

Simultaneously Management of Surface and Groundwater Resources and Increasing Farmers' Resilience to Water Scarcity by Predicting the Price of Agricultural Products and using GA (Case Study of Irrigation and Drainage Network of Qazvin Plain)

SEYEDEH MARZIEH HOSEINI¹, HAMED MAZANDARANI ZADEH^{*1}, BIJAN NAZARI¹

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

(Received: Nov. 23, 2020- Revised: Jan. 9, 2021- Accepted: Jan. 27, 2021)

ABSTRACT

Taleghan Dam is the main supplier of required water to the agricultural sector of Qazvin plain. The amount of water allocated from Taleghan Dam to this plain has decreased for various reasons, including increasing the allocation of drinking water to Tehran. The reduction of allocated water and the fluctuation prices of agricultural products due to the time lag between the farmer's decision to cultivate and offer it to the market, make farmers to be uncertain to their future earnings. In order to deal with the uncertainty of the prices of agricultural products and their livelihood, despite the reduction of allocated water, farmers have started to discharge the groundwater by stabilizing the cultivated area and combining the cultivation pattern. In this study, in order to increase farmers' resilience and preserve groundwater resources, water distribution pattern with price prediction and simultaneous water cultivation and distribution pattern with price prediction has been optimized using genetic algorithm. For predicting the price of agricultural products with guaranteed purchase such as wheat, barley, sugar beet and rapeseed the ANN model was used. For predicting the price of maize, tomato, alfalfa, peas, beans, potatoes, corn and lentils, the reverse demand function method was used. The price elasticity of demand for maize, tomato, alfalfa, peas, beans, potatoes, corn and lentils were estimated -0.508, -1.111, -0.954, -0.914, -0.374, -0.529, -0.363 and -0.332, respectively. MAE and RSME indices indicated the ability of reverse demand function and ANN in price forecasting. The results also showed that the use of water distribution optimization models with price forecasting will increase revenue by 25% and the simultaneous optimization model of water cultivation and distribution model with price forecasting will increase network revenue by 160% compared to the current situation.

Keywords: Optimization, Cultivation Pattern, Water Reallocation, Guaranteed Purchase, Wheat.

* Corresponding Author's Email: mazandaranzadeh@eng.ikiu.ac.ir

مدیریت توامان منابع آب سطحی و زیرزمینی و افزایش تاب‌آوری کشاورزان در مقابل کم‌آبی با پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی و استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین)

سیده مرضیه حسینی^۱، حامد مازندران‌زاده^{۱*}، بیژن نظری^۱

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۸)

چکیده

سد طالقان تأمین‌کننده اصلی آب موردنیاز بخش کشاورزی دشت قزوین است. مقدار آب تخصیص‌یافته از سد طالقان به این دشت به دلایل گوناگون از جمله افزایش تخصیص آب شرب شهر تهران کاهش یافته است. کاهش آب تخصیص‌یافته از یک سو و نوسان قیمت محصولات کشاورزی به دلیل وقفه زمانی بین تصمیم کشاورز به تولید و عرضه آن به بازار از سوی دیگر، سبب شده کشاورزان نسبت به درآمد آینده خود نامطمئن باشند. کشاورزان برای مقابله با نا اطمینانی قیمت محصولات کشاورزی و تأمین معیشت خویش، علی‌رغم کاهش آب تخصیص‌یافته، با تثبیت سطح و ترکیب الگوی کشت اقدام به تخلیه آب زیرزمینی نموده‌اند. در این پژوهش به منظور کمک به افزایش تاب‌آوری کشاورزان و حفظ منابع آب زیرزمینی اقدام به بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت و بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت با استفاده از الگوریتم ژنتیک شده است. برای پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی دارای خرید تضمینی شامل گندم، جو، چغندر قند و کلزا از ANN و قیمت ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیا، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس از روش تابع تقاضا معکوس استفاده شده است. کشت قیمتی تقاضا برای محصولات ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیا، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس به ترتیب ۰/۵۰۸، -۱/۱۱۱، -۰/۹۵۴، -۰/۹۱۴، -۰/۳۷۴، -۰/۵۲۹، -۰/۳۶۳ و -۰/۳۳۲ برآورد شد. بررسی دو شاخص MAE و RSME بیانگر توانایی خوب تابع تقاضا معکوس و ANN در پیش‌بینی قیمت بود. همچنین نتایج نشان داد استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت موجب ۲۵٪ افزایش درآمد و مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت موجب ۱۶۰٪ افزایش درآمد شبکه نسبت به وضعیت کنونی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، الگوی کشت، باز توزیع آب، خرید تضمینی، گندم.

مقدمه

به دلیل اهمیت بخش کشاورزی در اقتصاد کشور، برای پایدار ماندن کشاورزی به عنوان یک منبع کسب درآمد و به‌ویژه تولید و تأمین مواد غذایی موردنیاز، بایستی بر میزان منابع در اختیار کشاورز و عامل‌های مؤثر بر تصمیم‌گیری تخصیص منابع تأکید شود (Hosseini Yekani and Kashiri kolaei, 2017). کشاورزی از جمله فعالیت‌هایی است که با خطر مواجه بوده و لذا کشاورزان نسبت به درآمد آینده خود نامطمئن هستند. ریسک موجود در فعالیت‌های کشاورزی ممکن است در اثر نوسانات قیمت، تولید و یا سیاست‌های دولت باشد که این مسئله منجر به اهمیت توجه به ریسک در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی شده است (Najafi et al., 2007)؛ اما آنچه در کشورهای در حال توسعه بیشتر مشاهده می‌گردد تغییرات گسترده عملکرد و قیمت‌ها است که باعث به وجود

آمدن ریسک در کشاورزی این کشورها شده است (Najafi et al., 2007). با توجه به اینکه نوسان عملکرد تحت تأثیر شرایط محیطی، عوامل ژنتیکی و مدیریتی است، لذا ریسک موجود در فعالیت‌های کشاورزی بیشتر در اثر نوسانات قیمتی است. افزایش قیمت محصولات کشاورزی طی سال‌های اخیر موجب افزایش تشویق کشاورزان به افزایش تولید محصولات مختلف گردیده و این افزایش تولید نوساناتی را در قیمت محصولات ایجاد نموده است. بر این اساس پیش‌بینی دقیق قیمت از طریق کاهش نوسانات قیمتی، می‌تواند موجب انتخاب صحیح نوع محصول و سطح زیر کشت آن، تخصیص بهینه منابع آب و افزایش درآمد کشاورزان گردد. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های زیادی در راستای پیش‌بینی قیمت و بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب انجام شده است که به بخشی از آن‌ها که با این پژوهش مرتبط‌تر هستند پرداخته می‌شود.

خودهمبسته دارای خطای پایین تری در پیش‌بینی قیمت گوجه-فرنگی است (Borimnejad and Bakeshloo, 2018). پیش‌بینی قیمت عدس قرمز در کانادا با استفاده از داده‌های هفتگی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ با مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه فصلی^۳ (SARIMA) نشان داد SARIMA(2,1,2) بهترین مدل در پیش-بینی قیمت عدس قرمز است (Divisekara *et al.*, 2020). پیش-بینی تغییرات فصلی قیمت گوجه‌فرنگی با روش SARIMA و با استفاده از سری زمانی ماهانه متوسط قیمت گوجه‌فرنگی از ژانویه ۲۰۰۶ تا دسامبر ۲۰۱۶ در هند نشان داد به دلیل نوسان زیاد قیمت در طول دوره برداشت مدل توانایی خوبی در پیش‌بینی قیمت ندارد (Reddy, 2019).

