

بهینه‌سازی تخصیص آب بین محصولات مختلف، مطالعه موردی: غرب استان اصفهان

دانیال امینی^۱، افشین یوسف گمرکچی^۲، احسان علی پوری^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

چکیده

در این پژوهش با در نظر گرفتن متغیرهای اقتصادی و فنی، بهینه‌سازی سطح زیر کشت به تفکیک شهرستان در غرب استان اصفهان انجام گرفت. با توجه به خشک سالی‌های فراوان، معمولاً امکان افزایش تخصیص آب وجود ندارد و بنابراین عامل محدودکننده حجم آب می‌باشد. به همین خاطر است که عوامل دیگر از جمله زمین‌های زراعی، نیروی کارگر و نهاده‌های دیگر عامل محدودکننده جدی تلقی نمی‌شوند. با توجه به این محدودیت‌ها، یک مدل برای بهینه‌سازی گیاهان زراعی ایجاد شد تا مدیریت کنونی را بهبود بخشد. برای این کار در هر منطقه (شهرستان)، متغیر تصمیم به صورت سطح زیر کشت محصولات زراعی و ضریب کم آبیاری آن‌ها تعریف شد. هدف نیز به صورت افزایش سود خالص کشاورزی در نظر گرفته شد تا درآمد کشاورزان بیشینه شود. بنابراین ده شهرستان استان اصفهان که در غرب قرار داشتند، مورد بررسی قرار گرفتند. در بسیاری از موارد کاهش سطح زیر کشت دانه‌ها همچون گندم و جو را شاهد بودیم. به‌طور کلی محصولاتی مثل گندم با وجود اهمیت راهبردی، به دلیل این‌که به قیمت تضمینی نسبتاً پایینی خریداری می‌شوند، توان رقابت کمتری با محصولاتی را دارند که قیمت آن‌ها در بازار آزاد تعیین می‌گردد. نتایج این تحقیق برای تصمیم‌گیران مفید خواهد بود. همچنین

^۱ دانیال امینی، محقق در زمینه مهندسی آب، کارشناسی ارشد، نویسنده مسئول daniyalamini1369@chmail.ir

^۲ استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی a.gomrokchi@areeo.ac.ir

^۳ احسان علی پوری، دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات Ehsan.alipoori@yahoo.com

نتایج نشان می‌دهد که تولید یونجه آبی و جو آبی در نجف‌آباد با سود خالص $4/7$ و $0/9$ میلیون تومان بر هکتار، تولید چغندر قند در فریدن با سود خالص $8/3$ میلیون تومان بر هکتار، و تولید نخود آبی در گلپایگان با سود $2/1$ میلیون تومان بر هکتار نسبت به شهرستان‌های دیگر صرفه اقتصادی دارد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، تخصیص آب، محصولات زراعی، استان اصفهان، تنش آبی، متغیرهای تصادفی

مقدمه

کشاورزی یکی از مصرف‌کننده‌های اصلی منابع آب در کشور ما بوده و درصد زیادی از آب مصرفی به این بخش اختصاص می‌یابد. درعین‌حال، استفاده بهینه از آب در صنعت کشاورزی با چالش‌های فراوان روبه‌رو است که مهم‌ترین عوامل نفوذ کم علم آبیاری به کشاورزی سنتی و کمبود بودجه جهت حرکت به سمت تکنولوژی‌های به‌روز است. باوجود این تنگناها، می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب تخصیص آب، راهکار خوبی در جهت مبارزه با پدیده خشک‌سالی ارائه داد تا ضرر واردشده به قشر زارعین به حداقل برسد. برای مثال، بهینه‌سازی الگوی کشت در شبکه آبیاری قزوین در سال‌های اخیر انجام‌شده است و لازم است اقدامات لازم جهت تکرار این موفقیت در استان اصفهان نیز انجام گیرد. با توجه به بحران منابع آب در سراسر دنیا و به‌تبع آن وضعیت منابع آب در ایران داشتن الگوی کشت بهینه امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است که می‌بایست با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه تعریف، تدوین و بهره‌برداری شود که در این پژوهش این موارد به خوبی برای استان اصفهان تدوین‌شده است و می‌توان با به‌روز کردن اطلاعات اقلیمی هر منطقه‌ای، بر اساس نیاز این الگو را توسعه و مورد بهره‌برداری قرارداد. استفاده از روش‌های نوین آبیاری مناسب مانند انواع آبیاری‌های تحت فشار باران‌دمان بیش از ۹۰ درصد با توجه به نوع محصول، میزان آب قابل وصول و شرایط اقلیمی در توسعه پایدار این مدل‌ها و ترویج آن‌ها اثربخش است.

کشاورزی صنعتی است که در درجه اول برای تأمین غذای انسان‌ها پایه جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی جامعه در طول تاریخ بوده است. به دلیل پهنه گسترده ایران، بایستی کشاورزی در مناطق مختلف کشور به طرز صحیحی انجام شود تا از منابع موجود و نهاده‌های تولید به شکل مناسبی استفاده شود و معمولاً عامل محدودکننده آب می‌باشد (صابونی و مردانی^۱، ۲۰۱۳). باوجود این که تلاش‌هایی در این زمینه انجام‌شده است ولی به‌اندازه کافی نبوده است. در مجموع، سطح زیر کشته‌ای موجود تحت تأثیر روش‌های قدیمی بوده که اکثراً بر اساس منابع آبی و خاکی در نظر گرفته‌شده و گاهی نیز منافع اقتصادی مدنظر بوده است (نیکویی و وارد^۲، ۲۰۱۳). معمولاً تعیین سطح زیر

^۱ Sabouni and Mardani

^۲ Nikouei and Ward

کشت محصولات با توجه به شرایط آب و هوایی، استفاده بهینه از منابع، و در نظر گرفتن منافع اقتصادی تأمین می‌گردد. هم‌چنین اهدافی همچون امنیت غذایی نیز گهگاه مورد توجه قرار می‌گیرد. ضرورت و اهمیت این پژوهش به این دلیل است که آب منبع محدودی است و در هر منطقه با توجه به شرایط خاص آنجا، کشت بعضی محصولات بهتر انجام می‌شود و در نتیجه بسیار ضروری است که توان محلی در تولید گیاهان مختلف در چرخه تولید مدنظر تصمیم‌گیران قرار گیرد تا تخصیص آب برای تولید این محصولات با بازده بالا انجام گیرد. در نتیجه بسیار اهمیت دارد که یک مدل بهینه‌سازی داشته باشیم تا بتوانیم میزان افزایش یا کاهش سطح زیر کشت هر محصول در هر شهرستان را مشخص کنیم.

بیان مسئله این است که در استان، میزان محدودی آب وجود دارد و با توجه به تنوع محصولات تحت کشت، حداکثر سطح زیر کشت بهینه هر محصول برای رسیدن به سود خالص کشاورزان محقق گردد. اهداف تحقیق شامل موارد زیر است: ۱- تعیین تغییرات مورد نیاز در زمینه تخصیص ماهیانه آب، ۲- تعیین تغییرات در حالت تخصیص ماهیانه آب با اعمال تنش آبی، و ۳- تعیین محصولات کشاورزی دارای صرفه اقتصادی برای کشت در منطقه.

