Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 44, No. 3, Fall 2021, p. 103-116

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Optimization of Water Allocation and Optimal Cropping Pattern in Irrigation and Drainage Network of Ghazvin Plain

F. Shirshahi[1], H. Babazadeh[2*] , N. A. Ebrhimi Pak[3] and M. R. Khaledian[4]

1- Ph.D. Candidate, Department of Agricultural Systems engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Corresponding Author, Professor, Department of Agricultural Systems engineering , Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (h_babazadeh@srbiau.ac.ir).*
3- Associate Professor, Department of Irrigation, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Promotion Organization.
4- Associate Professor, Water Engineering Dept., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, and Caspian Sea Basin Research Center, Rasht, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 6 December 2018
Revised: 19 June 2019
Accepted: 23 June 2019

Keywords:
Economic Profit, Genetic Algorithm, NSGAII, Sustainability of Water Resources.

TO CITE THIS ARTICLE:

Shirshahi, F., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N., Khaledian, M. (2021). 'Optimization of Water Allocation and Optimal Cropping Pattern in Irrigation and Drainage Network of Ghazvin Plain', Irrigation Sciences and Engineering, 44(3), pp. 103-116. doi: 10.22055/jise.2019.26934.1788.

Introduction

Water scarcity has become a major constraint for the growth of societies in the world over the last few decades. The agricultural sector, as the largest water user, is prioritizing the optimal and sustainable allocation of water resources. In the present study, an optimization model was developed to maximize the profit and minimize the stability of water resources in the main canal and grade 1 and 2 channels in the irrigation and drainage network of Qazvin plain (Figure 1). The optimization model was proposed using a multi-objective genetic algorithm with two separate objective functions. In order to study the model farm, the major and important plants with their culture ratio in L1, L2, L3, L4, L4A, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L20 canals in Qazvin plain, cost production and sales price of products were collected in the year 1394. The results of the optimization exercise indicate a 64% increase in net profit compared to the existing cropping pattern by reducing the level of cropping of products with low net profit and increasing the level of high-yielding products. On the other hand, according to the coefficients applied to water quotas, the definition of the second target function has reduced water consumption by optimal conditions from 100% of the water quota to 80%.

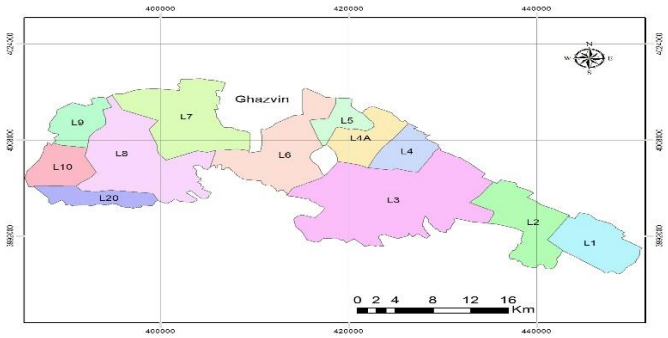


Fig. 1- Schematic of Qazvin plain

Methodology

For this purpose, an optimization model was developed using the NSGA-II algorithm with two maximum profit goals and the minimum disruption of water resources stability in grade 1 and 2 channels in the irrigation and drainage network of Qazvin plain:

1- The objective of the agricultural economy (with the aim of maximizing profit)

2-Purpose and Constraints of Improvement of Irrigation and Drainage Network (with the aim of providing system stability)

Initially, target functions, decision variables, and constraints were defined. Maximum economic profit and minimum disturbance of system equilibrium were considered as two objective functions. In order to be able to analyze the benefits of irrigation in agriculture, the function of the product must first be determined. So far, many functions have been proposed, according to which the amount of product can be estimated based on the amount of irrigation water or the amount of evapotranspiration of the plant. The most important relationship in which the response coefficients of the product by FAO for different stages of plant growth is proposed would be the Durban and Kesam relationship, which shows the relationship between relative reduction of yield, relative decline of evapotranspiration and plant response coefficient (ky) (Doorenbos and Kassam, 1979). Multi-objective genetic algorithm based on non-classified ranking was used to plan water allocation system to Qazvin plain farming pattern. In a multi-objective problem, sets of points are all determined in the direction of a predefined optimal point.

Results and discussion

Water requirement was considered to reduce irrigation of plants, while minimizing irrigation and saving water consumption. Since the resistance of plants to different water conditions is different, the model is developed in a way to apply relative proportions for different plants. The model has allowed up to 10% reduction in water allocation along the target functions. For corn fodder only, in the L2 and L7 channels, this amount is 89% and 86%, respectively. Figure (2) indicates that the under cultivation surface was not optimal. The ratio of wheat cultivars decreased in optimal conditions in all canals. Singh and Panda (2012) reported that reducing the level of rice, mustard, barley and chickpeas and increasing the level of cotton, sugar cane, millet, wheat and sorghum will increase about 26 percent of net annual income. Sensitivity analysis shows that product market prices have had the greatest impact on agronomy and target function.

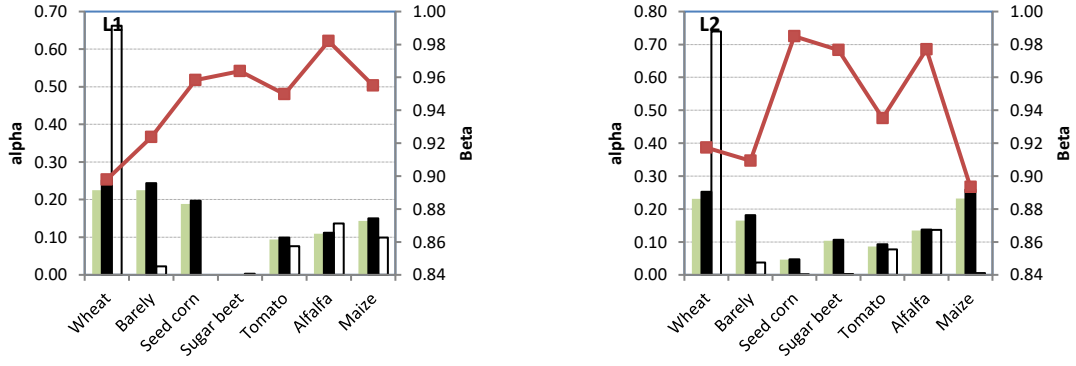


Fig. 2- Rate of area under cultivation and water allocation in different canals

According to Figure (3), which shows the amount of water requirement and profit in the existing conditions, the optimal conditions and their differences in the channels of irrigation and drainage networks in Qazvin plain, water consumption in all canals was observed. An increase in total profit was created in all channels. In fact, it can be concluded that saving water consumption not only resulted in system stability, but also increased crop yields. Dima et al. (2010) showed that water irrigation decreases by changing the pattern of cultivation under the conditions of water and land constraints by 10%

