

برآورد بهره‌وری آب محصولات عمده دشت نیشابور و بهینه‌سازی سطح زیر کشت محصولات

یاور پورمحمد^۱ - سید محمد موسوی بایگی^{۲*} - امین علیزاده^۳ - علی نقی ضیایی^۴ - محمد بنایان اول^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۵

چکیده

کشاورزی به عنوان تنها صنعتی که قابلیت تولید غذا را دارد، مصرف کننده ۸۵ درصد منابع آب شیرین در سطح جهان است. با وجود افزایش تقاضا برای غذا و در نتیجه نیاز به گسترش کشاورزی، زمین‌های کشاورزی مناسب و منابع آبی محدود هستند. در این مطالعه تلاش گردیده است تا با استفاده از تکنیک سنجش از دور میزان بهره‌وری محصولات عمده دشت نیشابور که شامل محصولات زمستانه (گندم و جو) و محصولات تابستانه (ذرت و گوجه‌فرنگی) را برآورده شود. در این مطالعه با استفاده از الگوریتم سیال^۲ میزان تبخیر-تعرق واقعی هر یک از محصولات در دوره رشد محاسبه گردید و سپس با استفاده از تابع تولید میزان تخمین زده شد و میزان بهره‌وری اقتصادی آبی در نظر گرفتن عمق آب زیرزمینی و میزان انرژی لازم برای استخراج آب، محاسبه گردید. در نهایت با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی خطی^۳ سطح زیر کشت هر یک از محصولات با فرض بر اینکه مجموع سطح زیر کشت در سطح حوضه افزایش پیدا نکند بهینه شد. در این مطالعه دو سناریو مورد بررسی قرار گرفت، اول میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی برابر میزان آب تجدیدپذیر باشد، دوم به منظور بهبود ذخیره آب زیرزمینی از دست رفته میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی برابر با ۸۰ درصد میزان آب تجدیدپذیر باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که ذرت با بیشترین بهره‌وری معادل ۹۷ سنت بر مترمکعب آب در سطح حوضه با صرفه‌ترین محصول کشت شده و گوجه‌فرنگی با بهره‌وری ۶ سنت بر مترمکعب آب کمترین بهره‌وری اقتصادی و نامناسب‌ترین کشت انجام شده می‌باشند. گندم و جو نیز با متوسط بهره‌وری ۴۱ سنت بر مترمکعب در مقیاس حوضه در رتبه دوم قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، الگوریتم سیال، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، کاربری اراضی

مقدمه

کشاورزی به عنوان تنها صنعتی که قابلیت تولید غذا را دارد، مصرف کننده ۸۵ درصد منابع آب شیرین در سطح جهان است. با وجود افزایش تقاضا برای غذا و در نتیجه نیاز به گسترش کشاورزی، زمین‌های کشاورزی مناسب و منابع آبی محدود هستند. برای حل این مشکل راه‌های متفاوتی پیشنهاد شده است، یکی موثرترین گزینه‌ها افزایش بهره‌وری آب بکارگیری تکنیک آبیاری است. این راهکار ساده از حدود ۵۰ سال پیش تا کنون مورد استفاده قرار گرفته است و از آن زمان تا کنون کشاورزی فاریاب بیشترین سهم را در تولید غذا در سطح جهانی داشته و انتظار می‌رود که این روند در سال‌های پیش رو با توجه به جمعیت رو به افزایش بیشتر نیز شود.

ایران نیز بعنوان یک کشور در حال توسعه نه تنها از این قاعده مستثنی نیست بلکه وضعیت ایران به سبب اقلیم خشک و نیمه‌خشک و توزیع نامناسب مکانی و زمانی و همچنین توزیع نامناسب جمعیت (متمرکز در مناطق محدود)، در وضعیت بحرانی قرار دارد. بنظر می‌رسد موثرترین راه با در نظر گرفتن محدودیت منابع آب و همچنین محدودیت زمین‌های زراعی، تغییر الگوی کشت برای رسیدن به

در حال حاضر جمعیت جهان به سرعت در حال افزایش است و تولید غذای لازم و درآمد کافی برای این جمعیت رو افزایش یکی از بزرگترین چالش‌های پیش رو سیاستمداران است. این چالش در دهه‌های اخیر به دلیل افزایش جمعیت ۷/۸ میلیارد نفری که تا سال ۲۰۲۵ پیش‌بینی شده است (۷)، که در نتیجه سبب مشکل‌تر شدن این چالش برای رهبران کشورها خواهد شد، مخصوصاً برای کشورهای در حال توسعه که انتظار می‌رود ۸۰ درصد این افزایش جمعیت در کشورهای در حال توسعه بوقوع بپیوندد (۷).

۱، ۲، ۳ و ۴- دانشجوی دکتری، استادان و استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: (Email: mousavi500@yahoo.com)

۵- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

DOI: 10.22067/jsw.v31i1.58343

6- SEBAL

7- Linear Programing

آب‌های زیرزمینی موجب بهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی در دشت نیشابور شده است، و از آن زمان در وضعیت بحرانی به سر می‌برد (۱۴). این آبخوان سالانه بیش از ۲۰۰ میلیون مترمکعب آب را از دست می‌دهد، و نتیجه این برداشت بی‌رویه افت ۸۲ سانتیمتری سطح آب زیرزمینی شده است (۱۴). به منظور زیر نظر گرفتن تغییرات آب زیرزمینی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی از ۶۰ چاه پیرومتری که در دشت پخش شده‌اند، استفاده می‌کند.

کشاورزی بزرگترین صنعت در دشت نیشابور است و در نتیجه کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب در این دشت است. محصولات عمده در دشت نیشابور شامل گندم، جو، ذرت و گوجه‌فرنگی است. در این مطالعه با استفاده از تکنیک سنجش از دور بهره‌وری آب و انرژی برای محصولات عمده کشاورزی دشت نیشابور در وسعت حوضه مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این مطالعه برآورد بهره‌وری اقتصادی آب و بهینه‌سازی درآمد کشاورز با تغییر سطح زیر کشت هر محصول بدون اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی باشد. در این مطالعه سناریویی مورد بررسی قرار گرفت که برداشت از منابع آب زیرزمینی به ۸۰ درصد میزان آب تجدیدپذیر کاهش یابد تا در دراز مدت اثرات نامطلوب اضافه برداشت از آب زیرزمینی بهبود یابد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

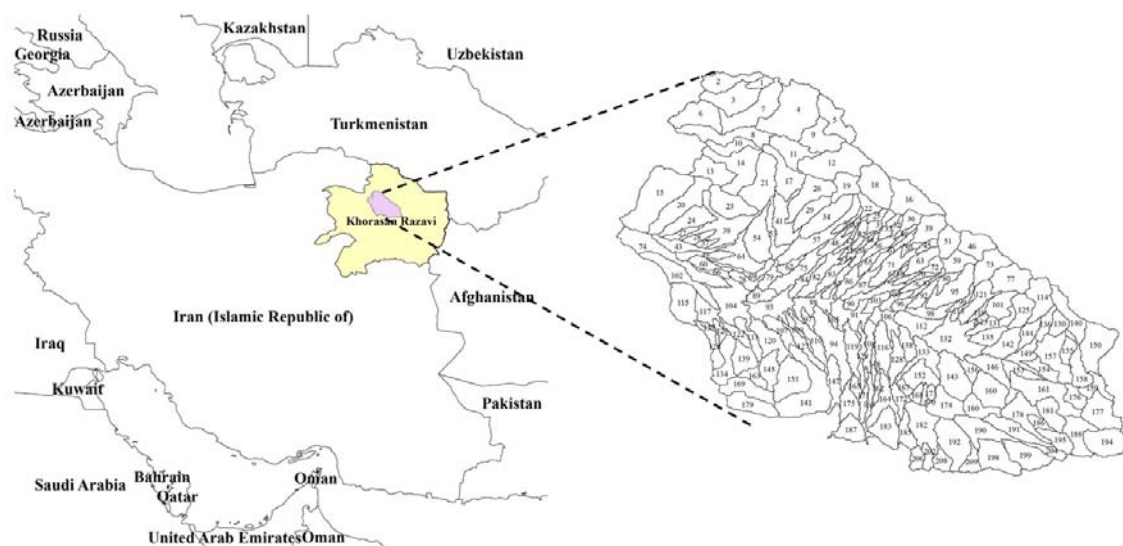
دشت نیشابور در شمال شرق ایران بین طول جغرافیایی ۱۷°۵۸′-۵۹°۳۰′ و عرض جغرافیایی ۳۵°۴۰′-۳۶°۳۹′ همانطور که در شکل یک نشان داده شده است، واقع گردیده. کل مساحت جغرافیایی حوضه معادل ۷۳،۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد، ۴۱،۰۰۰ کیلومتر مربع از مساحت حوضه را دشت و بقیه آن را کوهستان‌ها تشکیل می‌دهند. این حوضه قسمتی از حوضه کال‌شور است که در قسمت جنوبی ارتفاعات بینالود و شمال شرق کویر مرکزی واقع شده است. بیشترین ارتفاع در این حوضه به ارتفاعات بینالود واقع شده است با ارتفاع ۳،۳۰۰ متر و پایین‌ترین نقطه در حوضه با ارتفاع ۱،۰۵۰ متر بالای سطح آب‌های آزاد در نقطه خروجی حوضه واقع شده است (۲۶). اقلیم حوضه نیشابور با بیشینه و کمینه دما سالانه حوضه به ترتیب معادل ۴۲ و ۲۴- درجه سانتیگراد با بارش میانگین ۲۹۲ میلیمتر در سال که در محدوده حوضه متغییر می‌باشد را می‌توان در دسته خشک و نیمه‌خشک دسته‌بندی نمود. به سبب دمای میانگین بالا حوضه، میانگین سالانه تبخیر-تعرق بالا بوده، معادل ۲،۳۳۵ میلیمتر در سال (۹). در این مطالعه کل حوضه نیشابور به ۱۹۹ زیرحوضه تقسیم شده است. این تقسیم‌بندی بر اساس مطالعه ایزدی و همکاران در سال ۲۰۱۳ می‌باشد (۱۶). ۱۹۹ زیرحوضه اشاره شده در شکل شماره یک قابل مشاهده است.