ادبیات و مبانی نظری:

تحقیقات متعددی در زمینه بهینه‌سازی انجام شده است. بعضی از این تحقیقات از داده‌های بلندمدت برداشت آب استفاده نمودند و اثرات راهبردهای مدیریت آب متفاوت را بر تغییرات بلندمدت منابع آب بررسی کردند. در مقاله (اسدی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱) بهینه‌سازی محصولات کشاورزی در قزوین با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت انجام گردید و نتایج نشان داد که در دوره‌هایی از کشت که حساسیت گیاهی به مصرف آب کم است می‌توان آبیاری را کم کرد و آب اضافه را جهت تولید محصولات پرسود مانند یونجه مصرف نمود. در مقاله^۲ (برخورداری^۲ و شهدانی^۳، ۲۰۲۱) بهینه‌سازی تخصیص آب در شبکه رودشت انجام گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که با در نظر گرفتن قیدهای توزیع عادلانه آب، می‌توان به مناطقی که درصد کمتری از حقایبه را دارند آب بیشتری اختصاص داد و

¹ Asaadi

² Barkhordari

³ Shahdany

درعین حال پارامترهایی همچون برداشت غیرمجاز از آب زیرزمینی را کمینه نمود. در مقاله (مهرابی^۱ و همکاران، ۲۰۲۰) هدف افزایش سود خالص کشاورزان بود و برای نیل به این هدف از روش جستجوی گرانشی استفاده شد. نتایج نشان داد که با تغییر هوشمندانه سطح زیر کشت می توان افت سطح آب زیرزمینی را به اندازه یک متر کم کرد درحالی که سود خالص نیز حداقل ۱۰٪ افزایش یابد. در مقاله^۲ (مقدسی و همکاران، ۲۰۰۹) از برنامه ریزی غیرخطی استفاده شد. تابع هدف در این تحقیق، بیشینه کردن درآمد در سیستم آبیاری حوضه زاینده رود در اصفهان است. در مقاله ای دیگر (داویجانی و همکاران، ۲۰۱۶) یک مدل بهینه سازی و تخصیص منابع آب در به خش های کشاورزی، صنعتی و تولیدی ایجاد شد که از الگوریتم ازدحام ذرات و ترکیب آن با الگوریتم ژنتیک استفاده می کرد. طبق نتایج آن ها، با کم آبیاری و تغییر مساحت زیر کشت، بعضی محصولات به طور کلی حذف شدند و با این کار سود خالص به اندازه ۵۰٪ افزایش یافت. (مهدی پور و حداد،^۴ ۲۰۱۱) نیز بهینه سازی بهره برداری از مخزن را انجام شد و این محققین بهینه سازی غیرخطی استفاده نمودند. نتیجه این تحقیق یک مدل برنامه ریزی ژنتیک جهت بهره برداری از سد بود که هر دو هدف تولید به رقابتی و نیاز آبی پایین دست را تعیین نمود. (رضایی و همکاران،^۵ ۲۰۱۷) یک مدل برداشت آب هم زمان از دو طریق (آب سطحی و زیرزمینی) پیاده سازی کردند و از روش ازدحام ذرات در بهینه سازی آن استفاده کردند. آن ها نتایج خود را برای دشت نجف آباد پیاده سازی کردند.

نتیجه گیری کلی از تحقیقات گذشته نشان می دهد که بسیاری از محققین توانستند با استفاده از الگوریتم های خطی و غیرخطی به بهینه سازی تخصیص آب بپردازند ولی نقص این تحقیقات این بوده است که استان اصفهان به طور کلی و هم زمان مدل نشده است و تنها مدل هایی که فقط قسمتی از استان را مدنظر قرار می داده مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین در تحقیق حاضر، بهینه سازی برای شهرستان های مختلف استان انجام گردید.

¹ Mehrabi

² Moghaddasi

³ Davijani

⁴ Mehdipour and Haddad

⁵ Rezaei

روش‌شناسی

جهت تجزیه و تحلیل موضوع از نرم‌افزار اکسل بهره برده شده است. زمان و مکان اجرای پژوهش سال زراعی ۹۴-۹۳ و محل آن زمین‌های زیر کشت نجف‌آباد و سایر شهرستان‌های غربی استان اصفهان است. موقعیت استان اصفهان در عرض جغرافیایی $34^{\circ}27'N$ - $30^{\circ}42'$ و طول جغرافیایی $49^{\circ}26'E$ - $55^{\circ}31'E$ قرار دارد. داده‌های موردنظر از سایت وزارت جهاد کشاورزی بخش سیستم هزینه تولید^۱، جهاد کشاورزی استان اصفهان بخش آمار زراعی^۲، و مرکز آمار ایران بخش قیمت فروش محصولات و هزینه خدمات کشاورزی^۳ گردآوری شده است. سازمان‌دهی تحقیق به این صورت است که ابتدا کلیات روش بهینه‌سازی معرفی شده و سپس نتایج به تفکیک هر شهرستان ارائه می‌شود. همچنین شاخص‌های تولید و اقتصادی بررسی خواهد شد. نیازی به تعیین روانی و پایایی داده‌ها نیست زیرا این داده‌ها در تحقیقات متعدد مورد تأیید پژوهشگران قرار گرفته است (گیسکه و همکاران^۴، ۲۰۰۲؛ اکبری و همکاران^۵، ۲۰۰۷). تعریف عملیاتی متغیرهای مهم در ادامه بیان می‌شود. عملکرد^۶ عبارت است از میزان تولید محصول اصلی (ton) در هر هکتار؛ ضریب کم آبیاری به معنی کسری از ۱ ضربدر میزان آبیاری کامل برای رشد و نمو گیاه می‌باشد؛ و سود خالص به معنی سود حاصل از فروش محصول اصلی به قیمت تضمینی یا بازار منهای هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت (شامل نیروی انسانی، ماشین‌آلات، بذر، کود، و غیره) می‌باشد. داده‌ها در یک محیط صفحه گسترده وارد شده و سپس بهینه‌سازی انجام می‌شود.

^۱ سایت: <http://dbagri.maj.ir/cost>

^۲ سایت: <http://www.agri-es.ir/Default.aspx?tabid=1927>

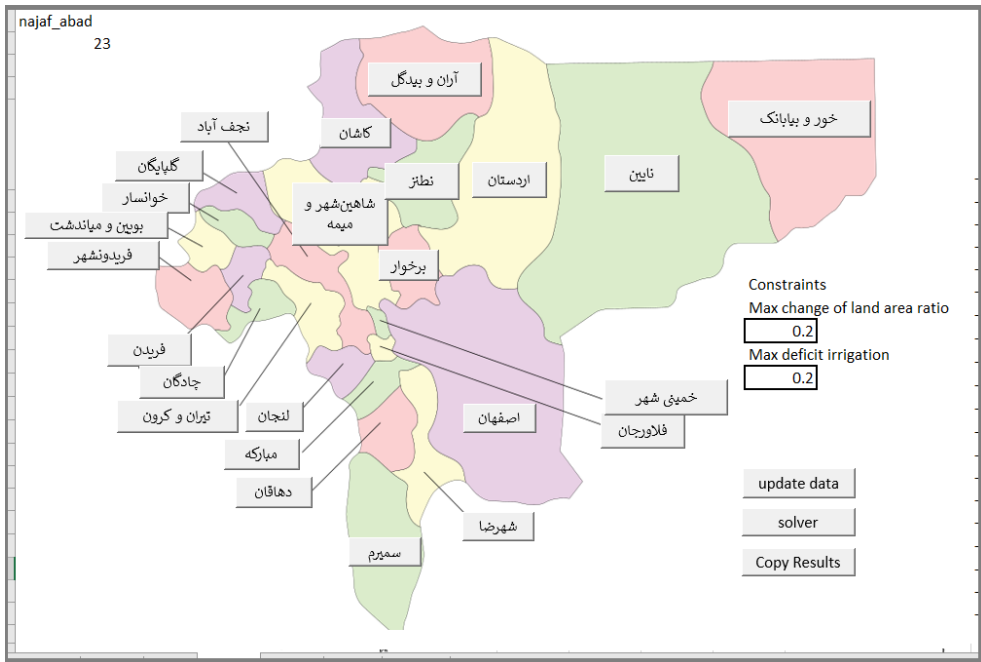
^۳ سایت: https://www.amar.org.ir/Portals/0/Files/fulltext/1394/n_ghfmvkhkhdmrk_94

[1.pdf](#)

