مدیریت بهینه‌ی آب در شرایط خشکسالی؛ مطالعه موردی دشت سرخون، استان هرمزگان

ام البنین بذرافشان[۱]، فایزه رحیمی[۲] و حنانه محمدی کنگرانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۵

چکیده

ایران درکمربند خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد که در چندسال اخیر بیشتر مناطق آن، دچار پدیده خشکسالی و بدنبال آن کمبود آب‌های سطحی وزیرزمینی روبرو شده است. نود و دو درصد آب مصرفی در ایران مربوط به بخش کشاورزی است، که بدنبال آن سبب برداشت بی رویه از منابع آب‌زیرزمینی شده که سبب وارد آمدن صدمات جبران ناپذیری بر پتانسیل آبی شده است، لذا مدیریت بهینه در مصرف آب و رعایت الگوی صحیح کشت، امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق سعی گردید، پس از تشریح وضعیت خشکسالی در دشت سرخون، با برنامه‌ریزی مدیریتی در بخش کشاورزی و تغییر الگوی کشت، در جهت حفظ و مدیریت منابع آب قدم برداشته شود. با این هدف، از مقادیر آمار بارندگی و تراز آب زیرزمینی طی دوره آماری ۶۸-۱۳۶۷ تا ۹۴-۱۳۹۳، شاخص SPI و GRI برای پایش وضعیت خشکسالی و مدل برنامه ریزی خطی (لینگو) جهت مدیریت بهینه مصرف آب استفاده گردید، که در آن از سه سناریوی بهینه سازی الگوی کشت در وضع موجود، تغییر راندمان آبیاری و افزایش جمعیت با هدف حداکثر کردن سود حاصله از کشت محصولات و میزان آب مصرفی استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی دشت سرخون به میزان ۶ متر افت داشته است که این افت از سال ۱۳۸۷ آغاز می‌گردد و از سال ۱۳۷۹ به بعد بطور متوالی با خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید همراه بوده، که با بهینه‌سازی الگوی کشت در سال هدف (سال ۱۳۹۰)، به میزان دو میلیون مترمکعب در مصرف آب صرفه جویی شده و سود به‌دست آمده در الگوی کشت بهینه نسبت به وضع موجود، افزایش ۱۰۷درصدی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی الگوی کشت، شاخص استاندارد شده منابع آب زیرزمینی، شاخص استاندارد شده بارش ، مدیریت منابع آب.

[۱] استادیار، عضو هیات علمی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. ۰۷۶-۳۳۷۱۱۰۴۰. O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir (مسئول مکاتبه)

[۲] کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران- استان فارس، مرودشت، خیابان شهیدصدوقی، ۰۹۳۰۷۳۴۰۷۳۶. Rahimi.faeze1368@yahoo.com

[۳] دانشیار، عضو هیات علمی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. ۰۷۶-۳۳۷۱۱۰۴۰. Kangarani@ut.ac.ir

مقدمه

خشکسالی یکی از مخاطرات طبیعی است، که بیش از هر مخاطره دیگر انسان را تحت تاثیر قرار می‌دهد و تقریبا در تمامی مناطق آب و هوایی اتفاق می‌افتد (Subash et al., 2011). خشکسالی به چهار دسته خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی و اقتصادی- اجتماعی طبقه بندی می‌شود (Wilhite and Glantz, 1985).

خشکسالی اقلیمی زمانی روی می‌دهد که بارندگی سالانه یا هر بازه زمانی معین کمتر از میانگین دراز مدت آن باشد. ادامه خشکسالی هواشناسی به مدت طولانی سبب بروز خشکسالی هیدرولوژی می‌شود که در این نوع خشکسالی سطح آب رودخانه‌ها، مخازن آب، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی به پایین‌تر از میانگین دراز مدت افت می‌کند. خشکسالی کشاورزی نیز زمانی آغاز می‌شود که مقدار رطوبت موجود در محیط ریشه گیاه به حدی کاهش یابد که موجب پژمردگی و در نهایت کاهش محصولات کشاورزی گردد. هرگاه میزان تقاضای آب برای تولید برخی کالاهای اقتصادی بیشتر از عرضه آن شود، خشکسالی اقتصادی- اجتماعی روی می‌دهد (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۰).

آب، محرک اصلی کشاورزی به شمار می‌آید. به همین دلیل حدود ۷۰ درصد آب مصرفی جهان به کشاورزی اختصاص داده شده است (Wallace, 2000). در بسیاری از کشورها از جمله ایران، آبیاری از اجزای اصلی تولید مواد غذایی به شمار می‌آید، بطوریکه بیش از ۹۰ درصد از آب‌های سطحی و زیرزمینی کشورمان به این بخش اختصاص می‌یابد (حسین‌زاد و همکاران، ۱۳۹۲). در شرایط نرمال، حدود ۹۴ میلیارد متر مکعب آب در کشور مصرف می‌شود که ۸۶/۱ میلیارد متر مکعب آن مربوط به مصرف کشاورزی، ۶/۲ میلیارد متر مکعب مربوط به مصارف شرب و حدود ۱/۷ میلیارد متر مکعب مربوط به مصارف بخش صنعت می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ بردبار و همکاران، ۱۳۸۸). همان‌طور که آمار نشان می‌دهد بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در کشور بخش کشاورزی می‌باشد که مقرر گردید تا پایان برنامه چهارم با احتساب تدابیر لازم میزان بهره‌وری آب در این بخش تا ۲۵ درصد افزایش یابد (آقاپورصباغی، ۱۳۸۹). وجود مشکلات در بخش منابع آب کشور توجه سیاست‌گذاران را به اتخاذ راه‌کارهایی در جهت مدیریت تقاضای آب در بخش کشاورزی به عنوان عمده مصرف کننده منابع آب، معطوف کرده است.

ایران به علت موقعیت خاص جغرافیایی و ناهمواری‌های بسیار پراکنده و تاثیر دیگر عوامل (مانند توده‌های هوایی) از مناطق خشک جهان به شمار می‌رود. خشکسالی در سال‌های زراعی ۱۳۷۸-۷۹ و ۱۳۷۹-۸۰ هجده استان کشور را دچار بحران آب نمود (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۲). در این میان، استان‌های جنوبی ایران، لطمات و خسارات شدیدتری را به دلیل کمی بارندگی و خشکسالی متحمل شده‌اند (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷)، بخصوص که در بیابان‌های ساحلی نیز مشکل شور شدن آب‌های زیرزمینی خود دامن‌گیر بسیاری از چاه‌ها در استان هرمزگان شده است (نوحه‌گر و شیرگاهی، ۱۳۸۹) بطوریکه بسیاری از دشت‌های استان هرمزگان با مشکل جدی کم آبی مواجهند (حسین‌زاده و نوحه‌گر، ۱۳۹۰). لذا کمبود بارندگی باعث نوسانات شدید در میزان آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است (Madani, 2014). از طرف دیگر در این شرایط کشاورزان برای رسیدن به سود بیشتر بدون آگاهی، به کشت گیاهانی با نیاز آبی زیاد روی آورده‌اند (Akbari et al., 2009). در صورتی که با توجه به شرایط اقلیمی کشور، برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی باعث وارد آمدن صدمات جبران‌ناپذیری بر پتانسیل آبی هر منطقه می‌شود (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از آب برای آبیاری مزارع، منابع آب را تحت تنش قرار داده و سرانجام منجر به کاهش منابع آبی در منطقه می‌شود. این رویداد، مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه منابع آب را روز به روز پر اهمیت‌تر می‌نماید (شیرزادی لسکو کلایه و صبوحی صابونی، ۱۳۸۸).

