Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

# Effects of weather modification operations on water resources of Khash basin using water evaluation and planning (WEAP) model

**Samaneh Pourmohammadi[1]*, Mehran Fatemi[2], Faezeh Rasaei[3], Seyed Arman Hashemi Monfared[4], Mahmoud Khosravi[5]**

[1]Ph.D. in Watershed Science and Engineering, Iran Water and Power Resources Development Company, Tehran, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Meybod University, Meybod, Iran
[3]M.Sc. Student, Department of Civil engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
[4] Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
[5] Professor, Department of Climatology, Faculty of Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

## Abstract

**Introduction**
One of the ways to increase rainfall and water production is cloud seeding technology. In this regard, the purpose of this study is to investigate the effect of cloud seeding technology on increasing the water of Khash Basin, as the most prone area for climate change projects in Sistan Province as documented in several national and international studies; Considering the scenario of increasing rainfall by about 15 to 25%, the management of water resources was studied on the drinking, agriculture and industry sectors in this basin. Therefore, the current percentage of meeting the needs of drinking, agriculture and industry was compared using Water Evaluation And Planning (WEAP) with the future condition considering a 20% increase in rainfall due to the implementation of cloud seeding project.

**Materials and Methods**
WEAP is a comprehensive, user-friendly, and flexible model developed for water resources planning. The main advantage of WEAP is the integrated approach in simulating irrigation systems and evaluating the impact of different policies. In the field of hydrological modeling, the WEAP software models all the processes necessary for the quantitative balance of surface water and the interaction of the groundwater aquifer with the river flow. The methods for modeling surface water in the software are: 1) soil moisture method, 2) water requirement method (FAO), and 3) standard method (rainfall-runoff). We will use the standard method according to the available data/information.

**Results and Discussion**
In the current situation, urban and rural drinking needs are fully met according to the higher priority. Also, the needs of agriculture and industry are met 100% in December, January and February and less than 25% in April to September, which is a significant shortage and management measures must be compensated for this shortage. The reliability of urban and rural drinking needs is 100%, which means that these needs are fully met in all months of the period. This percentage is about 33% for industry needs and about 25% for agriculture needs, which means a lack of proper reliability to meet these needs. The percentage of needs supply in the industry and agriculture sectors has increased with increasing rainfall in March and April. The results show the positive effect of implementing climate change projects on water resources in Khash Basin.

**Conclusion**
The results showed a 20% increase in precipitation in the Khash area, which was identified as a cloud-prone area; it has a positive effect on the percentage of supply of different needs. Cloud fertility as one of the most cost-effective methods of water supply can be effective as a suitable solution in the management of water resources of basins in various drinking, industry and agriculture sectors and according to various scientific sources Long-term implementation of climate change projects can be a valuable and cost-effective solution to the effects of drought and climate change in the country's basins.

**Keywords:** Weather modification, Water resources, WEAP modeling, Khash Basin.

**Article Type:** Research Article

*Corresponding Author, E-mail: poormohammadi@gmail.com
**Citation:** Pourmohammadi, S., Fatemi, M., Rasaei, F., Hashemi Monfared, S.A., & Khosravi, M. (2021). Effects of Weather Modification Opersion on Water Resources of Khash Basin using Water Evaluation And Planning (WEAP) Model. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(2), 14-24.
DOI: 10.22098/MMWS.2021.1253
DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.2.2.2

Received: 26 April 2021, Accepted: 21 June 2021
*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2021, Vol. 1, No. 2, pp. 14-24
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili
© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵۴۶-۲۷۸۳

# اثرات اجرای پروژه‌های تعدیل آب و هوا بر منابع آب حوضهٔ آبریز خاش با استفاده از مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP)

سمانه پورمحمدی[۱*]، مهران فاطمی[۲]، فائزه رسایی[۳]، سید آرمان هاشمی منفرد[۴]، محمود خسروی[۵]

[۱]دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، تهران، ایران
[۲]استادیار گروه جغرافیا، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران
[۳]دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
[۴]دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
[۵]استاد گروه جغرافیای طبیعی- اقلیم‌شناسی، دانشکدهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

**چکیده**

بحران کمبود آب، یکی از مهم‌ترین مشکلات پیش‌روی بشر در عصر حاضر است. از این‌رو بشر از آخرین فن‌آوری‌های موجود علمی و عملی برای حل مشکل کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک گرفته و با گسترش روش‌های بهینه‌سازی مصرف، سعی در کاهش بحران دارد. به همین دلیل، استفاده بهینه از منابع آب و نیز استفاده از روش‌های جدید استحصال آب، نقش قابل توجهی در تعدیل اثرات کم‌آبی ایفا می‌کند. یکی از روش‌های افزایش بارش و تولید آب، فن‌آوری بارورسازی ابرهاست. از این‌رو، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر فن‌آوری باروری ابرها بر افزایش آب حوضهٔ آبریز خاش که یکی از مستعدترین مناطق برای اجرای پروژه‌های تعدیل وضع هوا در استان سیستان است، می‌باشد. نتایج ارزیابی پروژه‌های متفاوت بارورسازی ابرها حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش بارش را نشان می‌دهد. به‌همین دلیل با استناد بر مقالات ملی و بین‌المللی و با در نظر گرفتن سناریوی افزایش بارش حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد، به بررسی مدیریت منابع آب حوضه مشخص شده در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت پرداخته شده است. سپس، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP) وضعیت حوضهٔ آبریز خاش در ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین (ماه‌های مستعد بارورسازی ابرها) و در شرایط ۲۰ درصد افزایش بارش ناشی از اجرای پروژه‌های بارورسازی ابرها تحلیل شد و مقدار درصد تأمین نیازهای آب شرب، کشاورزی و صنعت استخراج شده و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج ارزیابی و بررسی داده‌های بارش، اثر مثبت اجرای پروژه‌های تعدیل وضع هوا را بر منابع آب حوضهٔ آبریز خاش نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** تعدیل وضع هوا، منابع آب، مدل‌سازی WEAP، حوضهٔ آبریز خاش

**نوع مقاله:** پژوهشی

[*]مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: poormohammadi@gmail.com

**استناد:** پورمحمدی، س.، فاطمی، م.، رسایی، ف.، هاشمی‌منفرد، س.ا.، و خسروی، م. (۱۴۰۰). اثرات اجرای پروژه‌های تعدیل آب و هوا بر منابع آب حوضهٔ آبریز خاش با استفاده از مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۲)، ۱۴-۲۴.
DOI: 10.22098/MMWS.2021.1253
DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.2.2.2

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱
*مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، سال ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۲، صفحه ۱۴ تا ۲۴
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