بیشترین درآمد یا درآمد برابر با شرایط فعلی بدون تغییر و یا کاهش در میزان برداشت از منابع، اجتناب ناپذیر است. اولین قدم برای دستیابی به چنین هدفی مطالعه بهره‌وری آب در شرایط فعلی است. مطالعاتی متفاوتی در این خصوص صورت گرفته است و راه حل‌های متفاوتی نیز پیشنهاد گردیده است. یکی از استراتژی‌هایی که مورد استفاده قرار گرفت تا بهره‌وری آب را افزایش دهند، معروف‌ترین آن‌ها، تکنیک کم آبیاری بود. در مطالعه دیگری که توسط گریس و راس (۱۳) در سال ۲۰۰۹ انجام شد، تکنیک کم آبیاری به منظور بهینه‌سازی بهره‌وری آب بجای بهینه‌سازی میزان محصول برای ثبات بخشیدن استفاده شد. در این مطالعه مروری بر تحقیق‌های انجام شده در گوشه و کنار دنیا صورت گرفت، سپس مزایا و معایب تکنیک کم آبیاری جمع‌آوری نمودند. نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داد که تکنیک کم آبیاری بدون داشتن اثر جدی بر میزان کاهش محصول برای افزایش بهره‌وری مفید بوده و سبب افزایش بهره‌وری می‌شود. علی و همکارانش (۱) در سال ۲۰۱۶ یک بانک داده از مصاحبه حضوری با ۹۵۰ کشاورز تهیه کردند. آن‌ها در مطالعه خود تلاش کردند تا اثر فاکتور انتخاب کشاورز در خصوص میزان پمپاژ آب و ارزیابی اثر پمپاژ بر روی بهره‌وری آب محصولات، سطح درآمد و فقر خانوادها را آزمایش نمایند. آن‌ها دریافتند که پمپ‌های آب مبتنی بر انرژی‌های جایگزین اثر مثبت و قابل توجهی بر بهره‌وری محصولات دارد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که منابع انرژی جایگزین برای پمپاژ آب سبب کاهش فقر در طیف وسیعی از ۱۱-۲۰ درصد خواهد شد. در برخی مناطق همچون منطقه مورد مطالعه این پژوهش تنها منبع آب شیرین، منابع آب زیرزمینی هستند، در این راستا ون اورت و همکارانش (۲۵) در سال ۲۰۱۵ در مطالعه‌ای تلاش کردند تا با ایجاد سیستم‌های محصول خنثی آب‌زیرزمینی^۱ این شرایط را از نظر بهره‌وری با عملکرد ناپایدار فعلی و سناریوهای ممکن آینده که در آن‌ها هیچ آبیاری امکان پذیر نخواهد بود را مقایسه کنند. در یک مطالعه که توسط موتامبارا و همکاران (۲۰) در سال ۲۰۱۶ صورت گرفته، عملکرد، مشکلات و چالش‌های مدیریت پایدار منابع آب در سطح مدیریتی کشاورزان در مزارع آفریقا مورد مطالعه قرار گرفت. سپس نتایج مطالعه خود رو با شرایط مشابه منطقه خود در آسیا مقایسه کردند و تلاش کردند تا تفاوت‌های مدیریت آب را در آفریقا و آسیا نشان دهند و برخی از عملیات‌های مدیریتی آب را در آفریقا نیز اعمال کنند.

همانطور که پیش از این هم بیان شد آب زیرزمینی تنها منبع آب شیرین در دشت نیشابور است که برای مدت طولانی بمنظور استفاده در کشاورزی، صنعت و شرب شهری مورد استفاده قرار گرفته است. از سال ۱۳۶۵ به دلیل برداشت‌های بدون نظارت و نامحدود از منابع

آب را به خود تخصیص می‌دهد، که نشان می‌دهد برداشت از منابع آب زیرزمینی منبع اصلی آب شیرین برای مصارف مختلف می‌باشد و از طرف دیگر منابع آب سطحی نقش جزئی را در تامین نیاز آبی حوضه دارد (۱۵).

بر اساس گزارشات تهیه شده توسط دولت، کشاورزی حدود ۹۳/۵ درصد برداشت‌های آب زیرزمینی را به خود اختصاص داده است که تقریباً تمام این برداشت‌ها برای آبیاری مزارع مورد استفاده قرار می‌گیرند. برداشت از آب‌های سطحی تنها ۴/۲ درصد برداشت از منابع



شکل ۱- موقعیت دشت نیشابور در ایران و ۱۹۹ زیرحوضه مورد مطالعه
Fig1- Neyshabour basin location in Iran and its 199 sub-basins

مزرعه برای آموزش روش بیشترین تشابه (MLC^۴) نیاز است. به این منظور در سفر به حوضه نیشابور مزارع مختلف با محصولات متفاوت با مشورت کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان نیشابور انتخاب شدند و چندین نقطه برای آموزش مدل و همچنین تعیین دقت توسط GPS برداشت شدند.

روش بیشترین تشابه برای تعیین کاربری اراضی انتخاب شد. روش بیشترین تشابه محبوب‌ترین روش پارامتری تعیین کاربری است که در تکنیک سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته است (۱۲) و روش بیشترین تشابه فرض می‌کند که محدوده تصمیم‌گیری به شکل بیضی‌های بزرگی هستند که می‌توانند در تخمین خوشه‌ای اشکال به کار روند. علاوه بر این، برای هر پیکسل نامشخص شانس، ماتریس کوواریانس و احتمال عضویت در هر یک از کلاس‌ها با استفاده از متوسط بردارهای متوسط هر یک از کلاس‌ها حساب می‌شود (۱۱). هر پیکسل ناشناخته فرض می‌شود که در کلاسی قرار دارد که بیشترین احتمال عضویت را دارا است.

نرم‌افزار آرک‌جی‌آی‌اس^۵ ۱۰.۳ برای تعیین کاربری اراضی مورد

تعیین کاربری اراضی در شرایط موجود

به منظور پوشش کامل حوضه دو سری از داده‌های لندست ۸ با سطر و ستون ۱۵۹/۳۵ و ۱۶۰/۳۵ در تاریخ‌های مختلف از سایت USGS^۱ برای سال آبی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ دانلود شدند. در این مطالعه چهار محصول مورد مطالعه قرار گرفتند، دو محصول زمستانه (گندم و جو) و دو محصول تابستانه (ذرت و گوجه‌فرنگی). در نتیجه دو سری داده برای تاریخ‌های اول خرداد ۱۳۹۳ و چهارم شهریور ماه ۱۳۹۴ برای محصولات بترتیب زمستانه و تابستانه انتخاب شدند. سپس هر یک از سری داده‌ها کنار یکدیگر قرار داده شده و به مرز حوضه محدود شدند.

برای دقت بیشتر در تعیین کاربری اراضی تصاویر FCC^۲ (ترکیب رنگ غلط) از سه باند ۴، ۵ و ۶ تولید شدند که توسط پیترز در سال ۲۰۱۵ برای تعیین کاربری اراضی زراعی پیشنهاد شده بود (۲۱).

