

## بررسی الگوی کشت بهینه متناسب با آب قابل برنامه‌ریزی و تعادل بخشی آبخوان‌ها (مطالعه موردی محدوده مطالعاتی قم-کهنک)

سعید امامی فر<sup>۱\*</sup>، فرشاد محمدیان<sup>۲</sup>، رضا محمدی احمدآبادی<sup>۳</sup> و مجتبی علی مددی<sup>۴</sup>

<sup>۱\*</sup> دکترای تخصصی، دکتری آبیاری و زهکشی و پژوهشگر، قم، ایران.

نویسنده مسئول مکاتبات: aftar2277@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، قم، ایران.

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد، رئیس گروه حفاظت منابع آب زیرزمینی شرکت آب منطقه‌ای استان قم، قم، ایران.

<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد، معاون حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای استان قم، قم، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۱۵

### چکیده

سه‌م بالای مصرف آب کشاورزی، اصلاح و پیشنهاد الگوی بهینه کشتی که مصرف آب را کاهش و بهره‌وری استفاده از آن را افزایش دهد، از الزامات اکثر دشت‌های ممنوعه و بحرانی کشور است. مطالعه حاضر با هدف ارائه الگوی بهینه کشت متناسب با آب قابل برنامه‌ریزی کشاورزی<sup>۱</sup> (منابع آب زیرزمینی) ابلاغی وزارت نیرو در سطح آبخوان محدوده مطالعاتی قم-کهنک و جبران کسری تجمعی درازمدت آبخوان و تاکید بر شاخص‌های پایداری کشاورزی در افق برنامه‌ریزی بیست ساله صورت گرفته است. برای شبیه‌سازی رفتار مولفه‌های بارندگی از خروجی‌های سناریو A2 مدل اقلیمی HADCM3 بهره گرفته و با استفاده از معادله پیوستگی بیلان، حجم آب قابل تخصیص به بخش زراعی در هر سال برآورد گردید. سپس با بکارگیری مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی فازی، الگوهای زراعی پایدار در چارچوب محدودیت‌های فنی ارائه شد. نتایج نشان داد که اجرای الگوهای زراعی پیشنهادی علاوه بر جبران کسری دراز مدت ۵۳۶ میلیون مترمکعبی و تعادل بخشی آبخوان محدوده مطالعاتی در طی افق برنامه‌ریزی، سبب خواهد شد که اشتغال نیروی کار و بهره‌وری فیزیکی مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی به ترتیب ۱۰/۷، ۱۰۶، ۴/۱ و ۸/۸ درصد افزایش و مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی به ترتیب ۴۸/۲، ۳/۹ و ۸ درصد کاهش، یابد. لذا به مسئولان منطقه‌ای پیشنهاد می‌شود اجرای الگوهای زراعی پیشنهادی را در اولویت قرار دهند که این امر نیازمند تدوین الزامات قانونی، سیاست‌های تشویقی و تنبیهی و برگزاری دوره‌های آموزشی و ترویجی می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** آب قابل برنامه‌ریزی؛ الگوی بهینه کشت؛ برنامه‌ریزی آرمانی فازی؛ تغییر اقلیم؛ آبخوان

### مقدمه

را تحت تأثیر قرار داده است. وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی باید همزمان و توأمان با یکدیگر طرح‌ها و برنامه‌هایی را در زمینه کنترل و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی به عنوان اصلی‌ترین مصرف کننده آب در کشور اجرایی کنند. همچنین دولت باید هرچه سریع‌تر برنامه‌ریزی کرده و برای جلوگیری از به وجود آمدن بحران آب در سال‌های آتی، از هم اکنون الگوی کشت

عدم وجود یک برنامه عملیاتی مناسب در اکثر مناطق کشور و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی منجر به کاهش سطح آب زیرزمینی شده و عرضه بلند مدت آب

<sup>۱</sup> آب قابل برنامه‌ریزی برای چاه‌های کشاورزی: میزان آب زیرزمینی است که طی نامه شماره ۹۳/۴۵۵۲۸/۳۱/۱۰۰ مورخ ۱۳۹۳/۱۱/۱۱ وزیر محترم نیرو برای وزارت جهاد کشاورزی به تفکیک ۶۰۹ محدوده مطالعاتی ارسال شده است.

بر اساس اهداف مورد نظر سطح زیر کشت محصولات گروه حبوبات و علوفه‌ای باید به ترتیب به اندازه ۲۶ و ۵ درصد نسبت به وضعیت موجود کاهش یابد. همچنین نتایج نشان داد جهت رسیدن به کلیه اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، میتی بر مدل چند هدفه فازی، کاهش ۱۶ درصد سطح زیر کشت مجموع اراضی فعلی استان اصفهان، اجتناب ناپذیر است. برای الگوی کشت بهینه پیشنهادی میزان مصرف آب و بازده برنامه‌ای به ترتیب ۱۷ درصد کاهش و ۵۸ درصد افزایش نسبت به وضعیت موجود، تغییر خواهد داشت. شکر و همکاران (۱۳۹۸) به بهینه سازی الگوی کشت و منابع آب در سطوح مختلف آبیاری برای مناطق گرم و خشک با رویکرد تکنیک‌های کم آبیاری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی پرداختند که نتایج بیانگر افزایش سود خالص و صرفه‌جویی مصرف آب کشاورزی در مقایسه با الگوی کشت موجود بوده و رویکرد مذکور می‌تواند در حفظ و پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی موثر واقع شود. Shirdeli and Dastvar (2014) با استفاده از یک مدل ریاضی تک هدفه به بررسی الگوی کشت بهینه اراضی کشاورزی پایین دست سد بوئین پرداخته و تحلیل نتایج مطالعه خود را برای دوره‌های ۵ ساله افق برنامه‌ریزی، ارائه نمودند. نتایج نشان داد که بهره‌وری فیزیکی آب برای منطقه مورد مطالعه از ۵۰ درصد دوره اول تا ۷۷ درصد در انتهای دوره افزایش خواهد داشت. برخی دیگر از محققین بررسی الگوی کشت تحت تاثیر شرایط اقلیمی آینده (Yang et al., 2011; Ashofteh et al., 2015) یا با تاکید تعادل بخشی آبخوان‌ها، مورد مطالعه قرار داده‌اند. به عنوان نمونه علیزاده و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای از برنامه‌ریزی غیرخطی آرمانی فازی در تدوین الگوی کشت زراعی با هدف تعادل بخشی آبخوان دشت مشهد- چناران بهره گرفتند. نتایج نشان داد که بکارگیری الگوهای زراعی در افق زمانی ده ساله، علاوه بر دستیابی همزمان به اهداف افزایش بازده برنامه‌ای، کاهش مصرف کودها، سموم

محصولات کشاورزی را با شرایط و اقلیم هر منطقه در اختیار کشاورزان و فعالان این بخش قرار دهد. در این راستا تدوین و پیشنهاد الگوی بهینه کشت متناسب با اهداف و نیازهای منطقه‌ای در راستای نیل به اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی گامی مهم در جهت پایداری کشاورزی کشور خواهد بود. مطالعات مختلفی به منظور تعیین الگوی کشت بهینه در داخل و خارج کشور صورت گرفته است که نتایج اکثر این مطالعات بیانگر آن است که الگوهای کشت اکثر مناطق مطالعه شده بهینه نبوده و ارائه الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوهای مختلف برنامه ریزی ریاضی علاوه بر بهبود شرایط موجود باعث می‌شود از منابع و نهاده‌ها به نحو مطلوب استفاده شود (مردانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ عظیمی فرد و همکاران، ۱۳۹۲؛ نصیبیان و همکاران ۱۳۹۳؛ Li et al., 2009؛ Zeng et al., 2010؛ Joodavi et al., 2015؛ Alabdulkader et al., 2012). در مطالعات گذشته به بررسی و تدوین الگوی کشت بهینه جهت دستیابی به شاخص‌های توسعه پایدار از قبیل حداکثر کردن بازده برنامه‌ای، حداقل کردن هزینه‌های سرمایه‌گذاری نقدی، حداقل کردن مصرف آب، حداقل کردن مصرف کودهای شیمیایی و حداقل کردن مصرف سموم شیمیایی با بکارگیری مدل‌های خطی و غیر خطی برنامه‌ریزی ریاضی (باولی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Osma et al., 2017)، ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۶)، مقایسه مدل‌های بهینه‌سازی هوشمند (Kumar and Yadav, 2019)، اعمال و بکارگیری سناریو افزایش راندمان یا سناریو کم آبیاری همراه با اعمال سناریو بهینه سازی الگوی کشت (عوض یار و همکاران، ۱۳۹۷؛ نجارچی و همکاران، ۱۳۹۷) پرداخته‌اند. به عنوان (Najafabadi et al., 2019) به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی (منابع آب، کود و سم) بصورت تک هدفه و چند هدفه (MOSP)، جهت بررسی الگوی کشت بهینه در استان اصفهان پرداختند که نتایج نشان داد

شیمیایی و هزینه‌های سرمایه‌ای و تثبیت اشتغال، سبب جبران کاهش کسری ۳۸۰ میلیون مترمکعبی و به تعادل رساندن آبخوان محدوده خواهد شد. جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۵) در دشت بیرجند از یک مدل تصمیم‌گیری چندهدفه به منظور تعیین الگوی کشت بهینه تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم با هدف افزایش درآمد کشاورزان و کاهش افت سطح آب زیرزمینی بهره گرفتند. نتایج مطالعه نشان داد که افزایش سطح زیرکشت محصولات نظیر زعفران، زرشک و عناب به عنوان ظرفیت‌های بخش کشاورزی در الگوی بهینه کشت می‌تواند ضمن کاهش افت تراز سطح آبخوان موجبات توسعه اقتصادی را نیز فراهم آورد. همچنین محمدیان و همکاران در سال ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ در دو مطالعه جداگانه از روش‌های AHP، SARIMA و برنامه‌ریزی غیرخطی آرمانی فازی به‌منظور پیشنهاد الگوهای زراعی پایدار با هدف به‌ترتیب تامین ۵۰۰ میلیون مترمکعب آب مجازی و تعادل بخشی آبخوان دشت فریمان- تربت جام در افق زمانی ده ساله بهره گرفته است. در مناطقی مانند استان قم به دلیل کمبود بارش در سال‌های اخیر، آبهای سطحی قابل ذکری وجود نداشته و آب‌های زیرزمینی بخش عمده‌ای از آب مصرفی بخش کشاورزی را تأمین می‌کند. کم‌آبی و خشکسالی‌های پیاپی و همچنین فقدان جریان‌های سطحی دائمی در حوزه آبریز منطقه موجب شده که آبخوان‌های این استان منبع اصلی تأمین نیازهای آبی منطقه را تشکیل دهد. همچنین در نتیجه بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی، تغییرات مشخصی از قبیل افت شدید و مستمر سطح آب، منفی شدن بیلان و افزایش شدید کسری مخزن، نامطلوب شدن کیفیت آب از نظر شرب، صنعتی و کشاورزی روی داده است. نتیجه برداشت این حجم از منابع آب زیرزمینی سبب گردیده که سطح ایستابی دشت قم در ۴۳ سال گذشته (مهر ۵۲ تا شهریور ۹۶) ۳۴/۵ متر و بطور متوسط سالانه حدود ۰/۸ متر افت داشته باشد (سیمای منابع آب استان قم، ۱۳۹۵). از اینرو اتخاذ سیاست‌های مدیریت منابع محدود

آبی در راستای کاهش میزان بهره‌برداری و جبران کسری آبخوان‌ها، افزایش بهره‌وری و تولید اقتصادی و در نهایت کاهش فاصله میان نرخ بهره‌برداری و نرخ تجدید آبخوان‌ها ضروری است. از طرفی بر اساس ابلاغیه مصوبات پانزدهمین جلسه شورای عالی آب وزارت نیرو مبنی بر اجرای طرح احیاء و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی، میزان آب قابل برنامه‌ریزی بخش کشاورزی برای محدوده‌های مطالعاتی کشور تعیین و به‌منظور توزیع آن دستورالعمل شماره سه طرح احیاء و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۴ ابلاغ شد. هدف کمی مورد نظر به‌نحوی است که بایستی کسری مخزن متوسط درازمدت آبخوان‌ها تا پایان برنامه ششم توسعه و کسری تجمعی مخزن طی یک دوره بیست ساله جبران گردد. بر این اساس مطالعه حاضر در نظر دارد که الگوی کشت محدوده مطالعاتی قم- کهک را بگونه‌ای بهینه نماید که کاهش تخصیص آب زیرزمینی به بخش کشاورزی در یک بازه زمانی ۵ ساله برای رسیدن به آب قابل برنامه‌ریزی کشاورزی (منابع آب زیرزمینی) ابلاغی وزارت نیرو در سطح آبخوان محدوده مطالعاتی و جبران کسری تجمعی دراز مدت آبخوان در افق برنامه ریزی ۲۰ ساله، محقق گردد. در این راستا ارتباط بین مدل ریاضی بهینه‌سازی الگوی کشت و بیلان آب حوضه‌های آبریز و با در نظر گرفتن سناریوهای تغییر اقلیمی احتمالی در دوره‌های آتی، به‌منظور بررسی بهتر تاثیر نتایج، مورد توجه قرار گرفته است. قابل ذکر است که تا کنون در دشت قم-کهک پژوهشی در رابطه با مطالعه حاضر صورت نگرفته است، و برای اولین بار، به بررسی الگوی بهینه کشت محصولات اراضی با تأکید بر مسئله پایداری و پویایی منابع آب زیرزمینی پرداخته شده است.