## ۱- مقدمه

اهمیت روزافزون آب با افزایش شدید جمعیت محسوس‌تر و با اهمیت‌تر می‌شود، از این‌رو هرگونه کاهش در میزان آب می‌تواند حیات بشری را با بحرانی جدی مواجه سازد (Shafaat Nazarloo, 2012). مسأله کم‌آبی و یافتن راه‌های جدید استحصال آب به‌منظور رفع کمبودها، لزوم استفاده از فن‌آوری باران مصنوعی را مطرح می‌کند که به‌عنوان یکی از راه‌های استحصال آب در بسیاری از کشورها، خاصه کشورهایی که بحران آب را پیش رو دارند، پیشنهاد شده است. از طرفی دیگر، بررسی اثربخشی این فن‌آوری قبل از اجرای آن، موضوعی است که در تمامی کشورهایی که از این فن‌آوری به‌صورت پیوسته انجام می‌شود مد نظر است. به‌علت تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در سال‌های اخیر، به‌ویژه تغییر در رژیم بارش، مقدار بارش و در نتیجه میزان آب قابل دسترس به‌ویژه در ایران کاهش یافته است. موضوعاتی از قبیل افزایش رشد جمعیت، گسترش اقتصادی و مسائل محیط زیستی موجب بحران آب، شدت خشک‌سالی، کاهش آب زیرزمینی و رواناب سطحی در رودخانه‌ها شده است، در این میان باروری ابرها یکی از اقتصادی‌ترین راهکارهای افزایش استحصال آب در جهان است. طبق آخرین بولتن سازمان جهانی هواشناسی در سال ۲۰۱۷، شماره ۶۶ امروزه بیش از ۵۰ کشور از این روش استفاده می‌کنند (WMO, 2018). استفاده از باروری ابرها تنها در سال‌های خشکسالی نمی‌تواند موجب کاهش خسکسالی شود، بلکه بایستی در سال‌های تر و خشک به‌صورت متمادی این پروژه اجرا شود (هر چند که فرصت‌های باروری در سال‌های خشک هم محدود است). در واقع فن‌آوری باروری ابرها بایستی به‌عنوان ابزار مدیریتی در جعبهٔ ابزار مدیریت منابع آب، یکی از راه حل‌ها معرفی شود.

باروری ابرها شکلی از تعدیل وضع هوا است که ایمن، علمی، آزموده و اثبات شده جهت افزایش بارش و برف و هم‌چنین کاهش خطرات تگرگ و مه است (Poormohammadi and Pahlavanhoseini, 2018). اما موضوع مورد بحث در بسیاری از موارد مربوط به اثربخشی این فن‌آوری است. با وجود اثبات اثربخشی این فن‌آوری (WMO, 2018)، قبل از اجرای پروژهٔ بارورسازی ابرها در دنیا به‌منظور بررسی اقتصادی بودن اجرای آن در منطقه مورد مطالعه، مطالعات خاصی با روش‌ها و مدل‌های مختلفی صورت می‌گیرد (ASCE, 2017). در همین راستا، در این مقاله سعی شده است از برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب برای نشان دادن این اثربخشی قبل از اجرای پروژه استفاده شود که می‌تواند شامل استفاده از مدل‌سازی و در نظر گرفتن سناریوهای مختلف افزایش بارش با توجه به استانداردها و منابع معتبر بین‌المللی باشد.

در شبیه‌سازی می‌توان سیستم منابع آب را با تمام جزئیات مدل کرد و به دیدی کلی از سیستم مورد نظر رسید (Rafiepour, 2014). یکی از مدل‌هایی که برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب استفاده می‌شود، مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP)[1] است. از این مدل می‌توان برای بررسی اثربخشی سناریوهای مختلف افزایش بارش ناشی از بارورسازی ابرها استفاده نمود و قبل از تصمیم‌گیری در اجرای پروژه‌های تعدیل وضع هوا، اثربخشی آن در منطقه را بررسی نمود. مدل WEAP یکی از مدل‌های قدرتمند نیمه‌توزیعی شبیه‌سازی هیدرولوژی حوضهٔ آبریز و مدیریت بیلان آب و رواناب در پایه‌های زمانی متفاوت است. این امر موجب شده است که مدل یاد شده در پژوهش‌های متعددی برای شبیه‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب و ارزیابی راهبردهای متنوع توسعه‌ای در حوضه‌های آبریز استفاده شود (Amato, 2006). برای مثال، Mohammadpour et al. (2016)، پروژه‌ای را به‌منظور توسعه یک مدل هیدرولوژیکی برای حوضهٔ کانچو ریو[2] توسط مدل WEAP تعریف نموده‌اند. هدف نهایی آن‌ها شبیه‌سازی سیلاب در این حوضه توسط مدل WEAP و مشخص ساختن میزان دقت مدل بود. آن‌ها مدل WEAP را برای جریان‌های ماهانه و سالانه با دوره‌های یک‌ساله واسنجی نمودند. در پایان، نتایج نشان داد که مدل WEAP با دقت مناسب و قابل قبولی قادر به برآورد جریان‌های ماهانه و سالانه است.

در حوضهٔ آبریز نیاندو پژوهشی در ارتباط با شرایط متغیر الگوهای اقلیمی و لزوم ذخیره آب سیلاب جهت مصرف در دوره‌های خشکسالی با استفاده از مدل WEAP جهت برآورد تامین آب حال و آینده، وضعیت تقاضا، تخصیص آب و نیازمندی‌های آب اکولوژیکی در راستای توسعه پایدار انجام شده است (Dienya, 2007). هم‌چنین، Mccartney et al. (2009)، طی پژوهشی، مدل WEAP را جهت ارزیابی سناریوهای موقعیت حال و آینده رودخانهٔ نیل آبی به‌کار برده‌اند. ضمناً سناریوی آینده، طرح‌های آبیاری جدید را نیز در بر می‌گیرد. علاوه بر این، Mutiga et al. (2010) طی پژوهشی در حوضهٔ اواسونیرو در کنیا برای به حداقل رساندن تعارضات بر سر مصرف آب در حوضه و هماهنگی بین عرضه و تقاضای منابع آب از مدل WEAP استفاده نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیش‌ترین مقدار تقاضا و در نتیجه دلیل کشمکش‌ها مربوط به بخش کشاورزی

[1] Water Evaluation and Planning
[2] Rio Conchos

بوده و برای حل این مشکل توسعه کشت دیم را پیشنهاد کردند. Rasegh Ghezelbash (2013)، به تحلیل سیستم منابع آب با استفاده از نرم‌افزار WEAP در حوضهٔ آبریز سد مهاباد پرداخت و پس از واسنجی مدل، سناریوهای مختلفی را اعمال کرد و سرانجام به این نتیجه رسید که سناریوی ترکیبی افزایش جمعیت شهر مهاباد، طی سال‌های آتی با سرانه مصرف کم‌تر نسبت به سناریوی مرجع و کاهش سطح زیر کشت محصولات باغی و تخصیص آن به محصولات زراعی و افزایش راندمان به‌دلیل بالاتر بودن درصد تأمین، بهترین گزینه است. (Matin et al., 2003)، به تحلیل سیستم منابع آب با استفاده از نرم‌افزار WEAP در حوضهٔ آبریز هراز پرداخت و به این نتیجه رسید که کشاورزی در سال‌های آتی بیش‌ترین تقاضا را خواهد داشت.

