

ارزیابی یکپارچه اثرات افزایش راندمان آبیاری و کاهش آورد بر شاخص هیدروانرژی سیستم منابع آب حوضه آبریز توسط مدل مفهومی WEAP (مطالعه موردی شبکه آبیاری دز - سد مخزنی دز)

بهزاد نویدی نساچ^۱، نرگس ظهرابی*^۲ و علی شهبازی^۳

(۱) دانشجوی دکترا، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(۲) استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(۳) مدیر دفتر مدل‌های آب و محیط زیست، سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: NargesZohrabi@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۱۸

چکیده

امروزه تولید برق جهان به شدت به منابع آب وابسته شده است. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که بروز گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی اثرات بسیار مهمی را بر منابع آب موجود به منظور تولید انرژی برقی به همراه خواهند داشت. با توجه به اینکه سد مخزنی دز واقع در حوضه آبریز دز به صورت همزمان تولید کننده هیدروانرژی و تامین کننده آب مورد نیاز اراضی کشاورزی پایین دست می‌باشد، هدف پژوهش حاضر برآورد میزان کمی اثر بهبود راندمان در شبکه های آبیاری و کاهش آورد به سد دز بر مقدار هیدروانرژی تولیدی سالانه در سد نیروگاه دز می‌باشد. به این منظور با شبیه سازی یکپارچه حوضه آبریز دز، اثر اعمال بهبود راندمان های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد و همچنین کاهش آورد رودخانه دز در سطح ۵ و ۱۰ درصد در دو افق زمانی کوتاه و بلندمدت مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که در بلندمدت به تبع افزایش نیاز و افزایش سازه های هیدرولیکی، میزان هیدروانرژی در حدود ۱۱۵ گیگاوات ساعت کاهش می‌یابد. نتایج همچنین نشان داد که بهبود راندمان میزان هیدروانرژی را بین ۲ الی ۶ گیگاوات ساعت در هر سال افزایش می‌دهد. در تحلیل نتایج میزان هیدروانرژی تولیدی وابستگی شدیدی به آورد رودخانه دز داشت به طوری که در سناریوهای کاهش آورد، افت یکباره در تولید هیدروانرژی رخ داده است و میزان آن به ازای کاهش آوردهای ۵ و ۱۰ درصد به ترتیب ۱۴۰ و ۲۹۶ گیگاوات ساعت کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: افزایش راندمان آبیاری، کاهش آورد، هیدروانرژی، WEAP.

مقدمه

در سال‌های اخیر، تحلیل ارتباط بین منابع آب و انرژی به موضوع مهمی در محافل علمی جهان تبدیل شده است (Rothausen and Conway, 2011; King et al. 2008; Hoff, 2011; Liu et al. 2017; Shang et al. 2018). منابع آب جزو مولفه‌های اساسی در پایداری محیط‌زیست هستند و مدیریت بهینه آن‌ها به منظور دستیابی به توسعه پایدار، امری ضروری می‌باشد. منابع آب همچنین جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد که امنیت غذایی و انرژی جزو مهم‌ترین آن‌ها هستند. به منظور دستیابی به توسعه پایدار و کاهش اثرات استفاده از منابع فسیلی تامین انرژی، طی سال‌های اخیر بسیاری از کشورها نسبت به افزایش اولویت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ارزان مانند هیدروانرژی با شدت بیشتری مبادرت ورزیده‌اند (Shang et al. 2018). به طوری که پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۵۰ میزان تولید هیدروانرژی دو برابر شود (Li et al. 2018; Van vliet et al. 2016) که این امر مستلزم در اختیار داشتن منابع آب بیشتر است؛ این در حالی است که نتایج تحقیقات علمی نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۴۰ نیاز آب به میزان ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت (Khan et al, 2017) و از سویی دیگر به دلیل گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی (O'Neill et al, 2017) استفاده از منابع آب فعلی نیز بیش از پیش به مخاطره خواهند افتاد (Bartos and Chester, 2015). جامعه علمی اخیراً تحقیقات زیادی به منظور سنجش و سازگاری با شرایط ناشی از تغییر اقلیم داشته است (Georgeson et al, 2016; Thornton and Herrero, 2015; Nkhonjera, 2017; Liu, 2017; Dhakal, 2016) و لذا در این میان توجه ویژه‌ای به حفظ پایداری و توسعه منابع آب و انرژی‌های تجدیدپذیر و ارزان نظیر هیدروانرژی (Berga, 2016) معطوف کرده است (Georgeson et al, 2016). در این راستا یکی از اقدامات ضروری که می‌تواند تاثیر بسزایی در کنترل و صرفه‌جویی مصرف آب در یک حوضه آبریز داشته باشد، مدیریت آب در بخش کشاورزی است؛ زیرا به طور کلی بخش کشاورزی، پتانسیل بسیار بالاتری از سایر بخش‌ها به منظور صرفه‌جویی در مصرف آب دارد، تا آنجا که بهبود روش‌های انتقال آب برای آبیاری قادر است بطور میانگین حدود ۶۰ درصد آب مصرفی در بخش کشاورزی را کاهش دهد (Gao et al, 2014). شبکه‌های آبیاری کشاورزی به عنوان عمده مصرف کننده منابع آب معمولاً آب مورد نیاز خود را از سدهای بالادست تامین می‌کنند که این امر می‌تواند تغییراتی را در کمیت هیدروانرژی تولید شده در سدها بوجود آورد. از آنجا که تولید محصولات کشاورزی و تولید هیدروانرژی وابستگی مستقیم به منابع آب دارد (Van vliet et al. 2016) تحلیل اثر آن‌ها بر یکدیگر به منظور اتخاذ سیاست‌های مدیریتی بهینه در جهت ادامه نفع‌دهی سیستم‌های منابع آب امری اجتناب ناپذیر است. پژوهش‌های مختلفی در خصوص ارتباط بین هیدروانرژی و نحوه مدیریت منابع آب صورت گرفته است (Cervigni et al, 2015; Majone et al, 2015; Spalding-Fecher et al, 2016; Berga, 2016; Khan et al,

