Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Adaptation to water scarcity in the country's crop production through cropping pattern optimization

Afshin Soltani[1*], Shahrzad Mirkarimi[2], Ramtin Joolaie[3], Farshid Eshraghi[4] , Abdolrahman Mirzaei[5]

[1] Coressponding author, Faculty Member, Department of Agriculture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Email: Afshin.Soltani@gmail.com
[2] Visiting Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Email: shahrzadmirkarimi@yahoo.com
[3] Faculty Member, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Email: joolaie@gau.ac.ir
[4] Faculty Member, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Email: eshraghi@gau.ac.ir
[5] PhD Student of Agroecology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Email: Abdolrahmanmirzaei@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2025-1-5
Accepted: 2025-2-26

Keywords:
Agriculture
Adaptation to water scarcity
Cropping pattern
Farmers' income
Linear programming

ABSTRACT

Background and Objective: water over-withdrawal in Iran is like a cancer that has taken root in the country's nature and is making its conditions difficult every day. Therefore, planning and effective measures must be taken at the country level to reduce this over-withdrawal. For this purpose, in the present study, it was assumed that withdrawal water for agriculture in the country would decrease from 86 billion m^3 per year to 62 billion m^3 per year (the allocable volume of water for agriculture as announced by the Ministry of Energy). Then, using linear programming, the current cropping pattern was optimized with the aim of maximizing farmers' income.

Materials and Methods: In this study, information on the cultivated area, yield per unit area, price and production cost (2013-2017) of more than 30 important plant species was collected separately for each province of the country. To estimate the irrigation water volumes under farmers' conditions, a crop simulation model (SSM-iCrop2) was used, which has been tested and set up to simulate the growth, yield and field water balance for more than 30 plant species throughout the country. The economic mathematical programming model was solved using LINGO software.

Results: The results showed that reducing water withdrawal from 86 to 62 billion m^3 per year without changing the cropping pattern would cause the country's irrigated area to decrease by 29 percent (from 8,409 to 5,949 thousand hectares) and farmers' income would also decrease by 30 percent (from 173 to 121 thousand billion rials). However, the optimization of the cropping pattern resulted in an 18% reduction in the cultivated area (from 8,409 to 6,907 thousand hectares) and an increase in farmers' income by 9% (from 173 to 190 thousand billion rials); that is, while water withdrawal decreased by 28%, farmers' income not only did not decrease but also increased with the

optimization of the cropping pattern. The optimized cropping pattern also created significant savings in fertilizer and energy consumption, which is of great importance in conditions of limited energy resources. The most important changes in the optimized cropping pattern were the increase in the cultivated area and production of potato and summer vegetables (104 and 76 percent more than the country's needs, respectively) that must be exported, and the decrease in the cultivated area, production, and consequently increased dependence on imports in sugar-beet, barley, silage corn, and alfalfa. In the optimized cropping pattern, high dependency (more than 50%) to import of oilseeds, grain corn, and meal will continue as in the current conditions (current cropping pattern).

Conclusion: Optimization of the cropping pattern makes it possible to reduce water withdrawal to the level that the Ministry of Energy without reducing farmers' income. However, there will still be some reduction in the area under irrigated cultivation and, as a result, a decrease in the self-sufficiency of some crops. Thus, the expectations of the country's crop production capacity must be rationalized and reduced.

Cite this article: Soltani, A., Mirkarimi, Sh., Joolaie, R., Eshraghi, F., Mirzaei, A.R. 2025. Adaptation to water scarcity in the country's crop production through cropping pattern optimization. *Crop Production Journal*, 17 (4), 125-148.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2025.23162.2655
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳

سازگاری به کم‌آبی در تولید گیاهی کشور از طریق بهینه‌سازی الگوی کشت

افشین سلطانی[1*]، شهرزاد میرکریمی[2]، رامتین جولایی[3]، فرشید اشراقی[4]، عبدالرحمان میرزائی[5]

[1] نویسنده مسئول، عضو هیأت علمی گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، رایانامه: Afshin.Soltani@gmail.com
[2] استاد مدعوگروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، رایانامه: Shahrzadmirkarimi@yahoo.com
[3] عضو هیأت علمی گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، رایانامه: Joolaie@gau.ac.ir
[4] عضو هیأت علمی گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، رایانامه: Eshraghi@gau.ac.ir
[5] دانشجوی دکتری اگرواکولوژی گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، رایانامه: Abdolrahmanmirzaei@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۱۲/۸

واژه‌های کلیدی:
آب قابل برنامه‌ریزی
الگوی کشت
بازده اقتصادی
برنامه‌ریزی خطی
سازگاری به کم‌آبی
کشاورزی

چکیده

سابقه و هدف: اضافه برداشت آب در کشور ایران، مانند سرطانی است که در جان طبیعت کشور ریشه دوانده و هر روز فشار بیشتری بر آن وارد می‌کند. بنابراین بایستی برای کاهش این اضافه برداشت آب، برنامه‌ریزی و اقدامات مؤثری در سطح کشور صورت پذیرد. به همین منظور در مطالعه حاضر فرض شده است که برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی برای کشاورزی در کشور از مقدار فعلی ۸۶ میلیارد متر مکعب در سال به ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال (حجم قابل‌برنامه‌ریزی اعلام شده وزارت نیرو) کاهش پیدا کند. سپس با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، الگوی کشت فعلی با هدف حداکثرسازی درآمد کشاورزان بهینه‌سازی شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه برای هر استان به‌صورت جداگانه اطلاعات سطح زیر کشت، عملکرد در واحد سطح، قیمت و هزینه‌ی تولید (۱۳۹۶-۱۳۹۲) بیش از ۳۰ گونه گیاهی مهم جمع‌آوری گردید. برای برآورد آب مصرفی کشاورزان از یک مدل شبیه‌سازی گیاهی (SSM-iCrop2) که برای شبیه‌سازی رشد، عملکرد و بیلان آب مزرعه برای بیش از ۳۰ گونه گیاهی در کل کشور آزمون و برپا (ست‌آپ) شده بود، استفاده گردید. حل مدل ریاضی با استفاده از نرم‌افزار LINGO انجام گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کاهش برداشت آب از ۸۶ به ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال بدون تغییر الگوی کشت باعث می‌شود سطح زیر کشت آبی کشور ۲۹ درصد کاهش یابد (از ۸۴۰۹ به ۵۹۴۹ هزار هکتار) و درآمد کشاورزان نیز ۳۰ درصد (از ۱۷۳ به ۱۲۱ هزار میلیارد ریال) کاهش پیدا کند. اما بهینه‌سازی الگوی کشت باعث شد که کاهش سطح زیر کشت آبی به ۱۸ درصد تخفیف یابد (از ۸۴۰۹ به ۶۹۰۷ هزار هکتار) و درآمد کشاورزان به میزان ۹ درصد (از ۱۷۳ به ۱۹۰ هزار میلیارد ریال) افزایش پیدا کند؛ یعنی درحالی‌که برداشت آب ۲۸ درصد کاهش یافته است، می‌توان با بهینه‌سازی الگوی کشت از کاهش درآمد کشاورزان جلوگیری کرد. همچنین الگوی کشت بهینه‌شده، صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف کود و انرژی ایجاد می‌کند که در شرایط محدودیت منابع انرژی اهمیت زیادی دارد. مهم‌ترین تغییرات در الگوی کشت

بهینه‌شـده عبارت بودند از افزایش سـطح زیر کشـت و تولید سـیب‌زمینی و سبزی–صیفی (به ترتیب ۱۰٤ و ۷٦ درصـد بیش از نیاز کشـور) که باید صـادر شوند و کاهش سطح زیر کشت، تولید و در نتیجه افزایش وابستگی به واردات در گیاهان قندی، جو، ذرت سیلویی و یونجه. در الگوی بهینه‌شـده وابسـتگی بالا (بیش از ۵۰ درصـد) به دانه‌های روغنی، ذرت دانه‌ای و کنجاله مثل شرایط فعلی (الگوی کشت فعلی) ادامه خواهد داشت.

نتیجه‌گیری: بهینه‌سـازی الگوی کشـت این امکان را فراهم می‌سـازد که بدون کاهش درآمد کشاورزان کاهش برداشت آب به سطح قابل‌برنامه‌ریزی وزارت نیرو ممکن شود. اما کماکان تا حدودی مقداری کاهش سطح زیرکشت آبی و در نتیجه کاهش در خودکفایی برخی محصولات رخ خواهد داد و باید انتظارات از توان تولید گیاهی کشور معقول‌سازی شده و کاهش یابد.

استناد: سلطانی، افشین؛ میرکریمی، شهرزاد؛ جولایی، رامتین؛ اشراقی، فرشید؛ میرزائی، عبدالرحمان. (۱٤۰۳). سازگاری به کم‌آبی در تولید گیاهی کشور از طریق بهینه‌سازی الگوی کشت. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۷ (٤)، ۱٤۸–۱۲۵.

DOI: 10.22069/ejcp.2025.23162.2655

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائلی که کشور ایران با آن روبروست، مسئله کم‌آبی و سازگاری با آن به‌ویژه در بخش کشاورزی است؛ زیرا حجم عمده (بیش از ۹۰ درصد) منابع آب کشور در این بخش مصرف می‌شود (۱، ۲). حجم برداشت کنونی آب (منابع آب سطحی و زیرزمینی) کشور در بخش کشاورزی حدود ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال است (۳، ٤) درحالی‌که وزارت نیرو حجم آب قابل‌برنامه‌ریزی برای مصارف کشاورزی را ٦۲ میلیارد مترمکعب در سال اعلام نموده است. بنابراین، به‌طورکلی در سطح کشور میزان اضافه برداشت آب در بخش کشاورزی حدوداً ۳۰ درصد می‌باشد (۳). در همین راستا هیئت وزیران ایران مصوبه‌ای مبنی بر کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف تا حد قابل‌برنامه‌ریزی از تصویب گذرانده و دستگاه‌های ذی‌ربط را موظف نموده است که اضافه برداشت در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی را رفع کنند (۵). متأسفانه این مصوبه تا به حال موفقیتی در بر نداشته است و شواهدی از کاهش برداشت در دست نیست.

