

## Developing an Operational Water Resources Decision Support System for Zarrineh-Rood Basin with Emphasis on Supply Urmia Lake Water Requirement and Optimal Water Allocation in Agricultural Sector

A. Abbasi<sup>1</sup>, M. Delavar<sup>2\*</sup> and S. Morid<sup>3</sup>

### Abstract

Zarrineh-Rood is one of the most important rivers of Urmia lake basin. Since, agricultural sector plays a key role in this region, and also in recent year the water resources in this basin is faced with a lot of pressure that lead to many environmental problems in urmia lake. so the evaluation of efficient water allocation to the agricultural crops, especially in drought conditions may have a noticeable impact on the water productivity on the basin. In the current study, attempt to determine the best solution for water and land allocation by developing an operational decision support system using prediction of flow during the next year by support vector machine(SVM) and also an agricultural water allocation model that is based on the old and new FAO crop response to water equations. The results show that each of these methods proposes a different composition of optimal allocation and Cultivated area. Also the FAO-2009 method in comparison to FAO-1979, has led to a higher income and productivity at all levels of drought conditions. In addition, SVM prediction results show an over-90% correlation for flow prediction in both supply all of the Urmia lake water requirement and reduction of lake water allocation based on drought condition. So and holistic model with linking prediction model and water allocation model is so suitable for water resources planning and also for applying management scenario in deferent future conditions. This package can be used as an decision support system for basin water resources management.

**Keywords:** Crop performance, FAO's relations, Water allocation, Drought level, Support vector machine, Zarrineh-Rood river.

Received: February 7, 2015

Accepted: October 8, 2015

## توسعه سامانه تصمیم‌یار بهره‌برداری از منابع آب حوضه زرينه‌رود با تأکید بر تأمین حقایق دریاچه ارومیه و تخصیص بهینه آب در بخش کشاورزی

عباس عباسی<sup>۱</sup>، مجید دلاور<sup>۲\*</sup> و سعید مرید<sup>۳</sup>

### چکیده

رودخانه زرينه‌رود از مهم‌ترین رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه است. از آنجا که بخش کشاورزی در این منطقه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد و همچنین در سال‌های اخیر فشار زیادی بر منابع آب این حوضه وارد آمده که در نتیجه‌ی آن دریاچه ارومیه با مشکلات عدیده زیست‌محیطی روبرو شده است، لذا ارزیابی تخصیص بهینه‌ی آب محصولات زراعی به‌خصوص در شرایط خشکسالی می‌تواند تأثیر بسزایی بر بهره‌وری بهتر از آب در سطح حوضه داشته باشد. در مطالعه‌ی حاضر تلاش شده است با پیش‌بینی جریان در یک سال آینده از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) و تأکید بر راهکارهای مدیریتی پیشنهاد شده در طرح مدیریت ریسک خشکسالی دریاچه ارومیه و بهره‌گیری از مدل تخصیص بهینه‌ی بخش کشاورزی که هسته‌ی اصلی آن شبیه‌سازی عملکرد گیاهی بر اساس روابط جدید و قدیم فائو می‌باشد، بهترین شیوه‌های تخصیص آب و زمین تعیین گردد. نتایج نشان داد که هر کدام از این روش‌ها ترکیب متفاوتی از تخصیص و سطوح کشت بهینه را ارائه می‌دهند که براساس آن، روش FAO-2009 نسبت به روش FAO-1979 در کلیه‌ی سطوح خشکسالی افزایش درآمد و بهره‌وری را به همراه داشته است. همچنین روش SVM برای پیش‌بینی جریان در دو سناریوی خشکسالی که یکی تأمین نیاز زیست محیطی دریاچه به صورت کامل تحت هر شرایط و دیگری کاهش آن بر مبنای وضعیت خشکسالی می‌باشد، از همبستگی بالای ۹۰ درصد برخوردار بوده و تلفیق آن با مدل تخصیص قابلیت برنامه‌ریزی و اعمال اقدامات مدیریتی متناسب با شرایط پیش آمده را به همراه دارد که این مجموعه می‌تواند در قالب یک سیستم تصمیم‌یار در مدیریت حوضه مورد استفاده قرار گیرد.

**کلمات کلیدی:** عملکرد گیاهی، روابط فائو، تخصیص آب، سطح خشکسالی، ماشین بردار پشتیبان، رودخانه زرينه‌رود.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۷/۱۶

1- MSc Graduate in Water Resources Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Assist-Professor of Tarbiat Modares University, Department of Water Resources Management, Tehran, Iran. Email: m.delavar@modares.ac.ir

3- Professor of Tarbiat Modares University, Department of Water Resources Management, Tehran, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- استادیار گروه منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استاد گروه منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

\*- نویسنده مسئول

مراحل مختلف رشد گیاه، دومین لایه برای توزیع بهینه‌ی آب بین محصولات مختلف زراعی و سومین لایه برای توزیع بهینه‌ی آب بین نواحی مختلف منطقه در نظر گرفته شده بود. این رویکرد در تحقیق Moghadasi et al. (2009) برای سد زاینده‌رود و شبکه کشاورزی پایین دست آن نیز مورد استفاده قرار گرفت و در آن لایه جدیدی که سد را نیز شامل می‌شد، اضافه گردید. توابع هدف این مدل، حداکثرسازی درآمد و بر مبنای روابط قدیم فائو (FAO, 1979) بود. Delavar et al. (2012) نیز کار قبلی را تکمیل نمود و مدلی جدید و یکپارچه بر مبنای روابط جدید سازمان جهانی خواربار (FAO, 2009) ارائه نمود. مدل جدید توسعه داده شده تحت عنوان VONESH ارائه گردید که توانایی‌های متنوعی برای مدیریت بخش کشاورزی در شرایط کم آبی دارد. نتایج این مطالعه نیز حاکی از عملکرد مطلوب این مدل در مدیریت بهینه آب کشاورزی در حوضه زاینده‌رود می‌باشد.

اما همانگونه که اشاره شد، در چارچوب مورد نظر، پیش‌بینی جریان رودخانه یکی از کلیدی‌ترین ابزارها جهت برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب در شرایط کمبود آب محسوب می‌شود. در این زمینه طیف متنوعی از مدل‌های سری زمانی و داده محور همچون ARMA و ARIMA، شبکه‌های عصبی مصنوعی، برنامه‌ریزی ژنتیک، مدل‌های ماشین بردار پشتیبان مورد توجه قرار گرفته شده است. روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) از جمله روش‌های مطرح در خصوص حل مسائل طبقه‌بندی و پیش‌بینی می‌باشد که اخیراً این مدل‌ها در سطح وسیعی از مسائل هیدرولوژیکی بکار رفته‌اند. تحقیقات Dibi et al. (2001) از اولین کاربردهای SVM در زمینه‌ی منابع آب است. آنها توانایی این روش را در پیش‌بینی جریان و مدل‌سازی فرآیند بارش- رواناب ارزیابی کردند. در همین راستا et al. (2009) Lin نیز مدل‌سازی پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن را با استفاده از SVM و ANN انجام دادند که مقایسه‌ی نتایج حاکی از کارایی بهتر مدل ماشین بردار پشتیبان بود. در مطالعه‌ی دیگر et al. (2009) Misra برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب روزانه، هفتگی و ماهانه از آبریز هند از مدل SVM استفاده و نتایج آن را با ANN مقایسه نمودند. نتایج این مطالعه نیز حاکی از عملکرد بهتر SVM برای پیش‌بینی می‌باشد.

برای مدیریت خشکسالی حوضه‌آبریز دریاچه ارومیه نیز برنامه‌ای تدوین شده است (WGSMA, 2012). این برنامه نیز از بخش‌های متنوعی مانند سازمان مدیریتی، سیستم پایش و تصمیم‌یار و مدل تخصیص تشکیل یافته که بخش‌هایی از آن در این تحقیق استفاده می‌شود، اما ساختار آن به عنوان یک سیستم تصمیم‌یار برای

مسئله‌ی زیست محیطی دریاچه ارومیه یکی از مسائل مهم در سطح ملی و بین‌المللی می‌باشد که توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در این راستا رویکردهای مدیریتی مناسب در بخش‌های مختلف تقاضای آب و به ویژه بخش کشاورزی، نقش مؤثری در تأمین نیاز آبی این دریاچه دارد و به عنوان یکی از راهکارهای عملی در خصوص حل این بحران محسوب می‌شود. در همین راستا، رودخانه زرینه‌رود از مهمترین رودخانه‌های تأمین کننده آب این دریاچه است و از آنجا که بخش کشاورزی بیشترین مصرف آب در سطح حوضه را دارا است، لذا هر اقدامی که به کاهش مصرف در این بخش منجر شود، می‌تواند تأثیر بسزایی بر احیای دریاچه داشته باشد. بدیهی است که این رویکرد، بخش کشاورزی را با تنش‌هایی مواجه می‌سازد. لذا آنچه که بطور طبیعی در قالب خشکسالی اتفاق می‌افتد، با چنین مدیریتی تشدید خواهد شد. بنابراین نوعی از کم‌آبی بوقوع می‌پیوندد که آن را خشکسالی بهره‌بردار (operational drought) می‌گویند (Iglesias et al., 2007). لذا در ادامه واژه "خشکسالی" به این نوع کم‌آبی اطلاق می‌شود که هم عوامل طبیعی و هم مدیریتی در آن دخالت دارد.