Bagheri Harooni and Morid (2013)، مطالعه‌ای درباره مقایسه مدل‌های WEAP و MIKE BASIN در تخصیص منابع آب رودخانه تالوار انجام دادند. در این پژوهش مقایسه قابلیت‌ها و امکانات مدل‌سازی هر دو مدل نشان داد که مدل WEAP بهتر عمل کرده است. Shahbazbeigi et al. (2017)، با استفاده از مدل WEAP میزان تأثیرگذاری سناریوهای تغییر اقلیم بر آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت خرم‌آباد را بررسی کردند. با اجرای مدل و شبیه‌سازی وضعیت آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت با تعریف سناریوهای تغییر اقلیم میزان تغییرات مقادیر آب‌های سطحی و زیرزمینی مشخص شد. نتایج نشان داد که با تغییر اقلیم، میزان رواناب تولیدی زیرحوضه‌ها کاهش می‌یابد. برای مدیریت مناسب رویدادهای هیدرولوژیکی ابتدا لازم است درک درستی از رفتار طبیعی سیستم‌های هیدرولوژی وجود داشته باشد. در دهه‌های گذشته با رشد قابلیت‌های نرم‌افزاری، امکان توسعه مدل‌های رایانه‌ای فراهم شده است که به نوبهٔ خود نقش مؤثری در شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب و کمک به تصمیم‌گیری مدیران این عرصه داشته است (Asadipour et al., 2016). از جمله مدل‌هایی که برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استفاده می‌شود، مدل WEAP است که از نقطه‌نظر ابزار تحلیلی، تمام ابعاد مدیریت آب و چاره‌اندیشی‌های متفاوت را می‌تواند ارزیابی کند و مصارف چندمنظوره رقابتی را در یک سیستم منابع آب مدل نماید (Zainuddin et al., 2017). مرور مطالعات مختلف (برای مثال، Shivaji Rao, 2005; Griffith, 2009; Prasetio et al., 2019) نشان می‌دهد که مدل WEAP می‌تواند در مدیریت منابع آب حوضه‌های آبریز به‌ویژه در شرایط خشکسالی و تغییر اقلیم کمک شایانی داشته باشد و برنامه‌ریزی بخش‌های مختلف مرتبط با آب در آینده را به نحو بهینه‌ای به سرانجام رساند.

از آن‌جایی‌که حوضهٔ آبریز خاش یکی از حوضه‌های آبریز خشک و کم‌آب کشور است و از طرفی در تأمین مواد غذایی به لحاظ بخش کشاورزی یکی از حوضه‌های آبریز مهم استان سیستان و بلوچستان محسوب می‌شود، لذا تأمین آب این حوضه به جهت تأمین مواد غذایی و امنیت غذایی استان حائز اهمیت است. در همین راستا، هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر افزایش بارش ناشی از اجرای پروژه‌های تعدیل وضع هوا بر تأمین میزان آب مورد نیاز در بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی در حوضهٔ آبریز خاش است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

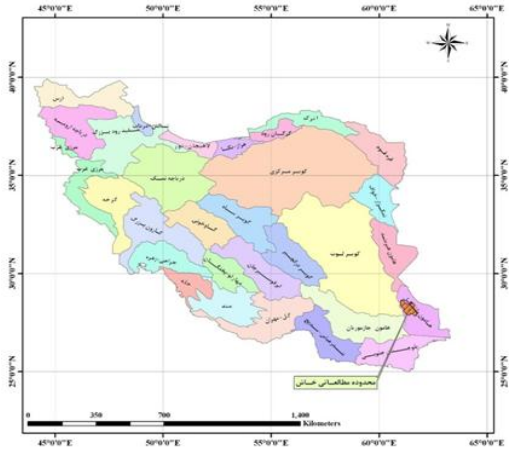
محدودهٔ مطالعاتی خاش در غرب استان سیستان و بلوچستان بین طول ۶۰ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی و عرض ۲۷ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی واقع شده است و از شمال و شرق به محدوده مطالعاتی تهلاب، از غرب به حوضه کویر لوت و از جنوب به محدوده‌های مطالعاتی سراوان و سیب و سوران محدود می‌شود. مساحت کل محدوده مطالعاتی خاش ۳۶۵۵/۲ کیلومتر مربع است (شکل ۱).

### ۲-۲- روش پژوهش

#### ۲-۲-۱- معرفی مدل شبیه‌ساز WEAP

مدل مدیریت و ارزیابی آبی (WEAP) یک مدل جامع، کاربرپسند و انعطاف‌پذیر است که برای برنامه‌ریزی منابع آب توسعه داده شده است. مزیت اصلی، WEAP در رویکرد یکپارچه آن در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و ارزیابی تأثیر سیاست‌های مختلف است. این مدل در معادلات خود، مسائل مربوط به نیازها مانند الگوی مصرف آب، راندمان تجهیزات، استفاده مجدد، هزینه‌ها و غیره را توأم با مسائل مربوط به منابع آب شامل منابع سطحی، آب‌های زیرزمینی، مخازن و انتقال‌های آب در نظر می‌گیرد. WEAP تقاضاها، مقادیر عرضه، جریان‌ها، مقادیر ذخیره، تولید آلودگی احتمالی را شبیه‌سازی و سیاست‌های گوناگون و گزینه‌های مدیریتی را ارزیابی می‌کند (Hollermann, 2010).

این نرم‌افزار برای محاسبهٔ تقاضای آب در سطح حوضهٔ آبریز از یک مدل تخصیص آب استفاده می‌کند و از آن جهت که اجزای گوناگون یک رودخانه را گرد هم می‌آورد می‌توان از آن برای مدیریت و برنامه‌ریزی جامع منابع آب استفاده کرد. ساختار مدیریتی در WEAP با استفاده از سناریوهایی که در آن نوشته می‌شود وضعیت آینده آب و هوا، مدیریت کاربری اراضی، تقاضا، تنظیمات و



**شکل ۱- موقعیت محدودهٔ مطالعاتی خاش نسبت به حوضه‌های آبریز کشور (Rasaei, 2018)**

**Figure 1- Location of Khash study area in relation to the country's basins (Rasaei, 2018)**

برنامه‌ریزی‌ها را مشخص می‌کند. در این نرم‌افزار می‌توان منابع و مصارف را به‌طور گرافیکی نشان داد (Akbarpour et al., 2002).

