

## Uncertainty Analysis of Pressurized Irrigation Impact on Urmia Lake Basin Outflow, Case Study: Zarrinehroud Basin, Iran

Z. Toloei<sup>1</sup>, M. Delavar<sup>2\*</sup>, S. Morid<sup>3</sup>  
and H. Ahmadzadeh<sup>4</sup>

### Abstract

Pressurized irrigation is one of the proposed plans to resolve the Urmia lake crisis. The effects of such plan can be assessed using the hydrological simulation. But different agricultural management approaches and uncertainty in the model inputs lead to complexity in the basin modeling which in turn increases the uncertainty of model outputs. The main purpose of this study is to determine the effect of the pressurized irrigation on Zarrinehroud basin as the largest sub-basin of the Urmia Lake basin. For this purpose, by determining the probable scenarios of water demand, the impact of these scenarios on the basin hydrological components were simulated with SWAT model. Then by combining the results of the scenarios, the uncertainty bounds of the hydrological components were estimated using Bayesian model averaging (BMA). The results showed that the annual average of upper and lower bound of the basin outflow will be 1391 and 1316 MCM. Also irrigation efficiency in the field scale and in the basin scale varied between 40-47 and 78-81 percent, respectively. In case the pressurized irrigation is applied, the annual average of upper and lower bound of the basin outflow will be 1322 and 1364 MCM which did not show a significant change compared to the current conditions.

**Keywords:** Uncertainty analysis, Irrigation efficiency, BMA, Zarrinehroud Basin, SWAT Model

Received: October 18, 2014

Accepted: May 11, 2014

## تحلیل عدم قطعیت تاثیر سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر جریان خروجی از حوضه دریاچه ارومیه، مطالعه موردی: حوضه زرینه‌رود

ظاهر طلوعی<sup>۱</sup>، مجید دلاور<sup>۲\*</sup>، سعید مرید<sup>۳</sup> و حجت احمدزاده<sup>۴</sup>

### چکیده

یکی از راهکارهای مطرح برای حل بحران دریاچه ارومیه اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار در حوضه می‌باشد که به منظور بررسی تاثیرات آن، می‌توان از شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی استفاده کرد. اما وجود مدیریت‌های مختلف کشاورزی، پارامترهای متنوع هیدرولوژیکی و عدم قطعیت موجود در آنها باعث وجود شرایط پیچیده در شبیه‌سازی شده که این امر عدم قطعیت خروجی‌های مدل را افزایش می‌دهد. هدف این تحقیق تعیین سناریوهای محتمل نیاز ناخالص آبیاری در منطقه، اعمال آنها در مدل SWAT و تخمین بازه تغییرات مؤلفه‌های هیدرولوژیکی تاثیرپذیر از آبیاری با استفاده از روش BMA می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد، با ثابت ماندن روش‌های آبیاری موجود در حوضه میانگین حد بالایی و پایینی باند عدم قطعیت جریان خروجی از حوضه برابر با ۱۳۹۱ و ۱۳۱۶ میلیون مترمکعب خواهد بود. همچنین مقدار راندمان در مقیاس مزرعه‌ای دارای بازه تغییرات ۴۰-۴۷ و راندمان در مقیاس حوضه‌ای دارای بازه تغییرات ۷۸-۸۱ می‌باشد. در صورت اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار مقدار حجم خروجی از حوضه از ۱۳۲۲ تا ۱۳۶۴ میلیون متر مکعب متغیر خواهد بود.

**کلمات کلیدی:** تحلیل عدم قطعیت، راندمان آبیاری، میانگین‌گیری بی‌زی، حوضه زرینه‌رود، مدل SWAT.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۷/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۲۱

1- MSc. Graduate, Water Resources Engineering Department, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor of Water Resources Engineering Department, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: m\_delavar@modares.ac.ir

3- Professor of Water Resources Engineering Department, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

4- Water Resources Engineering Department, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

\*- Corresponding Author

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- استادیار، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- استاد، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۴- گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه به عنوان یکی از زیستگاه‌های مهم کشور در زمره مناطق حفاظت شده زیست‌کره انتخاب شده و تأثیر زیادی بر تعدیل آب و هوایی و مطلوبیت زندگی در منطقه شمال غرب کشور دارد. این دریاچه در سال‌های اخیر با کاهش شدید ورودی و خشکی گسترده مواجه شده که نگرانی‌هایی را در سطح ملی و بین‌المللی به همراه داشته است. در این راستا، از مهمترین راه‌کارهایی که برای جبران کمبود آب و احیای دریاچه در نظر گرفته شده، طرح انتقال بین حوضه‌ای و توسعه سیستم‌های تحت فشار آبیاری است. طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای بدلیل محدودیت‌های مالی و تبعات سیاسی-اجتماعی حوضه مبدأ زمان‌بر به نظر می‌رسند، از اینرو توسعه سیستم‌های تحت فشار در اولویت قرار گرفته است. اما سوالی که بطور دقیق مورد توجه قرار نگرفته، این است که این طرح‌ها تا چه حد می‌توانند باعث افزایش ورودی‌ها به دریاچه شوند؟

اجرائی کردن این طرح‌ها نیازمند صرف هزینه و وقت زیادی می‌باشد و در صورت عدم کارایی لازم دریاچه ارومیه را دچار بحران جدی می‌کند. از این‌رو اطمینان از کارایی سیستم‌های آبیاری در نظر گرفته شده برای این منظور ضروری بوده و می‌تواند مسئولان را در تصمیم‌گیری درست برای حل مشکل دریاچه یاری رساند. برای پاسخ به میزان اثرگذاری این سیستم‌ها به دریاچه، مدل‌سازی خاصی نیاز خواهد بود. در این خصوص استفاده از مدل‌های مفهومی مانند SWAT گزینه‌های مناسبی هستند که (Arabi et al., 2007) و احمدزاده (۱۳۹۱) کارهای مشابهی را با آن برای مدیریت بخش کشاورزی انجام داده‌اند. در این مدل‌ها با توجه به در نظر گرفتن طیف وسیعی از فرآیندهای هیدرولوژیکی و دخالت پارامترها و داده‌های غیرقطعی، نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته نیز دارای عدم قطعیت می‌باشند (Abbaspour et al., 2007). این امر سبب کاهش اطمینان‌پذیری به نتایج مدل شده و تحلیل عدم قطعیت آنها را به یکی از موارد ضروری در شبیه‌سازی تبدیل کرده است (Yang et al., 2007).