برای مدیریت شرایط فوق، استفاده از اصول مدیریت ریسک خشکسالی بهترین رویکرد می‌باشد (Iglesias et al., 2007). بدین منظور پیش‌بینی میان‌مدت مقادیر آورد رودخانه و مدل‌سازی تخصیص به منظور دستیابی به مقادیر بهینه توزیع آب بین محصولات مختلف در اراضی کشاورزی و تصمیم‌گیری واقع‌بینانه در خصوص تأمین نیاز محیط زیستی دریاچه اجزاء اصلی آن هستند. از جمله مطالعات انجام شده برای مدل تخصیص آب کشاورزی می‌توان به تحقیق Wardlaw and Barnes (1999) اشاره کرد. آنها یک مدل بهینه‌سازی برای بهبود مدیریت آبیاری بهنگام در یک سیستم آبی با شبکه توزیع پیچیده را در پایین دست رودخانه آیونگ اندونزی توسعه دادند. تابع هدف مدل آنها حداکثر کردن عملکرد گیاهی از طریق تخصیص مناسب آب در نظر گرفته شده بود. نتایج این تحقیق نشان داد که رویکرد بهینه‌سازی می‌تواند به صورت معنی‌داری عملکرد گیاهی را در مقیاس حوضه‌ای بهبود بخشد. مدل‌های مورد استفاده در این مطالعات همگی برای یک مزرعه منفرد و یک مخزن مورد بررسی قرار گرفته و آنالیز نتایج محدود به زمان‌بندی بهره‌برداری از مخزن و آبیاری مزرعه بود. اما مدل‌سازی پیچیده‌تری توسط Shangguan et al. (2002) برای مدیریت شرایط کم آبی ارائه شد که از سه لایه‌ی اصلی تشکیل می‌شود. نخستین لایه مربوط به توزیع بهینه‌ی آب در

## ۲-۲- داده‌های مورد استفاده

آمار و اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژیکی شامل مقادیر پتانسیل آورد سالانه، بارش سالانه، متوسط دمای نقطه‌ی شبنم سالانه، متوسط درصد رطوبت نسبی سالانه و دمای متوسط سالانه مورد نیاز این تحقیق می‌باشد که بدین منظور اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک سقز از سازمان هواشناسی کشور و مقادیر پتانسیل آورد سالانه از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی دریافت شده‌اند و طول دوره‌ی آماری آنها از سال ۱۳۳۶ تا ۱۳۸۴ می‌باشد. به منظور استفاده از این داده‌ها در مدل پیش‌بینی از رابطه زیر به منظور استانداردسازی آنها استفاده شده است:

$$Z_i = \frac{(X_i - \bar{X})}{\sigma} \quad (1)$$

که در این رابطه  $X_i$  داده‌های اصلی،  $\bar{X}$ : میانگین داده‌های اصلی،  $\sigma$ : انحراف معیار داده‌های اصلی و  $Z_i$ : داده‌های استاندارد شده می‌باشد. اطلاعات گیاهان و الگوی کشت از داده‌های مورد نیاز جهت تخصیص آب به بخش کشاورزی می‌باشد و با توجه به اینکه گیاهان متنوعی در منطقه مورد مطالعه کشت می‌گردد که شبیه‌سازی کلیه‌ی آنها کاری وقت‌گیر و دشوار است تنها گیاهانی در منطقه که بیشترین سطح کشت را دارند به عنوان محصولات نمونه در این مطالعه مورد مدل‌سازی واقع شدند. این گیاهان شامل گندم، جو، سیب زمینی، گوجه فرنگی، چغندر قند و یونجه می‌باشد که اطلاعات مربوط به آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

بهره‌برداری بهنگام آماده نبود، ضمن اینکه مدل تخصیص آن بر مبنای روابط ۱۹۷۹ فائو مورد استفاده قرار گرفته شده است. لذا در توسعه آن روابط جدید فائو نیز ارزیابی خواهد شد. این موارد هدف این مقاله را رقم می‌زند و در آن تلاش شده است تا روش‌شناسی مناسبی برای یک مدل تصمیم‌یار بهنگام برای بهره‌برداری از منابع آب حوضه دریاچه ارومیه توسعه یابد. اما با توجه به وسعت منطقه، تنها پیاده‌سازی آن در حوضه زرينه‌رود که مهمترین ورودی دریاچه را به همراه دارد، به انجام می‌رسد.

## ۲- روش تحقیق

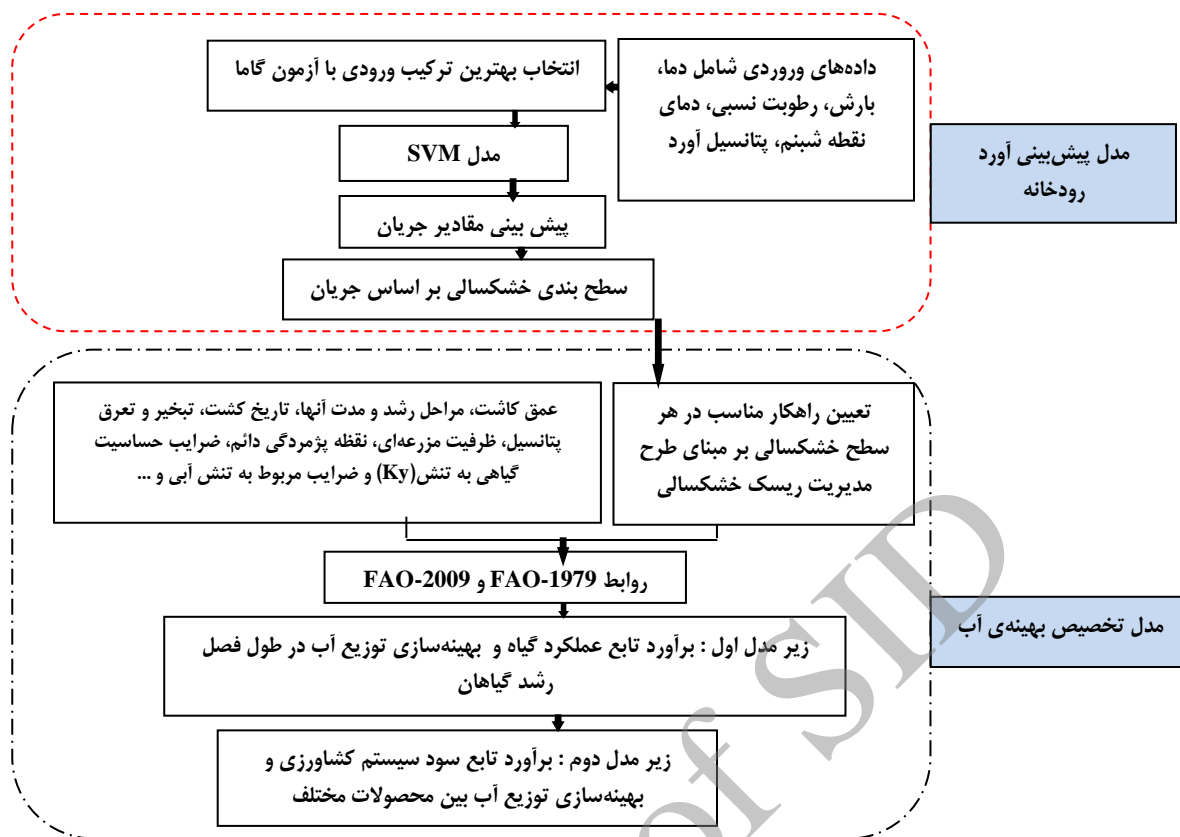
### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه زرينه‌رود با وسعت حوضه آبریز ۱۱۰۰۰ کیلومتر مربع، یکی از مهمترین و طولانی‌ترین رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد که در میان جریان‌های ورودی به دریاچه با بیشترین تخلیه‌ی آب، از اهمیت بالایی برخوردار است. شهرهای میاندوآب، شاهین‌دژ، تکاب و سقز از کانون‌های مهم شهری این حوضه می‌باشند. طول تقریبی رودخانه، ۳۰۰ کیلومتر است و از کوه‌های چهل چشمه واقع در استان کردستان سرچشمه گرفته و به موازات رودخانه سیمینه‌رود در جهت شمال جریان دارد و نهایتاً وارد دریاچه ارومیه می‌گردد. شکل ۱ موقعیت حوضه رودخانه زرينه‌رود را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه





شکل ۲- ساختار سیستم مدل‌سازی توسعه یافته در این تحقیق

## ۲-۵-۱- زیر مدل اول: بهینه‌سازی توزیع آب در طول فصل رشد گیاهان

توابع محصول گیاهی نقش مؤثری در تخصیص آب کشاورزی و مدیریت صحیح منابع آب بر اساس میزان تقاضا دارد. در این زیر مدل کل آب مصرفی در هر محصول در طول فصل رشد گیاهان بر مبنای روابط FAO مدنظر قرار گرفته است و در دوره‌های ۱۰ روزه (دور آبیاری) به صورت بهینه توزیع می‌شود که در ادامه به نحوه بکارگیری آنها در مدل اشاره می‌گردد.

که هدف استفاده از آن برای مواردی است که ماشین بردار پشتیبان بتواند داده‌های با پیچیدگی بالا را از طریق انتقال آنها به فضای با ابعاد بسیار بالاتر پیش‌بینی نماید و از انواع مختلف توابع هسته‌ای می‌توان به توابع خطی، پایه شعاعی، چندجمله‌ای و سیگموئید اشاره نمود.  $\xi_1, \xi_2$  متغیرهای کمبود که حد بالا و پایین خطای آموزش مرتبط با مقدار خطای مجاز  $\varepsilon$  را تعیین می‌کنند که خطاهای کمتر از مقدار  $\varepsilon$  در نظر گرفته نمی‌شوند.

## ۲-۵-۲- تخصیص بهینه‌ی آب بخش کشاورزی

### ۲-۵-۱-۱- بهینه‌سازی توزیع آب در دوره رشد گیاهان بر اساس رابطه FAO-1979

در این مدل تابع هدف، حداکثر نمودن نسبت محصول واقعی به محصول حداکثر در هر هکتار بر اساس رابطه (۴) است. قیودات و نکاتی که در مدل‌سازی این بخش مد نظر بوده، شامل موارد زیر است (Doorenbos and Kassam, 1977)

Objective function :

$$MAX : \frac{Y_{ac}}{Y_{max\ c}} = 1 - \sum_{g=1}^n Ky_g \left(1 - \frac{ETa_{c,g}}{ET \max_{c,g}}\right) \quad (4)$$

به منظور ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریتی و همچنین تخصیص بهینه آب در بخش کشاورزی مدل تخصیص منابع آب که از دو زیر مدل تشکیل شده استفاده گردیده است. زیر مدل اول مربوط به بهینه‌سازی توزیع آب در طول فصل رشد گیاهان مختلف و زیر مدل دوم شامل بهینه‌سازی توزیع آب بین محصولات مختلف در سیستم می‌باشد که در ادامه شرح مختصری از مبانی تخصیص توسط دو روش قدیم و جدید FAO با بهره‌گیری از این زیرمدل‌ها ارائه خواهد شد.