دشت قزوین بزرگ‌ترین دشت حوضه آبریز دریاچه نمک و یکی از دشت‌های مستعد کشور برای تولید محصولات کشاورزی است که همانند بسیاری از دشت‌های بزرگ کشور با بحران آب و کمبود شدید آب مواجه است. در سال‌های اخیر، افزایش نیاز آب شرب شهر تهران و همچنین کاهش ورودی‌های سد طالقان باعث کاهش آب تخصیص داده‌شده به شبکه آبیاری دشت قزوین از ۲۵۰ میلیون مترمکعب در سال به ۱۵۰-۱۲۰ میلیون مترمکعب در سال شده است و بررسی الگوی کشت بیانگر این است که سطح زیر کشت و ترکیب آن در طی ده سال گذشته علی‌رغم کاهش مقدار آب تخصیص‌یافته تقریباً ثابت بوده است. عدم تغییر الگوی کشت علی‌رغم کاهش مقدار آب تخصیص‌یافته، سبب شده است که کشاورزان به‌منظور جبران و تأمین معیشت خود اقدام به برداشت غیر مجاز آب از سفره‌های آب زیرزمینی نمایند (Simiari *et al.*, 2017)؛ و از طرف دیگر به دلیل فاصله زمانی که بین تولید و عرضه محصولات به بازار وجود دارد قیمت محصولات پس از عرضه به بازار به‌گونه‌ای تغییر می‌کند که بازار از این محصول تخلیه شود که این موضوع علاوه بر کاهش تراز سطح آب زیرزمینی سبب عدم اطمینان خاطر کشاورزان از درآمدشان در سال زراعی آتی شده است بنابراین برای حفظ منابع آب زیرزمینی در شبکه آبیاری دشت قزوین و افزایش درآمد کشاورزان لازم است برنامه‌ریزی مناسبی صورت بگیرد. بررسی مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد تاکنون صرفاً به پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی یا بهینه‌سازی منابع پرداخته‌شده و بهینه‌سازی الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت محصولات کشاورزی مورد توجه محققین قرار نگرفته است. از این رو در این پژوهش با هدف تأمین معیشت کشاورزان و کاهش تخلیه منابع آب زیرزمینی،

حداکثر کردن درآمد مزرعه با ارزیابی اثر درصدهای مختلف کاهش آب مصرفی در دوره‌های مختلف رشد به‌عنوان سناریوهای کم‌آبیاری بر بهینه‌سازی مصرف آب و الگوی کشت غالب (گندم، جو، چغندرقد، ذرت‌دانه‌ای، ذرت‌علوفه‌ای و یونجه) با روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی به همراه روش حداکثر آنتروپی در شبکه آبیاری دشت قزوین نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری در بهترین حالت یعنی سناریو اول (کاهش ۵ درصد کم‌آبیاری در مرحله رسیدن برای محصولات گندم، جو، ذرت‌علوفه‌ای، ذرت-دانه‌ای و چغندرقد و ۵ درصد کم‌آبیاری در مرحله رشد رویشی محصول یونجه) علی‌رغم صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۵/۲ درصد، امکان افزایش درآمد مزرعه به میزان ۰/۴ درصد وجود دارد (Asaadi *et al.*, 2019). بهینه‌سازی الگوی کشت و منابع آب با مدل برنامه‌ریزی غیرخطی در سطوح مختلف آبیاری در اراضی پایاب سد مخزنی دوبرج دهلران نشان داد سود خالص حاصل از کشت هر محصول برای سطوح نیاز آبی ۰/۶۰، ۰/۷۰، ۰/۸۰ و ۰/۹۰ به ترتیب ۱۴/۴، ۳۳/۶، ۵۴ و ۷۴/۷٪ نسبت به الگوی کشت موجود افزایش می‌یابد و به میزان ۰/۶۰، ۰/۴۹، ۰/۳۵ و ۰/۱۹٪ از منابع آب صرفه‌جویی می‌شود (Shekari *et al.*, 2019). بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و با هدف افزایش درآمد و پایداری زیست‌محیطی در هرات افغانستان نشان داد سطح زیر کشت کجند، جو و زعفران نسبت به وضعیت موجود افزایش و سطح زیر کشت گندم و زیره کاهش یابد (Soltani and Khajehpour, 2020). بهینه‌سازی الگوی کشت با در نظر گرفتن عدم قطعیت در دسترس بودن آب و پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف آب در حوضه رودخانه هایه در استان گانسو چین با هدف افزایش درآمد کشاورزان به ازای هر واحد آب مصرفی نشان داد اگر مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد افزایش یابد، مقدار صرفه‌جویی خالص حدود ۲۲ و ۴۴ میلیون مترمکعب خواهد شد (Hao *et al.*, 2018).

پیش‌بینی قیمت یونجه، سیب‌زمینی و گندم در استان کردستان با استفاده از الگوی میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه^۱ (ARIMA)، میانگین متحرک^۲ (MA) و الگوهای خودهمبسته نشان داد الگوی ARIMA بر اساس معیارهای ارزیابی دقت پیش‌بینی، میزان خطای کم‌تری و در نتیجه قابلیت بالاتری در پیش‌بینی قیمت محصول منتخب دارد (Ghaderzade *et al.*, 2019). پیش‌بینی قیمت گوجه‌فرنگی با استفاده از روش ARIMA و شبکه عصبی خودهمبسته نشان داد شبکه عصبی

۱۵۰ کیلومتری غرب شهر تهران در محدوده جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین جمعاً به طول کلی ۱۰۴۷ کیلومتر متشکل از ۵۱۹ شاخه کانال اصلی و کانال‌های درجه ۱، ۲، ۳ و ۴ است. محدوده شبکه آبیاری دشت قزوین در شکل (۱) نشان داده شده است (Abkhan Consulting Engineers, 2013). همان‌طور که مشاهده می‌شود شبکه از ۱۱ بخش مجزا تشکیل شده است که هر یک به‌منابا یک بهره‌بردار است. مقدار آب تخصیص‌یافته از سد طالقان و چاه‌های تلفیقی به شبکه آبیاری دشت قزوین و سطح زیر کشت محصولات به ترتیب مطابق جداول (۱ و ۲) است (Abkhan Consulting Engineers, 2013).

اقدام به ارائه دو مدل الف: بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش-بینی قیمت و ب: بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت شده است. برای پیش‌بینی قیمت محصولات ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، چغندرقد، نخود، لوبیا، سیب-زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس که قیمت آن‌ها تابعی از مقدار تولید و عرضه آن در بازار است از تابع تقاضا معکوس^۱ و برای پیش‌بینی قیمت محصولات دارای خرید تضمینی شامل گندم، جو، کلزا و چغندرقد که از خرید تضمینی برخوردار هستند از شبکه عصبی مصنوعی^۲ (ANN) استفاده شده است.

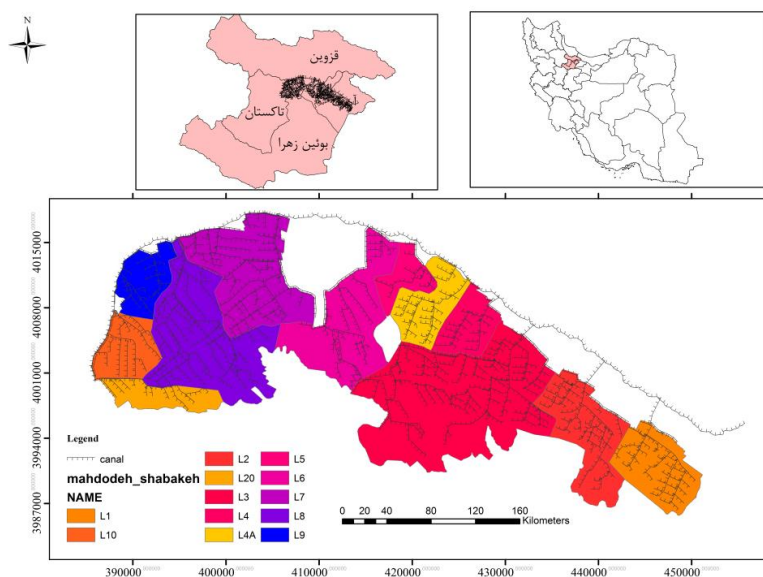
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده شبکه آبیاری دشت قزوین در استان قزوین در فاصله

جدول ۱- مقدار حجم آب تخصیص‌یافته از سد طالقان و چاه‌های تلفیقی به شبکه آبیاری دشت قزوین در ماه‌های مختلف سال (هزار مترمکعب)

