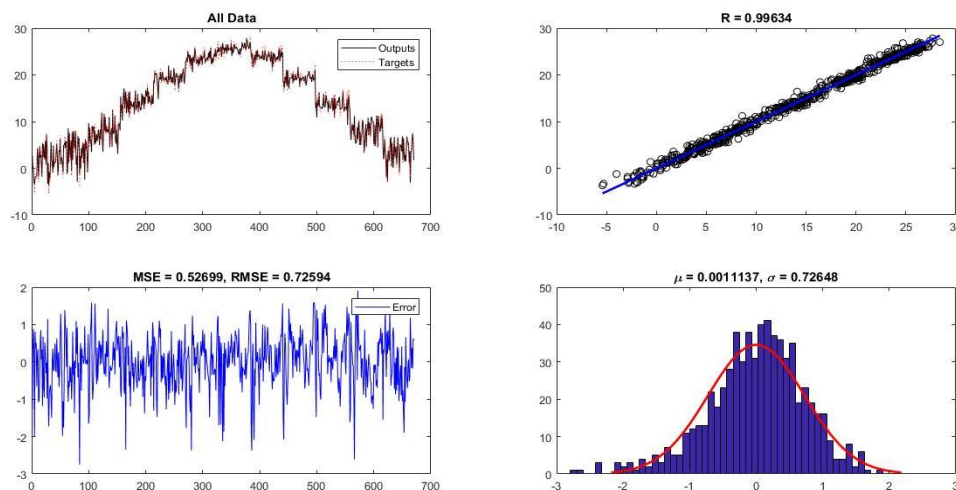
هزینه اعداد ۲^{-۵}، ۲^{-۱}، ...، ۲^۵ و برای اپسیلون اعداد ۰، ۰/۱، ۰/۲، ...، ۱ را دو به دو آزمون می‌کند (جمعا ۶۶ آزمون). بهترین پارامترهای انتخاب شده در جدول ۱۰ آمده است. پارامتر هزینه در مرحله سوم در بازه ۲^{-۵} تا ۲^{-۱} و اپسیلون بین صفر تا ۰/۲ با فاصله‌های ۰/۰۱ تغییر می‌کند (۳۳۶ آزمون). با توجه به بهترین پارامترهای مراحل قبل، در مرحله چهارم هزینه ۲^{-۱}، ۲^{-۳} و اپسیلون ۰/۰۱ تا ۰/۱۵ با فاصله‌های ۰/۰۱ انتخاب شدند (۴۵ تکرار).

1- SVM-Kernel

2- Radial

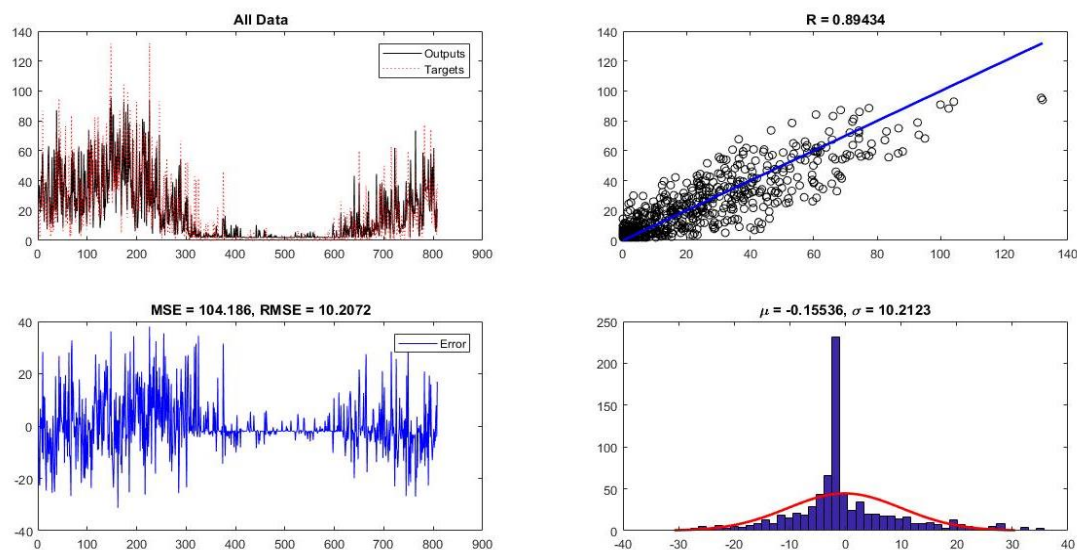
جدول ۹- جدول ضرایب اصلاح شده پنج الگوی انتخابی بارش با الگوریتم ژنتیک و الگوریتم کلونی مورچگان
 Table 9- Improved coefficients of five selected rainfall patterns with genetic algorithm and Ant colony algorithm