زیر کشت هر محصول بر حسب هکتار،  $Y_{max k}$  حداکثر محصول و  $P$  درآمد خالص محصول  $k$  می‌باشد. محدودیت‌های مد نظر در این بخش شامل سطح زیر کشت، میزان آب در دسترس هر شبکه و محدودیت الگوی کشت است که در مرجع (Delavar (2012) با توصیف بیشتری قابل مشاهده‌اند.

## ۲-۶- مدیریت بخش کشاورزی در شرایط خشکسالی

همانگونه که قبلاً اشاره شد، در این مطالعه بهینه‌سازی تخصیص آب بخش کشاورزی در شرایط خشکسالی بر اساس سطح‌بندی و راهکارهای پیشنهادی مرتبط در طرح مدیریت ریسک خشکسالی حوضه‌ی دریاچه ارومیه (WGSMWRA, 2012) ارائه می‌گردد. بر این اساس سطح‌بندی خشکسالی بر مبنای پتانسیل آورد رودخانه در هر بخش و متناسب با سناریوهای مدیریتی پیشنهادی تعیین گردیده است. نحوه‌ی تعیین سطح‌های خشکسالی برای سناریوهای مطرح شده بر این اساس است که شرایط طبیعی در پتانسیل آورد رودخانه به عنوان سطح صفر لحاظ می‌شود و شرایطی که زراعت به صورت کامل حذف گردد به عنوان سطح ۴ معرفی می‌شود و بازه‌ی بین آنها به سه قسمت مساوی تقسیم می‌گردد و بر مبنای آن سه سطح دیگر تعیین می‌شود. با توجه به سطوح خشکسالی به ترتیب اولویت‌های شرب و صنعت، نیاز باغات و سپس حقابه‌ی دریاچه تأمین می‌گردد که نیاز شرب و صنعت به عنوان مهم‌ترین اولویت در کلیه سطوح خشکسالی باید به صورت کامل تأمین گردد و از مقدار جریان آب باقی‌مانده به بخش کشاورزی اختصاص داده می‌شود. در جدول ۲ مقادیر تخصیص به هر کدام از اولویت‌ها بر اساس سناریو و راهکارهای مدیریتی ارائه شده است. سناریوهای مدیریتی در این طرح حاصل تبادل نظر، تعاملات و اجماع بین ذی‌نفعان حوضه بوده که در زیر به اختصار به آن‌ها اشاره خواهد شد.

## ۲-۶-۱- سناریوی اول: تأمین نیاز کامل آب دریاچه در کلیه‌ی

### شرایط به جز سطح ۴ خشکسالی

در این سناریو در هر شرایط نیاز بخش شرب و صنعت به عنوان اولویت نخست تأمین می‌گردد و سپس حقابه‌ی دریاچه‌ی ارومیه که برای پایین‌دست مقدار ۵۱۲ میلیون مترمکعب است در همه‌ی سطوح خشکسالی بجز سطح ۴ که مقدار آورد به شدت کاهش یافته است، تأمین می‌گردد.

لازم به ذکر است که نیاز باغات توسط مدل‌های تخصیص که در بخش‌های قبل ارائه گردید قابل مدل‌سازی نیست به این دلیل که

که در این رابطه  $Y_{ac}$  : محصول واقعی  $c$  (کیلوگرم در هکتار)،  $Y_{max c}$  : حداکثر محصول  $c$  (کیلوگرم در هکتار)،  $ky_g$  : ضریب حساسیت محصول نسبت به تنش آبی برای هر گیاه در هر مرحله رشد،  $E_{ta,c,g}$  : تبخیر- تعرق واقعی محصول  $c$  در مرحله رشد  $c$  در  $(mm/10 day)$  و  $ET_{max,c,g}$  : حداکثر تبخیر و تعرق محصول  $c$  در هر مرحله رشد  $(mm/10 day)$  می‌باشد. شرح قیودات استفاده شده در این رابطه در مرجع (Delavar (2012) قابل دسترس می‌باشد.

## ۲-۱-۵-۲- بهینه‌سازی توزیع آب در دوره رشد گیاهان بر

### اساس رابطه 2009-FAO

رویکرد دیگر به منظور بهینه‌سازی توزیع آب در دوره رشد محصولات استفاده از روابط جدید فائو می‌باشد. در این رابطه محصول بر اساس میزان تعرق گیاه و شاخص‌های اصلاح شده تولیدی آب و برداشت محصول بر مبنای تنش آبی و مدیریت مزرعه در مراحل مختلف رشد محاسبه می‌شود و به صورت رابطه بهینه‌سازی (۵) تعریف می‌گردد (Steduto et al., 2007).

Objective function :  $MAX : Y = B.HI$

$$B = WP \cdot \sum_{n=1}^N Tr \quad (5)$$

بنابراین:

$$MAX : Y = WP \cdot \sum_{n=1}^N Tr HI$$

که در این رابطه  $B$  : مقدار ماده خشک تولیدی (کیلوگرم در هکتار)،  $HI$  : شاخص برداشت (درصد)،  $WP$  : ضرایب شاخص تولیدی آب (کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر آب) و  $Tr$  : تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر) می‌باشد. قیودات مربوط به این رابطه در مرجع (Delavar (2012) به تفصیل ارائه شده است.

## ۲-۵-۲- زیر مدل دوم: بهینه‌سازی توزیع آب بین

### محصولات کشاورزی

این زیر مدل تخصیص بهینه‌ی کل آب را در یک شبکه بین محصولات مختلف عهده‌دار است. تابع هدف این مدل حداکثر کردن سود حاصل از همه‌ی محصولات در یک سیستم بوده که به صورت ذیل است:

$$MAX \left\{ \sum_{k=1}^K F_k(V_k) A_k Y_{max k} P_k \right\} \quad (6)$$

که در آن  $k$  تعداد محصولات،  $F_k(V_k)$  تابع محصول (رابطه‌ی بین محصول نسبی به آب تخصیص داده شده) هر محصول می‌باشد که از زیر مدل قبل و به ازای احجام مختلف بین محدوده‌ی حداقل و حداکثر نیاز آبی طی کل دوره رشد گیاه به دست می‌آید،  $A_k$  سطح

جدول ۲- حجم آب دریافتی به هر مصرف کننده در سطوح مختلف خشکسالی (میلیون متر مکعب) (WGSMWRA, 2012)

سطح خشکسالی	پتانسیل آورد سیستم	نیاز زراعت		نیاز باغات		نیاز دریاچه		نیاز شرب و صنعت	
		سناریوی دوم راهکار سوم	سناریوی اول راهکار دوم	سناریوی دوم راهکار سوم	سناریوی اول راهکار دوم	سناریوی دوم راهکار سوم	سناریوی اول راهکار دوم	سناریوی دوم راهکار سوم	سناریوی اول راهکار دوم
0	1070	298	298	102	102	512	512	158	158
1	960	240	208	82	82	461	512	158	158
2	850	161	123	57	82	410	512	158	158
3	740	108	36	34	82	333	512	158	158
4	630	0	0	21	82	333	461	158	158

### ۲-۶-۲- سناریوی دوم: کاهش نیاز آب دریاچه در کلیه سطوح خشکسالی

در این سناریو بر خلاف سناریوی قبل که نیاز دریاچه در کلیه مواقع (بجز سطح ۴) ثابت بود و تحت هر شرایطی حبابه‌ی آن به صورت کامل در نظر گرفته می‌شد، با توجه به سطوح خشکسالی در سطوح ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۳۵ و ۳۵ درصد از مقدار نیاز دریاچه کاسته می‌شود و از مقدار آب باقی‌مانده برای کشت زراعت و باغات استفاده می‌گردد. ترتیب اولویت‌های تخصیص در این سناریو نیز به ترتیب با شرب و صنعت، نیاز باغات، حبابه دریاچه و در نهایت زراعت می‌باشد که با راهکارهایی که برای سناریوی اول مطرح شد برای زرینه‌رود پیاده گردید.

### ۲-۷- شاخص بهره‌وری آب

به مقدار محصولی (معمولاً ماده خشک یا محصول) که یک گیاه به ازای یک واحد آب مصرفی تولید می‌کند بهره‌وری آب گیاهی اطلاق می‌گردد. بهره‌وری یک شاخص مؤثر جهت ارزیابی عملکرد سیستم مدیریت کشاورزی می‌باشد که با افزایش مقدار محصول تولیدی به ازای هر واحد آب مصرفی و یا کاهش مصرف آب افزایش می‌یابد و از رابطه (۷) محاسبه می‌گردد.

$$Y = \frac{\text{عملکرد هر محصول}}{\text{حجم آب مصرفی هر محصول}} \quad (7)$$

در صورتی که این رابطه برای یک منطقه با گیاهان مختلف (الگوی کشت منطقه) محاسبه شود رابطه (۸) به صورت زیر تغییر خواهد کرد.

$$CPD = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \times A_i}{\sum_{i=1}^n V_i \times A_i} \quad (8)$$

که در این رابطه  $i$  شماره محصول،  $n$  تعداد محصولات کشت شده در الگوی کشت منطقه،  $Y_i$  محصول  $i$  ام در هر هکتار (کیلوگرم)،  $A_i$  مساحت محصول  $i$  ام (هکتار)،  $V_i$  حجم آب مصرفی گیاه  $i$  ام در هر هکتار (متر مکعب) می‌باشد.

رابطه‌ای برای تخمین محصول آن‌ها نسبت به مقدار آب آبیاری ارائه نشده است و به همین دلیل مقادیر نیاز آن در سطح ۱، ۲، ۳ و ۴ خشکسالی به ترتیب ۲۰، ۴۵، ۶۷ و ۸۰ درصد کاهش داده شده است. برای اجرای این سناریو سه راهکار که از روش‌های مرسوم در شرایط کمبود آب می‌باشد و در بسیاری از تحقیقات مورد توجه قرار گرفته‌اند استفاده شده است که شامل موارد زیر می‌باشد:

- راهکار مدیریتی ۱: اعمال کم آبیاری و کاهش سطح
- راهکار مدیریتی ۲: اعمال کم آبیاری و کاهش سطح زیر کشت و حذف محصول
- راهکار مدیریتی ۳: رویکرد کم آبیاری سنتی که در آن بخشی از اراضی کلاً از کشت حذف می‌شوند و برای بقیه اراضی مدیریت کمتری برای کم آبیاری اعمال می‌گردد.