برای تعیین کاربری اراضی از روش مدیریت شده استفاده گردید، در نتیجه یک سری داده‌های مکانی برداشت شده توسط GPS^۳ در

4- Maximum Likelihood
5- ArcGIS 10.3

1- United States Geological Survey
2- False Composite Color
3- Global Positioning System

این الگوریتم توسط باستین‌سن و همکاران ارائه شده است (۲، ۵ و ۶).

$$\lambda ET = R_n - H - G \quad (1)$$

برای محاسبه تبخیر-تعرق واقعی، مراحل نمودار گردشی شکل شماره دو در محیط نرم‌افزار GIS بصورت یک ابزار و در یک فایل صفحات گسترده مدل شد. شکل دو مراحل محاسبه میزان تابش خالص را نمایش می‌دهد.

ورودی‌ها برای محاسبه آلبیدو^۴ تصاویر ماهواره‌ای هستند که از یه سری اعداد دیجیتالی به بازتابش بالای سطح اتمسفر (Top of Atmosphere) تبدیل شده‌اند. لیانگ در سال ۲۰۰۰ یه سری از الگوریتم‌ها را برای محاسبه آلبیدو از سنسورهای مختلف ماهواره‌ها توسعه داد. مدل ارائه شده توسط لیانگ برای محاسبه آلبیدو با استفاده از تصاویر ماهواره لندست توسط اسمیت‌نرمال شده و به صورت رابطه ۲ در سال ۲۰۱۰ ارائه گشته است (۲۰، ۲۲).

$$\alpha = \frac{0.356\rho_2 + 0.130\rho_4 + 0.373\rho_5 + 0.085\rho_6 + 0.072\rho_7 - 0.0018}{0.356 + 0.130 + 0.373 + 0.085 + 0.072} \quad (2)$$

که ρ ، بازتابش باندهای ۲، ۴، ۵، ۶ و ۷ ماهواره لندست می‌باشد که پیش از استفاده در رابطه ۲ با استفاده رابطه ارائه شده توسط ناسا محاسبه شده‌اند.

برای محاسبه دما در سطح زمین (LST) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست^۸، از باندهای ۱۰ و ۱۱ این سنجه برای محاسبه دما در بالای اتمسفر در مقیاس کلون استفاده شد. برای محاسبه دما در سطح زمین ابتدا دما در بالای اتمسفر (T_{toa}) با استفاده از رابطه ۳ برای هر یک از باندهای ۱۰ و ۱۱ در مقیاس کلون محاسبه گردید (۱۸)، سپس دمای بالای اتمسفر با استفاده از رابطه ۴ به دمای سطح زمین برای هر یک از باندها تبدیل شد و پس از آن متوسط دمای محاسبه شده توسط هر دو این باندها نماینده دقیقی از دمای سطح زمین خواهد بود (۱۹).

$$T_{toa} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

$$LST = \frac{T_{toa}}{1 + \left(W \times \left(\frac{T_{toa}}{P}\right) \times \ln(\varepsilon_{NB})\right)} \quad (4)$$

در این رابطه، K_1 و K_2 ، ثابت‌های تبدیل حرارتی هستند که هر یک از دو باند ۱۰ و ۱۱ بصورت جداگانه ارائه شده است، L_λ ، تابش هر یک از باندهای ۱۰ و ۱۱ است، T_{toa} ، دمای محاسبه شده در بالا جو بدون در نظر گرفتن میزان پخشیدگی، W ، طول موج پرتو ساطع شده است که معادل ۱۱/۵ میکرومتر است، P ثابتی است معادل ۱۴۳۸۰ که با استفاده از ثابت‌های پلانک^۷، بولتزمن^۸ و سرعت نور قابل محاسبه می‌باشد.

استفاده قرار گرفت. عملیات تعیین کاربری اراضی در دو نوبت با دو منطقه آموزشی متفاوت برای هر سری از داده صورت گرفت (محصولات تابستانه و زمستانه هر کدام بصورت مجزا). در مجموع ۷ کلاس تعریف شد و بر اساس آن تعیین، این ۷ کلاس شامل: جو، گندم، ذرت، گوجه‌فرنگی، شهر، کوهستان و دو بیابان بود.

بارش

برای تخمین میزان بارش در هر یک از ۱۹۹ زیرحوضه، از داده‌های بارش ۱۳ ایستگاه استفاده شد. این ایستگاه‌ها شامل ۱۱ ایستگاه باران‌سنجی، یک ایستگاه کلیماتولوژی^۱ و یک ایستگاه سینوپتیک^۲ می‌باشد. داده‌های بارش روزانه برای سال آبی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ از اداره کل هواشناسی خراسان رضوی دریافت شد. مقایسه زمانی داده به ماهانه تغییر داده شد و در محیط نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس بصورت نقطه وارد شد. برای درون‌یابی میزان بارش در حوضه از ابزار Topo to raster استفاده شد و سپس میانگین بارش برای هر یک از زیر حوضه‌ها با استفاده از ابزار Zonal Statistics محاسبه شد.

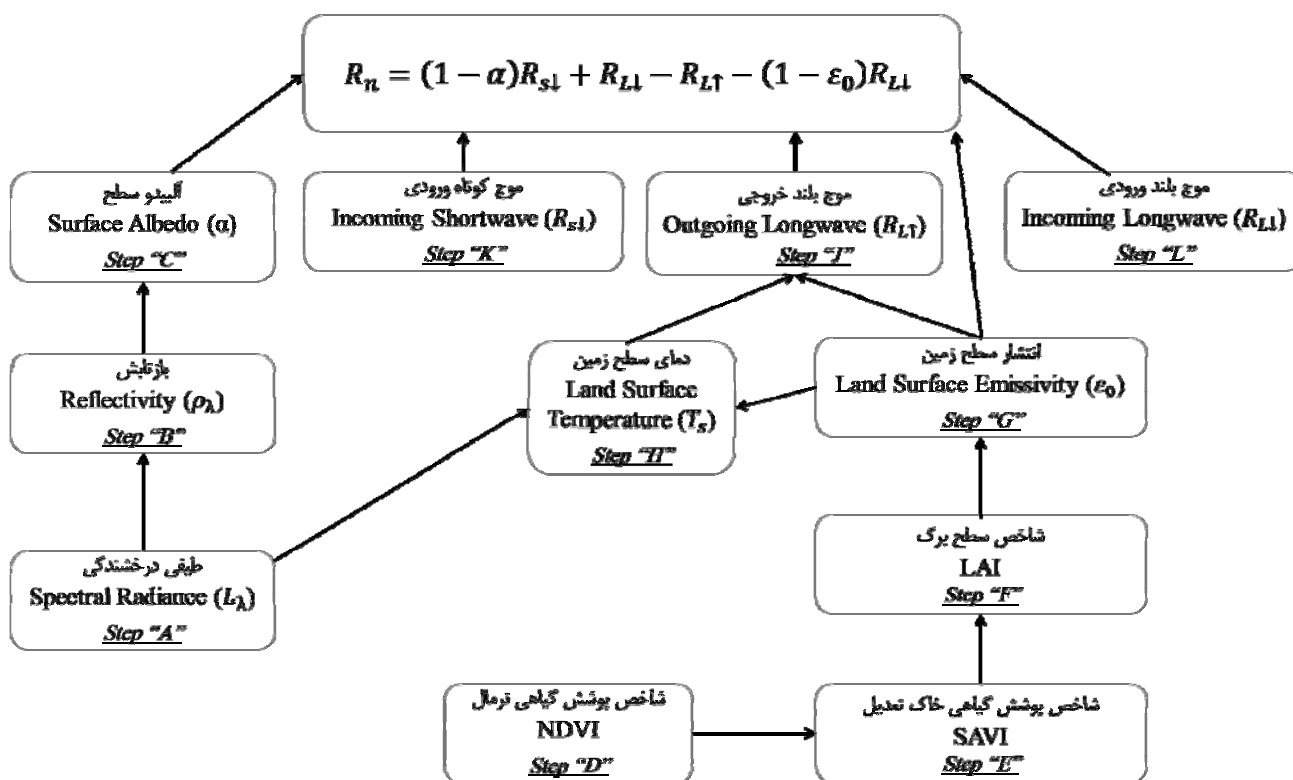
تبخیر-تعرق واقعی

برای محاسبه میزان محصول واقعی (Y_a) نیاز به محاسبه میزان تبخیر-تعرق واقعی (ET_a) است. بدین منظور تکنیک الگوریتم تعادل انرژی سطحی برای سطح زمین (SEBAL)^۳ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ مورد استفاده قرار گرفت. ۳۱ تصویر از تصاویر ماهواره لندست ۸ که دارای کمترین میزان ابرناکی بودند از تاریخ ۹ مهر ماه ۱۳۹۳ تا تاریخ ۱۰ شهریور ۱۳۹۴ دانلود شد. تصاویر با اختلاف زمانی هفت روزه با یکدیگر جفت شدند (برای پوشش کامل سطح حوضه دو تصویر نیاز است). تنها به ۲۴ تصویر از ۳۱ تصویر دانلود شده به سبب ابرناکی و اختلاف زمانی هفت روزه مورد استفاده قرار گرفتند.

