



بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس مقادیر پیش‌بینی شده جریان رودخانه

(مطالعه موردی رودخانه صوفی‌چای و شبکه آبیاری پایین دست)

نازنین شاه‌کرمی، سعید مرید و محمدعلی رحیمی جمنانی*

* به ترتیب دانشجوی دکتری؛ و دانشیار گروه سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، نشانی: تهران،

ص. پ. ۳۳۶-۱۴۱۱۵، تلفن: ۲۳-۴۴۱۹۶۵۲۲، پیام نگار: morid_sa@modares.ac.ir؛ و کارشناس ارشد شرکت

مهندسی مشاور آب- خاک تهران، کرج

تاریخ دریافت مقاله: ۸۳/۹/۱؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۵/۶/۴

چکیده

تعیین سطح زیر کشت بر اساس منابع آب موجود در شرایط مختلف و به ویژه در شرایط خشکسالی، اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق با استفاده از روش‌های مناسب برای پیش‌بینی جریان ورودی به سد در سال آتی و با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی، سطح زیر کشت محصولات زراعی زیر شبکه آبیاری صوفی‌چای که سد علویان منبع اصلی تأمین آب آن است، تعیین شد. در این خصوص، ابتدا جریان ورودی به سد برای شش ماه اول سال با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد و رابطه جریان آب در شش ماه دوم با شش ماه اول به دست آمد. نتایج نشان داد که برای پیش‌بینی در سال‌های خشک و تر لازم است از روش متفاوتی استفاده شود. در مرحله بعد، مدل بهینه‌سازی برای شرایط منطقه طرح تهیه و سطح زیر کشت با توجه به مقادیر پیش‌بینی شده و با هدف حداکثر کردن درآمد خالص محاسبه شد. نتایج استفاده از روش‌شناسی فوق برای دوره آماری موجود از منطقه نشان می‌دهد که این روش به طور مطلوبی توانسته است سطح زیر کشت را تعیین کند و به عنوان طرح قابل اجرا در مدیریت بهینه منابع آب و به خصوص طرح‌های مقابله با تأثیرات خشکسالی کارا باشد.

واژه‌های کلیدی

الگوی کشت، بهینه‌سازی، پیش‌بینی جریان، خشکسالی، شبکه آبیاری و زهکشی صوفی‌چای، شبکه‌های عصبی

مقدمه

هستند و این مورد تعریف الگوی کشت و سطح مربوط را از حالت ایستا به حالت پویا تغییر می‌دهد. این موضوع در شرایط خشکسالی اهمیت بیشتری می‌یابد ضمن آن‌که می‌تواند از روش‌های مناسب تسکین^۱ صدمات این بلیه طبیعی نیز به‌شمار رود. در این شرایط، مدیران می‌توانند با توجه به منابع آب موجود و پیش‌بینی‌های مربوط به فصل رشد گیاه نسبت به تعیین الگوی بهینه کشت تصمیم‌گیری کنند و از بروز عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب و تنش‌های اجتماعی بعدی آن بکاهند.

در کشور ما بیشترین میزان آب در بخش کشاورزی، مصرف می‌شود، لذا بهره‌برداری بهینه و کاهش در مصرف آن می‌تواند در رفع محدودیت‌های منابع آبی نقش موثر داشته باشد. استفاده از الگوهای کشت مناسب برای استفاده بهینه از آب، روشی بسیار موثر و اساسی است. در تعیین الگوی کشت و سطح بهینه آن، عوامل بسیاری دخالت دارند. در شبکه‌های آبیاری، منابع آب از تغییرپذیرترین و مهم‌ترین عوامل در تعیین الگوی کشت

پیش‌بینی جریان ورودی به سد برای یک تا هفت روز آینده در فصل بهار ارزیابی شد. نتایج نشان داد که برای پیش‌بینی یک روز آینده جریان ورودی به سد، مدل ARMAX نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری دارد و برای پیش‌بینی ۲ تا ۷ روز آینده روش ANN عملکرد مطلوب‌تری دارد. در تحقیقی دیگر، کولیالی و همکاران (Coulibaly *et al.*, 2001) میزان جریان ورودی به سد را با استفاده از شبکه‌های عصبی برآورد کردند. در این تحقیق شبکه‌های عصبی بازگشتی^۱، شبکه‌های عصبی بازگشتی با زمان تاخیر در ورودی‌ها^{۱۱}، شبکه‌های عصبی انتشار برگشتی^{۱۲} و شبکه‌های عصبی انتشار برگشتی با زمان تاخیر در ورودی‌ها^{۱۳} با هم مقایسه شده‌اند. سلطانی (Soltani, 2002) طیف متنوعی از شبکه‌های عصبی شامل RBF, RNN, BPN و STA-BPN را به منظور پیش‌بینی‌های کوتاه مدت و بلندمدت جریان ورودی به سد علویان بررسی و ارزیابی کرد. پیش‌بینی‌ها شامل میانگین سه روز، یک هفته، ده روز، دو هفته، یک‌ماه، دو ماه، سه ماه و شش ماه آینده بود که به منظور مدیریت و تدوین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از مخزن سد انجام شد. مرید (Morid, 2003) در پیش‌بینی جریان ورودی به سد علویان از شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون و مدل‌های سری زمانی استفاده کرد. در این تحقیق نیز برتری عملکرد ANN نسبت به مدل‌های سری زمانی و همبستگی گزارش شده است. هر چند در هیچ یک از آنها دوره پیش‌بینی به اندازه نیاز این تحقیق نبوده است.

بهینه‌سازی در مدیریت منابع آب و تعیین الگوی بهینه کشت مورد توجه زیادی واقع شده است. کارآموز و

بررسی منابع نشان می‌دهد که مدل همبستگی^۱، مدل مدل سری زمانی^۲ و شبکه عصبی مصنوعی^۳ بیشترین کاربرد را برای پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها دارند. جین و همکاران (Jain *et al.*, 1999) از شبکه عصبی مصنوعی و مدل سری زمانی^۴ جهت پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن (سد) حوزه اورپسا در هند استفاده کردند. آنها برای مقایسه نتایج تحقیق خود از معیارهای خطای میانگین مربعات^۵ و خطای میانگین مربعات باقیمانده‌ها^۶ استفاده کردند. پیش‌بینی مدل ANN بهتر بوده است. دان و همکاران (Danh *et al.*, 1999) شبکه‌های عصبی را برای پیش‌بینی میزان دبی ورودی به مخزن دانیم^۷ واقع در حوزه دانیم با وسعت ۷۷۵ کیلومتر مربع به کار بردند و پس از ترکیب مختلفی از داده‌های ورودی با معماری‌های مختلف و مقایسه آنها با یکدیگر، عملکرد آنها را ارزیابی و کاربرد ANN را توصیه کردند. سالاس و همکاران (Salas *et al.*, 2000) شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی جریان رودخانه لس‌پینوس^۸ کلرادو آمریکا برای ماه‌های می تا آگوست به کار بردند. چهار مدل برای پیش‌بینی هر یک از ماه‌ها در نظر گرفته شد و با بررسی معماری‌های مختلف، معماری ساده‌ای برای هر مدل به دست آمد. نتایج نشان داد که عملکرد شبکه مصنوعی برای ماه‌های مورد بررسی خوب بوده است. کولیالی و همکاران (Coulibaly *et al.*, 2000) عملکرد شبکه‌های عصبی با مدل‌های سری زمانی ARMAX و مدل تفهیمی PREVIS را برای پیش‌بینی جریان ورودی به سد واقع در حوزه چوت^۹ با وسعت ۹۷۰۰ کیلومتر مربع در شمال کانادا مقایسه و ارزیابی کردند؛ مدل PREVIS برای بهره‌برداری از مخازن استفاده می‌شود. در این تحقیق

1- Regression Based Model

3- Artificial Neural Network (ANN)

5- Mean Square Error (MSE)

7- Da Nhim

10- Recurrent Neural Networks (RNN)

12- Back- Propagation Network (BPN)

2- Time Series Models

4- Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA)

6- Residual Mean Square Error (RMSE)

8- Lospinos

11- Time Delay Recurrent Neural Networks (TDRNN)

13- Time Delay Back Propagation Network (TDBPN)

بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس مقادیر پیش‌بینی شده ...