بهره‌بردار	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
L1	۲۶۶۰/۲	۳۶۸۶	۳۸۲۷	۲۴۱۵/۲	۲۱۴۰	۱۹۰۱/۱	۱۶۴۷/۴	۲۱۱۷/۴	۸۴۱/۷
L2	۱۷۶۴/۹	۳۵۸۷/۹	۳۷۰۱/۳	۱۴۲۴/۴	۱۶۲۵/۴	۱۲۷۶/۳	۹۳۷/۵	۲۱۰۴/۲	۸۹۸
L3	۴۱۰۷/۱	۹۰۶۰/۲	۸۷۰۶/۳	۳۶۴۶/۷	۳۵۵۱/۳	۲۷۶۷	۱۷۵۹	۴۱۶۲/۲	۱۶۱۷/۱
L4	۷۶۱/۲	۱۶۷۴/۸	۱۷۴۲/۶	۶۸۶/۴	۶۸۰/۳	۳۷۵	۳۱۳/۶	۱۱۳۰/۳	۴۴۲
L4A	۸۵۰/۷	۱۵۲۰/۱	۱۵۲۷/۹	۶۷۲/۸	۶۴۵/۴	۵۶۱/۴	۴۲۳/۱	۸۰۰	۲۴۱/۶
L5	۸۶۰/۸	۱۴۹۸/۱	۱۵۲۳/۳	۵۹۸/۳	۵۱۴/۹	۴۶۵/۷	۴۱۸/۸	۹۶۶/۱	۴۵۱/۸
L6	۱۹۱۴/۸	۴۷۸۵/۱	۴۵۶۹/۳	۱۸۶۶/۷	۱۵۶۹/۴	۶۰۱	۸۵۳/۶	۲۴۹۱	۹۸۳
L7	۹۰۵/۷	۲۵۷۲	۲۲۴۶	۶۸۶/۱	۶۲۹/۸	۴۲۶/۷	۳۳۵/۳	۱۳۷۸	۸۵۴/۹
M2	۵۹۶/۴	۱۳۹۲/۶	۱۲۴۱	۱۹۷/۵	۱۸۷/۹	۹۴/۱۹۴	۱۸۳/۷	۱۰۲۷/۳	۴۳۷/۸
L8	۱۶۹۳/۳	۴۹۴۲/۸	۴۹۷۲/۴	۲۱۱۹/۱	۲۲۴۵/۸	۱۲۵۳/۱	۱۲۲۱/۴	۱۶۶۳/۶	۶۶۶/۱
MW	۸۳۴/۷	۲۲۶۶/۲	۱۹۹۹/۳	۳۰۵/۹	۲۵۰/۶	۱۲۴/۸	۵۶۰/۲	۷۷۵/۶	۲۵۰/۱
Sum	۱۶۹۴۹/۸	۳۶۹۸۵/۹	۳۶۰۶۵/۴	۱۴۶۱۹/۱	۱۴۰۴۰/۶	۹۸۴۶/۲	۸۶۵۳/۵	۱۸۶۱۵/۷	۷۶۸۴/۱



شکل ۱- محدوده شبکه آبیاری دشت قزوین

در مقدار تقاضا و $\frac{dP}{P}$ درصد تغییر در قیمت کالا هست.

توابع سیستمی تقاضا به طور همزمان، تقاضا برای هر کالا را در ارتباط با قیمت آن کالا و سایر کالاها و درآمد بررسی می کنند. از آنجاکه در توابع تقاضای سیستمی ضرایب بسیاری باید تخمین زده شود، برای تخمین این توابع به سری زمانی طولانی تری نیاز است که البته این گونه آمار و اطلاعات در مورد متغیرهای گوناگون کمتر یافت می شود. در کارهای تجربی به دلیل مشکل بودن انتخاب تابع مطلوبیت مناسب و استخراج تابع تقاضا آن، معمولاً از تابع تقاضا در حالت های غیر سیستمی یا تک معادله ای استفاده می شود. توابع تقاضای تک معادله ای را می توان در حالت های مختلف خطی، نمایی و لگاریتمی به کار برد (Sa'adat Mehr, 2017).

در این تحقیق، از تابع تقاضا تک معادله ای در حالت لگاریتمی استفاده شده است. با توجه به لگاریتمی بودن مدل تابع تقاضا، مشتق جزئی مقدار نسبت به قیمت، کشش قیمتی تقاضا را می دهد. اگر بین متغیرهای Q, P, X, Y و... بتوان رابطه لگاریتمی مانند زیر برقرار کرد:

$$\ln D = a + b \ln P + c \ln X + d \ln Y + \dots \quad (\text{رابطه ۲})$$

در رابطه ۲، P متوسط قیمت سالانه سر مزرعه محصول، D مقدار تقاضا، a, b, c, d و ضرایب ثابت و X, Y متغیرهای دلخواهی نظیر متوسط درآمد سالانه خانوار شهری، هزینه تولید، شاخص تورم، قیمت ارز و... هستند که البته ضریب همبستگی مناسبی با متغیرهای P و D داشته و باعث دقت رابطه ۲ شوند. با توجه به این روابط اگر $\ln(a) = K$ باشد، می توان رابطه لگاریتمی را به شکل رابطه زیر نوشت:

$$D = K P^b X^c Y^d \quad (\text{رابطه ۳})$$

با مشتق گیری از رابطه ۳ نسبت به P خواهیم داشت:

$$\frac{dD}{dP} = K b P^{b-1} X^c Y^d \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\frac{dD}{dP} = b P^{b-1} (K X^c Y^d) \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\frac{\frac{dD}{dP}}{\frac{D}{P}} = b \quad (\text{رابطه ۶})$$

بر اساس روابط ۱ و ۶ می توان نتیجه گرفت:

$$\varepsilon = b \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$\frac{dD}{dP} = b \times \frac{D_1}{P_1} \quad (\text{رابطه ۸})$$

جدول ۲- سطح زیر کشت بهره برداران در شبکه آبیاری دشت قزوین (هکتار)

بهره بردار	سطح زیر کشت
L1	۳۷۹۵
L2	۴۹۱۷
L3	۱۳۸۸۵
L4	۲۹۴۳
L4A	۲۵۰۲
L5	۱۹۶۰
L6	۸۰۳۶
L7	۴۱۸۰
M2	۲۹۱۰
L8	۹۴۳۶
MW	۶۳۶۴
Sum	۶۰۹۲۸

روش های پیش بینی قیمت

پیش بینی فرآیندی است که با استفاده از یک مدل عینی یا ذهنی بتوان یک متغیر را برای گذشته یا آینده برآورد نمود. برای پیش بینی یک متغیر اول می بایست آن را در داخل نمونه پیش بینی کرد و بهترین روش را انتخاب نمود. سپس متغیر را بر اساس بهترین مدل برای آینده پیش بینی کرد. در این مطالعه، برای پیش بینی قیمت محصولات دارای خرید تضمینی شامل گندم، جو، کلزا و چغندر قند از ANN و برای پیش بینی قیمت ذرت- علوفه ای، گوجه فرنگی، یونجه، نخود، لوبیا، سیب زمینی، ذرت دانه- ای و عدس که قیمت این محصولات تابعی از مقدار تولید و عرضه آن در بازار است، از تابع تقاضا معکوس استفاده شده است.

الف- تابع تقاضا معکوس

تابع تقاضا معکوس تابعی است که در آن قیمت به صورت تابعی از مقدار عرضه بیان می شود و برای پیش بینی عکس العمل و واکنش قیمت محصولات نسبت به مقدار ورودی به بازار به کار می رود (Salami and Rezaei, 2010). تابع تقاضا نشان دهنده یک رابطه تبعی بین مقدار تقاضا و عوامل مؤثر بر آن نظیر قیمت کالای جانشین^۱ و مکمل^۲ بوده که از فرآیند حداکثر سازی تابع مطلوبیت فرد با توجه به محدودیت بودجه ای یا هر محدودیت دیگری که فرد با آن مواجه است، به دست می آید (Heydari, 2013). به این منظور از کشش قیمتی تقاضا که برابر با درصد تغییر در مقدار تقاضا نسبت به درصد تغییر در قیمت کالا است استفاده می گردد.

$$\varepsilon = \frac{\frac{dD}{D}}{\frac{dP}{P}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در رابطه فوق، ε کشش قیمتی تقاضا، $\frac{dD}{D}$ درصد تغییر

مدل به صورت رابطه ۱۰ تعریف می‌شود.

$$a = f(wp + b) \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

پارامترهای b و w قابل تنظیم هستند و تابع محرک f نیز توسط طراح انتخاب می‌شود. بر اساس انتخاب f و نوع الگوریتم یادگیری، پارامترهای b و w تنظیم می‌شوند. در حقیقت یادگیری به این معنی است b و w طوری تغییر کنند که رابطه ورودی و خروجی نرون با هدف خاصی مطابقت کند.