در یک دسته‌بندی کلی منابع عدم قطعیت در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی را می‌توان به ۳ بخش عدم قطعیت در داده‌های ورودی، پارامترهای موجود در مدل‌سازی و فرآیندهای شبیه‌سازی در مدل تقسیم‌بندی کرد (Abbaspour, 2012). برخی از این منابع عدم قطعیت در مدل SWAT اهمیت بیشتری داشته و توجه برخی از محققان را به خود جلب کرده است. از آن جمله می‌توان به عدم قطعیت پارامترهای مدل و داده‌های ورودی به آن اشاره کرد. عدم

قطعیت پارامترهای مدل توسط برخی از محققان مانند (Vrugt, 2003)، (Yang, 2008)، (Tang, 2012) و (Abbaspour, 2004, 2007) مورد توجه قرار گرفته است. هر یک از این محققان از الگوریتم‌های متنوعی برای بیان تأثیر عدم قطعیت پارامترهای مدل بر خروجی از حوضه استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به الگوریتم‌های MCMC<sup>۱</sup>، GLUE<sup>۲</sup> و SUFI-2<sup>۳</sup> اشاره کرد. تحلیل عدم قطعیت توسط این الگوریتم‌ها در جریان فرآیند واسنجی و صحت‌سنجی پارامترهای مدل صورت گرفته و با انتخاب عددهای تصادفی فراوان از بازه در نظر گرفته شده برای پارامترهای مدل و شبیه‌سازی با استفاده از آنها، تأثیر آن را بر خروجی از حوضه نشان می‌دهد. اما در برخی از موارد که انتخاب نمونه‌های تصادفی ورودی به مدل محدود بوده و امکان شبیه‌سازی‌های فراوان وجود ندارد، می‌توان از روش‌های تلفیق کننده نتایج حاصل از اجرای سناریوهای مختلف برای تعیین بازه عدم قطعیت استفاده کرد (Raftery et al., 2003). یکی از متداول‌ترین این روش‌ها، روش میانگین‌گیری بیزی (BMA)<sup>۴</sup> می‌باشد. این روش برای اولین بار توسط Raftery et al. (2003) جهت تعیین عدم قطعیت فشار در سطح دریا به کار رفت. استفاده از این روش برای تعیین عدم قطعیت مدل‌های بارش رواناب از سال ۲۰۰۶ توسط Ajami و همکاران انجام شد. آنها در این مطالعه نشان دادند که استفاده ترکیبی از خروجی‌های مدل هیدرولوژیکی می‌تواند عملکرد بهتری نسبت به استفاده از یک مدل تنها داشته باشد. (Strauch et al., 2012) نیز با استفاده از مدل SWAT تأثیر عدم قطعیت ناشی از داده‌های بارندگی بر خروجی از حوضه را بررسی کرده و با استفاده از روش BMA و ترکیب خروجی‌های مدل، تخمین‌های عدم قطعیت قابل اطمینان‌تری برای جریان خروجی از حوضه را ارائه کردند. همچنین Hemri (2012) نیز برای تعیین بازه عدم قطعیت رواناب تولید شده در رودخانه آلپ، از این روش و توابع توزیع نرمال و گامای معکوس استفاده کرد.

در این مطالعه تلاش شده است ضمن بررسی تأثیر بکارگیری سیستم‌های تحت فشار بر خروجی از حوضه و راندمان‌های آبیاری در مقیاس مزرعه‌ای و حوضه‌ای، تأثیر عدم قطعیت ناشی از برآورد نیاز ناخالص آبیاری نیز مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور حوضه رودخانه زربینه‌رود که مهمترین ورودی دریاچه می‌باشد، به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد و برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های مختلف بیلان، مقدار آب برگشتی و برآورد راندمان حوضه‌ای از مدل SWAT استفاده گردید. سپس با تعریف سناریوهای محتمل تعیین نیاز ناخالص آبیاری تعیین شده و با اعمال آنها در مدل، خروجی‌های هر یک از این سناریوها با هم مقایسه و با ترکیب نتایج به دست

آمده از سناریوهای مختلف با استفاده از روش BMA، دامنه عدم قطعیت دبی خروجی از حوضه و راندمان آبیاری تعیین می‌گردد.

## ۲- روش تحقیق

### ۱-۲ منطقه مطالعاتی

زیرحوضه زرینه‌رود، بزرگترین زیرحوضه درجه ۲ حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. وسعت این حوضه بالغ بر ۱۲۰۲۵ کیلومتر مربع بوده و رودخانه اصلی آن دارای طول ۳۰۰ کیلومتر می‌باشد. سد زرینه‌رود با حجم مفید ۶۵۴ میلیون متر مکعب، تنها سد اصلی مورد بهره‌برداری در این حوضه بوده و از آن برای مصارف کشاورزی و شرب استفاده می‌گردد. پتانسیل منابع آب این حوضه حدود ۲/۶ میلیارد مترمکعب در سال است که حدود ۱۴۶۰ میلیون مترمکعب آن برای تامین حقایق زیست‌محیطی دریاچه ارومیه در نظر گرفته شده است (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۹). موقعیت جغرافیایی این منطقه در شکل ۱ آمده است.

در این مطالعه برای شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی در مدل SWAT و با توجه به موقعیت شبکه ایستگاه‌های هیدرومتری و سد زرینه‌رود، حوضه به ۱۱ زیرحوضه تقسیم گردید. سپس با توجه به نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و شیب، حوضه آبریز به ۹۰۸ واحدهای همگن هیدرولوژیکی (HRU) به منظور اعمال الگوی کشت و مدیریت زراعی در منطقه تقسیم گردید که خصوصیات هیدرولوژیکی آنها با هم یکسان است. برای این تحقیق داده‌های ۶ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک که نزدیکترین فاصله را با منطقه مورد مطالعه داشتند، جهت شبیه‌سازی‌های مورد نظر طی دوره ۱۹۸۷ لغایت ۲۰۰۷

استفاده گردید. الگوی کشت محصولات به کار رفته در این مطالعه شامل گندم، جو، یونجه، چغندر، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی می‌باشد که الگوی غالب کشت در منطقه هستند. مساحت کل اراضی کشت شده ۷۴۵۸۴ هکتار می‌باشد که ۶ درصد کل اراضی حوضه را شامل می‌شود (احمدزاده، ۱۳۹۱).

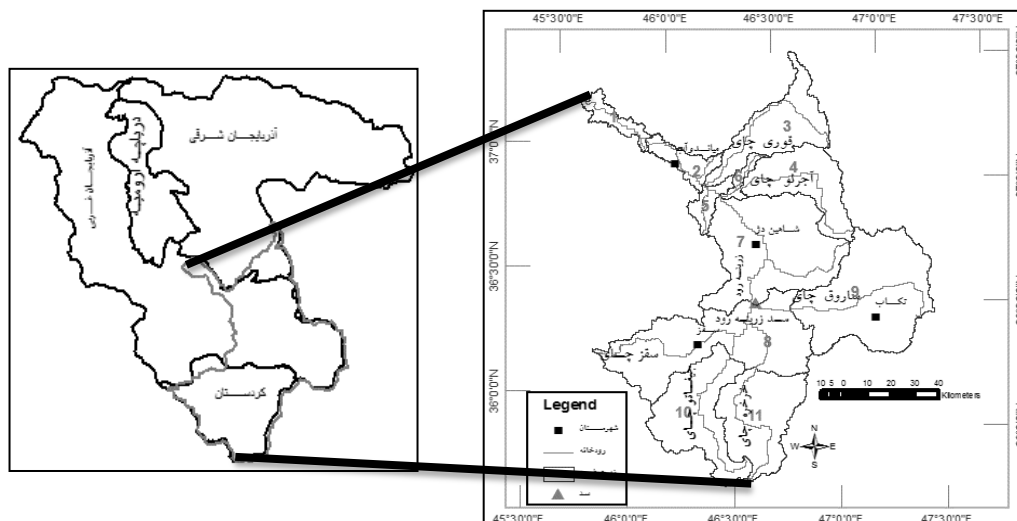
### ۲-۲ راندمان مصرف آب در مقیاس مزرعه ای و حوضه ای

جهت ارزیابی کارایی سیستم‌های آبیاری می‌توان از شاخص‌های متعددی استفاده کرد که با توجه به هدف این مطالعه از دو شاخص راندمان در مقیاس مزرعه (رابطه ۱) و حوضه (رابطه ۲) استفاده گردید. تفاوت این شاخص‌ها در کاربرد مؤلفه‌های بیلان آب در مزرعه و همچنین تعیین تلفات آبیاری می‌باشد.