ساده غیرخطی برای توزیع و تخصیص آب و بخش دوم یک الگوریتم شبیه‌سازی غیرخطی برای کمینه کردن تاثیر اقتصادی تنش آبی بر الگوی کشت منطقه شامل ذرت، چغندر قند، گندم و جو بود.

با توجه به مقدمه بالا، هدف این تحقیق ارائه روشی برای پیش‌بینی جریان تا یک سال و تعیین الگوی بهینه کشت بر اساس مقادیر پیش‌بینی شده است. همچنین نظر به وجود خطا در پیش‌بینی‌ها، حساسیت الگوی کشت بهینه پیش‌بینی شده نسبت به خطاها با مقایسه الگوی حاصل از مقادیر واقعی جریان تعیین و چگونگی تعدیل آنها بررسی شده است. بدین ترتیب موضوع تحقیق به دو بخش تفکیک می‌شود: پیش‌بینی جریان رودخانه و تعیین الگوی بهینه کشت.

مواد و روش‌ها

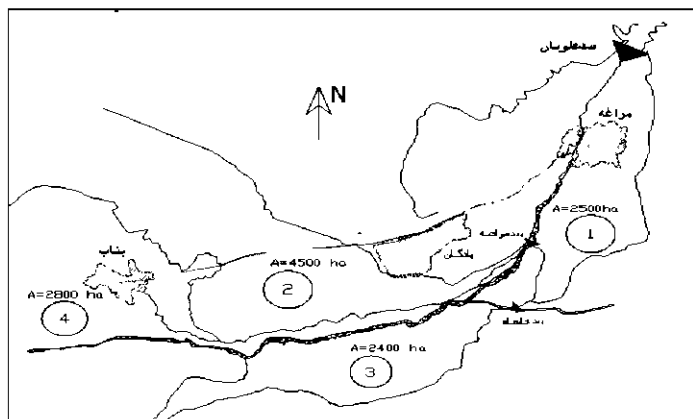
منطقه مطالعاتی و منابع داده‌ها

منطقه مطالعاتی این تحقیق سد علویان و شبکه آبیاری پایین‌دست آن با وسعت تقریبی ۱۲۰۰۰ هکتار است. از اهداف این سد احداث شده روی رودخانه صوفی‌چای، تأمین آب کشاورزی و آب شرب شهر مراغه بوده است. اراضی کشاورزی این محدوده شامل چهار بخش با وسعت‌های تقریبی ۲۴۰۰، ۴۵۰۰، ۲۵۰۰ و ۲۸۰۰ هکتار است. در شکل ۱ (دایره‌ها) موقعیت این بخش‌ها دیده می‌شود.

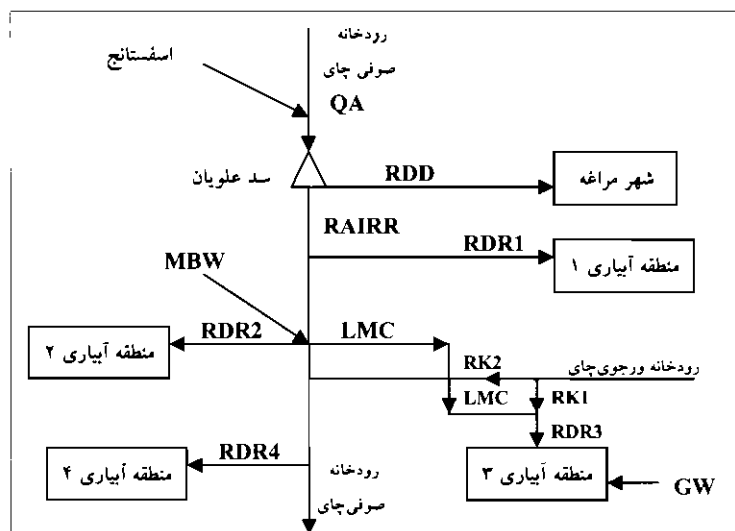
آب مورد نیاز این شبکه از سد علویان در بالادست شهر مراغه، منابع آب زیرزمینی، رودخانه ورجوی چای (بند انحرافی خانقاه) و آب برگشتی شهری تأمین می‌شود. محصولات کشاورزی شامل گندم، جو، یونجه، سیب‌زمینی، پیاز، حبوبات، انگور، بادام و محصولات درختی است. الگوی محصولات به دلایلی چند از جمله شرایط متفاوت توپوگرافی وضعیت یکسانی ندارد. در بخش یک به دلیل وجود پستی و بلندی، باغ و از جمله

همکاران (Karamouz *et al.*, 1992) از برنامه‌ریزی پویا به منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن استفاده کردند. این محققان، قوانین بهره‌برداری از مخزن منفرد چند منظوره را با استفاده از مدل بهینه‌سازی قطعی توسعه دادند و سپس مقایسه‌ای بین برنامه‌ریزی دینامیکی در حالت قطعی و غیر قطعی برای تولید سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن مقایسه‌ای ارائه کردند. اکرت و وانگ (Eckert & Wang, 1992) برای تعیین الگوی بهینه کشت، زمین تخصیص داده شده به هر محصول را ثابت فرض کردند و با هدف حداکثر کردن عملکرد محصول (مقدار محصول کاشته شده در واحد سطح)، در جهت تأمین آب مورد نیاز برنامه‌ریزی و به این منظور از روش آبیاری کامل استفاده کردند. هاورایی و عزیز (Haourai & Azaiez, 2001) یک مدل برنامه‌ریزی خطی را به منظور تعیین الگوی بهینه کشت تحت شرایط کم‌آبی در مناطق خشک پیشنهاد کردند. در روند اجرای این الگو، دو مورد مشخص شد: اول، از میان محصولات فصلی و سالیانه کدام محصولات برای داشتن حداکثر سود کاشته شود و دوم چه مقدار زمین و آب به هر محصول اختصاص داده شود. عدن‌ور (Adanvar, 1997) مدل برنامه‌ریزی خطی را به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک در شبکه آبیاری دشت مغان به کار برد. تابع هدف، حداکثر کردن ارزش افزوده اراضی بود. قیودات مختلفی مانند زمین (سطح قابل کشت)، حجم کل آب، ظرفیت کانال اصلی و فرعی و خط مشی‌های خاص دولت در آن مدنظر قرار گرفت. در تحقیقی دیگر نیز قهرمان (Ghahreman, 2000) از برنامه‌ریزی قطعی - ستوکاستیکی مخزن سد یک منظوره برای تخصیص بهینه آب آبیاری برای گیاهان زراعی ناحیه ارداک (مشهد) استفاده کرد. کار او از دو قسمت تشکیل می‌شد. بخش اول یک مدل

تاکستان بیشتر است. در بخش‌های دو و سه با کاهش پستی و بلندی غلات و صیفی‌جات بیشتر است و در منطقه چهار انگور بیشترین سطح زیر کشت را می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت سد علویان و منطقه مطالعاتی