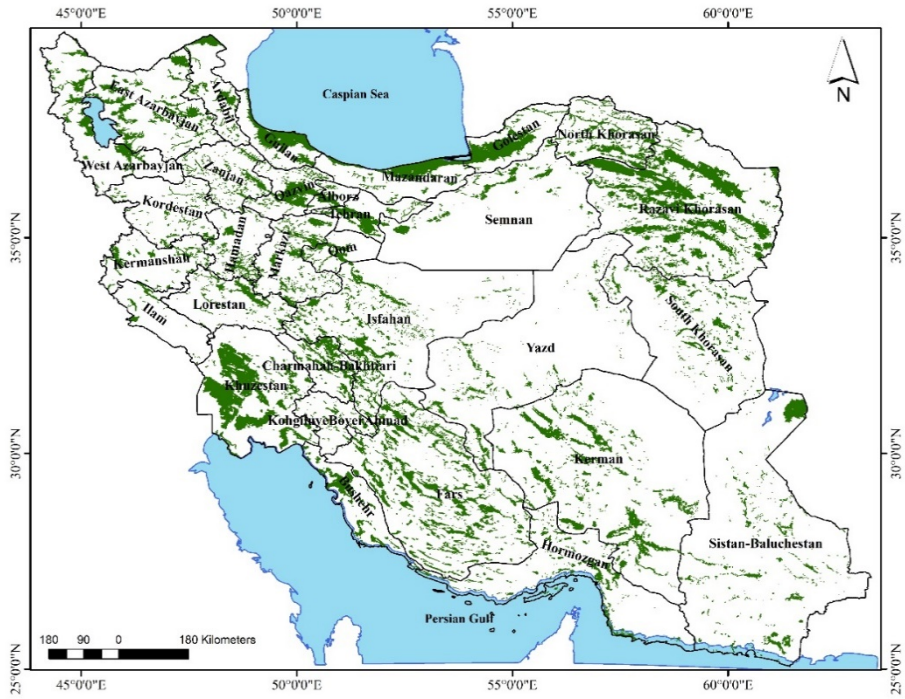
اضافه برداشت آب عامل اصلی پایین افتادن سطح ایستابی (٦)، خشک شدن و کم آب شدن چاه‌ها و چشمه‌ها (۷)، ناپدید شدن تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها (۸)، فرونشست زمین (۹)، زوال پوشش گیاهی و خاک (۱۰، ۱۱)، توفان‌های گردوغبار (۱۲) و نابودی گسترده تنوع زیستی (۱۳، ١٤) در کشور شناخته می‌شود. پژوهشگران هشدار داده‌اند که ادامه برداشت ناپایدار آب در ایران می‌تواند اثرات بالقوه جبران‌ناپذیری بر زمین، محیط‌زیست، آب، غذا و امنیت اجتماعی–اقتصادی کشور داشته باشد (۱۵). در نتیجه، اضافه برداشت آب، محیط‌زیست و کشاورزی کشور را به سمت نابودی پیش می‌برد، در نتیجه اجرای روش‌های سازگاری با کم‌آبی ضروری است (١٦).

الگوی کشت مناسب می‌تواند یکی از راه‌های مهم کاهش مصرف آب و سازگاری با کم‌آبی باشد. بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس اهداف یا هدف خاصی قابل انجام است. برنامه‌ریزی خطی یکی از کاربردی‌ترین و مؤثرترین روش‌های بهینه‌سازی الگوی کشت است که از طریق آن می‌توان بهترین نتیجه (برای مثال بیشترین سود یا کمترین هزینه) را در شرایط ویژه و با اعمال محدودیت‌های خاص به دست آورد (۱۷). در ارتباط با الگوی کشت و بهینه‌سازی آن مطالعاتی متعددی در داخل و خارج کشور انجام شده است. در اکثر مطالعات قبلی، سطح مطالعه محدود بوده و مثلاً در سطح شهرستان (۱۸)، حوضه آبریز (۱۹، ۲۰)، دشت (۲۱)، بخش (۲۲)، یا شبکه آبیاری (۲۳، ٢٤) و تعداد گیاهان مورد پوشش محدود بوده‌اند برای مثال اسعدی و همکاران (۲۰۱۸) ٦ محصول (۲۰)، غفاری و همکاران (۲۰۱۱) ۷ محصول (۲۳)، نوذری و محسنی (۲۰۱۵) ۸ محصول (۲۵)، میرزایی و همکاران (۲۰۱۷a) ۹ محصول (۲٦)، علیقلی‌نیا و همکاران (۲۰۲۱) ۱۱ محصول (۲۷). مطالعه‌ای که همه گیاهان مهم کشور و در کل سطح کشور را در برگیرد، تاکنون صورت نگرفته است. هرچند اخیراً مطالعه‌ای در سطح منطقه خاورمیانه انجام شده است (۲۸).

هدف از مطالعه حاضر ارزیابی اهمیت الگوی کشت به‌صورت کمّی در سازگاری به کم‌آبی برای شرایطی است که برداشت آب برای کشاورزی از ۸٦ به ٦۲ میلیارد متر مکعب در سال کاهش یابد. بررسی خواهد شد که یک الگوی بهینه‌شده در مقایسه با الگوی فعلی چگونه می‌تواند اثرات منفی کاهش برداشت آب بر تولید، سطح زیر کشت (اشتغال) و از همه مهم‌تر درآمد کشاورزان را تخفیف دهد. یادآوری

می‌شـــود بر اســـاس معیـارهای پایداری (حجم آب تجدیدپذیر و کسری از آن‌که قابل بهره‌برداری است)، حجم آب قابل برداشـــت برای کشـــاورزی نه ٦٢ که کمتر از ٤۰ میلیارد متر مکعب در سـال است (۲) ولی در این مطـالعـه همـان برآورد وزارت نیرو برای هر استان و کشور مد نظر قرار گرفته است.

روش‌ها: ایران دارای ۳۱ استان است که در شکل ۱ به همراه پراکنش اراضی آبی در کشور نشان داده شده‌اند.



شکل ۱- پراکنش اراضی آبی در ۳۱ استان کشور.

Figure 1. Distribution of irrigated lands in 31 provinces of the country.

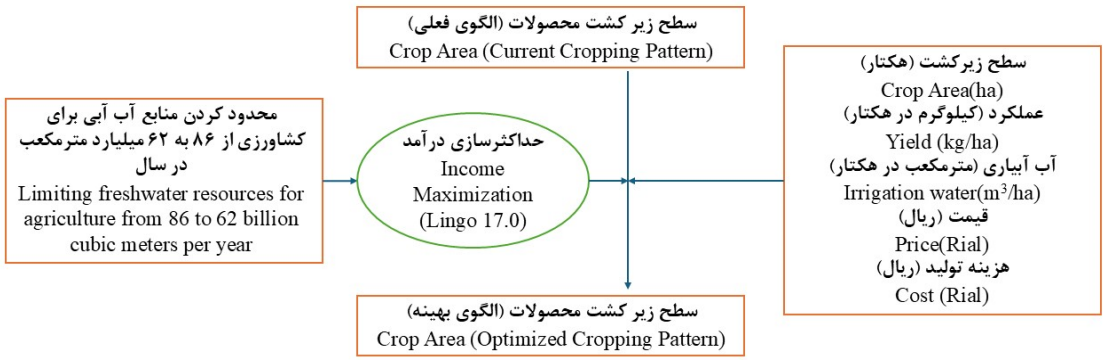
بهینه‌سازی الگوی کشت برای هر یک از ۳۱ استان کشور به طور جداگانه صورت گرفت. دلیل انتخاب استان این بود که برنامه‌ریزی‌های سطح زیرکشت و الگوی کشت در کشور به صورت استانی تهیه و ابلاغ می‌شوند. همچنین انتخاب کل کشور به صورت یک واحد موجب می‌شود تغییرات اقلیمی استان‌ها نادیده گرفته شود و بنابراین استفاده نشد. برای این منظور از الگوی ارایه شده در شکل ۲ استفاده شد. در این الگو، سطح زیر کشت بهینه‌شده هر یک از استان‌ها خروجی اصلی می‌باشد. برای این بهینه‌سازی به اطلاعات دیگری نیز نیاز می‌باشد که عبارتند از:

عملکرد در واحد سطح هر یک از محصولات در هر استان

- قیمت هر محصول در هر استان
- هزینه تولید هر محصول در هر استان
- حجم آب آبیاری مورد نیاز برای هر محصول در هر اسـتان در شـرایط کشـاورزان (نه در شرایط مطلوب پتانسیل)
- حـجم کـل آب قـابـل‌برنـامـه‌ریزی برای کشاورزی در هر استان

سـه مورد اول اطلـاعـات و آمـار از وزارت جهـاد کشـــاورزی تهیـه گردید و مورد چهارم از برآوردهای سیستم ارزیابی یکپارچه آب، زمین، غذا و محیطزیست

(SEA[1]) ارائه‌شده توسط سلطانی و همکاران (۲۰۲۰a,b,c) استفاده شد (٤، ۲۹ و ۳۰). در مطالعه ایشان ابتدا نیاز آبیاری با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی (SSM-iCrop2) برای شرایط مطلوب رشد محاسبه شده است و سپس بر اساس خلأ عملکرد نسبی حجم آب کاربردی (خالص و کل) در شرایط کشاورزان برآورد گردیده است. مدل توانایی شبیه‌سازی نمو فنولوژیک، گسترش و پیری برگ، تجمع و توزیع ماده خشک، تشکیل عملکرد و موازنه (بیلان) آب خاک را به عنوان تابعی از اقلیم، خاک، رقم و مدیریت دارد. مدل، شبیه‌سازی را به صورت روزانه انجام می‌دهد (۲۹). مدل و کلیه فایل‌های مرتبط با آن از جمله راهنمای مرجع مدل و راهنمای کاربرد آن در وب‌سایت www.SSM-crop-models.net قابل دستیابی هستند. گیاهان مهم کشور گیاهانی در نظر گرفته شدند که سطح زیر کشت آن‌ها ۵۰ هزار هکتار یا بیشتر باشد (٤). فهرست این گیاهان و سطح زیر کشت آبی آن‌ها در کشور در جدول ۱ پیوست ارائه شده است. باتوجه به این‌که الگوی کشت بلندمدت مدنظر است برای هر استان به طور جداگانه اطلاعات سطح زیر کشت، عملکرد در واحد سطح، قیمت و هزینه تولید برای بازه پنج‌ساله ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ تهیه شد. برای محصولات باغی استهلاک و هزینه فرصت سرمایه نیز در نظر گرفته شده است. اطلاعات و آمار آب قابل‌برنامه‌ریزی برای هر استان از وزارت نیرو (۲۰۱۸) اخذ گردید (۳۱) (جدول ۲ پیوست).



شکل ۲- طرح مورد استفاده برای بهینه‌سازی الگوی کشت برای هر استان کشور.

Figure 2. The plan used to optimize the cultivation pattern for each province of the country.

بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف حداکثرسازی درآمد انجام شد. برای این منظور در تابع هدف، مجموع بازده برنامه‌ای ناخالص محصولات در هر استان حداکثر گردید. بازده برنامه‌ای ناخالص هر استان از حاصل‌ضرب قیمت در عملکرد هر محصول منهای هزینه‌های تولید حاصل شد. سؤال اصلی این است که کدام سطوح زیر کشت جایگزینی می‌تواند درآمد کشاورزان را حداکثر کند در شرایطی که حجم برداشت آب استان از مقدار فعلی به مقدار قابل‌برنامه‌ریزی اعلام‌شده وزارت نیرو کاهش یافته باشد. در حل مدل برنامه‌ریزی خطی از نرم‌افزار LINGO (نسخه ۱۷) استفاده گردید.