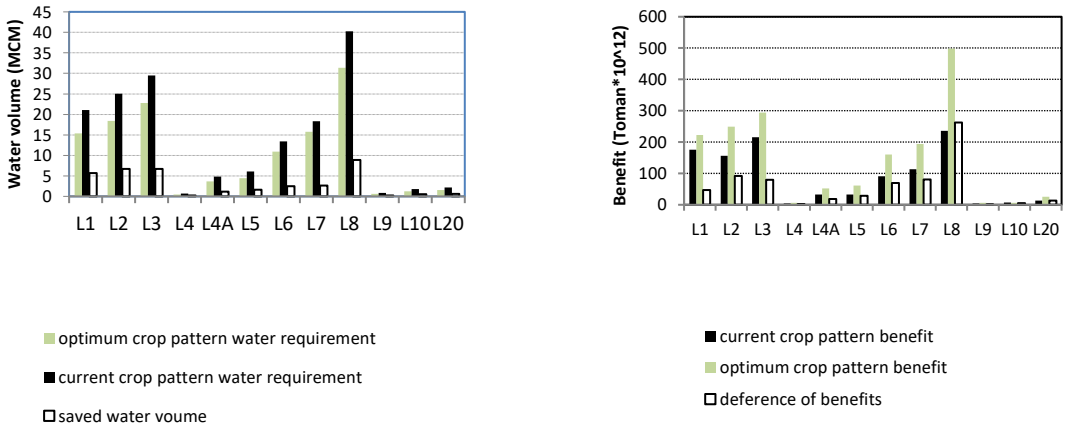


Fig. 3- Water volume and benefit in present and optimum situation and their differences

Conclusion

In the present study, optimal cropping pattern was designed to maximize the profit and minimize the disruption of water resources sustainability in the main canal and grade 1 and 2 channels in the irrigation and drainage network of Qazvin plain. Initially, the amount of cropping area ratio was optimized and the amount of water allocated to each plant per each channel was optimized using NSGAII algorithm. Then, applying the transfer, distribution, and application rates of water allocated to each channel were calculated. Finally, the ratio of our net profit was equal to the allocated water in each channel. The results showed that the income from applying the optimization method in water distribution could increase the income of canals in the network by an average of 64%. In order to improve the optimization, it is recommended that in the future research, attention be paid to economic plants and alternative crops. Moreover, financial allocations for optimization issues can be considered.

Acknowledgement

This paper has been extracted from a Ph. D. thesis in irrigation and drainage.

References

1- Dima, W., Nazer, Z. M., Maarten, A., Siebel, p. and G. Huub. 2010. Optimizing irrigation water use in the west bank, Palestine. *Agricultural Water Management*, 97: 339-345.

2- Doorenbos, J. and A. H. Kassam. (1979)."Yield response to Water." irrigation and drainage. Paper No. 33, Food and Agricultural Organization. Rome. Italy

3- Singh, A. and Panda, S.N. 2012. Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return. *Agricultural Water Management*, 115:267-275.

© 2021 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٤، شماره‌ی۳، پاییز ۱٤۰۰، مقاله پژوهشی، ص. ۱۱٦-۱۰۳

بهینه‌سازی تخصیص آب و الگوی کشت بهینه (مطالعه موردی: دشت قزوین)

فهیمه شیرشاهی[۱]، حسین بابازاده[۲*]، نیازعلی ابراهیمی پاک[۳] و محمدرضا خالدیان[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. h_babazadeh@srbiau.ac.ir

۳- دانشیار بخش آبیاری موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

۴- دانشیار گروه مهندسی اب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و گروه پژوهشی آب و محیط زیست پژوهشکده حوزه آبی دریای خزر، رشت، ایران.

دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۵ بازنگری: ۱۳۹۸/۰۳/۲۹ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۲

چکیده

آب به‌عنوان مهم‌ترین و محدودکننده‌ترین نهاده تولیدی در اغلب مناطق کشاورزی ایران خودنمایی می‌کند. از طرفی استفاده بهینه از منابع آب یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در کشاورزی پایدار به‌شمار می‌آید. آب به‌عنوان یک منبع قابل تجدید همواره به‌عنوان یک رکن اصلی کشاورزی مطرح بوده است. در مطالعه حاضر یک مدل بهینه‌سازی به منظور حداکثر نمودن سود و حداقل برهم خوردن پایداری منابع آب در کانال‌های L1، L2، L3، L4، L4A، L5، L6 ، L7، L8، L9، L10، L20 در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین توسعه داده شد. مدل بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه با دو تابع هدف مجزا ارایه گردید. برای واسنجی مزرعه‌ای مدل، نسبت کشت، هزینه تولید و قیمت فروش گیاهان عمده و مهم به همراه نسبت کشت آن‌ها در سال زراعی ۱۳۹٤ جمع‌آوری گردید. نتایج، حاکی از افزایش سود خالص به میزان ٦٤ درصد نسبت به الگوی کشت موجود از طریق کاهش سطوح زیرکشت محصولات با سود خالص کم و افزایش سطح زیرکشت محصولات با درآمد بالا می‌باشد. افزایش درآمد حاصله از تغییر در الگوی کشت ثابت می‌کند اصلاح الگوی کشت موجود نیاز به بازنگری و تغییر دارد. هم‌چنین با توجه به تعریف تابع هدف دوم، میزان آب مصرفی در شرایط بهینه ۲۰ درصد کاهش یافت.

کلید واژه‌ها: الگوریتم ژنتیک؛NSGAII ؛ سود اقتصادی؛ پایداری منابع آب.

مقدمه

بخش کشاورزی به‌عنوان تامین‌کننده امنیت غذایی، در مسیر تحقق یک جامعه پایدار، همواره نقش ارزنده‌ای ایفا می‌کند. این بخش وابستگی مستقیم به منابع آب دارد. از طرفی افزایش بهره‌وری استفاده از نهاده‌های تولید با توجه به تقاضای روز افزون محصولات کشاورزی، ضرورتی انکارناپذیر است. بهره‌برداری مطلوب از این نهاده‌ها، علاوه بر تأمین تقاضای جامعه به عنوان یک هدف کلان، می‌تواند افزایش درآمد بهره‌برداران را که برای آن‌ها فعالیت کشاورزی علاوه بر یک فعالیت اقتصادی به‌عنوان شیوه‌ای از زندگی نیز محسوب می‌شود، به دنبال داشته باشد. به‌همین دلیل در برنامه‌ریزی‌های اقتصادی و کلان کشورهای مختلف، افزایش بهره‌وری استفاده از منابع، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مورد توجه در توسعه کشاورزی می‌باشد. یکی از راه‌کارهای مناسب برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت گیاهان با توجه به معیارهای اقتصادی، مزیت نسبی و در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی و عوامل تولید است (Lalehzari et al., 2016). پیشرفت‌های امروزی، ابزاری را فراهم آورده است تا امکان اختصاص بهینه عوامل تولید برای حصول حداکثر بهره‌وری استفاده از آن‌ها ایجاد گردد (Parhizkari et al., 2015 ؛Mohammdi et al., 2012).