روش‌های متنوعی جهت بهینه‌کردن و برنامه‌ریزی مصرف آب برای الگوی‌های کشت مختلف در بخش کشاورزی وجود دارد. برخی از این روش‌ها بر مدل‌سازی ریاضی و تکنیک‌های برنامه نویسی خطی، غیرخطی و پویا متکی است (Paul et al., 2000).

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه پایش خشکسالی و بهینه‌سازی و مدیریت منابع آب برای الگوی‌های کشت مختلف انجام شده است:

هوشمند و خورانی (۱۳۹۲) به منظور بررسی فراوانی و تداوم شرایط مختلف رطوبتی در استان هرمزگان از داده‌های سالانه بارندگی مربوط به ۱۵ ایستگاه طی یک دوره آماری ۲۷ ساله استفاده کردند. نتایج نشان داد که خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها از تداوم و فراوانی کمتری نسبت به شرایط نرمال برخوردار بوده است و همچنین وضعیت رطوبتی خشکسالی نسبت به ترسالی از فراوانی بیشتری برخوردار بوده است.

شعبانی و همکاران (۱۳۸۷)، فرخزاده (۱۳۹۰) و مادح‌خاکسار و آینه‌بند (۱۳۹۰) در تحقیقی به منظور بررسی گزینه‌های مدیریتی در بخش کشاورزی و بهینه‌سازی الگوی کشت، از مدل برنامه‌ریزی خطی و نرم‌افزار لینگو استفاده کردند. نتایج نشان داد که با افزایش قیمت آب در تمام سناریوهای مفروض فشردگی کشت و درآمد به ازای هر واحد آب مصرفی و کل درآمد کشاورز، کاهش می‌یابد.

اقتدارنژاد (۱۳۹۳) در بررسی تأثیر خشکسالی‌ها بر افت منابع آب زیرزمینی دشت بم به این نتیجه رسید که بین کاهش بارندگی و افت سطح ایستابی ضریب همبستگی معنی‌داری وجود نداشته، در حالی که عزیزی (۱۳۸۲) در دشت قزوین اذعان نمودند که ارتباط منابع آب زیرزمینی منطقه تحت تأثیر سامانه‌ی بارش، همراه با تأخیر بوده، و نقش عامل انسانی در افت سطح آب زیرزمینی بسیار موثر بوده است.

ترکمانی و خسروی (۱۳۸۰) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی در شهرستان مرودشت استان فارس، الگوی بهینه کشت منطقه را تعیین کردند، که بر اساس آن، سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای و یونجه، نسبت به الگوی فعلی کاهش یافت و سطح زیر کشت بهینه محصولات آبی، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و یونجه تعیین گردید.

AL-Qinna et al., 2010 خشکسالی را تحت شرایط اقلیمی موجود و آینده مورد ارزیابی و پایش قرار دادند. آن‌ها از دو شاخص[1] SPI و NDVI[2] برای شدت، فراوانی و توزیع مکانی دوره‌های خشک استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده توزیع غیر یکنواخت دوره‌های خشک طی ۳۵ سال گذشته در منطقه مورد مطالعه بود. تحت شرایط تغییر اقلیم و با تغییر در میزان بارش، شدت دوره‌های خشک افزایش خواهند یافت و بیابان‌زایی در منطقه رو به افزایش خواهد بود.

(Seth et al., 2002 و Singh et al., 2001) از مدل برنامه‌ریزی خطی برای حداکثر کردن سود اقتصادی و برآورد الگوی بهینه کشت استفاده نمودند که بر اساس نتایج حاصله، سودآورترین کشت منطقه تعیین گردید.

مرور تحقیقات گذشته نشان می‌دهد، که در بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف کشور، کمتر به ارائه راهکار در زمینه اصلاح الگوی کشت بصورت عملی پرداخته شده است لذا برا این اساس در این تحقیق ابتدا به پایش وضعیت خشکسالی در منطقه پرداخته و پس از مشخص شدن وقوع و تداوم خشکسالی به بررسی الگوی کشت منطقه و تدوین سناریوهای مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی پرداخته می‌شود، تا از طریق مدل برنامه‌ریزی خطی، ضمن دستیابی به الگوی کشت بهینه و حداکثر سود، میزان آب مصرفی در مواقع خشکسالی کاهش یافته و بهره برداری بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی در شرایط خشکسالی صورت پذیرد.

مواد و روش

دشت سرخون از نظر تقسیم‌بندی سیاسی در استان هرمزگان، شهرستان بندرعباس، بخش مرکزی

[1]- Standardized Precipitation Index
[2] Normalized Difference Vegetation Index

واقع گردیده است (شکل۱). این حوزه از شمال به روستاهای دشت امام و گنو، از جنوب به روستای ته لو، از شرق به رودخانه شور و از غرب به کوه گنو محدود می‌شود. در عرصه مورد مطالعه، کشت محصولات زراعی به صورت صیفی‌جات آبی (شامل گوجه‌فرنگی، بادمجان، فلفل، پیاز و...) و محصولات باغی شامل نخیلات و مرکبات در سطح منطقه مشاهده می‌گردد (مطالعات تفصیلی اقتصادی-اجتماعی سرخون، ۱۳۹۱). در جدول (۱) میزان اراضی زراعی و باغی محدوده مورد مطالعه ارائه شده است و تنها منبع عمده تامین آب چاه بوده و نحوه استفاده از منابع آبی موجود در غالب قسمت‌ها به صورت آبیاری سنتی انجام می‌گیرد (مطالعات تفصیلی آب‌های زیرزمینی سرخون، ۱۳۹۱).

بررسی تغییرات بارندگی و ارتباط آن با تغییرات سطح آب زیرزمینی در طی دوره آماری موجود

به منظور بررسی تغییرات بارندگی در منطقه مورد مطالعه، از آمار و اطلاعات بارش و شاخص بارش استاندارد شده (SPI)[۱] و برای بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی از شاخص منابع آب زیرزمینی استاندارد شده (GRI)[۲] استفاده گردید.