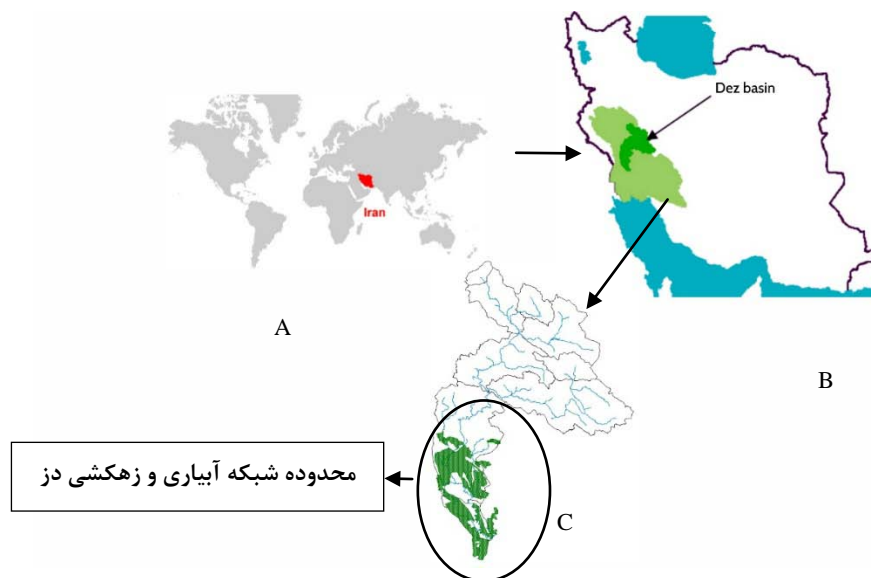
(2016; Garrote et al, 2015 Boehlert et al, 2016). ارزیابی تولید هیدروانرژی یکی از اصلی‌ترین قابلیت‌های مدل WEAP بوده که در خصوص آن پژوهش‌های متعددی در جوامع علمی بین‌المللی ارائه شده است (Zhang et al., 2017; Uhorakeye and Möller; Obahoundje et al., 2017). Spalding-Fecher و همکاران در سال ۲۰۱۷ به ارزیابی سناریوهای یکپارچه منابع آب و انرژی برقابی در حوضه زامزی آفریقا توسط مدل ارزیابی و برنامه ریزی منابع آب WEAP پرداختند در این مقاله اثر سناریوهای تغییرات اقلیمی به عنوان سناریو بلندمدت فرض شده بود و تاثیر آن بر تولید هیدروانرژی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که تولید هیدروانرژی در حوضه در شرایطی که اقلیم خشک تر شود، ۱۰ الی ۱۵ درصد کاهش می‌یابد و این درحالی است که مرطوب‌تر شدن حوضه تنها موجب افزایش ناچیزی در تولید می‌شود. Spalding-Fecher و همکاران در تحقیق دیگری (۲۰۱۶) به وسیله مدل یکپارچه منابع آب WEAP اثرات تغییر اقلیم احتمالی بر نیروگاه‌های تولید هیدروانرژی را بررسی کرد. این مطالعه با هدف آگاهی ذی‌نفعان و تصمیم‌گیرندگان، سناریوهای یکپارچه آب و برق را در مدل WEAP توسعه داد. نتایج این تحقیق بیان کرد که با در نظر گرفتن اثرات تغییر اقلیم نیاز عاجلی به توسعه طرح‌های تولید برق در سد بالادست می‌باشد و در آینده باید اولویت بیشتری به تامین هیدروانرژی داده شود. نصیری و جمالی (۱۳۹۵) به بررسی نوسانات تولید هیدروانرژی سد بختیاری تحت سناریوهای اقلیمی پرداختند. آن‌ها در این تحقیق با استفاده از سناریوهای A1B و A2 به ترتیب خوشبینانه‌ترین و بدبینانه‌ترین اثرات تغییر اقلیم را بر شاخص هیدروانرژی تولیدی بررسی کردند. در تحقیق مذکور با استفاده از مدل WG-LARS سناریوهای اقلیمی شبیه‌سازی شد و اثر آن بر تراز نرمال‌های مختلف نیروگاه سد بختیاری که در مدل WEAP شبیه‌سازی شده بود مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که تولید انرژی تحت تمامی سناریوهای بررسی شده به علت پیش بینی شرایط خشک‌تر در آینده، کاهش خواهد یافت. در چنین شرایطی که رابطه تنگاتنگی بین چالش‌ها و مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی برای منابع آب و تولید هیدروانرژی وجود دارد، ضروری است که جهت اتخاذ سیاست‌های موثر و یکپارچه انرژی و منابع آب قابل دسترسی به صورت یکپارچه مورد تحلیل قرار گیرند.

لذا با توجه به اینکه تاکنون شبیه‌سازی اثر افزایش راندمان آبیاری کشاورزی بر تولید هیدروانرژی سد در مطالعات مشابه مورد بررسی یکپارچه قرار نگرفته بود هدف پژوهش حاضر ارزیابی اثرات افزایش راندمان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در کاهش تقاضا از سد و در نتیجه بررسی کمیت هیدروانرژی تولیدی تحت این شرایط می‌باشد، سناریوهای مورد بررسی شامل دو افق زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت هستند که در مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی یکپارچه منابع آب WEAP شبیه‌سازی شده‌اند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشور ایران واقع در منطقه MENA با در اختیار داشتن ۱۷۳۲ متر مکعب آب تجدیدپذیر به ازای هر نفر در سال جزو یکی از مناطق دارای تنش آب زیاد در جهان می‌باشد (FAO, 2016). این کشور دارای ۶ حوضه آبریز اصلی است. یکی از مهم‌ترین این حوضه‌ها - که نقش اصلی را در تولید محصولات کشاورزی کل کشور را دارد - حوضه آبریز دز می‌باشد. حوضه آبریز دز زیر مجموعه‌ای از حوضه آبریز کارون بزرگ و در نهایت زیر مجموعه ای از حوضه دریای عمان و خلیج فارس می‌باشد. این حوضه با وسعت ۲۳۲۲۹ کیلومتر مربعی در مختصات جغرافیایی 32° و $35'$ تا 34° و $7'$ در مختصات شمالی و 48° و $20'$ تا 50° و $20'$ در مختصات شرقی و در جنوب غربی کشور ایران واقع است. یکی از رودخانه‌های بزرگ و بسیار مهم این حوضه، رودخانه دز می‌باشد که به منظور تامین نیازهای آبی سد مخزنی دز بر روی این رودخانه احداث شده است. بزرگترین مصرف کننده آب این ناحیه بی‌شک شبکه آبیاری و زهکشی دز می‌باشد که با سطح خالص ۱۱۱۰۰۰ هکتار آب مورد نیاز خود را از کانال‌های انتقال آب سد مخزنی دز که بر روی رودخانه دز واقع شده است تامین می‌کنند. نمای محدوده مطالعاتی در شکل ۱ و محل قرار گیری سد دز در شکل ۲ آورده شده است.



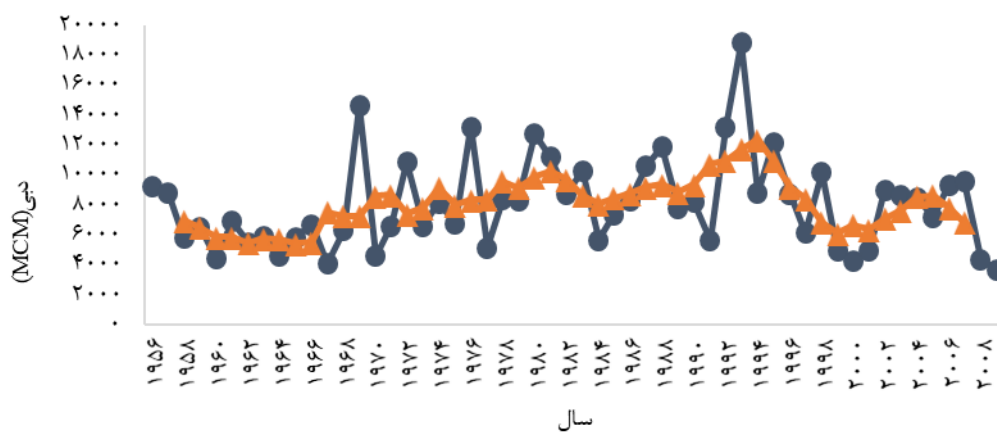
شکل ۱: منطقه مطالعاتی به همراه شکل حوضه دز (در شکل C زیر حوضه‌ها با رنگ سیاه، رودها با رنگ آبی و شبکه‌های آبیاری و