برای تخمین لحظه‌ای اجزاء تعادل انرژی سطحی، مدل سبال از تکنیک سنجهش از دور همراه با داده‌های هواشناسی تکمیلی منطقه برای این تخمین استفاده می‌کند (۴). این الگوریتم تنها برای روزهای بدون ابر قابل اجرا و استفاده است. مقدار λET (W·m⁻²) لحظه‌ای از باقیمانده عوامل موجود در معادل بیلان انرژی محاسبه می‌شود (رابطه شماره یک). در این رابطه میزان λET از اختلاف بین میزان تابش خالص (R_n: W·m⁻²)، شار حرارتی خاک (G: W·m⁻²)، و شار حرارت مخصوص (H: W·m⁻²) قابل محاسبه است. توضیح کامل

- 4- Albedo
- 5- Land Surface Temperature
- 6- Top-Atmospheric-Temperature
- 7- Plank
- 8- Boltzman

- 1- Climatology
- 2- Synoptic
- 3- Surface Energy Balance Algorithm for Land



شکل ۲- نمودار گردش مراحل محاسبه تابش خالص (Rn)

Fig2- The net radiation calculation flowchart

$$ET_{rF} = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (7)$$

$$ET_a = ET_{rF} \times ET_{r-24} \quad (8)$$

در این رابطه، ET_{inst} تبخیر-تعرق لحظه‌ای است (mm/hr)، ET_{rF} کسری از مقدار تبخیر-تعرق است (بدون واحد)، تبخیر-تعرق مرجع (mm/day) با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک و نرم‌افزار RefET برای ۲۴ ساعت شبانه روز محاسبه گردید و ET_{r-24} مقدار تجمعی تبخیر-تعرق ساعتی در طول شبانه روز در روز برداشت تصویر است.

محصول واقعی

برای تخمین میزان محصول واقعی رابطه شماره ۹ از مجله فانو شماره ۶۶ مورد استفاده قرار گرفت و مراحل پیشنهاد شده در این مجله دنبال شدند (۲۳).

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_x}\right) \quad (9)$$

در رابطه بالا، Y_a و Y_x ، بترتیب مقادیر محصول پتانسیل و واقعی هستند (kg/ha)، ET_a و ET_x ، بترتیب مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل و

شار حرارتی خاک (G) (W/m^2) معادل مقدار حرارتی است که در خاک و پوشش گیاهی به سبب انتقال ذخیره می‌شود. مدل سبیل نسبت بین شار حرارتی خاک و میزان تابش خالص را استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌کند (۲). در این رابطه دمای سطح زمین به درجه سلسیوس می‌باشد.

$$G/R_n = (LST/\alpha)(0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (5)$$

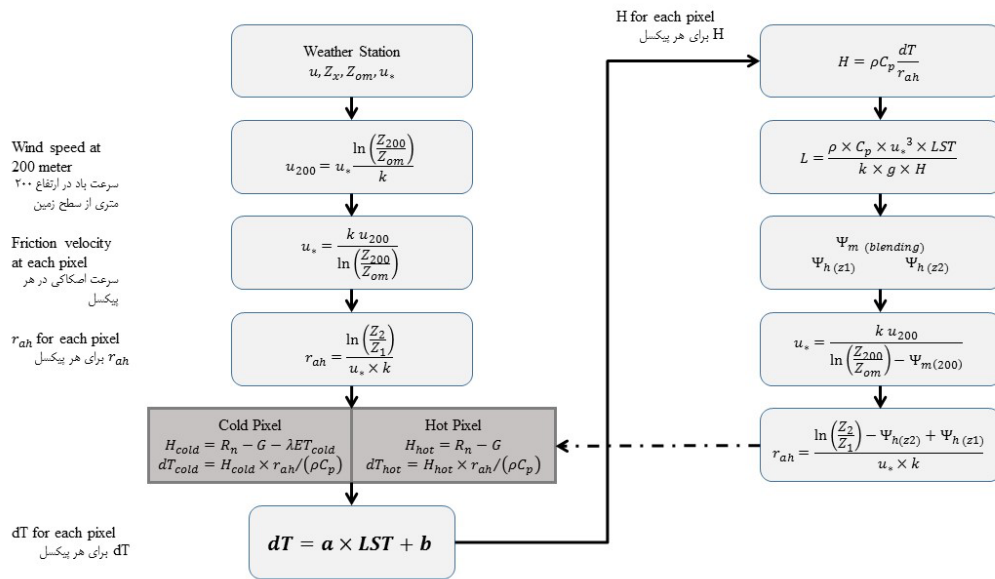
برای محاسبه مقاومت ایروینامیکی به جابجایی حرارت یک دسته از روابط به کار رفته است که در شکل سه به صورت یک نمودار گردش نمایش داده شده است. بخشی از این نمودار گردش به صورت یک حلقه است و این نمودار گردش تا زمانی که تفاوت بین دو مقدار متوالی dT کمتر از ۵ درصد شود، ادامه خواهد یافت.

شار گرمای نهان میزان حرارت نهانی است که از سطح زمین به سبب تبخیر-تعرق از دست می‌رود که پیش از این در رابطه یک توضیح داده شد. در رابطه یک، λET شار حرارتی نهان لحظه‌ای است که ماهواره از آن منطقه عبور کرده است. برای محاسبه میزان تبخیر-تعرق واقعی یک سری از معادلات مورد استفاده قرار گرفته است که بترتیب شامل رابطه‌های ۶، ۷ و ۸ می‌شوند (۲).

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (6)$$

کاهش تبخیر-تعرق نشان می‌دهد.

واقعی هستند (mm) و K_y ضریب واکنش محصول است (بدون واحد). این نمایه واکنش تولید محصول توسط گیاه را نسبت به



شکل ۳- نمودار گردش محاسبه مقاومت ایرودینامیکی (۲)

Fig3 – Aerodynamic resistance calculation flowchart (2)

مختلفی تعریف نمود. در این مطالعه چندین حالت برای این منظور تعریف شده است. این تعاریف شامل بهره‌وری درآمد و بهره‌وری سود کشاورز می‌باشد.

بهره‌وری به این صورت تعریف می‌گردد که ارزش محصول تولید شده به دلار به واحد حجم آب استفاده شده برای آبیاری محصول. این رابطه بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$IP = \frac{Y_a \times \text{crop price} \times 0.1}{ET_a - P_e} \quad (10)$$

بهره‌وری درآمد تنها میزان دریافتی کشاورز را در نظر می‌گیرد اما از نقطه نظر یک کشاورز میزان سود کسب شده می‌باشد. در نتیجه رابطه دیگری تعریف شد به اسم بهره‌وری سود، در این زمینه میزان سرمایه‌گذاری اولیه و طولانی مدت کشاورز باید از میزان درآمد کشاورز کسر گردد. تخمین میزان سرمایه‌گذاری اولیه کشاورز، به دلیل مدیریت‌های مختلف که بسته به نوع محصول، اقلیم، سطح زیر کشت، نظر کشاورز و ... دارد، تقریباً غیر ممکن است. به منظور ساده‌سازی مسئله، در این مطالعه با در نظر گرفتن قیمت جهانی انرژی فرض بر این شد که تنها هزینه‌ای که کشاورز متحمل می‌گردد، میزان هزینه‌ای است که کشاورز برای پمپاژ آب از ذخایر آب زیرزمینی می‌پردازد که تابعی از سطح آب زیرزمینی است. عمق آب زیرزمینی در طول سال متغیر است، اما این تغییرات قابل نظر کردن هستند. به این منظور در سال آبی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ عمق آب زیرزمینی در سطح

الف) تخمین میزان محصول پتانسیل (Y_x) برای هر یک از محصولات. برای محاسبه میزان محصول پتانسیل از رویه‌ای که در مجله فائو ۳۳ ارائه شده بود استفاده گردید (۱۰).

ب) محاسبه تجمعی تبخیر-تعرق پتانسیل (ET_x) برای کل دوره رشد هر یک از محصولات در شرایطی که فرض شود نیاز آبی محصولات بصورت کامل برآورده شده است. از این رو از روش هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل با بکارگیری داده‌های تنها ایستگاه سینوپتیک حوضه استفاده شد. میزان تبخیر-تعرق برای هر یک از محصولات با دنبال کردن روش ارائه شده در مجله فائو ۵۶ برای تعیین میزان ضریب گیاهی و طول دوره رشد هر یک از محصولات استفاده گردید (۳).

ج) روش تخمین مقدار تبخیر-تعرق واقعی نیز با استفاده از تکنیک سنجش از دور پیش از این توضیح داده شد.