^۴ Gieske

^۵ Akbari

^۶ yield



شکل شماره ۱- تعیین سطح زیر کشت و عملکرد محصول برای اجرای بهینه سازی

با توجه به نتایج بهینه سازی، میزان آب مورد نیاز جهت آبیاری زمین های زیر کشت محصولات مختلف در این قسمت ارائه شده است که شامل محصولات مختلف (شلوک، گندم آبی، جو آبی، چغندر قند، سیب زمینی آبی، ذرت آبی، ذرت علوفه ای، یونجه آبی، شبدر، آفتاب گردان آبی، پنبه آبی، عدس آبی، نخود آبی، خیار آبی، گوجه فرنگی آبی، پیاز آبی، هندوانه آبی) است. این محصولات طبق سطح زیر کشت اراضی در سال ۹۴-۹۳ و طبق آمارهای جهاد کشاورزی ارائه شده اند. در بهینه سازی، هدف بیشینه کردن سود خالص کشاورزی بوده است و دو متغیر سطح زیر کشت و نسبت تنش آبی را به عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شد. اگر سطح زیر کشت A باشد، طبق محدودیت های نیروی کار و ماشین آلات موجود، $\Delta A/A$ بین $0/8$ و $1/2$ در نظر گرفته شده. هم چنین نسبت تنش آبی نیز بین $0/8$ و 1 متغیر می باشد. میزان تخصیص آب ماهیانه در دو حالت موجود و بهینه لزوماً یکسان نیست گرچه حجم آب سالیانه یکسان است. نیاز آبی محصولات از NETWAT (علیزاده، ۲۰۰۲)

استخراج شده و راندمان آبیاری ۰/۳۵ برای استان اصفهان در آن اعمال شده است. فرمولاسیون ریاضی مسئله به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} \sum A_{c,i} &< A_i \\ P_{i,c} &= A_{c,i} Y_{c,i} \\ P_i &= \sum_{c=1}^{N_c} P_{i,c} \\ W_{i,m} &= \sum_{c=1}^{N_c} A_{c,i,m} W_{c,i,m} \\ \sum_{m=1}^{12} W_{i,m} &< W_m \\ NB_{c,i} &= P_{c,i} \times price_{c,i} - A_{c,i} \times C_{c,i} \\ NB_i &= \sum_{c=1}^{N_c} NB_{c,i} \\ \max NB_i & \end{aligned}$$

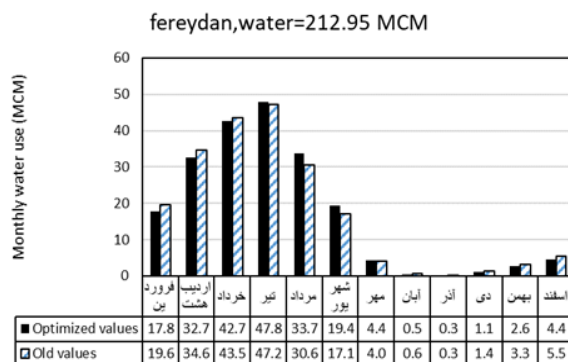
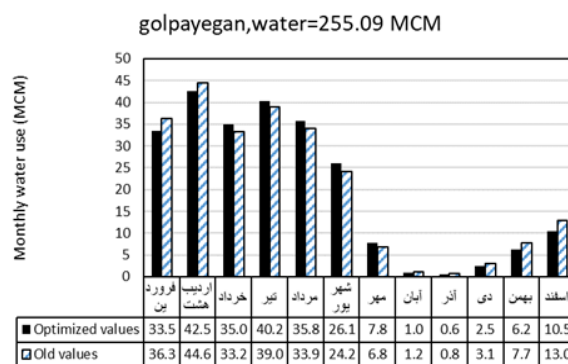
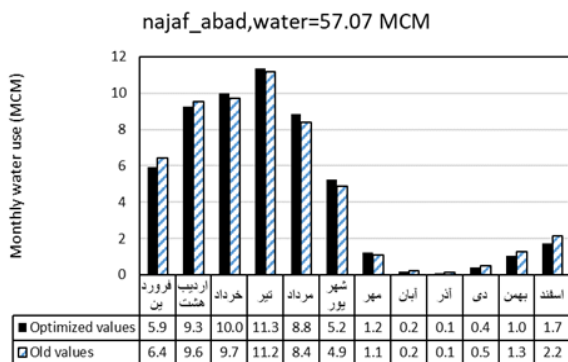
در این رابطه‌ها قید مجموع مساحت تحت کشت، فرمول محاسبه تولید هر محصول، فرمول محاسبه آب مصرفی هر محصول با توجه به سطح زیر کشت و نیاز آبی پایه، قید مربوط به مجموع آب مصرفی سالیانه هر شهرستان، تابع محاسبه سود خالص، و تابع هدف (بیشینه کردن سود خالص) بیان شده‌اند.

تجزیه و تحلیل

نحوه تخصیص آب ماهیانه

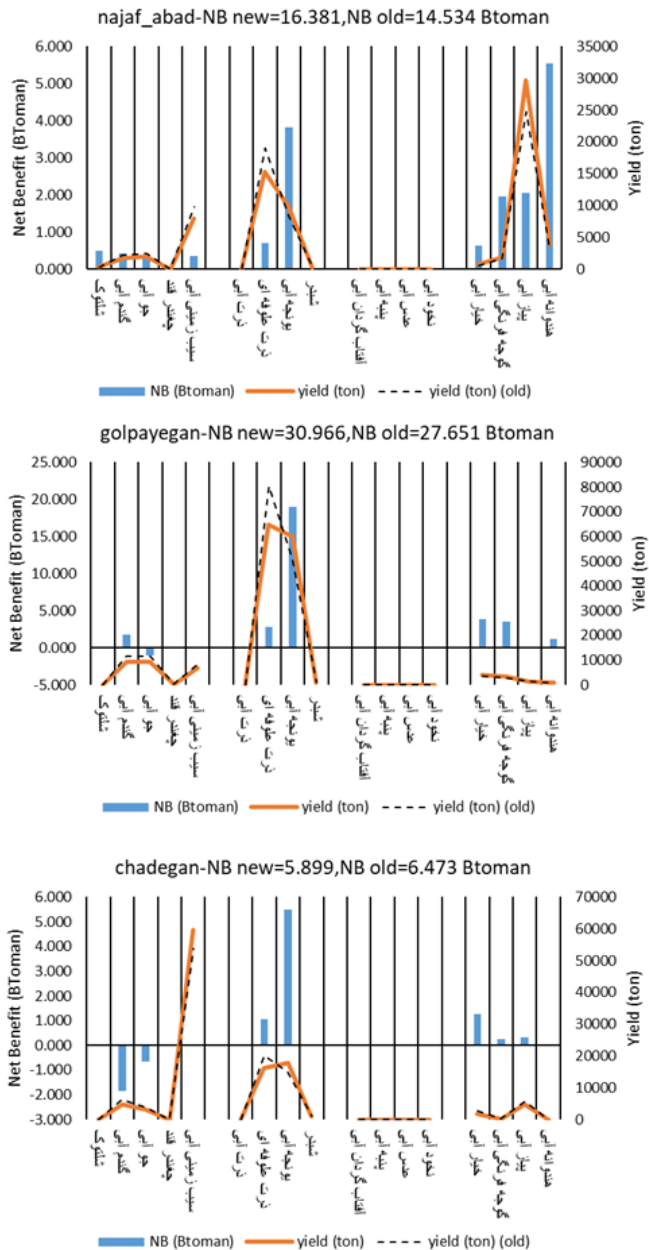
نتایج مربوط به شهرستان لنجان نشان می‌دهد که نیاز آبی شبکه در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور بیشتر از نیاز موجود بوده ولی در فصل بهار نیاز حالت بهینه کمتر از حالت موجود است. این موضوع تقریباً برای شهرستان تیران و کرون نیز برقرار است، با این تفاوت که حداکثر نیاز آبی این شهرستان در فصل بهار رخ داده‌است. در مورد نیاز آبی شهرستان چادگان باید بگوییم که بیشترین نیاز در فصل بهار و

ابتدای تابستان رخ داده است و به خصوص در تیرماه حدود ۲ میلیون مترمکعب نیاز آبیاری بیشتر از مقدار تخصیص موجود می باشد. در شهرستان فریدن حداکثر نیاز در ماه های خرداد و تیر رخ داده است و مشاهده می شود که در ماه های مرداد و شهریور نیز نیاز بهینه شبکه بیشتر از نیاز موجود است. درباره شهرستان فریدن شهر نیاز آبیاری برای محصولات در نظر گرفته شده ۱۰۸ میلیون مترمکعب است که اکثر نیاز آبی در بهار و اول فصل تابستان رخ داده است و نکته جالب این که نیاز آبی در حالت بهینه در ماه های تیر و خرداد کمتر از حالت موجود است که باعث وارد شدن فشار کمتر به شبکه می شود زیرا این ماه ها جزء ماه های پرمصرف آب در بخش کشاورزی هستند. برای شهرستان بویین و میاندشت نیز تقریباً روند مشابهی دیده می شود گرچه نیاز آبی سالانه حدود ۱۷ میلیون مترمکعب کمتر است. در شهرستان خوانسار پیک نیاز ماهیانه در ماه فروردین و اردیبهشت رخ داده که نیاز بهینه شبکه کمتر از نیاز موجود است ولی در ماه های تابستان نیاز بهینه بیشتر از نیاز موجود است.