راندمان در مقیاس مزرعه‌ای برابر با مقدار آب مفید مورد استفاده گیاه بر مقدار کل آب داده شده به آن مطابق (رابطه ۱) می‌باشد:

$$IE = \frac{\sum_i^c \sum_j^n (ETa_{i,j} - P_{eff,i,j}) \times A_{i,j}}{\sum_i^c \sum_j^n IRRI_{i,j} \times A_{i,j}} \quad (1)$$

در این رابطه Eta برابر با مقدار تبخیر و تعرق واقعی محصولات کشت شده در دوره کشت محصول، مقدار بارش موثر، *IRRI* مقدار آب اختصاص داده شده از منبع آبیاری، *A* مساحت، *c* تعداد محصولات کشت شده می‌باشد. یادآوری می‌گردد که واحد جغرافیایی فوق متناسب با روش‌شناسی SWAT، HRU می‌باشد که قابلیت شبیه‌سازی در مقیاس مزرعه‌ای را دارد. در رابطه (۱) *i* برابر با تعداد



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

واحدهای جغرافیایی خواهد بود. جهت محاسبه راندمان در مقیاس حوضه‌ای نیز از رابطه راندمان فیزیکی مؤثر استفاده گردید (رابطه ۲).

$$EIE = \frac{\sum_i \sum_j^n (ETa_{i,j} - P_{eff\ i,j}) \times A_{i,j}}{\sum_i \sum_j^n (IRRI_{i,j} - R.F_{i,j}) \times A_{i,j}} \quad (2)$$

که در آن R.F میزان آب برگشتی از مزرعه می‌باشد و عملاً وجه تمایز مفهومی بین دو راندمان فوق می‌باشد. آب برگشتی طبق تعریف Cai و همکاران (۲۰۰۱) برابر با مقدار آبی است که پس از آبیاری دوباره می‌توان از آن در پایین‌دست حوضه استفاده کرد. برای این منظور و با در نظر گرفتن مؤلفه‌های موجود در مدل SWAT، نفوذ عمقی (Percolation) و رواناب سطحی (Surface Generated) آن را تعریف می‌نمایند.

### ۳-۲- روش میانگین‌گیری مدل بیزی (BMA)

روش میانگین‌گیری بیزی از جمله روش‌های ترکیبی به منظور تلفیق نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های مختلف و تحلیل عدم قطعیت مدل‌ها محسوب می‌گردد. در این روش مقادیر مورد نیاز جهت تخمین باند عدم قطعیت، از طریق متوسط‌گیری وزنی مقادیر شبیه‌سازی‌ها محاسبه می‌شوند. وزن هر یک از این شبیه‌سازی‌ها بستگی به میزان همبستگی آنها با داده‌های مشاهداتی دارند که توسط احتمالات پسین هر مدل اندازه‌گیری می‌شوند. اگر فرض شود که  $f_1, f_2, \dots, f_k$  مدل‌های شبیه‌سازی موجود (سناریوهای شبیه‌سازی‌شده) باشند و تابع توزیع هر کدام از آنها به صورت  $g_k(y|f_k)$  باشد، آنگاه مدل پیش‌بینی کننده BMA مطابق رابطه (۳) تعریف می‌گردد:

$$P(y|f_1, \dots, f_k) = \sum_{k=1}^k w_k g_k(y|f_k) \quad (3)$$

در این رابطه،  $w_k$  احتمال انتخاب شبیه‌سازی  $k$  به عنوان بهترین شبیه‌سازی می‌باشد که بر اساس عملکرد شبیه‌سازی  $k$ ام تعیین می‌گردد. این مقادیر خاصیت احتمالی دارند، به طوری که هر یک از آنها غیرمنفی بوده و مجموع تمامی آنها برابر با ۱ می‌باشد ( $\sum_{k=1}^k w_k = 1$ ).

در صورتی که توزیع داده‌ها نرمال باشند،  $g_k(y|f_k)$  دارای میانگین  $a_k + b_k f_k$  و واریانس  $\theta^2$  خواهد بود و توسط رابطه (۴) برآورد می‌گردد:

$$g_k(y|f_k) \sim N(a_k + b_k f_k, \theta^2) \quad (4)$$

برای تخمین  $a_k$  و  $b_k$  از همبستگی خطی بین داده‌های آموزش-دهنده (مشاهداتی) و سری زمانی شبیه‌سازی شده استفاده می‌گردد.

تخمین مقادیر  $\theta_k^2$  و  $w_k$  نیز از طریق حداکثرسازی تابع درستنمایی مربوط به دست می‌آید. لگاریتم تابع درستنمایی برای رابطه (۳) رابطه (۵) زیر را نتیجه می‌دهد:

$$l(W_1, \dots, W_k, \sigma^2) = \sum_t \log(\sum_{k=1}^k w_k g_k(y_t | f_{kt})) \quad (5)$$

برای بیشینه کردن مقدار این تابع درستنمایی از الگوریتم EM<sup>y</sup> استفاده می‌شود. در این الگوریتم از مقاداری به نام Z استفاده می‌شود (رابطه ۶):

$$Z_{k,t} = \frac{w_k g(y_t | f_{k,t}, \theta^{(j-1)})}{\sum_{i=1}^k w_i g(y_t | f_{i,t}, \theta^{(j-1)})} \quad (6)$$

الگوریتم EM با استفاده از روش آزمون و خطا بین دو مرحله E (برآورد امید ریاضی) و M (حداکثر کردن تابع) مقادیر پارامترها را تعیین می‌کند. در مرحله E مقدار Z برای هر مدل و در سری زمانی تعیین و در مرحله M نیز مقادیر پارامترهای  $w_k$  و  $\sigma^2$  با استفاده از مقدار Z مرحله قبلی تخمین زده می‌شوند. مقدار Z برای هر مدل شبیه‌سازی شده و در هر زمان به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌گردد. همچنین تخمین مقادیر پارامترها با استفاده از مرحله قبلی ( $Z_{(j-1)}$ ) به صورت زیر می‌باشد:

$$W_k^{(j)} = \frac{1}{n} \sum_t Z_{k,t}^{(j)} \quad (7)$$

$$\theta^{2(j)} = \frac{1}{n} \sum_t \sum_{k=1}^k Z_{k,t}^{(j)} (y_t - f_{kt})^2 \quad (8)$$