شاخص بارش استاندارد شده جهت پایش خشکسالی هواشناسی

برای محاسبه این شاخص، سری زمانی طولانی مدت داده‌های بارندگی ثبت شده در هر ایستگاه با یک توزیع احتمالاتی مناسب، مانند توزیع گاما یا لوگ نرمال برازش داده می‌شود. در مرحله بعد، تابع تجمعی توزیع محاسبه شده و به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد، به طوری که در این میانگین مقادیر SPI، برای مکان و دوره مورد نظر صفر است و در نهایت با استفاده از رابطه ۱ مقادیر SPI استخراج می‌گردد (Mc kee et al.,1993). توصیف کیفی هر طبقه در جدول (۱) ارائه گردید.

$$SPI = \frac{X_i - \overline{X}}{SD} \qquad (۱)$$

X_i: بارندگی در ماه I ام؛ $\overline{X}$: میانگین بارش در ماه I ام و SD: انحراف معیار

شاخص منبع آب زیرزمینی استاندارد شده جهت پایش خشکسالی وضعیت منابع آب زیرزمینی

این شاخص اولین بار توسط Mendcinio et al., (2008) پیشنهاد گردید و به عنوان شاخصی مفید و قابل اعتماد برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی آب و زمین شناسی برای منطقه‌ی مدیترانه به کار برده شد. مقدار شاخص GRI از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$GRI_{y,m} = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\delta_{D,m}} \qquad (۲)$$

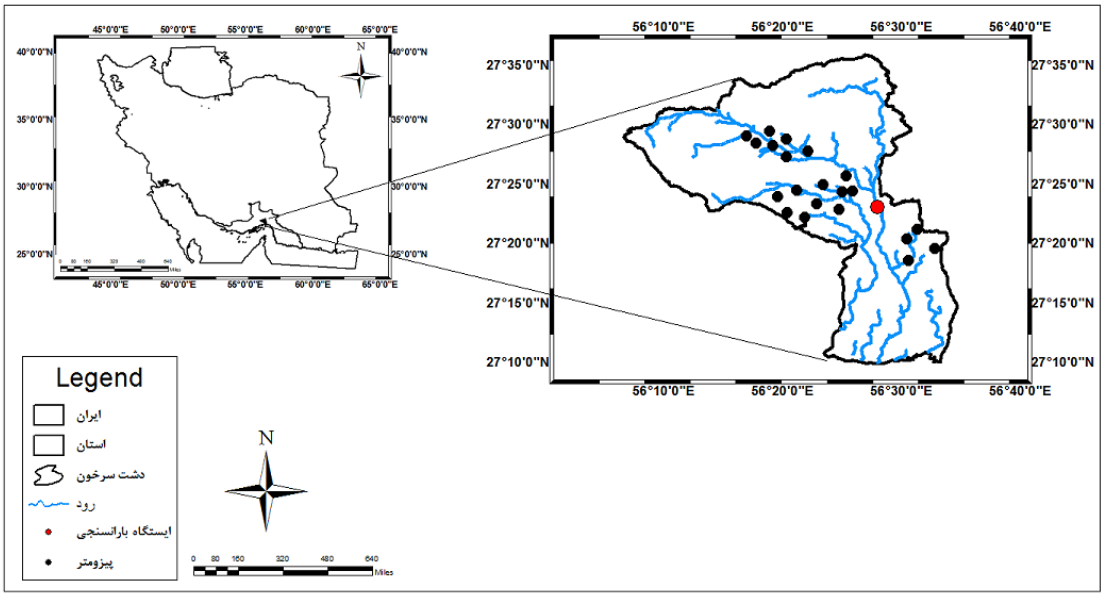
$D_{y,m}$: ارتفاع آب زیرزمینی در سال y و ماه m؛ $\mu_{D,m}$ و $\delta_{D,m}$ بترتیب میانگین و انحراف معیار ارتفاع آب زیرزمینی در سال y و ماه m ام.

توصیف کیفی شاخص GRI در جدول (۱) ارائه گردید. همچنین قابل ذکر است، برای محاسبه دو شاخص مذکور از برنامه متلب استفاده گردید. مقادیر بارش با توزیع گاما و مقادیر تراز آب زیرزمینی باتوزیع ویبول برازش داده شد (MC Kee et al, 1993؛ Mendicinio et al.,2008).

[۱]- Standardised Precipitation Index (SPI)
[۲]- Ground water Resource Index

جدول (۱): کلاس‌بندی توصیفی خشکسالی براساس شاخص بارندگی استاندارد شده
(Mendicinio et al., 2008 ؛ MC Kee et al, 1993)

کلاس خشکسالی	مقادیرSPI و GRI
خشکسالی ملایم	۰ تا ۱ -
خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۵-
خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۲-
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از ۲-



شکل(۱): محدوده دشت سرخون و ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان هرمزگان و ایران

جدول (۲): توزیع اراضی کشاورزی فعلی و قابل توسعه در حوزه مورد مطالعه (منبع: مطالعات تفصیلی اقتصادی-اجتماعی سرخون، ۱۳۹۱)

شرح	سطح زیر کشت اراضی آبی (هکتار)	سطح زیر کشت اراضی دیم (هکتار)	سطح کل اراضی زراعی (هکتار)	سطح اراضی باغی (نخیلات و مرکبات) (هکتار)	سطح کل اراضی زراعی و باغی (هکتار)
سطح فعلی زیر کشت اراضی	۳۹۷۱/۰۶	-	۳۹۷۱ /۰۶	۲۷۹/۳۵	۴۲۵۰/۴۱
سطح اراضی بالقوه و قابل توسعه	۳۰	-	۳۰	۱۴۰	۱۷۰

برنامه‌ریزی خطی جهت بهینه‌سازی مصرف آب در بخش کشاورزی در سال‌های مواجه با خشکسالی

در برنامه‌ریزی کشاورزی و تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی در یک واحد کشاورزی، می‌توان از برنامه‌ریزی ریاضی مانند مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده کرد. برنامه‌ریزی خطی روشی است که مبتنی براصول مدل ریاضی که به منظور تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری‌های نهایی و مطلوب مدیران واحدهای کشاورزی به شکل نابرابری‌های خطی ظاهر می‌شود (فیض‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۳).

به پیشنهاد بسیاری از محققین از جمله Beruardo (1988)، andDinar Yaron (1982)،

Jackson et al. (1990) و Paul et al. (2000) استفاده از برنامه‌ریزی خطی می‌تواند راه‌حلی مناسب برای تخصیص منابع آب و مدیریت بهینه آن با سناریوهای مختلف بکار رود. از طرفی سادگی کار و امکان گنجاندن متغیرهای مختلف بر معادلات آن به‌دلیل منطق ساده و انعطاف‌پذیری آن در تعریف و حل مسائل گوناگون بطور گسترده‌ای در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بکار می‌رود (Cai et al., 2001). امروزه بسیاری از مدل‌های بهینه‌سازی اعم از خطی و غیرخطی به کمک نرم‌افزارهای کامپیوتری به سادگی قابل تجزیه و تحلیل‌اند. در این تحقیق از برنامه نرم‌افزاری LINGO استفاده گردید. پس از تعیین ضریب‌های فنی و نوع ومیزان محدودیت‌ها، الگوی کشت بهینه، با هدف مصرف بهینه آب و بیشینه‌سازی درآمد کشاورزان در سال‌های خشک ارائه گردید.