د) انتخاب ضریب واکنش محصول برای هر یک از محصولات برای کل دوره رشد. این مقادیر برای محصولات گندم، جو و گوجه‌فرنگی برابر با ۱/۰۵ و برای محصول ذرت معادل ۱/۲۵ در نظر گرفته شد (۲).

بهره‌وری اقتصادی آب و بهینه‌سازی درآمد

محاسبه بهره‌وری آب بنا به سلیقه و هدف می‌توان به شکل‌های

ریاضی در رابطه ۱۲ تعریف شده است.

$$\sum (ET_{acrop} - P_{ecrop}) \times Area_{crop} = (P_{sub-basin} \times Area_{basin}) - \sum (ET_{acrop} - P_{ecrop}) \times Area_{crop} \quad (12)$$

بیشترین میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی باید کمتر و یا برابر با ۸۰ درصد مقدار آب تجدیدپذیر در طول سال آبی باشد. این قید بصورت ریاضی در رابطه ۱۳ تعریف شده است.

$$\sum (ET_{acrop} - P_{ecrop}) \times Area_{crop} = 0.8 \times (P_{sub-basin} \times Area_{basin}) - \sum (ET_{acrop} - P_{ecrop}) \times Area_{crop} \quad (13)$$

نتایج

تعیین کاربری اراضی

تصاویر ۴ الف و ۴ ب نتایج تعیین کاربری با استفاده از تصاویر لندست ۸ بترتیب برای محصولات تابستانه و زمستانه را نشان می‌دهند.

برای ارزیابی دقت تعیین کاربری اراضی ماتریس خطا مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از ماتریس خطا یکی از موثرترین روش‌ها است، چرا که میزان دقت هر یک از دسته‌بندی‌ها به راحتی توسط دو خطا درونی (خطاهای کمیسیون) و بیرونی (خطای حذف) که در پروسه تعیین کاربری وجود دارد، قابل اندازه‌گیری است (۷). در مجموع، دقت کاربری و مولد از ماتریس خطا استخراج شده و در جداول ۱ و ۲ بترتیب برای محصولات تابستانه و زمستانه ارائه شده است.

تبخیر-تعرق واقعی

همانطور که پیش از این نیز بیان شد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از ابزاری که در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شده بود برای ۱۲ روز از سال که بصورت نامنظم در طول سال پخش بودند محاسبه گردید. برای محاسبه تبخیر-تعرق واقعی ماهانه برای سال آبی ۲۰۱۴-۲۰۱۵، تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه گردید و سپس تلاش شد بر اساس روند تغییرات ماهانه تبخیر-تعرق پتانسیل در طول سال تغییرات تبخیر-تعرق واقعی نیز در طول سال برای ماه‌های بدون داده نیز تخمین زده شود. در نهایت ۱۲ تصویر که نماینده ۱۲ ماه سال است برای تبخیر-تعرق واقعی ایجاد گردید.

از آنجایی که تبخیر-تعرق واقعی تجمعی برای محصولات ذکر شده مورد نیاز است، تصاویر تبخیر-تعرق واقعی برای دوره رشد هر یک از محصولات با یکدیگر جمع شده و به مرز سطح زیر کشت هر محصول که بیشتر با تعیین شده بود محدود شد. از آنجایی که گندم و

حوضه با استفاده از ۶۰ عدد پیژومتر موجود در منطقه تعیین گردید. عمق آب زیرزمینی در هر یک از زیرحوضه‌ها پس از پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در سطح حوضه برای هر کدام میانگین‌گیری شد. برای محاسبه بهره‌وری سود، از رابطه ۱۱ استفاده گردید. این رابطه بصورت زیر تعریف می‌گردد.

$$PP = \frac{(Y_a \times CropPrice \times 0.1) - ((ET_a - P_e) \times GWD \times 9.81 \times (\frac{0.0003}{1000}) \times EnergyPrice)}{(ET_a - P_e)} \quad (11)$$

در رابطه بالا، GWD عمق آب زیرزمینی با یکای متر است، و یکای قیمت انرژی دلار به ازای هر کیلووات ساعت (\$/kwh) است. قیمت انرژی از وبسایت‌های متفاوتی (ایرانی و خارجی) استخراج شد. در این مطالعه این مقدار معادل ۱۰ سنت به ازای هر کیلووات ساعت انرژی فرض شد. قیمت محصولات نیز از آخرین گزارش سازمان خوار و بار جهانی (فائو) در سال ۲۰۱۴ برای ایران استخراج شد که این مقادیر برای گندم و جو ۰/۳۷ دلار بر کیلوگرم و ۰/۱۹ و ۰/۴۴ دلار بر کیلوگرم برای محصولات بترتیب گوجه‌فرنگی و ذرت در نظر گرفته شد.

برای بهینه‌سازی سود، روش بهینه‌سازی خطی مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که برای بهینه‌سازی هر یک از زیرحوضه‌ها بصورت جداگانه تعداد قیود و متغیرها بیش از ۲۰۰۰ عدد است، نرم‌افزار مناسبی برای انجام این کار در دسترس نبوده که توانایی انجام این حجم از محاسبات را داشته باشد. از این رو سطح زیر کشت در کل حوضه بصورت یکپارچه بهینه گردید و سپس نسبت تغییرات سطح زیر کشت برای کل حوضه در سطح زیر کشت برای هر یک از زیر حوضه‌ها اعمال گردید.

از آنجایی که مهمترین محدودیت برای رسیدن به بالاترین بهره‌وری، آب است. دو سناریو در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند و قیود بهینه‌سازی به دو دسته قیود عمومی و خاص تقسیم شدند. قیود خاص دو سناریو اشاره شده را تعریف می‌کنند.

قیود عمومی شامل موارد زیر هستند:

سطح زیر کشت نباید افزایش پیدا کند. یعنی پس بهینه‌سازی سطح زیر کشت هر یک از محصولات برابر و یا کمتر سطح زیر کشت در شرایط فعلی باید باشد.

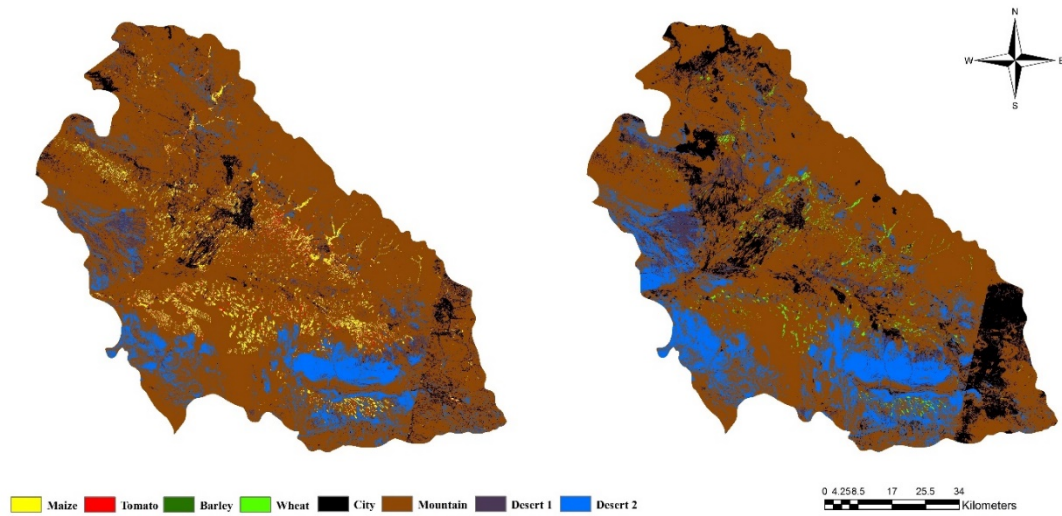
از آنجایی که برخی از محصولات نقشه کلیدی در تصمیمات سیاسی دارند نباید از الگو کشت حذف گردند. در نتیجه در این بهینه‌سازی فرض گردید که نسبت سطح زیر کشت قبل و بعد از بهینه‌سازی باید بین ۰/۲ تا ۰/۶ باقی بماند.

قیود خاص شامل:

بیشترین میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی باید کمتر و یا برابر با مقدار آب تجدیدپذیر در طول سال آبی باشد. این قید بصورت

الف، ۵ ب و ۵ ج توزیع میانگین تبخیر-تعرق واقعی را برای هر یک از محصولات برای هر یک از زیرحوضه‌ها نمایش می‌دهد.