به طور کلی در این روش ابتدا پارامترها ( $\theta_k^2$ ) و وزن هر یک از شبیه‌سازی‌ها ( $w_k$ ) تعیین می‌گردد. سپس با توجه به معادله ۳، مدل پیش‌بینی کننده ترکیبی و باند عدم قطعیت آن در هر سطح اطمینان مورد نظر تعیین می‌گردد. باند عدم قطعیت مدل ترکیبی بر مبنای نمونه‌گیری تصادفی از توابع توزیع احتمال هر شبیه‌سازی و با توجه به احتمال انتخاب آن شبیه‌سازی (وزن شبیه‌سازی) تعیین می‌گردد. به منظور توصیف عدم قطعیت مدل ترکیبی می‌توان از شاخص‌هایی مانند d-factor استفاده کرد. شاخص d-factor برابر نسبت متوسط بازه عدم قطعیت به انحراف معیار داده‌های مدل میانگین در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد که رابطه مستقیمی با ضخامت باند عدم قطعیت دارد (Abbaspour et al., 2004). محاسبات این قسمت توسط بسته Ensemble BMA در نرم‌افزار R انجام شده است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- آماده‌سازی مدل SWAT

همانطور که ذکر شد، به منظور شبیه‌سازی جامع مولفه‌های هیدرولوژیکی حوضه آبریز از مدل SWAT استفاده گردید. بدین

منظور پس از معرفی نقشه‌های DEM، خاک و کاربری اراضی منطقه، داده‌های هواشناسی، نحوه مدیریت زراعی و همچنین پارامترهای مورد نیاز در بخش‌های مختلف اعم از آب زیرزمینی، مخزن، برف و غیره در مدل اعمال گردیدند. سپس به منظور اطمینان از نتایج خروجی مدل، واسنجی و صحت‌سنجی آن در یک فرایند چند مرحله و با استفاده از داده‌های دبی، تبخیر و تعرق، عملکرد متوسط محصولات، تراز آب زیرزمینی و اطلاعات مربوط به راندمان آبیاری در منطقه انجام گردید. برای این منظور ابتدا با استفاده از آمار ماهانه ۶ ایستگاه هیدرومتری و الگوریتم SUFI-2 نرم‌افزار SWAT-CUP، واسنجی پارامترهای مربوط به دبی خروجی از حوضه صورت گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

همچنین در مرحله بعد سعی گردید علاوه بر واسنجی و صحت-سنجی دبی خروجی از حوضه، به ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی سایر خروجی‌های مدل پرداخته شد. در این راستا با مقایسه خروجی‌ها با داده‌های مشاهداتی یا گزارش شده مربوط به عملکرد متوسط محصولات کشاورزی، تراز آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق واقعی و دبی پایه رودخانه؛ واسنجی مدل بطور جامعی به انجام رسید. این امر با توجه به تاکید مطالعه به محاسبه راندمان آبیاری در مقاس حوضه ای و وجود مؤلفه‌های مختلف در آن از اهمیت زیادی برخوردار است. تحلیل عدم قطعیت و رفتار مدل در شرایط حدی (حذف کامل آبیاری) نیز از جمله مواردی بود که در آماده‌سازی مدل مورد توجه قرار گرفت. با توجه به حجم زیاد مطالب در خصوص نتایج واسنجی-های صورت گرفته در زمینه هر کدام از این مؤلفه‌ها، در این مقاله تنها به بخش‌های در نظر گرفته شده برای واسنجی و آماده سازی مدل اکتفا گردید و اطلاعات بیشتر در خصوص نتایج و نحوه واسنجی و صحت سنجی مدل در مرجع طلوعی (۱۳۹۲) قابل دسترس می‌باشد.

### ۳-۲- اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار در مدل SWAT

برای اعمال روش‌های آبیاری تحت فشار در منطقه با توجه به نتایج تحقیق احمدزاده (۱۳۹۱) از ترکیبی از سیستم‌های آبیاری بارانی، قطره‌ای و روش‌های سطحی استفاده گردید که مشخصات آن برای محصولات و زیرحوضه‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است.

یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های موجود در بین سیستم‌های مختلف آبیاری که بر مقدار عمق آن تأثیر مستقیم دارد، مؤلفه‌های در نظر گرفته‌شده برای تلفات و مجموع کل آنها می‌باشد. به طور کلی مؤلفه‌های در نظر گرفته شده برای تلفات آبیاری سطحی در این تحقیق شامل: تبخیر از مخزن سد، تبخیر از کانال‌ها در حین انتقال از سد به اراضی کشاورزی، نفوذ عمقی و رواناب سطحی می‌باشند. اما در سیستم‌های تحت فشار بارانی و قطره‌ای، این تلفات شامل تلفات انتقال آب، تلفات تبخیر از مخزن سد و تلفات بادبردگی و تبخیر از پوشش گیاهی می‌باشند. برخلاف آبیاری سطحی مقدار تلفات مربوط به نفوذ عمقی و رواناب سطحی در این سناریو ناچیز بوده و عمده تلفات آن مربوط به بادبردگی قطرات آب و انتقال می‌باشد (رحیم زادگان، ۱۳۷۵).

در این بخش نیز همانند حالت وضع موجود سیستم‌های آبیاری، مقدار عمق آبیاری مربوط به نیاز خالص و نفوذ عمقی از طریق بخش Management بطور مستقیم به مدل معرفی گردید. ولی تلفات مربوط به انتقال آب و تبخیر از سد و تلفات پاشیدگی آب در مزرعه محاسبه شده و به صورت خروجی تبخیر از سد به مدل اعمال شد.

جدول ۱- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل در ایستگاه‌ها و دوره آماری

شماره ایستگاه	رودخانه	ایستگاه	واسنجی			اعتبارسنجی		
			دوره آماری	R <sup>2</sup>	NS	دوره آماری	R <sup>2</sup>	NS
۱	جیغاتوچای	پل انیان	۱۹۸۷-۱۹۹۹	۰/۷	۰/۵	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۰/۷۷	۰/۶۹
۲	خرخره چای	سنته	۱۹۸۸-۱۹۹۹	۰/۶۳	۰/۶۱	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۰/۷۲	۰/۶۶
۳	ساروق چای	صفاخانه	۱۹۸۷-۱۹۹۹	۰/۶۱	۰/۵۳	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۰/۵۴	۰/۵
۴	زربینه رود	ورودی به سد	۱۹۸۷-۱۹۹۹	۰/۷۱	۰/۶۹	۲۰۰۰-۲۰۰۶	۰/۶۶	۰/۶
۵	آجرلوچای	چوبلوچه	۱۹۸۷-۱۹۹۷	۰/۴۹	۰/۵۴	۱۹۹۸-۲۰۰۲	۰/۶۵	۰/۴۷
۶	زربینه رود	نظام آباد	۱۹۹۳-۲۰۰۱	۰/۷۱	۰/۶۹	۲۰۰۱-۲۰۰۶	۰/۵۵	۰/۵۳

جدول ۲- سیستم‌های آبیاری مورد استفاده در سناریوی آبیاری تحت فشار (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۱)