ضرایب Coefficients	برآورد ضرایب با Coefficient estimate by GA	بیشترین تکرار Max iteration	NFE	RMSE _{GA}	برآورد ضرایب ACO Coefficient estimate by ACO	RMSE _{ACO}
الگوی (P۱)	β_0	-0.0026			-2.768×10^{-7}	
	β_1	0.276	1000	23030	0.262	2.559
	β_2	0.123			0.137	
	β_3	0.665			0.654	
الگوی (P۳)	β_0	0.122	2000	66030	4.618×10^{-10}	2.628
	β_1	0.101			0.119	
	β_2	0.325			0.312	
	β_3	0.717			0.702	
الگوی (P۵)	β_0	0.00028	3000	99030	2.304×10^{-6}	2.673
	β_1	0.116			0.146	
	β_2	0.148			0.168	
	β_3	0.794			0.726	
الگوی (P۷)	β_0	0.00065	3000	99030	1.753×10^{-6}	2.925
	β_1	0.485			0.443	
	β_2	0.235			0.286	
	β_3	0.255			0.238	
الگوی (P۹)	β_0	0.00055	3000	99030	6.251×10^{-9}	2.648
	β_1	0.280			0.296	
	β_2	0.092			0.032	
	β_3	0.775			0.820	



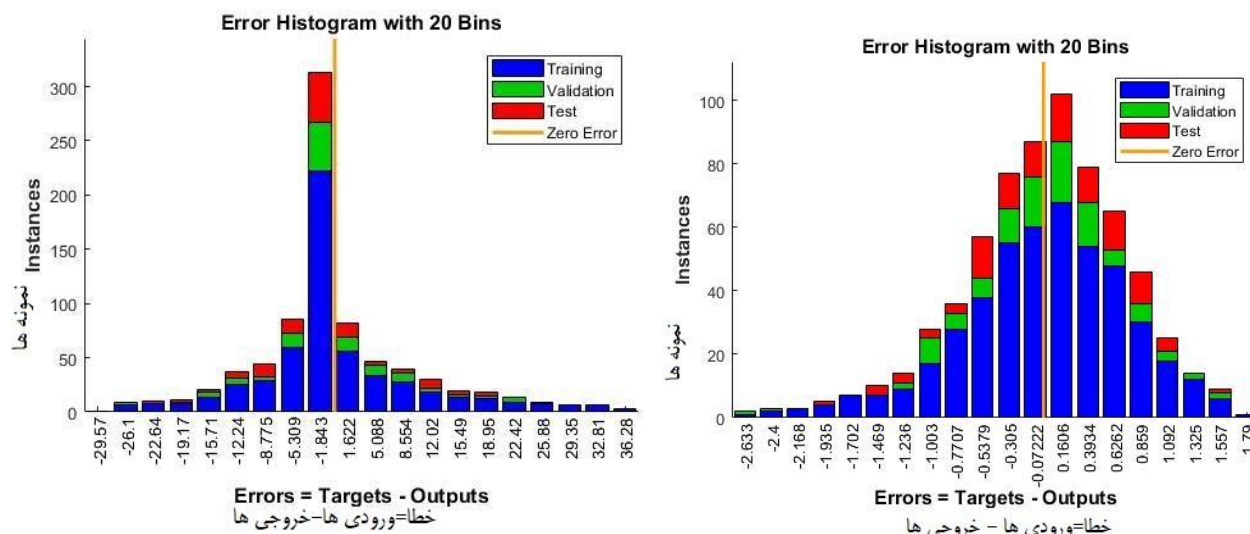
شکل ۳- رسم کل دمای ماهانه مشاهده‌ای مشهد در برابر داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی، ضریب تعیین، نمودار سری زمانی مقادیر خطا و توزیع μ

Figure 3- A graph of the observed monthly temperature of Mashhad against predicted data by network, determination coefficient, time series of error values and μ distribution



شکل ۴- رسم کل بارش ماهانه مشاهده‌ای مشهد در برابر داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی، ضریب تعیین، نمودار سری زمانی مقادیر خطا و توزیع μ

Figure 4- A graph of the observed monthly rainfall of Mashhad against predicted data by network, determination coefficient, time series of error values and μ distribution



شکل ۵- توزیع خطاهای مدل‌سازی بارش مشهد (راست) و دمای مشهد (چپ) در بخش‌های آموزش (آبی)، اعتبارسنجی (سبز) و آزمایش (قرمز)
Figure 5- Distribution of modeling errors in Mashhad precipitation (right) and Mashhad temperature (left) in education (blue), validation (green) and experiment (red)

ماهانه ایستگاه مشهد جاگذاری^۱ مفقودی‌های دما به روش بهینه‌سازی با رگرسیون بردار پشتیبان انجام و سری زمانی دراز مدت آن در شکل ۹ آمده است. مفقودی‌های برآورد شده با رنگ مجزا نمایش داده شده است.