شکل ۲- وضعیت آب قابل دسترس گیاهان در مناطق چهارگانه شبکه آبیاری صوفی چای

QA = ورودی سد علویان، RDD = آب شرب شهر مراغه، RAIRR = برداشت کشاورزی از مخزن علویان، RDR1 = آب سطحی تخصیص یافته به منطقه ۱، MBW = آب برگشتی شهر مراغه، LMC = آب انتقال یافته به بند خانقاه، RDR2 = آب سطحی تخصیص یافته به منطقه ۲، RK1 = آب تخصیص یافته به منطقه ۳ از ورجوی چای، RK2 = آب رهاسازی شده به پایین دست بند خانقاه، RDR3 = آب سطحی تخصیص یافته به منطقه ۳، RDR4 = آب سطحی تخصیص یافته به منطقه ۴، GW = آب زیرزمینی تخصیص یافته به هر یک از مناطق

حداقل باشد (Coulibaly *et al.*, 2000). توصیه می‌شود که ورودی‌های به شبکه، استاندارد گردند که نتایج مطلوبی از رابطه زیر در استانداردسازی گزارش شده‌است (Sajikumar *et al.*, 1999):

$$N_i = 0.8 \left[\frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right] + 0.1 \quad (3)$$

در این رابطه، N_i مقدار استاندارد شده؛ x_i مقدار واقعی؛ x_{\max} و x_{\min} به ترتیب حداکثر و حداقل مقادیر واقعی هستند. بر این اساس، داده‌ها بین ۰/۱ تا ۰/۹ استاندارد می‌شود. مراحل کار شبکه عصبی پیشرو با روش آموزش انتشار برگشتی در شکل ۳ آمده و شرح بیشتر آن نیز در منبع (Nejatpour, 1999) قابل دسترس است.

بهینه‌سازی

بهینه‌سازی در مفهوم کلی، به معنای رسیدن به هدف مطلوب بر اساس محدودیت‌ها و قیدهای در نظر گرفته شده برای آن است. هر مسئله بهینه‌سازی، شامل دو بخش مدل‌سازی و برنامه‌ریزی است. مدل‌سازی شامل تشکیل تابع هدف و قیودات مربوط بر اساس روابط بین متغیرها به صورت معادلات یا نامعادلات است. در بخش برنامه‌ریزی نیز روش جستجو به منظور تعیین شرایط بهینه در رسیدن به مقدار مطلوب تابع هدف در پیش گرفته می‌شود (Asgharpour, 1993). در این تحقیق از نرم‌افزار LINGO-3 و روش برنامه‌ریزی خطی استفاده شده که در آن روابط بین متغیرها کاملاً متناسب و مستقیم است. یکی از ویژگی‌ها و مزیت‌های مهم این روش آن است که هر جواب کمینه یا بیشینه موضعی در آن، جواب سراسری است.

شبکه عصبی مصنوعی و اصول محاسباتی آن

در شبکه عصبی مصنوعی، رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم بر اساس نحوه یادگیری سیستم عصبی مغز انسان کشف می‌شود. این سیستم مجموعه‌ای از هزاران نرون است که با یکدیگر در ارتباطند و از هم سیگنال دریافت یا به یکدیگر ارسال می‌کنند. مجموع کل ورودی به نرون (net_j) از رابطه زیر حاصل می‌شود:

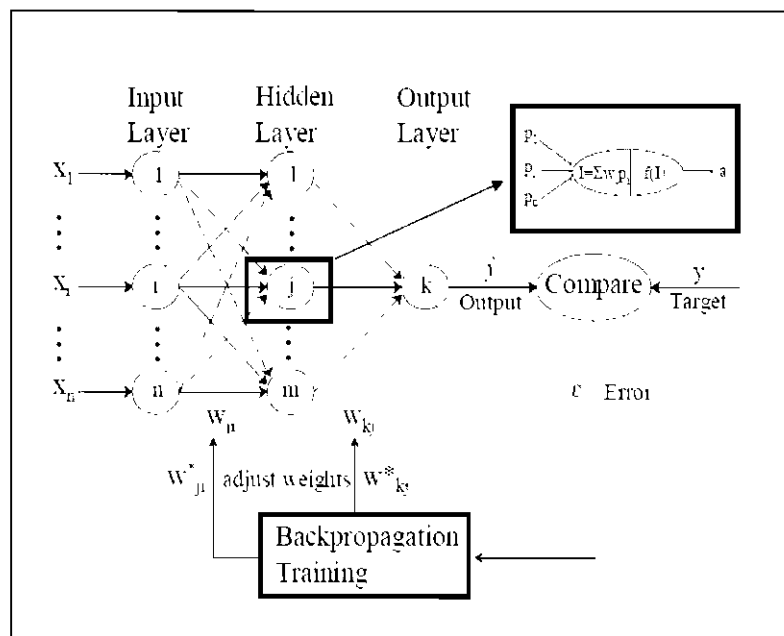
$$net_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i \quad (1)$$

در این رابطه، w_{ij} = شدت اتصال نرون‌ها به هم است که در طول فرآیند یادگیری تعیین می‌شود. سپس تابع فعالیت^۱ که معمولاً غیرخطی است جهت تعیین سطح خروجی از نرون به روی جمع ورودی‌ها (net_j) اعمال می‌شود. تابع فعالیت دارای انواع مختلفی است از جمله سیگموئید، خطی و تانژانت هیپربولیک که مرسوم‌ترین آنها تابع سیگموئید است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(s_j) = \frac{1}{1 + e^{-s_j}} \quad (2)$$

خروجی شبکه در صورت استفاده از تابع سیگموئید صفر و یک است، لذا جهت آموزش شبکه و مقایسه خروجی شبکه با خروجی واقعی^۲ لازم است که ورودی‌ها و خروجی‌ها نیز بین صفر و یک استاندارد شوند.

شبکه‌های مصنوعی انواع متفاوتی دارند که مرسوم‌ترین آنها در مطالعات منابع آب شبکه‌های پیشرو هستند که اطلاعات تنها از لایه‌های ورودی به سمت لایه‌های پنهان و خروجی سیر و پردازش می‌شود و آموزش مرسوم نیز روش انتشار برگشتی است که هدف از آن پیدا کردن وزن‌هاست به طوری که اختلاف مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده



شکل ۳- شبکه عصبی سه لایه پیشرو با الگوریتم آموزش انتشار برگشتی

اول با شش ماه دوم رابطه‌ای به دست آمد. اما، همان گونه که اشاره شد، پیش‌بینی برای دوره شش ماهه با خطا مواجه است. بدین منظور و جهت کاهش خطا به شکلی عمل شد که پیش‌بینی‌ها در حین بهره‌برداری بر اساس مشاهدات ماهیانه به‌نگام شوند که این موارد در ادامه تشریح می‌شود.