سیب	یونجه	چغندرقد	گوجه	سیب‌زمینی	جو	گندم	محصول زیرحوضه
قطره‌ای	سطحی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	بارانی	۱
قطره‌ای	سطحی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	بارانی	۲
سطحی	سطحی	بارانی	قطره‌ای	-	بارانی	بارانی	۳
سطحی	سطحی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	بارانی	۴
سطحی	سطحی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	بارانی	۵
قطره‌ای	سطحی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	بارانی	۶
سطحی	سطحی و بارانی	بارانی	قطره‌ای	قطره‌ای	بارانی	بارانی	۷
-	سطحی	سطحی	سطحی	سطحی	بارانی	بارانی	۸
سطحی	سطحی	-	-	سطحی	بارانی	بارانی	۹
-	سطحی	-	سطحی	سطحی	-	بارانی	۱۰
-	سطحی	-	سطحی	سطحی	بارانی	بارانی	۱۱

بود که برای نیاز خالص آبیاری در سناریوی ۲ استفاده گردید. وی عمق آب مورد نیاز برای تولید حداکثر عملکرد محصولات را بر اساس بهینه‌سازی توزیع آب در دوره رشد گیاهان و با توجه به توابع عملکرد استخراج شده از رابطه فائو (۱۹۷۹) به دست آورده است. بر این اساس نیاز خالص محصولات اصلی در منطقه مطالعاتی مطابق ارقام جدول ۵ می‌باشد.

### ۳-۴- بررسی مولفه‌های بیلان آبی تاثیر پذیر از آبیاری در اثر اعمال سناریوهای مختلف

با توجه به روش شناسی تحقیق، برای این قسمت مقادیر عمق ناخالص آبیاری محصولات براساس سناریوهای مختلف به مدل SWAT معرفی شد. این مقادیر حجم کل آبیاری و دیگر مؤلفه‌های تاثیرپذیر از آبیاری را نیز تغییر می‌دهد. جدول ۶ نتایج اجراهای مدل و دامنه تغییرات و میانگین مقادیر هر یک از این مؤلفه‌ها را پس از

جدول ۳- سناریوهای تعیین عمق ناخالص آبیاری در حالت سیستم‌های آبیاری موجود

سناریو	منبع نیاز خالص آبیاری		راندمن کاربرد آب مزرعه (%)
	مقادیر	منبع	
سناریوی پایه	سند ملی آب	۰/۴۰	احمدزاده، ۱۳۹۰
سناریو ۱	سند ملی آب	۰/۴۲	وطن‌خواه، ۱۳۹۰
سناریو ۲	عباسی و همکاران، ۱۳۹۱	۰/۴۲	وطن‌خواه، ۱۳۹۰
سناریو ۳	سند ملی آب	۰/۴۵	وطن‌خواه، ۱۳۹۰
سناریو ۴	سند ملی آب	۰/۳۸	نظرات کارشناسی

### ۳-۳- شبیه‌سازی حوضه آبریز تحت سناریوهای تعیین عمق ناخالص آبیاری

در مدل SWAT عمق ناخالص آبیاری محصولات با توجه به راندمن کاربرد آب در مزرعه، (۲ راندمن انتقال آب و ۳ نیاز خالص محصولات تعیین می‌گردد که هرکدام از این عوامل عدم قطعیت خاص خود را دارا می‌باشند. در مطالعه حاضر این عوامل مورد توجه قرار گرفته و به صورت ۵ سناریو تعیین نیاز ناخالص آبیاری در شرایط وضع موجود و اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار مشخص گردید.

مشخصات هرکدام از این سناریوها در جداول ۳ و ۴ آمده است. مقادیر راندمن در این سناریوها با توجه به مطالعات صورت گرفته در منطقه (وطن‌خواه، ۱۳۹۰) و مکاتبات انجام شده با کارشناسان آب منطقه‌ای و وزارت جهاد کشاورزی انتخاب گردید. ملاحظه می‌گردد که بر اساس مراجع مختلف محدوده راندمن کل سیستم‌های آبیاری در حالت وضع موجود، بین ۰/۳۲ تا ۰/۳۸ و در حالت اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار بین ۵۷ تا ۶۵ درصد برای آبیاری بارانی و ۷۵ تا ۸۲ درصد برای آبیاری قطره‌ای می‌باشد. لازم به ذکر است در این مطالعه راندمن انتقال آب ثابت و برابر با ۸۶ درصد در نظر گرفته شده است.

یکی از منابع موجود برای تعیین مقدار نیاز خالص آبیاری سند ملی آب (۱۳۸۱) می‌باشد. این سند برای گیاهان گوناگون زراعی در کلیه نقاط کشور تهیه شده است و در بسیاری از طرح‌های آبیاری نیز از آن استفاده می‌شود (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶). منبع دیگر عباسی (۱۳۹۲)

#### جدول ۴- سناریوهای تعیین عمق ناخالص آبیاری سناریوی آبیاری تحت فشار

سناریو	منبع استخراج نیاز خالص آبیاری	
	راندمان کاربرد آب در مزرعه (%)	آبیاری بارانی
سناریو صفر	۷۳	۹۱
سناریو ۱	۷۰	۹۲
سناریو ۲	۷۰	۹۰
سناریو ۳	۶۶	۸۶
سناریو ۴	۷۶	۹۳

(به میزان ۱۶۰ میلیون مترمکعب) و همچنین افزایش تبخیر و تفرق واقعی به میزان حدود ۱۲ میلیون مترمکعب، مقدار حجم خروجی از حوضه تقریباً یکسان باقی مانده و تغییر معنی داری در آن ایجاد نمی‌گردد. به عبارت دیگر کاهش آب برداشتی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در حوضه نمی‌تواند ملاکی جهت صرفه جویی آب در مقیاس حوضه آبریز و همچنین افزایش جریان خروجی از حوضه تلقی گردد. این امر با نتایج حاصل از مطالعات دیگری این زمینه همچون ضیایی (۱۳۹۰)، Allen et al (1996)، seckler (1996) و Bredehoef and Kendy (2006) همخوانی دارد. شکل ۲ میانگین سالانه حجم آب خروجی از حوضه در شرایط وضع موجود و اعمال آبیاری تحت فشار را نشان می‌دهد.

اعمال مقادیر نیاز ناخالص نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در دو حالت وضع موجود و اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار، حجم کل آب داده شده به حوضه در سناریوهای مختلف متغیر می‌باشد. به طوری که مقدار آن به‌طور متوسط برابر با ۷۳۷ MCM در حالت وضع موجود و ۵۸۸ MCM در حالت اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار می‌باشد. این امر کاهش ۱۵۰ میلیون مترمکعب آبیاری در صورت اعمال روش‌های آبیاری تحت فشار را نشان می‌دهد.