زهکشی دز با هاشور سبز رنگ مشخص شده‌اند)



شکل ۲: نقشه ماهواره‌ای شبکه آبیاری و زهکشی دز و محل سد مخزنی دز

نمودار سری زمانی طبیعی سازی شده تغییرات آورد رودخانه دز به همراه میانگین متحرک ۵ ساله آن در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳: تغییرات آورد رودخانه دز به سد مخزنی دز، (●) دبی طبیعی سازی شده، (▲) میانگین متحرک ۵ ساله دبی طبیعی سازی شده

آب انحرافی از سد دز از طریق کانال‌ها به سمت زمین‌های کشاورزی کل حوضه دز حدود ۴/۷۹۵ میلیارد متر مکعب می‌باشد که یک میلیارد متر مکعب آن به منظور انتقال آب بین حوضه‌ای در میانه راه و قبل از رسیدن به زمین‌های کشاورزی جدا شده و انتقال می‌یابد و عملاً ۳/۷۹۵ میلیارد متر مکعب آب به کشاورزی در این حوضه اختصاص می‌یابد که

سهم شبکه های آبیاری و زهکشی دز از این اختصاص به طور متوسط سالانه در حدود ۲/۲۰ میلیارد متر مکعب می باشد (نوییدی نساج، ۱۳۹۵). کشور ایران سالانه ۱۳۷۸۵ گیگاوات-ساعت انرژی برقی تولید می کند که از این نظر مقام چهارم در آسیا را به خود اختصاص داده است (انجمن بین المللی هیدروانرژی (IHA)، ۲۰۱۶) در این بین هیدروانرژی سالانه تولید شده از سد مخزنی دز بطور متوسط در حدود ۲۵۰۰ گیگاوات-ساعت می باشد. نیروگاه برقی مخزن سد دز با تعداد ۸ واحد توربین و ژنراتور که هرکدام قدرتی معادل ۶۵ مگاوات دارند دارای ظرفیت نیروگاهی ۵۲۰ مگاوات می باشد. با توجه به این که سد دز به منظور تامین نیاز بخش های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت ساخته شده و سالانه بخش قابل توجهی از آب این سد به شبکه های آبیاری کشاورزی اختصاص می یابد، یکی از راه های مقابله با کم آبی و افزایش توان تولید نیروگاه های برقی سدها، بهبود شاخص های عملکردی سیستم است. یکی از عوامل موثر بر شاخص های عملکردی سیستم افزایش راندمان آبیاری می باشد که در این مقاله مورد بررسی می باشد.

نیاز آبیاری و راندمان کل آبیاری کشاورزی

نیاز آبی محصولات کشاورزی شبکه آبیاری دز از روش توصیه شده در نشریه ۵۶ سازمان خوار و بار جهانی (FAO-56) توسط مدل CROPWAT برآورد شد. در این برنامه محاسبه آب مورد نیاز محصولات زراعی برای هر ده روز انجام می گیرد (دوره ده روزه) و برای تسهیل در محاسبات هر ماه به سه دهه تقسیم می شود. به منظور برآورد نیاز آبی توسط CROPWAT اطلاعات هواشناسی شامل: میانگین حداکثر و حداقل دما، درصد رطوبت، سرعت باد، روزهای آفتابی مورد نیاز می باشد؛ به این منظور از اطلاعات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دز فول استفاده شده که در نزدیکی اراضی کشاورزی این منطقه می باشد. این نرم افزار از رابطه پنمن مانتیس^۱ برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده می کند (رابطه ۱).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad \text{رابطه ۱:}$$

که ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع برحسب $\frac{mm}{day}$ ، R_n : تشعشع خالص برحسب میلیون ژول بر مترمربع بر روز

G : شدت جریان گرمایی خاک برحسب $\frac{MJ}{m^2.day}$ ، T : میانگین درجه حرارت هوا برحسب درجه سانتیگراد، u_2 :

سرعت باد در ارتفاع ۲ متری برحسب $\frac{m}{s}$ ، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع بر حسب کیلوپاسکال KPa ، Δ : شیب

^۱ -Penman monteith

تغییرات فشار بخار با درجه حرارت بر حسب کیلوپاسکال بر سانتیگراد $KPa^{\circ}C$ ، γ : عدد ثابت سایکرومتری بر حسب کیلوپاسکال بر سانتیگراد $KPa^{\circ}C$ ، ۹۰۰ و ۰/۳۴ نیز ضرایب ثابتی هستند که با ثابت فرض کردن ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ تعیین شده اند.

پارامتر مهم دیگر در برآورد نیاز آبی گیاهان در CROPWAT، باران موثر می‌باشد، در این پژوهش باران موثر با استفاده از رابطه بارش قابل اطمینان^۲ FAO/AGLW برآورد شده است (رابطه ۲ و ۳)

$$P_{eff} = 0.6 \times P - \frac{10}{3} \quad \text{for } P_{month} \leq \frac{70}{3} \text{ mm} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$P_{eff} = 0.8 \times P - \frac{24}{3} \quad \text{for } P_{month} > \frac{70}{3} \text{ mm} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که: P_{eff} : باران موثر، P : باران، P_{month} : باران ماهیانه می‌باشد.

در این پژوهش نیاز آبی برای کلیه گیاهان کشت شده در سطح اراضی کشاورزی برآورد شده است. به این منظور اطلاعات الگوی کشت سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ از سازمان آب و برق خوزستان اخذ شد. با توجه به ثابت نبودن سطح زیرکشت در الگوی کشت سال‌های مختلف، میانگین سطح زیرکشت به ازای سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ برای هر گیاه در نظر گرفته شد و بر این اساس آب مورد نیاز برآورد شد. بدیهی است برای برآورد نیاز آبی دسترسی به اطلاعات هر گیاه به طور مجزا لازم است که در این مطالعه کلیه ضرائب گیاهی مراحل مختلف رشد، تاریخ کاشت، اطلاعات گیاهی شامل: ارتفاع، طول ریشه، ضریب پاسخ به آبیاری، درصد تخلیه مجاز رطوبتی، ایستگاه‌های رشد (روز) برای هر مرحله از توسعه گیاه از سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان اخذ شد. آخرین پارامتری به منظور برآورد نیاز آبی در مدل CROPWAT مورد نیاز است اطلاعات خاکشناسی شامل: کل رطوبت قابل دسترس خاک^۳ (TAM)، حداکثر نرخ نفوذ باران^۴، حداکثر عمق ریشه^۵ و تخلیه اولیه رطوبتی خاک^۶ می‌باشد، در این مطالعه کلیه اطلاعات خاکشناسی مورد نیاز از سند ملی آب استخراج شده است.