الف) برآورد جریان برای شش ماهه اول سال آمار جریان ایستگاه تازه‌کند - صوفی‌چای از سال‌های ۸۰-۱۳۶۳ (به جز سال‌های ۷۶-۱۳۷۳ که آمار آن موجود نبود) مورد استفاده قرار گرفت. از ۱۳ سال آمار، داده‌های ۱۱/۵ سال برای آموزش و داده‌های ۲/۵ سال دیگر برای صحت‌یابی شبکه به کار برده شد. بر اساس بررسی‌های انجام شده، حدود ۹۰ درصد روش‌های شبکه‌های عصبی که در فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده شده‌اند، شبکه‌های عصبی انتشار برگشتی هستند

نتایج و بحث

پیش‌بینی جریان ورودی به سد علویان

از مهم‌ترین مراحل کار در استفاده از شبکه‌های عصبی انتخاب ورودی‌های مناسب است (Salas *et al.*, 2000) که این امر مستلزم شناخت فیزیک فرآیندی است که در نظر است شبیه‌سازی شود. رژیم جریان رودخانه صوفی‌چای به شکلی است که ریزش‌های جوی شش ماهه دوم سال (مهر تا اسفند)، عمدتاً برفی است و ذخائر شش ماه اول سال بعد را تشکیل می‌دهد و از این رو تغییرات سالیانه شش ماهه دوم نسبت به شش ماهه اول چندان شدید نیست. ولی در شش ماه اول سال (فروردین تا شهریور)، جریان رودخانه تابع ذوب برف و نزولات غیر برفی است.

با توجه به این موارد و بررسی گزینه‌های مختلف، برای پیش‌بینی جریان ورودی به سد در شش ماه اول سال از تکنیک ANN استفاده شد و بین جریان ورودی شش ماه

صورت گرفت و با مقایسه نتایج بر اساس معیارهای مناسب، معماری ۶-۷-۳-۱۳ (لایه ورودی با ۱۳ نرون، لایه پنهان اول با ۳ نرون، لایه پنهان دوم با ۷ نرون، لایه خروجی با ۶ نرون) انتخاب شد که کمترین مقدار خطا را داشت. R^2 صحت‌یابی برای ماه‌های اول تا ششم به ترتیب مقادیر ۰/۹۲، ۰/۸۱، ۰/۸۱، ۰/۷۲، ۰/۵۱ و ۰/۵۸ به دست آمد. ترکیب ورودی شبکه مطابق زیر برای پیش‌بینی ۶ ماهه آینده است:

(Coulibaly *et al.*, 2000). بررسی انواع شبکه‌ها، برتری آن را نیز برای اهداف این تحقیق به اثبات رساند. به منظور تصحیح اوزان در فرآیند آموزش، از دوره‌های آموزش^۱ ۳۰۰ یا ۱۰۰۰ استفاده شد. همچنین از میان توابع فعالیت، بر اساس عملکرد بهتر تابع سیگموئید (Soltani, 2002)، این تابع انتخاب گردید. به منظور تعیین معماری مناسب شبکه‌های عصبی با مقادیر مختلف لایه پنهان و نرون‌های آن، پیش‌بینی‌ها

$$(Q_{t+1}, Q_{t+2}, \dots, Q_{t+6}) = f(Q_{(t)}, Ra_{(t-2)}, Ra_{(t-1)}, Ra_{(t)}, T_{min(t-2)}, T_{min(t-1)}, T_{min(t)}, T_{max(t-2)}, T_{max(t-1)}, T_{max(t)}, T_{mean(t-2)}, T_{mean(t-1)}, T_{mean(t)}) \quad (4)$$

حاصل از محاسبات فوق را در پیش‌بینی جریان‌های ورودی به سد علویان بر اساس شبکه طراحی شده بالا نشان می‌دهد.

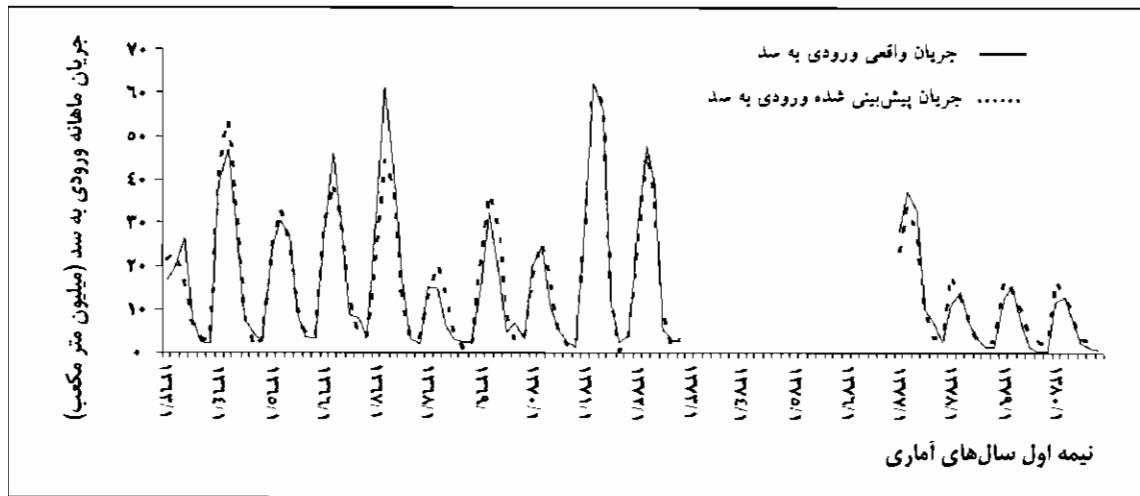
ب) برآورد جریان در شش ماهه دوم
بررسی روش‌های مختلف و تحلیل جریان ماهانه رودخانه تازه‌کند نشان داد که می‌توان بین نسبت میانگین جریان رودخانه در شش ماه اول (فروردین - شهریور) به دوم (Q_{av1} تا Q_{av2}) با میانگین شش ماه اول (Q_{av1}) رابطه‌ای مطلوب برقرار کرد:

$$Q_{av1 \text{ av}2} = Q_{av1} * 0/22 + 0/57 \quad (5)$$

بدین ترتیب، پس از پیش‌بینی‌های شش ماهه اول سال با ANN، از رابطه بالا میانگین ورودی جریان در شش‌ماهه دوم برآورد می‌شود.

که در آن، $Q_{(t)}$ دبی جریان ورودی به سد علویان در زمان t ؛ $Ra_{(t)}$ = تشعشع در زمان t (به دلیل نبود آمار اندازه‌گیری شده و اهمیت آن در فرآیند بارش - رواناب مقادیر آن بر اساس روش سامانی - هارگریوز (Hargreaves & Samani, 1982) در نظر گرفته شد)؛ $T_{min(t)}$ = دمای حداقل در زمان t ؛ $T_{max(t)}$ = دمای حداکثر در زمان t و $T_{mean(t)}$ = میانگین دما در زمان t هستند.

برای بهنگام‌سازی پیش‌بینی‌ها این گونه عمل شد که بعد از گذشت هر ماه، مقدار واقعی جریان آن جایگزین $Q_{(t)}$ قبلی شود. به عنوان مثال بعد از ماه اول مقدار واقعی جریان فروردین‌ماه به الگوهای آموزشی قبلی اضافه و جریان ماه‌های اردیبهشت تا مهرماه پیش‌بینی و به همین ترتیب برای سایر ماه‌ها این عمل تکرار شد. شکل ۴ نتایج



شکل ۴- نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی جریان ورودی به سد علویان در نیمه اول سال‌های آماری

مدل برنامه‌ریزی خطی

تعیین الگوی بهینه کشت با مدل برنامه‌ریزی خطی و مقادیر پیش‌بینی شده جریان، یکی دیگر از جنبه‌های بررسی حاضر است. برای بهینه‌سازی، نیاز است تا هزینه‌های تولید، درآمد و اطلاعات زراعی مشخص شود که از منابع (Rahimi & Nikbakht, 2002) و (Rahimi & Bagheri, 2003) تهیه شد.