میزان خطا (MSE) در هر مرحله با نمودار پله رنگ نمایش داده می‌شود. نمودار مراحل ۳ و ۴ جدول ۱۰ در شکل ۶ آمده است. محور افقی مقدار اپسیلون و محور عمودی هزینه را نشان می‌دهد. قسمت‌های تیره تر خطای کمتری دارد. همانگونه که مشاهده می‌شود این روش دقت برآورد دما را در به طور قابل ملاحظه‌ای بالا می‌برد (RMSE=0.561).

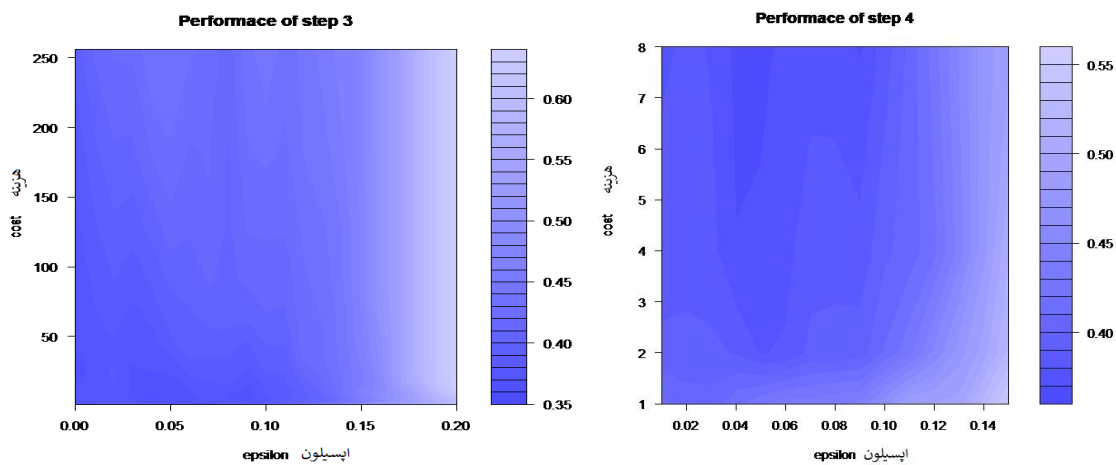
با توجه به عملکرد خوب این روش در افزایش دقت برآورد دمای

1- Imputation

جدول ۱۰- جدول ضرایب اصلاح شده الگوهای دما با الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان

Table 10- Temperature correction coefficients with support vector regression algorithm

مرحله Step	هزینه Best cost	اپسیلون Best epsilon	گاما Gama	وزن ها (W) Weights (W)					ضریب b	تعداد بردارهای پشتیبان Number of support vectors	RMSE
				TAsh	TBai	TGau	TSer	TTed			
اول 1	1	0.1	0.2	5.32	7.03	7.21	6.79	6.39	0.176	84	0.629
دوم 2	4	0.1	0.2	5.39	8.01	7.94	7.65	6.82	0.179	74	0.592
سوم 3	5.66	0.04	0.2	5.27	8.41	7.72	8.61	7.85	0.129	288	0.567
چهارم 4	8	0.05	0.2	5.09	8.58	8.19	8.71	7.73	0.187	241	0.561



شکل ۶- نمایش نموداری میزان خطای مراحل ۳ و ۴ الگوریتم SVR برای دمای مشهد

Figure 6- Graph showing the error rate of steps 3 and 4 of the SVR algorithm for temperature of Mashhad

پارامتر هزینه در بازه 2^{-5} تا 2^3 با تأخیرهای ۰/۵ برای توان و اپسیلون ۰ تا ۰/۲ با تأخیرهای ۰/۱ در نظر گرفته و آزمون می‌شود. در این مرحله با کاهش اندکی در خطا (RMSE) روبرو می‌شویم (۱۱/۸). بهترین پارامترها برای هزینه و اپسیلون به ترتیب ۱/۴ و ۰/۱۶ است (جدول ۱۱ و شکل ۷).