بر این اساس با توجه به قرار گرفتن در هر سطح خشکسالی و مقدار آب موجود برای بخش کشاورزی جهت مقابله با کمبود، راهکارهای بالا که ترکیبی از اعمال کم آبیاری، کاهش سطح و تغییر الگوی کشت می‌باشد، اجرا می‌شود. نتایج اجرای مدل تحت این شرایط، ارائه‌ی مقادیر بهینه‌ی سطح زیر کشت و حجم آب مورد نیاز برای هر محصول می‌باشد به گونه‌ای که بیشترین سود اقتصادی عاید گردد. از آنجا که محصول یونجه در منطقه دارای سه چین (برداشت) می‌باشد و در بررسی منابع مختلف رابطه‌ای برای مدل‌سازی گیاهان با چین‌های مختلف یافت نشد، این گیاه به عنوان سه محصول مستقل در هر چین به منظور مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه باینکه مقادیر ضرایب لازم از قبیل شاخص تولیدی آب، درصد مجاز شاخص افزایش برداشت آب و ... برای مدل‌سازی محصول یونجه با روش جدید فائو در بررسی مراجع مختلف یافت نشد، مدل‌سازی عملکرد یونجه تنها توسط روش قدیم فائو انجام گرفت.

### ۳- نتایج و تحلیل نتایج

#### ۱-۳- پیش‌بینی جریان برای اعلام وضعیت سطوح خشکسالی

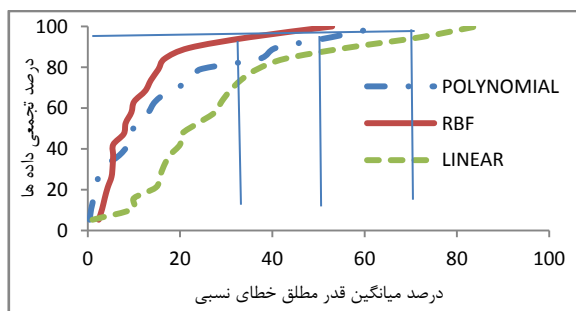
قرار گرفت. مقادیر پارامترهای مورد نیاز مدل و توابع هسته‌ای از طریق جستجوی شبکه‌ای تعیین شد که این پارامترها به همراه نتایج ارزیابی مدل‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج آماره‌های ارزیابی نشان می‌دهد که تابع هسته‌ای RBF با مقادیر  $R^2$  بهتر و RMSE و MAE کمتر عملکرد بهتری نسبت به سایر توابع هسته‌ای دارد. بر این اساس رتبه‌بندی بهترین مدل‌ها برای پیش‌بینی جریان در پایین‌دست زرنه‌رود از نظر رتبه به ترتیب به صورت SVM-RBF، SVM-Linear و SVM-Polynomial می‌باشد.

در شکل ۳ نمودار توزیع خطای مربوط به مراحل آموزش و آزمون سه روش مورد استفاده برای پیش‌بینی جریان آمده است. مشاهده می‌شود که در مرحله‌ی آموزش در ۹۵ درصد موارد خطای برآورد SVM-Linear، SVM-Polynomial، SVM-RBF به ترتیب کمتر از ۱۵، ۵۶، ۴۷ درصد است و فقط برای ۵ درصد موارد است که قدر مطلق خطای نسبی به ترتیب تا ۲۴، ۷۷، ۵۸ می‌رسد. در مرحله‌ی آزمون نیز در ۹۵ درصد موارد خطای برآورد مدل‌های SVM-Linear، SVM-Polynomial، SVM-RBF به ترتیب کمتر از ۳۵، ۵۲، ۷۲ و در ۵ درصد موارد قدر مطلق خطای نسبی به ترتیب تا ۵۲، ۶۳، ۸۴ می‌رسد؛ بنابراین مدل SVM-RBF از دو مدل دیگر بهتر بوده و میزان خطای کمتری تولید می‌کند.

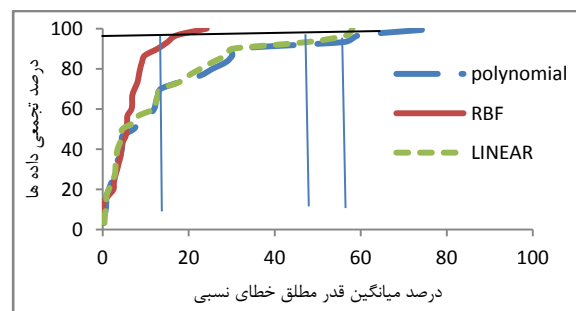
پیش‌بینی جریان از جمله مهمترین مقوله‌ها در خصوص برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب در شرایط خشکسالی محسوب می‌گردد. جهت نیل به این هدف در این تحقیق پتانسیل جریان در یک سال آینده از روش ماشین بردار پشتیبان پیش‌بینی می‌گردد. بدین منظور از ۵ متغیر هواشناسی و هیدرولوژیکی طی دوره‌ی آماری (۱۳۸۴-۱۳۳۶) شامل بارش سالانه، دمای متوسط سالانه، متوسط رطوبت نسبی سالانه، متوسط دمای نقطه‌ی شبنم سالانه و میزان آورد سالانه که هر کدام به ترتیب با ۱، ۳، ۱ و ۲ سال تأخیر زمانی که در مجموع ۱۰ متغیر ورودی را تشکیل می‌دهند با استفاده از آزمون گاما برای پیش‌بینی آورد منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده شد. این متغیرها پس از استانداردسازی به منظور کاربرد در مدل ماشین بردار پشتیبان مورد ارزیابی قرار گرفتند. بهترین ترکیب پارامترها بر اساس آزمون گاما (Remesan et al., 2008) ترکیبی است که شامل ۷ پارامتر ورودی شامل بارش با یک و سه تأخیر زمانی، رطوبت نسبی و دمای نقطه‌ی شبنم و همچنین آورد با یک تأخیر زمانی، دما با دو و سه سال تأخیر زمانی باشد. توسعه مدل پیش‌بینی با استفاده از سه تابع هسته‌ای خطی، پلی‌نومیال و پایه شعاعی (RBF)، برای ترکیب برتر انتخاب شده از آزمون گاما مد نظر

جدول ۳- نتایج ارزیابی مدل SVM

تابع هسته‌ای	آموزش			آزمایش			پارامتر		
	MAE (میلیون متر مکعب)	RMSE (میلیون متر مکعب)	$R^2$	MAE (میلیون متر مکعب)	RMSE (میلیون متر مکعب)	$R^2$	C	$\epsilon$	$\gamma$
RBF	۰/۰۹۴۴	۰/۰۳۹۲	۰/۸۸۱۳	۰/۰۳۷۴	۰/۰۴۷۴	۰/۸۸۱۳	۴	۰/۰۰۱	۲
پلی‌نومیال	۰/۷۸۵۱	۰/۰۶۴۲	۰/۷۷۳۱	۰/۰۶۶۹	۰/۰۴۸۰۸	۰/۷۷۳۱	۱۶	۰/۰۰۱	۱
خطی	۰/۶۲۵۲	۰/۰۶۸۴	۰/۶۰۴۷	۰/۰۹۴۵۷	۰/۰۸۳۲۱	۰/۶۰۴۷	۸	۰/۰۲	-



(ب)



(الف)

شکل ۳- نحوه‌ی توزیع و پراکندگی میانگین قدر مطلق خطای نسبی در مرحله‌ی الف (آموزش و ب) آزمون



اقدامات تطبیقی آن در این راهکار در جدول ۴ نشان داده شده است. مطابق این جدول مشاهده می‌گردد که در شرایط نرمال میزان حجم آورد در حدود ۱۰۷۰ میلیون مترمکعب می‌باشد که این مقدار در سطح چهار که زراعت به صورت کامل حذف می‌گردد به ۶۳۰ میلیون متر مکعب رسیده است. میزان حقابه‌ی دریاچه ارومیه مطابق تفاهم بین استان‌های واقع در این حوضه برای پایین دست زربینه رود به مقدار ۵۱۲ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شده است که در این سناریو این مقدار در سطوح مختلف به جز سطح چهار به صورت کامل به آن اختصاص داده می‌شود.

نتایج مقدار تخصیص و سطوح زیر کشت برای مدل بهینه‌سازی تحت این راهکار در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس آن در سطح یک خشکسالی و با کاهش ۹۰ میلیون مترمکعب از حقابه‌ی بخش زراعی، روش FAO-1979 در گندم کاهش تخصیص و کاهش سطح زیر کشت در حدود ۵۰ درصد و در جو نیز تنها کاهش تخصیص را نشان می‌دهد و سایر گیاهان با تغییری مواجه نخواهند شد. این در حالی است که روش FAO-2009 در این سطح خشکسالی در همه‌ی

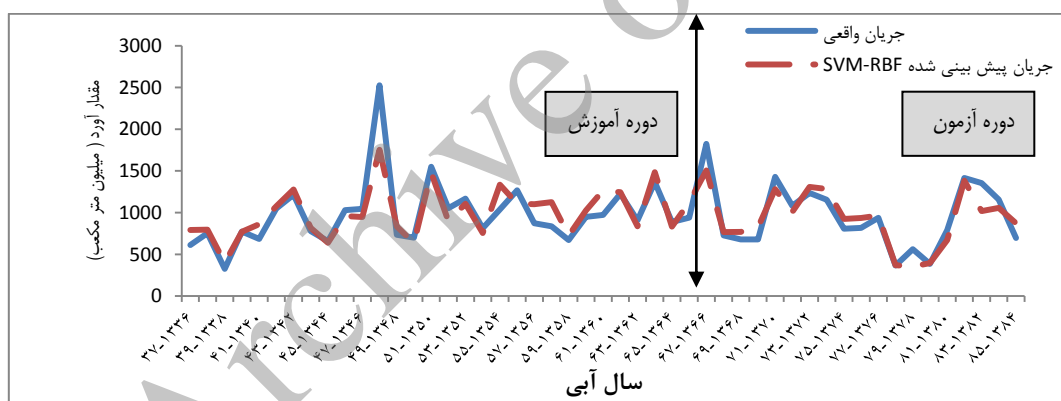
در شکل ۴ روند تغییرات مقادیر جریان پیش‌بینی شده با استفاده از مدل برتر (SVM-RBF) در مقابل مقادیر واقعی جریان برای دو بخش آزمون و آموزش درج گردیده است و در شکل ۵ نیز پراکنش آنها ارائه شده است که بر اساس آن میزان همبستگی ۰/۸۸ می‌باشد و نشان می‌دهد که روند آنها از همبستگی خوبی برخوردار است.