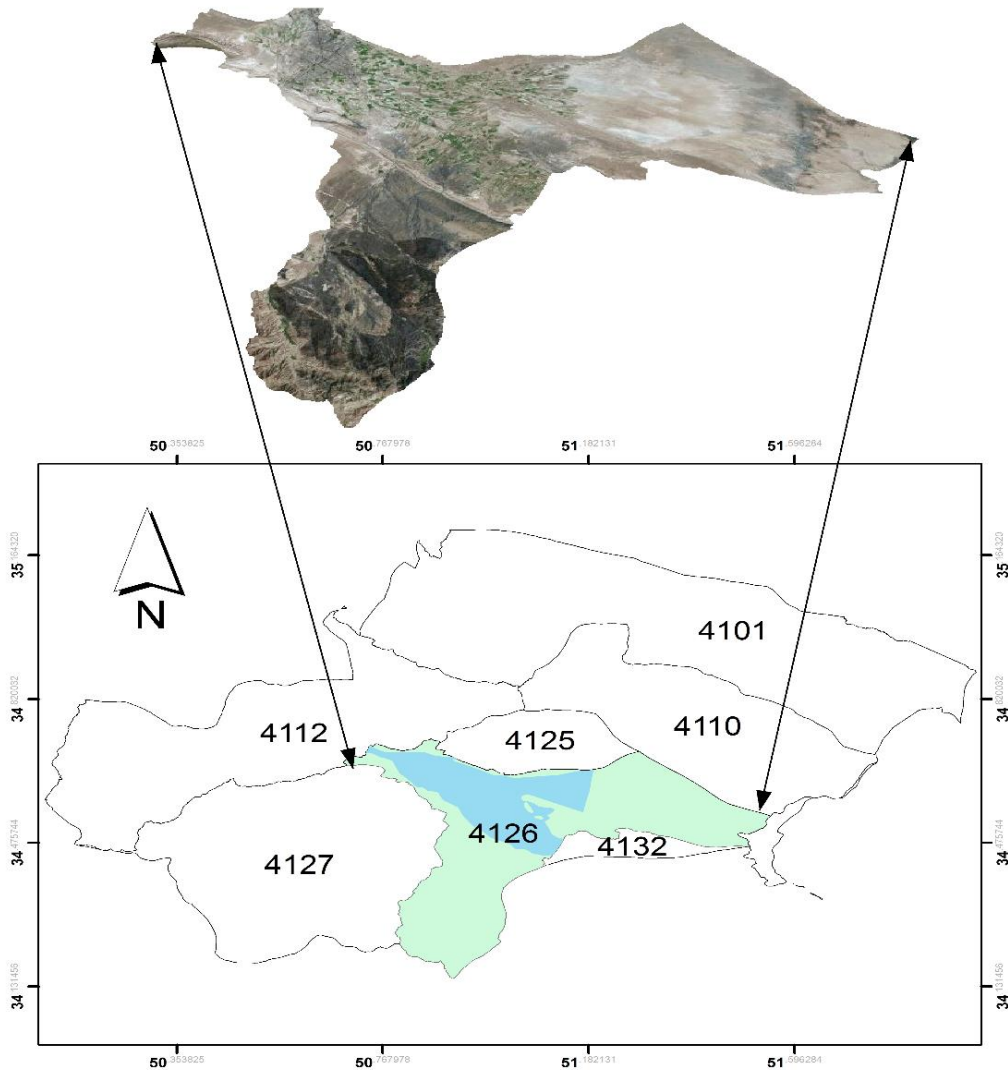
#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه و اطلاعات مورد استفاده

محدوده مطالعاتی قم با کد ۴۱۲۶ با وسعتی معادل

یک افق ۲۰ ساله بگونه‌ای صورت خواهد گرفت که در یک دوره ۵ ساله، مصرف کنونی آب چاه‌های کشاورزی محدوده مطالعاتی (حدود ۱۷۸ میلیون مترمکعب) به میزان آب قابل برنامه‌ریزی (۱۰۱ میلیون مترمکعب) کاهش و کسری تجمعی دراز مدت آبخوان از دوره اول ممنوعیت (سال آبی ۶۹-۱۳۶۸) تا سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ محدوده مطالعاتی (۵۳۶ میلیون مترمکعب) در ۱۵ سال بعدی جبران گردد. بر این اساس سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ به عنوان سال پایه و سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ الی ۱۷-۱۴۱۶ به عنوان دوره افق برنامه‌ریزی در نظر گرفته شد.

۱۸۴۳ کیلومتر مربع مساحت، بین مختصات *UTM*، ۳۸۴۴۰۰۰ و ۳۷۷۹۰۰۰ عرض و ۴۵۵۰۰۰ و ۴۷۳۰۰۰ طول در زون ۳۹ شمالی واقع گردیده و از شمال به محدوده‌های مطالعاتی شریف‌آباد (کد ۴۱۲۵) و علی‌آباد (کد ۴۱۱۲)، از غرب به محدوده مطالعاتی سلفچگان (کد ۴۱۲۷)، از جنوب به محدوده مطالعاتی کاشان (کد ۴۱۳۲) و از شرق به محدوده‌های مطالعاتی مسیله (کد ۴۱۱۰) و دریاچه نمک (کد ۴۱۰۱) محدود می‌گردد (شکل ۱). این محدوده مطالعاتی با وسعت ۱۸۴۱ کیلومترمربع، بزرگترین محدوده مطالعاتی استان قم می‌باشد که شامل دشت قم و ارتفاعات کهک است. در مطالعه حاضر تدوین الگوی بهینه کشت در



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی قم-کهک نسبت به سایر محدوده‌های مطالعاتی استان قم و وضعیت کاربری آن

تعداد ۱۵۸۲ دامداری سنتی در روستاهای محدوده مطالعاتی وجود دارد که شامل ۱۰۰۷۴۵ راس دام سبک و ۱۱۵۱۰ راس دام سنگین است. در این مطالعه از ضرایب ۰/۷۵ و ۵/۳۷۵ به ترتیب برای تبدیل تعداد راس‌های دام سبک و سنگین محدوده به واحد دامی<sup>۱</sup> بهره گرفته شد که بر این اساس تعداد دام‌های سبک و سنگین محدوده مطالعاتی به ترتیب معادل ۷۵۵۵۹ و ۶۱۸۶۶ واحد دامی برآورد می‌شود. ضرایب تبدیل محصولات به مقدار غذای قابل هضم در جدول ۲ ارائه شده است (باولی و همکاران، ۱۳۹۴). برای تدوین الگوی بهینه کشت زراعی محدوده مطالعاتی تلاش می‌گردد حتی الامکان تعدیل و تغییرات الگوی کشت فعلی به گونه‌ای صورت گیرد که علاوه بر تأمین سایر محدودیت‌های فنی، تأمین نیاز غذایی دام منطقه نیز بعنوان یک محدودیت در مدل‌سازی وارد گردد.

اطلاعات ترکیب الگوی کشت محصولات عمده زراعی و باغی سه مرکز خدماتی حومه، قنوات و کهنک که در محدوده مطالعاتی قم-کهنک هستند، برای سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۶-۱۳۹۵ از سازمان جهاد کشاورزی استان قم دریافت و مساحت متوسط این دو سال به عنوان ترکیب الگوی کشت فعلی محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شد. آمار و اطلاعات ضرایب فنی تولید محصولات زراعی منطقه با تکمیل پرسشنامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان، مکاتبات اداری با سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه استان قم جمع‌آوری گردید (جدول ۱). به منظور انعطاف‌پذیری فضای جستجوی مدل تصمیم‌گیری در پیشنهاد محصولات زراعی، علاوه بر محصولات زراعی موجود، چهار محصول کینوا، زیره، کنجد و چغندر علوفه‌ای پاییزه نیز مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس اطلاعات بدست آمده از جهاد کشاورزی استان قم،

جدول ۱. ضرایب فنی تولید محصولات زراعی\*

ردیف	نام محصول	(حسب ده هزار ریال بر کیلوگرم)	قیمت محصول	عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)	درآمد ناخالص محصول (ده هزار ریال در هکتار)	هزینه‌های سرمایه‌گذاری جاری محصول (ده هزار ریال در هکتار)	بازده برنامه‌ای هر محصول (ده هزار ریال در هکتار)	(متر مکعب در هکتار)	نیاز خالص آبی محصول	(نفر روز کار در هکتار)	نیروی کار مورد نیاز محصول (ساعت در هکتار)	ساعت کار ماشین آلات مورد نیاز محصول (لیتر در هکتار)	سموم مورد نیاز محصول (کیلوگرم)	کودهای شیمیایی مورد نیاز محصول (کیلوگرم)
۱	جو	۱/۰۳	۳۸۰۰	۴۷۹۶	۱۴۷۷	۳۳۱۹	۱۰/۶	۱۱۵۰	۱۲/۳	۶/۶	۲/۱	۲۵۰	۲۵۰	
۲	یونجه	۱	۱۰۴۳۳	۱۰۴۳۳	۳۲۸۲/۲	۷۱۵۱	۱۹/۸	۹۲۵۰	۲۰/۱	۲۳/۲	۳/۵	۳۵۰/۰	۳۵۰/۰	
۳	گندم	۱/۳۵	۴۲۶۷	۶۷۵۰	۱۸۷۷/۹	۴۸۷۲	۱۲/۳	۲۰۱۰	۲۰/۱	۷/۳	۲/۶	۴۰۰/۰	۴۰۰/۰	
۴	ذرت	۰/۲۵	۳۷۹۰۰	۹۴۷۵	۲۵۷۳/۱	۶۹۰۲	۱۶/۳	۷۴۸۰	۲۰/۱	۱۲/۶	۳/۵	۵۰۰/۰	۵۰۰/۰	
۵	سبزیجا	۰/۷	۲۷۸۰۰	۱۹۴۶۰	۹۰۹۴/۷	۱۰۳۶۵	۴۹	۴۸۸۰	۲۰/۱	۱۱/۵	۲/۵	۴۰۰/۰	۴۰۰/۰	
۶	کلزا	۲/۹	۱۹۶۷	۶۳۳۳	۱۸۰۸/۰۹	۴۵۲۵	۱۱/۴	۲۶۱۰	۲۰/۱	۷/۶	۲/۷	۳۵۰/۰	۳۵۰/۰	
۷	هندوانه	۰/۴۵	۳۳۰۰۰	۱۴۸۵۰	۵۴۲۳/۲	۹۴۲۷	۳۲/۷	۷۱۵۰	۲۰/۱	۱۲/۳	۳/۷	۴۵۰/۰	۴۵۰/۰	
۸	خریزه	۰/۷۵	۱۷۵۰۰	۱۳۱۲۵	۳۸۳۸/۵۳	۹۲۸۶	۳۰/۴	۶۳۵۰	۲۰/۱	۱۲/۱	۳/۶	۴۰۰/۰	۴۰۰/۰	
۹	پنبه	۳/۰۵	۲۴۵۰	۷۴۷۳	۲۵۲۹/۵	۴۹۴۳	۲۶/۲	۹۲۸۰	۲۶/۲	۷/۳	۳/۹۵	۳۵۰/۰	۳۵۰/۰	

<sup>۱</sup> واحد دامی معیاری برای شمارش تعداد دام‌های یک کشور که در کشورهای مختلف براساس یک گاو بالغ یا یک اسب یا پنج گوسفند یا دو گوساله یک‌ساله بوده و به منظور بیان انواع و سنین مختلف دامی و مقایسه و تبدیل آن در یک شکل واحد پدید آمده است.