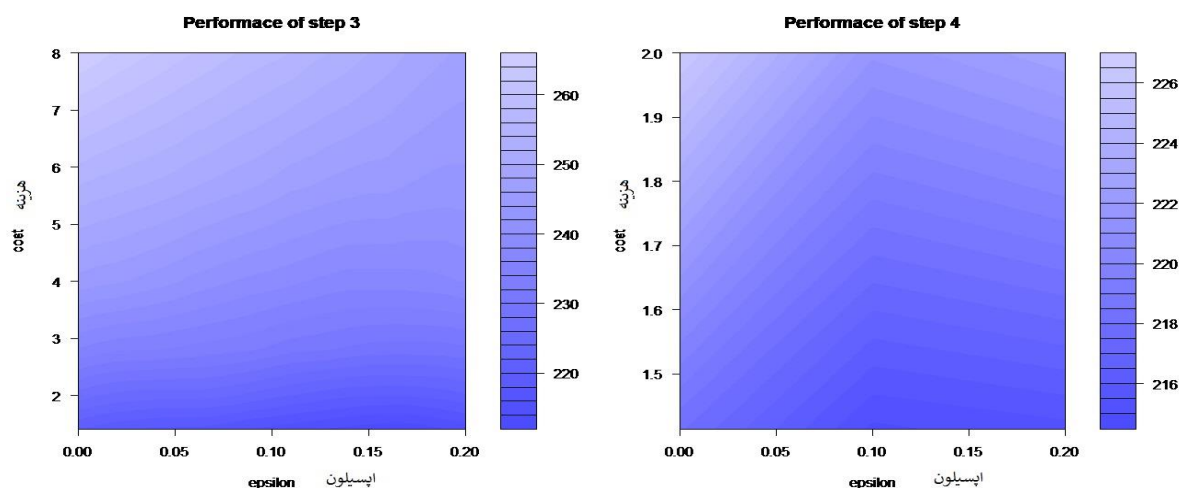
برازش الگوریتم SVR به داده‌های بارش مشهد

ترمیم بارش با الگوریتم SVR مشابه دما انجام می‌شود. پارامتر هزینه و اپسیلون در مراحل اول و دوم مشابه دما انتخاب می‌شود. ضرایب و پارامترها در این مرحله تغییر نکرد، لذا بازه‌های منتخب را با توجه به شکل خروجی تغییر می‌دهیم. به طوری که در مرحله سوم

جدول ۱۱- جدول ضرایب اصلاح شده الگوهای بارش با الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان

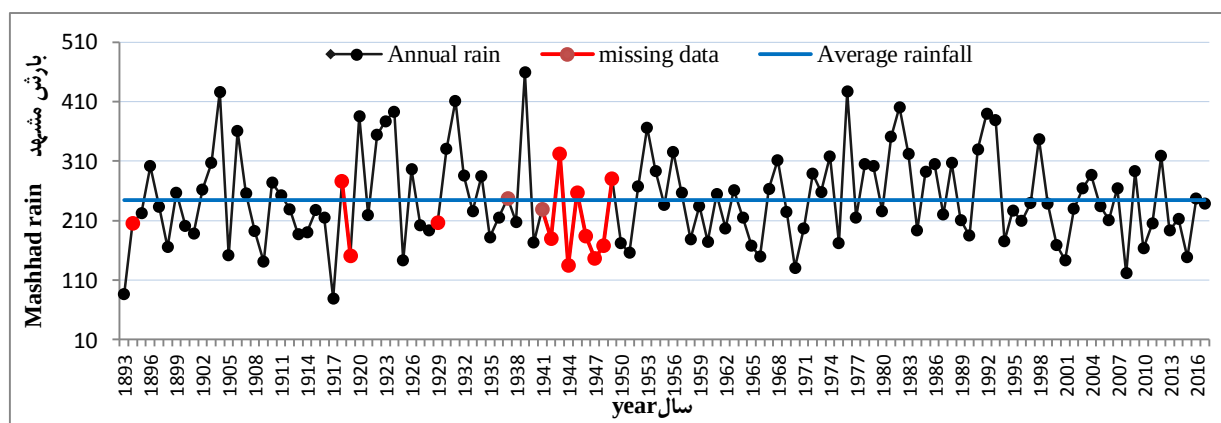
Table 11- Corrected coefficients of rainfall patterns with support vector regression algorithm