در مطالعه Singh و Panda (2012)، هزینه‌های استفاده از آب زیرزمینی و کانال‌ها، نیاز آبیاری گیاهان و هم‌چنین عوامل هیدرولوژی و اقتصادی، شامل درآمد و هزینه تولید نه گیاه موجود در الگوی کشت، برای مدل بهینه تخصیص آب و زمین در هند استفاده شد. آن‌ها نشان دادند کاهش سطح زیرکشت برنج، خردل، جو و نخود و در مقابل، افزایش سطح زیرکشت پنبه، نیشکر، ارزن، گندم و سورگوم حدود ۲۶ درصد سود خالص سالانه را افزایش خواهد داد. انجام آنالیز حساسیت توسط آن‌ها نشان داد، قیمت بازاری محصولات بیشترین، تأثیر را در الگوی زراعی و تابع هدف دارد. این روش هم‌چنین موجب مدیریت بهترچرخه آب در مزرعه

DOI: 10.22055/JISE.2019.26934.1788

شده و از ابزارهای جلوگیری از آب‌گرفتگی و زه دار شدن اراضی و کنترل کیفیت آب زیرزمینی است. در مطالعه‌ای دیگر Dai و Li (2013) برای تخصیص آب برای تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط عدم قطعیت در حوضه رودخانه ژانگ ونگ از مدل برنامه ریزی تصادفی چند مرحله‌ای استفاده نموده‌اند.

در پژوهشی از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی تخصیص آب و تعیین الگوی کشت بهینه منطقه کشاورزی تحت پوشش سد درودزن واقع در استان فارس استفاده شد و در شرایط آب و هوایی مختلف و کم آبیاری و آبیاری کامل، الگوی کشت و آب تخصیصی مشخص شد (Khanjari Sadati et al., 2014). الگوریتم ژنتیک یکی از ابزارهای پرکاربرد در مدل‌سازی سیستم‌های زراعی به شمار می رود. از آن جمله می‌توان به شبیه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری توسط Haq و Anwar (2010) و ترکیب با دیگر مدل‌های کشاورزی,Bergez (2013) اشاره کرد.

الگوریتم ژنتیک چندهدفه (*MOGAs*) و الگوریتم ژنتیک مبتنی بر جواب نامغلوب (*NSGA-II*)، روش‌های استاندارد الگوریتم ژنتیک چندهدفه محسوب می‌شوند. مهم‌ترین مزایای *NSGA-II* نسبت به *MOGAs* عبارت از سرعت بیشتر در هم-گرایی، استفاده از عملگر مقایسه پرجمعیت و پراکندگی یکنواخت جبهه پارتو، دارای طرح رتبه‌بندی مؤثر برای کاهش پیچیدگی حاکم بر الگوریتم، قیدهای بهینه‌سازی مفهوم و قابل بررسی هستند (Fotakis and Sidiropoulos, 2012).

امروزه برنامه‌ریزی در مسائل کشاورزی تنها با برآورده‌کردن یک هدف امکان‌پذیر نیست، لذا این‌گونه بهینه‌سازی پاسخگوی سیاست‌گذاران و بهره‌برداران نیست. از این رو مدل‌سازی چندهدفه با استفاده از مبانی مختلفی نظیر منطق فازی و مفهوم غلبگی و با بهره‌گیری از ابزارهای هوشمند بهینه‌سازی از جمله الگوریتم ژنتیک برای بهبود فرایند تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. با هدف حداکثرسازی کارایی مصرف آب و سود اقتصادی، jiang et al. (2016) اقدام به انجام یک بهینه‌سازی اقتصادی (PBREOP) در دو سطح مزرعه و شبکه با ترکیب مدل بهینه-سازی با مدل اگروهیدرولوژیکی (SWAP-EPIC) توسعه داده-اند. از آن‌جایی که شبکه‌ها دارای فرایند اگروهیدرولوژیک پیچیده-ای هستند، اغلب بهینه‌سازی در سطح مزرعه انجام می‌گیرد. به نظر، یافتن راهی عملی و ساده برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی در مقیاس شبکه جالب می‌رسد (Singh, 2012; Jiang et al., 2016).

در شرایط کم‌آبی، استفاده از سامانه‌ای که بتواند مقدار و الگوی مصرف آب را بر پایه محدودیت‌های موجود، شبیه‌سازی نموده و الگوی بهینه را در اختیار بهره‌بردار قرار دهد، ضروری است. در بین تحقیقات گذشته اغلب تمرکز یا بر جنبه‌های مالی و اقتصادی در تخصیص آب بوده و یا بر جنبه‌های بهینه‌سازی مصرف آب به قیمت کاهش درآمد بوده است. بدین مفهوم که متخصصین آب به دنبال یافتن راهی برای کاهش مصرف آب و نجات آن هستند که عموماً نتایج حاکی از کاهش سود کشاورز است. از طرفی متخصصین اقتصاد به دنبال راهی برای افزایش درآمد و بهبود اقتصاد آب می‌باشند که این دسته از نتایج حاکی از افزایش درآمد با اندکی افزایش مصرف آب هستند. قطعا دسته دوم برای آخرین و مهم‌ترین رده مصرف که کشاورزان هستند، جذاب-تر است.

فرض اساسی تحقیق بر این پایه است که با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از بهینه‌سازی بتوان با ارایه‌ی الگوی کشت جدید و ترویج آن، در جهت مصرف بهینه و مدیریت منابع آب کشاورزی گام برداشت و به پایداری منابع آب با اعمال مدیریت پایدار و صحیح آب در بخش کشاورزی دست یافت. لذا هدف اصلی پژوهش حاضر این است که آب صرفه‌جویی شده و با افزایش سود کلی کشاورزان در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین همراه باشد تا امکان بهتری برای اجرا و عملی شدن نتایج فراهم گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت قزوین واقع بین طول‌های شرقی ۲۰ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه و عرض‌های شمالی ۳۵ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه ۲۱ دقیقه می‌باشد از لحاظ اقلیمی قسمت شمالی مرطوب‌تر از نواحی دیگر محدوده می‌باشد. مناطق دشتی شامل دو بخش مستعد برای کشاورزی و دیگری دارای محدودیت‌های شوری و قلیاییت و سنگینی بافت خاک است. موقعیت محدوده مورد مطالعه روی شکل (۱) نشان داده شده است.

منابع آب سطحی تامین‌کننده آب دشت رودخانه‌ها و دریاچه‌ی اوان است. یکی از رودهای مهم تامین‌کننده آب این دشت، رودخانه طالقان است که سد طالقان روی آن بنا شده است. از اهداف اصلی احداث این سد تامین آب کشاورزی دشت قزوین، تامین آب شرب شهرهای تهران و کرج، تغذیه مصنوعی دشت قزوین و کنترل سیلاب‌های فصلی رودخانه طالقان است. برای واسنجی مزرعه‌ای مدل، گیاهان عمده و مهم به‌همراه نسبت کشت آن‌ها در کانال‌های L1، L2، L3، L4، L4A، L5، L6، L7، L8، L9، L10، L20 در دشت قزوین شکل (۱) و شکل (۲)، هزینه تولید و قیمت فروش محصولات در سال زراعی ۱۳۹۴ جمع‌آوری گردید.