شکل شماره ۲- میزان آبیاری مورد نیاز ماهیانه جهت کشت چندین محصول طبق داده‌های سال زراعی ۹۴-۹۳ در دو حالت

موجود و بهینه‌سازی شده برای سه شهرستان غربی استان اصفهان



شکل شماره ۳- عملکرد و سود خالص کشت محصولات مختلف طبق داده‌های سال زراعی ۹۴-۹۳ در دو حالت موجود و

بهبه‌سازی شده برای سه شهرستان غربی استان اصفهان

در شهرستان گلپایگان که مصرف آب ۲۵۵ میلیون مترمکعب در سال است، تمامی ماه‌های بهار و تابستان در حالت‌های موجود و بهینه پرمصرف هستند. برای شاهین‌شهر، مشاهده می‌شود که مصرف ماه فروردین به اندازه ۰/۵ میلیون مترمکعب کمتر از ماه مشابه در وضعیت موجود است. به‌طور کلی تغییر خاصی در تخصیص ماهیانه آب دیده نشده است و بیشترین مصرف آب در تابستان و بهار بوده ولی در پاییز و زمستان مصرف بسیار ناچیز بوده است. در شهرستان شاهین‌شهر، الگوی آبیاری بهینه نیازمند آب کمتری در بهار و آب بیشتری در تابستان است. گزیده‌ای از نتایج برای شهرستان‌های منتخب در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- گزیده‌ای از نتایج برای شهرستان‌های منتخب

شهرستان	گزیده نتایج
لنجان	بیش‌ترین سود خالص: برنج (۱۶ میلیارد تومان) دومین رتبه سود خالص: هندوانه (۴ میلیارد تومان) محصولات با بیشترین تناژ تولید: ذرت علوفه‌ای، شلتوک، هندوانه آبی و سیب‌زمینی
تیران و کرون	بیش‌ترین سود: هندوانه، بیش‌ترین تولید: ذرت علوفه‌ای (۴۰ هزار تن)
چادگان	بیش‌ترین سود خالص: یونجه آبی و خیار آبی بیش‌ترین تولید: سیب‌زمینی آبی (۵۰ هزار تن)، ذرت (۲۰ هزار تن) و یونجه علوفه‌ای (۱۵ هزار تن)
فریدن	بیش‌ترین تولید و سود: پیاز آبی (۱۲۰ هزار تن تولید) دومین رتبه تولید: ذرت علوفه‌ای (۷۰ هزار تن) رتبه دوم سود خالص: یونجه آبی (۷ میلیارد تومان)
فریدون‌شهر	بیش‌ترین سود خالص: یونجه آبی، ذرت علوفه‌ای، خیار آبی و گندم سود خالص کشاورزی کل شهرستان: ۵/۳ میلیارد تومان افزایش سود خالص شهرستان: ۱ میلیارد تومان
بویین و میاندشت	بیش‌ترین سود: گندم آبی و یونجه آبی؛ محصول ضرر ده: جو آبی، بیش‌ترین تولید: سیب‌زمینی افزایش سود خالص ناشی از بهینه‌سازی: ۶۰۰ میلیون تومان
خوانسار	بیش‌ترین سود: یونجه آبی محصولاتی که تولید آن‌ها در جواب بهینه تغییری نکرد: یونجه آبی، ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی آبی و گندم آبی (هر یک ۲ هزار تن)، افزایش سود خالص: ۱۳۰ میلیون تومان
نجف‌آباد	بیش‌ترین سود: هندوانه آبی، یونجه آبی، پیاز آبی و گوجه‌فرنگی آبی بیش‌ترین تناژ تولید: ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی و پیاز

افزایش سود خالص در جواب بهینه: ۱۲٪ یا ۱/۸ میلیارد تومان	
بیشترین تولید: ذرت آبی (۱۸۰ هزار تن) و یونجه (۲۰ هزار تن)	شاهین شهر
افزایش سود خالص در جواب بهینه: ۱۴٪ یا ۲ میلیارد تومان	

تغییرات مورد نیاز در الگوی کشت در شرایط تنش آبی

با توجه به این که در حالت موجود، کم آبیاری مورد نظر کشاورزان نیست، و در بعضی موارد اعمال ضریب کم آبیاری در کل به صرفه اقتصادی است زیرا با آب اضافه می توان محصولات پرسودتری را کاشت. بنابراین یکی از تغییرات مورد نیاز، اعمال ضرایب کم آبیاری به محصولات است که مطابق با جدول ۲ برای هر یک از شهرستان های غربی ذکر شده است.

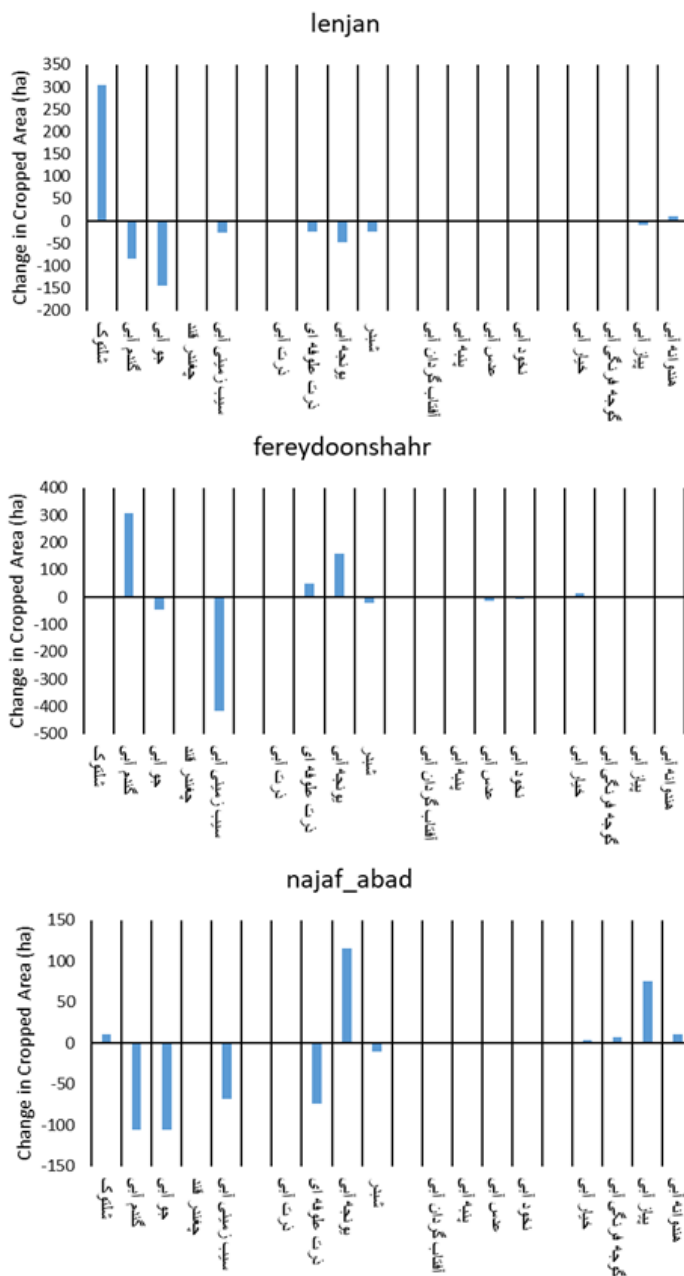
در شهرستان لنجان، اعمال کم آبیاری ۲۰٪ برای یونجه آبی، شبدر و نخود آبی از نتایج بهینه سازی بوده است. کم آبیاری برای شبدر در شهرستان های فریدن، فریدون شهر، گلپایگان و نجف آباد نیز بایستی اعمال گردد. در استان فریدون شهر تنش آبی تقریباً ۱۰٪ ای نیز بایستی به عدس آبی اعمال شود تا به شرایط بهینه بتوانیم برسیم.