مرحله Step	هزینه Best cost	اپسیلون Best epsilon	گاما Gama	وزن ها (W) Weights (W)					ضریب b	تعداد بردارهای پشتیبان Number of support vectors	RMSE
				RAsh	RBai	RKer	RKus	RRep			
اول 1	1	0.1	0.167	13.97	14.16	7.87	13.30	12.07	-1.24	381	12.18
دوم 2	1	0.1	0.167	13.97	14.16	7.87	13.30	12.07	-1.24	381	12.18
سوم 3	1.4	0.16	0.167	16.23	16.11	8.17	14.30	12.33	-1.32	328	11.89
چهارم 4	1.4	0.1	0.167	16.36	16.33	8.12	14.12	12.60	-1.31	382	11.89



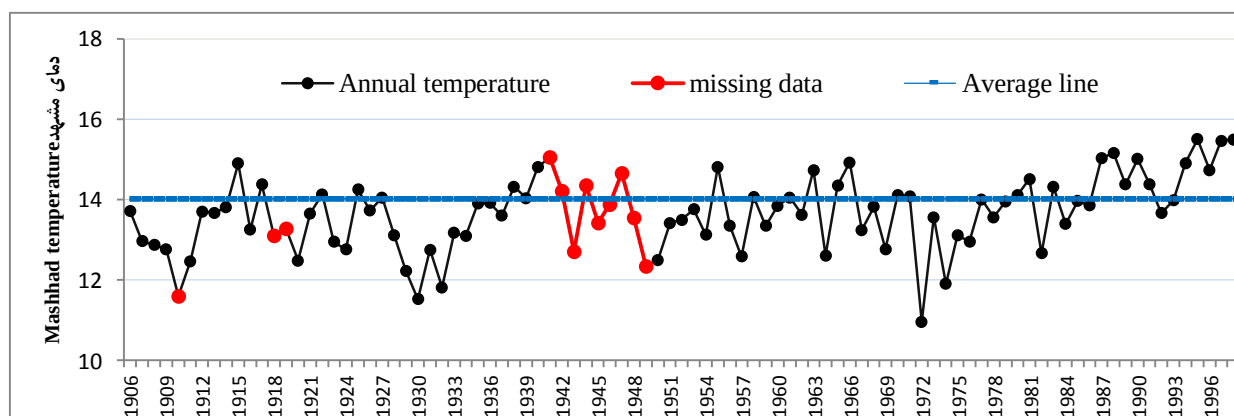
شکل ۷- نمایش نموداری میزان خطای مراحل ۳ و ۴ الگوریتم SVR برای بارش مشهد

Figure 7- Graph showing the error rate of steps 3 and 4 of the SVR algorithm for precipitation of Mashhad



شکل ۸- سری زمانی ۱۲۵ ساله بارش مشهد پس از ترمیم و تکمیل داده‌های ماهانه با روش بهینه‌سازی ژنتیک الگوریتم

Figure 8- The 125-year time series of Mashhad precipitation after the restoration and completion of monthly data using Genetic Optimization Algorithm



شکل ۹- سری زمانی ۱۱۲ ساله دمای مشهد پس از ترمیم و تکمیل داده‌های ماهانه با روش رگرسیون بردار پشتیبان

Figure 9- The 112-year time series of Mashhad temperature after the restoration and completion of monthly data using Support vector regression

نتیجه‌گیری

میلیمتر با GA و ACO کاهش می‌یابد. کمترین معیار خطای (RMSE) بین الگوهای رگرسیونی دمای مشهد $0/986$ میلی‌متر بود. این معیار با روش ANN به $0/726$ میلی‌متر و با SVR نیز به $0/551$ کاهش یافت. مقایسه نتایج الگوهای ترمیم دما و بارش نشان می‌دهد که روش‌های تکاملی فوق برای برآورد بارش و روش‌های یادگیری ماشین برای برآورد دما عملکرد بهتری دارند. لذا بارش ماهانه ۱۲۵ سال مشهد با روش GA ترمیم و ارائه شدند (شکل ۸). همچنین SVR برای ترمیم دمای ماهانه ۱۱۲ سال مشهد انتخاب شد (شکل ۹). این آمار طولانی مدت می‌تواند مبنای ارزشمندی برای تحقیقات آب و هواشناسی باشد.

سپاسگزاری

از آقای مهندس حجت رضایی پژند برای راهنمایی‌های ایشان در این پژوهش سپاسگزارم.