تابع هدف

در این تحقیق تابع هدف بیشینه کردن درآمد خالص منطقه است که طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$Z = \sum_{c=1}^{13} \sum_{j=1}^4 (P_c * YP_c - V_c - F_c) * AC_{jc} \quad (6)$$

در این رابطه، c = اندیس محصول؛ j = اندیس منطقه؛ P_c = قیمت فروش هر کیلوگرم محصول c ؛ V_c و F_c = به ترتیب هزینه‌های متغیر و ثابت هر محصول در هر هکتار؛ AC_{jc} = سطح زیر کشت هر محصول در هر منطقه (بر

حسب هکتار) و YP_c = میزان تولید محصول در واحد سطح هستند.

قیدهای مسئله

با تعریف مجموعه‌ای از معادلات و نامعادلات در مدل بهینه‌سازی، قیدهای مسئله مطابق ذیل ارائه شده است:
الف: محدودیت‌های منابع آب

در مدل بهینه‌سازی منابع آب موجود، در ابتدا تنها ذخیره سد تعریف و در مسیر نیز برداشت‌ها از آن کسر می‌شود. ولی در ناحیه دوم به بعد، منابع آب زبرزمینی، برگشتی آب شهرستان مراغه و آب رودخانه ورجوی چای نیز به آن افزوده می‌شود. در استفاده از این منابع، قیدهای زیر برای مدل تعریف شده است:
- آب مورد نیاز بخش شرب به طور کامل تأمین شود،

- مقدار آب مورد تقاضا برای محصولات در هر منطقه نمی‌تواند از میزان آب موجود در منطقه مورد نظر بیشتر باشد،

$$SA_{t+1} = SA_t + QA_t - RA_t - RDD_t - RDR_t - EA_t \quad (18)$$

$$EA_t = ET_t \times A_t \quad (19)$$

$$At = 0.04 + 0.24 SA_t \quad (20)$$

$$SA_t < SFA \quad (21)$$

$$SFA = SA_{12} + QA_{12} - RA_{12} - RDD_{12} - RDR_{12} - EA_{12} \quad (22)$$

در این روابط، $WDEM_{jt}$ = آب مورد تقاضای منطقه j در ماه t ؛ و WAV_{jt} = آب موجود در منطقه j در ماه t ؛ $WDEM_{jct}$ = آب مورد تقاضای محصول c در منطقه j در ماه t ؛ ETP_{ct} = آب مورد نیاز هر هکتار محصول c در ماه t با احتساب بارندگی موثر؛ $ALFA_j$ = راندمان آبیاری در هر یک از مناطق چهارگانه؛ GW_{jt} = آب زیرزمینی استفاده شده در منطقه j در ماه t ؛ RDR_{jt} = مقدار آب تخصیصی آب سطحی در منطقه j در ماه t ؛ $RAIRR_t$ = آب رها شده کشاورزی جهت آبیاری مناطق پایین دست؛ MBW_{jt} = آب برگشتی استفاده شده در منطقه j در ماه t ؛ LMC_t = آب انتقالی از بند مراغه به بند خانقاه در ماه t ؛ RK_t = آب تخصیص یافته به منطقه ۳ از ورجوی چای؛ RK_2 = آب رها سازی شده به پایین دست بند خانقاه؛ PGW_{jt} = پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه j در ماه t ؛ $PMBW_{jt}$ = پتانسیل آب برگشتی استفاده شده در منطقه j در ماه t ؛ SA_{t+1} = حجم ذخیره مخزن در دوره $t+1$ ؛ SA_t = حجم ذخیره مخزن در دوره t ؛ QA_t = ورودی به مخزن در دوره t ؛ RDD_t = آب شرب تخصیصی به شهر مراغه در دوره t ؛

- مقدار برداشت آب زیرزمینی نمی‌تواند از پتانسیل آب زیرزمینی قابل برداشت بیشتر باشد.

- مقدار استفاده از آب برگشتی نمی‌تواند از پتانسیل آب برگشتی بیشتر باشد.

- حجم ذخیره مخزن سد در آخر سال از حجم اولیه آن کمتر نشده باشد.

موارد فوق الذکر را می‌توان در قالب روابط زیر بیان کرد:

$$WDEM_{jt} < WAV_{jt} \quad (7)$$

$$WDEM_{jt} = \sum_c WDEM_{jct} \quad (8)$$

$$WDEM_{jct} = (ETP_{ct}) \times AC_{jc} \times 0.00001 / ALFA_j \quad (9)$$

$$WAV_{jt} = RDR_{jt} + GW_{jt} \quad (10)$$

$$RDR_{jt} = RAIRR_t - RA_t \quad (11)$$

$$RDR_{2t} = RA_t + MBW_t - RM_t - LMC_t \quad (12)$$

$$QK_t = RK_{1t} + RK_{2t} \quad (13)$$

$$RDR_{3t} = RK_{1t} + LMC_t \quad (14)$$

$$RDR_{4t} \leq RM_t + RK_{2t} \quad (15)$$

$$GW_{jt} < PGW_{jt} \quad (16)$$

$$MBW_{jt} < PMBW_{jt} \quad (17)$$

EA_t = حجم تبخیر از مخزن در دوره t = $ET_t + t$ = تبخیر از مخزن در دوره t (بر حسب میلی‌متر)؛ At = سطح دریاچه سد علویان در دوره t (بر حسب میلیون متر مربع) و SFA = حجم ذخیره مخزن در آخر سال هستند.

ب: محدودیت‌های سطوح زیر کشت

محدودیت‌های زیر برای سطح زیر کشت تعریف شده است:
 - سطح زیر کشت باید بین حداکثر و حداقل مقدار آن بر اساس آمار منطقه مورد نظر باشد،
 - مجموع سطوح زیر کشت در هر ناحیه نمی‌تواند از سطح کل آن ناحیه بیشتر باشد،
 - مجموع سطوح زیر کشت باغ‌ها همواره ثابت در نظر گرفته می‌شود و تأمین آب آنها بعد از آب شرب در اولویت است.

روابط زیر بیانگر قیدهای فوق‌الذکر هستند:

$$AC_{\min_i} < AC_i < AC_{\max_i} \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^I AC_i \leq A \quad (24)$$

که در آن، AC_{\min_i} و AC_{\max_i} = حداکثر و حداقل سطح زیر کشت محصول c در منطقه i ؛ و A_i = سطح زیر کشت ناحیه i است.

تعیین الگوی کشت بهینه بر اساس مقادیر پیش‌بینی شده جریان

این بخش در واقع تلفیق دو بخش قبلی این تحقیق است. روش‌شناسی ارائه شده برای هر شرایطی کاربرد دارد ولی در مواقع خشکسالی بسیار با اهمیت‌تر است. بر اساس آن، ابتدا مقادیر جریان ورودی به سد برای نیمه اول

پیش‌بینی و پس از آن میانگین ماهیانه جریان ورودی به سد برای نیمه دوم (رابطه ۴) برآورد می‌شود. این آوردها به مدل بهینه‌سازی (با شرحی که آمد) وارد و نوع محصول و سطح مربوط در ابتدای سال تعیین می‌شود، تا حداکثر درآمد خالص به دست آید که نمونه‌ای از آن در جدول ۱ آمده است. در مرحله بعد، در طول سال (حین بهره‌برداری) بعد از گذشت هر ماه با مشخص شدن جریان ورودی واقعی به سد به منظور کاهش خطای پیش‌بینی، جریان شش ماه آینده بار دیگر پیش‌بینی و الگوی بهینه کشت بهنگام می‌شود. محدودیتی که برای این قسمت به مدل بهینه‌سازی اعمال شد، این بود که در مرحله بهینه‌سازی حین بهره‌برداری، سطح هر محصول ممکن است کمتر شود، ولی بیشتر نمی‌تواند بشود.