ردیف	نام محصول	(حسب ده هزار ریال بر کیلوگرم)	قیمت محصول	عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)	درآمد ناخالص محصول (ده هزار ریال در هکتار)	هزینه های سرمایه گذاری جاری محصول (ده هزار ریال در هکتار)	بازده بر نامه ای هر محصول (ده هزار ریال در هکتار)	(متر مکعب در هکتار)	نیاز خالص آبی محصول (متر مکعب در هکتار)	نیروی کار مورد نیاز محصول (نفر روز کار در هکتار)	ساعت کار ماشین آلات مورد نیاز محصول (ساعت در هکتار)	سموم مورد نیاز محصول (لیتر در هکتار)	کودهای شیمیایی مورد نیاز محصول (کیلوگرم)
۱۰	چغندر	۰/۳	۴۷۶۵۰	۱۴۲۹۵	۴۶۱۸/۲۶	۹۶۷۷	۹۲۹۰	۳۱	۱۷/۶	۳/۹	۴۵۰/۰		
۱۱	طالبی	۰/۵۵	۲۶۵۰۰	۱۴۵۷۵	۴۹۰۶/۲۳	۹۶۶۹	۶۳۵۰	۲۶/۱	۱۰/۷	۳/۳	۴۰۰/۰		
۱۲	آفتابگردا	۳/۸	۱۸۷۵	۷۱۲۵	۲۸۶۶/۶۳	۴۲۵۸	۷۵۰۰	۳۱/۳	۷/۶	۱/۸	۳۰۰/۰		
۱۳	ارزن	۳/۲	۱۸۵۰	۶۲۱۶	۱۳۳۷/۶۴	۴۸۷۸	۳۸۰۰	۹/۲	۵/۶	۱/۵	۲۲۵/۰		
۱۴	کینوا	۳/۸	۲۲۰۰	۸۸۰۰	۲۴۹۴/۸۲	۶۳۰۵	۱۸۹۵/۵	۱۳/۲	۸/۳	۲/۸	۳۰۰/۰		
۱۵	زیره	۶/۵	۱۰۰۰	۶۵۰۰	۲۰۸۷/۲	۴۴۱۳	۱۹۹۲/۶	۱۵/۵	۶/۲	۲	۱۵۰/۰		
۱۶	کنجد	۸/۵	۷۰۰	۵۹۵۰	۱۶۴۵/۹	۴۳۰۴	۴۱۹۰/۲	۱۸	۵/۹	۲	۱۵۰/۰		
۱۷	چغندر	۰/۳	۳۹۷۰۸	۱۱۹۱۳	۴۵۹۱/۵	۷۳۲۱	۳۴۴۰	۲۸/۳	۱۶	۳/۲	۴۵۰/۰		

جدول ۲. ضریب تبدیل محصولات به مقدار غذای قابل هضم (TDN)

محصولات	ضریب TDN
کاه گندم، جو	۰/۴۵
سیوس گندم	۰/۶۳
چغندر قند علوفه ای	۰/۸۱
یونجه	۰/۵۲
ذرت علوفه ای	۰/۲۱
جو	۰/۷۴

### بیان آبخوان محدوده مطالعاتی

برای دستیابی به مهمترین هدف مطالعه که پایداری و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعه است، قبل از هر چیز لازم است ضرایب، پارامترها و سهم عوامل بیلان و بخصوص حجم آب قابل تخصیص سالانه به بخش زراعی تعیین و بر اساس آن به پیشنهاد الگوهای زراعی بهینه پرداخت. بر این اساس ضروری است که ضرایب معادله بیلان از جمله ضریب نفوذپذیری مستقیم بارندگی و جریانات سطحی، ضریب بازگشت حجم مصارف آب کشاورزی، شرب و صنعت منطقه و غیره واسنجی شوند. سپس از این ضرایب جهت تدوین بیلان

آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی و تعیین حجم آب قابل تخصیص سالانه به بخش زراعی و در نهایت پیشنهاد الگوی بهینه کشت متناسب با حجم مذکور در افق برنامه ریزی بهره گرفت. برای بررسی تغییرات ذخیره حجم آبخوان و نقش عوامل ورودی و خروجی، می توان از معادله پیوستگی بیلان آب زیرزمینی بهره گرفت. که در مقیاس زمانی سالانه بصورت روابط (۱) تا (۱۴) ارائه شده است:

$$\Delta G = \text{inflow} - \text{outflow} \quad (1)$$

$$\text{inflow} = I + q_{in} \quad (2)$$

$$\text{outflow} = C + q_{out} \quad (3)$$

در سند ملی آب (مترمکعب در هکتار)،  $A_i$  سطح زیرکشت محصول  $I_m$  (هکتار)،  $E_f$  راندمان آبیاری،  $AG$  کل حجم ناخالص آبیاری مورد نیاز محدوده،  $C_{agg}$  کل مصرف کشاورزی از منابع آب زیرزمینی،  $C_{ags}$  کل مصرف کشاورزی از منابع آب سطحی،  $\alpha_1$  تا  $\alpha_6$  و  $\beta$  ضرایب معادله بیلان بوده که راه واسنجی تعیین می‌شوند. متوسط راندمان آبیاری کشاورزی در وضعیت فعلی منطقه با توجه به کل مقدار تخلیه کشاورزی صورت گرفته از چاه‌های کشاورزی، چشمه و قنات و مصارف آب سطحی، کل نیاز خالص الگوی کشت زراعی و باغی محدوده و همچنین نظرات کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای حدود ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است. از اطلاعات مربوط به مصارف مختلف آب زیرزمینی در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۵-۱۳۹۴ و همچنین نتایج مطالعات پیشین آب منطقه‌ای در تعیین و واسنجی ضرایب و پارامترهای بیلان استفاده می‌شود. تغییرات ذخیره حجم آبخوان بر اساس م رابطه (۱۵) برآورد گردیده است (صداقت، ۱۳۸۵):

$$\Delta G = S_s \times \Delta h \times A \quad (15)$$

که در آن  $\Delta h$  متوسط تغییرات تراز سطح آبخوان (بر حسب متر)،  $S_s$  و  $A$  به ترتیب متوسط آبدی ویژه و مساحت آبخوان است که بر اساس مطالعات بهنگام سازی بیلان و ممنوعیت دشت قم به ترتیب ۰/۰۴ و ۴۷۸/۰۴ کیلومتر مربع می‌باشد (مطالعات بهنگام سازی بیلان، ۱۳۹۲). لازم به ذکر است که به منظور واسنجی ضرایب معادله پیوستگی بیلان از معیار حداقل کردن خطای تغییرات حجم آبخوان محاسباتی از معادله بیلان و مقادیر مشاهداتی حاصل از هیدروگراف واحد آبخوان محدوده استفاده شده است. با توجه به حجم کسری مخزن منطقه (۵۳۶ میلیون مترمکعب) و اینکه پیشنهاد عدم کشت بعضی از محصولات باغی پرمصرف آب با مخالفت‌های

$$C = C_{agg} + C_{ags} + C_d + C_{in} + E_g \quad (4)$$

$$I = I_p + I_{rs} + I_{agg} + I_{ags} + I_d + I_{in} \quad (5)$$

$$AG = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \times A_i}{E_f} \quad (6)$$

$$C_{agg} = AG - C_{ags} \quad (7)$$

$$Q = \beta \times P \quad (8)$$

$$I_p = \alpha_1 \times P \quad (9)$$

$$I_{rs} = \alpha_2 \times Q \quad (10)$$

$$I_{agg} = \alpha_3 \times C_{agg} \quad (11)$$

$$I_{ags} = \alpha_4 \times C_{ags} \quad (12)$$

$$I_d = \alpha_5 \times C_d \quad (13)$$

$$I_{in} = \alpha_6 \times C_{in} \quad (14)$$

در این روابط  $\Delta G$  تغییرات ذخیره آب زیرزمینی (تغییرات حجم آبخوان)،  $I$  میزان کل تغذیه که شامل  $I_p$  تغذیه مستقیم ناشی از بارش،  $I_{rs}$  تغذیه ناشی از جریانات سطحی و بستر رودخانه‌ها،  $I_{agg}$  و  $I_{ags}$  تغذیه ناشی از جریان بازگشتی مصارف آب کشاورزی به ترتیب از منابع زیرزمینی و سطحی،  $I_d$  و  $I_{in}$  به ترتیب تغذیه ناشی از جریان بازگشتی مصارف آب شرب و صنعت،  $C$  کل مصارف آب زیرزمینی که شامل  $C_{agg}$  مصارف کشاورزی از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق،  $C_{ags}$  مصارف کشاورزی از چشمه و قنات،  $C_d$  و  $C_{in}$  به ترتیب مصارف شرب و صنعت از منابع آب زیرزمینی،  $q_{in}$  و  $q_{out}$  به ترتیب آب زیرزمینی ورودی و خروجی به محدوده آبخوان دشت،  $E_g$  تبخیر از سطح آب زیرزمینی<sup>۱</sup>،  $Q$  رواناب ناشی از بارندگی، تعداد محصولات زراعی و باغی موجود در محدوده مطالعاتی،  $V_i$  نیاز خالص آبی سالانه محصول  $I_m$

<sup>۱</sup> با توجه به عمق سطح ایستابی منطقه که بیش از ۵ متر است، تبخیر از سطح سفره صفر در نظر گرفته می‌شود.

جفت شده جوی - اقیانوسی است که در مرکز تحقیقاتی HCCPRS5 در انگلیس اجرا شده و این مدل دارای شبکه ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی می‌باشد. مدل BCM2 نیز توسط مرکز تحقیقات اقلیمی دانشگاه برگن نروژ<sup>۱</sup> به وجود آمده و به نام مدل اقلیمی برگن شهرت یافت. تفکیک اقیانوسی - جوی این مدل ۱/۹×۱/۹ درجه است. بطور کلی با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و همچنین مبتنی بر نتایج مطالعه بیات ورکشی و فصیحی (۱۳۹۷)، از بین سه سناریو A1B، A2 و B1 مدل اقلیمی HADCM3 و دو سناریو A1B و B1 مدل اقلیمی BCM2 خروجی سناریو A2 مدل اقلیمی HADCM3 برای استان قم سازگارتر و منطقی‌تر می‌باشد. بنابراین از مولفه بارندگی این سناریو در بیلان آبخوان استفاده و جهت واسنجی، تعیین مولفه‌های مدل بیلان و آب تخصیص یافته به بخش زراعی از ابزار Solver محیط Excel 2016 استفاده شده است.

### رویکرد بهینه سازی

هدف‌های رقیب و متضاد در راستای نیل به توسعه پایدار کشاورزی شامل بهبود منافع اقتصادی - اجتماعی (افزایش و یا تثبیت درآمد خالص کشاورزان و اشتغال نیروی کار کشاورزی) و زیست‌محیطی (کاهش مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی) می‌باشند. برای این منظور از الگوهای برنامه‌ریزی چندهدفه<sup>۲</sup> استفاده می‌شود که یکی از روش‌های حل آن برنامه‌ریزی آرمانی<sup>۳</sup> است. در مطالعه حاضر از الگوهای برنامه‌ریزی آرمانی و برای انعطاف‌پذیری بیشتر مدل از الگوی برنامه‌ریزی آرمانی فازی<sup>۴</sup> جهت دستیابی همزمان به اهداف چندگانه و

جدی در منطقه روبه‌روست، به نظر می‌رسد تنها راه به تعادل رساندن بیلان بدون آسیب به درآمد و اشتغال کشاورزان محدوده در یک افق زمانی بیست ساله، افزایش راندمان آبیاری در بخش باغی و زراعی بعلاوه اصلاح و تعدیل الگوی کشت در بخش زراعی است. برای این منظور لازم است ابتدا معادلات بیلان را بصورت پویا در نظر گرفته و برای تخمین تغذیه آبخوان، حجم بارش بیست سال آینده را پیش‌بینی کرد. سپس با توجه به کاهش سالانه هدف‌گذاری شده برای تعادل بخشی بیلان، مقادیر آب تخصیص یافته به بخش زراعی تعیین می‌شود. در ادامه از مقادیر آب اختصاص یافته به بخش زراعی برای پیشنهاد الگوهای بهینه کشت سالانه در افق برنامه‌ریزی با حداقل تغییرات و تعدیل الگوی فعلی محدوده استفاده شد. الگوهای کشت پیشنهادی در پنج سال اول دوره برنامه‌ریزی با هدف دستیابی به مقادیر آب قابل برنامه‌ریزی ابلغی وزارت نیرو و پانزده سال باقی مانده با هدف جبران کسری درازمدت آبخوان محدوده و تاکید بر شاخص‌های پایداری کشاورزی تدوین خواهند شد. راندمان فعلی محدوده مطالعاتی ۵۰ درصد است که انتظار می‌رود در انتهای افق برنامه‌ریزی به دلیل اجرا شدن سیستم‌های نوین آبیاری و مدیریت صحیح بهره‌برداری از این سیستم‌ها و همچنین کنترل ساعت کارکرد آن‌ها توسط شرکت آب منطقه‌ای به ۷۵ درصد بهبود پیدا کند.