جو هر دو در یک فصل کشت می‌شوند و میزان نیاز آبی تقریباً یکسانی دارند، این دو محصول یکی در نظر گرفته شدند. تصاویر ۵



شکل ۴- الف) تعیین کاربری اراضی برای محصولات تابستانه (گوجه‌فرنگی و ذرت) در تاریخ چهارم شهریور ماه و ب) تعیین کاربری اراضی برای محصولات زمستانه (گندم و جو) در تاریخ اول خرداد ماه

Fig 4- (a) Land classification for summer crops (tomato and maize) on Aug. 25 2015 and (b) land classification for winter crops (Wheat and Barley) on May 21 2015

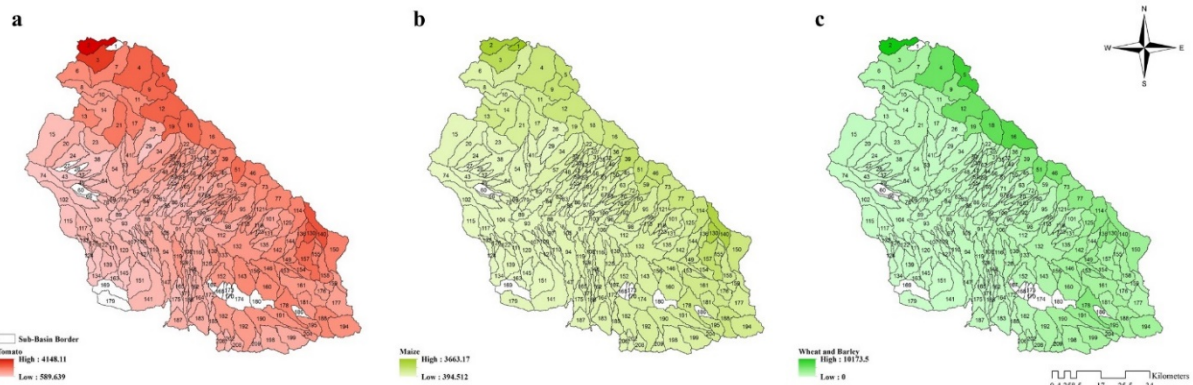
جدول ۱- ماتریس خطا برای محصولات تابستانه (گوجه‌فرنگی و ذرت)

Table 1- Error Matrix for Summer crops (Tomato and Maize)

کلاس/مرجع Class/Ref	ذرت Maize	گوجه- فرنگی Tomato	شهر City	کوهستان Mountain	بیابان ۱ Desert 1	بیابان ۲ Desert2	جمع‌کلاس Class total	دقت‌کاربر User's accuracy (%)
ذرت Maize	40	0	0	0	0	0	42	95.2
گوجه‌فرنگی Tomato	0	39	0	0	0	0	40	97.5
شهر City	8	1	35	1	0	0	52	67.3
کوهستان Mountain	1	3	0	43	0	3	50	86.0
بیابان ۱ Desert 1	0	0	0	2	15	2	19	78.9
بیابان ۲ Desert 2	0	0	1	1	5	25	32	78.1
مجموع ارجاع Reference total	50	53	38	47	20	30	225	دقت کل Overall accuracy
خطای تولیدی Producer's accuracy (%)	80.0	73.6	92.1	91.5	75.0	83.3	دقت کل Overall accuracy	87.6

جدول ۲- ماتریس خطا برای محصولات زمستانه (گندم و جو)
Table 2. Error Matrix for winter crops (Wheat and Barley)

کلاس/مرجع Class/Ref	ذرت Maize	گوجه‌فرنگی Tomato	شهر City	کوهستان Mountain	بیابان ۱ Desert 1	بیابان ۲ Desert 2	جمع‌کلاس Class total	دقت‌کاربر User's accuracy (%)
ذرت Maize	42	9	2	0	0	0	61	68.9
گوجه‌فرنگی Tomato	0	25	0	0	0	0	28	89.3
شهر City	6	1	35	1	0	0	52	67.3
کوهستان Mountain	0	0	0	43	0	3	50	86.0
بیابان ۱ Desert 1	0	0	0	2	15	2	19	78.9
بیابان ۲ Desert 2	0	0	1	1	5	25	32	78.1
مجموع ارجاع Reference total	48	38	38	47	20	30	218	دقت کل Overall accuracy
خطای تولیدی Producer's accuracy (%)	87.5	65.8	92.1	91.5	75.0	83.3	دقت کل Overall accuracy	87.6



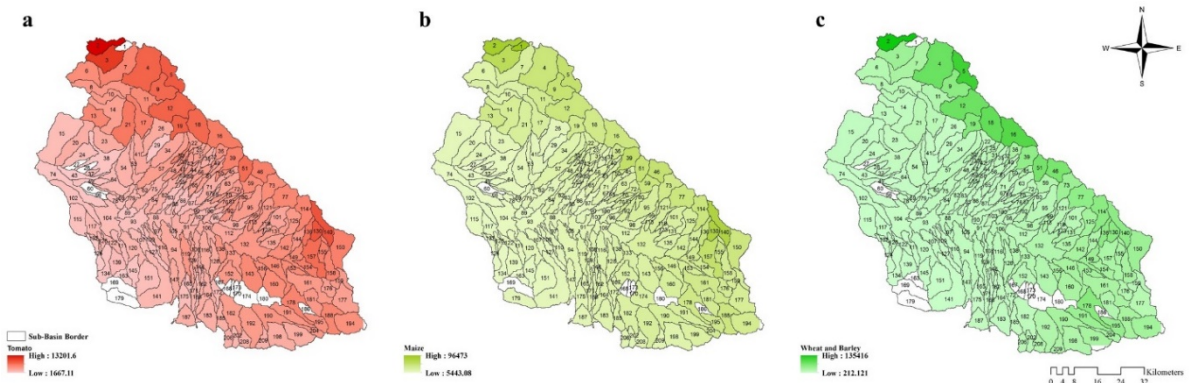
شکل ۵- تبخیر-تعرق واقعی برای الف) گوجه‌فرنگی، ب) ذرت، ج) گندم و جو
Fig 5- Actual evapotranspiration for a) tomato, b) maize, c) wheat and barley

حوضه‌ها را نشان می‌دهد. میزان تولید محصول بر هر یک از گیاهان در مناطق شرقی و شمالی حوضه بیشتر از دیگر مناطق محاسبه شده است. این پدیده بدین دلیل رخ داده است که این مناطق به سبب ارتفاع بیشتر، خنک‌تر از دیگر مناطق حوضه هستند و در نتیجه میزان بارش در این مناطق بالاتر است. اما باید یک نکته را مد نظر قرار داد که در این مناطق سطح زیر کشت بسیار کمتر از سطح زیر کشت در مناطق مرکزی حوضه است.

در زیر حوضه‌هایی که تبخیر-تعرق وجود ندارد بصورت سفید رنگ نشان داده شده‌اند. این زیر حوضه‌ها اغلب در مناطقی ظاهر شده‌اند که در تعیین کاربری اراضی بیابان تشخیص داده شده‌اند.

محصول

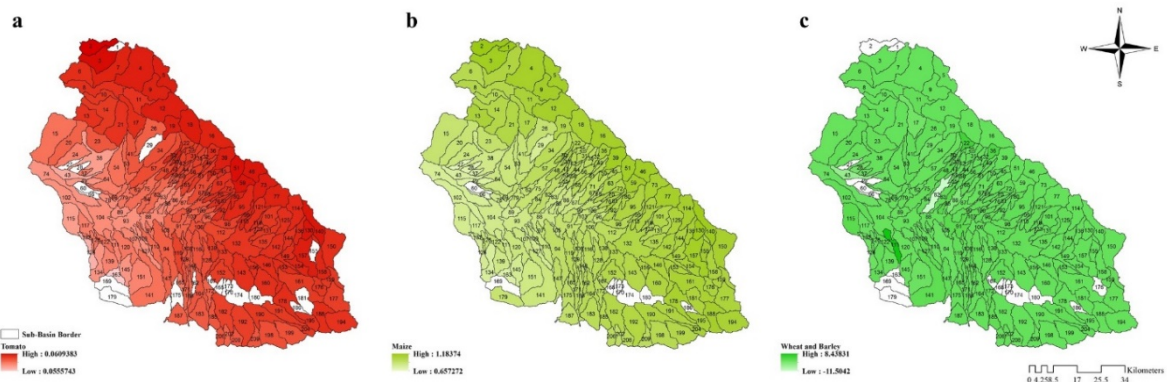
تساوی ۶ الف، ۶ ب و ۶ ج بترتیب توزیع میزان تولید محصول هر یک از گیاهان گوجه‌فرنگی، ذرت، گندم و جو را در هر یک از زیر