WEAP بر اساس معادلات پایه بیلان آبی عمل کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های رودخانه‌ای مرزی پیچیده به‌کار برد و نیز می‌تواند محدوده زیادی از مسائل مانند تحلیل نیاز هر بخش، حفاظت آب، حقابه‌ها و اولویت‌های تخصیص، شبیه‌سازی آب‌های سطحی و زیرزمینی، بهره‌برداری از مخزن، تولید انرژی برقابی، روندیابی آلودگی، نیازهای اکوسیستم، ارزیابی آسیب‌پذیری و تحلیل منفعت–هزینه طرح را پوشش دهد (Gazrani, 2010).

در توسعهٔ مدل WEAP به این نکته توجه شده است که پایه‌ای‌ترین و اولین منبع آب، آب حاصل از بارش روی حوضهٔ رودخانه‌هاست، که با تأمین تقاضاهای مختلف کاهش می‌یابد. حوضهٔ رودخانه، خود در حقیقت اولین نقطهٔ تقاضای آب است که منابع آبی را از طریق تبخیر و تعرق کاهش می‌دهد. علت این امر نیز این است که تنها راهی که آب موجود در چرخه از فرآیندهای آبی داخل حوضه خارج می‌شود پدیدهٔ تبخیر–تعرق است. سپس باقی‌مانده منابع، بعد از تأمین نیاز حوضه، در دسترس سیستم مدیریت قرار می‌گیرند، که اغلب به‌صورت سرآب به‌عنوان شرایط مرزی یک مدل برنامه‌ریزی منابع آب در نظر گرفته می‌شود. یک کاربر برای تولید داده‌های سرآب می‌تواند یا از شبیه‌سازی هیدرولوژیکی (مدل‌های موجود در مدل) استفاده نماید و یا این‌که سری زمانی سرآب و تغذیه آب زیرزمینی را از روش‌های تولید سری زمانی، به سیستم وارد کند (Sieber, 2016).

کار با WEAP معمولاً شامل چندین گام است. در تعریف طرح؛ چارچوب زمانی، مرزهای مکانی، اجزای سیستم و تنظیمات مسأله انجام می‌شود. وضع موجود که از آن می‌توان به‌عنوان گام واسنجی مدل در شرایط توسعه استفاده کرد، یک تصویر کلی از نیازهای آبی واقعی، بارهای آلودگی، منابع و تأمین سیستم نشان می‌دهد. در شرایط موجود، فرضیات کلیدی برای بیان سیاست‌ها، هزینه و عواملی که بر نیاز، آلودگی، تأمین و هیدرولوژی مؤثرند، تعریف می‌شود. سناریوها در شرایط موجود ساخته می‌شوند و با استفاده از آن‌ها می‌توان اثر فرضیات یا سیاست‌های مختلف را بر میزان دسترسی و مصرف آب در آینده بررسی کرد. نهایتاً سناریوها با توجه به میزان آب، هزینه‌ها و سودها، سازگاری با اهداف محیط زیستی و حساسیت به عدم قطعیت در متغیرهای کلیدی ارزیابی می‌شوند (Sieber, 2016).

برای توزیع منابع آب موجود پس از تأمین نیازهای اکوسیستم، از یک مسأله تخصیص آب استفاده می‌شود. این مسأله توسط یک الگوریتم برنامه‌ریزی خطی تکراری با تابع هدف بیشینه نمودن آب تخصیص یافته جهت مراکز تقاضا و الزامات درونی جریان رودخانه حل می‌شود. به سایت‌های مختلف تقاضا اولویت‌های متفاوتی داده می‌شود که در حل مسألهٔ تخصیص آب به آن‌ها توجه می‌شود. تقاضاهایی که اولویت‌های یکسانی دارند در قالب گروه‌های معادل دسته‌بندی می‌شوند. اولویت‌ها می‌توانند مقادیری از یک تا ۹۹ داشته باشند. مسألهٔ برنامه‌ریزی خطی طوری تنظیم شده است که در شرایط محدودیت منابع آب، درصد یکسانی از کل تقاضای مکان‌های موجود درون یک گروه معادل تأمین شود (Gazrani, 2010).

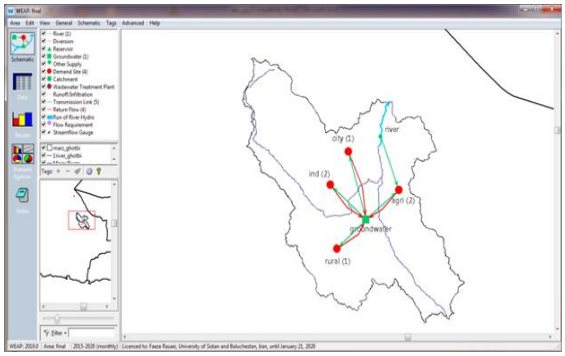
### ۲-۲-۲- روش‌های مدل‌سازی در WEAP

نرم‌افزار WEAP در بخش مدل‌سازی هیدرولوژیکی، تمامی فرآیندهای لازم جهت موازنهٔ کمی آب‌های سطحی و اندرکنش سفره آب زیرزمینی با جریان رودخانه را مدل می‌کند. برای مدل‌سازی در بخش آب‌های سطحی می‌توان از یکی از سه روش موجود در نرم‌افزار استفاده نمود. این روش‌ها عبارتند از: ۱. روش رطوبت خاک، ۲. روش نیاز آبی (FAO)، ۳. روش استاندارد (بارش–رواناب) (Sieber, 2016)؛ انتخاب یکی از این سه روش بر اساس اطلاعات موجود و میزان دقت مورد نظر انجام می‌پذیرد، که در این پژوهش با توجه به اطلاعات موجود از روش استاندارد استفاده شده است.

### ۲-۲-۳- ایجاد نقشه‌های پایه، پیکربندی و معرفی آن‌ها به مدل WEAP

برای تهیهٔ چارچوب اصلی مدل در نرم‌افزار WEAP در گام اول نقشهٔ اولیه حوضه شامل مرزهای حوضهٔ مورد مطالعه و مسیرهای رودخانه‌ای موجود توسط GIS تهیه و به مدل فراخوانی شدند تا به‌صورت نقشهٔ پیش‌زمینه مورد استفاده قرار گیرند. سپس به کمک ابزارهای نرم‌افزار WEAP در بخش شماتیک، مسیر رودخانهٔ اصلی، نیازهای شرب، صنعت، کشاورزی و خطوط برگشت مربوط به هر نیاز

به‌صورت شماتیک به مدل معرفی شدند. شماتیک مدل WEAP در شکل ۲ نشان داده شده است.