تابع عملکرد

تابع عملکرد به برآورد مقدار محصول تولید شده به ازای آب مصرفی می‌پردازد. تابع عملکرد محصولات زراعی در دوره‌های مختلف رشد رابطه خطی با میزان نیاز آبی محصول داشته (Rao *et al.*, 1988) و مطابق رابطه ۱۱ تعریف شده است.

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left[1 - K_{yi} \left(1 - \frac{AET_i}{PET_i} \right) \right] \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

که در آن، Y_a عملکرد واقعی بر حسب تن بر هکتار، Y_m عملکرد پتانسیل بر حسب تن بر هکتار، K_{yi} ضریب حساسیت محصول نسبت به کم‌آبی در دوره رشد i ام، AET_i تبخیر-تعرق واقعی در دوره رشد i ام بر حسب مترمکعب، PET_i تبخیر-تعرق پتانسیل در دوره رشد i ام بر حسب مترمکعب و n تعداد دوره‌های رشد برای هر گیاه است. عملکرد پتانسیل مطابق جدول (۳) است. PET_i با استفاده از رابطه موازنه آب و خاک (رابطه ۱۲) ارائه شده در نشریه FAO-56 و رابطه (۱۳) برآورد شده است.

$$ET = I + P - RO - DP + CR \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$PET_i = ET_i \times A \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

در رابطه (۱۲) ET تبخیر و تعرق، I عمق خالص آبیاری، P بارش مؤثر، RO رواناب، DP نفوذ عمقی و CR صعود موئینگی بر حسب سانتی‌متر هست که در این پژوهش از رواناب، نفوذ عمقی و صعود موئینه‌ای به دلیل ناچیز بودن صرف نظر شده است. در رابطه (۱۳) منظور از A سطح زیر کشت محصول است.

جدول ۳- پتانسیل تولید محصولات بر حسب تن بر هکتار

پتانسیل تولید	مغز	سبزی‌زمن	پنبه	گندم	ذرت علوفه‌ای	کدو	پسته	سیب‌زمینی	ذرت دانة‌خام	سبزی	پسته
۱۰۰	۴/۵	۱۵	۱۲۰	۵/۵	۸۰	۷	۳	۵	۴۵	۱۳	۲

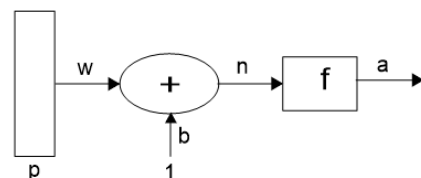
هدایت‌شده بر اساس نظریه تکامل است که با شبیه‌سازی فرآیندهای بقای عضو برتر در علم زیست‌شناسی، اقدام به یافتن

$$P_2 = \frac{D_2 - D_1}{D_1} \times \frac{P_1}{b} + P_1 \quad (\text{رابطه ۹})$$

با محاسبه کشت قیمتی تقاضا و قرار دادن قیمت سال گذشته (P_1) و مقدار تولید سال گذشته (D_1)، نسبت تغییرات تولید به تغییرات قیمت ($\frac{dD}{dP}$) به دست می‌آید. به این ترتیب با داشتن مقدار تولید سال جاری (D_2)، قیمت سال جاری (P_2) نیز محاسبه خواهد شد.

ب- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه عصبی مصنوعی، مدل ساده‌شده‌ای از سیستم عصبی مرکزی هستند و مانند مغز با پردازش روی داده‌های تجربی، قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند (Minhaj, 1998). یک شبکه عصبی مصنوعی از نرون‌های مصنوعی تشکیل شده است. نرون یا گره کوچک‌ترین واحد پردازش اطلاعات است که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. هر یک از نرون‌ها، ورودی‌ها را دریافت کرده و پس از پردازش روی آن‌ها، یک سیگنال خروجی تولید می‌کند؛ به این ترتیب هر نرون به‌عنوان مرکز پردازش و توزیع اطلاعات عمل می‌کند و ورودی و خروجی مخصوص به خود را دارد (Wu, 1995). در شکل (۲) ساختار یک نرون تک ورودی نمایش داده شده است که در آن P و a ، به ترتیب ورودی و خروجی نرون هستند.



شکل ۲- مدل نرون تک ورودی

میزان تأثیر P بر روی a به وسیله مقدار عددی w تعیین می‌شود. ورودی دیگر مقدار ثابت یک است که در جمله ارب b ضرب شده و سپس با wp جمع می‌شود. این حاصل جمع ورودی خالص n ، برای تابع تبدیل یا محرک f است. به این ترتیب خروجی

حداکثر می‌تواند دو برابر سال گذشته باشد.

$$\text{MAXP}_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Y_{a_{ij}} \times A_{ij} \times (P_{sj} - P_{cj}) \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left[1 - K_{yi} \left(1 - \frac{\text{AET}_i}{\text{PET}_i} \right) \right] \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{12} \text{AET}_{it} \leq 120 \text{mcm} \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

$$\sum_{i=1}^n \text{AET}_{it} \leq \text{AET}_i \text{ mcm} \quad \forall t = 1, 2, \dots, 12 \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

$$P_{sj} \leq 2P_{sj-1} \quad (\text{رابطه ۱۸})$$

در روابط فوق، $Y_{a_{ij}}$ عملکرد واقعی محصول Z ام در بهره‌بردار i برحسب تن بر هکتار، A_{ij} سطح زیر کشت محصول Z ام در بهره‌بردار i برحسب هکتار، P_{sj} قیمت فروش پیش‌بینی شده محصول Z ام بر حسب تومان، P_{cj} هزینه تولید محصول Z ام برحسب تومان، AET_{it} آب تخصیص داده شده در ماه t به بهره‌بردار i و P_t درآمد شبکه است.

ب- بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت محصولات

حداکثر سازی درآمد کشاورزان در این مدل با بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت انجام می‌شود. این مدل دارای ۲۷۵ متغیر است که ۱۳۲ متغیر مربوط به بهینه‌سازی توزیع آب بین ۱۱ بهره‌بردار در ۱۲ ماه و ۱۴۳ متغیر مربوط به بهینه‌سازی سطح زیر کشت ۱۳ محصول میان ۱۱ بهره‌بردار است. در این مدل علاوه بر قیدهای مدل قبل، قید سطح زیر کشت نیز اضافه شده است.

$$\text{MAXP}_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Y_{a_{ij}} \times A_{ij} \times (P_{sj} - P_{cj}) \quad (\text{رابطه ۱۹})$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left[1 - K_{yi} \left(1 - \frac{\text{AET}_i}{\text{PET}_i} \right) \right] \quad (\text{رابطه ۲۰})$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{11} \sum_{t=1}^{12} \text{AET}_{it} \leq 120 \text{mcm} \quad (\text{رابطه ۲۱})$$

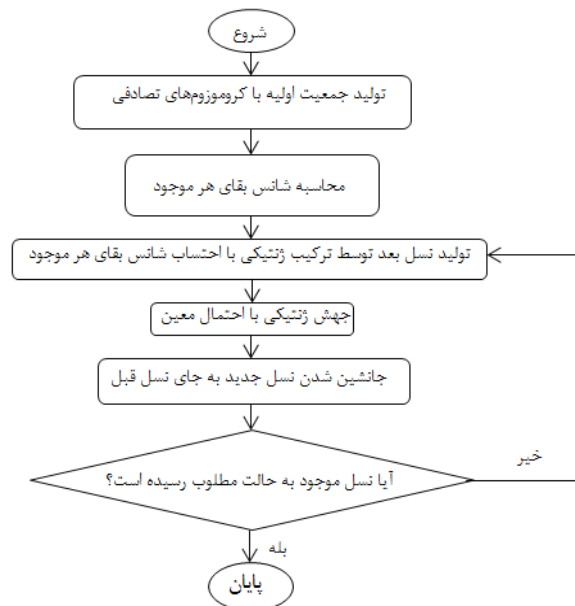
$$\sum_{i=1}^n \text{AET}_{it} \leq \text{AET}_i \text{ mcm} \quad \forall t = 1, 2, \dots, 12 \quad (\text{رابطه ۲۲})$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij} \leq \sum_{j=1}^m A_i \quad (\text{رابطه ۲۳})$$

$$P_{sj} \leq 2P_{sj-1} \quad (\text{رابطه ۲۴})$$

در روابط بالا، A_i سطح زیر کشت هر بهره‌بردار برحسب هکتار و A_{ij} سطح زیر کشت محصول Z در بهره‌بردار i بر حسب