جدول ۲- ضرایب کم آبیاری برای محصولات مختلف

شاهین شهر	نجف آباد	گلپایگان	خوارسار	بوئین و میاندشت	فریدن شهر	فریدن	چادگان	کرون و تیران	انجان	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	شلتوک
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	گندم آبی
۱	۱	۱	۱	۰/۹۹	۱	۱	۱	۱	۱	جو آبی
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	چغندر قند
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	سیب زمینی آبی
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	ذرت آبی
۱	۱	۱	۱	۰/۹۹	۱	۱	۱	۱	۱	ذرت علوفه‌ای
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۸	۰/۸	یونجه آبی
۱	۰/۸	۰/۸	۱	۰/۹۴	۰/۸	۰/۸	۱	۱	۰/۸	شبدر
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	آفتاب گردان آبی
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	پنبه آبی
۱	۱	۱	۱	۰/۹۱	۱	۱	۱	۱	۱	عدس آبی
۱	۱	۱	۱	۰/۸۸	۱	۱	۱	۱	۰/۸	نخود آبی
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	خیار آبی
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	گوجه فرنگی آبی
۱	۱	۱	۱	۰/۹۸	۱	۱	۱	۱	۱	پیاز آبی
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	هندوانه آبی

درباره سطح زیر کشت، شهرستان تیران و کرون با افزایش سطح شلتوک، و کاهش سطح گندم آبی و جو می‌تواند سود خود را افزایش دهد. در شهرستان تیران و کرون نیز با کاهش سطح گندم و جو، و افزایش سطح ذرت علوفه‌ای و یونجه روبه‌رو بودیم. در شهرستان چادگان نیز افزایش سود خالص به معنی افزایش کاشت سیب‌زمینی و یونجه آبی می‌باشد. سطح گندم و جو نیز کم شده است که این موضوع در شهرستان فریدن هم دیده می‌شود. ولی در فریدن، سطح کشت سیب‌زمینی به اندازه ۵۰۰ هکتار کم شده است و به جای آن کشت ذرت علوفه‌ای، یونجه آبی و پیاز آبی جایگزین شده است.

در شهرستان فریدون‌شهر شاهد افزایش کشت گندم و یونجه و کاهش کشت سیب‌زمینی بوده‌ایم. توجه کنید که ۴۰۰ هکتاری که از کشت سیب‌زمینی کم شده است تقریباً با گندم و یونجه جایگزین شده است. در بویین و میاندهشت نیز روند مشابهی دیده می‌شود با این تفاوت که سطح زیر کشت جو نیز کم شده است. برای شهرستان‌های خوانسار و گلپایگان، سطح زیر کشت گندم و جو کاهش یافته است. کاهش سطح گندم در این دو شهرستان به ترتیب ۸۰ و ۶۰۰ هکتار در اثر اجرای سناریو بهینه‌سازی است و برای یونجه سطح کشت به میزان ۶۰ و ۸۰۰ هکتار افزایش یافته است. درباره شبدر نیز کاهش جزئی سطح زیر کشت آن را در گلپایگان شاهد بودیم. در شهرستان نجف‌آباد، سطح زیر کشت همه محصولات به جز یونجه و پیاز تقریباً ثابت بوده یا با کاهش روبه‌رو شده است. برای مثال سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای به اندازه ۱۰۰ هکتار کم شده است. در شهرستان شاهین‌شهر، تنوع گیاهان کشت شده کمتر است و به همین دلیل حدود ۱۲۰۰ هکتار اراضی زیر کشت گندم و جو حذف شده و حدود ۶۰۰ هکتار به محصولات ذرت علوفه‌ای و یونجه اختصاص داده شده که آب بیشتری می‌برند ولی سود خالص آن‌ها بیشتر است.



شکل شماره ۴- تغییر سطح زیر کشت محصولات داده‌های سال زراعی ۹۳-۹۴ بین دو حالت موجود و بهینه‌سازی شده برای سه

شهرستان منتخب در غرب استان اصفهان

سؤال سوم: کدام محصولات کشاورزی دارای صرفه اقتصادی برای کشت در هر منطقه هستند؟

در مورد این که کدام محصول در هر شهرستان دارای صرفه اقتصادی است، سود خالص هر یک از محصولات در هر هکتار در حالت آبیاری کامل را در جداول ۳ و ۴ ارائه کردیم. به طور کلی، کم آبیاری باعث کاهش سود می شود زیرا اثر کاهش هزینه ها در اثر کم شدن آبیاری ها نسبت به کاهش میزان تولید اثر کمتری دارد. مطابق با جدول ۳، برای استان اصفهان بیشترین سود به ترتیب متعلق به شلتوک، سیب زمینی آبی و ذرت آبی در میان محصولات زراعی اصلی و گوجه فرنگی، هندوانه و خیار بین محصولات صیفی جات می باشد. برای بعضی محصولات، تفاوت عمده ای میان سود خالص بین شهرستان ها دیده می شود. مثلاً کاشت گندم آبی در شهرستان های اصفهان و لنجان سودآور و در شهرستان های چادگان و فریدن ضرر ده است. در مورد جو، شهرستان هایی که بیشترین سود کشت این محصول را دارند اصفهان و نجف آباد هستند. برای چغندر قند، کمترین و بیشترین سود مربوط به گلپایگان و فریدن است. برای سیب زمینی، شهرستان اصفهان و لنجان با توجه به عملکرد بهتر سیب زمینی در صدر قرار دارند ولی کشت این محصول در شهرستان های دیگر به صلاح نیست. کشت ذرت علوفه ای در سه شهرستان تیران و کرون، چادگان و خوانسار سود بالاتری از شهرستان های دیگر دارد. درباره یونجه، نجف آباد، شاهین شهر و میمه و اصفهان است. کشت شبدر در خیلی شهرستان ها سود ده نیست و از کاشت آن در شاهین شهر باید پرهیز شود.

جدول ۳- میزان سود خالص کشت محصولات در شهرستان‌های مختلف بر حسب میلیون تومان بر هکتار در سال کشاورزی ۹۴-۱۳۹۳ برای شهرستان‌های اصفهان، بویین و میاندشت، تیران و کرون، چادگان، و خوانسار