**شکل ۲- شماتیک مدل WEAP (Rassaei, 2018)**

**Figure 2- Schematic of the WEAP model (Rassaei, 2018)**

### ۲-۲-۴- پارامترهای اقلیمی

جدول ۱ متوسط مقادیر بارندگی، دما و تبخیر پتانسیل ماهانه در محدوده مورد مطالعه (ایستگاه خاش) را نشان می‌دهد. با توجه به آمار ۲۹ سالهٔ ایستگاه سینوپتیک خاش، میانگین دمای سالانه ایستگاه ۲۰/۱ درجه سانتی‌گراد؛ میانگین مجموع بارندگی سالانه ایستگاه ۱۴۹/۷۷ میلی‌متر و میانگین مجموع تبخیر سالانه از تشتک برای ایستگاه سینوپتیک خاش ۳۱۲۹/۴۹ میلی‌متر به‌دست آمده است.

### ۲-۲-۵- نیاز آب شرب

بر اساس آمار موجود سرانهٔ مصرف آب در ایران به‌طور متوسط به ازای هر نفر ۱۵۰ لیتر در روز است. این سرانه در منطقهٔ خاش برای هر نفر ۱۰۰ لیتر در روز برآورد شده است. این سرانه از نظر کارشناسی و آماری بسیار خوش‌بینانه به‌نظر می‌رسد. ولی با توجه به محاسبات و ارزیابی‌های صورت گرفته به آن اتکا شده است. عواملی مانند پایین بودن فشار آب در اکثر ساعات شبانه‌روز و پایین بودن سطح زندگی و رفاهی مردم منطقه در پایین بودن مقدار این سرانه مؤثر به‌نظر می‌رسند.

### ۲-۲-۶- جمعیت شهری و روستایی منطقه

تنها شهر در منطقه مورد مطالعه خاش است که بر اساس آمار سازمان نفوس و مسکن جمهوری اسلامی ایران، جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۵، ۵۶۵۸۴ نفر و جمعیت روستاهای منطقه در سال ۱۳۹۵، ۱۱۷۲۳۷ نفر است. در جدول ۲ درصد نیاز شرب ماهانه نسبت به شرب سالانه برآورد شده است.

### ۲-۲-۷- نیاز کشاورزی

در جدول ۳ الگوی کشت در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. در این پژوهش نیاز آبی خالص گیاهان با استفاده از روش فائو- پنمن- مانتیث و اطلاعات اداره کل هواشناسی به‌دست آمد.

**جدول ۱- پارامترهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک خاش طی دوره ۱۹۹۷-۲۰۱۷**

**Table 1- Climatic parameters of Khash Synoptic Station during 1997-2017**

| ماه | متوسط تبخیر پتانسیل ماهانه (میلی‌متر) | متوسط بارندگی ماهانه (میلی‌متر) | دمای هوا (درجه سلسیوس) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | حداقل مطلق | حداکثر مطلق | میانگین ماهانه |
| مهر | 276.60 | 1.44 | 13.33 | 30.38 | 21.87 |
| آبان | 182.51 | 4.39 | 8.36 | 24.67 | 16.52 |
| آذر | 111.45 | 15.50 | 4.03 | 18.87 | 11.45 |
| دی | 31.08 | 32.18 | 2.09 | 15.68 | 8.90 |
| بهمن | 16.47 | 34.13 | 3.63 | 16.50 | 10.10 |
| اسفند | 130.69 | 32.89 | 7.38 | 20.79 | 14.09 |
| فروردین | 274.85 | 13.61 | 11.76 | 25.93 | 18.86 |
| اردیبهشت | 374.34 | 2.66 | 16.95 | 32.12 | 24.55 |
| خرداد | 435.96 | 3.74 | 20.91 | 36.27 | 28.60 |
| تیر | 455.37 | 2.38 | 22.75 | 38.20 | 30.49 |
| مرداد | 452.15 | 2.71 | 21.35 | 37.23 | 29.30 |
| شهریور | 388.02 | 0.89 | 17.95 | 34.86 | 26.42 |

سطح کارایی آبیاری برای آبیاری قطره‌ای حدود ۷۰ درصد، آبیاری بارانی حدود ۵۵ درصد و برای سایر روش‌ها حدود ۳۰ درصد در نظر گرفته می‌شود؛ در این پژوهش با توجه به شیوه‌های مختلف آبیاری در منطقه سطح کارایی ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. در نهایت با توجه به الگوی کشت منطقه و راندمان آبیاری حجم آب مورد نیاز بخش کشاورزی به تفکیک ماه به‌دست آمد و در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به آمار موجود شرکت شهرک‌های صنعتی سیستان و بلوچستان، ۱۱ واحد تولیدی در شهرک صنعتی خاش استقرار یافته که پنج واحد تولیدی کانی غیرفلزی، سه واحد تولیدی غذایی و آشامیدنی، دو واحد تولیدی شیمیایی و یک واحد تولیدی را صنایع شیمیایی تشکیل می‌دهند (شکل ۳).

### ۲-۲-۸- میزان آب برگشتی به آبخوان

به‌منظور بررسی آب برگشتی حاصل از مصارف کشاورزی با در نظر گرفتن شرایط منطقه و عوامل مؤثر، ضریب نفوذ ۲۰ درصد (با توجه به شرایط آبیاری و گزارشات مصوب قبلی) لحاظ شد. برای محاسبه مقادیر نفوذ از مصارف شرب روستایی و صنعت به آبخوان آبرفتی نیز با توجه به عدم وجود شبکه مدرن فاضلاب و این‌که بخش قابل توجهی از پساب شرب و صنعت از طریق چاه‌های جذبی

**جدول ۲- درصد نیاز شرب ماهانه نسبت به شرب سالانه در خاش**

**Table 2- Percentage of monthly drinking needs compared to annual drinking in Khash**

| ماه | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درصد نیاز ماهانه | 8.93 | 8.00 | 7.42 | 6.50 | 6.75 | 7.08 | 8.08 | 8.91 | 9.58 | 9.83 | 9.92 | 9.00 |