### مدل گردش عمومی جو- اقیانوس

به منظور تعیین و شبیه‌سازی مولفه‌های اقلیمی منطقه و اعمال اثرات آن‌ها در برنامه‌ریزی و تدوین الگوی کشت منطقه دوره‌های آتی، از خروجی سه سناریو A1B، A2 و B1 مدل اقلیمی HADCM3 و دو سناریو A1B و B1 مدل اقلیمی BCM2 با استفاده از مدل ریزمقیاس نمای LARS-WG به عنوان یکی از مشهورترین مولدهای داده های تصادفی هواشناسی، بهره گرفته شده است. لازم به ذکر است که مدل گردش عمومی HADCM3 یک مدل

<sup>1</sup> Berknes Centre for Climate Research (BCCR), University of Bergen, Norway

<sup>2</sup> Multi objective programming

<sup>3</sup> Goal programming

<sup>4</sup> Fuzzy goal programming



$$0.81 \times \left( RAX_{10} \sum_{z=1}^3 x_{10z} + RAX_{17} \sum_{z=1}^3 x_{17z} \right) \geq TDN_3, \quad (30)$$

$$0.45 \times 0.8 \times \left( RAX_1 \sum_{z=1}^3 x_{1z} + RAX_3 \sum_{z=1}^3 x_{3z} \right) \geq TDN_4, \quad (31)$$

$$0.74 \times RAX_1 \sum_{z=1}^3 x_{1z} \geq TDN_5, \quad (32)$$

$$0.63 \times 0.15 \times RAX_3 \sum_{z=1}^3 x_{3z} \geq TDN_6, \quad (33)$$

$$x_{cz} \geq 0, \quad \forall c, z, \quad z=1,2,3, \quad c=1,2,\dots,17 \quad (34)$$

در روابط فوق،  $C$  اندیس مربوط به محصولات زراعی مختلف است که به ترتیب شامل محصولات جو ( $C=1$ )، یونجه، گندم، ذرت علوفه‌ای، سبزیجات برگی، کلزا، هندوانه، خربزه، پنبه، چغندر علوفه‌ای بهاره، طالبی، آفتابگردان، ارزن، کینوا، زیره، کنجد و چغندر علوفه‌ای پاییزه ( $C=17$ )،  $z$  اندیس مربوط به مرکز بخش کشاورزی واقع در محدوده مطالعاتی که به ترتیب شامل مرکز قنوت، حومه و کهنک و اندیس مربوط به ماه‌های سال است. همچنین  $x_c$  سطح زیرکشت محصول  $c$ ،  $W_{ci}$  کل نیاز خالص آبی محصول  $c$  در ماه  $i$ ،  $GM_c$  بازده برنامه‌ای،  $FE_c$  کودهای شیمیایی،  $SE_c$  سموم شیمیایی،  $L_c$  نیروی کار،  $ME_c$  ساعت کار ماشینی،  $C_c$  هزینه‌های جاری مورد نیاز در هر هکتار،  $RA_c$  عملکرد محصول  $c$ ، و  $AW_{iz}$  کل آب در دسترس ماه  $i$  در منطقه  $z$  است. همچنین  $TXP_z$ ، کل زمین،  $TMEP_z$ ، کل ساعت کار ماشینی و  $TCP_z$ ، کل سرمایه در دسترس در منطقه  $z$  است که به دلیل موجود نبودن آمار و اطلاعات، از حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی کالیبره محاسبه شده است.  $TDN_1$  تا  $TDN_6$  کل نیازهای علوفه‌ای و تغذیه‌ای دام‌های سبک و سنگین محدوده مطالعاتی به ترتیب از محصولات یونجه، ذرت علوفه‌ای، چغندر علوفه‌ای، کاه گندم و جو، جو و سبوس گندم بر حسب تن- $TDN$

پیشنهاد الگوی بهینه کشت محصولات زراعی استفاده خواهد شد. در مطالعات مختلف به دفعات تئوری الگوی برنامه‌ریزی آرمانی فازی اشاره شده است، لذا برای درک بهتر محدودیت‌ها و آرمان‌های در نظر گرفته شده تنها به الگوی تجربی برنامه‌ریزی آرمانی فازی اشاره خواهد شد که بصورت روابط زیر است:

$$MinZ = \sum_{i=1}^4 w_i d_i^- \quad (16)$$

$$s.t:$$

$$\frac{\sum_{z=1}^3 \sum_{c=1}^{17} GM_c x_{cz} - L_{GM}}{G_{GM} - L_{GM}} + d_1^- - d_1^+ = 1 \quad (17)$$

$$\frac{\sum_{z=1}^3 \sum_{c=1}^{17} L_c x_{cz} - L_L}{G_L - L_L} + d_2^- - d_2^+ = 1 \quad (18)$$

$$\frac{U_{FE} - \sum_{z=1}^3 \sum_{c=1}^{17} FE_c x_{cz}}{U_{FE} - G_{FE}} + d_3^- - d_3^+ = 1 \quad (19)$$

$$\frac{U_{SE} - \sum_{z=1}^3 \sum_{c=1}^{17} SE_c x_{cz}}{U_{SE} - G_{SE}} + d_4^- - d_4^+ = 1 \quad (20)$$

$$\sum_{c=1}^{17} x_{cz} = TXP_z, \quad \forall z, \quad z=1,2,3 \quad (21)$$

$$MIN x_{cz} \leq x_{cz} \leq MAX x_{cz}, \quad \forall c, z, \quad z=1,2,3, \quad c=1,2,\dots,17 \quad (22)$$

$$\sum_{c=1}^{17} ME_c x_{cz} \leq TMEP_z, \quad \forall z, \quad z=1,2,3 \quad (23)$$

$$\sum_{c=1}^{17} C_c x_{cz} \leq TCP_z, \quad \forall z, \quad z=1,2,3 \quad (24)$$

$$\sum_{c=1}^{17} GM_c x_{cz} \geq TGMP_z, \quad \forall z, \quad z=1,2,3 \quad (25)$$

$$\sum_{c=1}^{17} \frac{W_{ci}}{eff} x_{cz} \leq AW_{iz}, \quad \forall z, i, \quad z=1,2,3, \quad i=1,2,\dots,12 \quad (26)$$

$$\sum_{z=1}^3 \sum_{i=1}^{12} \sum_{c=1}^{17} \frac{W_{ci}}{eff} x_{cz} \leq WB, \quad (27)$$

$$0.52 \times RAX_2 \sum_{z=1}^3 x_{2z} \geq TDN_1, \quad (28)$$

$$0.21 \times RAX_4 \sum_{z=1}^3 x_{4z} \geq TDN_2, \quad (29)$$

مولفه‌های بیلان و انجام تجزیه و تحلیل نتایج استفاده شده است.

### نتایج و بحث

جدول ۳ بیان‌گر ضرایب واسنجی شده معادله پیوستگی بیلان است. بر اساس همین ضرایب مولفه‌های بیلان آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی تعیین گردیده که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به اینکه میزان خطای تغییرات حجم آبخوان برآورد شده از معادله بیلان و مقادیر مشاهداتی مبتنی بر هیدروگراف واحد آبخوان ناچیز است (۱/۷۴ میلیون مترمکعب) لذا در ادامه با فرض ثابت بودن ضرایب واسنجی شده در افق برنامه‌ریزی، از این ضرایب جهت بررسی تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی بر اساس شرایط اقلیمی حاکم بر محدوده مطالعاتی و پیشنهاد الگوهای کشت زراعی بهره گرفته شده است. همچنین مقادیر نفوذ از مصرف آب شرب و صنعت، جریان ورودی زیرزمینی به آبخوان و مصرف آب سطحی، چشمه و قنات برای کشاورزی در افق برنامه‌ریزی ثابت فرض گردید. سایر مولفه‌های بیلان از قبیل نفوذ از بارندگی و بستر رودخانه و مصارف کشاورزی متغیر هستند. ابتدا بر اساس خروجی سناریو A2 مدل اقلیمی HADCM3 حجم بارندگی در طی افق برنامه‌ریزی پیش‌بینی و سپس مولفه‌های نفوذ از بارندگی و بستر رودخانه تعیین و در مدل بیلان آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین ضریب نفوذ مصرف آب زیرزمینی کشاورزی متغیر فرض شده و متناسب با افزایش راندمان آبیاری در طول افق برنامه‌ریزی، روندی کاهشی خواهد داشت.

حجم آب قابل تخصیص کشاورزی به تفکیک و درصد کاهش آن در افق برنامه‌ریزی در جدول ۵ ارائه شده است. حجم آب مصرفی از منابع سطحی و زیرزمینی الگوی کشت فعلی محدوده ۲۹۵ میلیون مترمکعب است که ۲۵۱ میلیون مترمکعب آن از منابع آب زیرزمینی (۱۷۸

می‌باشد.  $d_i^+$  و  $d_i^-$  متغیرهای انحرافی مثبت و منفی در الگوی برنامه‌ریزی آرمانی فازی است. در الگوی تجربی فوق، رابطه (۱۶) بیانگر تابع هدف مدل است که تابعی خطی از متغیرهای انحرافی موزون است و وزن‌های در نظر گرفته شده بیانگر اولویت دستیابی به اهداف مورد نظر می‌باشد. روابط (۱۷) تا (۲۰) به ترتیب مربوط به محدودیت‌های آرمانی افزایش بازده برنامه‌ای و اشتغال نیروی کار و کاهش مصرف کودها و سموم شیمیایی است. رابطه (۲۱) محدودیت زمین است و نشان می‌دهد مجموع سطوح زیر کشت الگوهای پیشنهادی هر منطقه بایستی مساوی کل سطح زیرکشت فعلی آن منطقه باشد و زمین بلااستفاده‌ای باقی نماند. رابطه (۲۲) محدودیت مربوط به حداقل و حداکثر سطح زیرکشت محصولات در مناطق مختلف است که سعی شده تا حد امکان با کمترین تغییرات ممکن نسبت به سال ماقبل همراه باشد. روابط (۲۳) تا (۲۵) به ترتیب مربوط به محدودیت‌های ساعت کار ماشینی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری جاری و بازده برنامه‌ای است. به این معنی است که کل ساعت کار ماشینی و سرمایه مورد نیاز الگوی پیشنهادی کمتر و کل بازده برنامه‌ای بیشتر از مقادیر موجود در هر منطقه باشد و حداقل درآمد فعلی کشاورزان هر منطقه حفظ شود. رابطه (۲۶) مربوط به محدودیت آب در دسترس ماهانه در هر سه منطقه است و در ماه‌های مختلف بایستی کل آب مصرفی الگوی کشت پیشنهادی از وضعیت موجود هر منطقه بیشتر شود. رابطه (۲۷) مربوط به محدودیت کل آب مصرفی زراعی است و مجموع آب مصرفی محصولات زراعی در ماه‌های مختلف کل محدوده قم- کهک بایستی برابر آب هدف‌گذاری شده برای تعادل بخشی بیلان باشد. لازم به ذکر است که راندمان آبیاری محدوده حدود ۵۰/۲ درصد است که سالانه حدود ۱/۵ درصد افزایش در نظر گرفته می‌شود. در مطالعه حاضر از مدل *Lingo* جهت تدوین مدل برنامه ریزی ریاضی و از نرم افزار Excel 2016 جهت برآورد

جهت دستیابی به اهداف آب قابل برنامه‌ریزی (انتهای سال پنجم) و جبران کسری درازمدت آبخوان (انتهای سال بیستم)، بایستی حجم آب مصرفی الگوی کشت فعلی بخش کشاورزی از ۲۹۵ به ترتیب به ۲۱۸ و ۱۶۵ میلیون مترمکعب کاهش یابد. همچنین حجم آب مصرفی بخش زراعی و باغی در شرایط فعلی به ترتیب ۱۳۳/۶ و ۱۶۱/۴ میلیون مترمکعب است که بایستی در انتهای سال پنجم به ۷۴/۳ و ۱۴۴ و در انتهای دوره به ۴۸/۵ و ۱۱۶/۴ میلیون مترمکعب کاهش یابد.