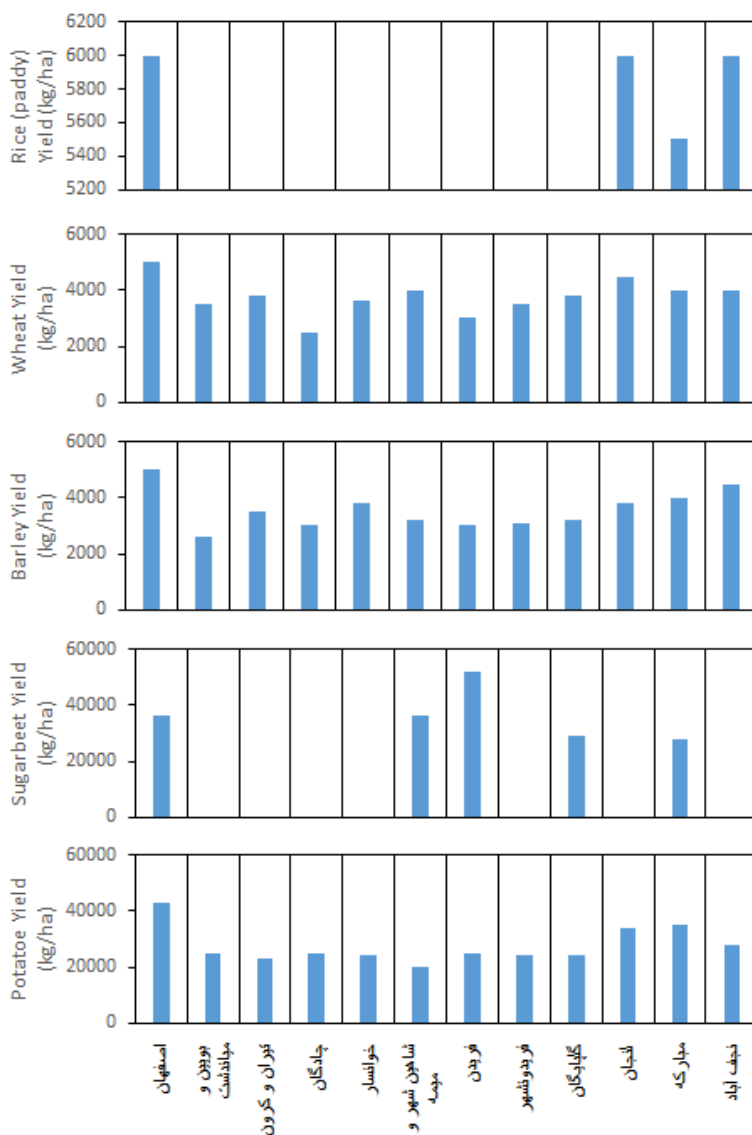
	اصفهان	بویین و میاندشت	تیران و کرون	چادگان	خوانسار
شلتوک	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵
گندم آبی	۲/۱	۰/۴	۰/۷	-۰/۸	۰/۵
جو آبی	۱/۳	-۰/۹	-۰/۱	-۰/۵	۰/۲
چغندر قند	۳/۴	۳/۸	۳/۸	۳/۸	۳/۸
سیب‌زمینی آبی	۷/۳	۱/۰	-۰/۷	۰/۱	-۰/۳
ذرت آبی	۴/۹	۴/۹	۴/۹	۴/۹	۴/۹
ذرت علوفه‌ای	۳/۶	۳/۶	۴/۳	۴/۳	۴/۳
یونجه آبی	۳/۹	۲/۳	۲/۹	۳/۱	۲/۳
شبدر	۰/۸	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۵
آفتاب‌گردان آبی	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸
پنبه آبی	-۲/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
عدس آبی	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸
نخود آبی	۱/۰	۱	۱	۱	۱
خیار آبی	۱۱	۲۴/۸	۳۸/۵	۲۱	۲۴/۸
گوجه‌فرنگی آبی	۳۷/۸	۳۶/۵	۳۳/۹	۳۷/۸	۳۶/۵
پیاز آبی	۳/۲	۱۱/۳	۲/۴	۴/۵	۲/۴
هندوانه آبی	۲۴/۱	۴۰	۸۴/۱	۴۰	۴۰

درباره محصول آفتابگردان، اولویت خاصی بین شهرستان‌ها وجود ندارد ولی از کشت پنبه در شهرستان اصفهان باید پرهیز نمود زیرا عملکرد فنی آن در این شهرستان کم است. کشت عدس در فریدن و فریدون‌شهر نیز سود چندانی در بر ندارد زیرا عملکرد این محصول در این شهرستان‌ها کم است. در میان صیفی‌جات و سبزیجات زراعی، کشت خیار در تیران و کرون، کشت گوجه‌فرنگی در لنجان و گلپایگان، کشت پیاز در بویین و میاندشت، و کشت هندوانه در نجف‌آباد و تیران و کرون توصیه می‌شود (جدول ۴).

جدول ۴- میزان سود خالص کشت محصولات در شهرستان‌های مختلف بر حسب میلیون تومان بر هکتار در سال کشاورزی ۹۴-۱۳۹۳ برای شهرستان‌های شاهین‌شهر و میمه، فریدن، فریدون‌شهر، گلپایگان، لنجان و نجف‌آباد

شاهین‌شهر و میمه	فریدن	فریدون‌شهر	گلپایگان	لنجان	نجف‌آباد
شلتوک	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵
گندم آبی	۰/۹	-۰/۲	۰/۴	۰/۷	۱/۵
جو آبی	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۴	-۰/۳	۰/۲
چغندر قند	۳/۴	۸/۳	۳/۸	۱/۴	۳/۸
سیب‌زمینی آبی	-۱/۹	۰/۱	-۰/۳	-۰/۳	۳/۷
ذرت آبی	۴/۹	۴/۹	۴/۹	۴/۹	۴/۹
ذرت علوفه‌ای	۱/۶	۳	۳/۶	۲/۱	۳/۶
یونجه آبی	۳/۹	۳/۱	۲/۳	۳/۲	۳/۱
شیدر	-۳	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۵
آفتاب‌گردان آبی	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸
پنبه آبی	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
عدس آبی	۰/۸	-۰/۶	۰/۱	۰/۸	۰/۸
نخود آبی	۱	۰/۳	۱/۲	۲/۱	۰/۸
خیار آبی	۲۴/۸	۲۲/۳	۲۲/۳	۳۲/۳	۲۲/۳
گوجه‌فرنگی آبی	۳۳/۹	۳۲/۶	۳۶/۵	۳۹/۱	۳۹/۱
پیاز آبی	۴/۵	۹/۹	۴/۵	-۳/۶	-۲/۲
هندوانه آبی	۵۱/۱	۴۰	۴۰	۳۹/۱	۶۱/۶

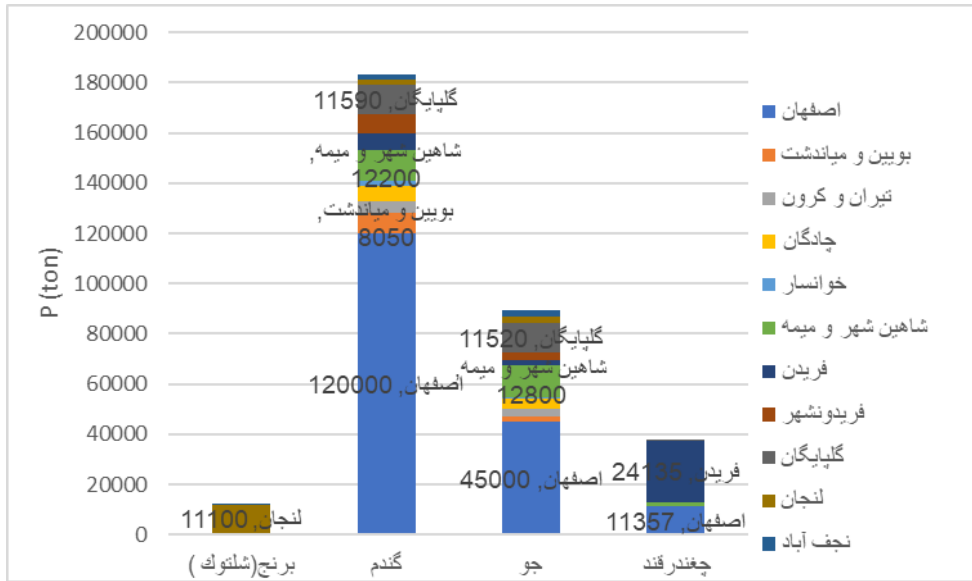
در میان محصولات ذکرشده، توجه ویژه‌ای به سمت محصولات اساسی معطوف است. سود به کنار، برای تأمین انرژی مردم کشور (از نظر کالری)، تأمین گیاهانی همچون برنج، گندم، چغندر قند و سیب‌زمینی اهمیت اساسی دارد. کشت این محصولات در شهرستان‌هایی که از نظر فنی توان دستیابی به عملکرد بالاتری دارند به‌صرفه‌تر است. به همین جهت شکل زیر را برای این محصولات اساسی را ارائه کردیم که نشان می‌دهد برنج در شهرستان‌های اصفهان، لنجان و نجف‌آباد کشت شود بهتر است. برای گندم، شهرستان‌های اصفهان و لنجان بالاترین عملکرد میانگین را دارند. برای جو، شهرستان اصفهان و نجف‌آباد در صدر لیست کارایی قرار دارند. برای چغندر قند، فریدن بهترین محل کاشت است. همچنین برای سیب‌زمینی بهترین عملکرد مربوط به شهرستان اصفهان است.