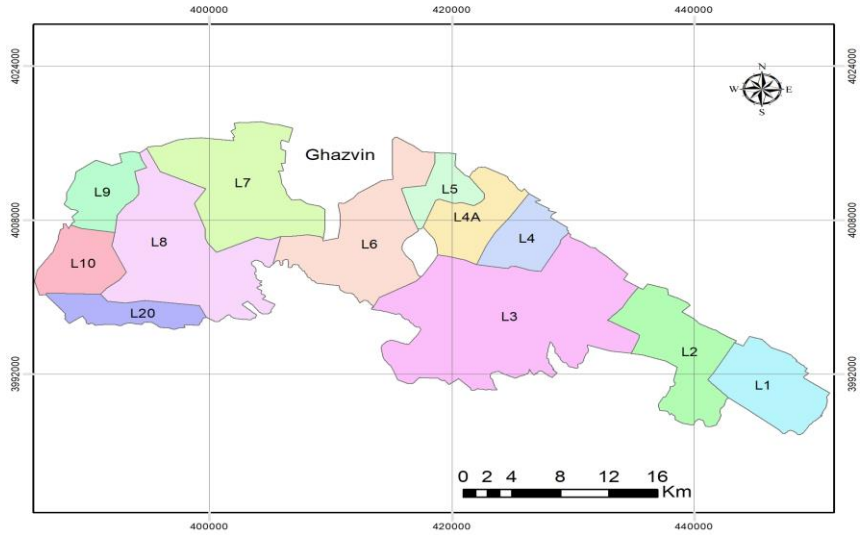


Fig. 1- Location of the case study area and distribution of canals

شکل ۱- نقشه کلی منطقه مورد مطالعه و جانمایی کانال‌ها در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین

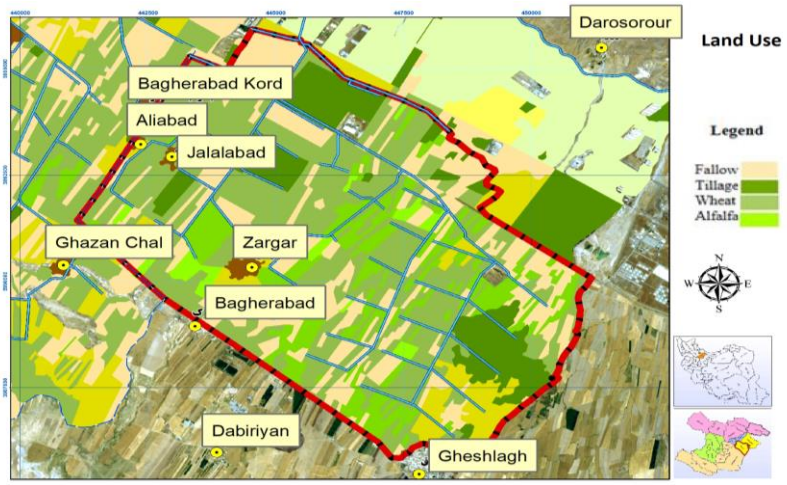


Fig. 2- Land use in downstream of L2 canal

شکل ۲- کاربری اراضی بخشی از اراضی پایین دست کانال L2

توابع هدف

به‌منظور تحلیل منافع حاصله از آبیاری زراعت، ابتدا باید تابع عملکرد محصول تعیین شود. تاکنون توابع زیادی برای تخمین مقدار محصول براساس مقدار آب آبیاری یا تبخیرتعرق گیاه ارائه شده‌است. مهم‌ترین رابطه که در آن ضرایب واکنش محصول توسط FAO برای مراحل مختلف رشد گیاهان پیشنهاد شده است، رابطه Doorenbos و Kassam (1979) است، رابطه مزبور بین کاهش نسبی عملکرد محصول و کاهش نسبی تبخیرتعرق می‌باشد. به عبارت دیگر رابطه بین مقدار آبی که به زراعت داده می‌شود و مقدار محصول تولیدی در قالب رابطه (۱) بررسی می‌شود.

$$1-\frac{y_a}{y_m}=k_y\left(1-\frac{ET_a}{ET_m}\right) \qquad (۱)$$

که در آن،

$\frac{y_a}{y_m}$: نسبت عملکرد واقعی به حداکثر عملکرد، $\frac{ET_a}{ET_m}$: نسبت تبخیرتعرق واقعی به تبخیرتعرق حداکثر گیاه (میلی‌متر) و k_y: ضریب واکنش عملکرد محصول است.

در بهینه‌سازی ابتدا می‌بایست توابع هدف، متغیرهای تصمیم و محدودیت‌ها تعریف شوند. حداکثر سود اقتصادی و حداقل برهم خوردن تعادل سیستم به‌عنوان توابع هدف به شرح زیر در نظر گرفته شد:

DOI: 10.22055/JISE.2019.26934.1788

۱- تابع هدف اقتصاد کشاورزی (با هدف حداکثر سود):
تابع هدف اول با محاسبه سود خالص حاصل از عملکرد محصول از رابطه خطی، متشکل از درآمد ناخالص و هزینه‌های ثابت و متغیر به‌دست می‌آید (Tafteh et al., 2014). برای حداکثر کردن درآمد حاصل از الگوی کشت از رابطه زیر استفاده گردید:

$$O.F.1 = \max(A * \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \times y_i \times B_i) \quad (۲)$$

Subject to:

$$y_i = y_{i\max} * (1 - \sum_{i=1}^{n} k_i \times (1 - \beta_i)) \quad (۳)$$

$$A = \sum_{i=1}^{n} A_i \quad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1 \quad (۵)$$

$$\partial_i \le \alpha_i \le 1.2\partial_i \quad (۶)$$

$$\varphi_i \le \beta_i \le 1 \quad (۷)$$

که در آن، O.F.1: تابع هدف اول، i: بیانگر گیاهان، n: تعداد گیاهان، A_i:سطح زیر کشت هر گیاه، A: مجموع سطح زیر کشت گیاهان ، B_i: میزان سود هر گیاه، y_i: عملکرد هر گیاه، ∂_i : درصد کشت فعلی هر گیاه زراعی، φ_i : متغیر تصمیم برای تخصیص آب فعلی هر محصول، α_i : متغیر تصمیم برای درصد کشت هر گیاه، k_i : ضریب حساسیت گیاه برای هر محصول، $y_{i\max}$: عملکرد حداکثری هر گیاه،

۲- تابع هدف و قیدها بهبود وضعیت شبکه آبیاری و زهکشی (با هدف تامین پایداری سیستم):
در این تابع مقادیر آب شرب، صنعت و کشاورزی با اعمال ضرایب مربوطه از سهمیه آب هر کانال کسر می‌شود و مقادیر منفی به معنی بیش‌برداشت بوده و غیرقابل قبول هستند. در واقع با این تابع کنترل می‌شود که حداکثر درآمد با افزایش برداشت همراه نبوده و هم‌زمان با رسیدن به حداکثر درآمد مقداری آب هم ذخیره شود.

$$O.F.2 = \min(V_s - \gamma_c . \sum_{i=1}^{n} (\beta_i \times ET_i \times A_i) - \lambda_c . Xs_{u,d}) \quad (۸)$$