از چاه عمیق و نیمه‌عمیق و ۷۳ از چشمه و قنات) و ۴۴ میلیون مترمکعب از منابع آب سطحی تامین می‌گردد. برای کاهش برداشت منابع آب زیرزمینی (چاه‌های کشاورزی) از ۱۷۸ به ۱۰۱ میلیون مترمکعب آب قابل برنامه‌ریزی ابلاغی وزارت نیرو، لازم است که مقدار برداشت از چاه‌های کشاورزی در انتهای سال پنجم حدود ۴۳ درصد نسبت به سال پایه کاهش داشته باشد. مشاهده می‌شود که یکی از اهداف مهم مطالعه که دستیابی به این حجم برداشت از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق (آب قابل برنامه‌ریزی) در انتهای سال پنجم است، محقق شده است.

جدول ۳. ضرایب معادله پیوستگی بیان محدوده قم- کهنک

$\alpha_6$	$\alpha_5$	$\alpha_4$	$\alpha_3$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\beta$
ضریب نفوذ از مصرف آب صنعت	ضریب نفوذ از مصرف آب شرب	ضریب نفوذ از مصرف سطحی برای کشاورزی	ضریب نفوذ از مصرف زیرزمینی برای کشاورزی	ضریب نفوذ از بستر رودخانه	ضریب نفوذ مستقیم از بارندگی	ضریب رواناب
۰/۳۵	۰/۷۵	۰/۳۶۵	۰/۳۶۵	۰/۱۳	۰/۱۰۶	۰/۰۷

جدول ۴. مولفه‌های بیان آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی در دوره پایه (میلیون مترمکعب)

تغییرات حجم آبخوان	مولفه‌های تخلیه	مولفه‌های تغذیه
هیدروگراف واحد	چاه	جریان زیرزمینی ورودی
معادله پیوستگی بیان	تبخیر از آبخوان	شرب و صنعت
مجموع تخلیه	زهکشی	آب مصرفی کشاورزی
جریان زیرزمینی خروجی	چشمه و قنات	بارندگی و جریانات سطحی
۰	۲۲/۲	۱۳/۵۷
۰	۰	۷۷/۲۴
۰	۷۲/۹۳	۱۰۷/۴۳
۰	۲۳۳/۷۲	۴۷۸/۱
۰	۵۸	
۰	۲۲/۰۸	
۰	۲۰/۳۳	
۰	۲۹۴/۰۶	

جدول ۵. حجم آب تخصیص یافته کشاورزی (میلیون مترمکعب) و درصد کاهش آن به تفکیک در افق برنامه‌ریزی

سال	زراعی		باغی		کشاورزی		کشاورزی (چشمه و قنات)		کشاورزی (عمیق و نیمه عمیق)	
	مقدار	درصد کاهش	مقدار	درصد کاهش	مقدار	درصد کاهش	مقدار	درصد کاهش	مقدار	درصد کاهش
پایه	۱۳۳/۶	۰/۰	۱۶۱/۴	۰/۰	۲۹۵	۰/۰	۲۵۱	۰/۰	۱۷۸	۰/۰
۱	۱۲۱/۶	۹	۱۵۷/۷	۲/۳	۲۷۹/۳	۵/۳	۲۳۵/۲	۶/۳	۱۶۲/۲	۸/۹
۲	۱۰۹/۸	۱۷/۹	۱۵۴	۴/۶	۲۶۳/۸	۱۰/۶	۲۱۹/۶	۱۲/۵	۱۴۶/۶	۱۷/۶
۳	۹۷/۹	۲۶/۷	۱۵۰/۴	۶/۸	۲۴۸/۴	۱۵/۸	۲۰۴/۲	۱۸/۶	۱۳۱/۲	۲۶/۳
۴	۸۶/۱	۳۵/۶	۱۴۷/۱	۸/۹	۲۳۳/۱	۲۱	۱۸۹	۲۴/۷	۱۱۶	۳۴/۸
۵	۷۴/۳	۴۴/۴	۱۴۳/۹	۱۰/۹	۲۱۸/۱	۲۶/۱	۱۷۴	۳۰/۷	۱۰۱	۴۳/۳
۶	۷۱/۹	۴۶/۲	۱۴۱/۵	۱۲/۳	۲۱۳/۵	۲۷/۶	۱۶۹/۳	۳۲/۵	۹۶/۳	۴۵/۹
۷	۷۰/۴	۴۷/۴	۱۳۹/۳	۱۳/۷	۲۰۹/۶	۲۸/۹	۱۶۵/۵	۳۴/۱	۹۲/۵	۴۸
۸	۶۸/۷	۴۸/۶	۱۳۷/۱	۱۵	۲۰۵/۹	۳۰/۲	۱۶۱/۷	۳۵/۶	۸۸/۷	۵۰/۱
۹	۶۷/۲	۴۹/۸	۱۳۵/۱	۱۶/۳	۲۰۲/۲	۳۱/۵	۱۵۸/۱	۳۷	۸۵/۱	۵۲/۲
۱۰	۶۵/۶	۵۰/۹	۱۳۳/۱	۱۷/۶	۱۹۸/۷	۳۲/۷	۱۵۴/۵	۳۸/۴	۸۱/۵	۵۴/۲
۱۱	۶۲	۵۳/۶	۱۳۱/۱	۱۸/۷	۱۹۳/۱	۳۴/۶	۱۴۸/۹	۴۰/۷	۷۵/۹	۵۷/۳
۱۲	۶۰/۳	۵۴/۹	۱۲۹/۳	۱۹/۹	۱۸۹/۶	۳۵/۷	۱۴۵/۴	۴۲/۱	۷۲/۴	۵۹/۳
۱۳	۵۸/۸	۵۶	۱۲۷/۵	۲۱	۱۸۶/۲	۳۶/۹	۱۴۲/۱	۴۳/۴	۶۹/۱	۶۱/۲
۱۴	۵۷/۲	۵۷/۲	۱۲۵/۷	۲۲/۱	۱۸۲/۹	۳۸	۱۳۸/۷	۴۴/۷	۶۵/۸	۶۳/۱
۱۵	۵۵/۶	۵۸/۴	۱۲۴	۲۳/۱	۱۷۹/۷	۳۹/۱	۱۳۵/۵	۴۶	۶۲/۵	۶۴/۹
۱۶	۵۴/۱	۵۹/۵	۱۲۲/۴	۲۴/۱	۱۷۶/۵	۴۰/۲	۱۳۲/۴	۴۷/۳	۵۹/۴	۶۶/۶
۱۷	۵۲/۵	۶۰/۷	۱۲۰/۸	۲۵/۱	۱۷۳/۳	۴۱/۳	۱۲۹/۲	۴۸/۵	۵۶/۲	۶۸/۴
۱۸	۵۱	۶۱/۹	۱۱۹/۳	۲۶/۱	۱۷۰/۳	۴۲/۳	۱۲۶/۱	۴۹/۸	۵۳/۱	۷۰/۱
۱۹	۴۹/۴	۶۳	۱۱۷/۸	۲۷	۱۶۷/۲	۴۳/۳	۱۲۳/۱	۵۱	۵۰/۱	۷۱/۹
۲۰	۴۸/۵	۶۳/۷	۱۱۶/۴	۲۷/۹	۱۶۴/۹	۴۴/۱	۱۲۰/۸	۵۱/۹	۴۷/۸	۷۳/۱

مقدار و درصد تغییرات مصرف آب کشاورزی محدوده مطالعاتی در افق برنامه‌ریزی به تفکیک منابع کاهش‌دهنده در جدول ۶ ارائه شده است. همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، در بخش باغات تنها سناریو افزایش راندمان آبیاری مطرح بوده و در بخش زراعی علاوه بر افزایش راندمان تلاش خواهد شد که الگوی بهینه کشت جایگزین الگوی کشت فعلی محصولات زراعی شود. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که در سال اول افق برنامه‌ریزی با افزایش ۱/۵ درصدی

راندمان آبیاری در بخش باغی و زراعی و همچنین اصلاح الگوی کشت محصولات زراعی، در بخش کشاورزی ۱۵/۷ میلیون مترمکعب معادل ۵/۳ درصد کاهش مصرف منابع آبی اتفاق خواهد افتاد. از این کاهش ۵/۳ درصدی مصرف، نقش بهبود راندمان باغی و زراعی به ترتیب ۱/۲ و ۱/۱ درصد، اصلاح الگوی کشت زراعی بدون تغییر راندمان آبیاری ۳ درصد و بهبود راندمان زراعی توأم با اصلاح الگوی کشت زراعی ۴/۱ درصد خواهد بود. مشاهده می‌شود که اصلاح و

کل کاهش مصرف آب در افق برنامه‌ریزی ۱۸۴۴/۴ میلیون مترمکعب معادل ۶۲۵/۱ درصد خواهد بود که ۵۵۴/۱ و ۶۳ و ۸۲۷ میلیون مترمکعب معادل ۱۸۷/۸ و ۱۵۷ درصد به ترتیب مربوط به بهبود راندمان آبیاری بخش باغی و زراعی، ۸۲۷ میلیون مترمکعب معادل ۲۸۰/۳ درصد مربوط به اصلاح الگوی کشت زراعی بدون تغییر راندمان آبیاری و ۱۲۹۰ میلیون مترمکعب معادل ۴۷۳/۳ درصد مربوط به بهبود راندمان زراعی توأم با اصلاح الگوی کشت زراعی می‌باشد. نتایج بخوبی بیانگر نقش و اهمیت اصلاح و پیشنهاد الگوی بهینه کشت محصولات زراعی در کاهش مصرف منابع محدود آبی و تعادل بخشی آبخوان محدوده مطالعاتی است. در ادامه از مقادیر آب تخصیص یافته شده به بخش زراعی به عنوان محدودیت منابع آب در تدوین مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی استفاده و تلاش خواهد شد الگوی بهینه کشت محصولات زراعی در سال‌های مختلف افق برنامه‌ریزی پیشنهاد شود.

پیشنهاد الگوی بهینه کشت محصولات زراعی بیشترین سهم را داشته و نقش کلیدی در کاهش مصرف منابع آبی خواهد داشت. در انتهای افق برنامه‌ریزی با بهبود راندمان آبیاری به ۷۵ درصد در بخش باغی و زراعی و همچنین اصلاح الگوی کشت زراعی، ۱۳۰ میلیون مترمکعب معادل ۴۴/۱ درصد از مصرف منابع آبی محدوده مطالعاتی کاسته خواهد شد. از این کاهش ۴۴/۱ درصدی مصرف، نقش بهبود راندمان باغی و زراعی به ترتیب ۱۵/۲ و ۱۲/۷ درصد، اصلاح الگوی کشت زراعی بدون تغییر راندمان آبیاری ۱۶/۲ درصد و بهبود راندمان زراعی توأم با اصلاح الگوی کشت زراعی ۲۸/۹ درصد خواهد بود. متوسط کاهش سالانه مصرف آب کشاورزی در افق برنامه‌ریزی ۹۲/۲ میلیون مترمکعب معادل ۳۱/۳ درصد است که نقش بهبود راندمان باغی و زراعی به ترتیب ۹/۴ و ۷/۸ درصد، اصلاح الگوی کشت زراعی بدون تغییر راندمان آبیاری ۱۴ درصد و بهبود راندمان زراعی توأم با اصلاح الگوی کشت زراعی ۲۱/۹ درصد خواهد بود.