الگوی در نظر گرفته شده در این بررسی به صورت رابطه زیر است:

$$Z = \max : \sum_{p=1}^{c} C_i . X_i \qquad (۳)$$

X_i: فعالیت‌های مربوط به تولید محصولات مختلف زراعی، C_i: ماتریس ضرایب تابع هدف و C= تعداد محصول

در نهایت تابع هدف مدل برنامه نویسی شده در محیط نرم‌افزار به صورت زیر تدوین شد:

$$Max = C_1 . X_1 + C_2 X_2 ; \qquad (۴)$$

C_1 و C_2: ضرایب مربوط به میزان سود خالص هر محصول و X_1 و X_2: معرف محصولات زراعی الگوی کشت می‌باشد.

در منطقه مورد مطالعه اصلی‌ترین عوامل محدودکننده، زمین کشاورزی و میزان آب در دسترس است (مطالعات تفضیلی اقتصادی- اجتماعی حوزه آبخیز سرخون، ۱۳۹۱). لذا دو عامل مذکور به عنوان محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی در نظر گرفته شد:

***محدودیت زمین:**

مجموع سطح کشت محصولات نباید از کل سطح قابل کشت در منطقه فراتر رود.

$$\sum_{p=i}^{c} A_i \le A_{total} \qquad (۵)$$

A_i: سطح زیر کشت محصول i ام (ha) ، و A_{total} : کل سطح زمین موجود برای الگوی کشت می‌باشد. (سطح زیر کشت اختصاص یافته به هر محصول باید بزرگتر از صفر باشد).

این دو محدودیت، در مدل به صورت زیر اعمال شد:

$$X_1 + X_2 \le 2535.75; \quad X_1, X_2 \ge 0 \qquad (۶)$$

محدودیت منابع آب در دسترس:

- مجموع کل آب تخصیص یافته به الگوی کشت از منابع آب زیرزمینی و سطحی نباید از کل موجودی آب قابل تخصیص بیشتر شود:

$$\sum_{p=i}^{c} q_i \le q_s + q_g \qquad (۷)$$

q_i: آب آبیاری مورد نیاز هر محصول با توجه به راندمان. q_s : میزان منابع آب سطحی در دسترس و q_g: میزان منابع آب زیرزمینی در دسترس.

این محدودیت، در مدل به صورت زیر نوشته شد:

$$A_1 . X_1 + A_2 . X_2 .... + A_n . X_n \le 26.72 MCM \qquad (۸)$$

که در آن A_1 و A_2 میزان نیاز خالص آب آبیاری هر محصول در سناریوهای در نظر گرفته شده می‌باشد، که با استفاده از برنامه نرم‌افزاری *Net Wat* محاسبه گردید.

سناریوهای در نظر گرفته شده در مدل بهینه‌سازی:

با توجه به تحقیقات ترکمانی و عبدشاهی (۱۳۷۹)، ترکمانی و خسروی (۱۳۸۰)، شعبانی و

همکاران (۱۳۸۷)، مادح‌خاکسار و آینه‌بند (۱۳۹۰)، خواجه (۱۳۹۳) و فیض‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳)، Sing et al., (2001) و Cai et al., (2001) به منظور بررسی تأثیر تغییر راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت نسبت به وضعیت موجود، افزایش جمعیت و صنعتی شدن سه سناریو اصلاح الگوی کشت و تغییر سطح زیر کشت در وضع موجود، بهینه‌سازی الگوی کشت در تغییر راندمان آبیاری به ۷۰ درصد ومحاسبه تغییر نیاز آبی جمعیت در ۱۰ سال آینده مورد بررسی قرار گرفت.

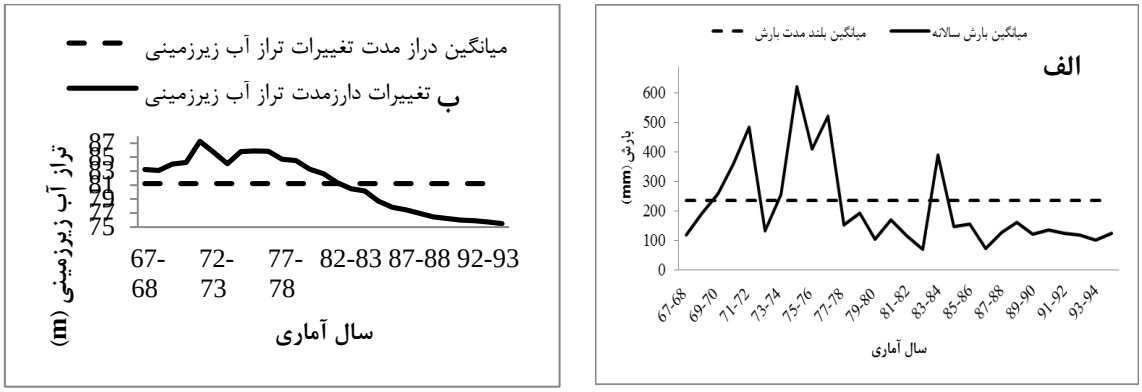
نتایج و بحث

بررسی تغییرات بارندگی و ارتباط آن با تغییرات سطح آب زیرزمینی در طی دوره آماری موجود

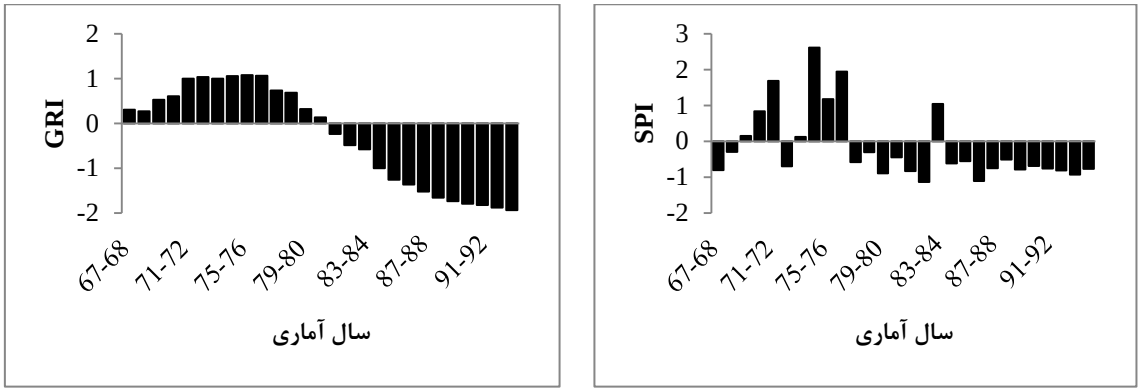
تعداد ۲۱ ایستگاه پیزومتری و یک ایستگاه بارانسجی با طول دوره مشترک آماری (۶۸-۱۳۶۷ تا ۹۳-۱۳۹۴) در دشت سرخون موجود است (شکل۱). جهت بررسی تغییرات تراز سطح ایستابی دشت، از مقادیر میانگین وزنی به روش پلیگون‌بندی تیسن استفاده گردید. پس از انجام آزمون همگنی داده‌ها و بازسازی نقص آماری، مقادیر شاخص‌های معرفی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