Subject to:

$$\varphi_i \le \beta_i \le 1 \quad (۹)$$

که در آن، O.F.2: تابع هدف دوم، V: حجم سهمیه آب با واحد مترمکعب ×۱۰^{۳}، ET_i : نیاز آبی هر محصول ، $Xs_{u,d}$: میزان نیاز شرب و صنعت با واحد مترمکعب در ماه (۵۶۹،۷۱۰)، γ_c: سهم آب شرب تأمین‌شده از آب سطحی، λc: سهم آب سطحی نسبت به آب زیرزمینی، β_i: متغیر تصمیم برای تخصیص آب هر گیاه

الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه مبتنی بر رتبه‌بندی نامغلوب (NSGAII)

الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی بر رتبه‌بندی نامغلوب برای برنامه‌ریزی سیستم تخصیص آب به الگوی کشت دشت قزوین استفاده شد. در یک مسأله چندهدفه مجموعه‌ای از نقاط که همگی در جهت یک نقطه بهینه از پیش تعریف‌شده قرار دارند، تعیین می‌شود. روند الگوریتم ژنتیک چندهدفه بدین ترتیب می‌باشد: ۱ – ایجاد جمعیت اولیه، ۲- محاسبه معیارهای برازندگی، ۳- مرتب کردن جمعیت براساس شرطهای غلبه کردن، ۴ – محاسبه فاصله ازدحامی، ۵ – انتخاب: به محض این‌که جمعیت اولیه براساس شرطهای غلبه کردن مرتب شد، مقدار فاصله ازدحامی در آن محاسبه خواهد شد و انتخاب از میان جمعیت اولیه آغاز می‌شود. این انتخاب بر اساس دو المان صورت می‌پذیرد، ۶ – رتبه جمعیت: جمعیت ها از رتبه‌های بالا به پایین مرتب می‌شوند، ۷- محاسبه فاصله: با فرض این‌که q و p دو عضو از یک رتبه باشند، عضوی انتخاب می شود که فاصله ازدحامی بیشتری دارد. گفتنی است که اولویت انتخاب، ابتدا با رتبه و سپس براساس فاصله ازدحامی است، ۸ – انجام تقاطع و جهش برای تولید فرزندان جدید، ۹- تلفیق جمعیت اولیه و جمعیت به‌دست آمده از تقاطع و جهش (شکل ۳).

آمار مورد نیاز از آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی مستخرج و یا از سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین به‌دست آمد.

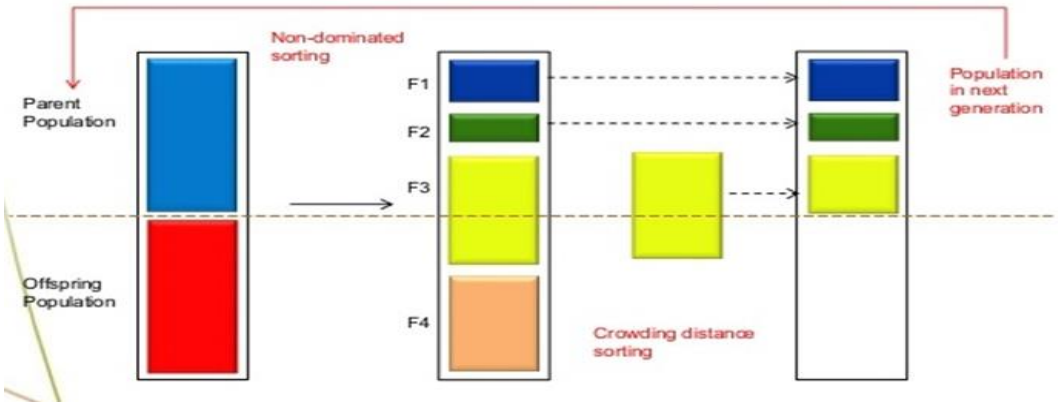


Fig. 3- Schematic Figure of NSGAII Algorithm (Deb et al., 2002)

شکل ۳- شکل شماتیک الگوریتم NSGAII (Deb et al., 2002)

جدول ۱- درصد سطح کشت گیاهان زراعی، سطح کشت کل و سهمیه آب هر کانال در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین

Table 1- Percent of crops cultivation area, total cultivation area and allocated water to each canal in irrigation and drainage network of Qazvin

canal ID	Cultivation area (%)							cultivation area (ha)	water allocated (m^3*10^3)
	Wheat	barely	seed corn	sugar beet	tomato	alfalfa	maize		
L1	66	2	0	0	8	14	10	2978	19389
L2	74	4	0	0	8	14	1	3628	21388
L3	68	8	2	7	3	9	3	9280	22070
L4	68	10	0	0	0	15	6	107	993
L4A	66	11	5	7	2	8	1	738	2924
L5	77	5	0	0	3	11	3	941	7422
L6	68	13	2	8	2	7	1	2106	6902
L7	71	11	1	1	9	7	0	2891	16432
L8	62	16	0	3	1	16	1	6005	32647
L9	59	22	0	0	4	15	0	135	386
L10	62	24	0	0	0	14	0	291	1183
L20	55	17	0	2	0	24	2	303	1665

نتایج و بحث

جدول (۱) درصد سطح کشت گیاهان زراعی، سطح کشت کل و سهمیه آب هر کانال در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین را ارایه می‌دهد. جدول (۲) سطح فعلی زیر کشت، درآمد، حداکثر عملکرد، مقدار ضریب K_y، نیاز آبی، حجم آب مورد نیاز و گیاهان زراعی مهم منطقه مورد مطالعه را در سال زراعی ۱۳۹۴ نشان می‌دهد.

در این تحقیق تابع هدف بیشترین میزان سود اقتصادی با در نظرگرفتن کاهش عملکرد ناشی از کمبود آب با در نظر گرفتن حجم آب در ورودی شبکه آبیاری و کانال‌ها بود. در شکل (۳) مقدار alpha= سطح زیر کشت بهینه، Alpha/beta =نسبت زمین به آب، alpha-old=سطح زیر کشت موجود، Beta= نسبت آب تخصیص یافته در گیاهان و کانال‌های مختلف در شبکه آبیاری و زهکشی دشت نشان داده شده است. مقدار Beta برای محصولات مختلف، بین ۸۰-۱۰۰ نیاز آبی در نظر گرفته شد تا ضمن کم‌آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب، کاهش عملکرد گیاهان چشم‌گیر نباشد.

از آن‌جایی که مقاومت گیاهان به شرایط کم‌آبی متفاوت است، مدل به‌صورتی توسعه داده شده است که برای گیاهان مختلف درصد متناسب با خودشان را اعمال نماید. مدل حداکثر ۱۰ درصد کاهش تخصیص آب را در راستای توابع هدف مجاز دانسته است. تنها برای محصول ذرت علوفه‌ای و در کانال L_2 و L_7 این مقدار به‌ترتیب ۸۹ و ۸۶ درصد نیاز آبی است.