جدول ۱ خلاصه این محاسبات را نشان می‌دهد. در جدول ۱ ستون نیاز نهایی با محاسبه ۷۰ درصد تلفات آبیاری در

روش آبیاری سطحی می‌باشد.

^۲ -Dependable rain

^۳ - Total available soil moisture

4- Maximum rain infiltration rate

5- Maximum rooting depth

6- Initial soil moisture depletion

جدول ۱: نتایج محاسبه نیاز آبی شبکه

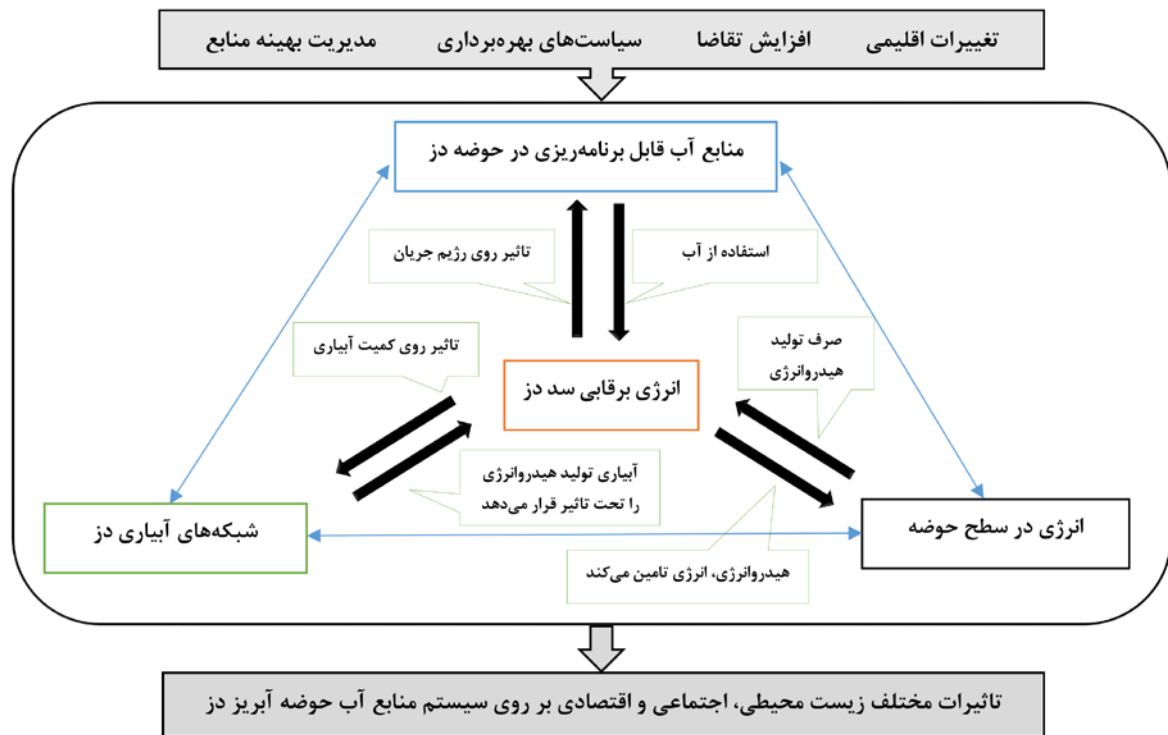
نیاز نهایی (MCM)	ماه
۱۱۷	فروردین
۱۱۸	اردیبهشت
۹۹	خرداد
۹۲	تیر
۱۱۶	مرداد
۱۶۳	شهریور
۶۰	مهر
۱۵	آبان
۴	آذر
۱	دی
۳۴	بهمن
۶۲	اسفند
۸۸۱	مجموع

با توجه به اینکه آب اختصاص یافته به شبکه آبیاری دز سالانه حدود ۲/۰۲۰ میلیارد مترمکعب می باشد بنابر این راندمان این شبکه با احتساب ۳۰ درصد تلفات مجاز در آبیاری مزرعه (Brouwer et al., 1989)، در حال حاضر حدود ۴۰ درصد می باشد و این درحالی است که سازمان FAO داشتن راندمان ۶۵ درصدی برای آبیاری سطحی را توصیه کرده است (Mulsch et al., 2017). بنابراین این پتانسیل وجود دارد که با اتخاذ تصمیمات مدیریتی به عنوان موثرترین راهکار در کنار سایر مواردی که بر روی تلفات آب موثر هستند، راندمان آبیاری در این شبکه را تا ۲۰ درصد نیز افزایش داد.

هیدروانرژی

در این مطالعه اثرات افزایش راندمان آبیاری بر میزان هیدروانرژی تولیدی سد دز بررسی خواهد شد به این ترتیب که میزان آب احیا شده به تبع افزایش راندمان حساب می شود و به عنوان صرفه جویی صورت گرفته در خصوص برداشت از

مخزن سد دز بشمار می آید، سپس میزان هیدروانرژی تولید شده ناشی از این صرفه جویی به مقدار عادی (بدون افزایش راندمان) هیدروانرژی اضافه می شود. شکل ۴ همبستگی بین تولید هیدروانرژی، منابع آب، شبکه های آبیاری، انرژی در سطح حوضه و سایر فرآیندهای موثر بر برنامه ریزی سیستم منابع آب حوضه دز و اثر آن بر حوضه آبریز را نشان می دهد.



شکل ۴: رابطه بین هیدروانرژی و سایر پارامترهای سیستم منابع آب حوضه دز

سناریوها

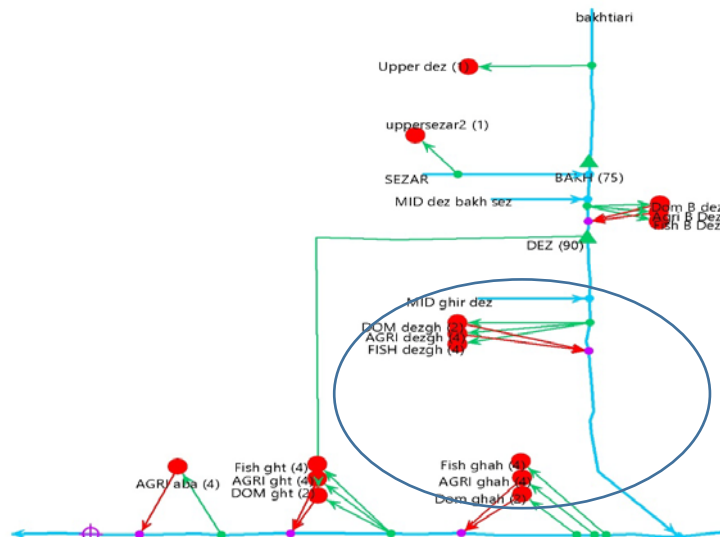
سناریوهای مورد استفاده در این مطالعه شامل افزایش تدریجی راندمان آبیاری شبکه دز در گام های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصدی در کنار کاهش تدریجی آورد ورودی به سد دز در گام های صفر، ۵ و ۱۰ درصد می باشد. شرح کامل سناریوها در جدول ۲ آورده شده است. سناریوها به ازای شرایط کوتاه مدت و بلندمدت شبیه سازی شده اند. در این مطالعه منظور از شرایط کوتاه مدت شرایطی است که سیستم با توجه به ظرفیت فعلی به کار خود ادامه می دهد و نیاز جدیدی به سیستم اضافه نشده در مقابل شرایط بلند مدت بیانگر وضعیتی است که سازه های آبی که هم اکنون در دست مطالعه (مرحله توجیهی) هستند به سیستم اضافه شده اند.