شکل ۲ تغییرات سالانه بارندگی (شکل الف) و تراز آب زیرزمینی (شکل ب) را نشان می‌دهد. توزیع بارش سالانه نیز حضور دائم خشکسالی را از سال‌های ۷۸ - ۱۳۷۷ تاکنون نشان می‌دهد اما در مورد تغییرات تراز آب سالانه (شکل ب) این تغییرات از سال‌های ۱۳۸۲ به بعد نمود می‌یابد، بطوریکه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ تراز آب زیرزمینی به میزان ۶ متر افت را نشان می‌دهد.

براساس متدولوژی ذکر شده مقدار SPI و GRI در مقیاس زمانی سالانه تعیین گردید. مقادیر میزان آسیب‌پذیری دشت سرخون در برابر خشکسالی هواشناسی به کمک دو شاخص مذکور، در طول دوره‌ی آماری در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق شکل، براساس شاخص SPI از سال ۱۳۷۷ منطقه متحمل خشکسالی با تداوم ۷ ساله بوده که یکباره در سال ۸۴-۱۳۸۳ ترسالی رخ داده و مجدد تا سال ۹۴ بطور متوالی منطقه با خشکسالی همراه بوده است. با توجه به شواهد، منطقه به مدت ۱۱ سال از کم آبی رنج می‌برد و دارای بزرگی ۱/۳- (کلاس خشکسالی شدید) می‌باشد. شاخص استاندارد شده منبع آب زیرزمینی GRI با ۴ سال تاخیر از سال ۱۳۸۱-۱۳۸۲ به بعد از مرز ترسالی عبور و وارد دوره های تداوم خشکسالی شده بطوریکه از این سال به بعد خشکسالی دارای ۱۳ سال تداوم و بالاترین شدت خشکسالی۲/۲- (کلاس خشکسالی خیلی شدید) را نشان می‌دهد.



شکل(۳): میانگین توزیع بارش (شکل الف)و هیدروگراف سالانه آب زیرزمینی (شکل ب) طی دوره آماری مورد مطالعه در حوزه دشت سرخون



شکل(۴): تغییرات SPI و GRI طی دوره آماری مورد مطالعه در دشت سرخون

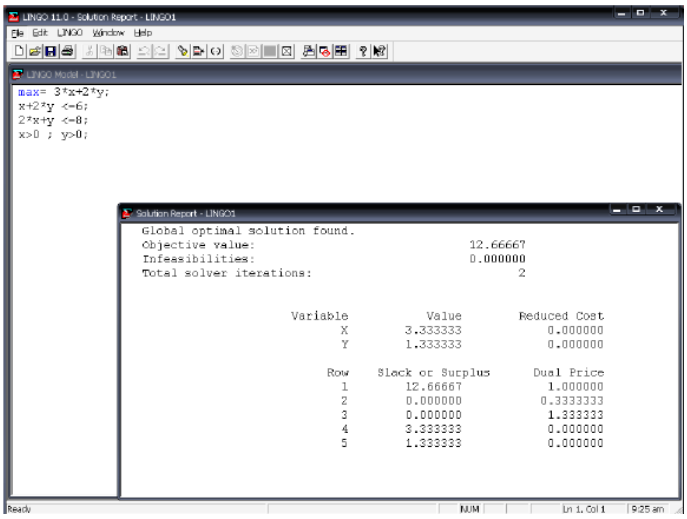
بهینه‌سازی مصرف آب و الگوی کشت از برنامه‌ریزی خطی

سناریوی شماره یک، اصلاح الگوی کشت و تغییر سطح زیر کشت در وضع موجود:

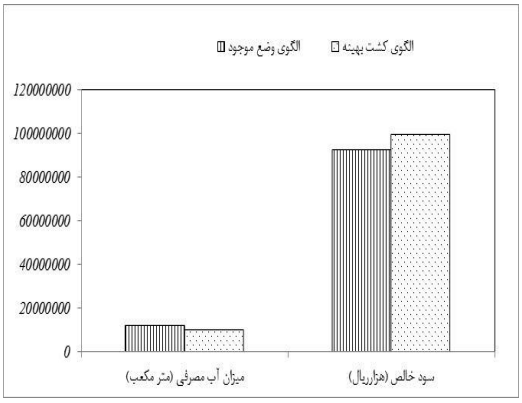
در این سناریو آب موردنیاز الگوی کشت در راندمان ۵۵ درصد (راندمان آبیاری متوسط منطقه) (مطالعات تفصیلی و اجرایی فیزیوگرافی حوزه آبخیز سرخون، ۱۳۹۱)، با استفاده از نرم‌افزار OPTIWAT تعیین و سایر اجزای مدل بر مبنای آنچه ذکر شد وارد نرم‌افزار لینگو گردید (شکل ۵ پنجره برنامه لینگو را

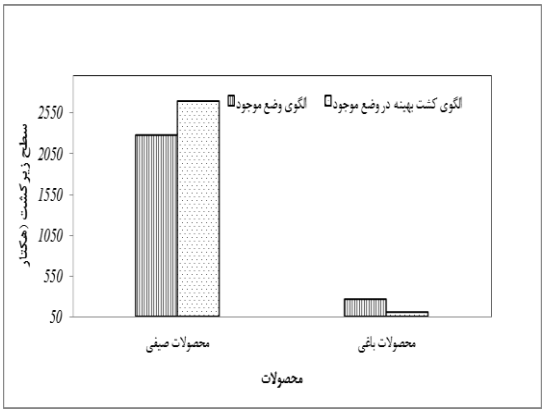
.

نشان می‌دهد). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی الگوی کشت بهینه در وضع موجود (جدول ۳) کشت صیفی‌جات با ۲۵۳۵ هکتار به‌عنوان کشت بهینه معرفی شد. با توجه به نتایج، سود به‌دست‌آمده در الگوی کشت بهینه ۹۹۵۵۰۷۲۷۰۳۵ ریال است که نسبت به سود الگوی کشت در وضع موجود (۹۲۷۵۶۸۲۰۰۰۰ریال) افزایش ۱/۰۷ برابری را دارد و سبب کاهش دو میلیون مترمکعب در مصرف آب گردیده است.