ترمیم و برآورد مقفودی‌های دما و بارش ماهانه طولانی مدت مشهد هدف این مقاله است. انتساب مقادیر مفقود متغیرهای هواشناسی با کمترین خطای ممکن همواره از اهمیت بالایی برخوردار بوده است. ایستگاه‌هایی از کشورهای مجاور به‌عنوان ایستگاه‌های مبنای انتخاب شدند. ترمیم اولیه داده‌های بارش با برازش ده الگوی رگرسیونی چندگانه (با ضرایب تعیین $0/63$ تا $0/81$) و شش الگو برای دمای ماهانه ($0/986$ تا $0/993$) انجام شد. ضرایب الگوهای رگرسیونی با روش‌های GA و ACO به منظور بالا بردن دقت برآوردها، بهینه شدند. روش ANN و SVR نیز برای الگوسازی این داده‌ها نیز به کار گرفته شدند.

نتایج نشان داد روش‌های بهینه‌سازی GA و ACO مقدار خطای RMSE را برای برآورد بارش ماهانه مشهد به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش رگرسیونی کاهش می‌دهد (جدول ۳ و ۸). خطای الگوی (P۱) در بهترین حالت از $9/79$ با روش رگرسیونی به $2/56$

منابع

- 1- Arghami N.R., Sanjari N., and Bozorgnia A. 2010. Elementary Survey Sampling, Mashhad University Pub, pp 435.
- 2- Dastorani M.T., Moghadamnia A., Piri J., and Rico-Ramirez M. 2010. Application of ANN and ANFIS models for reconstructing missing flow data. Environmental Monitoring and Assessment 166(1-4): 421-434.
- 3- Dingman S.L. 2002. Physical Hydrology, Second Edition, PRENTICE HALL.
- 4- Dipak V.P., and Bichkar R.S. 2010. Multiple Imputation of Missing Data with Genetic Algorithm based Techniques, IJCA Special Issue on Evolutionary Computation for Optimization Techniques.
- 5- El Assaad H., Samé A., Govaert G., and Aknin P. 2016. A variational Expectation–Maximization algorithm for temporal data clustering, Computational Statistics and Data Analysis 103: 206–228.
- 6- Farzandi M., Rezaee-Pazhand H., and Sanaeinejad H. 2014. Restoration and development of 127 years of monthly temperature in Mashhad, Journal of Climate Research 5(17&18): 123-111. (In Persian with English abstract)
- 7- Ghahraman B., and Ahmadi F. 2007. Application of Geo statistics in Time series: Mashhad Annual Rainfall, Iran-Watershed Management Science & Engineering 1(1): 7-15.
- 8- Golabi M.R., Akhond-Ali A.M., and Radmanesh F. 2013. Comparison of performance of different artificial neural network algorithms, Journal of Applied Geosciences Research 30: 131-169. (In Persian)
- 9- Iqbal M., Wen J., Wang Sh., Tian Hu., and Adnan M. 2018. Variations of precipitation characteristics during the period 1960-2014 in the Source Region of the Yellow River, China. Journal of Arid Land 10(3): 388-401.
- 10- Jacob D., Reed D.W., and Robson A.J. 1999. Choosing a pooling group. Flood Estimation Handbook. Vol. 3. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- 11- Khalili A., and Bazrafshan J. 2008. Evaluation of drought duration risk using annual secular precipitation data in ancient stations of Iran, Journal of Geophysical, Volume 2, Number 2. (In Persian with English abstract)
- 12- Liao W., Li D., and Cui Sh. 2018. A heuristic optimization algorithm for HMM based on SA and EM in machinery diagnosis, J Intell Manuf © Springer Science 29(8): 1845-1857.
- 13- Little R., JA Rubin D., B. 2002. Statistical analysis with missing data. John Wiley & Sons, 408 pages.
- 14- Motia Ghader H., Lotfi Sh., and Seyyedsafelan M.M. 2010. A Review of Some Intelligent Optimization Techniques, Shabestar Branch of Islamic Azad University Publishing, 215 pp.
- 15- Preis A., and Ostfeld A. 2008. A coupled model tree–genetic algorithm scheme for flow and water quality predictions in watersheds. Journal of Hydrology (Elsevier) 349: 364–375.
- 16- Ranhao S., Baiping Z., and Jing T. 2008. A Multivariate Regression Model for Predicting Precipitation in the Daqing Mountains, Mountain Research and Development 28(3): 318-325.
- 17- Rezaee-Pazhand H., and Bozorgnia A. 2002. Nonlinear Regression Analysis with application, Mashhad University Pub, 400 pp. (In Persian)