جدول ۲: سناریوهای شبیه‌سازی

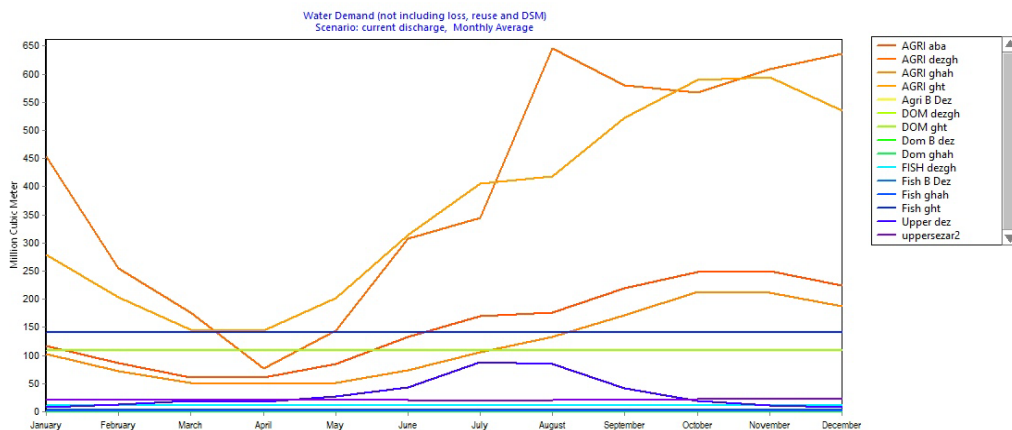
میزان کاهش آورد سد دز (درصد)	میزان بهبود راندمان (درصد)		شماره سناریو
	بلند مدت	کوتاه مدت	
۰	۵	۵	۱
۰	۱۰	۱۰	
۰	۱۵	۱۵	
۰	۲۰	۲۰	
۵	۵	۵	۲
۵	۱۰	۱۰	
۵	۱۵	۱۵	
۵	۲۰	۲۰	
۱۰	۵	۵	۳
۱۰	۱۰	۱۰	
۱۰	۱۵	۱۵	
۱۰	۲۰	۲۰	

مدل‌سازی یکپارچه حوضه

برای مدل‌سازی یکپارچه حوضه و مشاهده اثر سناریوهای اشاره شده، از مدل مفهومی WEAP که بر اساس معادله بیلان آب عمل می‌کند استفاده شد. مزیت اصلی WEAP در شبیه‌سازی یکپارچه سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها می‌باشد از سوئی دیگر استفاده از این مدل‌های یکپارچه ابزاری قدرتمند به منظور ارزیابی در مطالعات هیدروانرژی هستند (Vliet et al. 2016). شماتیک کلی حوضه در مدل به همراه اولویت‌های بهره‌برداری در شکل ۵ آورده شده است؛ مدل WEAP از اعداد صفر تا ۹۹ برای تخصیص اولویت به پر بودن سدها استفاده می‌کند؛ به این صورت که عدد صفر برای اولویت پر بودن و عدد ۹۹ برای اولویت رهاسازی کامل آب پشت سد می‌باشد. لذا اولویت بهره‌برداری از مخازن سدهای حوضه از وزارت نیروی کشور ایران اخذ شد که برای سد دز به دلیل تقاضاهای سرشار کشاورزی، آبی‌پروری، شرب و صنعت معادل ۹۰ اتخاذ شد. در این مطالعه حوضه مورد شبیه‌سازی شامل دز تا بندقیقیر می‌باشد. اطلاعات نقطه‌های مصرف شامل: زمین‌های کشاورزی حوضه، نیازهای شرب و صنعت، مراکز پرورش ماهی در محدوده و همچنین انتقال‌های بین حوضه‌ای می‌باشد که در مدل لحاظ شده است (شکل ۶). نیازهای زیست‌محیطی پایین‌دست نیز با توجه به ملاحظات وزارت نیرو در مدل لحاظ شده است (نوییدی‌نساچ، ۱۳۹۵؛ وزارت نیرو، ۱۳۹۲).



شکل ۵: شماتیک شبیه‌سازی شده در مدل WEAP (رودخانه، برداشت آب، سد، تقاضا، جریان برگشتی)



شکل ۶: اطلاعات نقاط مصرف

به منظور سنجش تاثیر افزایش راندمان، میزان بهبود راندمان به صورت ضریب در میزان تقاضای شبکه آبیاری دز تاثیر داده شد (جدول ۳) همچنین به منظور سنجش میزان کاهش آوردها، سری زمانی آورد رودخانه دز توسط ضریب ۵ و ۱۰ درصد کاهش داده شد. در مدل‌سازی با توجه به الگوی هیدرولوژی گذشته و تحلیل فرکانس جریان ورودی سالانه در نقطه نماینده رودخانه‌ها برای کلیه سناریوها از روش سالی-آبی نرمال استفاده شد (Sieber and Purkey, 2015). کلیه اطلاعات مورد نیاز به مدل به صورت ماهانه وارد شده است. سناریوها به عنوان زیرسناریوهایی از سناریو پایه که شرایط حال حاضر حوضه را مد نظر قرار گرفته تعریف شده‌اند که این مورد در سناریو اول ارائه شده؛ بطوری که مرحله نخست در سناریو اول شرایط فعلی حوضه را نشان می‌دهد.

جدول ۳: ضرایب مدل برای شبکه آبیاری دز

ضریب	نسبت	کل نیاز (MCM)	اختلاف (MCM)	سطح بهبود راندمان (%)	نیاز آبی شبکه (MCM)
۰/۹۷۹	۰/۰۲۱	۴۷۹۵	۱۰۱	۵	۲۰۲۰
۰/۹۵۸	۰/۰۴۲	۴۷۹۵	۲۰۲	۱۰	۲۰۲۰
۰/۹۳۷	۰/۰۶۳	۴۷۹۵	۳۰۳	۱۵	۲۰۲۰
۰/۹۱۶	۰/۰۸۴	۴۷۹۵	۴۰۴	۲۰	۲۰۲۰

در این مقاله تمام مشخصات فیزیکی و سازه‌ای مورد استفاده از مراجع معتبر و گزارش‌های مصوب سازمان آب و برق خوزستان مستخرج شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۲). با توجه به رشد و توسعه سریع مصارف و احداث سازه‌های متعدد تنظیم جریان از یک سو و از سوی دیگر عدم وجود منحنی‌های فرمان بهره‌برداری در سدها باعث شده است کالیبراسیون مدل شبیه‌سازی مورد استفاده در این سیستم عملاً امکان‌پذیر نباشد. لذا برای ایجاد یک بستر مقایسه‌ای منطقی، سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP) به عنوان مبنای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