سایر محدودیت‌ها و فرضیات در بهینه‌سازی الگوی کشت عبارت بودند از:

[1] System for integrated Assessment of water, land, food and environment (SEA)

۱) بهینه‌سازی الگوی کشت فقط برای کشت آبی صورت گرفته است، یعنی الگوی کشت دیم تغییر نمی‌کند.

۲) زمین زیر کشت ولی بدون ثمر برای درختان میوه (فاصله زمانی از نهال‌کاری و احداث باغ تا میوه‌هی) لحاظ شده است که آب و نهاده مصرف می‌کند ولی هنوز تولیدی ندارند.

۳) فرض شده است محدودیت صادراتی وجود ندارد و اضافه تولید محصولات قابل صادرات است. با توجه به وجود بازار منطقه‌ای (کشورهای حاشیه خلیج‌فارس و دیگر همسایگان)، این فرض دور از واقعیت نیست.

٤) برای همه محصولات حداکثر افزایش مجاز سطح زیر کشت، دو برابر سطح کنونی (۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷) لحاظ شد.

۵) برای گندم حداکثر کاهش مجاز سطح زیر کشت ۳۰ درصد نسبت به زمین قابل کشت با سناریوی آبی مورد نظر (٦۲ میلیارد مترمکعب در سال) منظور گردید.

٦) برای سایر محصولات حداکثر کاهش مجاز سطح زیر کشت، یک‌سوم سطح قابل کشت با سناریوی آبی مورد نظر لحاظ شد.

۷) جمع سطوح زیر کشت گیاهان پاییزه، تابستانه و گیاهان دائمی (باغی و علوفه‌ای) محدود به مقدار فعلی گردید که باعث می‌شود توزیع استفاده از آب در فصول مختلف به‌صورت غیرواقعی و غیرمنطقی اتفاق نیافتد.

۸) محصولات هر استان محدود به محصولات مورد کشت فعلی شده است و محصول جدید وارد نشده‌اند.

۹) عملکردها مربوط به ارقام فعلی گیاهان با مدیریت فعلی هستند.

۱۰) راندمان آبیاری در سطح فعلی در نظر گرفته شد که برای هر استان متفاوت است (برای جزئیات بیش‌تر به سلطانی و همکاران (۲۰۱۹) رجوع شود (۳)).

۱۱) واریته‌ها و ارقام فعلی گیاهان در الگوی بهینه‌شده مورد کشت و کار قرار دارند.

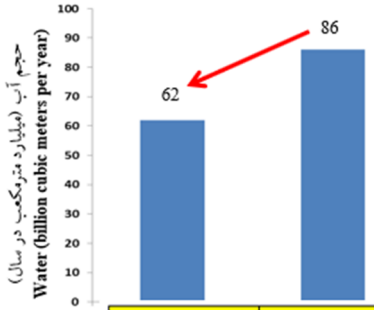
۱۲) با این فرض که زمان اجرای الگوها کوتاه (مثلاً ۵ تا ۱۵ سال) خواهد بود، تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد و نیاز آبیاری لحاظ نشده است.

شاخص خودکفایی (برحسب درصد) برای هر محصول به صورت نسبت تولید فعلی به نیاز فعلی ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد و شاخص وابستگی هر محصول عبارت بود از اختلاف خودکفایی هر محصول و عدد ۱۰۰ (۳). برای هر یک از الگوهای کشت فعلی و بهینه‌شده میزان کود نیتروژن (هزار تن)، کود فسفر (هزار تن)، کود پتاسیم (هزار تن)، انرژی (میلیون مگاژول)، سوخت (میلیون لیتر)، الکتریسیته (میلیون کیلووات ساعت) و انتشار گازهای گلخانه‌ای (میلیون کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن) با کمک سیستم SEA (۳) محاسبه شد (برای جزئیات بیشتر به سلطانی و همکاران (۲۰۱۹) رجوع شود (۳)).

نتایج

پیامدهای کاهش برداشت آب از حجم فعلی به حجم قابل برنامه‌ریزی با الگوی کشت فعلی: با کاهش برداشت آب از مقدار فعلی به مقدار آب قابل‌برنامه‌ریزی (٨٦ به ٦۲ میلیارد مترمکعب در سال) با فرض این‌که اقلیم، مدیریت و الگوی کشت فعلی تغییر نکنند، کل تولیدات گیاهی کشور در شرایط کشت آبی از ۹۹ به ۷۰ میلیون تن در سال کاهش پیدا می‌کند (حدود ۲۹ درصد کاهش) (شکل ۳). شایان ذکر است که کاهش تولیدات برای گیاهان و استان‌های کشور یکسان نیست چون حجم اضافه برداشت آب،

نوع گیاهان مورد کشت و سطح زیر کشت آن‌ها در استان‌های مختلف، متفاوت است. همچنین کمبود تولیدات گیاهی برای تأمین نیازهای کشور که در حال حاضر ۳٤ میلیون تن است (۳) (بر حسب وزن تر درب مزرعه) به میزان ٤٥ درصد افزایش می‌یابد. کاهش تولیدات گیاهی باعث کاهش خودکفایی می‌شود به‌طوری‌که خودکفایی کشور از ۸۵ درصد کنونی به ٦۳ درصد می‌رسد. همچنین به دلیل کاهش برداشت از منابع آب، ۲۹ درصد از سطح زیرکشت آبی فعلی کاسته می‌شود چون آب کافی برای آبیاری آن‌ها موجود نیست. این کاهش سطح زیرکشت موجب کاهش اشتغال در بخش کشاورزی خواهد شد؛ تعداد شغل از دست رفته ۱/۰۷ میلیون نفر برآورد گردید که ۲۷ درصد کل اشتغال بخش کشاورزی و نیز ۵ درصد کل اشتغال کشور است. حال سؤال اصلی این است که بهینه‌سازی الگوی کشت در شرایطی که برداشت آب از مقادیر فعلی به مقدار آب قابل‌برنامه‌ریزی کاهش یافته باشد، چه میزان تخفیف در کاهش شاخص‌های ذکرشده ایجاد خواهد کرد؟



آب قابل برنامه‌ریزی Allocation water	آب فعلی Current water	شاخص Indicators
62	86	
-29 (70)	99	تولید گیاهی در شرایط کشت آبی (میلیون تن) Crop production under irrigated conditions (million tons)
+45 (49)	34	کمبود تولیدات گیاهی (میلیون تن) Lack of plant products (million tons)
-26 (63)	85	خودکفایی در تولیدات گیاهی (درصد) Self-sufficiency in plant production (percentage)
-29 (2.46)	0	سطح زیرکشت آبی غیرقابل آبیاری (میلیون هکتار) Non-irrigated irrigated crop area (million hectares)
1.07	0	تعداد شغل از دست رفته (میلیون نفر) Number of jobs lost (millions)

شکل ۳- تغییرات شاخص‌های تولیدی، اقتصادی و اجتماعی در شرایط کاهش برداشت آب از مقدار فعلی (۸٦ میلیارد مترمکعب در سال) به مقدار قابل برنامه‌ریزی (٦۲ میلیارد مترمکعب در سال) درصورتی‌که الگوی کشت فعلی (نسبت سطح زیر کشت هر گیاه از کل سطح زیر کشت آبی در هر استان) ثابت بماند. برای شرایط آب قابل برنامه‌ریزی اعداد داخل پرانتز مقادیر را نشان می‌دهند و اعداد بیرون پرانتز درصد تغییر را نسبت به شرایط فعلی نشان می‌دهند.

Figure 3. Percentage changes in production, economic and social indicators under conditions of reducing water withdrawal from the current amount (86 billion cubic meters per year) to a allocable amount (62 billion cubic meters per year) if the current cultivation pattern (ratio of cultivated area of each plant to the total irrigated area in each province) does not change and remains constant. For allocable water conditions, the numbers in parentheses indicate the values, and the numbers outside the parentheses indicate the percentage change from current conditions.

سطح زیر کشت گیاهان در الگوی بهینه شده: در جدول ۱ تغییرات سطح زیرکشت گیاهان مهم کشور در شرایطی که برداشت آب به حد قابل برنامه‌ریزی کاهش یافته و الگوی کشت برای حداکثرسازی درآمد کشاورزان بهینه‌سازی شده را نسبت به شرایط برداشت آب فعلی نشان می‌دهد. شایان ذکر است که این

تغییرات ممکن است برای هر استان متفاوت باشد و جدول ۱ برای کل کشور خلاصه‌سازی شده است. به‌عنوان‌مثال، در شرایطی که برداشت آب به سطح قابل برنامه‌ریزی کاهش یابد، با بهینه‌سازی الگوی کشت، سطح زیرکشت چغندرقند در کشور بیش از ۵۰ درصد کاهش پیدا می‌کند، درحالی‌که ممکن است در استان‌هایی که کشت این گیاه پاییزه است و مصرف آب زیادی ندارد، افزایش سطح زیرکشت پیشنهاد شده باشد. بنابراین، مقادیری که در این جدول نشان داده شده است، نشان‌دهنده‌ی وضعیت استان‌ها نیست بلکه وضعیت کلی کشور را نشان می‌دهد. در شرایط کاهش برداشت آب از مقدار فعلی به مقدار برنامه‌ریزی، بهینه‌سازی الگوی به تغییرات زیر در سطح زیر کشت گیاهان مهم کشور منجر شد که به شرح زیر است:

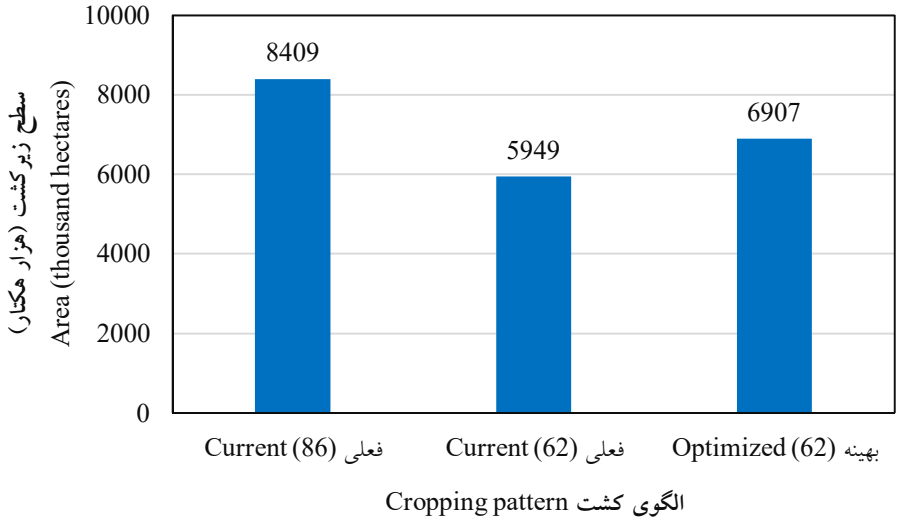
- کاهش بیش از ۵۰ درصد سطح زیر کشت محصولاتی مثل یونجه، نیشکر، جو، زیتون، انگور، چغندرقند، آفتابگردان، پنبه، انار، زعفران، ذرت علوفه‌ای و ذرت دانه‌ای.
- افزایش متوسط(افزایش ۱۰ تا ۵۰ درصد) سطح زیرکشت محصولاتی مثل خرما، بادام، انجیر و برنج با کاهش متوسط و سطح زیرکشت محصولاتی مثل گردو، پرتقال، کنجد، کلزا، عدس، زردآلو و لوبیا.
- ثابت ماندن (کاهش یا افزایش کمتر از ۱۰ درصد) سطح زیرکشت گیاهانی مثل سویا، شبدر، گندم و سیب درختی.
- افزایش بیش از ۵۰ درصد سطح زیرکشت محصولاتی مثل هلو، نخود، پسته، هندوانه، خربزه، خیار، گوجه‌فرنگی، پیاز، گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، سیب‌زمینی و خیار گلخانه‌ای.