- 18- Safavi S.A.A., Pour Jafarian N., and Safavi S.A. 2014. Optimization based on Meta-heuristic algorithms, Publishing Institute of Academic Publishers. (In Persian with English abstract)
- 19- Shanmuganathan S., and Samarasinghe S. 2016. Artificial Neural Network Modelling, Springer International Publishing Switzerland, 468 pages.
- 20- Smithsonian Institution. (1927, 1934, 1947): World weather records, 1910-1920., 1921-1930., 1931-1940., Smithson. Miss C. Collect. 79,90,105. (Publication2913.,3216.,3803)
- 21- Smola A., and Vishwanathan S.V.N. 2008. Introduction to Machine Learning. Cambridge university press 234 pages.
- 22- Souri A. 2017. Advanced econometric studies, c. 2, with the use of stata12 and eviews8, Culture Publishing, 1022 pages. (In Persian)
- 23- Yozgatligil C., Aslan S., Iyigun C., and Batmaz I. 2013. Comparison of missing value imputation methods in time series: the case of Turkish meteorological data, Theory Apply Climatology 112: 143–167.



Imputation of Missing Meteorological Data with Evolutionary and Machine Learning Methods Case Study: Long-term Monthly Precipitation and Temperature of Mashhad

M. Farzandi¹ - H. Sanaeinejad^{2*} - B. Ghahraman³ - M. Sarmad⁴

Received: 29-07-2018

Accepted: 15-04-2019

Introduction: Temperature and precipitation are two of the main variables in meteorology and climatology. These are basic inputs in water resource management. The length of the statistical period plays a pivotal role in the accurate analysis of these variables. Observation data at Iran's first synoptic station from 1330 (1951) is available at the Iranian Meteorological Organization website. The historical monthly precipitation and temperature of five stations in Iran is available since 1880 with missing data. These data measured by the Embassy of the United States and Britain from the Qajar period and recorded in World Weather records books. These synoptic stations include Mashhad, Isfahan, Tehran, Bushehr, and Jask. The monthly missing data were predominantly recorded during World War II (1941-1949). Unfortunately, these data have missing. Therefore, the accuracy of simulating these variables is very important. The current research aimed to predict the missing values of monthly temperature and precipitation in Mashhad station. The stations in the neighboring countries were selected due to the distance to Mashhad, relationship, and completeness of data since 1880, as the predictive variables. Monthly precipitation of Ashgabat from Tajikistan and Sarakhs, Kooshkah, Bayram Ali, Kerki and Repetek from Turkmenistan were selected as an independent variable in the making of Missing Rainfall in Mashhad. Also, the temperature of Ashgabat, Bayram Ali, Gudan, Sarakhs, and Tajan were selected to restore the monthly temperature of the Mashhad station. This research has fitted ten multiple regression models to monthly rainfall of Mashhad station and has fitted 6 multiple regression to the monthly temperature of Mashhad. then the parameters of these patterns are optimized by genetic and Ant Colony algorithm. Also, the Artificial Neural Network (MLP) model and Support vector regression have been selected and implemented in order to simulate monthly precipitation and temperature data of Mashhad.

Materials and Methods: In statistical modeling, regression analysis is a set of statistical processes for estimating the relationships among variables. It includes many techniques for modeling and analyzing several variables when the focus is on the relationship between a dependent variable and one or more independent variables (or 'predictors'). Genetic algorithm (GA) is a metaheuristic inspired by the process of natural selection that belongs to the larger class of evolutionary algorithms (EA). Genetic algorithms are commonly used to generate high-quality solutions to optimization and search problems by relying on bio-inspired operators such as mutation, crossover, and selection. Ant colony optimization algorithm (ACO) is a probabilistic technique for solving computational problems which can be reduced to finding good paths through graphs. This algorithm is a member of the ant colony algorithms family, in swarm intelligence methods, and it constitutes some metaheuristic optimizations. Artificial neural networks are one of the main tools used in machine learning. As the "neural" part of their name suggests, they are brain-inspired systems which are intended to replicate the way that we humans learn. Neural networks consist of input and output layers, as well as (in most cases) a hidden layer consisting of units that transform the input into something that the output layer can use. They are excellent tools for finding patterns which are far too complex or numerous for a human programmer to extract and teach the machine to recognize. In machine learning, support vector machines (SVMs, also support vector networks) are supervised learning models with associated learning algorithms that analyze data used for classification and regression analysis. Given a set of training examples, each marked as belonging to one or the other of two categories, an SVM training algorithm builds a model that assigns new examples to one category or the other, making it a non-probabilistic binary linear classifier (although methods such as Platt

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Associate Professor and Professor Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

(*- Corresponding Author Email: sanaei@um.ac.ir

4- Associate Professor, Department of Statistic, Faculty of Mathematic, Ferdowsi University of Mashhad

scaling exist to use SVM in a probabilistic classification setting).