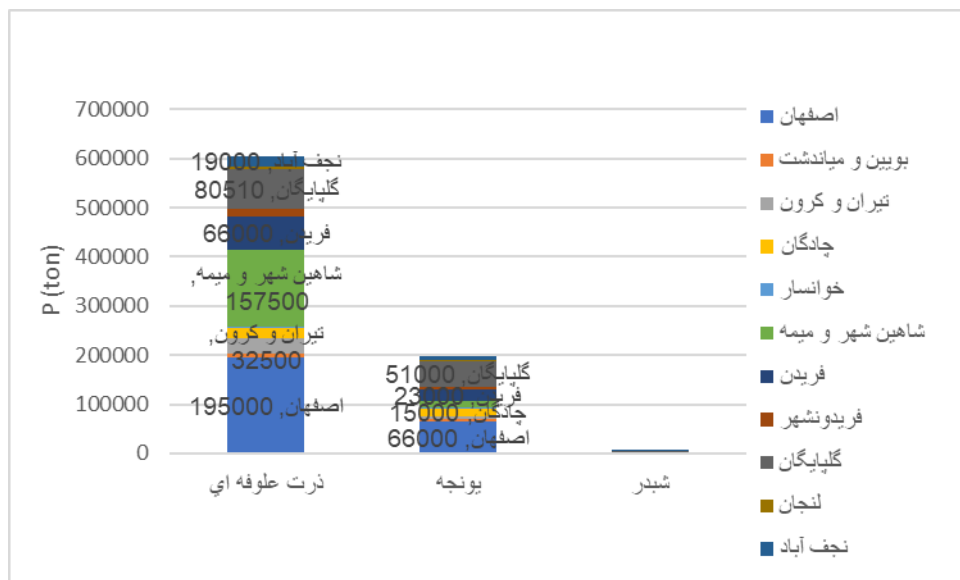
شکل شماره ۵- مقایسه عملکرد محصولات اساسی در شهرستان‌های غربی

عامل مهم دیگر برای در نظر گرفتن مناسب بودن هر شهرستان برای کشت هر محصول، میزان تولید آن محصول می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که زمین‌هایی در این منطقه وجود دارد که دست‌کم یک سال محصول موردنظر را در سطح وسیعی کشت کرده‌اند و محصول با تناژ مناسبی برداشت

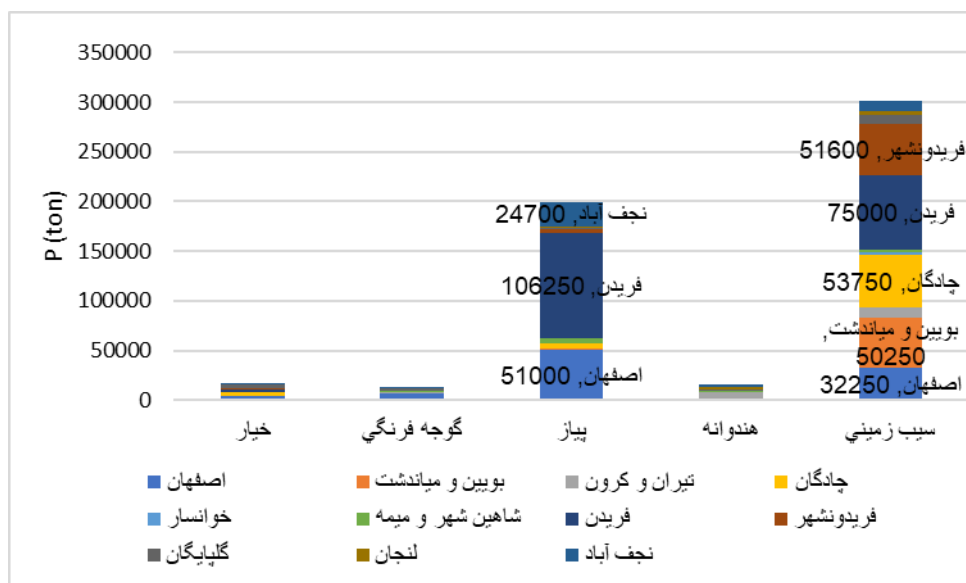
کرده‌اند. درباره محصول گندم، تولید شهرستان‌های اصفهان، بویین و میاندشت، شاهین‌شهر و میمه و گلپایگان بیش از بقیه شهرستان‌ها بوده (به ترتیب ۱۲۰، ۸، ۱۲ و ۱۱ هزار تن تولید).



شکل شماره ۶- میزان تولید محصولات برنج، گندم، جو، و چغندر قند بر حسب تن در سال ۹۴-۹۳ درباره محصول جو، شهرستان‌های شاهین‌شهر و میمه و گلپایگان به همراه اصفهان با تولید ۱۲/۸، ۱۱/۵ و ۴۵ هزار تن از بقیه شهرستان‌ها تولید بیشتری داشته‌اند. تولید چغندر قند در استان به‌طور گسترده پیگیری نشده ولی در شهرستان اصفهان و فریدن تولید آن بیشتر از بقیه جاها بوده و مجموعاً حدود ۳۸ هزار تن در این دو شهرستان تولید چغندر داشته‌ایم. تولید برنج نیز به شهرستان لنجان متمرکز شده زیرا آنجا به کشت برنج لنجان معروف است و ۱۱ هزار تن برنج محصول از این منطقه حاصل گشته است. بنابراین برای برنج، بهترین محل کشت همان شهرستان لنجان است.



شکل شماره ۷- میزان تولید محصولات ذرت علوفه‌ای، یونجه و شبدر بر حسب تن در سال ۹۴-۹۳ در زمینه محصولات علوفه‌ای، ذرت علوفه‌ای در شهرستان‌های اصفهان، تیران و کرون، شاهین شهر و میمه، فریدن، و گلپایگان تولید زیادی داشته است که در مجموع، ۶۰۰ هزار تن از این محصول تولید شده است. به‌طور کلی سه شهرستان اصفهان، شاهین شهر و میمه و گلپایگان بیشترین تولید ذرت علوفه‌ای را داشته‌اند. یونجه نیز محصول علوفه‌ای دیگری است که ارزش غذایی بالاتری از ذرت علوفه‌ای دارد و تولید آن در شهرستان‌های اصفهان و گلپایگان به ترتیب ۶۶ و ۵۱ هزار تن بوده است. شهرستان‌های فریدن و چادگان نیز مجموعاً ۳۷ هزار تن تولید یونجه داشته‌اند. تولید شبدر در شهرستان‌های غربی استان مورد توجه نبوده است.



شکل شماره ۸- میزان تولید محصولات خیار، گوجه، پیاز، هندوانه و سیب‌زمینی بر حسب تن در سال ۹۴-۹۳ در زمینه محصولات زراعی که مشترک با میوه‌جات و سبزیجات هستند، دو محصول پیاز و سیب‌زمینی به‌طور عمده در غرب استان اصفهان کشت شده است. تولید پیاز در شهرستان‌های نجف‌آباد، فریدن و اصفهان بیش از بقیه جاها بوده است (به ترتیب ۲/۷، ۶/۲ و ۵۱ هزار تن). برای سیب‌زمینی نیز تولید در شهرستان‌های اصفهان، بوئین و میاندشت، چادگان، فریدن و فریدون‌شهر به میزان ۳۲، ۵۰، ۵۴، ۷۵ و ۵۲ هزار تن به صورت جدی دنبال شده است. در نتیجه این محصولات در شهرستان‌های فوق بهتر جواب داده‌اند. تولید هندوانه، گوجه‌فرنگی و خیار آب زیادی مصرف می‌کند و سطح زیر کشت زیادی در غرب استان نداشته است. محصول سیب‌زمینی نیز از نظر فراهم کردن کالری جزء محصولات راهبردی می‌باشد و تولید عمده آن از نظر تصمیم‌گیران کار درستی می‌باشد.