بهترین پاسخ یک مسئله می‌نماید. عملگرهای الگوریتم ژنتیک شامل انتخاب، پیوند و جهش است که به ترتیب از آن‌ها استفاده می‌شود تا نسل بعد به وجود آید. عملگر انتخاب، کروموزوم‌های قوی‌تر را به نسل‌های بعدی انتقال می‌دهد. عملگرهای پیوند و جهش با ترکیب و تغییر کروموزوم‌ها به تولید کروموزوم‌های جدید و جستجو در فضای مسئله برای رسیدن به جواب‌های بهتر کمک می‌کند (Piadeh Koohsar *et al.*, 2019). فلوجارت کلی الگوریتم ژنتیک مطابق شکل (۳) است.



شکل ۳- فلوجارت الگوریتم ژنتیک

مدل‌های بهینه‌سازی

درصد تقاطع و جهش در مدل بهینه‌سازی به ترتیب برابر ۰/۸ و ۰/۱، تعداد اعضای هر نسل برابر ۱۰۰ و میزان تکرار برابر ۵۰۰۰ در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است الگوریتم در محیط نرم افزار Matlab 2014 در رایانه Intel Core i5 @2.5GHz با حافظه داخلی ۶ گیگابایت با زمان متوسط اجرای ۱۷۵۰ ثانیه اجرا شد.

الف- بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت محصولات

در این مدل به بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت به‌منظور حداکثر سازی درآمد کشاورزان پرداخته می‌شود. در این مدل الگوی کشت و مقدار بهره‌برداری از چاه‌های تلفیقی مطابق وضعیت فعلی است و قیمت پیش‌بینی شده برای محصولات و حبابه سالانه و ماهانه شبکه آبیاری دشت قزوین به‌عنوان محدودیت‌های مدل در نظر گرفته شده است. ۱۳۲ متغیر مدل شامل توزیع آب بین ۱۱ بهره‌بردار در ۱۲ ماه است. تابع هدف و قیدهای مربوط به آن مطابق روابط ۱۴ تا ۱۸ است. از رابطه ۱۸ به‌منظور جلوگیری از کاهش تولید به‌منظور افزایش قیمت استفاده شده است و بر اساس این رابطه قیمت فروش هر محصول

مربوط مانند شرکت آب منطقه‌ای، وزارت جهاد کشاورزی، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، سازمان خوار و بار جهانی و مرکز آمار ایران جمع‌آوری شدند.

هکتار است که مجموع سطح زیر کشت محصولات در هر بهره‌بردار نباید از سطح زیر کشت آن بهره‌بردار بیشتر شود.

داده‌ها

اطلاعات استفاده‌شده در این پژوهش شامل مقدار آب ماهانه تخصیص داده‌شده به شبکه آبیاری دشت قزوین از سد طالقان، مقدار آب برداشت‌شده از چاه‌های تلفیقی، الگوی کشت، قیمت فروش، هزینه تولید، مقدار تولید، درصد تورم، جمعیت، قیمت فروش شیر، قیمت گوسفند، قیمت گوشت، جمعیت، نرخ ارز، صادرات، واردات، نرخ جهانی و قیمت خرید تضمینی در استان قزوین از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ است. این داده‌ها از سازمان‌های

نتایج و بحث

نتایج روش‌های پیش‌بینی قیمت

الف- نتایج پیش‌بینی قیمت با استفاده از تابع تقاضا معکوس تابع تقاضا بر اساس مدل لگاریتمی به شیوه حداقل مربعات معمولی^۱ (OLS) برای محصولات کشت‌شده در شبکه آبیاری دشت قزوین به‌صورت جدول (۴) برآورد شده است.

جدول ۴- توابع تقاضا و ارزیابی قدرت پیش‌بینی تابع تقاضا معکوس در پیش‌بینی قیمت محصولات

محصول	تابع تقاضا	R ²	MAE (ریال)	RMSE (ریال)
ذرت علوفه‌ای	$LnD = -0.501LnP + 0.345LnPm + 1.255LnPo + 0.302LnPmi$	۰/۹۷۲	۲۱۳/۶۵	۲۷۲/۸۰
گوچه‌فرنگی	$LnD = -1.111LnP + 1.724LnCp - 0.874LnIp$	۰/۷۴۵	۸۵۷/۴۵	۱۰۲۸/۰۱
پونجه	$LnD = -0.954LnP + 17.323LnPo + 0.322LnCp + 0.166LnIp - 221.468$	۰/۹۹۹	۲۳۶۵/۶۳	۲۳۹۴/۲۵
نخود	$LnD = -0.915LnP + 2.524LnCp - 1.290LnIp - 1.787LnPm$	۰/۶۰۶	۷۸۵۸/۷۱	۸۳۵۷/۶۰
لوبیا	$LnD = -0.374LnP - 0.043LnIm - 0.501LnEx + 0.228LnIp + 0.549LnDo + 1.005LnPo$	۰/۹۷۵	۱۸۹۴۷/۴۸	۱۹۰۲۹/۳۰
سبزی‌زمینی	$LnD = -0.529LnP + 1.162LnCp + 1.094LnPo - 0.903LnIp - 2.089LnPr + 0.838LnDo$	۰/۷۹۱	۷۸۲/۶۶	۹۰۴/۳۹
ذرت دانه‌ای	$LnD = -0.428LnP + 0.303LnPw + 0.297LnIp + 1.546LnPo$	۰/۶۳۲	۵۳۳/۷۰	۱۱۵۴/۶۵
عدس	$LnD = -0.332LnP - 0.418LnA - 0.026LnIv + 22.236$	۰/۶۲۷	۹۳۳۹/۷۶	۱۰۹۱۷/۹۲

در جدول (۴)، D مقدار تولید، P قیمت فروش، Pm قیمت گوشت، Po جمعیت، Pmi قیمت شیر، Cp هزینه تولید، Ip تورم،

ب- نتایج پیش‌بینی قیمت با ANN

برای پیش‌بینی قیمت خرید تضمینی گندم، جو، کلزا و چغندر قند با استفاده از ANN از سری زمانی ۲۵ ساله مقدار تولید، قیمت فروش سال جاری، قیمت فروش سال گذشته، قیمت فروش دو سال گذشته و تورم استفاده شد. ورودی ANN سری زمانی تولید، تورم و قیمت فروش سال گذشته و دو سال گذشته و خروجی قیمت فروش سال جاری انتخاب شد. از ۸۵ درصد داده‌ها برای آموزش ANN و ۱۵ درصد آن برای تست بهره گرفته شد. ANN با استفاده از حداقل یک نرون و حداکثر پانزده نرون و الگوریتم-های آموزشی مختلف آموزش داده شد و از بهترین آن‌ها که در جدول (۵) اشاره شده است برای پیش‌بینی قیمت استفاده شد. بررسی MAE و RMSE در جدول (۵) بیانگر توانایی بالای ANN در پیش‌بینی قیمت خرید تضمینی است. مقایسه مقدار MAE و RMSE در جدول (۵) نشان می‌دهد ANN توانایی بالایی در پیش‌بینی قیمت چغندر قند و توانایی کمتری در پیش‌بینی قیمت کلزا نسبت به سایر محصولات دارد. قیمت خرید تضمینی گندم، جو، کلزا و چغندر قند در سال ۹۶ مطابق جدول (۵) پیش‌بینی شده است.