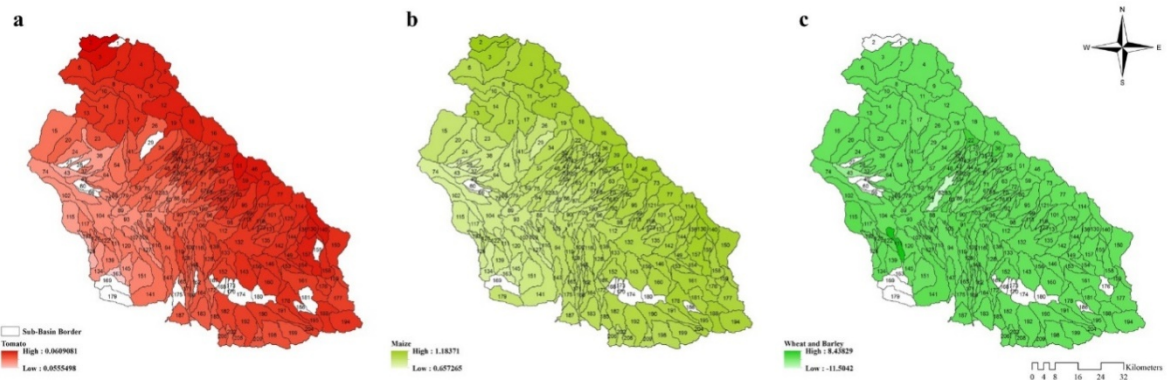
شکل ۶- توزیع متوسط میزان تولید محصول (الف) گوجه‌فرنگی، (ب) ذرت و (ج) گندم و جو
 Fig 6- Yield Average distribution of a) tomato, b) maize, c) wheat and barley

۷ الف، ۷ ب، ۷ ج، ۸ الف، ۸ ب و ۸ ج بترتیب برای محصولات گوجه‌فرنگی، ذرت و گندم و جو با یکای دلار بر متر مکعب آب نمایش داده شده است.

بهره‌وری اقتصادی و بهینه‌سازی با بکارگیری روابط ۱۰ و ۱۱ متوسط بهره‌وری درآمد و سود برای هر یک از محصولات محاسبه گشته و نتایج این محاسبات در تصاویر



شکل ۷- توزیع میانگین بهره‌وری درآمد در سطح حوضه و زیرحوضه برای محصولات (الف) گوجه‌فرنگی، (ب) ذرت و (ج) گندم و جو
 Fig 7- Income productivity average distribution in basin and sub-basins for crops a) tomato, b) maize, c) wheat and barley



شکل ۸- توزیع میانگین بهره‌وری سود در سطح حوضه و زیرحوضه برای محصولات (الف) گوجه‌فرنگی، (ب) ذرت و (ج) گندم و جو
 Fig 8- Profit productivity average distribution in basin and sub-basins for crops a) tomato, b) maize, c) wheat and barley

محصولات تابستانه ذرت دارای بیشترین میزان بهره‌وری درآمد و سود می‌باشد، این مسئله را می‌توان مربوط به طول دوره رشد و نوع گیاه دانست. ذرت برای رسیدن به بلوغ و آمادگی محصول برای برداشت تنها ۱۱۰ روز نیاز دارد اما از طرف دیگر گوجه‌فرنگی به ۱۴۵ روز برای رسیدن به بلوغ و آمادگی برای برداشت نیاز دارد. گیاهان به صورت کلی به دو دسته چهار کربنه و سه کربنه تقسیم می‌شوند. در این مطالعه ذرت یک گیاه چهار کربنه است و گوجه‌فرنگی یک گیاه سه کربنه. بطور کل گیاهان چهار کربنه میزان تولید ماده خشک^۱ بیشتری نسبت به گیاهان سه کربنه، با مصرف مقدار مساوی آب دارند که منجر به بالاتر بودن میزان بهره‌وری آب در این محصولات می‌شود. جدول شماره ۳ سطح زیرکشت محصولات را قبل و بعد از بهینه‌سازی برای سناریو اولیه (میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی برابر و یا کمتر مقدار آب تجدیدپذیر باشد) نشان می‌دهد. جدول شماره ۴ سطح زیرکشت محصولات قبل و بعد از بهینه‌سازی با در نظر گرفتن سناریو ثانویه (میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی برابر و یا کمتر ۸۰ درصد مقدار آب تجدیدپذیر باشد) نشان می‌دهد.

شکل‌های ۷ و ۸ کمترین میزان بهره‌وری درآمد و سود برای محصول گندم و جو با ارزش منفی نشان می‌دهد. ارزش منفی بدین معنی است که در این مناطق مقدار بارش بیشتر از مقدار تبخیر-تعرق بوده و در نتیجه مخارج رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ منفی شده و در نتیجه میزان بهره‌وری‌ها منفی شده است. بدلیل اینکه گندم و جو محصولات زمستانه هستند و بیشترین میزان بارش در منطقه در فصل سرد سال اتفاق می‌افتد این مقادیر قابل پیش‌بینی بودند. دو زیر حوضه ۴۳ و ۸۲ مقدار بهره‌وری منفی محاسبه شده است. این موضوع بدان معنا است که در سال آبی ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ در این دو حوضه احتمال تغذیه آب زیرزمینی بدلیل بیشتر بودن میزان بارش از میزان تبخیر-تعرق وجود دارد.

بیشترین ارزش بهره‌وری درآمد و سود متعلق به محصول گندم و جو است که محصولات زمستانه و اغلب دیم هستند. در نتیجه مقدار آبی که برای آبیاری به کار می‌رود برای این محصول بسیار کم است، و با توجه به روابط ۱۰ و ۱۱ در صورتی که مقدار مخارج کسر به صفر میل کند، میزان بهره‌وری نیز به بینهایت میل خواهد نمود. از میان

جدول ۳- سطح زیر کشت قبل و بعد از بهینه‌سازی برای سناریو اولیه

Table 3- Cultivation area before and after optimization for first scenario

	گوجه‌فرنگی Tomato	ذرت Maize	گندم و جو Wheat and Barley	کل سطح کشت Total crop area
سطح زیرکشت قدیم Old cultivation area (m3)	98710917.12	415363089.1	420860422.7	934934428.8
سطح زیرکشت جدید New cultivation area (m3)	19742183.42	415363089.1	188982124	624087396.5
نسبت کشت Cultivation ratio	0.2	1	0.45	0.667

جدول ۴- سطح زیر کشت قبل و بعد از بهینه‌سازی برای سناریو اولیه

Table 4- cultivation area before and after optimization for second scenario

	گوجه‌فرنگی Tomato	ذرت Maize	گندم و جو Wheat and Barley	کل سطح کشت Total crop area
سطح زیرکشت قدیم Old cultivation area (m3)	98710917.12	415363089.1	420860422.7	934934428.8
سطح زیرکشت جدید New cultivation area (m3)	19742183.42	415363089.1	133823393.4	568928665.9
نسبت کشت Cultivation ratio	0.2	1	0.32	0.608

زیرکشت آن صورت نپذیرد. بطور کل در حوضه سطح زیرکشت باید به ۶۶ درصد کاهش یابد تا سطح آب زیرزمینی در طول سال ثابت باقی بماند. تنها با کاهش ۶ درصد در سطح زیرکشت نسبت به سناریو اولیه آب زیرزمینی به میزان ۲۰ درصد آب تجدیدپذیر تغذیه خواهد

نتایج این بهینه‌سازی در هر دو سناریو نشان دادند که سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی باید بیشترین تغییر (کاهش به ۲۰ درصد سطح زیر کشت فعلی) را داشته باشد و محصول ذرت تغییری در سطح

محصولات جایگزین چند نکته باید مد نظر قرار گرفته شود همچون بهره‌وری سود، تطابق اقلیمی و دانش عمومی کشاورز در خصوص نحوه کشت محصول جایگزین. از آنجایی که کشاورزان همیشه به دنبال کسب بیشترین درآمد هستند، محصولات جایگزین باید سودی برابر و یا بیشتر از محصولات پیشین برای کشاورز به ارمغان بیاورد، همچنین هر محصولی نیاز به اقلیم و شرایط آب و هوایی خاص خود را دارد که این موضوع باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت کشاورزان برای کشت و کار به محصول جدید باید آموزش ببینند.