### ۳-۴- ارزیابی مقادیر تخصیص و سطوح زیر کشت در سناریوهای مختلف خشکسالی در روش‌های فائو

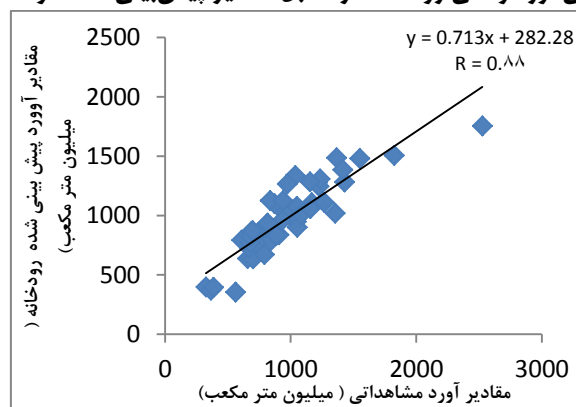
با توجه به اینکه سیستم آبی پایین‌دست زربینه‌رود بعد از سد شهید کاظمی (سد بوکان) واقع شده است، توسعه‌ی اراضی کشاورزی در آن به خصوص در دشت میاندوآب با افزایش چشمگیری مواجه بوده است. به منظور ارزیابی عملکرد روش‌شناسی مورد استفاده در این مطالعه، نتایج حاصل از مدل‌های بهینه‌سازی به صورت اختصار برای یک راهکار در هر سناریو ارائه می‌شود.

#### ۳-۴-۱- سناریوی اول (راهکار دوم)

سطوح مختلف خشکسالی به همراه مقادیر آب دریافتی هر بخش و



شکل ۴- سری زمانی آورد واقعی رودخانه در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل SVM-RBF



شکل ۵- پراکنش مقادیر آورد واقعی رودخانه در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل SVM-RBF

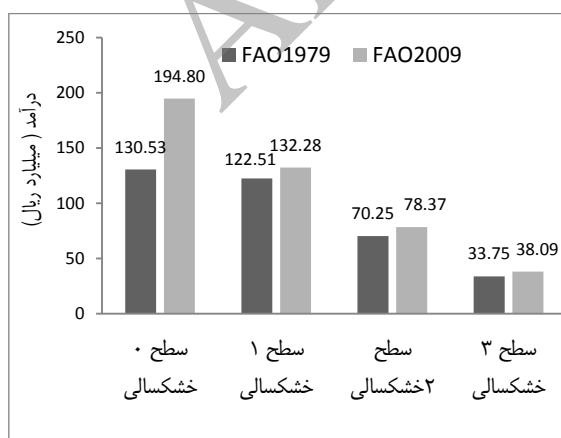
### ۳-۴-۲- سناریوی دوم (راهکار سوم)

مقادیر نیاز دریاچه در سناریوی دوم با توجه به سطوح خشکسالی کاهش پیدا کرده است و از مقدار ۵۱۲ میلیون مترمکعب در شرایط طبیعی به ۳۳۳ میلیون مترمکعب در سطح ۴ خشکسالی کاهش داده شده است. میزان تخصیص به هر مصرف‌کننده به همراه راهکارهای مواجهه با خشکسالی در هر سطح در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج اجرای مدل برای این سناریو و پیاده کردن راهکار سوم در جدول ۷ نشان می‌دهد که روش FAO-1979 در سطح یک خشکسالی محصولات گندم و جو را با کاهش تخصیص و سطح زیر کشت روبرو می‌کند درحالی‌که روش FAO-2009 تنها سطح زیر کشت گندم را کاهش می‌دهد ولی برای اعمال کم‌آبایی کاهش تخصیص در همه‌ی محصولات بجز جو و یونجه را لحاظ می‌نماید. در این حالت میزان سود عاید از زراعت برای این سطح خشکسالی در این روش نسبت به نتایج مدل قبل به مراتب بیشتر است. در سطح دو و سه خشکسالی با وجود اینکه میزان حجم آب قابل دسترس

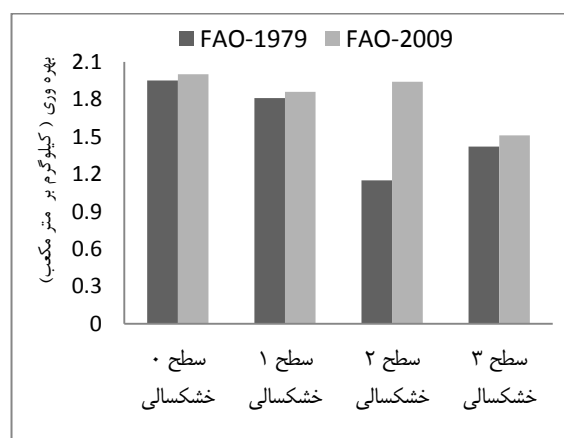
محصولات بجز جو و یونجه کاهش تخصیص را نشان می‌دهد و همچنین در گندم و چغندر قند کاهش سطح را نشان می‌دهد. سطح دو خشکسالی نیز با رسیدن حبابه ۱۲۳ میلیون مترمکعب، محصولات گندم، جو و سبب‌زمینی با کاهش تخصیص و همه‌ی محصولات به غیر از یونجه با کاهش سطح زیر کشت تحت روش قدیم فائو (FAO-1979) روبرو خواهند شد در حالی‌که روش جدید فائو (FAO-2009) همان مقادیر تخصیص سطح یک را برای تمامی محصولات نشان می‌دهد و کاهش سطح زیر کشت گندم به حدود ۳۵ درصد و چغندر قند به ۳۰ درصد را به عنوان راهکار مقابله با خشکسالی ارائه می‌نماید. در نهایت در سطح سوم خشکسالی هر دو روش کاهش سطح زیر کشت و تخصیص کمتر به همراه حذف چند محصول را نشان می‌دهند. این درحالی است که تخصیص توسط روش FAO-2009 نسبت به روش FAO-1979 در کلیه‌ی سطوح خشکسالی افزایش درآمد و بهره‌وری در الگوی کشت منطقه را به همراه داشته است که در شکل ۶ مقادیر آنها در هر سطح خشکسالی ارائه شده است.

جدول ۴- حجم آب دریافتی به هر مصرف‌کننده در سطوح مختلف خشکسالی و اقدامات پیشنهادی بر اساس سناریوی اول و راهکار مدیریتی دوم (میلیون متر مکعب) (WGSMWRA, 2012)

سطح خشکسالی	پتانسیل آورد	نیاز زراعت	نیاز باغات	نیاز دریاچه	نیاز شرب و صنعت	سطح کم آبیاری و تغییر سطح کشت
۰	۱۰۷۰	۲۹۸	۱۰۲	۵۱۲	۱۵۸	کم آبیاری سطح ۱ و بدون تغییر سطح کشت
۱	۹۶۰	۲۰۸	۸۲	۵۱۲	۱۵۸	کم آبیاری سطح ۲ و کاهش سطح زیر کشت
۲	۸۵۰	۱۲۳	۵۷	۵۱۲	۱۵۸	کم آبیاری سطح ۳ و کاهش سطح زیر کشت و حذف صیفی‌جات
۳	۷۴۰	۳۶	۳۴	۵۱۲	۱۵۸	کم آبیاری سطح ۴ و کاهش سطح زیر کشت و حذف صیفی‌جات، سبب زمینی و چین سوم یونجه
۴	۶۴۰	۰	۲۱	۴۶۱	۱۵۸	حذف کامل زراعت



(ب)



(الف)

شکل ۶- مقادیر الف) بهره‌وری و ب) درآمد حاصل از بخش زراعت در هر سطح خشکسالی بر اساس سناریوی اول و راهکار دوم

جدول ۵- مقادیر تخصیص بخش زراعت (میلی متر بر هکتار) و سطح زیر کشت (هکتار) در سطوح مختلف خشکسالی بر اساس سناریوی اول و راهکار دوم

محصول	سطح خشکسالی	۰		۱		۲		۳		سطح زیر کشت و تخصیص
		سطح زیر کشت	تخصیص	سطح زیر کشت	تخصیص	سطح زیر کشت	تخصیص	سطح زیر کشت	تخصیص	
گندم	۱۹۷۹	۲۳۷۶۰	۷۲۰	۱۲۵۶۶	۶۵۸	۷۱۲۸	۴۳۸	۲۳۷۶	۴۳۸	۰
	۲۰۰۹	۲۳۷۶۰	۷۷۲	۲۱۷۲۹	۵۶۰	۸۶۹۳	۵۶۰	۳۵۸۹	۵۶۰	
جو	۱۹۷۹	۱۹۳۵	۴۳۰	۱۹۳۵	۳۴۶	۱۹۳۵	۳۴۶	۶۴۵	۳۴۶	۰
	۲۰۰۹	۱۹۳۵	۱۹۷	۱۹۳۵	۱۹۷	۱۹۳۵	۱۹۷	۶۴۵	۱۹۷	
یونجه چین اول	۱۹۷۹	۴۵۴۶	۴۱۶	۴۵۴۶	۴۱۶	۴۵۴۶	۴۱۶	۱۵۱۵	۴۱۶	۰
یونجه چین دوم	۱۹۷۹	۴۵۴۶	۴۱۶	۴۵۴۶	۴۱۶	۴۵۴۶	۴۱۶	۱۵۱۵	۴۱۶	۰
یونجه چین سوم	۱۹۷۹	۴۵۴۶	۳۴۷	۴۵۴۶	۳۴۷	۴۵۴۶	۳۴۷	۰	۰	۰
چغندر قند	۱۹۷۹	۲۱۶۶	۱۲۸۷	۲۱۶۶	۱۲۸۷	۲۱۶۶	۱۲۸۷	۸۰۰	۱۲۸۷	۰
	۲۰۰۹	۲۱۶۶	۱۲۹۲	۶۴۹	۷۲۲	۶۴۹	۷۲۲	۲۱۶	۷۲۲	
سیب زمینی	۱۹۷۹	۱۰۹۳	۱۶۵۳	۱۰۹۳	۱۶۵۳	۳۲۸	۷۹۶	۰	۰	۰
	۲۰۰۹	۱۰۹۳	۱۱۸۵	۱۰۹۳	۹۹۰	۱۰۹۳	۹۹۰	۰	۰	
گوجه فرنگی	۱۹۷۹	۱۴۴۴	۱۲۲۶	۱۴۴۴	۱۲۲۶	۰	۰	۰	۰	۰
	۲۰۰۹	۱۴۴۴	۱۰۲۰	۱۴۴۴	۸۲۹	۰	۰	۰	۰	