جدول ۶. مقدار و درصد تغییرات مصرف آب کشاورزی به تفکیک منابع کاهش‌دهنده در افق برنامه‌ریزی

سال	کل مصرف کشاورزی (میلیون مترمکعب)	مقدار تغییرات (میلیون مترمکعب)	درصد تغییرات به تفکیک			
			بهبود راندمان باغی و زراعی و اصلاح الگوی کشت زراعی	بهبود راندمان باغی	بهبود راندمان زراعی	اصلاح الگوی کشت زراعی بدون تغییر راندمان
پایه	295/0	...	...	...	...	...
1	279/3	-15/7	-5/3	-1/2	-1/1	-3/0
2	263/8	-31/3	-10/6	-2/5	-2/2	-5/9
3	248/4	-46/7	-15/8	-3/7	-3/2	-8/9
4	233/1	-61/9	-21/0	-4/9	-4/1	-12/0
5	218/1	-76/9	-26/1	-5/9	-5/0	-15/1
6	213/5	-81/6	-27/6	-6/7	-5/6	-15/3
7	209/6	-85/4	-28/9	-7/5	-6/3	-15/2
8	205/9	-89/2	-30/2	-8/2	-6/9	-15/1
9	202/2	-92/8	-31/5	-8/9	-7/5	-15/1
10	198/7	-96/4	-32/7	-9/6	-8/0	-15/0
11	193/1	-101/9	-34/6	-10/3	-8/6	-15/7
12	189/6	-105/5	-35/7	-10/9	-9/1	-15/8
13	186/2	-108/8	-36/9	-11/5	-9/6	-15/8
14	182/9	-112/1	-38/0	-12/1	-10/1	-15/8
15	179/7	-115/4	-39/1	-12/7	-10/5	-15/9
16	176/5	-118/5	-40/2	-13/2	-11/0	-16/0
17	173/3	-121/7	-41/3	-13/7	-11/4	-16/1
18	170/3	-124/8	-42/3	-14/3	-11/9	-16/2
19	167/2	-127/8	-43/3	-14/8	-12/3	-16/3
20	164/9	-130/1	-44/1	-15/2	-12/7	-16/2
مجموع	4056/2	-1844/4	-625/1	-187/8	-156/9	-280/3
متوسط	202/8	-92/2	-31/3	-9/4	-7/8	-14/0

در ادامه به منظور بررسی و تحلیل نتایج با دوره‌های برنامه‌ریزی کلان کشور، نتایج الگوهای کشت پیشنهادی که در افق زمانی بیست ساله تدوین شده است، در چهار دوره پنج ساله و متوسط افق برنامه‌ریزی ارائه شد. در این راستا جدول ۷ مقدار و سهم محصولات و در جدول ۸ مقدار و درصد تغییرات شاخص‌های الگوهای زراعی پیشنهادی در دوره‌های مختلف افق برنامه‌ریزی نشان می‌دهد. بر اساس آخرین آمار جهاد کشاورزی قم، کل سطح زیرکشت آبی دشت قم - کهک ۱۸۷۴۸ هکتار است که محصولات جو، یونجه، گندم، ذرت علوفه‌ای، سبزیجات برگی، کلزا، هندوانه، خربزه و پنبه به ترتیب با ۵۱/۵، ۱۸/۸، ۱۴/۵، ۵، ۳/۵، ۲، ۱/۲، ۱/۲ و ۱ درصد بیشترین سطوح زیرکشت را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به شرایط حاکم بر منطقه و اهداف آبی در نظر گرفته شده در پژوهش، به نظر می‌رسد کشت محصولات یونجه، ذرت علوفه‌ای، هندوانه، خربزه و پنبه توجیه فنی نداشته باشد. نتایج جدول (۷) نشان می‌دهد که بهره‌وری فیزیکی مصرف منابع آبی در وضعیت فعلی ۶۹۵۴/۵ ریال بر مترمکعب بوده و به این معناست که بطور متوسط به ازای هر مترمکعب مصرف منابع آبی ۶۹۵ تومان درآمد خالص کسب شده است. همچنین بهره‌وری فیزیکی مصرف کودهای شیمیایی برابر ۱۶۳۳۰۰ ریال بر کیلوگرم است که نشان می‌دهد بطور متوسط به ازای هر کیلوگرم مصرف کودهای شیمیایی ۱۶۳۳۰ تومان درآمد خالص تولید شده است. بطور مشابه بهره‌وری فیزیکی مصرف سموم شیمیایی نیز برابر ۱۹۰۱۵۰۰ تومان بر لیتر می‌باشد. درصد تغییر سطوح زیرکشت محصولات با توجه به حجم آب تخصیص یافته به بخش زراعی متغیر بوده به طوری که در سال‌های اولیه افق برنامه‌ریزی این تغییرات بیشتر و به تدریج با حرکت به انتهای دوره به دلیل نزدیک شدن الگوی کشت موجود به شرایط بهینه و پایدار کمتر خواهد شد. همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، دستیابی به ۱۰۱ میلیون مترمکعب آب قابل برنامه‌ریزی در انتهای پنج ساله

اول، مستلزم کاهش ۴/۴ درصدی مصرف آب در بخش زراعی و ۳/۳ درصدی از چاههای عمیق و نیمه‌عمیق است. برای دستیابی به این مهم و سایر اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مدنظر، در الگوی زراعی پیشنهادی دوره اول سطح زیرکشت محصولات گندم، سبزیجات برگی، خربزه، طالبی و ارزن افزایش، یونجه، ذرت علوفه‌ای، کلزا، هندوانه، پنبه، چغندر علوفه‌ای بهاره و آفتابگردان کاهش، جو بدون تغییر و محصولات دارای پتانسیل کاشت در منطقه از قبیل کینوا، زیره، کنجد و چغندر علوفه‌ای پاییزه تا حدودی افزایش خواهند داشت. نتایج شاخص‌های الگوی کشت پیشنهادی دوره اول افق برنامه‌ریزی در جدول (۸) نشان می‌دهد که با تثبیت درآمد خالص کشاورزان (بازده برنامه‌ای)، اشتغال نیروی کار ۵/۳۳ درصد افزایش و مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی به ترتیب ۲۶/۶، ۲/۳۳ و ۴/۵۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد. همچنین شاخص بهره‌وری فیزیکی مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی به ترتیب ۴۰/۵۳، ۲/۴۸ و ۴/۹۴ درصد افزایش داشته‌اند که تمامی معیارها و شاخص‌ها مطلوب و مورد نظر مسئولان و سیاستگذاران هستند. در دوره‌های بعدی افق برنامه‌ریزی به تدریج سطوح زیرکشت محصولات جو، گندم، سبزیجات برگی، کینوا، زیره و چغندر علوفه‌ای پاییزه افزایش و سایر محصولات به تدریج کاهش یافته و حذف خواهند شد. ستون آخر جدول متوسط سهم محصولات پیشنهادی در افق برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود سطوح زیرکشت محصولات جو، گندم، سبزیجات برگی، ارزن، کینوا، زیره و چغندر علوفه‌ای پاییزه نسبت به سال پایه افزایش و سایر محصولات کاهش یافته و از الگوی کشت منطقه حذف شده‌اند. نتایج جدول (۸) نیز بیانگر این حقیقت است که در تمامی سال‌های افق برنامه‌ریزی و بدون تغییر در درآمد کشاورزان محدوده، مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی کاهش و اشتغال نیروی کار و بهره‌وری فیزیکی منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی

یافته است. با توجه به اینکه الگوهای پیشنهادی با تعدیل جزئی و کمترین تغییرات سالانه پیشنهاد شده و اینکه تمامی شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مرتبط با آنها مطلوب هستند، به نظر می‌رسد که پذیرش و اجرایی کردن آن توسط کشاورزان، مسئولان و کارشناسان با سهولت بیشتری انجام شود.

افزایش را نشان می‌دهد. متوسط شاخص‌ها در افق برنامه‌ریزی نشان می‌دهد که علاوه بر تثبیت بازده برنامه‌ای، اشتغال نیروی کار، بهره‌وری فیزیکی مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی به ترتیب ۱۰/۷، ۱۰/۶، ۴/۱ و ۸/۸ درصد افزایش و مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی به ترتیب ۴۸/۲، ۳/۹ و ۸ درصد کاهش

جدول ۷. مقدار و سهم محصولات زراعی پیشنهادی در افق برنامه‌ریزی

محصول	وضعیت موجود					متوسط سهم محصولات (درصد)		
	سطح زیرکشت (هکتار)	سهم (درصد)	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	افق برنامه‌ریزی	
جو	9646	51/5	51/8	53/1	54	53/6	53/1	
یونجه	3516	18/8	8/9	2/8	1/8	0/5	3/5	
گندم	2711	14/5	18/1	18/1	18	17/9	18	
ذرت علوفه‌ای	935	5	2/4	0/6	0/1	0/0	0/8	
سبزیجات برگی	664	3/5	6/8	11/7	12/1	12/2	10/7	
کلزا	374	2	1/5	0/1	0/0	0/0	0/4	
هندوانه	228	1/2	1/1	0/0	0/0	0/0	0/3	
خربز	228	1/2	1/8	0/1	0/0	0/0	0/5	
پنبه	191	1	0/4	0/0	0/0	0/0	0/1	
چغندر علوفه‌ای بهاره	122	0/7	0/6	0/0	0/0	0/0	0/1	
طالبی	81	0/4	1/2	1/2	0/1	0/0	0/6	
آفتابگردان	32	0/2	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	
ارزن	20	0/1	0/6	0/4	0/0	0/0	0/2	
کینوا	۰	0/0	1/5	4	7/1	10/5	5/8	
زیره	۰	0/0	1/5	4	1/7	1/4	2/2	
کنجد	۰	0/0	0/2	0/0	0/0	0/0	0/1	
چغندر علوفه‌ای پاییزه	۰	0/0	1/5	3/8	5/1	3/8	3/6	
مجموع	18748	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	

جدول ۸. مقدار و درصد تغییرات شاخص‌های الگوهای زراعی پیشنهادی در افق برنامه‌ریزی

شاخص	وضعیت فعلی	تغییرات نسبت به سال پایه (درصد)			
		دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم
بازده برنامه‌ای (ده میلیون ریال)	92799/07	0/07	0/12	0/03	0/06
اشتغال (هزار نفر- روزکار)	283/72	5/33	12/75	13/22	11/33
منابع آبی (میلیون مترمکعب)	133/44	-26/61	-48/47	-55/96	-61/71
کودهای شیمیایی (هزار کیلوگرم)	5681/45	-2/33	-4/74	-3/90	-4/52
سموم شیمیایی (هزار لیتر)	48/8	-4/56	-9/08	-8/97	-9/34
بهره‌وری فیزیکی منابع آبی (تومان بر مترمکعب)	695/45	40/53	94/51	127/47	161/70
بهره‌وری فیزیکی کودهای شیمیایی (هزار تومان بر کیلوگرم)	16/33	2/48	5/10	4/10	4/80
بهره‌وری فیزیکی سموم شیمیایی (هزار تومان بر لیتر)	1901/5	4/94	10/1	9/89	10/3

نیاز غذایی و علوفه‌ای واحدهای دامی محدوده (تن) - *TDN*) و مقدار تامین آن در جدول ۹ ارائه شده است. ملاحظه می‌گردد الگوی فعلی کشت زراعی محدوده بصورتی است که در تمامی محصولاتی مورد استفاده واحدهای دامی خودکفایی وجود داشته و با مازاد تولید بر نیاز روبه‌روست. این مازاد تولید بر نیاز برای محصولات یونجه و ذرت علوفه‌ای که جزء محصولات پرمصرف آب قرار دارند، بسیار بیشتر و مساله‌ساز خواهد بود. حداقل سطح زیرکشت مورد نیاز برای خودکفایی در تامین نیازهای دامی به محصولات زراعی یونجه، ذرت علوفه‌ای و چغندر علوفه‌ای به ترتیب ۱۲۳۵، ۲۳۶ و ۱۱۰ و مجموع جو و گندم ۷۵۰۰ هکتار است. محصولات زراعی ذرت علوفه‌ای و بخصوص یونجه جزو محصولات پر مصرف آب در سطح محدوده مطالعاتی هستند که بدون کاهش سطح زیرکشت آن‌ها امکان دستیابی به اهداف کمی کاهش مصرف آب محقق نخواهد شد. درصد تامین نیازهای غذایی و علوفه‌ای واحدهای دامی محدوده در

افق برنامه‌ریزی در جدول ۱۰ ارائه شده است. نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد که تا سال چهارم افق برنامه‌ریزی سطوح زیرکشت پیشنهادی محصولات ذرت علوفه‌ای و یونجه پاسخگوی نیاز دامی منطقه است. اما از سال پنجم به دلیل محدودیت تخصیص آب برای بخش زراعی، سطوح بهینه پیشنهادی این دو محصول پاسخگوی نیاز دامی محدوده نخواهد بود. همچنین الگوهای کشت پیشنهادی در تمامی سال‌های افق برنامه‌ریزی در تامین نیازهای دامی به محصولات چغندر علوفه‌ای، جو، کاه گندم و جو و سبوس گندم خودکفا بوده و حتی مازاد بر نیاز نیز تولید خواهد شد. با افزایش سطح زیرکشت محصول کینوا امکان تامین بخشی از نیاز دامی منطقه فراهم می‌شود، اما ضروری است که کمبود نیاز دامی به محصولات یونجه و ذرت علوفه‌ای از استان‌های دارای پتانسیل و مزیت نسبی تولید، تامین شود که این مساله بایستی مورد توجه مسئولان و برنامه‌ریزان محدوده مطالعاتی قرار گیرد.