**جدول ۳- الگوی کشت در حوضهٔ آبریز خاش**

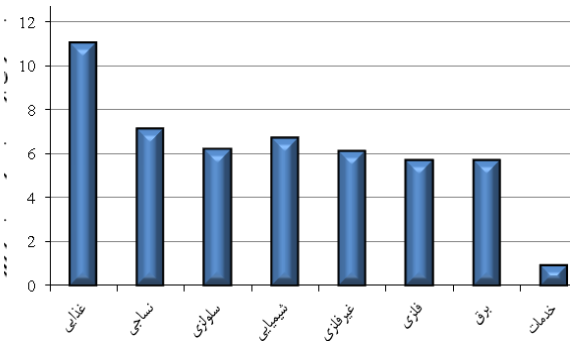
**Table 3- Cultivation pattern in Khash Basin**

| نوع کشت | سطح زیرکشت (هکتار) | درصد کشت |
|---|---|---|
| زردآلو | 600 | 2.46 |
| آلو | 120 | 0.49 |
| نخیلات | 4500 | 18.45 |
| مرکبات | 70 | 0.28 |
| برنج | 600 | 2.46 |
| پسته | 4000 | 16.40 |
| گندم | 6000 | 24.60 |
| جو | 2000 | 8.20 |
| ذرت | 2000 | 8.20 |
| گوجه و بادمجان | 1000 | 1.4 |
| سیب‌زمینی | 300 | 1.23 |
| باقلا | 300 | 1.23 |
| انار | 650 | 2.66 |
| سبزی | 885 | 3.62 |
| انگور | 510 | 2.09 |
| پیاز | 250 | 1.02 |
| هندوانه | 550 | 2.25 |
| خیار | 50 | 0.20 |

**جدول ۴- نیاز آبی محصولات کشاورزی در حوضهٔ آبریز خاش**

**Table 4- Water needs of agricultural products in the Khash Basin**

| ماه | مجموع نیاز ماهانه (میلیون مترمکعب) | خیار | هندوانه | پیاز | انگور | سبزی | انار | باقلا | سیب‌زمینی | گوجه و بادمجان | ذرت | جو | گندم | پسته | برنج | مرکبات | نخیلات | آلو | زردآلو |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | نیاز آبی محصولات بر حسب میلی‌متر در هکتار | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| فروردین | 43.50 | 46 | 46 | 83 | 52 | 99 | 59 | 24 | 58 | 51 | 0 | 99 | 130 | 21 | 190 | 94 | 164 | 87 | 76 |
| اردیبهشت | 42.06 | 132 | 114 | 219 | 171 | 206 | 150 | 0 | 203 | 136 | 0 | 0 | 23 | 50 | 245 | 120 | 206 | 215 | 218 |
| خرداد | 51.44 | 250 | 244 | 273 | 238 | 269 | 240 | 0 | 301 | 254 | 24 | 0 | 0 | 75 | 257 | 160 | 225 | 254 | 254 |
| تیر | 59.71 | 266 | 284 | 270 | 250 | 85 | 281 | 0 | 301 | 291 | 106 | 0 | 0 | 94 | 266 | 191 | 246 | 265 | 248 |
| مرداد | 58.76 | 126 | 216 | 134 | 206 | 0 | 238 | 0 | 129 | 233 | 267 | 0 | 0 | 93 | 228 | 171 | 232 | 219 | 205 |
| شهریور | 41.28 | 0 | 0 | 0 | 136 | 0 | 165 | 0 | 0 | 0 | 248 | 0 | 0 | 78 | 172 | 122 | 190 | 163 | 155 |
| مهر | 22.74 | 0 | 0 | 0 | 52 | 0 | 67 | 0 | 0 | 0 | 86 | 0 | 0 | 46 | 0 | 79 | 141 | 100 | 98 |
| آبان | 11.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 0 | 52 | 105 | 0 | 0 |
| آذر | 2.31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 | 24 | 0 | 0 |
| دی | 0.35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 0 | 0 | 0 |
| بهمن | 5.87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43 | 59 | 0 | 0 |
| اسفند | 31.37 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 121 | 8 | 0 | 0 | 115 | 115 | 0 | 83 | 65 | 121 | 22 | 10 |
| مجموع | 370.61 | 820 | 904 | 979 | 1110 | 659 | 1200 | 296 | 1000 | 965 | 731 | 214 | 268 | 478 | 1441 | 1168 | 1713 | 1325 | 1264 |




**شکل ۳- میزان آب مصرفی به ازای یک واحد صنعتی در هر گروه صنعتی حوضهٔ آبریز خاش**

**Figure 3 - The amount of water consumed per industrial unit in each industrial group of Khash Basin**

وارد آبخوان‌های آبرفتی می‌شوند، میزان نفوذ از پساب شرب روستایی و صنعت به آبخوان آبرفتی ۶۰ درصد در نظر گرفته شد. در شهر خاش با توجه به این‌که در برخی مناطق چاه‌های جذبی وجود ندارد و در برخی مناطق فاضلاب سطحی و سنتی دفع و نهایتاً تبخیر می‌شود و هم‌چنین به‌دلیل این‌که آب شرب از ایستگاه‌های برداشت در سطح شهر تأمین می‌شوند، بنابراین، بهره‌وری آب نسبت به دیگر مناطق بیش‌تر بوده است، در نتیجه مقادیر نفوذ از مصارف شرب شهری به آبخوان آبرفتی در شهر خاش ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است (Rajaei et al., 2009).

## ۳- نتایج و بحث

در مدل WEAP به منظور بررسی تأمین نیازها از دو شاخص درصد تأمین نیاز[1] و اعتمادپذیری[2] استفاده می‌شود. به درصد آب تأمین شده برای هر نیاز درصد تأمین نیاز و به تعداد ماه‌هایی که هر نیاز به‌صورت کامل تأمین می‌شود، اعتمادپذیری گفته می‌شود. پس از شبیه‌سازی شرایط موجود و وارد کردن داده‌های موجود به برنامه، درصد تأمین نیازها و اعتمادپذیری آن‌ها در شرایط موجود در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، در شرایط موجود نیازهای شرب شهری و روستایی با توجه به اولویت بالاتر به صورت کامل تأمین می‌شوند. هم‌چنین نیازهای کشاورزی و صنعت در ماه‌های آذر، دی و بهمن به‌صورت صد درصدی تأمین شده و در ماه‌های فروردین تا شهریور کم‌تر از ۲۵ درصد تأمین می‌شود که کمبودی قابل توجه است و باید تمهیدات مدیریتی این کمبود جبران شود.

درصد اعتمادپذیری تأمین نیازهای شرب شهری و روستایی صددرصد است که به‌معنی تأمین کامل این نیازها در همه ماه‌های دوره است. این درصد برای تأمین نیاز صنعت در حدود ۳۳ درصد و برای نیاز کشاورزی در حدود ۲۵ درصد است، که به‌معنای عدم اعتمادپذیری مناسب برای تأمین این نیازها است.

شکل ۶ درصد تأمین نیازها با افزایش ۲۰ درصدی بارش در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند[3] را نشان می‌دهد. از مقایسهٔ شکل‌های ۴ و ۶ مشخص است که درصد تأمین نیازها، در نیازهای صنعت و کشاورزی در ماه‌های اسفند و فروردین با افزایش بارش، افزایش یافته است.