جدول ۶- حجم آب دریافتی به هر مصرف کننده در سطوح مختلف خشکسالی و اقدامات پیشنهادی بر اساس سناریوی دوم و راهکار سوم (میلیون متر مکعب) (WGSMWRA, 2012)

سطح خشکسالی	پتانسیل آورد	نیاز زراعت	نیاز باغات	نیاز دریاچه	نیاز شرب و صنعت	سطح کم آبیاری و تغییر سطح کشت
۰	۱۰۷۰	۲۹۸	۱۰۲	۵۱۲	۱۵۸	کم آبیاری سطح ۱
۱	۹۴۰	۲۴۰	۸۲	۴۶۱	۱۵۸	کم آبیاری سطح ۲ و کاهش سطح زیر کشت
۲	۸۱۰	۱۶۱	۸۲	۴۱۰	۱۵۸	کم آبیاری سطح ۳ و حذف گندم، جو، صیفی جات، سیب زمینی
۳	۶۸۰	۱۰۸	۸۲	۳۳۳	۱۵۸	کم آبیاری سطح ۴ و حذف گندم، جو، چغندر قند، صیفی جات، سیب زمینی، یونجه ۳
۴	۵۶۰	۰	۸۲	۳۳۳	۱۵۸	حذف کامل زراعت

کاهش پیدا کرده است ولی چون محصولات دیگر حذف شده اند، و متناسب با آن هر دو روش افزایش تخصیص و سطح زیر کشت بنابراین آب بیشتری در اختیار محصول یونجه و چغندر قند بوده است این محصولات را نشان می دهند. در این بخش نیز درآمد کل و

آب در بخش کشاورزی، از اطلاعات سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۸۵-۱۳۸۴ تحت دو سناریو و راهکارهای مطرح در بخش قبل استفاده گردید. با توجه نتایج ارائه شده و همچنین برتری روش FAO-2009 در شبیه‌سازی تنش‌های آبی، در این بخش برای ارزیابی تخصیص توسط مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده از روش FAO-2009 استفاده شده است. بدین منظور با توجه به روندنمای ارائه شده در شکل ۲ پس از پیش‌بینی مقادیر آورد رودخانه، طبقه خشکسالی متناظر با آن مشخص می‌شود و با توجه به راهکارهای

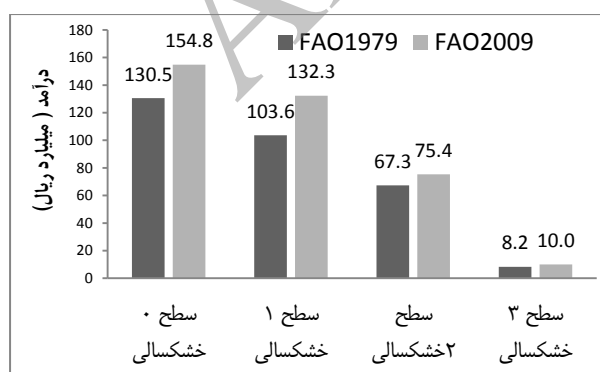
بهره‌وری برای الگوی کشت منطقه توسط روش FAO-2009 از روش دیگر در همه سطوح خشکسالی بیشتر است و تنها در سطح سوم خشکسالی مقدار بهره‌وری دو روش تقریباً یکسان می‌باشد که این امر نشان از برتری روش FAO-2009 می‌باشد (شکل ۷).

### ۳-۵- مقایسه‌ی مقادیر تخصیص بهینه با استفاده از مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی

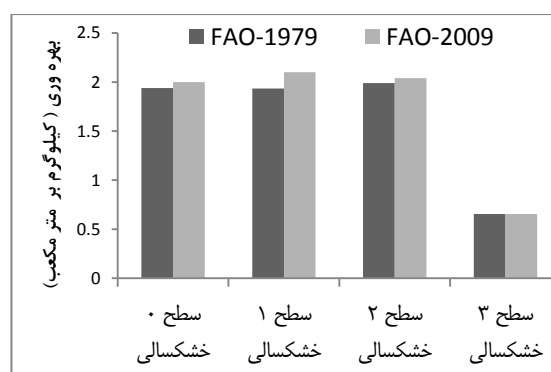
به منظور بررسی و مقایسه‌ی عملکرد مدل در پیش‌بینی تخصیص

جدول ۷- مقادیر تخصیص بخش زراعت (میلی متر بر هکتار) و سطح زیر کشت (هکتار) در سطوح مختلف خشکسالی بر اساس سناریوی دوم و راهکار سوم

محصول	سطح خشکسالی		۰		۱		۲		۳	
	پیش‌بینی	واقعی	تخصیص	سطح زیر کشت	تخصیص	سطح زیر کشت	تخصیص	سطح زیر کشت	تخصیص	سطح زیر کشت
گندم	۱۹۷۹	۲۳۷۶۰	۷۲۰	۲۲۸۶۴	۶۵۸	۲۲۸۶۴	۰	۰	۰	۰
	۲۰۰۹	۲۳۷۶۰	۷۷۲	۲۱۷۲۹	۵۶۰	۲۱۷۲۹	۰	۰	۰	۰
جو	۱۹۷۹	۱۹۳۵	۴۲۰	۱۹۳۵	۳۴۶	۱۹۳۵	۰	۰	۰	۰
	۲۰۰۹	۱۹۳۵	۱۹۷	۱۹۳۵	۱۹۷	۱۹۳۵	۰	۰	۰	۰
یونجه چین اول	۱۹۷۹	۴۵۴۶	۴۱۶	۴۵۴۶	۴۱۶	۴۵۴۶	۸۱۴۶	۴۷۱	۹۰۲۲	۴۸۲
یونجه چین دوم	۱۹۷۹	۴۵۴۶	۴۱۶	۴۵۴۶	۴۱۶	۴۵۴۶	۸۱۴۶	۶۹۲	۹۰۲۲	۷۱۴
یونجه چین سوم	۱۹۷۹	۴۵۴۶	۳۴۷	۴۵۴۶	۳۴۷	۴۵۴۶	۸۱۴۶	۴۷۱	۰	۰
چغندر قند	۱۹۷۹	۲۱۶۶	۱۲۸۷	۲۱۶۶	۱۲۸۷	۲۱۶۶	۲۱۶۶	۱۲۸۷	۰	۰
	۲۰۰۹	۲۱۶۶	۱۲۹۲	۶۴۹	۷۲۲	۲۱۶۶	۲۱۶۶	۱۲۹۲	۰	۰
سیب‌زمینی	۱۹۷۹	۱۰۹۳	۱۶۵۳	۱۰۹۳	۱۶۵۳	۱۰۹۳	۰	۰	۰	۰
	۲۰۰۹	۱۰۹۳	۱۱۸۵	۱۰۹۳	۹۹۰	۱۰۹۳	۰	۰	۰	۰
گوجه‌فرنگی	۱۹۷۹	۱۴۴۴	۱۲۲۶	۱۴۴۴	۱۲۲۶	۱۴۴۴	۰	۰	۰	۰
	۲۰۰۹	۱۴۴۴	۱۰۲۰	۱۴۴۴	۸۲۹	۱۴۴۴	۰	۰	۰	۰



(ب)



(الف)

شکل ۷- مقادیر (الف) بهره‌وری و (ب) درآمد حاصل از بخش زراعت در هر سطح خشکسالی بر اساس سناریوی دوم و راهکار سوم

ارائه شده در هر سطح خشکسالی میزان تخصیص به بخش‌های مختلف مصرف تعیین می‌شود. بر اساس مقادیر تخصیص تعیین شده به بخش کشاورزی با استفاده از روش‌شناسی ارائه شده بر مبنای روش FAO-2009 مقادیر تخصیص بهینه به هر محصول و همچنین نحوه توزیع آن در طول دوره رشد محصول برآورد می‌گردد. لازم به ذکر است در طرح مدیریت ریسک خشکسالی دریاچه ارومیه به عنوان یکی از اصول مدل‌سازی، کاهش حبابه دریاچه در سال‌های خشکسالی شدید امکان پذیر است ولی در سال‌های پرآبی مصرف بخش کشاورزی افزایش برداشت نخواهد داشت تا جبران چنین مواردی باشد و بر حبابه دریاچه افزوده خواهد شد.

به عنوان نمونه نتایج تخصیص توسط مدل پیش‌بینی و مقادیر واقعی در جداول ۸ و ۹ به ترتیب برای سناریوی اول و دوم و بر اساس راهکارهای دوم و سوم نشان داده شده است. مقادیر تخصیص صفر در سال‌های ۷۷ الی ۸۰ که خشکسالی شدید در سطح حوضه به وقوع پیوسته است و مقادیر آورد رودخانه به شدت کاهش پیدا کرده است نشان می‌دهد که مقادیر آورد رودخانه در سطح ۴ خشکسالی قرار گرفته و بر اساس راهکارهای ارائه شده حذف بخش زراعت را به دنبال داشته است.