جدول ۱- تغییر سطح زیرکشت گیاهان مهم کشور در الگوی کشت بهینه‌شده در شرایطی که برداشت آب برای کشاورزی به میزان برداشت قابل برنامه‌ریزی (٦۲ میلیارد مترمکعب در سال) اعلام‌شده توسط وزارت نیرو کاهش یافته باشد. معیار مقایسه سطح زیر کشت فعلی و برداشت آب فعلی (۸٦ میلیارد متر مکعب در سال) می‌باشد.

Table 1. Change in the area under cultivation of important crops in the country in an optimized cropping pattern under conditions where water withdrawal for agriculture is reduced to the allocable withdrawal amount (62 billion cubic meters per year) announced by the Ministry of Energy. The criterion is to compare the current area under cultivation and the current water withdrawal (86 billion cubic meters per year).

الگوی کشت Cropping pattern	تغییرات سطح زیر کشت				
	کاهش زیاد (بیش از 50 درصد) Large decrease (more than 50 percent)	کاهش متوسط (10 تا 50 درصد) Moderate reduction (10 to 50 percent)	عدم‌تغییر (±10 درصد) No change (±10 percent)	افزایش متوسط (10 تا 50 درصد) Moderate increase (10 to 50 percent)	افزایش زیاد (بیش از 50 درصد) Large increase more than 50 percent
بهینه (Optimized)	یونجه، سایر باغی، سایر زراعی، نیشکر، جو، زیتون، انگور، چغندرقند، آفتابگردان، پنبه، انار، زعفران، ذرت علوفه‌ای و ذرت دانه‌ای Alfalfa, other horticultural crop, other crop, sugarcane, barley, olive, grape, sugar beet, sunflower, cotton, pomegranate, saffron, folliage corn and grain corn	خرما، بادام، انجیر و برنج Date, almond, fig and rice	سویا، شبدر، گندم و سیب Soybean, clover, wheat and apple	گردو، پرتقال، کنجد، کلزا، عدس، زردآلو و لوبیا Walnut, orange, sesame, rapeseed, lentil, apricot and bean	هلو، نخود، پسته، هندوانه، خربزه، خیار، گوجه، پیاز، گوجه گلخانه‌ای، سیب‌زمینی، خیار گلخانه‌ای Peach, chickpea, pistachio, watermelon, cantaloupe, cucumber, tomato, onion, greenhouse tomato, potato, greenhouse cucumber

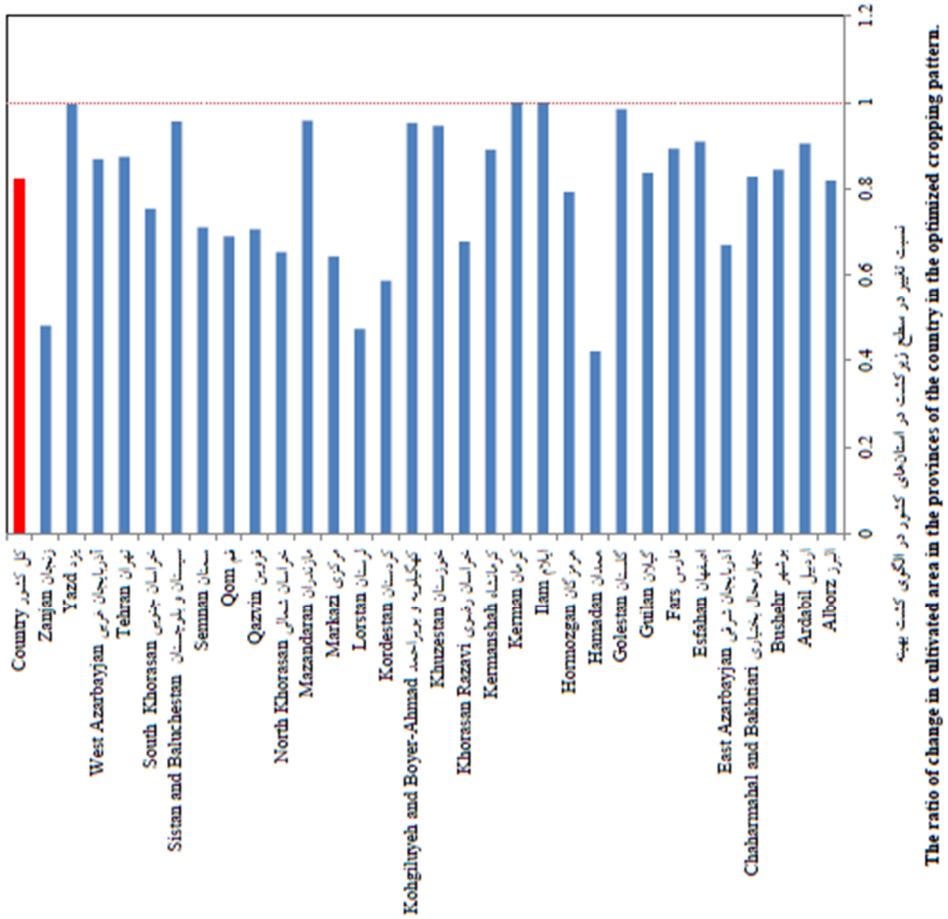
در کل کشور، در شرایط برداشت آب فعلی، سطح زیر کشت آبی کشور برابر با ۸٤۰۹ هزار هکتار است که در صورت کاهش برداشت آب به حد قابل برنامه‌ریزی همراه با بهینه‌سازی الگوی کشت، به ٦۹۰۷ هزار هکتار کاهش پیدا می‌کند (معادل ۱۸ درصد). این درحالی‌است که اگر بهینه‌سازی در الگوی کشت اتفاق نیافتد و در شرایط کاهش برداشت آب تا حد قابل برنامه‌ریزی همچنان از الگوی کشت فعلی (نسبت سطح زیرکشت هر گیاه از سطح زیرکشت کل) استفاده شود، سطح زیرکشت به ۵۹٤۹ هزار هکتار کاهش پیدا می‌کند (معادل ۲۹ درصد). بنابراین، بهینه‌سازی الگوی کشت کمک می‌کند تا سطح زیرکشت کمتری از دست برود (شکل ٤). در شکل ۵ نسبت تغییر سطح زیرکشت در استان‌های مختلف کشور در شرایط برداشت آب به میزان قابل‌برنامه‌ریزی همراه با بهینه‌سازی الگوی کشت (نسبت به شرایط فعلی و برداشت آب فعلی) نشان داده شده است.



شکل ٤ – میزان تغییر در سطح زیرکشت آبی کشور در شرایط فعلی (برداشت ۸٦ میلیارد متر مکعب در سال و الگوی کشت فعلی) و در شرایطی که برداشت آب به حد قابل برنامه‌ریزی (٦۲ میلیارد مترمکعب در سال) کاهش یافته باشد و الگوی کشت تغییر نکرده باشد (فعلی ٦۲) یا برای حداکثرسازی درآمد کشاورزان بهینه‌سازی شده باشد (بهینه ٦۲).

Figure 4. The rate of change in the country's irrigated area under current conditions (withdrawal water of 86 billion cubic meters per year and current cultivation pattern) and in conditions where water withdrawal has been reduced to a allocable level (62 billion cubic meters per year) and the pattern has not changed (current 62) or has been optimized to maximize farmers' income (optimal 62).

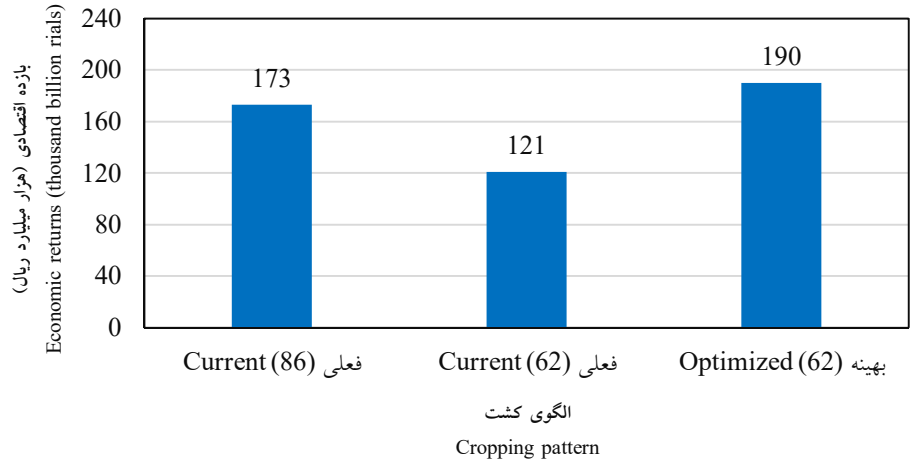
بازده اقتصادی در الگوی بهینه‌شده: بازده اقتصادی کشت آبی کشور در شرایط برداشت آب فعلی برابر ۱۷۳ هزار میلیارد ریال است. درصورتی‌که برداشت آب به سطح قابل برنامه‌ریزی کاهش پیدا کند، با الگوی کشت فعلی بازده اقتصادی به ۱۲۲ هزار میلیارد ریال کاهش می‌یابد، ولی بهینه‌سازی الگوی کشت می‌تواند آن را به ۱۹۰ هزار میلیارد افزایش دهد (شکل ٦). دلیل اصلی این افزایش، بیشترشدن سطح زیرکشت میوه‌ها و سبزیجات بوده است که آب‌بری کمتر و بازده ناخالص بیشتری داشتند. بنابراین، در اثر بهینه‌سازی الگوی کشت علی‌رغم کاهش برداشت منابع آب به میزان ۲۸ درصد (از ۸٦ به ٦۲)، بازده اقتصادی به میزان ۹ درصد افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۵- نسبت سطح زیرکشت کل استان در الگوی بهینه‌شده برای شرایط برداشت آب قابل برنامه‌ریزی (٦۲ میلیارد مترمکعب در سال) به سطح زیرکشت کل استان در شرایط فعلی (برداشت آب و الگوی کشت کنونی). عدد یک به معنی عدم تغییر سطح زیرکشت کل می‌باشد.