شکل (۵): بخشی از پنجره مدل لینگو





شکل(۶): مقایسه الگوی کشت، مصرف آب و سود حاصل از اجرای سناریوی شماره یک، اصلاح الگوی کشت و تغییر سطح زیر کشت در وضع موجود

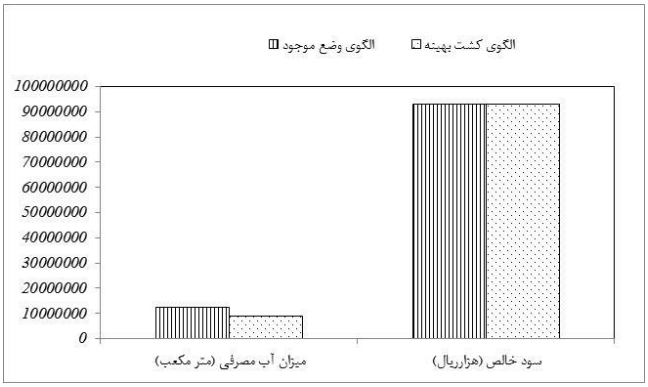
در این سناریو، با حذف کشت باغات (با توجه به نیاز آبی بالای آن‌ها)، مدل با توجه به محدودیت‌های در نظر گرفته شده به منظور دستیابی به بیشترین سود، کشت صیفی جات (گوجه فرنگی، بادمجان، فلفل و پیاز) را بهینه می‌داند.

سناریوی شماره دو، بهینه‌سازی الگوی کشت در تغییر راندمان آبیاری به ۷۰ درصد

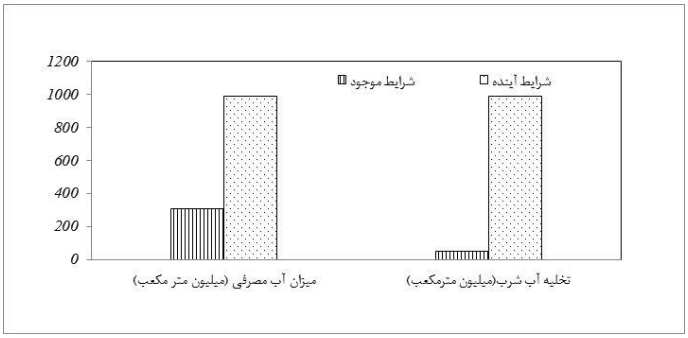
با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی الگوی کشت در راندمان ۷۰ درصد در برنامه OPTIWAT و وضع موجود مشاهده گردید که در الگوی کشت با راندمان ۷۰ درصد صیفی جات با ۲۵۳۵ هکتار به‌عنوان کشت بهینه معرفی شد.

سناریوی شماره سه، محاسبه تغییر نیاز آبی جمعیت در ۱۰ سال آینده:

با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از گزارش اقتصادی – اجتماعی دشت سرخون، میزان ضریب افزایش جمعیت در منطقه مورد مطالعه ۱/۶ به ازای هر پنج سال است، با توجه به اینکه میزان جمعیت در سال هدف (سال ۱۳۹۰) ۶۰۴۱نفر بوده که در ۱۰ سال آینده با توجه به رشد جمعیتی منطقه به ۱۹۳۳۱ نفر خواهد رسید (مطالعات تفصیلی و اجرایی فیزیوگرافی حوزه آبخیز سرخون، ۱۳۹۱)، و به ازای سرانه مصرف هر نفر در سال ۵۱۱۰۰ لیتر، میزان آب مصرفی افزایش و سود حاصل از کشت محصولات رو به کاهش خواهد یافت.



شکل(۷): مقایسه مصرف آب و سود حاصل از اجرای سناریوی شماره دو، بهینه‌سازی الگوی کشت در تغییر راندمان آبیاری به ۷۰ درصد



شکل(۸): مقایسه مصرف آب و سود حاصل از اجرای سناریوی شماره سه، تغییر جمعیت در ده سال آینده

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشانگر تداوم بیش از ۱۱ سال خشکسالی برمنطقه مورد مطالعه است که آثار و تبعات جبران‌ناپذیری بر سطح آبخوان، عوامل اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی زندگی ساکنین داشته است. توزیع بارش سالانه نیز تداوم خشکسالی را از سال‌های ۷۸ -۷۷ نشان داده و تغییرات تراز آب سالانه از سال‌های ۱۳۸۲ به بعد نمود یافته است؛ بطوریکه طی ۱۳ سال تراز آب زیرزمینی به میزان ۶ متر افت را نشان می‌دهد. در این مدت نیز تعداد چاه‌ها از ۴۳۰ حلقه به ۳۱۱ حلقه کاهش یافته است که مشابه نتایج خواجه (۱۳۹۳) در دشت پریشان فارس، فخرآبادی (۱۳۹۲) در دشت کاشان، چیت‌سازان و همکاران (۱۳۸۸) در دشت خویس در شمال خوزستان، شکیبا و همکاران (۱۳۸۲) در دشت کرمانشاه و عزیزی (۱۳۸۲) در دشت قزوین مبنی بر افت سطح آب آبخوان‌ها در دشت‌های مذکور می‌باشد.

همچنین در دشت مورد مطالعه، بیشترین توزیع بارش در فصل زمستان رخ می‌دهد و در طی دو فصل بهار و تابستان در این دشت، میزان بارندگی کمتر از مقدار متوسط است. این در حالیست که در تغییرات تراز آب زیرزمینی، پائین‌ترین سطح سفره در دو فصل پائیز و زمستان و بالاترین تراز در فصل بهار و تابستان مشاهده می شود. درواقع نتیجه بررسی توزیع بارش و تغییرات تراز آب زیرمینی در دشت سرخون نشان‌دهنده عدم انطباق تراز آب سفره با زمان بارش است؛ بطوریکه عمده بارش‌ها در فصل زمستان و پائیز بوده، اما سطح آبخوان در این دو فصل در پائین‌ترین سطح خود قرار دارد که دلیل آن جنس آبرفت و تخلیه و تغذیه همزمان در فصول بارانی و انباشت در فصول غیرکشت (تابستان و بهار) است.

براساس شاخص SPI از سال ۱۳۷۷ منطقه متحمل خشکسالی با تداوم ۷ ساله بوده که یکباره در سال ۸۵-۱۳۸۴ ترسالی با تداوم یکساله رخ داده و مجدداً تا سال ۹۰ بطور متوالی منطقه با خشکسالی مواجه بوده است. شاخص استاندارد شده منبع آب زیرزمینی GRI با ۴ سال تاخیر از سال ۱۳۸۱-۱۳۸۲ به بعد از مرز ترسالی عبور و وارد دوره های تداوم خشکسالی شده است. براساس نتایج بدست آمده از حدود ۱۲ سال گذشته کشت دیم در منطقه بدلیل خشکسالی‌های مذکور، متوقف و تنها اراضی آبی در حال حاضر دایر هستند که با نتایج هوشمند و خورانی (۱۳۹۲) مبنی بر تداوم بلند مدت خشکسالی‌های شدید در استان هرمزگان مطابقت دارد.