ارزیابی مقادیر تخصیص پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر واقعی نشان می‌دهد که میزان تخصیص در بیشتر سال‌ها در هر دو مورد برابر و یا در برخی موارد اختلافات جزئی دارد. بنابراین به صورت کلی می‌توان گفت که مدل پیش‌بینی توسط ماشین بردار پشتیبان در حوضه زربینه‌رود توانسته است با دقت قابل قبولی در شرایط خشکسالی به منظور برنامه‌ریزی تخصیص بهینه منابع آب مورد استفاده قرار گیرد. پراکنش مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده رودخانه تحت دو سناریوی اول و دوم در شکل ۸ ارائه شده است که بر اساس آن مقادیر همبستگی برای سناریوی اول و دوم به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹۲۵ و میانگین مربعات خطا (RMSE) برای این دو سناریو به ترتیب برابر ۱۲۶/۲ و ۱۲۹/۸ میلیون متر مکعب می‌باشد که نشان از دقت بالای مدل پیش‌بینی در برآورد مقادیر جریان دارد.

مقادیر تخصیص به دریاچه تحت این سناریوها و بر اساس مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده در شکل ۹ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد در سال‌های ۷۷-۸۰ که یکی از دوره‌های خشکسالی شدید در حوضه اتفاق افتاده است میزان حبابه‌ی دریاچه تحت هر دو سناریو قابل تحقق نمی‌باشد. همچنین در سناریوی اول در بیشتر موارد حبابه‌ی دریاچه به صورت کامل تأمین می‌گردد و این

در حالی است که در سناریوی دوم نیاز زیست محیطی دریاچه در بیشتر موارد امکان تأمین به صورت کامل را ندارد.

بر اساس نتایج این تحقیق با استفاده از بهترین ترکیب متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی پیش‌بینی مقادیر آورد رودخانه صورت می‌گیرد و متعاقب آن با تعیین کلاس قرارگیری خشکسالی بر اساس طرح مدیریت ریسک خشکسالی می‌توان مقادیر تخصیص بهینه و سطوح زیر کشت را برای یک سال آینده تعیین نمود و جهت برنامه‌ریزی در شرایط کمبود آب با راهکارهای مختلف که ترکیبی از کاهش و تغییر الگوی کشت و کم آبیاری است خسارات ناشی از خشکسالی را به حداقل رساند که این امر را از مزایای مدل تلفیقی پیش‌بینی و تخصیص می‌توان برشمرد.

#### ۴- خلاصه و جمع‌بندی

این تحقیق تلاشی بود جهت ارائه یک رویکرد مدیریتی در بخش کشاورزی حوضه زربینه رود به منظور توسعه یک سامانه تصمیم‌یار برای بهره‌برداری بهنگام جهت بهره‌برداری منابع آب موجود (در شرایط نرمال و کم‌آبی) با تأکید بر حفظ حبابه دریاچه ارومیه و توزیع بهینه‌ی آب بین محصولات مختلف. اجزاء اصلی سامانه این مدل پیش‌بینی ماشین بردار پشتیبان و مدل تخصیص گیاهی بود که برای آن هم روش فائو ۱۹۷۹ و هم ۲۰۰۹ مورد استفاده و مقایسه قرار گرفت. با توجه به آنچه آمد، نتایج زیر از این تحقیق قابل ارائه است:

- مدل پیش‌بینی ماشین بردار پشتیبان در هر دو سناریوی خشکسالی با همبستگی بالای ۹۰ درصد و مقادیر خطای (RMSE) قابل قبول میزان آورد را پیش‌بینی می‌نماید که دقت مناسبی ارزیابی می‌شود. ضمن اینکه در این روش بجای اتکای به ارقام مطلق ورودی‌ها به محدوده ارقام نیاز است که این امر با عدم قطعیت ذاتی در پیش‌بینی‌ها بهتر سازگار است.

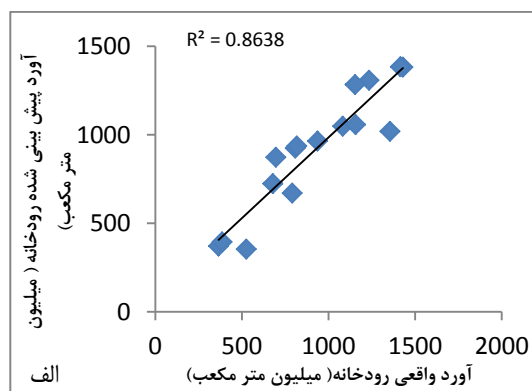
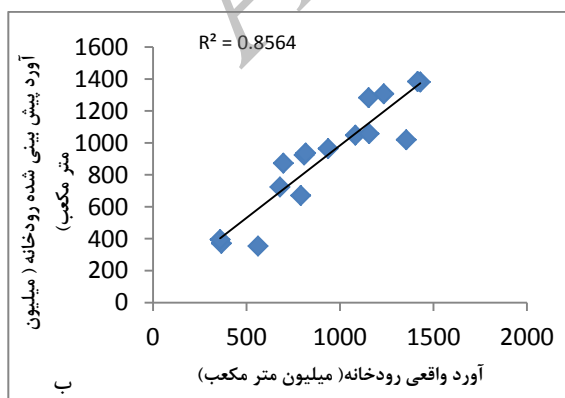
- بمنظور مدیریت بهینه بخش کشاورزی در شرایط خشکسالی با توجه به سطوح مختلفی که در طرح مدیریت ریسک خشکسالی دریاچه ارومیه معرفی گردیده بود، مقادیر تخصیص و سطوح زیر کشت به همراه درآمد حاصل از بخش زراعت در دو سناریو و تحت سه راهکار مدیریتی بر اساس روابط قدیم و جدید فائو تعیین گردید. نتایج نشان داد که در این شرایط روش جدید فائو قادر است هم درآمد کل و هم بهره‌وری بیشتری را برآورد نماید. لذا این روش برای اهداف کاربردی این مطالعه بیشتر قابل توصیه می‌باشد، هرچند برای ارزیابی آن پارهای آزمایشات مزرعه‌ای قابل توصیه می‌باشد.

جدول ۸- مقایسه‌ی مقادیر تخصیص محصولات زراعی بر اساس جریان واقعی و پیش‌بینی شده برای سناریوی اول و راهکار دوم در سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ الی ۸۵-۱۳۸۴ (میلی متر در هکتار)

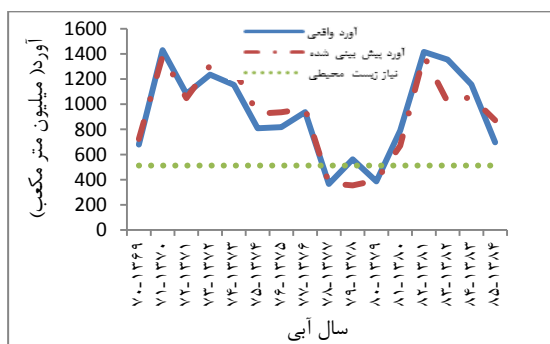
سال آبی	نوع جریان	مقدار آورد (میلیون متر مکعب)	تخصیص دریاچه (میلیون متر مکعب)	گوجه فرنگی	سیب‌زمینی	چغندر قند	یونجه	جو	گندم
۶۹-۷۰	واقعی	۶۷۹/۲	۵۰۰	.	.	.	.	.	.
	پیش‌بینی شده	۷۲۴	۵۵۰	.	.	.	.	.	.
۷۰-۷۱	واقعی	۱۴۲۹/۸	۸۵۰	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
	پیش‌بینی شده	۱۳۸۱/۳	۸۰۲	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۷۱-۷۲	واقعی	۱۰۸۲/۵	۶۰۵	۱۱۱۸	۱۲۸۵	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۳۹۸	۸۲۴
	پیش‌بینی شده	۱۰۴۸/۱	۵۷۱	۱۱۱۸	۱۲۸۵	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۳۹۸	۸۲۴
۷۲-۷۳	واقعی	۱۲۳۴/۷	۶۵۸	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
	پیش‌بینی شده	۱۳۰۷/۴	۷۲۸	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۷۳-۷۴	واقعی	۱۱۵۳/۹	۶۷۶	۱۱۱۸	۱۲۸۵	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۳۹۸	۸۲۴
	پیش‌بینی شده	۱۲۸۳/۵	۷۰۴	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۷۴-۷۵	واقعی	۸۰۸/۳	۵۱۲	۸۲۹	۹۹۰	۷۲۲	۱۲۰۹	۱۹۷	۵۶۰
	پیش‌بینی شده	۹۳۴/۲	۵۱۲	۸۹۶	۱۰۵۸	۱۰۱۷	۱۲۰۹	۱۹۷	۶۳۴
۷۵-۷۶	واقعی	۸۱۷/۲	۵۱۲	۸۲۹	۹۹۰	۷۲۲	۱۲۰۹	۱۹۷	۵۶۰
	پیش‌بینی شده	۹۳۵/۹	۵۱۲	۹۳۲	۱۰۹۵	۱۱۸۰	۱۲۰۹	۱۹۷	۶۷۵
۷۶-۷۷	واقعی	۹۳۷/۱	۵۱۲	۹۳۲	۱۰۹۵	۱۱۸۰	۱۲۰۹	۱۹۷	۶۷۵
	پیش‌بینی شده	۹۶۴/۳	۵۱۲	۹۴۸	۱۱۱۱	۱۲۴۹	۱۲۰۹	۱۹۷	۶۹۲
۷۷-۷۸	واقعی	۳۶۵/۵	۱۸۶	.	.	.	.	.	.
	پیش‌بینی شده	۳۷۰/۸	۱۹۱	.	.	.	.	.	.
۷۸-۷۹	واقعی	۵۲۶/۱	۳۸۲	.	.	.	.	.	.
	پیش‌بینی شده	۳۵۳/۸	۱۷۴	.	.	.	.	.	.
۷۹-۸۰	واقعی	۳۸۵/۹	۲۰۶	.	.	.	.	.	.
	پیش‌بینی شده	۳۹۵	۲۱۶	.	.	.	.	.	.
۸۰-۸۱	واقعی	۷۹۰/۸	۵۱۲	۸۲۹	۹۹۰	۷۲۲	۱۲۰۹	۱۹۷	۵۶۰
	پیش‌بینی شده	۶۷۰/۶	۴۹۱	.	.	.	.	.	.
۸۱-۸۲	واقعی	۱۴۱۵/۸	۷۵۵	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
	پیش‌بینی شده	۱۲۸۳/۹	۷۲۳	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۸۲-۸۳	واقعی	۱۳۵۵/۱	۶۹۵	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
	پیش‌بینی شده	۱۰۱۸/۹	۵۱۲	۱۰۴۴	۱۲۰۹	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۶۲۶	۷۹۹
۸۳-۸۴	واقعی	۱۱۵۶/۵	۵۹۸	۱۱۱۸	۱۲۸۵	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۳۹۸	۸۲۴
	پیش‌بینی شده	۱۰۵۷/۶	۵۱۲	۱۱۵۸	۱۳۲۶	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۴۲۹	۸۲۴
۸۴-۸۵	واقعی	۶۹۷	۵۱۸	.	.	.	.	.	.
	پیش‌بینی شده	۸۷۲/۶	۵۱۲	۸۲۹	۹۹۰	۷۲۲	۱۲۰۹	۱۹۷	۵۶۰