جدول ۹. نیاز غذایی و علوفه‌ای واحدهای دامی محدوده (تن - *TDN*) و درصد تامین آن

محصولات	نیاز سالانه	تولید فعلی	مازاد (+) یا کمبود (-)	درصد تامین
یونجه	۶۷۰۳	۱۹۰۷۴	۱۲۳۷۱	۲۸۴/۶
ذرت علوفه‌ای	۱۸۸۱	۷۴۴۲	۵۵۶۱	۳۹۵/۶
چغندر علوفه‌ای	۴۲۴۷	۴۷۰۹	۴۶۲	۱۱۰/۹
کاه گندم و جو	۴۶۲۱	۱۷۳۵۹	۱۲۷۳۸	۳۷۵/۷
جو	۱۰۹۹۴	۲۷۱۲۲	۱۶۱۲۹	۲۴۶/۷
سبوس گندم	۱۱۰۱	۱۰۹۳	-۸	۹۹/۳

جدول ۱۰. درصد تامین نیازهای غذایی و علوفه‌ای واحدهای دامی محدوده در افق برنامه‌ریزی

افق برنامه ریزی	یونجه	ذرت علوفه‌ای	چغندر علوفه‌ای	کاه گندم و جو	جو	سبوس گندم
سال پایه	۲۸۴/۶	۳۹۵/۶	۱۱۰/۹	۳۷۵/۷	۲۴۶/۷	۹۹/۳
۱۳۹۷-۹۸	۲۳۳/۳	۳۱۶/۵	۲۱۸/۳	۳۸۵/۸	۲۳۶/۱	۱۲۴/۱
۱۳۹۸-۹۹	۱۷۰/۷	۳۳۱/۰	۳۲۵/۶	۳۸۵/۸	۲۳۶/۱	۱۲۴/۱
۱۳۹۹-۰۰	۱۲۸/۱	۱۵۸/۲	۴۳۳/۰	۳۹۴/۷	۲۴۳/۷	۱۲۴/۱
۱۴۰۰-۰۱	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۳۶۳/۰	۴۱۳/۴	۲۵۹/۹	۱۲۴/۱
۱۴۰۱-۰۲	۴۲/۷	۵۰/۰	۴۲۶/۰	۴۲۰/۸	۲۶۶/۳	۱۲۴/۱
۱۴۰۲-۰۳	۴۲/۷	۵۰/۰	۵۱۱/۲	۴۱۸/۸	۲۶۴/۵	۱۲۴/۱
۱۴۰۳-۰۴	۴۲/۷	۵۰/۰	۵۹۶/۴	۴۱۰/۵	۲۵۷/۴	۱۲۴/۱



افق برنامه ریزی	یونجه	ذرت علوفه‌ای	چغندر علوفه‌ای	کاه گندم و جو	جو	سبوس گندم
۱۴۰۴-۰۵	۴۲/۷	۵۰/۰	۶۷۶/۶	۴۰۶/۷	۲۵۴/۱	۱۲۴/۱
۱۴۰۵-۰۶	۴۲/۷	۵۰/۰	۷۱۱/۱	۴۰۲/۷	۲۵۰/۷	۱۲۴/۱
۱۴۰۶-۰۷	۴۲/۷	۵۰/۰	۷۶۸/۵	۳۹۸/۳	۲۴۶/۸	۱۲۴/۱
۱۴۰۷-۰۸	۲۸/۵	۲۰/۰	۹۳۷/۲	۴۰۲/۷	۲۵۲/۳	۱۲۲/۰
۱۴۰۸-۰۹	۲۸/۵	۲۰/۰	۱۰۲۲/۴	۴۱۴/۰	۲۶۰/۷	۱۲۳/۸
۱۴۰۹-۱۰	۲۸/۵	۰/۰	۹۸۰/۴	۴۱۸/۶	۲۶۴/۳	۱۲۴/۱
۱۴۱۰-۱۱	۲۸/۵	۰/۰	۷۱۵/۳	۴۱۵/۹	۲۶۲/۰	۱۲۴/۱
۱۴۱۱-۱۲	۲۲/۸	۰/۰	۶۴۸/۰	۴۰۸/۴	۲۵۵/۶	۱۲۴/۱
۱۴۱۲-۱۳	۱۸/۵	۰/۰	۶۴۷/۱	۴۰۹/۷	۲۵۶/۷	۱۲۴/۱
۱۴۱۳-۱۴	۱۸/۵	۰/۰	۶۴۷/۱	۴۰۹/۷	۲۵۶/۷	۱۲۴/۱
۱۴۱۴-۱۵	۱۲/۸	۰/۰	۷۱۵/۰	۴۱۲/۱	۲۶۰/۹	۱۲۱/۴
۱۴۱۵-۱۶	۷/۱	۰/۰	۶۹۰/۷	۴۱۰/۹	۲۵۹/۰	۱۲۲/۴
۱۴۱۶-۱۷	۰/۰	۰/۰	۵۷۳/۳	۴۰۵/۷	۲۵۳/۲	۱۲۴/۱
متوسط دوره	۵۴/۱	۶۲/۳	۶۳۰/۳	۴۰۷/۳	۲۵۴/۹	۱۲۳/۸

در ادامه به تحلیل آثار سناریوهای مختلف ۱- ادامه روند فعلی بهره‌برداری از منابع آبی، ۲- بهبود راندمان آبیاری هر دو بخش زراعی و باغی به تدریج از ۵۰ به ۷۵ درصد در افق برنامه‌ریزی و ۳- بهبود راندمان زراعی و باغی به همراه اصلاح و پیشنهاد الگوی بهینه کشت محصولات زراعی بر روی تغییرات حجم آبخوان محدوده مطالعاتی قم-کهک در افق برنامه‌ریزی بیست ساله پرداخته شده که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است. با بررسی روند تغییرات حجم آبخوان در ۲۸ ساله گذشته و با فرض ادامه روند فعلی برداشت از آبخوان محدوده مطالعاتی، وضعیت بیست سال آینده تغییرات حجم آبخوان مورد پیش‌بینی قرار گرفته است که می‌تواند ابعاد مشکل را تا حدی مشخص نماید. نتایج پیش‌بینی بیانگر آن است که در صورت ادامه روند کنونی تغذیه و تخلیه و عدم بکارگیری اقدامات جدی و عملی جهت کاهش برداشت بی‌رویه، میزان کسری تجمعی آبخوان از وضعیت فعلی ۵۳۶ میلیون مترمکعب بیشتر شده و تا ۹۴۱ میلیون مترمکعب در انتهای افق برنامه‌ریزی پیش خواهد رفت. این مساله می‌تواند وضعیت منطقه را حادثتر و سبب آثار زیانباری از قبیل

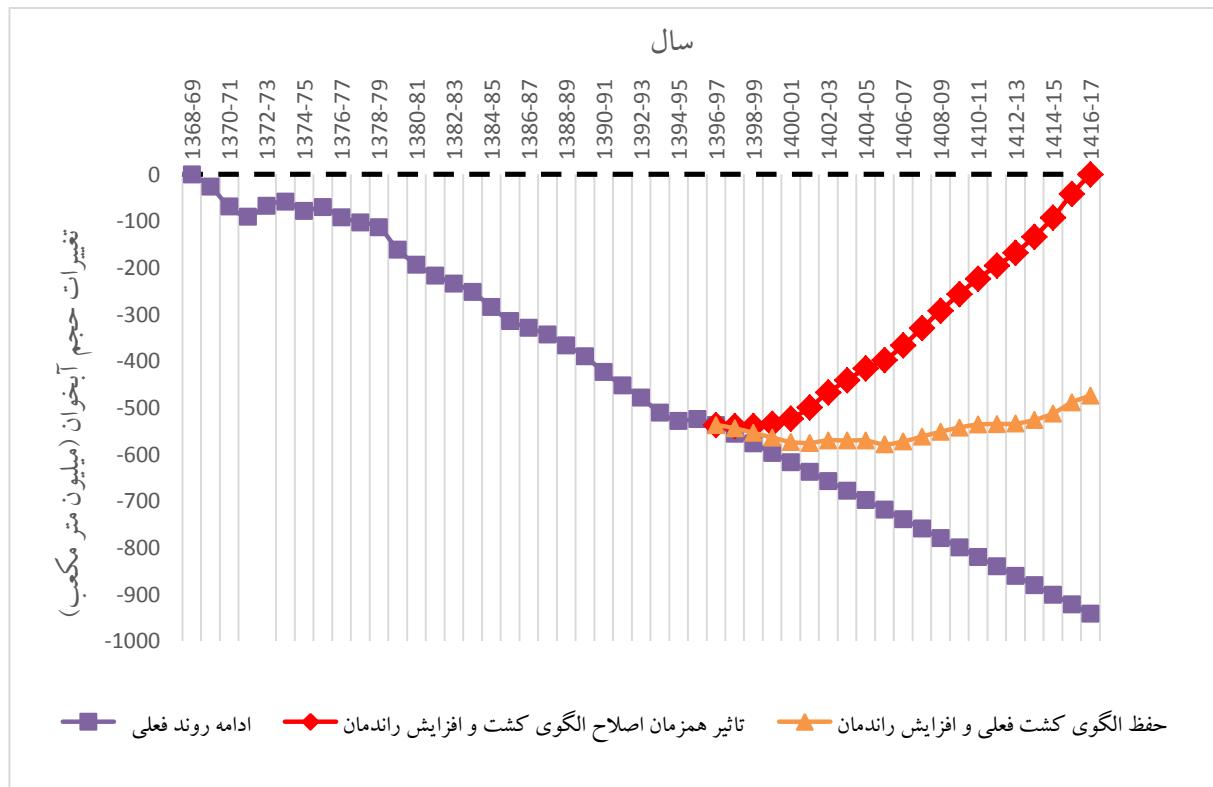
فرونشست غیر قابل برگشت زمین، هجوم جریانات شور و کاهش کیفیت آب زیرزمینی، کاهش آبدهی چاه‌ها و افزایش هزینه پمپاژ و غیره شود. همچنین با کاهش تولیدات و رکود اقتصاد کشاورزی منطقه، پیش‌بینی می‌شود که امرار معاش مردم با مشکل مواجه شده و فقر، بیکاری، بزه‌کاری و نزاع بر سر آب افزایش یابد. یکی دیگر از سناریوهای مورد بررسی در این پژوهش حفظ الگوی کشت فعلی و کاهش مصرف آب با توسعه سیستم‌های نوین آبیاری و اعمال مدیریت صحیح و نظارت کافی است، به‌طوریکه راندمان فعلی منطقه از حدود ۵۰ درصد در وضعیت فعلی به تدریج به ۷۵ درصد در انتهای افق برنامه‌ریزی افزایش یابد. نتایج این سناریو بیانگر آن است که به شرط عدم افزایش سطح زیرکشت و کنترل میزان آب استخراج شده از چاه‌های کشاورزی، امکان کنترل افت آب زیرزمینی و بهبود قسمتی از کسری مخزن وجود دارد. اما این مقدار کاهش همچنان با مقدار هدف‌گذاری شده جبران کسری درازمدت آبخوان محدوده (۵۳۶ میلیون مترمکعب) فاصله دارد. بنابراین سناریو سوم افزایش راندمان آبیاری در بخش باغی و زراعی توأم با اصلاح و پیشنهاد الگوی بهینه