جدول - نتایج ANN در پیش‌بینی قیمت خرید تضمینی گندم، جو، چغندر قند و کلزا در سال ۹۶ (ریال)

محصول	الگوریتم آموزشی	تعداد نرون	R ²	MAE	RMSE	قیمت پیش‌بینی شده
گندم	Levenberg-Marquardt	۱۰	۰/۹۹۹	۳۰۲/۵۰۰	۳۰۶/۳۶۳	۱۳۳۵۱
جو	Levenberg-Marquardt	۱۰	۰/۹۹۹	۳۰۰/۳۵۰	۳۶۱/۷۰۸	۹۷۹۸
چغندر قند	Levenberg-Marquardt	۵	۰/۹۹۷	۱۲۸/۵۵۰	۱۵۰/۸۰۱	۲۸۸۳
کلزا	Bayesian Regularization	۱۰	۰/۹۹۸	۹۳۴	۹۷۶/۸۰۷	۲۷۱۸۲

تولید محصولات گندم، جو، چغندر قند، نخود، سیب‌زمینی و ذرت‌دانه‌ای در مقایسه با وضعیت فعلی مطابق شکل (۴) افزایش یافته است و مقدار تولید لوبیا و عدس در مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت به دلیل پایین بودن درصد نیاز آبی و کاهش مقدار آب تخصیص داده شده به بهره‌بردارهای L1، L3، L4، L7، L2 و L8 عملکرد آن‌ها به‌طور چشمگیری نسبت به وضعیت فعلی کاهش و در نتیجه مقدار تولید آن‌ها نیز کاهش یافته است. الگوی بهینه توزیع آب و قیمت‌های پیش‌بینی شده برای محصولات در مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت به ترتیب مطابق جداول (۷ و ۸) است.

Do نرخ ارز، Ex صادرات، Im واردات، Pr قیمت برنج و Pw قیمت جهانی ذرت، A سطح زیر کشت و IV ارزش واردات است. کشتش قیمتی تقاضا با مشتق‌گیری جزئی نسبت به قیمت فروش از معادلات تقاضا ارائه شده در جدول (۴) برای محصولات ذرت-علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیا، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه-ای و عدس به ترتیب ۰/۵۰۸، -۱/۱۱۱، -۰/۹۵۴، -۰/۹۱۴، -۰/۳۷۴، -۰/۵۲۹، -۰/۳۶۳ و -۰/۳۳۲ برآورد شده است. کشتش-های قیمتی بیانگر باکشتش بودن گوجه‌فرنگی و کم‌کشتش بودن سایر محصولات است که در میان محصولات کشت‌شده عدس کم‌کشتش‌ترین محصول است.

به‌منظور اطمینان از صحت کشتش‌های قیمتی برآورد شده به پیش‌بینی قیمت ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، نخود، لوبیا، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس در سال‌های ۹۵ و ۹۶ در استان قزوین پرداخته شد و برای ارزیابی توانایی تابع تقاضا معکوس در پیش‌بینی قیمت از MAE و RMSE استفاده شد. بررسی MAE و RMSE در جدول (۴) نشان می‌دهد تابع تقاضا معکوس قیمت ذرت‌علوفه‌ای را بسیار خوب پیش‌بینی کرده در حالی که در پیش‌بینی قیمت لوبیا بیشترین MAE و RMSE را نسبت به سایر محصولات دارد.

نتایج مدل‌های بهینه‌سازی

الف- نتایج مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت
در وضعیت فعلی درآمد شبکه آبیاری دشت قزوین ۴۰/۲۸۱ میلیارد تومان است که با بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت، ۲۵ درصد افزایش و به ۵۰/۴۱۲ میلیارد تومان خواهد رسید. در جدول (۶) به مقایسه درآمد بهره‌بردارها در وضعیت فعلی با مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب پرداخته شده است که نشان می‌دهد درآمد بهره‌بردارهای L1، L3، L4، L7، L2 و L8 نسبت به وضعیت فعلی به دلیل کاهش مقدار آب تخصیص یافته کاهش یافته است. همچنین با وجود اینکه بیش از ۵۰ درصد سطح زیر کشت محصولات در زمین بهره‌بردارهای فوق قرار دارد، مقدار

جدول ۶- مقایسه درآمد بهره‌برداران در وضعیت فعلی با مدل‌های بهینه‌سازی شده (میلیارد تومان)

درآمد		بهره‌بردار	
وضعیت فعلی	بهره‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی	بهره‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت	قیمت
L1	۳/۴۹	۱/۹۳	۱۰/۴۱
L2	۳/۶۷	۸/۸۹	۶/۷۹
L3	۹/۳۰	۶/۳۶	۱۰/۱۴
L4	۲/۲۳	۰/۹۳	۹/۴۶
L4A	۱/۴۲	۵/۲۲	۶/۴۴
L5	۱/۹۰	۴/۵۱	۶/۱۴
L6	۵/۳۹	۹/۵۶	۷/۱۲
L7	۲/۹۵	۱/۷۱	۳/۹
M2	۱/۶۸	۰/۹۴	۳/۳
L8	۵/۴۲	۲/۶۳	۱۳/۶۵
MW	۲/۸۳	۷/۷۳	۴/۶۴
Sum	۴۰/۲۸	۵۰/۴۱	۸۱/۹۹

جدول ۷- مقدار آب تخصیص یافته به هر بهره‌بردار با در نظر گرفتن مقدار آب برداشت شده از چاه‌های تلفیقی در مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت (هزار مترمکعب)

ماه / کانال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
L1	۱۷۳/۴	۲۶۲/۳	۷۸۳	۲۰۳۷/۲	۹۳۳/۲	۵۵۵/۳	۱۰۳۸/۴	۷۱۶/۹	۹۰۳/۷	.	.	.
L2	۳۱۰/۷	۷۸۸/۱	۶۲۶/۹	۳۶۶/۴	۲۶۰/۳	۷۰۰/۷	۱۳۲۰	۱۲۳۳/۳	۵۳۷/۸	.	.	.
L3	۱۶۷	۴۵۰/۸	۵۹۲/۳	۱۴۰۷	۱۶۷۷/۸	۷۷۸/۵	۲۶۲۴	۲۷۸۸/۶	۶۶۱/۳	.	.	.
L4	۳/۸	۸/۱	۱۰۲/۴	۴۳۶	۲/۲	۱۲/۳	۲۶۳/۴	۸۸۵/۱	۸۱۵/۲	.	.	.
L4A	۲۹۹/۳	۳۷۰/۲	۳۰۲/۹	۱۰۷۵/۲	۷۵۶/۲	۸۷۹/۶	۴۵۲/۵	۱۱۳۱/۳	۲۱۱/۳	.	.	.
L5	۲۴۸۴	۳۹۸۶/۷	۲۱۲۱/۸	۵۵۰/۱	۷۸۰/۴	۵۹۶/۲	۴۴۱/۶	۲۱۱۳/۸	۷۳۱/۵	.	.	.
L6	۱۳۱۷/۶	۸۰۹۲	۸۶۱۰/۱	۱۱۷۶/۱	۱۲۸۱/۳	۳۸۴/۱	۱۳۸۶/۶	۱۲۳۲/۸	۹۸۵/۸	.	.	.
L7	۱/۶	۳۹/۴	۳۶۴/۵	۹۴۶/۵	۲۰۵/۶	۶۵/۱	۷۱۰/۷	۲۳۰/۲	۱۰۰۸/۴	.	.	.
M2	۲/۳	۳/۵	۹۹/۶	۸۷۴/۴	۱۵/۸	۹/۹	۴۳۳/۴	۲۰۵/۶	۷۸۳/۸	.	.	.
L8	۱۶/۹	۶۳	۶۴۴/۱	۱۵۲۵/۹	۹۹۵/۷	۱۶۱/۸	۱۰۴۴/۳	۱۲۴۶/۲	۴۳۴/۷	.	.	.
MW	۲۵۳۳/۱	۷۳۶۸/۵	۵۵۳۰	۲۵۷/۱	۳۵۷۲/۱	۱۸۳۱/۳	۱۳۳۷	۳۱۸۵/۱	۱۰۶۳/۶	.	.	.
مجموع	۱۲۸۰۲/۸	۳۰۸۶۶/۷	۳۳۴۵/۷	۱۰۶۵۱/۸	۱۱۶۷۰/۷	۵۶۷۷/۷	۱۱۰۴۲/۷	۱۹۴۸۷/۳	۸۱۱۶/۱	.	.	.