## ۴- نتیجه‌گیری

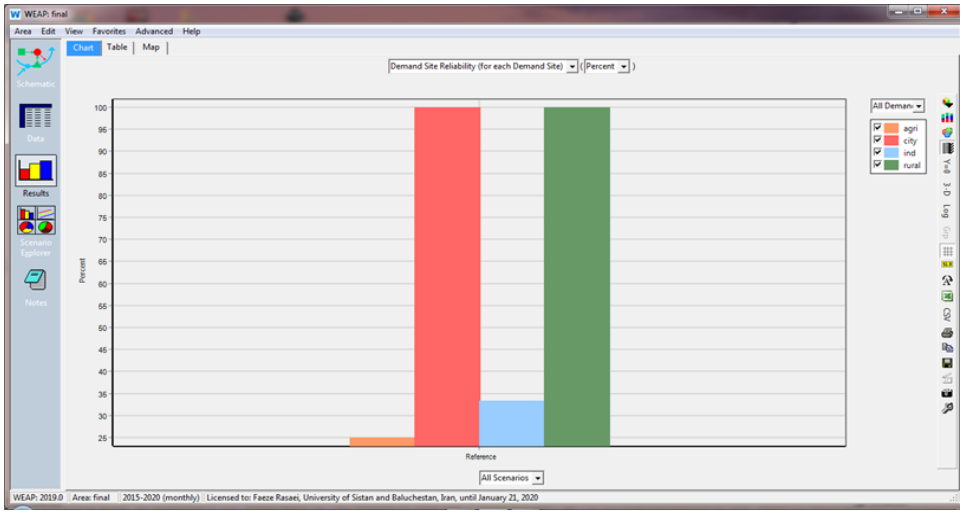
نتایج حاصل از مدل‌سازی در WEAP گویای این است که افزایش ۲۰ درصدی بارش در حوضهٔ آبریز اطراف ایستگاه سینوپتیک خاش که به‌عنوان منطقه مستعد باروری ابر شناخته شد؛ تأثیر مثبتی بر درصد تأمین نیازهای مختلف دارد. باروری ابرها به‌عنوان یکی از مقرون به‌صرفه‌ترین روش‌های تأمین آب می‌تواند راهکاری مناسب در مدیریت منابع آب حوضه‌های آبریز در بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی تأثیرگذار باشد و طبق منابع مختلف علمی، گزارشات WMO و ASCE اجرای بلندمدت پروژه‌های تعدیل وضع هوا بر میزان بارش باران و برف و به‌تبع آن در بحث ذخایر آب پشت سد، ذخایر برفی، تولید نیروی برقابی، کمک به تولید آب شرب و کشاورزی و فضای سبز و منابع طبیعی و حتی بحث‌های گردش‌گری و تفرج‌گاهی مؤثر است. به‌طوری‌که امروزه در بیش از ۵۰ کشور جهان از این فن‌آوری برای اهداف مختلف ذکر شده در بالا استفاده می‌کنند. به‌عنوان مثال، کشور چین، امارات، هند، عمان و حتی تایلند (با بارش سالانه بیش از ۱۰۰ میلی‌متر) از این فن‌آوری برای کاهش اثرات خشک‌سالی و سازگاری با اثرات تغییر اقلیم استفاده می‌کنند. کشورهایی هم‌چون ایالات متحده آمریکا، روسیه و فلسطین اشغالی بیش از ۵۰ سال است که از فن‌آوری باروری ابرها به‌طور متداوم برای اهداف تأمین آب کشاورزی، شرب، تامین آب سطحی و تغذیه آب زیرزمینی و حتی اهداف تفریحی مثل پوشش برفی پیست اسکی استفاده می‌کنند که می‌تواند راهکاری ارزشمند و اقتصادی در مقابله با اثرات خشک‌سالی و تغییر اقلیم در حوضه‌های آبریز کشور باشد.

[1] Coverage
[2] Reliability

[3] در پروژهٔ کارشناسی ارشد که توسط رسایی ۱۳۹۷ در دانشگاه سیستان و بلوچستان انجام شد، ماه‌های مستعد باروری ابرها در حوضهٔ آبریز خاش تعیین شده است.

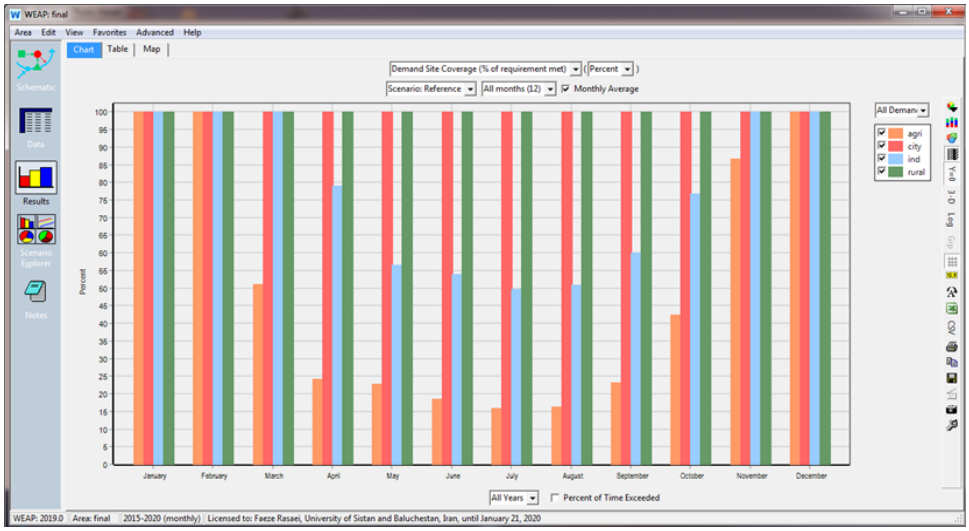
شکل ۴- درصد تأمین نیازهای ماهانه برای نیازهای مختلف در شرایط موجود (Rasaei, 2018)

Figure 4- Percentage of monthly needs supply for different needs in the current situation (Rasaei, 2018)




شکل ۵- درصد اعتمادپذیری برای نیازهای مختلف در شرایط موجود (Rasaei, 2018)

Figure 5- Percentage of reliability for different needs in the current situation (Rasaei, 2018)




شکل ۶- درصد تأمین نیازها با افزایش ۲۰ درصدی بارش (Rasaei, 2018)

Figure 6- Percentage of needs supply by 20% increase in precipitation (Rasaei, 2018)

## منابع


باقری هارونی، م.، و مرید، س. (۱۳۹۲). مقایسه مدل‌های WEAP و MIKE BASIN در تخصیص منابع آب (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ تالوار). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۰(۱)، ۱۵۱-۱۶۷.

راسق قزلباش، م. (۱۳۹۲). تحلیل سیستم منابع آب با استفاده از نرم-افزار Water Evaluation and Planning (WEAP) مطالعهٔ موردی (حوضهٔ آبریز سد مهاباد). اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان.