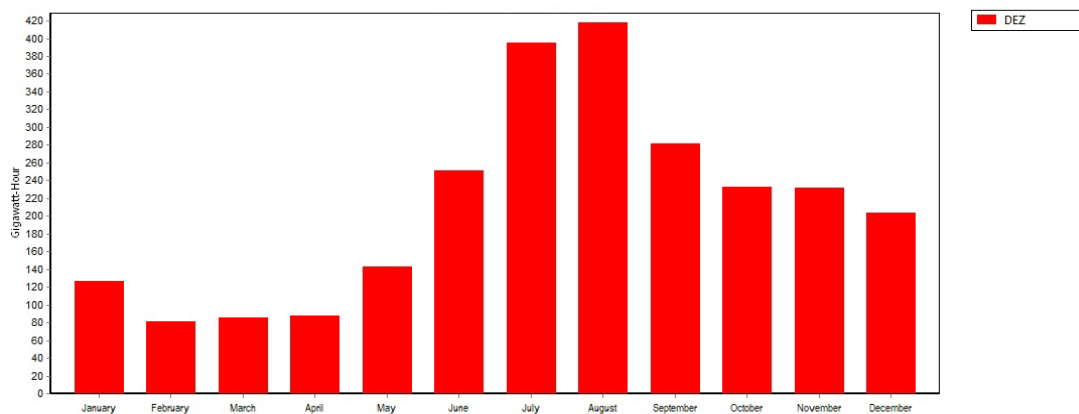
نتایج و بحث

نتایج بدست آمده پس از شبیه‌سازی در جدول ۴ ارائه شده است. خروجی‌های مدل به ازای شرایط متوسط ماهانه فعلی (شکل ۶)، متوسط ماهانه بهبود راندمان (شکل ۷) و متوسط ماهانه کاهش آورد (شکل ۸) در ادامه آورده شده است. با شبیه‌سازی سیستم منابع آب حوضه آبریز دز که کلیه منابع و مصارف این حوضه را به صورت یکپارچه در نظر می‌گیرد عدد تولید هیدروانرژی از سد مخزنی دز به ازای شرایط موجود معادل ۲۵۳۲/۱۲ گیگاوات ساعت برآورد شد که با عدد اعلام شده توسط مدیران سد و نیروگاه دز که در بخش مواد و روش‌ها به آن اشاره شد برابر می‌باشد، این امر گواه بر صحت مدل‌سازی حوضه نیز می‌باشد. با توجه به جدول ۴ و شکل ۹ مشخص می‌شود که به ازای شرایط کوتاه‌مدت در سناریو اول با افزایش راندمان شبکه آبیاری در گام‌های ۵ درصدی، هیدروانرژی تولیدی از نیروگاه سد دز بین ۲ الی ۳ گیگاوات ساعت در هر سال افزایش می‌یابد. همچنین در سناریو دوم امکان افزایش تولید هیدروانرژی به تبع افزایش راندمان بین ۱ الی ۴ گیگاوات ساعت در هر سال می‌باشد. در سناریو سوم حدوداً ۳ گیگاوات ساعت افزایش تولید هیدروانرژی به ازای هر بازه ۵ درصدی از بهبود راندمان مشاهده می‌شود. در مقایسه شرایط کوتاه‌مدت و بلندمدت نتایج نشان می‌دهد که به ازای کاهش دبی رودخانه‌های حوضه، سیستم برای رفع تقاضای سایر بخش‌ها مجبور است مقدار هیدروانرژی تولیدی را در حدود ۱۴۰ الی ۳۰۰ گیگاوات در سال کاهش دهد که وقوع چنین امری موجب به خطر افتادن تولید الکتریسیته می‌شود. طبق شکل ۹ مشخص است که در بلندمدت شرایط به مراتب وخیم‌تری وجود دارد. در بلندمدت اگرچه افزایش راندمان تاثیر موثرتری

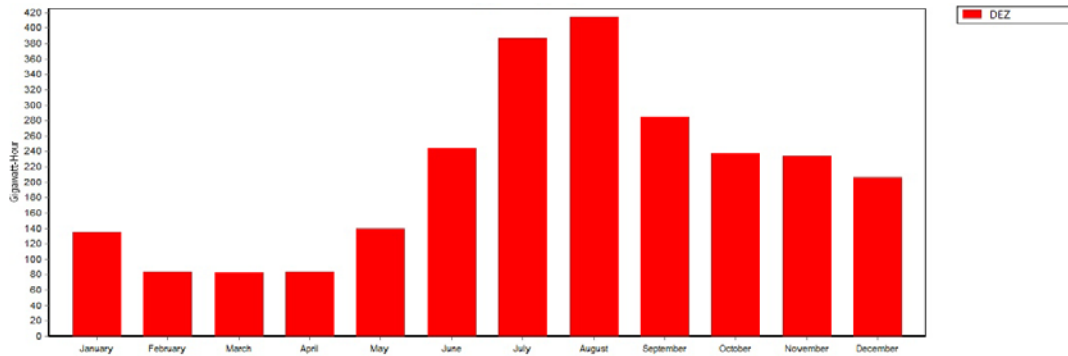
در تولید هیدروانرژی دارد اما کاهش آورد رودخانه‌ها به میزان ۵ و ۱۰ درصد بسیار محسوس‌تر است. در تحقیقی که بوسیله مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی GEOTRANSF انجام شد (Majone et al., 2016) نیز بر نقش منفی کاهش آورد بر تولید هیدروانرژی تاکید شده است.

جدول ۴: نتایج سناریوها

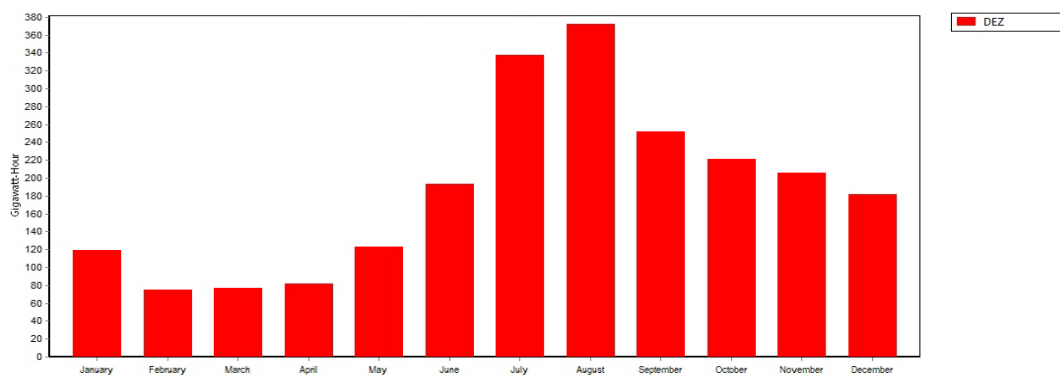
تولید هیدروانرژی (GWH)		کاهش آورد به سد دز (%)	بهبود راندمان (%)	شماره سناریو
بلند مدت	کوتاه مدت			
۲۴۱۷/۳۰	۲۵۳۲/۱۲	-	۰	۱
۲۴۲۰/۹۵	۲۵۳۴/۷۱	-	۵	
۲۴۲۴/۱۲	۲۵۳۶/۷۰	-	۱۰	
۲۴۲۶/۳۰	۲۵۳۷/۶۰	-	۱۵	
۲۴۲۷/۸۰	۲۵۳۷/۹۰	-	۲۰	
۲۲۶۶/۶۰	۲۳۹۲/۹۰	۵	۰	۲
۲۲۶۹/۲۰	۲۳۹۶/۳۰	۵	۵	
۲۲۷۲/۴۰	۲۳۹۷/۹۴	۵	۱۰	
۲۲۷۶/۳۰	۲۳۹۸/۵۰	۵	۱۵	
۲۲۷۸/۸۵	۲۴۰۱/۲۰	۵	۲۰	
۲۲۲۱/۱۵	۲۲۳۶/۴۶	۱۰	۰	۳
۲۱۲۴/۱۲	۲۲۳۷/۷۰	۱۰	۵	
۲۱۲۶/۹۰	۲۲۳۹/۹۳	۱۰	۱۰	
۲۱۳۰/۰۰	۲۲۴۲/۸۶	۱۰	۱۵	
۲۱۳۲/۰۰	۲۲۴۵/۶۰	۱۰	۲۰	