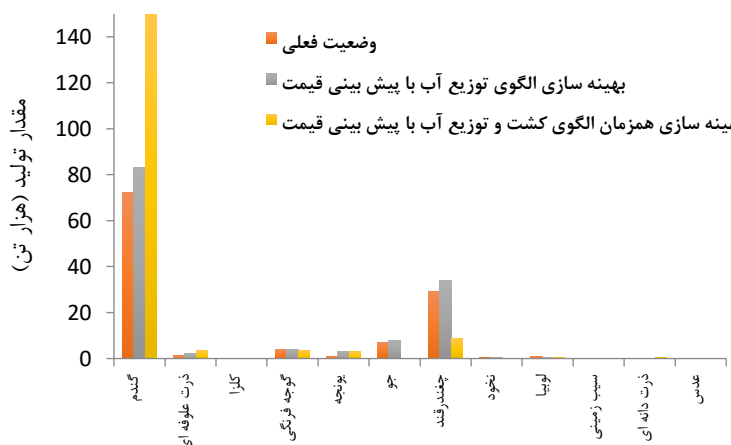
با قبل از بهینه‌سازی بیانگر افزایش سطح زیر کشت گندم، لوبیا و کلزا و کاهش سطح زیر کشت ذرت‌علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، جو، چغندرقد، نخود، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای، عدس و آیش است؛ اما بررسی مقدار تولید محصولات در شکل (۴) بیانگر این است که علی‌رغم کاهش سطح زیر کشت ذرت‌علوفه‌ای، سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و عدس مقدار تولید آن‌ها در مقایسه با مدل بهینه‌سازی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت افزایش و مقدار تولید گوجه‌فرنگی، یونجه و نخود نیز به ترتیب با کاهش ۹۰/۵۲، ۹۲/۰۱ و ۶۲/۵۲ درصدی سطح زیر کشت تنها به ترتیب ۹/۳۰، ۱۰/۰۹ و ۴۷/۶۰ درصد کاهش یافته است و این بدین معناست که در این مدل الگوی پیشنهادی کشت و توزیع آب به گونه‌ای است که تنش آبی وارده به محصولات کاهش یافته و عملکرد تمامی محصولات نسبت به مدل بهینه‌سازی توزیع آب افزایش یافته است. الگوی بهینه توزیع آب و قیمت‌های پیش‌بینی شده برای محصولات در مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت به ترتیب مطابق جداول (۹ و ۱۰) است.

جدول ۸- قیمت پیش‌بینی شده با تابع تقاضا معکوس برای محصولات در مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت (ریال)

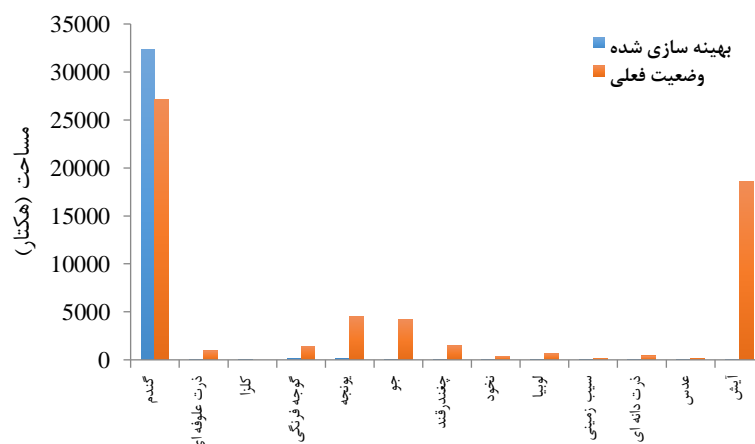
محصول	قیمت پیش‌بینی شده
ذرت‌علوفه‌ای	۳۲۰۹
گوجه‌فرنگی	۵۳۴۶
یونجه	۸۹۴۲
نخود	۳۳۰۸۹
لوبیا	۸۹۳۷۱
سیب‌زمینی	۱۰۹۱۰
ذرت‌دانه‌ای	۲۰۲۷۴
عدس	۹۷۲۴۳

ب- نتایج مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت

درآمد حاصل از الگوی پیشنهادی این مدل نسبت به مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت ۱۶۲/۶ درصد افزایش یافته است و به ۸۱/۹۴۹ میلیارد تومان رسیده است. در شکل (۵)، مقایسه سطح زیر کشت محصولات بعد از بهینه‌سازی



شکل ۴- مقایسه مقدار تولید محصولات در مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت و بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت



شکل ۵- مقایسه سطح زیر کشت محصولات قبل و بعد از بهینه‌سازی الگوی کشت

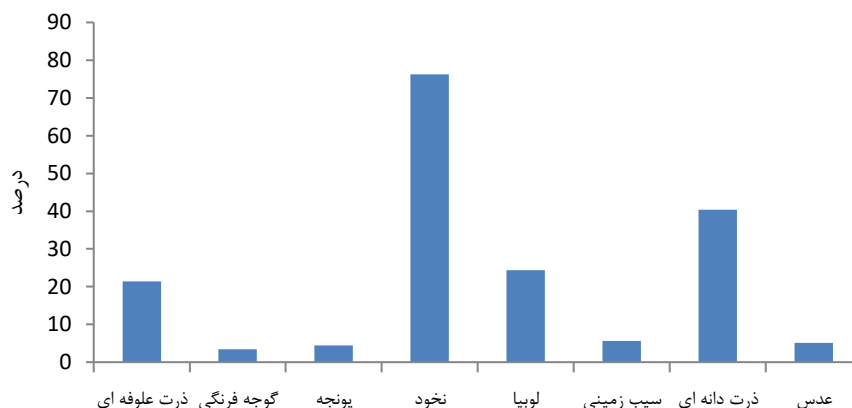
جدول ۹- مقدار آب تخصیص یافته به هر بهره بردار با در نظر گرفتن مقدار آب برداشت شده از چاه های تلفیقی در مدل بهینه سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش بینی قیمت (هزار مترمکعب)

ماه کانال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
L1	۵۴۹۵/۴	۷۱۰۸/۳	۴۳۴۱/۵	۲۰۰۴/۸	۱۷۳۸/۸	۱۱۸۰/۴	۱۳۰۶/۴	۸۰۲/۷	۱۳۴۹/۴	.	.	.
L2	۳/۸	۴۷۳/۴	۲۰۳۶/۸	۸۹۹/۸	۱۰۷۳/۷	۷۷۷/۷	۹۴۵/۸	۸۶۳	۴۹۶/۴	.	.	.
L3	۱۷۷/۳	۴۶۱/۶	۱۹۱۵/۹	۱۱۱۰/۱	۱۶۸/۵	۷۷۸/۵	۲۱۸۸/۳	۲۳۳۷/۹	۶۳۹/۹	.	.	.
L4	۳۳۰۴/۱	۶۹۱۳/۳	۳۶۵۳/۵	۱۱۵۱/۵	۴۸۱/۵	۰/۳	۵۳۳/۳	۱۳۴۰	۷۱۰	.	.	.
L4A	۹۳/۳	۵۶۵۷/۴	۲۹۴۷/۸	۴۳/۳	۸۳۰	۶۲۵/۶	۳۶۵/۶	۱۴۵۰	۱۰۷۰/۹	.	.	.
L5	۲۶۰۱/۱	۴۵۷۰/۴	۲۳۳۷/۶	۱۳۳۱/۷	۹۳۱/۶	۶۸۳	۴۰۴/۳	۹۰۶/۵	۴۴۱/۷	.	.	.
L6	۱۰۲/۳	۳۸۱/۴	۲۶۷۰	۱۸۴۱/۵	۱۶۰۵	۱۰۰۴/۳	۱۳۸۰/۹	۳۶۸۰/۶	۲۴۴/۳	.	.	.
L7	۰/۶	۲۲۱	۲۰۰۱/۵	۲۱۵/۶	۲۱۷/۱	۸۱/۵	۷۹۲/۶	۱۴۴۴/۴	۸۷۶/۶	.	.	.
M2	۷/۲	۱۳۸/۳	۲۳۲۷/۴	۱۶/۳	۷۴۱/۳	۶۲۵/۷	۴۷۶/۱	۱۳۱۰	۹۸۸/۶	.	.	.
L8	۱۳/۴	۴۸۷۸/۲	۸۴۳۸/۶	۱۸۰۶/۸	۱۶۵۳/۹	۱۵۴/۳	۱۴۷۵/۵	۳۵۶۱/۵	۴۷۳/۳	.	.	.
MW	۹/۵	۲۲/۷	۱/۱۶/۱	۲۳۰/۳	۱۱۵۵/۸	۱۰۶/۶	۱۳۴۲/۸	۱۳۶۰/۶	۵۸۵	.	.	.
مجموع	۱۳۸۰۲/۷	۷۶۶۷۰/۷	۲۳۴۵۳/۷	۱۰۵۹۱/۸	۱۱۶۷۰/۷	۵۶۷۱/۷	۱۱۰۴۲/۷	۱۴۳۸۷/۳	۱۱۱۶/۱	.	.	.