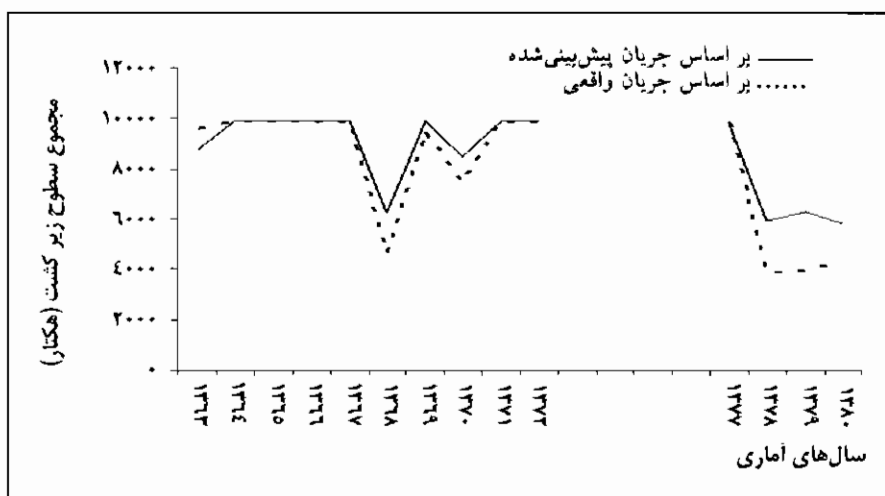
این مراحل برای دوره آماری مشاهدات اجرا شد و سطح کل زیر کشت بهینه محصولات بر اساس جریان‌های ثبت شده و پیش‌بینی شده در شکل ۵ نشان داده شده است. از شکل می‌توان دید که در بسیاری از سال‌ها نتایج مطلوب و قابل قبول بوده است، اما برای سال‌های آماری ۱۳۶۸، ۱۳۷۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ اختلاف زیاد است و بیشترین این اختلاف، به میزان ۲۳۳۱/۸۱ هکتار، مربوط به سال ۱۳۷۹ است. بررسی‌های بالا نشان می‌دهد که از لحاظ هیدرولوژیکی، پیش‌بینی‌ها با ANN در حد قابل قبول بوده‌است، اما مدل بهینه‌سازی حساسیت زیاد الگوی کشت را نسبت به همین میزان خطا نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی بیشتر این مسئله، جریان ماهانه دوره آماری رودخانه صوفی‌چای بار دیگر بررسی شد (نکله ۶- الف). این شکل به خوبی نشان می‌دهد که چهار سال گفته شده در بالا، دوره‌های اصلی خشکسالی رودخانه صوفی‌چای بوده است و از آنجا که اکثر الگوهای آموزشی در مدل پیش‌بینی در سال‌هایی بوده‌اند که کمبود آب چندان شدید نبوده است. مدل برای این سال‌ها

تابع ذوب برف ناشی از ریزش‌های برفی سال قبل است. شباهت رفتار رودخانه در سال‌های خشک (شکل ۶- ب) نیز نشان می‌دهد که برای سال‌های خشک، چنانچه از میانگین ماهانه جریان ورودی به سد در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ استفاده شود، پاسخ‌های قابل قبولی را می‌توان به دست آورد. باید توجه داشت که معیار بیان شده بر اساس سال‌های آماری موجود در این طرح به دست آمده است و از این رو نمی‌توان آن را در همه شرایط پیشنهاد کرد. رسیدن به قانونی کلی، به طور مسلم به سال‌های آماری بیشتری نیاز است. مقایسه سطح زیر کشت بهینه محصولات منطقه بر اساس جریان واقعی و پیش‌بینی شده با اعمال الگوی فوق در سال‌های خشک در شکل ۸ نشان داده شده است. با روش قبل شاهد اختلاف ۲۳۳۱/۸ هکتاری در مجموع سطوح زیر کشت واقعی و پیش‌بینی در سال ۱۳۷۹ بودیم، اما با این روش مشاهده می‌شود که اختلاف به ۳۸۲ هکتار (۹/۷ درصد) برای همان سال رسیده است.

آموزش کافی ندیده و پیش‌بینی مطلوبیت کمتری داشته است. این مشکلی بود که هسو و همکاران (Hsu et al., 1995) نیز در استفاده از شبکه‌های عصبی با آن برخورد کردند. اما الگوی جریان در سال‌های ۱۳۶۷-۶۸ و ۱۳۷۷-۷۸ لغایت ۱۳۷۹-۸۰ رفتار بسیار نزدیکی را از خود نشان می‌دهد (شکل ۶- ب).

بررسی روش‌های مختلف برای پیش‌بینی امکان بروز کم‌آبی در سال آتی در ابتدای سال و با اطلاعات سال قبل (مهر تا اسفند) نشان داد که بین میانگین بارندگی نیمه دوم سال قبل با مقدار جریان ورودی به سد در نیمه اول سال بعد رابطه هماهنگ و مستقیمی وجود دارد که شکل ۷ به خوبی آن را نشان می‌دهد. همچنین استنتاج شد که چنانچه میانگین بارندگی نیمه دوم سال قبل کمتر از ۰/۷۵ میانگین طولانی مدت بارندگی باشد، در سال بعد مشکل کم‌آبی وجود خواهد داشت، مانند وضعیتی که برای چهار سال مورد اشاره اتفاق افتاده بود. این، ارتباطی منطقی است زیرا رژیم این رودخانه در نیمه اول هر سال



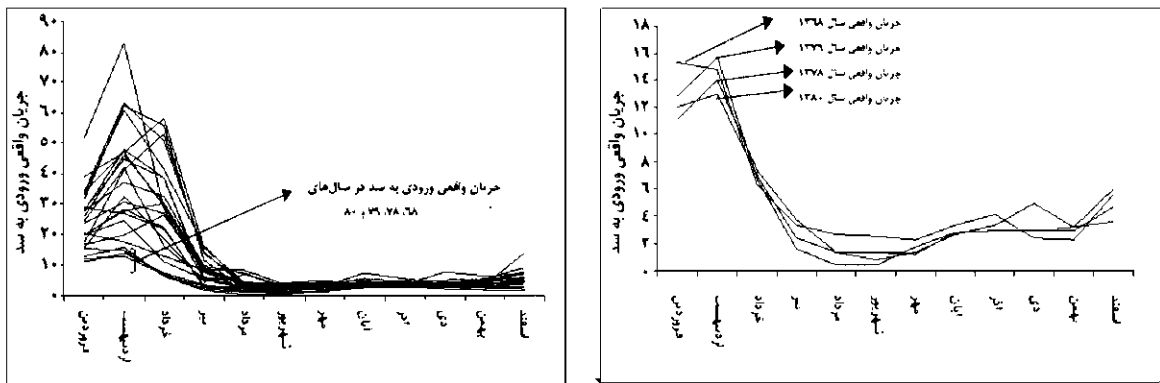
شکل ۵- مجموع سطوح زیر کشت (هکتار) بر اساس جریان واقعی و پیش‌بینی شده در شبکه آبیاری صوفی‌چای

جدول ۱- نتایج حاصل از بهینه‌سازی الگوی کشت در ابتدای سال بر اساس مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده جریان ورودی به سد علویان