شکل ۶: خروجی متوسط ماهانه مدل به ازای شرایط فعلی

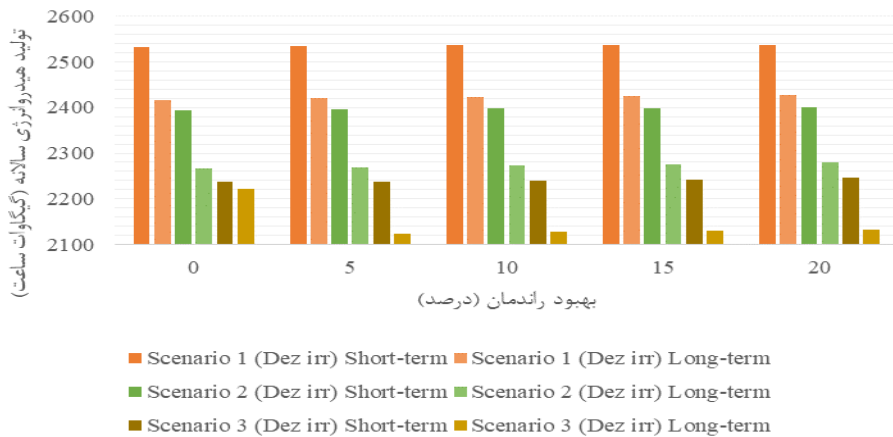


شکل ۷: خروجی متوسط ماهانه مدل به ازای شرایط بهبود راندمان آبیاری



شکل ۸: خروجی متوسط ماهانه مدل به ازای شرایط کاهش آورد

لذا همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده، در تمامی سناریوهای بلندمدت میزان هیدروانرژی تولیدی نسبت به شرایط مشابه در افق زمانی کوتاهمدت کاهش محسوسی داشته است. نتایج این تحقیق موافق با تحقیقات انجام شده توسط (Eliasson, 2015; Boehlert et al, 2016). بنابراین تاثیر افزایش راندمان بر تولید هیدروانرژی با استفاده از ارزش افزوده ناشی از تولید هیدروانرژی می تواند گزینه‌ای توجیه پذیر برای تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان حوضه دز باشد.



شکل ۹: مقایسه تغییرات تولید هیدروانرژی سد دز در سناریوها به ازای شرایط کوتاهمدت و بلندمدت

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به لزوم نگرش سیستمی و مدیریت یکپارچه منابع آب در دستیابی به توسعه پایدار، یکی از مواردی که می‌تواند مورد توجه ذی‌نفعان یک حوضه آبریز قرار بگیرد رابطه بین راندمان آبیاری و تولید هیدروانرژی می‌باشد. به این منظور حوضه آبریز دز با دارا بودن نزدیک به ۱۱۱۰۰۰ هکتار شبکه آبیاری و سد نیروگاه دز محل بسیار مناسبی برای بررسی رابطه متقابل بین راندمان آبیاری و تولید هیدروانرژی بود. در این تحقیق ابتدا با استفاده از برآورد نیاز آبی گیاهان راندمان آبیاری شبکه‌های آبیاری و زهکشی دز برآورد شد. سپس از نسبت بین آب تحویلی به شبکه و آب واقعی مورد نیاز راندمان این شبکه برآورد شد. نتیجه نشان داد که راندمان آبیاری حدود ۴۰ درصد می‌باشد و با توجه به مقدار توصیه شده راندمان آبیاری سطحی توسط سازمان FAO نویسندگان به این نتیجه رسیدند که امکان بهبود راندمان حتی تا مرز ۲۰ درصد نیز برای این شبکه وجود دارد. لذا با استفاده از شبیه‌سازی حوضه دز تا بند قیر اثر کاهش نیاز در شبکه آبیاری دز بر درخواست آب از سد مخزنی دز مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش راندمان آبیاری در کوتاه مدت حدود ۲ گیگاوات در سال و در بلندمدت حدود ۳ گیگاوات ساعت افزایش تولید هیدروانرژی رخ خواهد داد. نتایج بررسی شرایط بلندمدت نشان دهنده این واقعیت بود که در بلندمدت به دلیل افزایش تقاضای آبی در حوضه میزان تولید هیدروانرژی کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا خواهد کرد. اثرات افزایش راندمان در بلندمدت نیز مشابه حالت کوتاه‌مدت بدست آمد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل شده از این تحقیق می‌توان دریافت شرایط تولید هیدروانرژی در شرایط کاهش آورد با تهدید جدی مواجه خواهد شد و در این بین یکی از راه‌کارها برای مقابله با این وضع افزایش راندمان آبیاری می‌باشد؛ به طوری که با حفظ سطح زیرکشت تولید هیدروانرژی نیز افزایش یابد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی در جهت تکمیل مطالعه حاضر اثرات سناریوهای تغییر اقلیم گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم بر تولید هیدروانرژی مورد مطالعه قرار گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان ارزیابی اثرات افزایش راندمان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی حوضه دز بر شاخص‌های سیستم منابع آب، در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می‌باشد و به این وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از سازمان آب و برق خوزستان و سازمان هواشناسی استان خوزستان به جهت در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم اعلام می‌دارند.