جدول ۱۰- قیمت پیش بینی شده با تابع تقاضا معکوس در مدل بهینه سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش بینی قیمت (ریال)

محصول	قیمت پیش بینی شده
ذرت علوفه ای	۲۵۲۲
گوجه فرنگی	۵۵۲۸
یونجه	۹۳۴۱
نخود	۵۸۳۳۲
لوبیا	۱۱۱۱۴۳
سیب زمینی	۱۰۳۰۰
ذرت دانه ای	۱۲۰۸۰
عدس	۹۲۲۴۰

در شکل (۶) به مقایسه درصد تغییر قیمت پیش بینی شده در مدل بهینه سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با مدل بهینه سازی الگوی توزیع آب پرداخته شده است. کشت های قیمتی برآورد شده بیانگر این است که یک واحد افزایش تولید محصول سبب بیشترین تغییر قیمت در عدس و کمترین در گوجه فرنگی می شود؛ اما مقایسه درصد تغییر قیمت های پیش بینی شده در شکل (۶) بیانگر این است که قیمت نخود به دلیل اینکه مقدار تولیدش (حدود ۷۴ درصد) بیشتر از سایر محصولات در مدل بهینه سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب کاهش داشته است قیمت فروش آن بیشترین تغییر را دارد.



شکل ۶- درصد تغییر در قیمت‌های پیش‌بینی‌شده در مدل بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت نسبت به مدل بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت

نتیجه‌گیری

بخش کشاورزی در ایران یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی است و این در حالی است که کمبود آب اصلی‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی و غذایی است. بر خلاف بسیاری از بازارهای مهم که از زوایای مختلف توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است، بازار محصولات کشاورزی از عرصه تحقیقات نوین پیش‌بینی به دور مانده است. بررسی مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که محققان صرفاً به پیش‌بینی قیمت برخی از محصولات کشاورزی بدون در نظر گرفتن مقدار عرضه‌شده به بازار یا به بهینه‌سازی الگوی توزیع آب و کشت پرداختند و تاکنون مطالعه‌ای که دربرگیرنده همزمان این دو موضوع باشد صورت نگرفته است. در این مطالعه به بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت در شبکه آبیاری قزوین پرداخته شد تا ضمن بهره‌برداری از منابع موجود و توجه به تأمین معیشت کشاورزان مانع از تخلیه سفره‌های آب‌های زیرزمینی شد. نتایج نشان داد با بهینه‌سازی الگوی توزیع آب با پیش‌بینی قیمت درآمد شبکه حدود ۱۰ میلیارد تومان و با

بهینه‌سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب با پیش‌بینی قیمت درآمد حدود ۴۱ میلیارد تومان نسبت به وضعیت فعلی افزایش می‌یابد. نتایج این مطالعه قابل مقایسه با نتایج تحقیقات (Asaadi *et al.*, 2019) و (Simiari *et al.*, 2017) است که به بررسی افزایش درآمد کشاورزان شبکه آبیاری دشت قزوین با مدیریت صحیح منابع آب و کشت محصولات پر بازده تأکید نمودند، به گونه‌ای که در این مطالعه و مطالعات فوق بر جهت دهی کشاورزان به منظور کشت محصولات با صرفه اقتصادی و قیمت بالاتر و اجتناب از افزایش زیر کشت به منظور افزایش درآمد، تأکید شده است. در ادامه این پژوهش به دلیل ماهیت جدایی‌ناپذیر مسائل زیست‌محیطی و امنیت غذایی در انتخاب الگوی کشت و الگوی توزیع بهینه آب پیشنهاد می‌شود پژوهش‌هایی با در نظر گرفتن این عوامل و برآورد کسب‌های قیمتی با استفاده از اطلاعات کشوری انجام شود. مدل ارائه‌شده می‌تواند برای برنامه‌ریزی افزایش درآمد و ارائه راهکارهای سازگاری با کم‌آبی در شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Abkhan Consulting Engineers (2013) Water Budget of Qazvin Plain, Ministry of Energy, 71pp (in Farsi)
- Asaadi, M., Khalilian, S., and Mousavi, S. (2019). Management of Irrigation Water Allocation and Cropping Pattern with emphasis on Deficit Irrigation Strategy (Case study: Qazvin Irrigation Network). *Iran-Water Resources Research*, 14(5), 1-14.
- Borimnejad, V., and Bakeshloo, M. (2018). Forecasting the price of Tomatoes: comparison of syncretistic methods of Neural Network Auto-Regressive and ARIMA. *Agricultural Economics and Development*, 21(83), 89-103. (In Farsi)
- Divisekara, R. W., Jayasinghe, G., and Kumari, K. (2020). Forecasting the red Lentils commodity market price using SARIMA models. *SN Business & Economics*, 1(1), 1-13.
- Hao, L., Su, X., and Singh, V. P. (2018). Cropping pattern optimization considering uncertainty of water availability and water saving potential. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 178-186.
- Heydari, H. (2013). *Estimation of detergent powder demand function in Iran*. M.Sc. dissertation, University of Allameh Tabataba'I, Tehran. (In Farsi)
- Hosseini Yekani, S., and Kashiri Kolaei F. (2017). Investigating the effect of crop price fluctuations

- on the optimal cropping pattern in Sari. *Agricultural Economics*, 11(2), 75-94. (In Farsi)
- Minhaj, M. B. (1998) *Fundamentals of Neural Networks* (1th ed.). Tehran: Professor Hesabi Publishing. (In Farsi)
- Najafi, B., Zibaei, M., Sheikhi, M. H., and Tarazkar, M. H. (2007). Forecasting price of some crop products in fars province: application of Artificial Neural Network. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11(1), 501-511. (In Farsi)
- Piadeh Koohsar, J., Mazandarani Zadeh, H., and sadr, S. (2019). Evaluation of GA and PSO optimization algorithms in operation of multi-reservoir systems Case study: Gorgan-Rood basin dams. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(2), 239-250. (In Farsi)
- Rao, N.H., Sarma, P.B.S., and Chander, S. (1988). A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 13(1), 25-32.
- Reddy, A. A. (2019). Price Forecasting of Tomatoes. *International Journal of Vegetable Science*, 25(2), 176-184.
- Sa'adat Mehr, M. (2017). Estimated demand for chicken meat in Iran. *Economic Journal*, 16(11), 101-117. (In Farsi)
- Salami, H., and Rezaei, S. (2010). Forecasting meat prices: An inverse demand approach. *Journal of Economics and Agriculture Development*, 24(3), 298-303. (In Farsi)
- shekari, h., Najarchi, M., jafarinia, r., Mokhtari, S., and Alizadeh, H. (2019). Optimization of Cropping Pattern and Water Resources at Different Levels of Irrigation for Hot and Dry Areas (Case study: Dehloran Plains, Ilam Province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(6), 1351-1361. (In Farsi)
- Simiari, F., Mazandaranzadeh, H., and Gomrokchi, A. (2017). Optimal redistribution of agricultural water using genetic algorithm. In: Proceedings of 2nd National Congress on Hydrology of Iran, 11-12 July., Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (In Farsi)
- Soltani, H. A., and Khajehpour, E. (2020). Optimal Cropping Pattern in Afghanistan Considering Environmental Sustainability. *International Journal of Agricultural Management and Development*, 10(4), 333-346.
- Wu, S. I. (1995). Artificial neural networks in forecasting. *Neural Network World*, 2, 199-220.