جدول ۹- مقایسه‌ی مقادیر تخصیص محصولات زراعی بر اساس جریان واقعی و پیش‌بینی شده برای سناریوی دوم و راهکار سوم در سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ الی ۸۵-۱۳۸۴ ( میلی‌متر در هکتار )

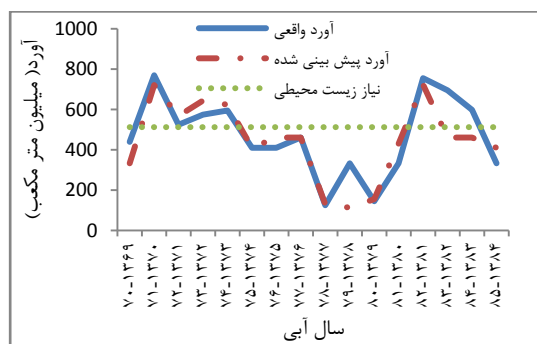
سال آبی	نوع جریان	مقدار آورد (میلیون متر مکعب)	تخصیص دریاچه (میلیون متر مکعب)	گوجه فرنگی	سیب‌زمینی	چغندر قند	یونجه	جو	گندم
۶۹-۷۰	واقعی	۶۷۹/۲	۴۳۹	.	.	.	.	.	.
۶۹-۷۰	پیش‌بینی شده	۷۳۴	۳۳۳	۸۲۹	۹۹۰	۷۳۲	۱۲۰۹	۱۹۷	۵۶۰
۷۰-۷۱	واقعی	۱۴۲۹/۸	۷۶۹	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۷۰-۷۱	پیش‌بینی شده	۱۲۸۱/۳	۷۲۱	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۷۱-۷۲	واقعی	۱۰۸۲/۵	۵۲۴	۱۱۱۸	۱۲۸۵	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۳۹۸	۸۲۴
۷۱-۷۲	پیش‌بینی شده	۱۰۴۸/۱	۵۶۸	۹۵۶	۱۱۱۹	۱۲۸۳	۱۲۰۹	۱۹۷	۷۰۱
۷۲-۷۳	واقعی	۱۲۳۴/۷	۵۷۴	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۷۲-۷۳	پیش‌بینی شده	۱۳۰۷/۴	۶۴۴	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۷۳-۷۴	واقعی	۱۱۵۳/۹	۵۹۵	۱۱۱۸	۱۲۸۵	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۳۹۸	۸۲۴
۷۳-۷۴	پیش‌بینی شده	۱۲۸۳/۵	۶۲۳	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۷۴-۷۵	واقعی	۸۰۸/۳	۴۱۰	۸۲۹	۹۹۰	۷۳۲	۱۲۰۹	۱۹۷	۵۶۰
۷۴-۷۵	پیش‌بینی شده	۹۲۴/۲	۴۱۰	۱۰۹۱	۱۲۵۷	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۳۳۶	۸۲۴
۷۵-۷۶	واقعی	۸۱۷/۲	۴۱۰	۸۲۹	۹۹۰	۷۳۲	۱۲۰۹	۱۹۷	۵۶۰
۷۵-۷۶	پیش‌بینی شده	۹۳۵/۹	۴۶۱	۹۴۰	۱۱۰۳	۱۲۱۴	۱۲۰۹	۱۹۷	۶۸۳
۷۶-۷۷	واقعی	۹۳۷/۱	۴۶۱	۹۴۰	۱۱۰۳	۱۲۱۴	۱۲۰۹	۱۹۷	۶۸۳
۷۶-۷۷	پیش‌بینی شده	۹۶۴/۳	۴۶۱	۱۰۳۴	۱۱۹۹	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۲۰۳	۷۸۸
۷۷-۷۸	واقعی	۳۶۵/۵	۱۲۵	.	.	.	.	.	.
۷۷-۷۸	پیش‌بینی شده	۳۷۰/۸	۱۳۰	.	.	.	.	.	.
۷۸-۷۹	واقعی	۵۶۲/۱	۳۳۳	.	.	.	.	.	.
۷۸-۷۹	پیش‌بینی شده	۳۵۳/۸	۱۱۳	.	.	.	.	.	.
۷۹-۸۰	واقعی	۳۵۸/۹	۱۴۵	.	.	.	.	.	.
۷۹-۸۰	پیش‌بینی شده	۳۹۵	۱۵۵	.	.	.	.	.	.
۸۰-۸۱	واقعی	۷۹۰/۸	۳۳۳	۹۳۳	۱۰۹۵	۱۱۸۵	۱۲۰۹	۱۹۷	۶۷۶
۸۰-۸۱	پیش‌بینی شده	۶۷۰/۶	۴۳۰	.	.	.	.	.	.
۸۱-۸۲	واقعی	۱۴۱۵/۸	۷۵۵	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۸۱-۸۲	پیش‌بینی شده	۱۲۸۳/۹	۷۲۳	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۸۲-۸۳	واقعی	۱۲۵۵/۱	۶۹۵	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۵۶	۶۷۴	۸۲۴
۸۲-۸۳	پیش‌بینی شده	۱۰۱۸/۹	۴۶۱	۱۲۲۳	۱۳۹۲	۱۲۹۲	۱۲۵۳	۶۴۱	۸۲۴
۸۳-۸۴	واقعی	۱۱۵۶/۵	۵۹۸	۱۱۱۸	۱۲۸۵	۱۲۹۲	۱۲۰۹	۳۹۸	۸۲۴
۸۳-۸۴	پیش‌بینی شده	۱۰۵۷/۶	۴۶۱	۱۲۲۹	۱۴۱۲	۱۲۹۲	۱۷۶۵	۶۷۴	۸۲۴
۸۴-۸۵	واقعی	۶۹۷	۳۳۳	۸۳۳	۹۹۰	۷۳۲	۱۲۰۹	۱۹۷	۵۶۰
۸۴-۸۵	پیش‌بینی شده	۸۷۲/۶	۴۱۰	۹۳۳	۱۰۹۶	۱۱۸۵	۱۲۰۹	۱۹۷	۶۷۶



شکل ۸- پراکنش مقادیر آورد مشاهداتی و پیش‌بینی شده رودخانه بر مبنای الف) سناریوی دوم خشکسالی و ب) سناریوی اول خشکسالی



(ب)



(الف)

شکل ۹- تخصیص حقابه دریاچه ارومیه بر اساس مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده بر مبنای الف) سناریوی دوم خشکسالی و ب) سناریوی اول خشکسالی

Misra D, Oommen Th, Agarwal A, Mishra, SK and Thompson AM (2009) Application and analysis of support vector machine based simulation for runoff and sediment yield. *Biosystems Engineering*, 103: 527-535.

Moghaddasi M, Araghinejad S, Morid S (2009) Long-term operation of irrigation dams considering variable demands: case study of Zayandeh-Rud reservoir. *Iran. J. Irrig. Drain. Eng- ASCE*, 136(5): 309-316.

Remesan R, Shamim M.A., Han D (2008) Model data selection using gamma test for daily solar radiation estimation. *Hydrological Processes*, 22: 4301-4309.

Shangguan Z, Shao M, Horton R (2002) A model for regional optimal allocation of irrigation water resources under deficit irrigation and its applications. *J. Agriculture Water Management*, 52: 139-154.

Steduto P, Hsiao TC, Fereres E (2007) On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrig. Sci.*, 25:189-207.

Wardlaw R, Barnes J (1999) Optimal allocation of irrigation water supplies in real time. *Jornal of Irrigation and Drainage Engineering*, 125(6): 345-354.

Working Group on Sustainable Management of Water Resources and Agriculture (WGSWMRA), Regional Council of Lake Urmia Basin Management(2012) Drought risk management plan for lake urmia basin, Tarbiat Modares university and Iranian Conservation of Wetlands Plan, Volume 8 (In Persian).

## ۵- مراجع

Ahmadzade H (2012) Evaluate the efficiency of agricultural water by using SWAT: A Case Study Zarrineh-Rood basin. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University (In Persian)

Asefa T, Kemblowski MW, Mckee M and Khalil A (2006) Multi-time scale stream flow prediction: The support vector machine approach. *Hydrology*, 318:7-16.

Delavar M (2012) Real-time decision making based on risk allocation of water resources in drought condition. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University (In Persian).

Dibike YB, Velickov S, Solomatine D, Abbott MB (2001) Model induction with support vector machines: Introduction and applications. *Journal of omputing in Civil Engineering*, 15 (3): 208-216.

Doorenbos J and Kassam AH(1977) Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33*.

Iglesias A, Cancelliere A, Gabina D, Lopez-Francos A, Moneo M, Rossi G (2007) Drought Management Guidelines, European Commission - EuropeAid Co-operation Office Euro-Mediterranean Regional Programme for Local Water Management (MEDAWater) Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning (MEDROPLAN).

Lin PH, Kwon HH, Sun L, Lall U and Kao JJ (2009) A modified support vector machine based prediction model on stream flow at the Shihmen reservoir. *Climatology*, 30 :1256-1268.