طبق جدول (۱) سطح زیر کشت موجود (alpha-old) در هر کانال مبنای بهینه‌سازی سطوح کشت (Alpha) در آن کانال بود. همان‌گونه که در شکل(۴) مشاهده می‌شود در کانال L_4 در شرایط موجود ذرت دانه‌ای، چغندرقند و گوجه‌فرنگی کشت نمی‌شود. در مدل نیز این مورد به‌عنوان محدودیت اعمال گردید تا نتایج به‌طور عملی نیز قابل اجرا و به واقعیت نزدیک باشد. شکل (۴) نشان می‌دهد که سطح زیر کشت موجود بهینه نبوده است. نسبت سطح زیر کشت گندم در شرایط بهینه در تمامی کانال‌ها کاهش یافت. Singh و Panda (2012) گزارش کردند کاهش سطح زیرکشت برنج، خردل، جو و نخود و در مقابل افزایش سطح زیرکشت پنبه، نیشکر، ارزن، گندم و سورگوم، حدود ۲۶ درصد سود خالص سالانه را افزایش خواهد داد. آنالیز حساسیت نشان می‌دهد قیمت بازاری محصولات بیشترین تأثیر را در الگوی زراعی و تابع هدف داشته است.

DOI: 10.22055/JISE.2019.26934.1788

جدول ۲- آمار و اطلاعات گیاهان زراعی مورد مطالعه در سال زراعی ۱۳۹٤

Table 2- Statistics and information of the products studied in the year 2015

Crop	Area ha	Yield kg/ha	Income Rials*10^6	K_y	ET_c mm	water requirement MCM	Area under cultivation ratio
Wheat	1811.8	5069	2733437	0.79	542.0	9.82	0.42
Barely	917	4417	1892318	0.79	400.7	3.67	0.21
Seed corn	89.29	9604	5149118	0.92	760.0	0.68	0.02
Sugar beet	165	54109	4311914	0.94	1038.4	1.71	0.04
Tomato	63	48317	4388132	0.88	1092.1	0.69	0.01
Alfalfa	509.4	17672	6026956	1.00	1336	6.81	0.12
Maize	785	51443	3554748	0.96	696	5.46	0.18
Total	4340.49		109331.9			28.84	

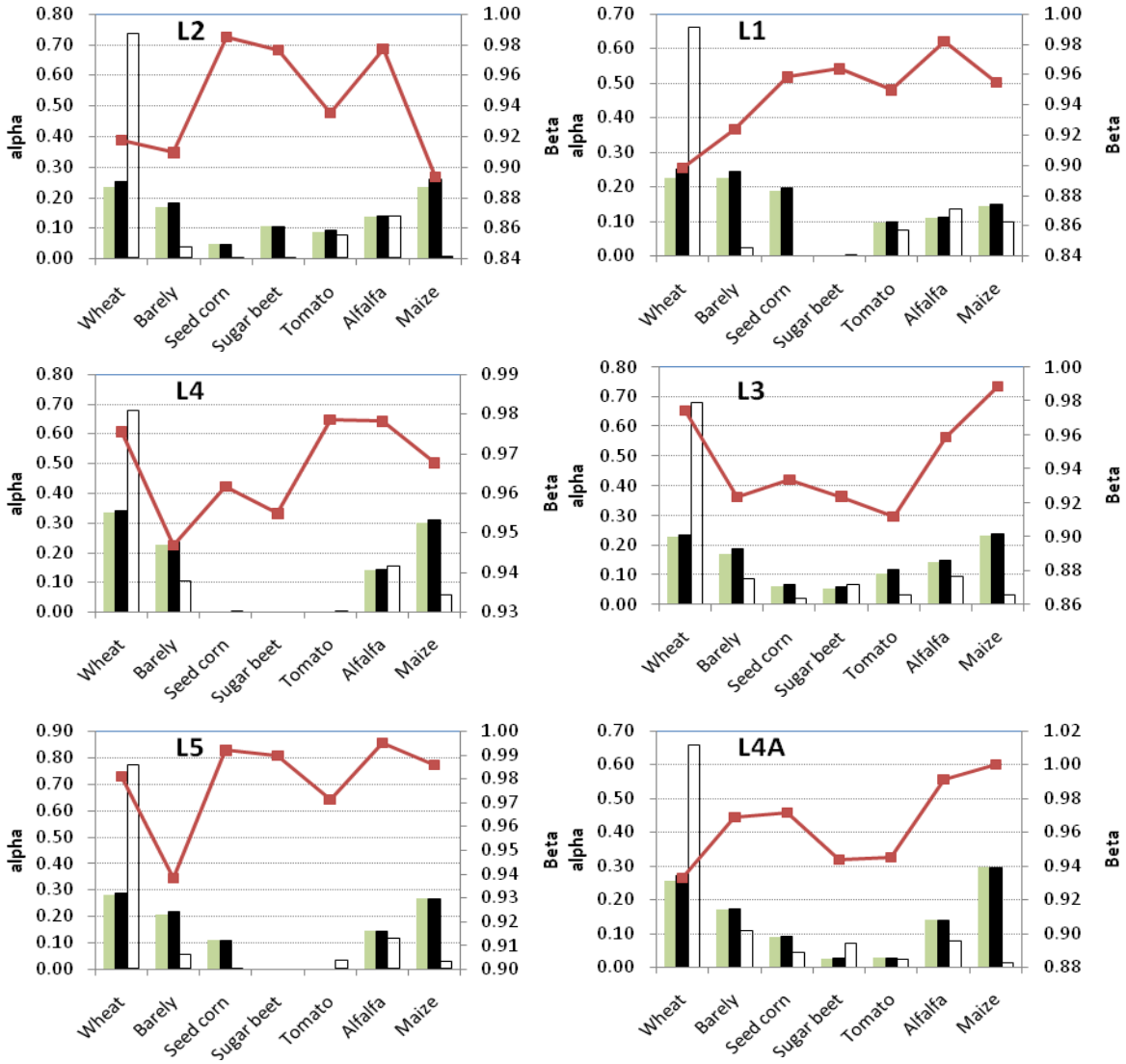
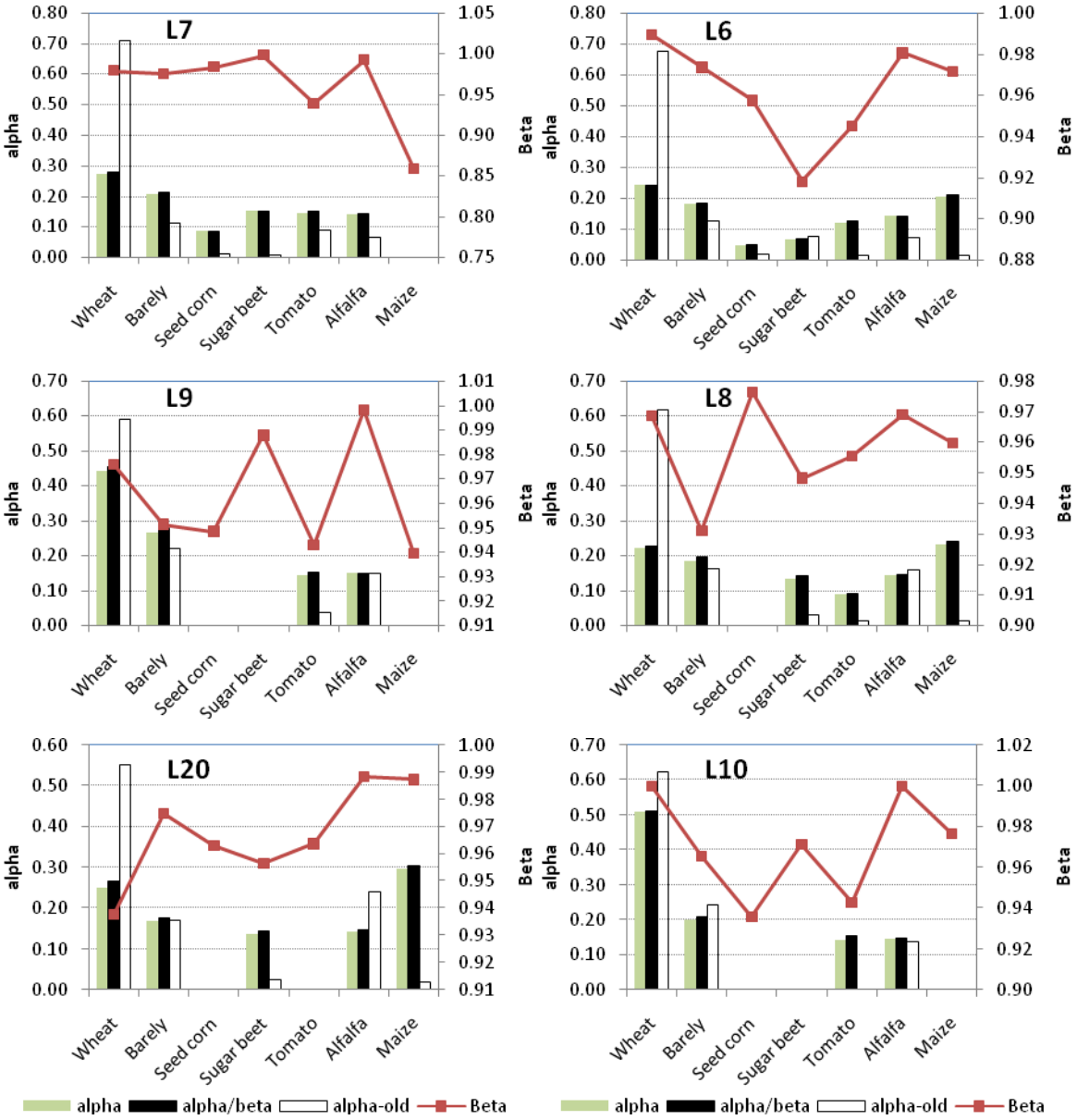