نتایج حاصل از بهینه‌سازی الگوی کشت در دشت سرخون نشان داد که در گزینه تغییر شیوه آبیاری و گزینه‌ی بهینه‌سازی الگوی کشت در وضع موجود، علاوه بر کاهش آب تخصیص یافته به الگوی کشت و کاهش آب برداشتی از آبخوان، میزان سود بیشتری نسبت به گزینه‌ی الگوی کشت در وضع موجود بدست می‌آید. نتایج حاصل از این تحقیق لزوم تغییر الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی را به عنوان راهکار بهینه برای غلبه بر مشکلات کم آبی و کاهش ذخایر منفی آبخوان ضروری می‌داند. در این میان، فراهم شدن زمینه‌های اجتماعی و فرهنگی برای اصلاح و تغییر الگوی کشت از طریق جایگزینی محصولات با نیاز آبی کمتر و دارای صرفه اقتصادی بیشتر، به‌جای محصولات با نیاز آبی بالا، می‌تواند در کاهش مصرف آب و بهبود شرایط و استفاده پایدار از منابع آب منطقه کمک بسزایی داشته باشد. همچنین سناریوی افزایش جمعیت و تاثیر آن بر منابع آبی حاکی از کاهش سود حاصل از کشت اراضی زراعی در نتیجه کاهش سطح اراضی زراعی و افزایش مصرف آب به تبع افزایش جمعیت است که با ارائه الگوی بهینه بهره‌برداری و تخصیص مناسب آب برای آینده می‌توان به شرایط بهتری از لحاظ بهره‌برداری پایدار از منابع آب رسید. در صورت تغییر شیوه آبیاری و افزایش عملکرد و راندمان آبیاری، بیلان آب‌زیرزمینی در منطقه مثبت گردیده که این امر موجب جبران کسری مخزن شده و حتی حجم قابل توجهی در مخزن برای شرایط خشکسالی و جبران کمبود منابع سطحی ذخیره می‌شود.

بنابراین می‌توان گفت از طریق تخصیص مناسب آب، مدیریت تقاضا و تنظیم الگوی مصرف آب، خصوصا در بخش کشاورزی، می‌توان وضعیت اقتصادی بهتر و پایدارتری را برای آیندگان ایجاد نمود. همچنین استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی امکان بررسی و مقایسه سناریوهای مختلف در زمینه مدیریت منابع آب و اتخاذ بهترین تصمیم را فراهم می‌کنند. نتایج حاصل از تحقیق حسین‌زاد و همکاران (۱۳۹۳)، خواجه (۱۳۹۳)، فرخزاده و همکاران (۱۳۹۲)، مادح خاکسار و آینه‌بند (۱۳۹۰)، ترکمانی و عبدشاهی (۱۳۷۹)، ستهای و همکاران (۲۰۰۲) و سینگ و همکاران (۲۰۰۱)، کای و همکاران (۲۰۰۱) نیز حاکی از کارایی مدل‌های برنامه‌ریزی در زمینه مدیریت منابع آب می‌باشد.

منابع

احمدی، س.، الف. میرفردی و ق. زارعی. ۱۳۹۲. بررسی رابطه مسوولیت‌پذیری و گرایش به صرفه‌جویی در مصرف آب، مجله‌جامعه‌شناسی کاربردی، جلد۲۴، شماره ۲، ص ۱۸۵-۲۰۰.

اقتدارنژاد، م. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت بم). پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان.

آقاپورصباغی، م. ۱۳۸۹. تأثیر قیمت آب بر الگوی کشت زارعین مطالعه موردی: شهرستان شوشتر. مجله پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، سال سوم، شماره۲.

بذرافشان، الف.، م. محسنی ساروی، الف. ملکیان و الف. معینی.۱۳۹۰. بررسی وضعیت خشکسالی استان گلستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد SPI. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۸، شماره ۳ ص ۴۰۷-۳۹۵.

بردبار، م.، ش. شکری، ب. بردبار و م. سلوکی. ۱۳۸۸. تسطیح لیزری اراضی زراعی راهبردی برای مدیریت بهینه آب در بخش کشاورزی. اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد مرودشت.

بی‌نام. ۱۳۹۱. مطالعات تفصیلی و اجرایی حوزه آبخیز سرخون: گزارش اقتصادی- اجتماعی حوزه آبخیز سرخون. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان، ۱۰۸ص.

بی‌نام. ۱۳۹۱. مطالعات تفصیلی و اجرایی حوزه آبخیز سرخون: گزارش آب‌زیرزمینی حوزه آبخیز سرخون. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان، ۸۰ص.

بی‌نام. ۱۳۹۱. مطالعات تفصیلی و اجرایی حوزه آبخیز سرخون: گزارش فیزیوگرافی حوزه آبخیز سرخون. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان، ۱۸۵۵ص.

ترکمانی، ج. و الف. خسروی. ۱۳۸۰. الگوی ریاضی تعیین برنامه مطلوب در کشاورزی. مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، دوره ۹، شماره ۳۵، ص ۱۳-۳۸.

ترکمانی، ج. و ع. عبدشاهی. ۱۳۷۹. استفاده از روش برنامه ریزی ریاضی چند دوره ای در تعیین الگوی بهینه کشاورزان، فصلنامه علمی برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی وزارت کشور، جلد۲۰، شماره ۲، ص ۳۲-۴۵.

چیت‌سازان، م. و م. ساعت ساز. ۱۳۸۴. کاربرد مدل ریاضی MODFLOW در بررسی گزینه‌های مختلف مدیریت منابع آب دشت رامهرمز، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۱۴، ص ۷۳-۸۵.

حسین زاد، ج.، ف. کاظمیه، ج. فاطمیه، الف. جوادی و ه. غفوری. ۱۳۹۲. زمینه‌ها و سازوکارهای مدیریت آب کشاورزی در دشت تبریز ، دانش آب و خاک، جلد۲۳، شماره۲، ص ۸۵-۹۸.

حسین‌زاده، م. و الف. نوحه‌گر. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر خشکسالی‌های دو دهه اخیر بر منابع آب زیرزمینی دشت میناب و وقوع پدیده فرونشینی، مجله پژوهش‌های دانش زمین، جلد ۹، شمار۱، ص ۱۵- ۲۵.

خواجه، م. ۱۳۹۳. بررسی ارتباط مدیریت منابع آب کشاورزی و بیابان‌زدایی مطالعه موردی: دریاچه پریشان، پایان نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان.