در رتبه‌بندی سود اقتصادی، تولید خیار، گوجه، پیاز و سیب‌زمینی بیشترین سود خالص را به همراه داشته است. محصولات زراعی دیگر از جمله برنج، گندم، جو، و چغندر قند در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

در رتبه‌بندی این‌که کدام شهرستان مناسب کشت محصولات مختلف است، شهرستان‌های اصفهان و نجف‌آباد در کشت محصولاتی گندم و جو مزیت دارند. برای کشت سیب‌زمینی و چغندر قند، پیاز و سیب‌زمینی بهترین مکان شهرستان‌ها فریدن است.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش از این نظر اهمیت دارند که نشان می‌دهند با تغییرات حاصل از بهینه‌سازی، می‌توان سود خالص کشاورزان را در بسیاری از موارد به میزان ۱۰٪ افزایش داد، که در هر شهرستان به عدد یک میلیارد تومان یا بیشتر می‌رسد. یافته‌های این پژوهش نیز مشابه با تحقیق‌های دیگر است که نشان می‌دهد اگر قید روی تولید محصولات اساسی گذاشته نشود، آنگاه جواب بهینه‌سازی به سمت کاهش تولید گندم و افزایش تولید محصولاتی که دارای قیمت تضمینی نیستند و با قیمت بالاتر بازار به فروش می‌روند خواهد رفت (از جمله حبوبات و سبزیجات مثل گوجه). سود خالص به ازای هر هکتار کشت محصولات مختلف در جداول ۳ و ۴ به تفکیک شهرستان ذکر شده است. سود خالص برای شلتوک، ذرت آبی، و آفتابگردان آبی بین شهرستان‌های مختلف تفاوتی ندارد (زیرا در بیشتر شهرستان‌ها این محصول کشت نشده و ما از عملکرد میانگین برای همه شهرستان‌ها استفاده کردیم). برای گندم، بیش‌ترین و کمترین سود متعلق به شهرستان‌های اصفهان و فریدن است. برای محصول جو، کمترین سود در شهرستان بوبین و میاندشت و بیشترین سود در شهرستان اصفهان رخ داده است. برای چغندر قند، بیش‌ترین و کمترین سود مربوط به فریدن و گلپایگان است. برای سیب‌زمینی آبی، بیش‌ترین و کمترین سود خالص مربوط به شهرستان اصفهان و شاهین‌شهر است. برای ذرت علوفه‌ای سه شهرستان تیران و کرون، چادگان و خوانسار بیشترین سود خالص (۴/۳ میلیون تومان بر هکتار) را دارند. برای یونجه آبی بیشترین سود مربوط به شهرستان نجف‌آباد (۴/۷ میلیون تومان بر هکتار) است. برای شبدر، بیش‌ترین و کمترین سود متعلق به شهرستان‌های اصفهان و شاهین‌شهر است. کشت پنبه آبی در شهرستان اصفهان ضرر ده است.

همچنین نمودارهای تولید محصولات مختلف نیز ارائه شده است که نشان می‌دهد بیشترین میزان تناژ تولید برای برنج در شهرستان لنجان، برای گندم در شهرستان‌های اصفهان، بویین و میانداشت، شاهین‌شهر و میمه و گلپایگان؛ برای جو در شهرستان‌های اصفهان، شاهین‌شهر و میمه و گلپایگان، برای چغندر قند در شهرستان‌های اصفهان و فریدن؛ برای محصول ذرت علوفه‌ای در شهرستان‌های اصفهان، تیران و کرون، شاهین‌شهر و میمه، فریدن، گلپایگان و نجف‌آباد؛ برای محصول یونجه بیشترین تولید در شهرستان‌های اصفهان، چادگان، فریدن و گلپایگان؛ برای محصول پیاز بیشترین تولید در شهرستان‌های اصفهان، فریدن و نجف‌آباد؛ و برای محصول سیب‌زمینی بیشترین تولید محصول در شهرستان‌های اصفهان، بویین و میانداشت، چادگان، فریدن و فریدون‌شهر رخ داده است. هم‌چنین برای محصولات راهبردی برنج و جو، بهترین عملکرد (تولید بر هکتار) برای شهرستان‌های اصفهان قابل‌دستیابی است. برای چغندر قند (راهبردی در تولید شکر) و سیب‌زمینی (راهبردی به علت محتوی کالری بالا) بیش‌ترین عملکرد به ترتیب متعلق به شهرستان‌های فریدن و اصفهان است. از نتایج این تحقیق به عنوان کمک یار مدیران شبکه و افراد مسئول برای تخصیص آب می‌توان استفاده کرد.

پیشنهاد

با توجه به نتایج تحقیق، پیشنهاد می‌گردد، اثر راندمان آبی نیز موردبررسی جداگانه قرار گرفته و با تجمع عوامل مشترک، ملاحظات مربوطه به صورت یکنواخت استخراج و در راستای ارتقاء و افزایش آن، راهکارهای مناسب عملیاتی گردد. برای این کار بایستی راندمان آبیاری موجود محاسبه شده و برای روش‌های جایگزین (مثل آبیاری قطره‌ای و بارشی) تحلیل قیمت دقیق انجام شود. در این صورت خواهیم توانست که اثر این پارامتر برافزایش تولید محصول با ثابت در نظر گرفتن میزان آب تخصیص یافته سالیانه را محاسبه نماییم.

منابع

Akbari, M., Toomanian, N., Droogers, P., Bastiaanssen, W., & Gieske, A. (2007). Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery. *Agricultural water management*, 88(1-3), 99-109.

Alizadeh, A. (2002). Estimated net irrigation requirement of Iranian crops and gardens (NETWAT software development), Ministry of Agriculture and Iranian Meteorological Organization.

Asaadi, M. A., Khalilian, S., & Mousavi, S. H. (2021). Evaluation of Agricultural Sustainability Indicators and Determination of Cropping Patterns with Emphasis on Deficit Irrigation Strategy: the Case of the Qazvin Irrigation Network, Iran. *Water Conservation Science and Engineering*, 6(1), 11-23.

Barkhordari, S., & Shahdany, S. M. H. (2021). Developing a smart operating system for fairly distribution of irrigation water, based on social, economic, and environmental considerations. *Agricultural Water Management*, 250, 106833.

Davijani, M. H., Banihabib, M. E., Anvar, A. N., & Hashemi, S. R. (2016). Multi-objective optimization model for the allocation of water resources in arid regions based on the maximization of socioeconomic efficiency. *Water resources management*, 30(3), 927-946.

Gieske, A., Toomanian, N., & Torabi, M. (2002). *Irrigated area by NOAA-Landsat upscaling techniques* (No. 10). IAERI-EARC-IWMI Research Project. Report.

Mehdipour, E. F., & Haddad, O. B. (2011). optimization of multipurpose Reservoir operation with application particle swarm optimization algorithm. *J. Water Wastewater*, 23(4), 97-105.

Mehrabi, A., Heidarpour, M., Safavi, H. R., & Rezaei, F. (2021). Assessment of the optimized scenarios for economic-environmental conjunctive water use utilizing gravitational search algorithm. *Agricultural Water Management*, 246, 106688.

Moghaddasi, M., Morid, S., & Araghinejad, S. (2009). Optimization of water allocation during water scarcity condition using non-linear programming, genetic algorithm and particle swarm optimization (Case study), *Iran Water Resources Research*, 4(3), 1-13.

Nikouei, A., & Ward, F. A. (2013). Pricing irrigation water for drought adaptation in Iran. *Journal of Hydrology*, 503, 29-46.

Rezaei, F., Safavi, H. R., Mirchi, A., & Madani, K. (2017). f-MOPSO: An alternative multi-objective PSO algorithm for conjunctive water use management. *Journal of Hydro-environment Research*, 14, 1-18.

Sabouni, M. S., & Mardani, M. (2013). Application of robust optimization approach for agricultural water resource management under uncertainty. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 139(7), 571-581.