#### ۳-۵- تحلیل عدم قطعیت حجم جریان خروجی از حوضه

همانگونه که اشاره شد، به منظور تحلیل عدم قطعیت حجم جریان خروجی از حوضه از روش میانگین‌گیری بیزی (BMA) استفاده شد. شکل ۳ باند عدم قطعیت ۹۵ درصد اطمینان جریان خروجی از حوضه را در دوره آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۷ نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با برقرار ماندن شرایط موجود آبیاری، مقدار حجم خروجی از حوضه می‌تواند بین ۱۳۱۶ میلیون مترمکعب تا ۱۳۹۱ میلیون مترمکعب در سال باشد و مقدار ترکیبی آن با استفاده از روش BMA برابر با ۱۳۵۲ میلیون مترمکعب خواهد بود. همچنین مقدار شاخص d-factor در داده‌های سالانه حجم آب خروجی از حوضه برابر با ۰/۱ می‌باشد. این مقدار نسبتاً کم را می‌توان با توجه به کم بودن مقدار اراضی تحت کشت آبی (نزدیک به ۶ درصد کل حوضه) و همچنین بازه تغییرات اندک نیاز آبی محصولات و راندمان آبیاری بر اساس مطالعات انجام شده در منطقه (جدول ۳ و ۴) منطقی دانست. همچنین در صورت اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار، میانگین حجم سالانه خروجی از حوضه بین ۱۳۲۲ و ۱۳۶۴ میلیون مترمکعب تغییر خواهد و تغییر محسوسی در مقدار ترکیبی سناریوهای مختلف نسبت به حالت قبل ایجاد نمی‌گردد. در این حالت شاخص d-factor جریان خروجی سالانه برابر با ۰/۰۵ می‌باشد (شکل ۴).

مقایسه مقدار آب برگشتی در سناریوهای مختلف نیز نشان می‌دهد که این مؤلفه تابعی از مقدار آب داده شده به مزرعه و راندمان کاربرد آب در مزرعه می‌باشد. به عنوان مثال در حالت وضع موجود سیستم‌های آبیاری و سناریوی ۴، با بیشتر بودن حجم آبیاری و پایین بودن راندمان کاربرد آب در مزرعه، مقدار آب برگشتی با میانگین سالیانه ۳۶۸ میلیون مترمکعب حداکثر بوده که این مقدار در سناریوی ۳ به مقدار حداقل ۳۴۴ میلیون مترمکعب می‌رسد. لذا با کاهش حجم آبیاری و افزایش راندمان کاربرد آب در حالت اعمال سیستم‌های تحت فشار حجم آب برگشتی نیز به‌طور متوسط به حدود ۱۶۰ میلیون متر کاهش یافته است.

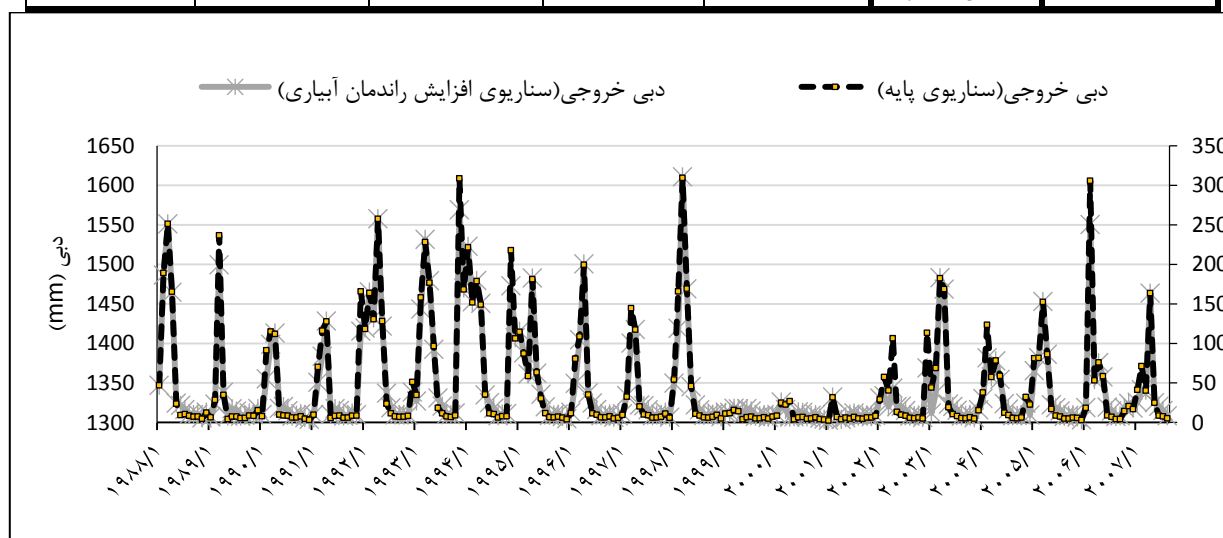
بدین ترتیب در صورت اعمال آبیاری تحت فشار در حوضه، هر چند حجم آبیاری به میزان ۱۵۰ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد، اما از سوی دیگر با توجه به کاهش قابل ملاحظه آب برگشتی به حوضه

#### جدول ۵- نیاز خالص محصولات مختلف کشت شده در حوضه با استفاده از مراجع مختلف (mm)

محصول	چغندر قند	یونجه	گوجه‌فرنگی	سیب‌زمینی	سیب	جو	گندم
سند ملی آب (۱۳۸۱)	۶۳۰	۶۳۵	۵۰۵	۵۷۰	۵۵۷	۲۰۰	۲۷۳
مطالعه عباسی (۱۳۹۲)	۷۰۰	۷۳۵	۵۴۰	۶۰۰	۵۵۷	۲۳۴	۲۸۷

جدول ۶- میانگین مؤلفه‌های سناریوهای موجود در روش‌های آبیاری (MCM)  
(اعداد داخل پرانتز معرف سناریوهای جداول ۳ و ۴ هستند)

سیستم آبیاری	مؤلفه شاخص آماری	حجم خروجی حوضه		راندمان حوضه‌ای		حجم آب برگشتی		حجم تبخیر و تعرق		حجم آبیاری در مزرعه	
		کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه
وضع موجود	میانگین سالانه (سناریو)	۱۳۵۰	۱۳۶۸	۷۸	۸۲	۳۴۴	۳۶۸	۳۲۸	۳۳۳	۷۵۲	۷۲۴
	میانگین سناریوها	۱۳۵۶		۸۰		۳۵۵		۳۳۰		۷۳۷	
تحت فشار آبیاری	میانگین سالانه (سناریو)	۱۳۴۵	۱۳۵۶	۷۹	۸۲	۱۹۰	۲۰۵	۳۳۸	۳۳۳	۶۰۵	۵۷۲
	میانگین سناریوها	۱۳۵۲		۸۱		۱۹۵		۳۴۲		۵۸۸	



شکل ۲- مقایسه دبی ماهیانه خروجی از حوضه در دو سناریوی آبیاری

۵). اما با توجه به حجم قابل ملاحظه آب برگشتی عملاً تفاوت زیاد بین حجم آبیاری در سناریوها توسط آب برگشتی جبران شده و این امر باعث شده تفاوت راندمان حوضه‌ای بین سناریوها کاهش یافته و در نتیجه باند عدم قطعیت راندمان حوضه‌ای باریک‌تر از راندمان مزرعه‌ای باشد به طوری که مقدار شاخص  $d$ -factor آن به  $1/48$  کاهش می‌یابد (شکل ۶).