بحث و نتیجه‌گیری کلی

در مجموع برای حفظ منابع آب زیرزمینی و یا حتی برگرداندن این ذخایر به حالت پیشین، سطح زیرکشت در صورت ثابت باقی ماندن الگو کشت، باید کاهش یابد. اما این راه حل غیر واقعی بوده چرا که افراد بسیاری شغل خود را به دلیل کاهش مزارع از دست خواهند داد. در این مطالعه تنها چهار محصول مورد مطالعه قرار گرفت. بنظر می‌رسد بهترین راه حل معرفی محصولات جایگزین است. در معرفی

منابع

1. Ali, A., Behera, B. 2016. Factors influencing farmers' adoption of energy-based water pumps and impacts on crop productivity and household income in Pakistan. *RenewSustain Energy Rev.* 54: 48–57.
2. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.
3. Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R., Bastiaanssen, W. 2002. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)-Advanced training and Users Manual. Kimberly Idaho Implement.
4. Allen, R.G., Trezza, R., Tasumi, M. 2002. Surface energy balance algorithms for land. Advance training and users manual, version 1.0. Kimberly.
5. Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M. 1998a. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *J. Hydrol.* 212: 198–212.
6. Bastiaanssen, W.G.M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J.F., Roerink, G.J., Van der Wal, T. 1998b. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL).: Part 2: Validation. *J. Hydrol.* 212: 213–229.
7. Cai, X., Rosegrant, M.W. 2003. 10 World Water Productivity: Current Situation and Future Options. *Water Product. Agric. limits Oppor.*
8. Congalton, R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing Environment.* 37: 35–46.
9. Dehghan, H., Alizadeh, A., Ansari, H., Haghayeghi, M.S.A. 2011. Evaluation of Water Productivity Indicators in Wheat Irrigated Fields (Case Study: Neyshabur Plain). *Iranian Journal of Irrigation and drainage.* 5: 263-275.
10. Doorenbos, J., Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. *Irrigation Drainage Paper.* 33: 257.
11. Duda, R.O., Hart, P.E., Stork, D.G. 1998. *Pattern Classification (2nd ed.)*. Computer Complex.
12. Foody, G.M., Camobell, N.A., Trodd, N.M., Wood, T.F. 1992. Derivation and applications of probabilistic measures of class membership from the maximum-likelihood classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* 58: 1335–1341.
13. Geerts, S., Raes, D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management.* 96: 1275–1284.
14. Haghayeghi Moghaddam Akbari, M., SadrGhaen, S.H., S.A. 2014. Investigation of the effect of changing irrigation methods from traditional to modern on compensating the deficit in Neyshabour plain aquifer using the SWAP model. *Iran Water Research Journal.* 15: 125–133.
15. Hoseini, A., Farajzadeh, M., Velayati, S. 2005. The water crisis analysis in Neishaboor plain with considering environmental planning. *Khorassan-Razavi Regional Water Company, Mashad, Iran.*
16. Izady, A., Davary, K., Alizadeh, A., Ghahraman, B., Sadeghi, M., Moghaddamnia, A. 2012. Application of “panel-data” modeling to predict groundwater levels in the Neishaboor Plain, Iran. *Hydrogeology Journal.* 20: 435–447.
17. Jia, K., Wu, B., Tian, Y., Zeng, Y., Li, Q. 2011. Vegetation classification method with biochemical composition estimated from remote sensing data. *International journal of remote sensing.* 32: 9307–9325.
18. Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I.F., Sobrino, J.A. 2013. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment.* 131: 14–37.
19. Liang, S. 2001. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms. *Remote Sensing of Environment.* 76: 213–238.
20. Mutambara, S., Darkoh, M.B.K., Athlipheng, J.R. 2016. A comparative review of water management sustainability challenges in smallholder irrigation schemes in Africa and Asia. *Agricultural Water Management.* 171: 63–72.
21. Peters, J. 2015. The Many Band Combinations of Landsat 8. URL

<http://www.exelisvis.com/Home/NewsUpdates/TabId/170/ArtMID/735/ArticleID/14305/The-Many-Band-Combinations-of-Landsat-8.aspx>

22. Smith, R.B. 2010. The Heat Budget of the Earth's Surface Deduced from Space. *Yale University Center for Earth Observation: New Haven, CT, USA*.
23. Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. 2012. FAO Irrigation and Drainage Paper 66. 70–87.
24. USGS, 2012. URL: <http://glovis.usgs.gov/index.shtm>
<http://glovis.usgs.gov/>
25. Van Oort, P.A.J., Wang, G., Vos, J., Meinke, H., Li, B.G., Huang, J.K., van der Werf, W. 2016. Towards groundwater neutral cropping systems in the Alluvial Fans of the North China Plain. *Agricultural Water Management*. 165: 131–140.
26. Velayati, S., Tavassloi, S. 1991. Resources and problems of water in Khorasan province. Razavi, Mashhad, Iran.

Estimating Major Crop Water Productivity at Neyshabour Basin and Optimize Crop Area

Y. Pourmohamad¹- M. Mousavi Baygi^{2*} - A. Alizadeh³- A. N. Ziaei⁴- M. Bannayan Aval⁵

Received: 18-09-2016

Accepted: 05-12-2016

Introduction In current situation when world is facing massive population, producing enough food and adequate income for people is a big challenge specifically for governors. This challenge gets even harder in recent decades, due to global population growth which was projected to increase to 7.8 billion in 2025. Agriculture as the only industry that has ability to produce food is consuming 90 percent of fresh water globally. Despite of increasing for food demand, appropriate agricultural land and fresh water resources are restricted. To solve this problem, one is to increase water productivity which can be obtain by irrigation. Iran is not only exempted from this situation but also has more critical situation due to its dry climate and inappropriate precipitation distribution spatially and temporally, also uneven distribution of population which is concentrate in small area. The only reasonable solution by considering water resources limitation and also restricted crop area is changing crop pattern to reach maximum or at least same amount of income by using same or less amount of water. The purpose of this study is to assess financial water productivity and optimize farmer's income by changing in each crop acreage at basin and sub-basin level with no extra groundwater withdrawals, also in order to repair the damages which has enforce to groundwater resources during last decades a scenario of using only 80percent of renewable water were applied and crop area were optimize to provide maximum or same income for farmers.

Materials and methods The Neyshabour basin is located in northeast of Iran, the total geographical area of basin is 73,000 km² consisting of 41,000 km² plain and the rest of basin is mountains. This Basin is a part of Kalshoor catchment that is located in southern part of Binaloud heights and northeast of KavirMarkazi. In this study whole Neyshabour basin were divided into 199 sub-basins based on pervious study. Based on official reports, agriculture consumes around 93.5percent of the groundwater withdrawals in Neyshabour basin and mostly in irrigation fields, surface water resources share in total water resource withdrawals is about 4.2percent, which means that groundwater is a primary source of fresh water for different purposes and surface water has a minor role in providing water supply services in the Neyshabour basin. To determine crop cultivation area, major crops divided into two groups. two winter crops (Wheat and Barley) and two summer crops (Maize and Tomato). To accomplish land classification by using supervised method, a training area is needed, so different farms for each crop were chosen by consulting with official agricultural organization expert and multiple point read on GPS for each crop. The maximum likelihood (MLC) method was selected for the land cover classification. To estimate the amount of precipitation at each 199 sub-basins, 13 station data for precipitation were collected, these stations are including 11 pluviometry stations, one climatology station and one synoptic station. Actual evapotranspiration (ETa) is needed to estimate actual yield (Ya). Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) technique were applied on Landsat 8 OLI images. To calculate actual ETa, the following steps in flowchart were modeled as tool in ArcGIS 10.3 and a spreadsheet file. To estimate actual crop yield, the suggested procedure by FAO-33 and FAO-66 were followed. Financial productivity could be defined in differently according to interest. In this study several of these definition was used. These definitions are Income productivity (IP) and Profit productivity (PP). To optimize crop area, linear programing technique were used.

Results and discussion average actual evapotranspiration result for each sub-basin are shown in context. In some sub-basins which there were no evapotranspiration are shown in white. And it happens in those sub-basins which assigned as desert in land classification. In figures 8 and 9 minimum amount of income and profit productivity for wheat and barley is negative, this number means in those area the value of precipitation is higher than value of evapotranspiration, so lower part of eq. 21 and 22 would be negative and in result water productivity would be negative. Since most of precipitation occurs during cold season of the year these numbers are expected. Two sub-basins of 43 and 82 has the value of negative, it means in these two sub-basins

1, 2, 3 and 4- PhD student, Professors and Assistant Professor of Water Science and Engineering Department of Agriculture Faculty of Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: mousavi500@yahoo.com)

5- Professor of Agronomy Department of Agriculture Faculty of Ferdowsi University of Mashhad

groundwater are recharging during the year 2014-2015. The maximum value of income and profit productivity belong to wheat and barley which are winter crops and mostly rain fed, so amount applied water would be so low and in result productivity increased. Among the summer crops maize has the most income and profit income which can be interpret due to their growing period and the crop types. Maize has around 110 days to reach to maturity and harvest, on the other hand tomato needs 145 days to harvest. Some plant is C3 and some are C4. C4 plants produce more biomass than C3 crops with same amount of water which leads to more productivity. The results showed that tomato should have the most changes in area reduction (0.2) and maize should have no changes in both scenarios. Crop area should reduce to 66percent of current cultivation area to maintain ground water level and only 6percent reduction in cultivation area would result in 20percent groundwater recharging.

Conclusion to save groundwater resources or even retrieve the only water resource, cultivation area must reduce if the crop pattern will not change. In this study only four crops were studied. It seems best solution is to introduce alternative crop.

Keyword: Land Classification, Geographic Information System, Groundwater, Remote Sensing, SEBAL Algorithm,