۳/۹ و ۸ درصد کاهش یابد. همچنین الگوهای زراعی پیشنهادی به استثنای یونجه و ذرت علوفه‌ای از سال پنجم برنامه‌ریزی، در تامین نیازهای علوفه‌ای واحدهای دامی محدوده کاملاً خودکفا است. لذا پیشنهاد می‌شود مسئولان از سال پنجم افق برنامه‌ریزی کمبود نیاز دامی به محصولات یونجه و ذرت علوفه‌ای را از استان‌های دارای پتانسیل و مزیت نسبی تامین کنند تا هزینه‌ها و چرخه تولید واحدهای دامی محدوده دچار مشکل نشود. همچنین نتایج نشان دهنده آن است که با اصلاح الگوی کشت و جایگزینی محصولات الگوی زراعی پیشنهادی با الگوی کشت فعلی و افزایش راندمان آبیاری محدوده مطالعاتی، امکان جبران کسری درازمدت آبخوان به همراه دستیابی به شاخص‌های توسعه پایدار کشاورزی میسر خواهد شد. بنابراین یکی از ملزومات اساسی دستیابی به اهداف کمی مصرف آب، افزایش سالانه راندمان سیستم‌های آبیاری است. لذا پیشنهاد می‌شود دولت تسهیلات لازم را در

کشت محصولات زراعی جهت جبران کسری درازمدت آبخوان در انتهای افق برنامه‌ریزی و دستیابی به ۱۰۱ میلیون مترمکعب آب قابل برنامه‌ریزی ابلاغی وزارت نیرو در انتهای سال پنجم مورد بررسی قرار می‌گیرد. مشاهده می‌شود با افزایش راندمان آبیاری و اصلاح الگوی کشت زراعی و جایگزینی محصولات پیشنهادی با الگوی کشت فعلی محدوده مطالعاتی، امکان جبران کسری درازمدت آبخوان و دستیابی به شاخص‌های کشاورزی پایدار میسر خواهد شد.

### نتیجه‌گیری

اجرای الگوهای کشت پیشنهادی در افق برنامه‌ریزی باعث می‌شود که علی‌رغم تثبیت بازده برنامه‌ای (درآمد) کشاورزان و تعادل بخشی آبخوان محدوده، اشتغال نیروی کار و بهره‌وری فیزیکی مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی به ترتیب ۱۰/۷، ۱۰۶، ۱/۱ و ۸/۸ درصد افزایش و مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی به ترتیب ۴/۸،



شکل ۲. تغییرات ذخیره آبخوان محدوده مطالعاتی در سناریوهای مختلف

که پذیرش و اجرایی کردن آن توسط کشاورزان، مسئولان و کارشناسان با سهولت بیشتری انجام شود. لذا پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران اجرای الگوهای زراعی پیشنهادی را در اولویت قرار دهند که این مهم نیازمند تدوین الزامات قانونی، سیاست‌های تشویقی و تنبیهی، بکارگیری مروجان کشاورزی و برگزاری کلاس‌ها و دوره‌های آموزشی و ترویجی است.

اختیار کشاورزان قرار داده و مسئولان به این نکته مهم توجه داشته باشند که نقش افزایش راندمان در کاهش مصرف آب مشروط به نصب کنتور و کنترل کشاورزان جهت جلوگیری از افزایش سطح زیرکشت می‌باشد. با توجه به اینکه الگوهای زراعی با کمترین تغییرات سالانه پیشنهاد شده و تمامی شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مرتبط با آنها مطلوب هستند، به نظر می‌رسد

### فهرست منابع

- باولی، م.، عادل، ک.، محمدیان، ف.، دل انگیزان، س. ۱۳۹۴. تعیین الگوی بهینه کشت در راستای توسعه پایدار کشاورزی (مطالعه موردی: دشت ماهیدشت). نشریه اقتصاد کشاورزی و توسعه. سال بیست و سوم. شماره ۹۰.
- بیات ورکشی، م.، فصیحی، ر. ۱۳۹۷. تحلیل نتایج ریزمقیاس‌نمایی فراسنج‌های آب و هوایی برای آینده ایران. جغرافیا و پایداری محیط. شماره ۲۶. ص ۷۳-۸۷.
- جعفرزاده، ا.، خاشعی سیوکی، ع.، شهیدی، ع. ۱۳۹۵. طراحی یک مدل تصمیم‌گیری چندهدفه به منظور تعیین الگوی کشت بهینه تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت بیرجند). نشریه - تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۷، شماره ۴، ص ۸۵۹-۸۴۹.
- رفیعی، و.، شوربان، م.، عطاری، ج. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی با استفاده از ترکیب مدل شبیه‌سازی SWAT و الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی هارمونی. نشریه تحقیقات منابع آب ایران. سال سیزدهم. شماره سه.
- سیمانی منابع آب استان قم. ۱۳۹۵. شرکت آب منطقه‌ای استان قم. مدیریت مطالعات پایه منابع آب شکر، ح.؛ نجارچی، م.، جعفری نیا، ر.، مختاری، ش. و علی‌زاده، ح.، ۱۳۹۸. بهینه‌سازی الگوی کشت و منابع آب در سطوح مختلف آبیاری برای مناطق گرم و خشک (مطالعه موردی، دشت‌های دهلران استان ایلام). نشریه تحقیقات آب و خاک ایران. دوره ۵. شماره ۶. ص ۱۳۶۱-۱۳۵۱.
- صداقت، م. ۱۳۸۵. زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی). انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ پنجم. ۳۶۸ صفحه.
- عظیمی‌فرد، س.، مهرجردی، م.، بشرآبادی، ح. ۱۳۹۲. بررسی پایداری منابع آب در شهرستان قوچان: رویکرد برنامه‌ریزی کسری، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۳، شماره ۳.
- علیزاده، ا.، مجیدی، ن.، قربانی، م.، محمدیان، ف. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مشهد- چناران). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱ (۶): ص ۵۵-۶۸.
- عوض‌یار، م.، احمدپور برازجانی، م.، ضیایی، س. ۱۳۹۷. بهینه‌سازی الگوی کشت جهت افزایش بازده آبیاری در اراضی پایاب سد ملاصدرا در استان فارس. مجله مهندسی منابع آب. سال یازدهم.
- محمدیان، ف.، شاهنوشی، ن.، قربانی، م.، عاقل، ح. ۱۳۸۹. تدوین الگوی زراعی پایدار در دشت فریمان- تربت جام، فصلنامه اقتصاد کشاورزی، ۴ (۲): ص ۱-۴۲.

- محمدیان، ف.، علیزاده، ا.، نیریزی، س.، عربی، ا. ۱۳۸۶. طراحی الگوی زراعی پایدار با تاکید بر مبادله آب مجازی، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲ (۱): ص ۱۰۹-۱۲۶.
- مردانی، م.، بابایی، م.، صبوحی، م.، آسمانی، ا. ۱۳۹۲. تعیین الگوی بهینه کشت با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی فازی: مطالعه موردی استان خراسان رضوی، مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، سال دهم، شماره اول (پیاپی ۳۶)، ص ۶۷-۷۷. مطالعات بهنگام سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز دریاچه نمک. ۱۳۹۲. گزارش بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی قم - کهک.
- نچارجی، م.، شکری، ح.، جعفری‌نیا، ر.، مختاری، ش.، علیزاده، ح.، ع. ۱۳۹۷. بهینه‌سازی الگوی کشت و منابع آب در سطوح مختلف آبیاری برای مناطق گرم و خشک (مطالعه‌ی موردی، دشت‌های دهلران استان ایلام). نشریه تحقیقات آب و خاک ایران.
- نصیبیان، ش.، محمدی، ح.، کیخا، ع.، ر. ۱۳۹۳. تاثیر اصلاح الگوی کشت بر کاهش کود و آب فعالیت‌های کشاورزی (مطالعه مورد استان فارس). نشریه تکنولوژی محیط زیست. دوره شانزدهم. شماره سه.
- Alabdulkader, A. M., Al-Amoud, A. I., and Awad, F. S. 2012. Optimization of the cropping pattern in Saudi Arabia using a mathematical programming sector model. *Agricultural Economics/Zemedelska Ekonomika*, 58 (2).
- Ashofteh, P.-S., Bozorg-Haddad, O., and Mariño, M.A. 2015. Risk analysis of water demand for agricultural crops under climate change. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20 (4), Doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001053, 04014060.
- Joodavi, A. Zare, Mand Mahootchi, M. 2015. Development and application of a stochastic optimization model for groundwater management: crop pattern and conjunctive use consideration. *Stoch Environ Res Risk Assess*. DOI 10.1007/s00477-015-1049-x.
- Kumar, V and Yadav, S. M. 2019. Optimization of Cropping Patterns Using Elitist-Jaya and Elitist-TLBO Algorithms. *Water Resources Management*. Volume 33, Issue 5, pp 1817-1839.
- Li, Y. P., Huang, G. H., Wang, G. Q., and Huang, Y. F. 2009. FSWM: a hybrid fuzzy-stochastic water-management model for agricultural sustainability under uncertainty. *Agricultural water management*, 96 (12), 1807-1818.
- Najafabadi, M. M. Ziaee. S, Nikouei, A and Borazjani, M. A. 2019. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions. *Agricultural Systems*. Volume 173, July 2019, Pages 218-232.
- Shirdeli, A. and Dastvar, S. 2014. An optimization technique for cropping patterns and land consolidation: A case study for irrigation network. *Management Science Letters*. 4(9), 2087-2092.
- Yang, X. G., Liu, Z. J. and Fu, C. 2011. The possible effect of climate warming on northern limits of cropping system and crop yield in China. *Agricultural Sciences in China*, 10, 585-594.
- Zeng, X., Kang, S., Li, F., Zhang, L., and Guo, P. 2010. Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Agricultural Water Management*, 98(1), 134-142.
- Osma S, Elkholy M and Kansoh RM. 2017. Optimization of the cropping pattern in Egypt. *Alexandria Engineering Journal* 56:557-566.



ISSN 2251-7480

## Investigation of Optimum Cropping Pattern Proportional to Allocable Water and Balancing Aquifer (Case Study of Qom-Kahak Study Area)

Saeed Emamifar<sup>1\*</sup>, Farshad Mohammadian<sup>2</sup>, Reza Mohammadi<sup>3</sup>, Ahmad Abadi and Mojtaba Ali-Madadi<sup>4</sup>

1\*) PhD in Irrigation and Drainage and Researcher, Qom, Iran.

Corresponding author email: [aftab2277@yahoo.com](mailto:aftab2277@yahoo.com)

2) Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sayed Jamaledin Asadabadi University, Qom, Iran.

3) Head of the Underground Water Resources Protection Group In the regional water company of Qom province, Qom, Iran.

4) Vice conservation and utilization in the regional water company of Qom province, Qom, Iran.

Received: 06-11-2019

Accepted: 15-05-2020

### Abstract

The high share of agricultural water consumption in recent years reform and offer optimal crop pattern that reduces water consumption and increases the efficiency of its use, the requirements of most forbiddens and critical plains of the country. The purpose of this study was to provide optimal cropping pattern in relation to Allocable Water agriculture communicated by the Ministry of Energy and the long-term cumulative accumulation deficit of aquifers and the emphasis on agricultural sustainability indicators in the twenty-year planning horizon, Qom-Kahak study area. To simulate rainfall component behavior, outcomes of A2 scenario for the HADCM3 climatic model were used and using the continuity equation balance, the volume of water allocated to the crop sector was estimated each year. Then, using fuzzy utopian planning models, sustainable agriculture patterns were presented within the framework of technical constraints. The results showed that the implementation of the proposed agronomic models will in addition to offset the deficit of 536 million cubic meters and aquifer balance in the study area over the planning horizon, It will increase labor force and physical productivity of water, fertilizers and pesticides consumption will increase by 10.7%, 106%, 4.1% and 8.8% respectively, and water resources, fertilizers and chemicals consumption will reduce by 48.2%, 3.9%, 8 respectively.. Therefore, it is suggested to regional authorities to prioritize the implementation of proposed agro-projects, which requires the development of legal requirements, incentive and punitive policies, and conducting training and extension courses.

**Keywords:** Allocable Water, Optimal cropping pattern, Fuzzy goal programming, Climate change, Aquifer