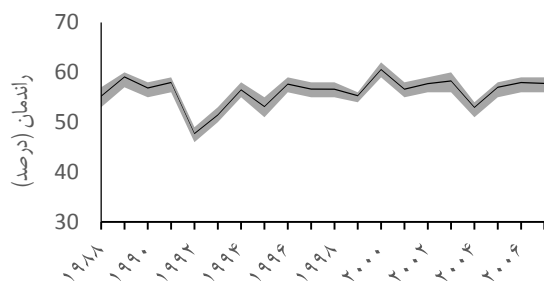
مقادیر ترکیبی و باند عدم قطعیت راندمان حوضه‌ای در حالت وضع موجود و بکارگیری سیستم‌های آبیاری تحت فشار نیز در شکل ۶ و ۸ نشان داده شده است. نکته قابل توجه اینکه در حالت افزایش راندمان آبیاری با وجود ثابت ماندن راندمان آبیاری حوضه‌ای (حدود  $81/8$  درصد) در مقایسه با حالت وضع موجود، مقدار میانگین راندمان مزرعه‌ای از  $41$  درصد به  $56$  درصد افزایش یافته است.

### ۳-۶- ارزیابی و تحلیل عدم قطعیت راندمان مزرعه‌ای و حوضه‌ای آبیاری

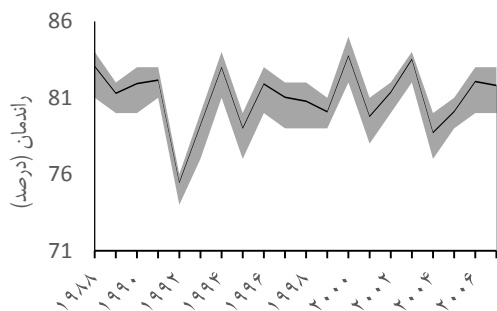
ارزیابی تغییرات راندمان‌های مزرعه‌ای و حوضه‌ای می‌تواند در تفسیر نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوهای مختلف آبیاری کارساز باشد. در این راستا ابتدا مقادیر ترکیبی و باند عدم قطعیت  $95\%$  اطمینان راندمان‌های حوضه‌ای و مزرعه‌ای حوضه در حالت وضع موجود محاسبه گردید (اشکال ۵ و ۶). در این شرایط بر اساس نتایج حاصل از مدل ترکیبی میانگین راندمان مزرعه‌ای برابر با  $41$  درصد و میانگین راندمان حوضه‌ای نیز برابر با  $81$  درصد می‌باشد. تفاوت بازه عدم قطعیت مربوط به راندمان مزرعه‌ای و راندمان حوضه‌ای با توجه به تغییرات مؤلفه‌های مختلف معادلات ۱ و ۲ قابل توجیه است. تغییرات نسبی اندک تبخیر و تعرق واقعی نسبت به حجم آبیاری، سبب افزایش باند عدم قطعیت راندمان مزرعه‌ای در حوضه شده، به طوری که مقدار شاخص  $d$ -factor آن به  $3/22$  رسیده است (شکل



بدین ترتیب، عدم افزایش حجم خروجی از حوضه را می‌توان با توجه به راندمان حوضه‌ای نیز تفسیر کرد. به طوری که مقدار این شاخص در سناریوی افزایش راندمان آبیاری، به طور متوسط تنها به مقدار ۱ درصد افزایش یافته است که آن نیز مربوط به افزایش مقدار تبخیر و تعرق (در صورت کسر راندمان حوضه‌ای) می‌باشد. این در شرایطی است که متوسط راندمان مزرعه‌ای به میزان ۳۶ درصد در سناریوی آبیاری تحت فشار افزایش یافته است. این امر بیان‌گر این مهم است که راندمان در مقیاس حوضه‌ای دید درست‌تری را از کارایی سیستم‌های آبیاری از لحاظ صرفه‌جویی در مصرف آب، در مقیاس حوضه‌ای را ارائه می‌دهد و صرف توجه به راندمان مزرعه‌ای می‌تواند باعث ایجاد خطا در تصمیم‌گیری‌ها در این رابطه شود. این امر توسط Seckler (1996) و Quereshi et al. (2010) نیز مورد اشاره قرار گرفته شده است.



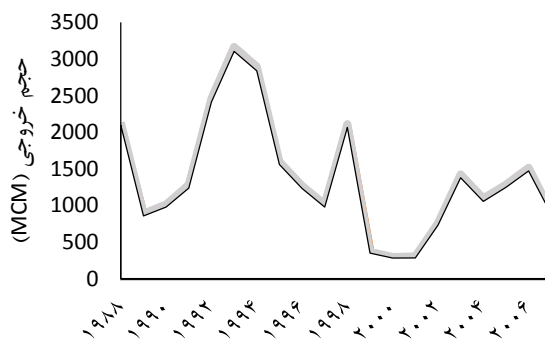
شکل ۷- باند عدم قطعیت و میانگین راندمان مزرعه‌ای (آبیاری تحت فشار)



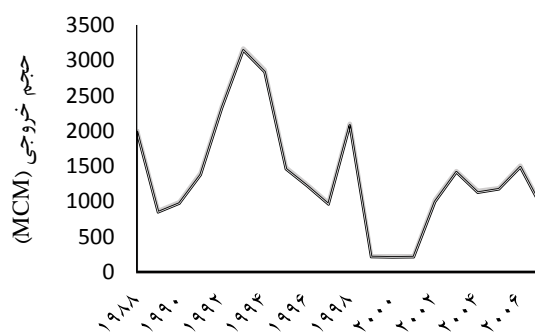
شکل ۸- باند عدم قطعیت و میانگین راندمان حوضه‌ای (آبیاری تحت فشار)

#### ۴- نتیجه‌گیری

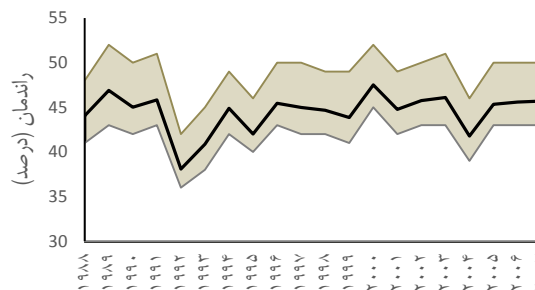
بررسی و تحلیل عدم قطعیت میزان تاثیرگذاری سیستم‌های آبیاری تحت فشار در حوضه زرنه رود به منظور تامین نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه از جمله اهداف اصلی این مطالعه می‌باشد. در این راستا تلاش گردید با بکارگیری یک رویکرد جامع مدل‌سازی در حوضه آبریز و استفاده از مدل SWAT، بازه عدم قطعیت جریان خروجی از



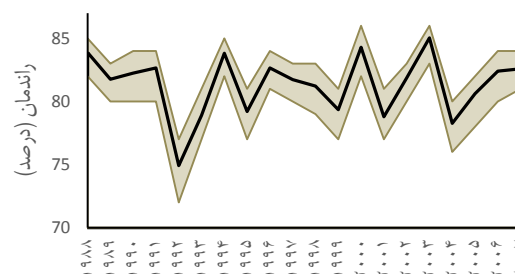
شکل ۳- باند عدم قطعیت دبی خروجی از حوضه در حالت وضع موجود