سازمان هواشناسی کشور. ۱۳۹۲. مدیریت پیش‌بینی و هشدار سازمان هواشناسی کشور. WWW.irimo.ir/fa

شعبانی، م. ک.، ت. هنر و م. زیبایی. ۱۳۸۷. مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره۴۴، ص ۵۳-۶۶.

شکیبا، ع.، ب. میرباقری و الف. خیری. ۱۳۸۹، خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI، فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران، دوره جدید، سال هشتم، شماره۲۵، ص ۱۰۴-۱۲۴.

شیرزادی لسکو کلایه، س. و م. صبوحی صابونی. ۱۳۸۸. کاربرد برنامه‌ریزی چند هدفه در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه‌ی ساوجبلاغ. مجله اقتصاد کشاورزی، جلد۳، شماره۲، ص ۸۳-۸۹.

عزیزی، ق. ۱۳۸۲. ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، ص ۱۳۱ تا ۱۴۳.

فخرآبادی، ا. ۱۳۹۱. بررسی خشکسالی های اخیر و تاثیر آن بر سطح آب زیرزمینی دشت کاشان، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری.

فرخ زاده، ب. ۱۳۹۰. برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب به منظور ارائه الگوی بهینه بهره‌برداری (مطالعه موردی: دشت همدان – بهار)، رساله دوره‌ی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

فرخ زاده، ب.، ب. عطاییان، الف. بذرافشان، و م. سوری. ۱۳۹۲. مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در بخش کشاورزی از طریق بهینه سازی الگوی کشت مطالعه موردی: دشت کبودرآهنگ. دوازدهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

فیض‌آبادی، ی.، ف. یوسف‌پور و ح. اسدپور. ۱۳۹۳. کاربرد مدل برنامه‌ریزی خطی چند شاخصه فازی در تعیین الگوی بهینه کشت ارقام برنج در شالیزارهای بابلسر، اقتصاد کشاورزی، جلد۸، شماره۱، ص۳۱-۴۵.

مادح خاکسار، الف. و الف. آینه‌بند. ۱۳۹۰. طراحی زراعی- اقتصادی الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان با تأکید بر منابع آب. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد۹، شماره۱، ص ۲۸-۳۸.

نوحه‌گر، الف. و ف. شیرگاهی. ۱۳۸۹. تغییر کاربری اراضی و تاثیر آن بر کیفیت آبهای سطحی مطالعه موردی: حوضه کهورستان. مجله پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۱، شماره ۴، ص۸۳-۹۲.

هوشمند، ج. و الف. خورانی. ۱۳۹۲. بررسی فراوانی و تداوم شرایط مختلف بارش و خشکسالی در ایستگاه‌های منتخب استان هرمزگان، اولین همایش ملی الکترونیکی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوستداران محیط زیست.

Akbari, M., M. R. Jarge, K. Madani, and H. Sadat. 2009. Assessment of decreasing of groundwater-table using GIS: a case study of Mashad Plain Aquifer. J Water Soil Conserv ١٦٤:٦٣–٧٨.

AL-Qinna M. I., N. A. Hammouri, M. M. Obeidat and F.Y. Ahmad. 2010. Drought analysis in Jordan under current and future climates. Climate change, 106:421–440.

Beruardo, D. J. 1988. Irrigation optimization under water supply. ASAE 313: 712-719.

Cai, X., D. C. McKinney, and L. S. Lasdon. 2001. Solving nonlinear water management models using a combined genetic algorithm and linear programming approach. Advances in Water Resources, 246, 667-676.

Jackson, B. S., T. J. Gerik, and D. F. Wanjura. 1990. Use of COTTAM for scheduling limited irrigation. J. Prod. Agric. 34: 420-425.

Madani, K. 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? J. Environ Stud Sci, 4:315-328.

McKee, T. B., j. Doesken, and j. Kelist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, Fight conf. on applied Climatology, Anaheim, CA, America Meteorological Society,179-185.

Mendicino, G., A. Senatore, and P. Versace. 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. Journal of Hydrology, 357(3):282-302.

Paul, S., S. N. Panda, and D. Nagesh Kumar. 2000. Optimal irrigation allocation: A multilevel approach. J. Irrig. Drain. Eng. 1263: 149-156.

Seth L.N. D. N. Kumar, S. N. Panda, and B. C. Mal. 2002. Optimal Crop Planning and Conjunction use of Water resourses in a Coastal river basin. Water Resource and Management. 16: 145-179.

Singh, D. K., C. S. Jaiswal, K. S. Reddy, R. M., Singh, and D.M. Bandarkar. 2001. Optimal Cropping Pattern in a Canal Command area.Agricultural Water Management, 50; 1-8.

Subash, N., H. R. Mohanand K. Banukumar. 2011. Comparing water-vegetative indices for rice Oryza sativa L.–wheat Triticum aestivum L. drought assessment. Computers and electronics in agriculture, 772:175-187.

Wallace, J. S. 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. Agriculture, Ecosystems & Environment, 821: 105-119.

Wilhite, D. A. and M. H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water International 10: 11- 1120.

Yaron, D. and A. Dinar. 1982. Optimal allacation of water on a farm during feed season. J. Agric. Econ. 64: 452-458.

Optimization of water resource management under drought condition; Case Study Sarkhoun Plain, Hormozgan Province

Ommolbanin Bazrafshan[۱], Faezeh Rahimi[۲], Hannaneh Mohammadi Kangarani[۳]

Abstract

The challenges of drought and groundwater shortage in arid and semi-arid countries like Iran are natural heritage. Almost 92% of the water use in Iran accounts for agriculture overexploiting groundwater aquifers. Therefore, cross-sector management is necessary to prevent unconstrained use of the aquifers and implement sustainable agriculture practices. This study used linear programming (LP) model to optimize the groundwater use and cultivation pattern in Sarkhoun plain. Therefore, the drought state of Sarkhoun plain was assessed in the study area based on SPI and GRI indices for a 25-year period (1988-1989 to 2013-2014) using the records of precipitation and groundwater level. Then, LP models were developed to maximize the net benefits of water use. So, three scenarios of current cropping pattern, irrigation efficiency, and population growth were used to predict the water supply impacts on cropping pattern in the Sarkhoun plain. The results showed that groundwater level of Sarkhoun plain has dropped 6 meters since 2008 following by severe and very severe drought events since 2000. Optimizing cropping pattern outputted to save 2×10^6 m^3 water and increase the net benefits by ٪۱۰۷ for the planning year (2011).

Keywords: Groundwater Resources Index, Linear Programming, Optimization of Cultivation Pattern, Standardized Precipitation Index, Water Resources Management.

.

1 Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Tel:076-33711040. Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir (*Corresponding Author)

2 MSc in Watershed Managemen Engineerngt, University of Hormozgan, Iran- Fars Province, Marvadhasht, Shahid Sadoughi St, 09307340736. Rahimi.faeze1368@yahoo.com

3 Assosciate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Tel:076-33711040. Email: Kangarani@ut.ac.ir