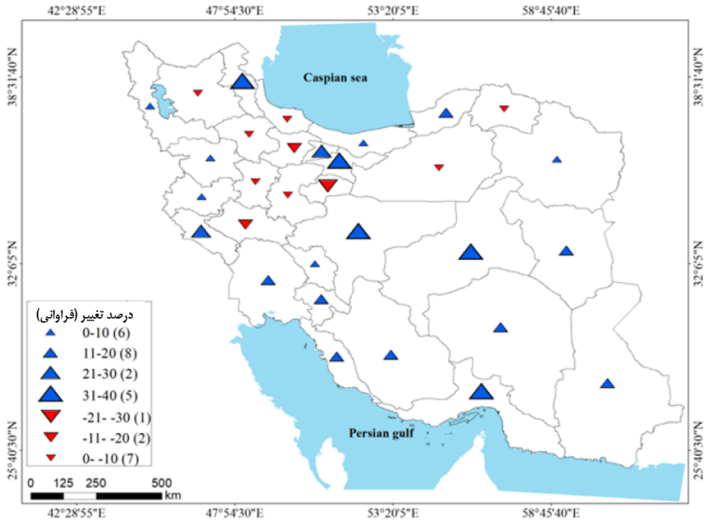
Figure 5. The ratio of the total cultivated area of the province in the optimized cropping pattern for the conditions of allocable water withdrawal (62 billion cubic meters per year) to the total cultivated area of the province in the current conditions (water withdrawal and current cropping pattern). The number one means no change in the total cultivated area.

در شکل ۷ میزان تغییر در بازده اقتصادی در شرایط برداشت آب در حد قابل‌برنامه‌ریزی همراه با بهینه‌سازی الگوی کشت نسبت به شرایط فعلی (برداشت ۸٦ همراه با الگوی فعلی) در استان‌های مختلف کشور نشان داده شده است. علی‌رغم کاهش برداشت آب، بهینه‌سازی الگوی کشت تأثیر مثبتی بر بازده‌ی اقتصادی در اکثر استان‌ها داشته است ولی در برخی استان‌ها تأثیر منفی نیز مشاهده می‌گردد که این موارد استان‌هایی هستند که در آن‌ها درصد بالاتری از کل آب تجدیدپذیر برداشت می‌شود، یعنی در شرایط فعلی اضافه برداشت بالاتری دارند. استان‌هایی مثل اردبیل، تهران، یزد، اصفهان و کرمان بیش از ۳۰ درصد افزایش در بازده اقتصادی تجربه می‌کنند درحالی‌که بازده اقتصادی در استان قم بیش از ۲۰ درصد کاهش پیدا می‌کند.



شـکل ٦ – بازده اقتصـادی حاصـل از تولیدات گیاهی در کشـت آبی برای شـرایط برداشت آب در حد قابل برنامه‌ریزی (٦٢ میلیارد مترمکعب در سال) همراه با بهینه‌سازی الگوی کشت (بهینه ٦٢) در مقایسه با شرایط فعلی (فعلی ٨٦: برداشت آب ٨٦ میلیارد مترمکعب در سـال همراه با الگوی کشـت فعلی) و نیز شـرایطی که برداشت آب تا حد قابل برنامه‌ریزی کاهش یافته باشد ولی از الگوی کشت فعلی استفاده شود (فعلی ٦٢).

Figure 6. Economic returns from plant production in irrigated agriculture for conditions of water withdrawal at a allocable level (62 billion cubic meters per year) with optimized cropping pattern (optimum 62) compared to current conditions (current 86: water withdrawal of 86 billion cubic meters per year with current cropping pattern) and also conditions where water withdrawal is reduced to a allocable level but the current cropping pattern is used (current 62).



شـکل ٧- تغییرات در بازده اقتصادی در استان‌های مختلف کشور برای شرایط برداشت آب قابل برنامه‌ریزی (٦٢ میلیارد مترمکعب در سـال) همراه با بهینه‌سـازی الگوی کشت نسبت به شرایط فعلی (برداشت آب و الگوی کشت کنونی). مثلث قرمز نشان‌دهنده‌ی کاهش بازده اقتصـادی و مثلث آبی نشان‌دهنده‌ی افزایش بازده‌ی اقتصادی است. مثلث بزرگ‌تر مقدار بیشتر و برعکس. اعداد داخل پرانتز در راهنمای نقشه فراوانی استان‌ها در بازه تغییر درآمدی مشخص‌شده را نشان می‌دهند.

Figure 7. Changes in economic returns in different provinces of the country for the conditions of allocable water withdrawal (62 billion cubic meters per year) along with the optimization of the cropping pattern compared to the current conditions (water withdrawal and current cropping pattern). The red triangle indicates a decrease in economic returns and the blue triangle indicates an increase in economic returns. The larger the triangle, the greater the amount and vice versa. The numbers in parentheses in the map guide indicate the frequency of provinces within the specified income change range.

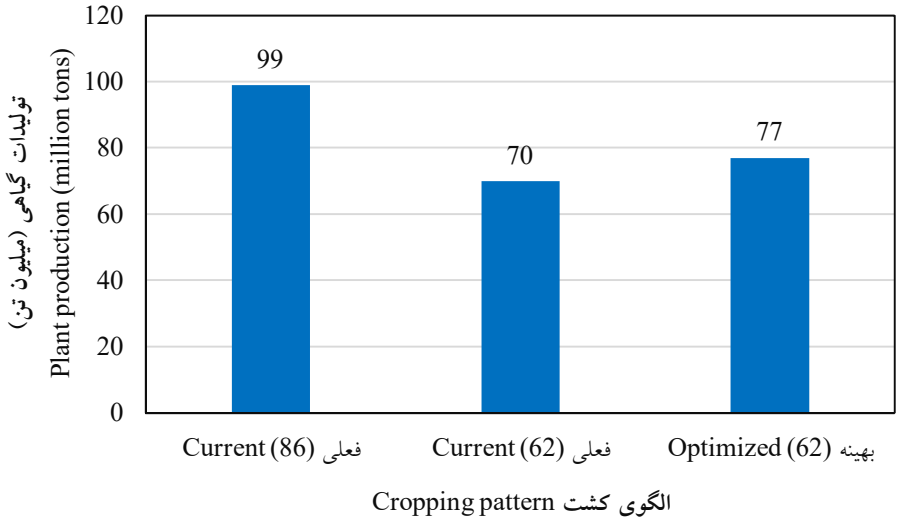
خودکفایی و وابستگی در الگوی بهینه شده: میزان تولیدات گیاهی در کشت آبی کشور در شرایط فعلی (برداشت آب و الگوی کشت فعلی) ۹۹ میلیون تن در سال است که در صورت کاهش برداشت آب به سطح قابل برنامه‌ریزی با الگوی کشت فعلی به ۷۰ میلیون تن کاهش پیدا می‌کند. اما، بهینه‌سازی الگوی کشت میزان تولیدات گیاهی را به ۷۷ میلیون تن می‌رساند (شکل ۸). میزان تغییرات در خودکفایی و وابستگی به واردات در شرایط برداشت آب قابل برنامه‌ریزی همراه بهینه‌سازی الگوی کشت و در شرایط فعلی (برداشت ۸٦ و الگوی فعلی) در جدول ۲ نشان داده شده است که نتایج را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱) تغییر خودکفایی یا وابستگی در حد ۱۰ درصد یا کمتر شامل گندم، برنج، دانه‌های روغنی، ذرت دانه‌ای، سبوس و کنجاله

۲) افزایش قابل‌توجه در خودکفایی: در حبوبات، سیب‌زمینی و سبزی-صیفی که باعث می‌شود وابستگی ۱۹ درصد در حبوبات به ۲ درصد کاهش یابد و مازاد نیاز به سیب‌زمینی (۱۰٤٪) و سبزی-صیفی (۷٦ درصد) قابل صادرات است. اضافه تولید سیب‌زمینی و سبزی-صیفی به کشورهای مجاور مثل روسیه، عراق و کشورهای عربی حوزه خلیج‌فارس قابل صادرات است.

۳) افزایش قابل‌توجه در وابستگی و واردات: افزایش وابستگی در گیاهان قندی از ٤۳ به ۸۲ درصد، جو از ۳۳ به ٦٦ درصد، ذرت سیلویی از صفر به ٤۹ درصد و علوفه از صفر به ٦٤ درصد.

٤) کاهش تولید ولی عدم وابستگی: تولید میوه‌ها و کاه کاهش می‌یابد ولی در حد نیاز داخلی خواهد بود.



شکل ۸ – میزان تغییر در تولیدات گیاهی کشور در کشت آبی در شرایط فعلی (فعلی ۸٦: برداشت ۸٦ میلیارد متر مکعب در سال و الگوی کشت فعلی) و در شرایطی که برداشت آب به حد قابل برنامه‌ریزی (٦۲ میلیارد مترمکعب در سال) کاهش یافته باشد و الگوی تغییر نکرده باشد (فعلی ٦۲) یا برای حداکثرسازی درآمد کشاورزان بهینه‌سازی شده باشد (بهینه ٦۲).

Figure 8. The rate of change in the country's crop production in irrigated agriculture under current conditions (current 86: withdrawal water of 86 billion cubic meters per year and current cultivation pattern) and under conditions where withdrawal water has been reduced to a allocable level (62 billion cubic meters per year) and the pattern has not changed (current 62) or has been optimized to maximize farmers' income (optimal 62).

جدول ۲- خودکفایی و وابستگی به واردات (بر حسب درصد) در کشور برای شرایط برداشت آب قابل برنامه‌ریزی (٦٢ میلیارد مترمکعب در سال) همراه با بهینه‌سازی الگوی کشت (بهینه ٦٢) نسبت به شرایط فعلی (فعلی ٨٦: برداشت آب و الگوی کشت کنونی).

Table 2. Self-sufficiency and import dependence (in percentage) in the country for the conditions of allocable water withdrawal (62 billion cubic meters per year) along with the optimization of the cultivation pattern (optimum 62) compared to the current conditions (current 86: water withdrawal and current cultivation pattern).