منابع

- نصیری، ف و جمالی، س. (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد حوضه سد بختیاری در برابر سناریوهای مختلف اقلیمی، اولین کنفرانس بین المللی آب، محیط زیست و توسعه پایدار، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
- نویدی نساج، ب. (۱۳۹۵). ارزیابی اثرات افزایش راندمان شبکه های آبیاری و زهکشی حوضه دز بر شاخص های سیستم منابع آب، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز.
- نویدی نساج، ب.، ظهراپی، ن. و شهبازی، ع. (۱۳۹۵). برآورد راندمان کل آبیاری در شبکه آبیاری و زهکشی دز طی سال های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴، سومین کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنفرانس، https://www.civilica.com/Paper-ICSDA03-ICSDA03_054.html
- وزارت نیرو، شرکت سهامی آب و برق خوزستان. (۱۳۹۲). مطالعات مرحله اول افزایش تراز بهره برداری سد شهید عباسپور، گزارش برنامه ریزی منابع آب. زیستاب، کد گزارش: DA-TA-1-02.02. ۱۰۰ صفحه.
- Bartos, M.D. and Chester, M.V. (2015).** Impacts of climate change on electric power supply in the Western United States. *Nature Climate Change*. 5. pp: 748-752.
- Berga, L. (2016).** The Role of Hydropower in Climate Change Mitigation and Adaptation: A Review. *Engineering*. 2 (3), pp: 313-318.
- Boehlert, B., Strzepek, k.M., Gebretsadik, Y., Swanson, R., McCluskey, A., Neumann, J.E., McFarland, J. and Martinich, J. (2016).** Climate change impacts and greenhouse gas mitigation effects on U.S. hydropower generation. *Applied Energy*. 183, pp: 1511-1519.
- Brouwer, C., Prins, K. and Heibloem, M. (1989).** Irrigation water management: irrigation scheduling. FAO, Italy, 66p.
- Cervigni, R., Liden, R., Neumann, J.E. and Strzepek, K.M. (2015).** Enhancing the climate resilience of africa's infrastructure. International bank for reconstruction and development, the World Bank. Washington DC.
- Dhakal, S., Sedhain, G.K. and Dhakal, S.C. (2016).** Climate change impact and adaptation practices in agriculture: a case study of rautahat district, Nepal. *Climate*. 4 (63), pp: 1-22.
- Eliasson, J. (2015).** The rising pressure of global water shortages. *Nature*. 517 (6).
- FAO. (2016).** AQUASTAT Main Database, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Website accessed on [10/08/2017 19:34].
- Gao, H., Wei, T., Lou, I., Yang, Z., Shen, Z. and Li, Y. (2014).** Water saving effect on integrated water resource management. *Resources, Conservation and Recycling*. 93, pp: 50-58.

- Garrote, L., Granados, A. and Iglesias, A. (2016).** Strategies to reduce water stress in Euro-Mediterranean river basins. *Science of the Total Environment*. 543, pp 997-1009.
- Georgeson, L., Maslin, M., Poessinouw, M, and Howard, S. (2016).** Adaptation responses to climate change differ between global megacities. *Nature Climate Change*, 6, pp: 584-588.
- Hoff, H. (2011).** Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. (Stockholm Environ. Inst., Stockholm).
- International hydropower association (IHA). (2016).** Hydropower status report. England.
- Khan, Z., Linares, P. and García-González, J. (2017).** Integrating water and energy models for policy driven applications. A review of contemporary work and recommendations for future developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 67, pp 1123-1138.
- King, C. W., Holman, A. S. and Webber, M. E. (2008).** Thirst for energy. *Nature Geosci.* 1, pp: 283-286.
- Liu, J., Zhao, D., Gerbens-Leenes, P., Guan, D. (2015).** China's rising hydropower demand challenges water sector. *Nature Climate Change. Scientific Reports* 5, Article number: 11446.
- Liu, D. L., Zeleke, K.T., Wang, B., Macadam, I., Scott, F, and Martin, R.J. (2017).** Crop residue incorporation can mitigate negative climate change impacts on crop yield and improve water use efficiency in a semiarid environment. *European Journal of Agronomy*. 85, pp: 51-68.
- Liu, J., Wang, Y., Yu, Z., Cao, X., Tian, L., Sun, S. and Wu, P. A. (2017).** Comprehensive analysis of blue water scarcity from the production, consumption, and water transfer perspectives. *Ecological Indicators*. 72, pp: 870-880.
- Majone, B., Villa, F., Deidda, R. and Bellin, A. (2016).** Impact of climate change and water use policies on hydropower potential in the south-eastern Alpine region. *Science of the Total Environment*. 543 (B), pp: 965-980.
- Multsch, S., Shamy, M.E.E., Batarseh, S., Seid, A.H., Frede, H.G. and Breuer, L. (2017).** Improving irrigation efficiency will be insufficient to meet future water demand in the Nile Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 12, 315-330
- Nkhonjera, G.K. (2017).** Understanding the impact of climate change on the dwindling water resources of South Africa, focusing mainly on Olifants River basin: A review. *Environmental Science & Policy*. 71, pp: 19-29.
- Obahoundje, S., Antwi Ofosu, E., Akpoti, K. and Kabo-bah A. T. (2017).** Land Use and Land Cover Changes under Climate Uncertainty: Modelling the Impacts on Hydropower Production in Western Africa. *Hydrology*. 4(1).
- O'Neill, B., Oppenheimer, M., Warren, R., Hallegatte, S., Kopp, R.E., Pörtner, H.O., Scholes, R., Birkmann, J., Foden, W., Licker, R., Mach, K.J., Marbaix, P., Mastrandrea, M.D.,**

- Price, J., Takahashi, K., van Ypersele, J. and Yohe, G. (2017).** IPCC reasons for concern regarding climate change risks. *Nature Climate Change*. 7, pp: 28-37.
- Rothausen, S. G. S. A. and Conway, D. (2011).** Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector. *Nature Climate Change*. 1, pp: 210–219.
- Shang, Y., Lu, S., Ye, Y., Liu, R., Shang, L., Liu, C., Meng, X., Li, X. and Fan, Q. (2018).** China' energy-water nexus: Hydropower generation potential of joint operation of the Three Gorges and Qingjiang cascade reservoirs. *Energy*. 142, pp: 14-32.
- Sieber J. and Purkey, D. (2015).** Water Evaluation and planning system (WEAP) User Guide for WEAP. Stockholm Environment Institute, U.S. Center, 400p.
- Spalding-Fecher, R., Chapman, A., Yamba, F., Walimwipi, H., Kling, H., Tembo, B., Nyambe, I. and Cumamba, B. (2016).** The vulnerability of hydropower production in the Zambezi River Basin to the impacts of climate change and irrigation development. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global change*. 21 (5), pp: 721-742.
- Spalding-Fecher, R., Joyce, B. and Winkler, H. (2017).** Climate change and hydropower in the Southern African Power Pool and Zambezi River Basin: System-wide impacts and policy implications. *Energy Policy*. 103, pp: 84-97.
- Thornton, P.K. and Herrero, M. (2015).** Adapting to climate change in the mixed crop and livestock farming systems in sub-Saharan Africa. *Nature Climate Change*. 5, pp: 830-836.
- Uhorakeye, T. and Möller, B. (2017).** Impacts of expected climate change on hydropower generation in Rwanda. *African Journal of Engineering Research*. 5(3), pp: 83-96.
- Van vliet, M.T.H., Wiberg, D., Leduc, S. and Riahi, K. (2016).** Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature Climate Change*. 6. pp: 375-380.
- Zhang, Y., Gu, A., Lu, H. and Wang, W. (2017).** Hydropower Generation Vulnerability in the Yangtze River in China under Climate Change Scenarios: Analysis Based on the WEAP Model. *Sustainability*. 9(11).