Fig. 4- Ratio of cultivated area and water allocated to crops and canals in Qazvin plain irrigation and drainage network (alpha = optimum cultivation area, Alpha / beta = area to water ratio, alpha-old = current cultivation area, Beta = allocated water ratio)

شکل ٤- نسبت سطح زیر کشت و آب تخصیص یافته در گیاهان و کانال‌های مختلف در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین (alpha= سطح زیر کشت بهینه، Alpha/beta =نسبت زمین به آب، alpha-old=سطح زیر کشت موجود، Beta= نسبت آب تخصیص یافته)



Continue from Fig. 4- Ratio of cultivated area and water allocated to crops and canals in Qazvin plain irrigation and drainage network (alpha = optimum cultivation area, Alpha / beta = area to water ratio, alpha-old = current cultivation area, Beta = allocated water ratio)

ادامه شکل ٤- نسبت سطح زیر کشت و آب تخصیص یافته در گیاهان و کانال‌های مختلف در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین (alpha= سطح زیر کشت بهینه، Alpha/beta=نسبت زمین به آب، alpha-old=سطح زیر کشت موجود، Beta= نسبت آب تخصیص یافته)

نتایج کاربرد برنامه‌ریزی هم‌زمان کم‌آبیاری و افزایش منافع اقتصادی برای تخصیص آب و زمین نشان داد تأمین بخش بیشتری از نیاز آبی و کاهش سطح زیر کشت راه‌کار مناسب‌تری برای مدیریت آب کشاورزی در شرایط خشکسالی به‌شمار می رود (Lalehzari et al., 2016).

مطابق شکل ۵ که مقدار نیاز آبی و سود در شرایط موجود، شرایط بهینه و اختلاف آن‌ها در کانال‌های شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین را نشان می‌دهد، در تمامی کانال‌ها صرفه‌جویی در آب مصرفی مشاهده گردید. افزایش در میزان سود کل در تمامی کانال-ها ایجاد شد. در واقع می‌توان نتیجه گرفت که صرفه‌جویی در مصرف آب نه‌تنها باعث پایداری سیستم گردید بلکه باعث افزایش سود کشت نیز شد. Dima et al. (2010) نشان دادند آب آبیاری با تغییر الگوی کشت تحت شرایط محدودیت‌های آب و زمین ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

DOI: 10.22055/JISE.2019.26934.1788

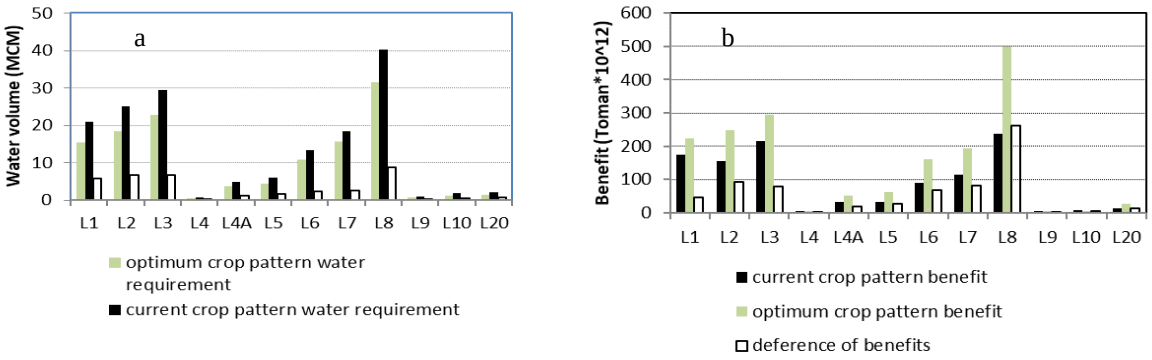


Fig. 5- Water requirement volume (a) and benefit (b) in present and optimum situation and their differences in the irrigation and drainage network of Qazvin plain

شکل ۵- مقدار نیاز آبی (a) و سود (b) در شرایط موجود، شرایط بهینه و اختلاف آن‌ها در کانال‌های شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین

جدول ۳- مقدار ضرایب رابطه عملکرد، نیاز آبی گیاهان، نیاز آبیاری مزارع و آب مورد نیاز هر کانال