وابستگی به واردات (Dependence on imports)		خودکفایی (Self-sufficiency)		محصول (Crop)
بهینه (62) (Optimized)	فعلی (86) (Current)	بهینه (62) (Optimized)	فعلی (86) (Current)	
29	27	71	73	گندم (Wheat)
50	44	50	56	برنج (Rice)
2	19	98	81	حبوبات (Beans)
0	0	208	104	سیب‌زمینی (Potato)
92	87	8	13	دانه‌های روغنی (Oilseeds)
82	43	18	57	گیاهان قندی (Sugar plants)
5	0	95	144	میوه‌ها (Fruits)
0	0	230	154	سبزی- صیفی (Vegetable)
66	33	34	67	جو (Barley)
90	80	10	20	ذرت دانه‌ای (Grain corn)
49	0	51	110	ذرت سیلویی (Silage corn)
64	0	36	106	علوفه (بقولات) (Fodder)
0	0	100	115	کاه (Straw)
35	31	65	69	سبوس (Bran)
94	91	6	9	کنجاله (Meal)

شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی در الگوی بهینه شده: در جدول ۳ برخی شاخص‌های مرتبط با مصرف کود و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای شرایط فعلی (برداشت آب ٨٦ همراه با الگوی کشت فعلی) و درصد تغییر در آن‌ها برای شرایطی که برداشت آب به حد قابل برنامه‌ریزی کاهش یافته باشد و بهینه‌سازی الگوی کشت صورت گرفته باشد، آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شرایط برداشت آب در حد قابل‌برنامه‌ریزی همراه با الگوی کشت بهینه‌شده، کودهای مورد نیاز بین ۱۱ تا ۱۷ درصد کاهش یافته است، مصرف سوخت، الکتریسیته و انرژی بین ۱۸ تا ۲۸ درصد کاهش یافته و انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز ۲۱ درصد کاهش پیدا کرده است که بیانگر این مطلب است که الگوی کشت بهینه برای محیط‌زیست پاک‌تر می‌باشد و اگر کاهش برداشت آب را نیز در نظر داشته باشیم، بهینه‌سازی الگوی کشت نقش مهمی در بهبود طبیعت کشور خواهد داشت.

جدول ۳- برخی شاخص‌های مرتبط با مصرف کود و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای شرایط فعلی (برداشت آب ۸٦ همراه با الگوی کشت فعلی) و درصد تغییر در آن‌ها برای شرایطی که برداشت آب به حد قابل برنامه‌ریزی کاهش یافته باشد و بهینه‌سازی الگوی کشت صورت گرفته باشد. محاسبات با کمک سیستم SEA (۳) انجام شده است.

Table 3. Some indicators related to fertilizer and energy consumption and greenhouse gas emissions for current conditions (water withdrawal 86 with current cropping pattern) and the percentage change in them for conditions where water withdrawal has been reduced to a allocable level and cropping pattern optimization has been carried out. Calculations have been performed with the help of the SEA system (3).

برداشت آب قابل‌برنامه‌ریزی (allocable withdrawal water)	برداشت آب فعلی (Currrent withdrawal water)	شاخص (Indicators)
الگوی کشت بهینه (Optimal cropping pattern)	الگوی کشت فعلی (Current cropping pattern)	
-11	999	کود نیتروژن مورد نیاز (هزار تن) Nitrogen fertilizer required (thousand tons)
-17	149	کود فسفر مورد نیاز (هزار تن) Phosphorus fertilizer required (thousand tons)
-16	760	کود پتاسیم مورد نیاز (هزار تن) Potassium fertilizer required (thousand tons)
-23	441863	انرژی (میلیون مگاژول) Energy (million megajoules)
-18	3268	سوخت (میلیون لیتر) Fuel (million liters)
-28	18368	الکتریسیته (میلیون کیلووات‌ساعت) Electricity (million kilowatt hours)
-21	32490	انتشار گازهای گلخانه‌ای (میلیون کیلوگرم معادل CO_2) Greenhouse gas emissions (million kilograms of CO2 equivalent)

بحث

سال‌هاست که کارشناسان و مدیران متوجه اثرات زیان‌بار اضافه برداشت آب (عمدتاً برای کشاورزی) شده‌اند و در این ارتباط برنامه‌هایی نیز به تصویب رسیده است ولی بی‌اثر بوده‌اند (۳۲). کاهش برداشت آب مستلزم کاهش سطح زیر کشت و در نتیجه کاهش درآمد کشاورزان، مشاغل بخش کشاورزی و نیز کاهش خودکفایی است. تلاش‌ها تاکنون در آن جهت بوده که کاهش برداشت آب بدون کاهش موارد ذکرشده در بالا صورت گیرد که امری ناممکن به نظر می‌رسد. بنابراین، کاهش سطح زیر کشت و اثرات بعدی آن مهم‌ترین موانع بر سر راه کاهش برداشت آب برای کشاورزی و سازگاری به کم‌آبی در کشور می‌باشند. حال این سؤال مطرح می‌شود که اگر همراه با کاهش برداشت آب، بهینه‌سازی الگوی کشت هم صورت پذیرد، چه اتفاقی خواهد افتاد؟ به‌عبارت‌دیگر، بهینه‌سازی الگوی کشت در شرایطی که برداشت آب از مقادیر فعلی به مقدار آب قابل‌برنامه‌ریزی کاهش یافته، چه میزان تخفیف در کاهش شاخص‌های ذکرشده ایجاد خواهد کرد؟

نتایج نشان داد که کاهش برداشت آب از ۸٦ به ٦۲ میلیارد متر مکعب در سال بدون تغییر الگوی کشت باعث می‌شود سطح زیر کشت آبی کشور ۲۹ درصد کاهش یابد (از ۸٤۰۹ به ۵۹٤۹ هزار هکتار) و درآمد کشاورزان نیز ۳۰ درصد (از ۱۷۳ به ۱۲۱ هزار میلیارد ریال) کاهش پیدا کند. اما، بهینه‌سازی الگوی کشت باعث شد کاهش سطح زیر کشت به ۱۸ درصد تخفیف یابد (از ۸٤۰۹ به ٦۹۰۷ هزار هکتار) و درآمد کشاورزان به میزان ۹ درصد (از ۱۷۳ به ۱۹۰ هزار

میلیارد ریال) افزایش پیدا کند؛ یعنی درحالی‌که برداشت آب ۲۸ درصد کاهش یافته، درآمد کشاورزان با بهینه‌سازی الگوی کشت نه‌تنها کاهش نیافته بلکه افزایش نیز پیدا کرده است. همچنین الگوی کشت بهینه‌شده صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف کود و انرژی ایجاد می‌کند که در شرایط محدودیت منابع انرژی اهمیت زیادی دارد.

اگرچه بهینه‌سازی الگوی کشت کاهش ۲۹ درصدی سطح زیر کشت را به کاهش ۱۸ درصدی تبدیل می‌کند ولی هنوز باعث از دست رفتن مقداری از مشاغل کشاورزی و نیز افزایش واردات برخی محصولات خواهد شد. بنابراین، سازگاری به کم‌آبی بدون کم‌کردن سطح زیرکشت آبی و در نتیجه کاهش در خودکفایی برخی محصولات غیرممکن به نظر می‌رسد. درنتیجه بایستی انتظارات از بخش کشاورزی معقول‌سازی شده و کاهش یابد. سهم کشاورزی کشور از نظر شاخص‌های مهم اقتصادی- اجتماعی مثل تولید ناخالص داخلی، ارزش صادرات، ارزش واردات و اشتغال به ترتیب برابر با ۱۱، ۱٤، ۲۰ و ۱۸ درصد است (۲)؛ به عبارت دیگر سهم کشاورزی کشور از نظر شاخص‌های مهم اقتصادی-اجتماعی بین ۱۰ تا ۲۰ درصد می‌باشد و نباید اجازه داد که افت جزئی در اشتغال در بخش کشاورزی و خودکفایی در برخی محصولات باعث زوال و نابودی اکوسیستم‌های طبیعی و محیط‌زیست کشور شود. ارزش خدمات اکوسیستم‌های طبیعی کشور به‌مراتب بیشتر از ارزش افت ۱۰ تا ۲۰ درصدی تولیدات کشاورزی است (۲). نقش اصلی الگوی کشت در این راه کم کردن یا تخفیف دادن خسارت‌های ناشی از کاهش برداشت آب می‌باشد.

تأثیر مثبت الگوی کشت بر کاهش مصرف آب قبلاً در سطح دنیا و کشور گزارش شده است. برای مثال، اسعدی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی به بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه‌ی زرینه‌رود پرداختند و گزارش کردند میزان آب مصرفی در الگوی کشت بهینه حاصل از مدل قطعی و فازی به ترتیب ۱۳ و ۸۸ درصد کاهش پیدا می‌کند (۱۹). مردانی و همکاران (۲۰۱۷) در استان اصفهان گزارش کردند که بهینه‌سازی الگوی کشت کاهش ۳۷ درصدی سطح زیرکشت، کاهش مصرف آب آبیاری به میزان ۱۰ درصد، افزایش سود ناخالص به میزان ٢٤ درصد و افزایش تولید به میزان ۱۰ درصد را در پی دارد (۳۲). مطالعه کنونی با مطالعات قبلی از دو نظر متفاوت است. اول این‌که، همه‌ی گیاهان مهم در کل کشور پوشش داده شده‌اند درحالی‌که در مطالعات مشابه معمولاً سطح مطالعه کوچک‌تر (برای نمونه شریعتی و همکاران، ۲۰۲۱) و تعداد گیاهان تحت پوشش نیز محدود می‌باشد (برای نمونه نوذری و محسنی، ۲۰۱۵) (۱۸ و ۲۵). نکته مهم دیگر این است که در مطالعات مشابه از نرم‌افزارهایی مثل CropWat و NETWAT برای برآورد آب مصرفی استفاده می‌شود که این نرم‌افزارها آب آبیاری را برای شرایط کشاورز پیش‌بینی نمی‌کنند بلکه برای شرایط مطلوب مدیریتی (پتانسیل) پیش‌بینی می‌کنند. در مطالعه حاضر حجم آب آبیاری برای شرایط پتانسیل برآورد شده است و سپس برای شرایط کشاورزان تصحیح و استفاده شده است.

مهم‌ترین تغییرات در الگوی کشت بهینه‌شده عبارت بودند از افزایش سطح زیر کشت و تولید سیب‌زمینی و سبزی-صیفی (به ترتیب ۱۰٤ و ۷٦ درصد بیش از نیاز کشور) که باید صادر شوند و کاهش سطح زیر کشت و تولید گیاهان قندی (افزایش وابستگی از ٤۲ به ۸۲ درصد)، جو (افزایش وابستگی از ۳۳ به ٦٦ درصد)، ذرت سیلویی (افزایش وابستگی از ۰ به ۵۹ درصد) و یونجه (افزایش وابستگی از ۰ به ٦٤ درصد) که کمبود آن‌ها باید با واردات جبران گردد.