Results and Discussion: At the first stage, several multiple regressions were fitted to monthly precipitation (with coefficients ranging from 0.63 to 0.81) and six patterns for monthly temperature (0.986-0.993). Afterward, GA and ACO were applied to improve the accuracy of the selected regression models by optimizing their parameters. At the next stage, ANN and SVR were used to estimate the monthly missing values separately. Finally, the results of the previous stages were compared using the root mean square error (RMSE), and the optimal models were applied to determine the missing values of monthly temperature and precipitation of Mashhad. The results showed that the Genetic Algorithm and Ant Colony increase the accuracy of the estimation of missing rainfall data significantly more than the previous methods. The lowest error criterion (RMSE) between regression patterns is 9.8 millimeters. By genetic algorithm, this criterion is reduced to 2.56 mm, and by ant colony algorithm to 2.559.

Conclusion: Comparison of the above methods in restoration temperature and precipitation shows that evolutionary methods (GA and ACO) are the best for estimating the missing monthly precipitation and machine learning methods (ANN and SVR) are the best to imputation missing data of monthly temperature.

Keywords: Ant colony, Artificial neural network, Genetic algorithm, Missing data, Support vector regression

Contents

Effect of Pulsed Irrigation on Crop Water Productivity and Efficiency of Watermelon in Sandy Soil	216
M. Arab fard - A. Shahnazari- M.K. Ziatabar Ahmadi	
Zoning Application of Irrigation Systems in Ajichay River Basin Lands	228
N. Arya Azar - A. Majnooni Heris - R. Delirhasannia	
The Study of Temporal and Spatial Changes of Suspended Sediment Particles' Size Distribution in Pasikhan River in Guilan Province	243
M. Ebrahimi - H. Asadi- A. Sharifi- E. Ebrahimi	
Comparison of Surface, Drip and Water Box Irrigation Methods on the Establishment of Hawthorn Seedling for Controlling Desertification Phenomenon	258
H. Abedi Babaheydari - R. Fatahi- D. Namdar Khojasteh	
Investigation of Influence Factors on Water Resources Quality in Bazoft Dam Site	274
A. Rastegarnia - M. Karami - M. Ghafoori	
Effect of Different Agronomic Management on Some Physical Indicators of Soil Quality	288
A. Sadeghian - Gh.A. Sayyad-A. Farrokhian Firouzi- M. Norouzi Masir	
Comparing Aggregate Stability Tests as One of the Soil Physical Quality Indicators	303
S. Saadat - L. Esmaeelnejad- H. Rezaei- R. Mirkhani- J. Seyedmohammadi	
Application of Principle Component Analysis to Identify the Changes of Soil Properties due to Wastewater Irrigation in Margin Lands of Kashaftood River	316
S. Hajinamaki - H. Emami- A. Fotovat	
Evaluation of Water Uptake Reduction Functions of Lettuce (Red Salad Bowl) under Drought Stress Conditions	331
E. Zoratipour - A. Soltani Mohammadi - N. Alemzadeh Ansari	
Genetic Study of Soil-Landscape Relationship in Arid Region of Faryab, Kerman Province	347
Z. Moghbeli - H.R. Owliaie-S. Sanjari- E. Adhami	
Un-stability Reasons of Recent Restored Sections of Konar Sandal Historical Citadel Compared to Stable Ancient Parts (Halilrud Cultural Area)	360
S. Sanjari - M.H. Farpoor	
Imputation of Missing Meteorological Data with Evolutionary and Machine Learning Methods	377
Case Study: Long-term Monthly Precipitation and Temperature of Mashhad	
M. Farzandi - H. Sanaeinejad - B. Ghahraman - M. Sarmad	

WATER AND SOIL

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 33

No. 2

2019

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
Astaraei, A. R.	Soil Science	Assoc. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Fotovat, A.	Soil Science	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Ghaemi, A.A.	Irrigation and Drainage	Assoc. Prof., Shiraz University
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
Kiani, A.R.	Irrigation and Drainage	Prof., Agricultural and Natural Resources Res. Center of Golestan Province
Lakzian, A.	Soil Science	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mahdian, M.H.	Irrigation and Drainage	Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
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	Assoc. Prof., Tabriz University
Sanaei-Nejad, S.H.	Agricultural Meteorology	Assoc. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Taghvaeian, S.	Irrigation	Assis. 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).