رسائی، ف. (۱۳۹۷). مطالعهٔ امکان‌سنجی باروری ابر در استان سیستان و بلوچستان. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل.

رفیع‌پور، ا. (۱۳۹۳). مدل‌سازی و کاربردها: گزارش یک پژوهش. *نظریه و عمل در برنامهٔ درسی*، ۳(۳)، ۹۳-۱۱۶.

زین‌الدینی، س.، انوری، ص.، باقری، م.ح.، و زحمتکش، ز. (۱۳۹۶). استفاده از مدل WEAP جهت ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریتی تحت شرایط تغییر اقلیم- ۲ کاربرد مدل‌سازی برای حوضهٔ آبریز اهرچای. چهاردهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

شفاعت نظرلو، ا. (۱۳۹۱). بررسی امکان باروری ابر در حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

شهبازبیگی، ا.، عظیمی، ا.ح.، سپهوند، ا.، و یعقوبی، ب. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات اقلیم بر منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل WEAP (مطالعهٔ موردی دشت خرم‌آباد). دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد.

متین، ا. (۱۳۹۲). کنترل کیفیت رودخانهٔ هراز با استفاده از نرم‌افزار WEAP. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان.

محمدپور، م.، زینال‌زاده، ک.، رضاوردی‌نژاد، و.، و حصاری، ب. (۱۳۹۵). واسنجی و اعتبارسنجی مدل WEAP در شبیه‌سازی اثر تغییر سیستم‌های آبیاری روی پاسخ هیدرولوژیک حوضهٔ آبریز اهرچای. *اکوهیدرولوژی*، ۳(۳)، ۴۷۷-۴۹۰.


## References


Amato, C.C., McKinney, D.C., Ingol-Blanco, E., & Teasley, R.L. (2006). WEAP hydrology model applied to the Rio Conchos Basin. CRWR Online Reports 06-12, Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin, Austin, TX.

American Society of Civil Engineers, ASCE. (2017). Standard practice for the design, conduct, and evaluation of operational precipitation enhancement projects. American Society of Civil Engineers ANSI/ASCE/EWRI 42-17.

Asadipour, M., Assar, A., & Karnama, F. (2016). A study of changing the cultivation pattern in sugarcane development lands on the resources and uses of Karun River using WEAP model. Sixth National Conference on Water Resources Management, University of Kurdistan.

Bagheri Harooni M.H., & Morid, S. (2013). Comparison of WEAP and MIKE BASIN models in water resources allocation (Case study: Tlavar River). *Journal of Water and Soil Conservation (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 20(1), 151-167 (in Persian).

Dienya, R.N. (2007). Application of the WEAP model in integrated water resources management of the Nyando River Basin, Kenya. M.Sc. Thesis, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, 135 p.

Gazrani, H. (2010). Application of subsystem of WEAP system analysis in decision support systems (Case study: part of Kashfarud Basin), M.Sc.Thesis, Ferdowsi University Mashhad.

Griffith, D.A., Solak, M.E., & Yorty, D.P. (2009). 30+ winter seasons of operational cloud seeding in Utah. *Journal of Weather Modification*, 41, 23-37.

Hollermann, B., Giertz, S., & Diekkruger, B. (2010). Benin 2025-balancing future water availability and demand using the WEAP water evaluation and planning system. *Water Resources Management*, 21(13), 3591-3613.

Matin, A. (2013). Quality control of Haraz river using WEAP software, M.Sc. Thesis, Lahijan Azad University (in Persian).

Mccartney, M.I., Sileshi, Y., & Awulachew, S.B. (2009). Application of the Water Evaluation And Planning (WEAP) model to simulate current and future water demand in the blue NILE international water management institute, IWMI Conference Proceedings 212436, International Water Management Institute Handle, RePEc:ags:iwmicp:212436, DOI: 10.22004/ag.econ.212436.

Mohammadpour, M., Zeinalzadeh, K., Rezavardinejad, V., & Hesari, B. (2016). WEAP model calibration and validation in simulating the impact of irrigation systems change on the Ahar-Chai basin hydrological response. *Echohydrology*, 3(3), 477-490 (in Persian).

Mutiga, J.K., Mavengano, S.T., Zhongbo, S., Woldai, T., & Becht, R. (2010). Water allocation as a planning tool to minimize water use conflicts in the Upper Ewaso Ng'iro North Basin, Kenya. *Water Resource Management*, 24, 3939–3959.

Prasetio, A., Widjiantoro, B.L., & Nasution, A.M.T. (2019). Overview of ground-based generator towers as cloud seeding facilities to optimize water resources in the Larona Basin MATEC Web of Conferences, 11 p.

Rafiepour, A. (2014). Modelling and application: A research domain in mathematics education. Jou*rnal of Theory & Practice in Curriculum* 2(3), 93-116 (in Persian).

Rajaei, F., Samadi, H., & Saeedinia, M. (2009). Evaluation of groundwater resources in the plains of Chaharmahal Bakhtiari Province using the WEAP model, The First International Conference on Water Crisis, 2009-03-10, Zabol University.

Rasaei, F. (2018). Study of feasibility of cloud reproduction project in Sistan and Baluchestan Province. M.Sc. Thesis, Zabol University, (in Persian).

Rasegh Ghezelbash, M. (2013). Analysis of water resources system using Water Evaluation And Planning (WEAP) software, Case study (Mahabad Dam Catchment). First National Conference on Water Crisis, Islamic Azad University of Khorasgan Branch, May 15-16, 2013, 14 p (in Persian).

Shafaat Nazarloo, A. (2012). Investigation of cloud fertilization potential in Urmia Lake Basin. M.Sc. Thesis, University of Tabriz (in Persian).

Shahbazbeigi, A., Azimi, A.H., Sepahvand, A., & Yaghoubi, B. (2017). Study of climate change on surface and groundwater resources using WEAP Model (Case Study: Khorramabad Plain). Second National Iranian Conference on Hydrology, Shahrekord University, July 11-12, 2017 (in Persian).

Shivaji Rao, T. (2005). Cloud seeding for India, Publisher : Mrs. T. Lavanya Lata, Distributors: The Book Syndicate, Visalandhra Publishing House & All Branches, Hyderabad, Ph: 040 – 24735905.

Sieber, J. (2016). WEAP, Water Evaluation and Planning System Tutorial, *Stockholm Environment Institute*, 286 p.

World Meteorological Organization, WMO. (2018). Peer Review Report on Global, Precipitation Enhancement Activities ANSI/ASCE/EWRI 42-17. 2017.

Zainuddin, S., Anvari, S., Bagheri, M.H., & Zahmatkesh, Z. (2017). Using WEAP model to evaluate different management scenarios under climate change conditions. 14th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Shahid Bahonar University of Kerman (in Persian).