در الگوی بهینه‌شده وابستگی بالا (بیش از ۵۰ درصد) به گیاهان روغنی، ذرت دانه‌ای و کنجاله مثل شرایط فعلی (الگوی کشت فعلی) ادامه خواهد داشت. برخی مسئولین به خودکفایی در همه محصولات استراتژیک مثل روغن و قند علاقه‌مند هستند. یک راه جایگزین جابه‌جایی منابع آب از اضافه تولید سیب‌زمینی و سبزی-صیفی برای تولید گیاهان روغنی و گیاهان قندی است. نتایج نشان داد اگر تولید سیب‌زمینی و سبزی-صیفی به ۹۰ درصد نیاز کشور محدود شود و آب اختصاصی به این گیاهان برای تولید گیاهان روغنی و گیاهان قندی صرف شود، خودکفایی در این گیاهان از ۸ درصد برای دانه‌های روغنی و ۱۸ درصد در گیاهان قندی به حدود ۳۵ درصد برای هر دو قابل افزایش است. بنابراین، وابستگی بالا به واردات این دو با این روش قابل حل نیست و به‌علاوه هنوز وابستگی برای واردات گیاهان علوفه‌ای پابرجا خواهد بود.

یک مسئله مهم در الگوی کشت بهینه‌شده وابستگی بالا در ذرت سیلویی و علوفه بقولات (عمدتاً یونجه) است. از آن‌جایی که این محصولات به‌صورت تر خریدوفروش و جابه‌جا می‌شوند و قابل واردات نیستند بایستی برای تأمین کسری علوفه در الگوی کشت بهینه‌شده چاره‌اندیشی شود. گزینه‌هایی که در این ارتباط می‌توان مدنظر قرار داد عبارتند از:

(۱) ایجاد واحدهای جدید دامی متوقف شود و یا واحدهای دامی موجود، کوچک ولی فشرده (افزایش بهره‌وری) گردند.

(۲) تولید علوفه به‌صورت دیم در اراضی آبی غیرقابل آبیاری در دستور کار قرار گیرد.

(۳) در تغذیه دام‌ها از تلفات- ضایعات استفاده شود که مقدار سالانه آن در کشور ۳۰ میلیون تن برآورد شده است (۳).

(٤) نوع و نژاد دام‌ها و نظام‌های پرورش آن‌ها تغییر داد شود.

(۵) برای بهبود کارایی تبدیل علوفه به محصول دامی تلاش شود.

نتایج حاصل از این مطالعه تا حد زیادی به قیمت و هزینه‌های تولید و محدودیت‌هایی لحاظ شده در بهینه‌سازی وابسته است و چنان‌چه این متغیرها و محدودیت‌ها تغییر داده شوند یا تغییر یابند، نتایج حاصله نیز تغییر پیدا می‌کند. به‌عنوان‌مثال، اگر قیمت محصولات در نظر گرفته شده در مطالعه‌ی کنونی به خاطر سیاست‌گذاری (مانند یارانه، خرید تضمینی و غیره)، سال آماری و یا هر چیز دیگری تغییر کنند، ممکن است نتایج متفاوتی به دست می‌آید. همچنین در مطالعه‌ی حاضر، بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس مدیریت فعلی صورت گرفته است، یعنی فرض شده است عملکرد گیاهان در الگوی فعلی و بهینه یکسان هستند. حال اگر در کنار بهینه‌سازی الگوی کشت، مدیریت تولید گیاهی نیز بهبود یابد، می‌توان وضعیت بهتری را در شاخص‌های سطح زیرکشت، درآمد کشاورزان و تولیدات گیاهی متصور شد. در این راه می‌توان تلفیق تغییر الگوی کشت و تلاش برای رفع خلأ عملکرد را پیشنهاد نمود (۳، ۳٤).

با توجه به نتایج امیدوارکننده حاصله پیشنهاد می‌شود نقش تغییر الگوی کشت در سازگاری به کم‌آبی برای هر یک از استان‌های کشور با جزییات بیشتری انجام گیرد. در مطالعه حاضر، با توجه به گستردگی در سطح کشور، برای محاسبه آب مصرفی هر گیاه در هر استان از یک ایستگاه هواشناسی (٤) استفاده شد به طوری که حداقل ٤۰ درصد سطح زیر کشت هر گیاه در هر استان پوشش داده شود (در پروتکل مورد استفاده برای درشت مقیاس‌نمایی حداقل سطح پوشش مورد نیاز ٤۰ درصد تعیین شده است؛ ون ایترسام و همکاران، ۲۰۱۳) (۳۵). تکرار این مطالعه در هر استان با تعداد ایستگاه بیشتر و درصد پوشش بالاتر به نتایج اطمینان‌بخش‌تر منجر خواهد

شد. همچنین در مطالعه حاضر آب مصرفی گیاهان برای شرایط مدیریت مطلوب (پتانسیل) برآورد گردید و سپس برای شرایط کشاورزان بر اساس خلأ عملکرد نسبی هر گیاه در هر استان اصلاح شد (٤). مناسب‌تر آن است که در مطالعات آتی مدل شبیه‌سازی گیاهی برای شرایط کشاورزان کالیبره شود تا برآوردهای مستقیمی از آب مصرفی در شرایط کشاورز به دست بدهد. نکته آخر این‌که، در مطالعه حاضر آب قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی که توسط وزارت نیرو اعلام شده است مبنا قرار گرفت ولی این برآوردها هنوز بیش از حد بوده و پایدار نیستند (۳)؛ برای نمونه، حجم آب قابل بهره‌برداری پایدار در کشور برای کشاورزی کمتر از ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال است که ۳۷ درصد کمتر از برآورد آب قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی توسط وزارت نیرو و ۵۵ درصد کمتر از برداشت فعلی آب برای کشاورزی است. مطلوب است در مطالعات آینده حجم آب قابل بهره‌برداری پایدار برای کشاورزی مبنا قرار گیرد. مطالعاتی با سه مشخصه پیشنهادشده برای استان‌های گلستان و فارس در دست انجام می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی الگوی کشت این امکان را فراهم می‌سازد که برداشت آب برای کشاورزی حدود ۳۰ درصد کاهش یابد (مقدار مد نظر وزارت نیرو) ولی در همان حال درآمد کشاورزان نه تنها کاهش نیافته بلکه حدود ۱۰ درصد نیز افزایش یابد. با این وجود هنوز مقداری (۱۸) درصد کاهش سطح زیر کشت آبی اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که سازگاری به کم‌آبی بدون کم‌کردن سطح زیرکشت آبی و در نتیجه کاهش در خودکفایی برخی محصولات غیرممکن به‌نظر می‌رسد. درنتیجه بایستی انتظارات از بخش کشاورزی معقول‌سازی شده و کاهش یابد. در الگوی کشت بهینه‌شده سطح زیر کشت و تولید سیب‌زمینی و سبزی-صیفی افزایش می‌یابد که باید صادر شوند. در مقابل، سطح زیر کشت و تولید گیاهان قندی، جو، ذرت سیلویی و یونجه که کمبود آن‌ها باید با واردات جبران گردد. همچنین وابستگی بالا (بیش از ۵۰ درصد) به گیاهان روغنی، ذرت دانه‌ای و کنجاله ادامه خواهد داشت. نظر به این‌که الگوی کشت گزینه‌ای نسبتاً کم‌هزینه می‌باشد پیشنهاد می‌شود به عنوان یکی از گزینه‌های اصلی برای سازگاری تولید گیاهی به کم‌آبی مد نظر قرار گیرد. با توجه به نتایج امیدوارکننده حاصله پیشنهاد می‌شود نقش تغییر الگوی کشت در سازگاری به کم‌آبی برای هر یک از استان‌های کشور با جزییات بیشتری انجام گیرد.

جدول پیوست ۱. گیاهان تحت پوشش این مطالعه به همراه سطح زیرکشت و تعداد استان‌هایی که هر گیاه در آنها کشت می‌شوند (منبع داده‌ها: وزارت جهاد کشاورزی)

Appendix Table 1. Plants covered by this study, along with the area under cultivation and the number of provinces in which each plant is cultivated (Data source: Ministry of Agricultural Jihad)

گیاه Crop	سطح زیرکشت* Crop Area	تعداد استانی که گیاه کشت می‌شود** Number of provinces where the plant is cultivated	گیاه Crop	سطح زیرکشت* Crop Area	تعداد استانی که گیاه کشت می‌شود** Number of provinces where the plant is cultivated
یونجه (Alfalfa)	587453	31	بادام (Almond)	105331	27
جو (Barley)	695441	31	سیب (Apple)	237457	31
لوبیا (Bean)	113260	31	زردآلو (Apricot)	64523	31
کلزا (Canola)	54395	31	خرما (Date)	218847	13
نخود (Chickpea)	10603	26	انجیر (Fig)	7186	25
شبدر (Clover)	40364	26	انگور (Grape)	224301	31
ذرت علوفه (Folliage corn)	198819	31	زیتون (Olive)	80064	25
ذرت دانه (Grain corn)	203066	29	مرکبات (Citrus fruits)	140018	14
پنبه (Cotton)	75262	20	هلو (Peach)	59740	30
عدس (Lentils)	7149	24	پسته (Pistachio)	419216	27
سیب زمینی (Potato)	156063	31	انار (Pomegranate)	84538	30
کنجد (Sesame)	39340	23	زعفران (Saffron)	95390	29
سویا (Soybean)	50955	6	گردو (Walnut)	139292	28
چغندر قند (Sugarbeet)	109518	22	خیار (Cucumber)	71704	31
نیشکر (Sugarcane)	89050	2	خربزه (Melon)	91334	30
آفتابگردان (Sunflower)	48295	23	پیاز (Onion)	57765	31
شلتوک (Rice)	565519	21	گوجه فرنگی (Tomato)	152509	31
گندم (Wheat)	2213416	31	هندوانه (Watermelon)	145442	30
سایر زراعی و سبزی-صیفی (Other crops and vegetables)	328492	31	سایر باغبانی (Other horticultures)	422842	31

* آمار میانگین سالیانه برای دوره زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹٦ (سال برداشت)

** اعداد خارج پرانتز تعداد استان برای کشت آبی و اعداد داخل پرانتز تعداد استان برای کشت دیم گیاه را نشان می‌دهد

جدول پیوست ۲- مقادیر آب قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی در استان‌های مختلف کشور از منابع سطحی و زیرزمینی بر اساس ابلاغیه وزارت نیرو بر حسب میلیون متر مکعب در سال (منبع داده‌ها: وزارت نیرو). برخی اختلافات جزیی در جمع اعداد ناشی از گردکردن است.

Appendix Table 2. Plannable water quantities for agriculture in different provinces of the country from surface and groundwater sources based on the Ministry of Energy notification in million cubic meters per year (data source: Ministry of Energy). Some minor differences in the sum of numbers are due to rounding.