شکل ۴- باند عدم قطعیت دبی خروجی در شرایط سیستم‌های تحت فشار



شکل ۵- باند عدم قطعیت راندمان مزرعه‌ای (وضع موجود آبیاری)



شکل ۶- باند عدم قطعیت راندمان حوضه‌ای (وضع موجود آبیاری)

حوضه در شرایط عدم قطعیت نیاز ناخالص آبیاری برآورد گردد. نتایج زیر این تحقیق قابل ارائه می‌باشد:

- با توجه به مقادیر ذکر شده برای راندمان آبیاری در مطالعات قبلی حوضه، می‌توان بازه تغییرات ۳۵ تا ۴۰ درصدی برای راندمان فیزیکی آبیاری سطحی (جمع راندمان کاربرد آب در مزرعه و تلفات انتقال) در نظر گرفت. این دامنه برای آبیاری بارانی ۵۸ تا ۶۵ درصد و برای آبیاری قطره‌ای ۷۲ تا ۸۵ درصد در نظر گرفته شد. این امر سبب عدم قطعیت در مؤلفه‌های هیدرولوژیکی حوضه می‌گردد که بیشترین تغییرات را نیز بر حجم آبیاری و آب برگشتی از خود نشان داد.

- با کاهش حجم آبیاری در حالت بکارگیری سیستم‌های آبیاری تحت فشار، عملاً مقدار آب برگشتی به حوضه نیز کاهش یافته و با توجه به افزایش مقدار تبخیر و تعرق در حالت اعمال سیستم‌های آبیاری تحت فشار (حدود ۱۲ میلیون متر مکعب)، مقدار حجم خروجی از حوضه تقریباً یکسان می‌باشد و تغییر معنی‌داری در آن ایجاد نمی‌گردد.

- با استفاده از الگوریتم BMA دامنه عدم قطعیت خروجی از حوضه و راندمان آبیاری در مقیاس‌های مزرعه و حوضه تعیین گردید. بر این اساس بازه تغییرات احتمالاتی ۹۵ درصد حجم خروجی از حوضه در سناریوی پایه ۱۳۱۶ تا ۱۳۹۱ میلیون مترمکعب در سال و در سناریوی افزایش راندمان آبیاری ۱۳۲۲ تا ۱۳۶۴ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.

- بازه تغییرات عدم قطعیت راندمان مزرعه‌ای ۳۹ تا ۴۸ درصد در سناریوی پایه و ۵۴ تا ۵۸ درصد در سناریوی افزایش راندمان آبیاری می‌باشد. این مقدار برای راندمان حوضه‌ای ۷۸ تا ۸۲ درصد در سناریوی پایه و ۷۹ تا ۸۲ درصد در سناریوی افزایش راندمان آبیاری برآورد شد.

- انتخاب نوع و الگوی کشت بهینه می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای اصلی در کاهش مصرف آب در سطح حوضه و افزایش جریان ورودی به دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گیرد که در این مطالعه بدان پرداخته نشده است. لذا توصیه می‌گردد در مطالعات آتی این مهم مورد ارزیابی قرار گیرد.

## ۵- مراجع

احمدزاده ح (۱۳۹۱)، ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز زرینه‌رود، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

رحیم‌زادگان ع (۱۳۷۵)، طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

سازمان حفاظت محیط زیست (۱۳۸۹)، برنامه مدیریت جامع حوضه آبریز دریاچه ارومیه.

ضیائی ل (۱۳۹۰) محاسبه اثر افزایش چرخه آب روشی برای تعیین راندمان آبیاری در مقیاس حوضه و محاسبه بیلان آب در حوضه‌های آبریز، شرکت مهندسی مشاور زاینده‌آب، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان.

طلوعی ظ (۱۳۹۲) ارزیابی تاثیر توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر ورودی رودخانه زرینه‌رود به دریاچه ارومیه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

عباسی ع (۱۳۹۲) مدیریت تقاضای آبی بخش کشاورزی حوضه زرینه‌رود در شرایط خشکسالی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

علیزاده آ، کمالی آ (۱۳۸۶) نیاز آبی گیاهان در ایران، انتشارات امام رضا، ص ۲۲۳

وطن‌خواه ح (۱۳۹۰) ارزیابی راندمان آبیاری حوضه زرینه‌رود، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کردستان.

Abbaspour KC (2012) SWAT-CUP User Manual.

Abbaspour KC, Yang J, Maximov L, Siber R, Bogner K (2007) Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. J. Hydrol, 333: 413-430.

Abbaspour K C, Johnson C A, van Genuchten M T (2004) Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. Vadose Zone J, 3(4), 1340 – 1352.

Ajami N K, Duan Q, Gao X, Sorooshian S (2006) Multimodel combination techniques for analysis of hydrological simulations: Application to distributed model intercomparison project results, Journal of Hydrometeorology, 7, 755(768).

Ajami N K, Duan Q, Sorooshian S (2007) An integrated hydrologic Bayesian multimodel combination framework: Confronting input, parameter, and model structural uncertainty in

- assessment of hydrologic model parameters, *Water Resour. Res.*, 39(8), 1201.
- Seckler D (1996) The new era of water resources management: From “dry” to “wet” water savings, Research Report 1. Colombo, Sri Lanka: International Irrigation Management Institute.
- Straucha M, Bernhofer C, Koide S, Volk M, Lorz C, Makeschin F (2012) Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation. *Journal of Hydrology* 414:413-424.
- Yang J, Reichert P, Abbaspour K C (2007) Bayesian uncertainty analysis in distributed hydrologic modeling: A case study in the Thur River basin (Switzerland), *Water Resour. Res.*, 43, W1040
- Yang J, Abbaspour K C, Reichert P, Yang H (2008) Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to Chaohe Basin in China, In review, *Journal of Hydrology*, 358(1-2):1-23.
- Tang F F, XU H S, Xu Z S (2012) Model calibration and uncertainty analysis for runoff in the Chao River Basin using sequential uncertainty fitting, *Procedia Environmental Sciences* 13 (2012) 1760 – 1770.
- hydrologic prediction, *Water Resources Research* 43, 1(19).
- Beven K, Binley A (1992) The future of distributed models—Model calibration and uncertainty prediction, *Hydrol. Processes*, 6(3), 279 –298.
- Cai X. Ringler, C Rosergrant, M, (2001) Physical and economical efficiency of water use in the river basin *Water Resources Research* 39(1).
- Duan Q, Ajami N K, Gao X, Sorooshian S (2007) Multi-model ensemble hydrologic prediction using Bayesian model averaging, *Advances in Water Resources* 30, 1371–1386.
- Qureshi ME, Grafton RQ, Kirby M, Hanjra MA (2010) Understanding irrigation water use efficiency at different scales for better policy reform: a case study of the Murray – Darling Basin, *Water Policy Uncorrected Proof* (2010) 1–18.
- Raftery AE and Zheng Y (2003) Long-run performance of Bayesian model averaging, *J. Amer. Stat. Assoc.*, 98, 931–938.
- Vrugt J A, Gupta H V, Bouten W, Sorooshian S (2003) A Shuffled Complex Evolution Metropolis algorithm for optimization and uncertainty