Table 3. Canal performance function coefficients, crops water requirement and canals water requirement according to optimization model

canal ID	The canal performance function coefficient (B=aQ+b)			crops water requirement	fields water requirement (correspondent E_a)	canals water requirement (correspondent E_t & E_d)
	a	b	R^2			
L1	5.224	0.106	0.99	15.34	38.33	42.59
L2	4.836	2.035	0.93	18.37	45.94	51.05
L3	4.686	0.996	0.99	22.74	56.86	63.18
L4	64.22	-80.16	0.76	0.48	1.21	1.34
L4A	-12.20	1474.9	0.80	3.62	9.07	10.08
L5	4.925	0.053	0.99	4.46	11.17	12.41
L6	5.490	-0.870	0.98	10.93	27.33	30.37
L7	4.434	0.551	0.96	15.74	39.35	43.72
L8	5.712	-0.352	0.98	31.39	78.49	87.21
L9	-9.185	22.11	0.85	0.64	1.60	1.78
L10	13.41	-39.84	0.96	1.23	3.54	3.93
L20	24.99	-80.76	0.80	1.53	3.84	4.27

Note: B: net benefit in Toman*10^{12}; Q: allocated water to each canal; E_a: application efficiency; E_t: transmission efficiency ; E_d: distribution efficiency ; All water volumes presented in MCM

تابع عملکرد هر کانال $B(Q_c)$ به معنی سود خالص به‌ازای آب تخصیص‌یافته به هر کانال است. برای محاسبه آن مدل برای هر کانال و به ازای حجم‌های مختلف اجرا گردید تا تابع مربوط بدست آید. نتایج در جدول (۳) ارایه‌گردیده است. مجموع نیاز آبی گیاهان بعد از اعمال ضرایب α و β به‌منظور تعیین نیاز دقیق هر کانال محاسبه گردید. با احتساب راندمان کاربرد ۴۰ درصد میزان مجموع نیاز آبیاری مزارع محاسبه شد. در نهایت میزان راندمان انتقال و توزیع ۹۰ درصد تعیین و آب مورد نیاز هر کانال محاسبه شد. با توجه به ضرایب اعمال‌شده برای سهمیه آب استفاده‌شده و تعریف تابع هدف دوم میزان آب مصرفی در شرایط بهینه از ۱۰۰ درصد آب سهمیه به ۸۰ درصد کاهش یافته است. طبق تعریف پایداری سیستم و کشاورزی پایدار باید ۴۰ درصد از منابع آب برنامه‌ریزی و مصرف شود که برای رسیدن به این هدف نیاز به تعریف کشت‌های جایگزین می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر الگوی کشت بهینه به‌منظور حداکثر نمودن سود و حداقل برهم خوردن پایداری منابع آب در کانال اصلی و کانال‌های درجه ۱ و ۲ در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین مدل‌سازی شد. ابتدا مقدار نسبت سطح زیر کشت و میزان آب تخصیص‌یافته به هر گیاه به تفکیک هر کانال با استفاده از الگوریتم NSGAII بهینه‌سازی شد سپس با اعمال راندمان‌های انتقال، توزیع و کاربرد آب تخصیص‌یافته به هر کانال محاسبه گردید. در نهایت رابطه سود خالص ما به‌ازای آب تخصیص یافته

در هر کانال برازش داده شد. افـزایش درآمـد حاصـله از تغییـر در الگوی کشت ثابت مـی‌کنـد اصـلاح الگـوی کشـت موجـود نیـاز ضروری به بازنگری و تغییر دارد. این عمل سبب صـرفه‌جـویی در منابع آبی به مقدار ۱۰ درصد خواهد شد. درآمد حاصـل از اعمـال روش بهینه‌سازی در توزیع آب می‌تواند درآمد کانال‌ها در شـبکه را به‌طور متوسط ۶۴ درصد افزایش دهد. به‌منظور ارتقای بهینه‌سازی، توصیه می‌شود در تحقیقات آتی به موضـوع گیاهـان اقتصـادی و کشت‌های جایگزین توجه شود و به‌صورت جداگانه برای آن‌هـا در مسائل بهینه‌سازی سهمیه لحاظ گردد.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهـران بابت فراهم کردن شرایط مناسب برای اجرای پژوهش حاضر تقدیر به عمل می آید.

References

1- Bergez, J.E., 2013. Using a genetic algorithm to define worst-best and best-worst options of a DEXi-type model: Application to the MASC model of cropping-system sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 90, pp. 93–98.

2- Dai, Z.Y. and Li, Y.P. 2013. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty. *Agricultural Water Management*, 129, pp. 69-79.

3- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T., 2002. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 181–197.

4- Dima, W., Nazer, Z.M., Maarten, A., Siebel, p. and Huub, G., 2010. Optimizing irrigation water use in the west bank, Palestine. *Journal of Agricultural Water Management*, 97, pp. 339-345.

5- Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979. Yield response to Water. *Irrigation and Drainage Paper*, 33, pp. 257.

6- Fotakis, D. and Sidiropoulos, E., 2012. A new multi-objective self-organizing optimization algorithm (MOSOA) for spatial optimization problems. *Applied Mathematics and Computation*, 218, pp. 5268-5180.

7- Haq, Z.U., and Anwar, A., 2010. Irrigation scheduling with genetic algorithms. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, 136(10), pp. 704-714.

8- Jiang, Y., XU, X., Huang, Q., Huo, Z., and Huang, G., 2016. Optimizing regional irrigation water use by integrating a two-leveloptimization model and an agro-hydrological model. *Agricultural Water Management*, 178, pp. 76–88.

9- Khanjari Sadati, S., Speelman, M., Sabouhi, M., Gitizadeh, M. and Ghahraman, B., 2014. Optimal Irrigation Water Allocation Using a Genetic Algorithm under Various Weather Conditions, *Water*, 6(10), pp. 3068-3084.

10- Lalehzari, R., ASCE, S.M., Boroomand Nasab, S., Moazed, H. and Haghighi, A., 2016. Multi objective Management of Water Allocation to Sustainable Irrigation Planning and Optimal Cropping Pattern. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(1), pp. 05015008-1-10.

11- Mohammdi, H., Bostani, F. and Kafilzadeh, F., 2012. Optimal Cropping Pattern Using a Multi-Objective Fuzzy Non-linear Optimization Algorithm: A Case Study. *Journal of Water and Wastewater*, 23(4), pp. 43-55. (In Persian).

12- Parhizkari, A., Mozaffari, M., Shokatfadaee, M. and Mahmoodi, A., 2015. Deficit irrigation simultaneously with reduced available water the solution to conservation of water resources in Qazvin plain, *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 5(1), pp. 67-80. (In Persian).

13- Singh, A., 2012. An overview of the optimization modeling applications. *Journal of Hydrology*, 466, pp. 167–182.

14- Singh, A. and Panda, S.N., 2012. Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return. *Agricultural Water Management*, 115, pp. 267-275.

15- Tafteh, A., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N.A. and Kaveh, F., 2014. Optimization of irrigation water distribution using the MGA method and comparison with a linear programming method. *Irrigation and Drainage*, 63 (5), pp. 590-598.