سال	مجموع سطوح زیر کشت (هکتار)	سود حداکثر (تومان)	سطح زیر کشت حیوانات	سطح زیر کشت	سطح زیر کشت سیب‌زمینی	سطح زیر کشت یونجه	سطح زیر کشت جو	سطح زیر کشت گندم	نوع جریان
۱۳۶۳	۹۵۹۰/۱	۱/۲۵E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰۰	۸۶۰۸	۱۱۱۹/۳	۵۲۱۸/۲	واقعی
	۸۷۶۸/۴۷	۱/۲۲E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰۰	۸۶۰۸۲	۲۹۷/۶۶	۵۲۱۸/۱۹	پیش‌بینی شده
۱۳۶۴	۹۸۸۹	۱/۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۳۴۵۰۸	۷۲۵/۱	۵۲۲۵/۸	واقعی
	۹۸۸۹	۱/۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱۵	۵۱۶۶/۳۵	پیش‌بینی شده
۱۳۶۵	۹۸۸۹	۱/۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱	۵۱۶۶/۴	واقعی
	۹۸۸۹	۱/۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱۵	۵۱۶۶/۳۵	پیش‌بینی شده
۱۳۶۶	۹۸۸۹	۱/۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱	۵۱۶۶/۴	واقعی
	۹۸۸۹	۱/۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱۵	۵۱۶۶/۳۵	پیش‌بینی شده
۱۳۶۷	۹۸۸۹	۱/۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱	۵۱۶۶/۴	واقعی
	۹۸۸۹	۱/۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱۵	۵۱۶۶/۳۵	پیش‌بینی شده
۱۳۶۸	۴۶۳۸/۱	۱/۰۳E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰۰	۸۶۰۸	۱۴۵/۴	۱۲۴۰/۱	واقعی
	۶۲۵۱/۸۴	۱/۰۱E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰۰	۸۶۰۸۲	۱۵۵/۳۷	۲۸۴۳/۸۵	پیش‌بینی شده
۱۳۶۹	۹۵۰۴/۴	۱/۰۲۵E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰۰	۸۶۰۸	۱۰۳۳/۶	۵۲۱۸/۲	واقعی
	۹۸۸۹	۱/۰۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱۵	۵۱۶۶/۳۵	پیش‌بینی شده
۱۳۷۰	۷۴۶۷/۶	۱/۰۱۶E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰۰	۸۶۰۸	۱۵۵/۴	۴۰۵۹/۶	واقعی
	۸۵۰۰/۱۲	۱/۰۲۱E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰۰	۸۶۰۸۲	۱۵۵/۳۷	۵۰۹۲/۱۳	پیش‌بینی شده
۱۳۷۱	۹۸۸۹	۱/۰۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱	۵۱۶۶/۴	واقعی
	۹۸۸۹	۱/۰۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱۵	۵۱۶۶/۳۵	پیش‌بینی شده
۱۳۷۲	۹۸۸۹	۱/۰۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱	۵۱۶۶/۴	واقعی
	۹۸۸۹	۱/۰۲۸E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۹	۱۰/۵	۴۲۸۰۱	۷۰۲/۱۵	۵۱۶۶/۳۵	پیش‌بینی شده
۱۳۷۷	۹۸۸۹	۱/۰۲۷E+۱۰	۱۰/۵	۲۷۰۰/۴	۱۰۰	۱۴۷۰/۶	۱۱۳۵/۹	۵۲۳۱/۷	واقعی
	۹۷۳۷/۲۱	۱/۰۲۶E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰۰	۸۶۰۸۲	۱۲۶۶/۴	۵۲۱۸/۱۹	پیش‌بینی شده
۱۳۷۸	۳۸۹۰/۶	۹/۹۷E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۰۹	۰/۲	۴۲۰۸	۱۴۵/۴	۵۵۱/۵	واقعی
	۵۹۳۲/۴۴	۱/۰۹E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰۰	۸۶۰۸۲	۱۵۵/۳۷	۲۵۲۴/۴۵	پیش‌بینی شده
۱۳۷۹	۳۹۶۰/۶	۱/۰۰E+۱۰	۱۰/۵	۴۸۰۹	۱۰/۵	۸۲۰۸	۱۴۵/۴	۵۸۰/۱	واقعی
	۶۲۹۰/۲۱	۱/۰۱E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰/۵	۸۶۰۸۲	۱۴۵/۳۸	۲۸۹۲/۲۱	پیش‌بینی شده
۱۳۸۰	۴۳۱۶	۱/۰۲E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰/۵	۸۶۰۸	۱۴۵/۴	۹۱۸	واقعی
	۵۸۵۰/۶۷	۱/۰۹E+۱۰	۱۵	۴۸۰۹	۱۰/۵	۸۶۰۸۲	۱۵۵/۳۷	۲۴۴۲/۶۸	پیش‌بینی شده

در تمام الگوها، مساحت‌های ثابت ۱۷۰۸/۷، ۲۰۷۷/۲، ۱۱۴۳/۲ و ۱۷۱/۳ هکتار به انگور، بادام، سر درختی و قلمستان اختصاص داده شده است.

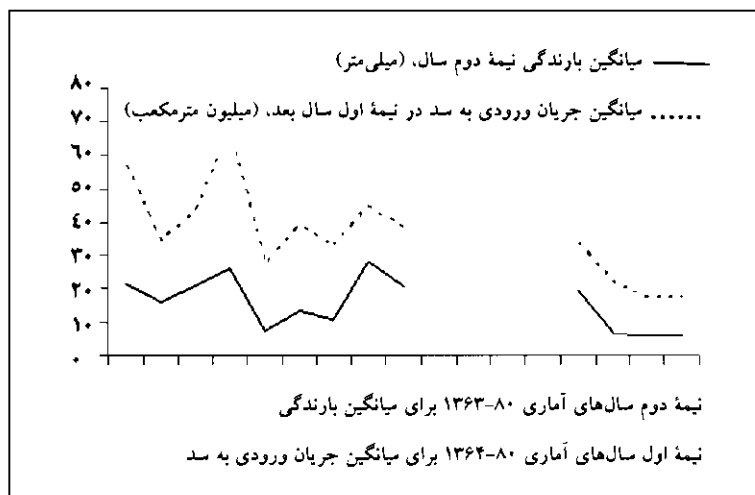
بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس مقادیر پیش‌بینی شده ...



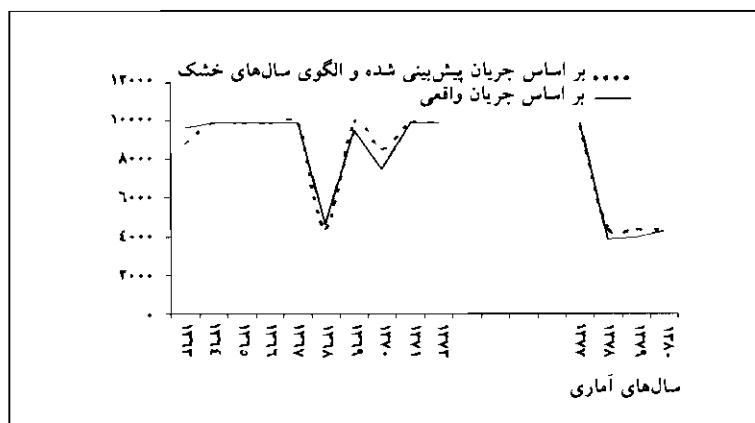
الف: کل دوره آماری

ب: سال‌های خشک

شکل ۶- الگوی جریان واقعی ورودی به سد علویان طی دوره آماری



شکل ۷- میانگین بارندگی نیمه دوم سال (میلی‌متر) و میانگین جریان رودخانه صوفی چای در نیمه اول سال بعد (میلیون متر مکعب)