جمع منابع آب زیرزمینی و سطحی Total of Underground and Overground Water Resources (MCM)	منابع سطحی Overground Water Resources (MCM)	منابع زیرزمینی Underground water Resources (MCM)	استان Province
287	127	161	البرز (Alborz)
1147	1047	99	اردبیل (Ardabil)
785	488	297	بوشهر (Boushehr)
1056	634	422	چهارمحال و بختیاری (Chaharmaha-Bakhtiari)
1437	1015	421	آذربایجان شرقی (East Azarbayjan)
4477	1287	3190	اصفهان (Isfahan)
6332	1341	4991	فارس (Fars)
1774	1583	191	گیلان (Guilan)
1255	449	806	گلستان (Golestan)
1189	96	1094	همدان (Hamedan)
1001	171	830	هرمزگان (Hormozgan)
1079	787	292	ایلام (Ilam)
4310	641	3669	کرمان (Kerman)
1745	969	776	کرمانشاه (Kermanshah)
4497	920	3577	خراسان رضوی (Razavi Khorasan)
8930	8215	715	خوزستان (Khouzestan)
673	559	114	کهکیلویه و بویراحمد (Kohgeluye-Buyer Ahmad)
856	586	270	کردستان (Kurdestan)
931	458	473	لرستان(Lorestan)
1758	472	1286	مرکزی (Markazi)
3900	3417	483	مازندران (Mazandaran)
690	482	208	خراسان شمالی (North Khorasan)
1451	417	1034	قزوین (Qazvin)
332	112	220	قم (Qom)
681	186	495	سمنان (Semnan)
1404	742	662	سیستان و بلوچستان (Sistan-Baluchestan)
596	126	470	خراسان جنوبی (South Khorsan)
1693	882	812	تهران (Tehran)
3752	1967	1786	آذربایجان غربی (West Azarbayjan)
1298	41	1257	یزد (Yazd)
400	113	287	زنجان (Zanjan)
61720	30331	31389	کل کشور (Country)

References

1. National Plan and Budget Organization. (2019). National Program for Adaptation to Water Scarcity in Iran. Collection of reports from the Deputy for Economic Affairs and Program and Budget Coordination. *Resistance Economic Affairs and the Economic Council*, *13*, 1-45. [In Persian] Available at: http://www.mprog.ir
2. Soltani, A., & Mirzaei, A. (2022). *Sustainable Agriculture*. Vajegan Sirang Publication. 384 pages. [In Persian]
3. Soltani, A., Zand, E., Alimagham, S. M., Nehbandani, A., Barani, H., Soltani, E., Torabi, B., Zeinali., E., Mirkarimi, Sh., Joulaei, R., Khosravian, T., Habibpour Kashefi, E., Jafarnode, S., Dadrasi, A., Ghasemi, S., Rahban, S., Pourshirazi, Sh., Bahrehmand, A., Dehghani, A. A., Eshraghi, F., Bahmani, M., Fatah Taleghani, D., Ahmadi, K., Mohammadrezaei, M., Goli, Sh., Alasti, O., Hoseini, R., Zahed, M., Fayyazi, H., Kamari, H., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Mohammadi, S., Keramat, S., Sosaraei, N., Asheanvar, M., Ahmadi, M., & Taghdisi Naghib, R. (2019). Analysis of the country's food security until 2050 by modeling the correlation of water, and, food and environment: perspective and necessary policies. Agricultural Research, Education and Extension Organization and Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, research project report [In Persian].
4. Soltani, A., Alimagham, S. M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Ghassemi, S., Vadez, V., Sinclair, T. R., & van Ittersum, M. K. (2020b). Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water. *Agricultural Systems*, *183*, 102859.
5. Council of Ministers. (2017). Resolution No. 158969/T 55092H dated 25/02/2018. Available at: https://rc.majlis.ir/fa/law/show/1049049
6. Choubin, B., & Malekian, A. (2013). Relationship between Fluctuations in the Water Table and Aquifer Salinization (Case Study: Aquifer Aspas-Fars Province). *Desert Management*, *1*(1), 13-26 [In Persian].
7. Zandifar, S. (2019). Investigating the causes of drying up of springs in the Zohreh-Jarahi River basin. *Journal of Iran Nature*, *4*(1), 1-13 [In Persian].
8. Zhou, Y. & Li, W. (2011). A review of regional groundwater flow modeling. *Geosci Front*, *2*(2), 205-214.
9. Hosseini, S. H., Musavi-jahromi, S. H., & Mohammad-Vali-Samani, H. (2023). Investigation of effective factors in the phenomenon of land subsidence in the western area of Tehran province. *Water Resources Engineering*, *16*(58), 69-84 [In Persian].
10. Dregne H. E. (1998). *Desertification Assessment. In: Lal R, Blum WH, Valentine C, Stewart BA (eds) Method of Assessment for Soil Degradation*. CRC, New York, 458 Pages.
11. Li, A., Han, Z., Xu, J., Ma, S., & Huang, G. (2006). Transformation dynamics of desertification in Horqin Sandy Land at the beginning of the 21st century. *Acta Geographica Sinica*, *61*(9), 976–984.
12. Dargahian, F., Razavi Zadeh, S., & Lotfi Nasab Asl, S. (2018). The role of water resources management as one of the factors contributing in the dust resource activity amplification in southern and southeast parts of Ahwaz. *Journal of Iran Narture*, *3*(4), 26-33 [In Persian].
13. Tavasoli, A., Tabatabaee, J., Hoseinnia, A., Bagherzade, M., & Jabbari, H. (2016). Rainwater Harvesting for Urmia Island (I.R.Iran) Wildlife. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, *3*(4), 57-71 [In Persian].
14. Lotfi, A. (2017). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands*. Mehr Sadegh Publication. 108 pages [In Persian].
15. Ashraf, S., Nazemi, A. & AghaKouchak, A. (2021). Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. *Scientific reports*, *11*(1), 9135.
16. Soltani, A., Jafarnode, S., Zeinali, E., Gherekhloo, J., & Torabi, B. (2024). Assessing aerobic rice systems for saving irrigation water and paddy yield at regional scale. *Paddy and Water Environment*, *22*(2), 271-284. https://doi.org/10.1007/s10333-023-00966-2

17. Joolaie, R., Mirkarimi, Sh., Hasanvand M., & Shirani Bidabadi, F. (2016). Management of Optimum Cropping Pattern of Crops in Mazandaran Province Using Goal Programming. *Quarterly journal of Agricultural Economics and Development, 24*(2), 71-94 [In Persian].
18. Shariati, H., Motamed Vaziri, B., Goudarzi, M., & Ahmadi, H. (2021). Optimization of Cropping Pattern Using Linear Programming Method and Lingo software in Dehgolan Plain in Kurdistan Province, Iran. *Geography and Environmental Sustainability*, *11*(3), 81-96. [In Persian].https://doi.org/10.22126/ges.2021.6601.2409
19. Asaadi Mehrabani, M., Banihabib, M. E., & Roozbahany, A. (2018). Fuzzy Linear Programming Model for the Optimization of Cropping Pattern in Zarrinehroud Basin. *Iran Water Resources Research*, *14*(1), 13-24 [In Persian].
20. Dariane, A. B., Ghasemi, M., Kararmi, F., Azaranfar, A., & Hatami, S. (2021). Crop pattern optimization in a multi-reservoir system by combining many-objective and social choice methods. *Agricultural Water Management*, *257*, 107162. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107162
21. Jafarzadeh, A., Khaseii, A., & Shahidi, A. (2017). Designing a multiobjective decision-making model to determine optimal crop pattern influenced by climate change phenomenon (case study: Birjand plain). *Iranian Journal of Soil and Water*, *47*(4), 849-859 [In Persian].
22. Mirzaei, A., Layani, G., Azarm, H., & Jamshidi, S. (2018b). Determination Optimal Crop Pattern of Sirjan County Central Part Based on Stability of Water Resources and Environmental. *Agricultural Economics Research*, *9*(36), 283-304 [In Persian].
23. Gaffari, A., Montazar, A., & Rahimi Jamnani, A. (2011). Development of an Optimized Cropping Pattern Model Using Analytical Hierarchy Process. *Water and Soil*, *24*(6), 1119-1128 [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.7495
24. Hosseinzad, J., Namvar, A., Hayati, B., & Pishbahar, S. (2014). Determination of Crop Pattern with Emphasis on Sustainable Agriculture in the Lands Below the Alavian Dam and its Network. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *24*(2), 41-54 [In Persian].
25. Nozari, H., & Mohseni, V. (2015). Applying System Dynamics Approach for Simulation and Optimization of the Cropping Pattern in Esfahan Right Side Abshar Irrigation and Drainage Network. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *46*(3), 465-474 (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijswr.2015.56736
26. Mirzaee, S., Shahabi Far, M., & Sharifan, H. (2017a). Determining the Optimum Cropping Pattern in Golestan Dam Irrigation and Drainage Network using Genetic Algorithm. *Irrigation Sciences and Engineering*, *40*(3), 181-190 [In Persian]. https://doi.org/10.22055/jise.2017.13261
27. Aligholinia, T., Ghorbani, K., Rezaie, H., & Ghorbani Nasrabad, G. (2021). Optimization of Crop Pattern Based on Water Footprint Index in Different Climates of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(1), 66-53 [In Persian]. https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.300709.668574
28. Moghim, S., & Heidariask, B. (2023). A novel method for adjusting cropping patterns to climate change. *Journal of Arid Environments*, *214*, 104979. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104979
29. Soltani, A., Alimagham, S. M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., Zand, E.,Ghassemi, S., Pourshirazi, S., Alasti, O., Hosseini, R. S., Zahed, M., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Kamari, H., Fayazi, H., Mohammadi, S., Keramat, S.,Vadez, V., van Ittersum, M.K., & Sinclair, T. R. (2020a). SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. *Agricultural Systems*, *182*, 102855.
30. Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E.,Vadez, V., van Loon, M. P., & van Ittersum, M.K. (2020c). Future food selfsufficiency in Iran: A model-based analysis. *Global Food Security*, *24*, 100351. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100351
31. Ministry of Energy. (2018). Statistics and information. Available at: http:// https://isn.moe.gov.ir/

32. Zare, Sh., Mohammadi, H., Sabouhi, M., Ahmadpour, M., Mohaddes Hoseini, S. A. (2020). Comparing the Policies of Water Extraction Reduction and Irrigation Efficiency Improvement: A Case Study of Razavi Khorasan Province of Iran. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *28*(2), 227-259 [In Persian].
33. Mardani, M., Nikooie, A., Ziaee, S., & Ahmadpour Borazjani, M. (2017). Codifying Regional Cropping Pattern of Agricultural and Horticultural Products in Isfahan Province: Multi-objective Structural Planning Approach. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *30*(3), 188-206 [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jead2.v30i3.53749
34. Soltani, A., Nehbandani, A., Zeinali., E., Torabi, B., Zand, E., Ghasemi, S., Alasti, O., Dadrasi, A., Hoseini, R., Alimagham, S. M., Zahed, M., Fayyazi, H., Kamari, H., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Pourshirazi, Sh., Mohammadi, S., & Keramat, S. (2018). Preparing a atlas of the yield gap and production potential of important agricultural plants in the country under current and future climatic conditions. Agricultural Research, Education and Extension Organization and Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, research project report. 286 pages [In Persian].
35. van Ittersum, M., Cassman K.G., Grassini, P., Wolf, J. Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance-A Review. *Field Crops Research*, *143*, 4-17.