شکل ۸- مجموع سطوح زیر کشت (هکتار) بر اساس جریان واقعی و پیش‌بینی شده با اعمال الگوی سال‌های خشک در شبکه آبیاری صوفی چای

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق را می‌توان در قالب‌بندهای زیر ارائه داد:

- پیش‌بینی جریان برای شش ماه اول سال (فروردین تا شهریور) با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی، نتایج قابل قبولی را بر اساس معیارهای متعارف مانند R^2 یا RMSE ارائه می‌دهد. مقایسه الگوی کشت حاصل از این نتایج و جریان‌های مشاهده شده رودخانه در سال‌های متوسط و پرآب نشان می‌دهد که الگوهای حاصل از دو روش بسیار نزدیک و مطلوب‌اند، ولی اختلافات قابل توجهی برای خشکسالی‌ها مشاهده می‌شود که دلیل آن می‌تواند تعداد کم دوره‌های خشک در سال‌های آماری موجود از رودخانه و ناکافی بودن آموزش شبکه عصبی برای این سال‌ها باشد.
- برای مشکل بالا، روش‌های مختلفی به کار گرفته شد. بررسی الگوهای جریان در سال‌های خشک دوره آماری حکایت از شباهت و نزدیکی آنهاست. لذا الگوی جریان متوسط ماهیانه‌ای از آنها استخراج شد که به شکل قابل توجهی مشکل بالا را مرتفع کرد.
- بررسی آمار جریان و بارندگی ماهیانه در منطقه طرح نشان داد که هرگاه متوسط بارندگی شش ماه دوم سال (مهر تا اسفند) از حدود ۷۵ درصد متوسط دراز مدت آن کمتر باشد، رودخانه برای شش ماه اول سال بعد (فروردین تا شهریور بعد) کم آب می‌شود و لذا این شرط می‌تواند اعلام زود هنگامی برای قرار گرفتن در شرایط کم‌آبی برای فروردین تا شهریور سال بعد باشد. در خصوص تکمیل روش‌شناسی ارائه شده در این تحقیق پیشنهاد می‌شود:
- تلفیق مدل‌های آماری و تفهیمی (Conceptual Models) برای ارتقای پیش‌بینی‌ها در سال‌های خشک بررسی شود.
- کم‌آبایی در مدل بهینه‌سازی از مواردی است که می‌تواند در گزینه‌های مورد بررسی برای مقابله با خشکسالی دخالت داده شود.
- روش‌شناسی ارائه‌شده در این تحقیق می‌تواند در طرح‌های مقابله با تأثیرات سال‌های خشک روشی مناسب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور در تعیین الگو و سطح زیر کشت به کار گرفته شود.

- Adanvar, H. 1997. Mathematical model for optimum application of soil and water resources in irrigation networks. Water Resources Conference. www.irandoc.ac.ir. (in Farsi)
- Anon. 2000. ASCE. I. Artificial neural networks in hydrology, I: Preliminary concepts. J. Hydrologic Eng. 5 (2): 115-123.
- Asgharpour, M. J. 1993. Linear Programming. Tehran University Pub. (in Farsi)
- Coulibaly, P., Anctil, F. and Bobee. 2000. Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural network with stopped training approach. J. Hydrol. 230: 244-257.
- Coulibaly, P., Anctil, F. and Bobee. 2001. Multivariate reservoir inflow forecasting using temporal neural networks. J. Hydrologic Eng. 5(2): 115-123.
- Danh, N. T. and Gupta, A. 1999. Neural networks models for river flow forecasting. Water Sa, [Online], 25. Available on the URL: <http://wrc.org.za>
- Eckert, J. B. and Wang, E. 1992. Effects of irrigation water supply variation on limited resource farming in Conejo County, Colorado. Water Resources Res. 229- 235.
- Ghahreman, B. 2000. Allocation of the optimum irrigation water for crops from a single-objective reservoir, using stochastic- deterministic programming. Ph.D. Thesis. Shiraz University. Shiraz. Iran. (in Farsi)
- Haouari. and Azaiez, M. 2001. Optimal cropping patterns under water deficits. European J. Operational Res. 130: 133-146.
- Hargreaves, G. H. and Samani, Z. A. 1982. Estimating potential evapotranspiration, J. Irrig. and Drain. Eng. 8(3): 25-230.
- Hsu, K., Gupta, H. V. and Sorooshian, S. 1995. Artificial neural network of the rainfall-runoff process. Water Resources Res. 31: 2517-2530.

- Jain, S. K., Das, A. and Sirvastava, D. K. 1999. Application of ANN for reservoir inflow prediction and operation. *J. Water Resource Planinig and Management*. 125: 263-271.
- Karamouz, M., Hock, M. H. and Delleure, J. W. 1992. Optimization and simulation of multiple reservoir systems. *J. Water Resources Planning and Management*. 118: 71-81.
- Morid, S. 2003. Streamflow forecast to Alavian Dam. Design of dynamic model for operational of Alavian Dam and allocation of the optimum water for the down stream demand sites. Vol. 1. Tehran Ab o Khak Consulting Engineers Company. (in Farsi)
- Nejatpour, H. 1999. Optimum operation of water resources, using deficit irrigation. M.Sc. Thesis. Shiraz University. Shiraz. Iran. (in Farsi)
- Rahimi, M. A. and Bagheri, M. R. 2003. Evaluation of operation of Alavian dam during 1997 to 2001. Design of dynamic model for operational of Alavian dam and allocation of the optimum water for the down stream demand sites. Vol. 3. Tehran Ab o Khak Consulting Engineers Company. (in Farsi)
- Rahimi, M. A. and Nikbakht, N. 2002. Water requirement for cropping pattern of the study area. Design of dynamic model for operational of Alavian Dam and allocation of the optimum water for the down stream demand sites. Vol. 2. Tehran Ab o Khak Consulting Engineers Company. (in Farsi)
- Sajikumar, N. and Thandaveswara, B. S. 1999. A non- linear rainfall- runoff model using artificial neural networks. *J. of Hydrol*. 216: 32- 55.
- Salas, J. D., Markus, M. and Tokar, A. S. 2000. Streamflow Forecasting Based on Artificial Neural Networks. In: Govindaraju, R. S. and Ramachandra, A. (Eds.) *Artificial Neural Networks in Hydrology*. West Lafayette Indiana. USA. 23-51.

Soltani, S. 2002. Assessment of artificial neural networks in forecasting short-term streamflows.

M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Farsi)

Zealand, C. M., Burn, D. and Simonovic, S. P. 1999. Short term stream flow forecasting using

artificial neural networks. J. Hydrol. 214: 32-48.

Optimization of Cropped Area Based on Forecasted Streamflows

(A case study Sofichay irrigation system)

N. Shahkarami, S. Morid and M. A. Rahimi Jamnani

Indicating cropped area based upon available water, especially during drought spells is of great importance. This study was an attempt to fulfill this task, using proper approaches for river flows forecasting and optimization methods. To accomplish this goal, in the first step six-months river flows ahead have been forecasted using artificial neural networks (ANNs). In the next step, the relation between the first and second six-months flows has been analyzed. However, the results showed that it was necessary to use different approaches for wet and dry years. Furthermore, an optimization model was applied to indicate areas of cultivation for the cropping pattern of study area with respect to the forecasted flows. The results indicated that the applied methodology was able to indicate optimum cropped area during water scarcity periods and could be considered as a suitable method for drought mitigation plans.

Key words: Artificial Natural Network, Cropping Pattern, Drought, Optimization, Sofichay Irrigation System. Stream Flow Forecasting