

## ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری تحت تأثیر تغییر اقلیم بدون محدودیت منابع آبی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری بيله‌سوار، دشت مغان)

زهره دهقان<sup>۱\*</sup>، مهدی کوچک‌زاده<sup>۲</sup>، مهدی علی‌خاصی<sup>۳</sup> و فرشاد فتحیان<sup>۴</sup>

### چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد شبکه آبیاری بيله‌سوار است. در این راستا تحت سناریوهای A2 و B2 داده‌های دما و بارش با استفاده از مدل Hadcm3 برای دوره‌های اقلیمی آتی ۲۰۱۰-۳۹ و ۲۰۵۰-۸۰ برای منطقه تولید شدند. سپس تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه و نیاز آبی جدید برای ارزیابی عملکرد شبکه با این فرض که از نظر عرضه آب به شبکه هیچ‌گونه محدودیتی در آینده وجود نخواهد داشت، به مدل WaterGems داده شد. نتایج حاصل از ریز مقیاس کردن داده‌های دما و بارش نشان دادند که بحرانی‌ترین تغییرات مشاهده شده دما و بارش تحت سناریوی A2 و در ماه‌های ژوئن و جولای است. به طوری که در دوره ۲۰۱۰-۳۹ دما در این دو ماه به ترتیب ۲/۱ و ۲/۳ درجه سلسیوس افزایش و بارش ۲۱/۱ و ۳۸/۴ درصد کاهش و در دوره ۲۰۵۰-۸۰ این رقم‌ها برای دما به ترتیب ۴/۹ و ۵/۱ درجه سلسیوس افزایش و برای بارش ۵۲/۱ و ۵۷/۹ درصد کاهش، نسبت به دوره پایه خواهند داشت. نتایج ارزیابی نشان داد که با افزایش تقاضا در شبکه، شاخص‌های ارزیابی از جمله عدالت و کفایت توزیع فشار به ترتیب ۱۶/۷ و ۲۱/۵ درصد نسبت به دوره پایه افت پیدا خواهند کرد.

**واژه های کلیدی:** ارزیابی عملکرد، بيله‌سوار، تغییر اقلیم، شبکه‌های آبیاری، شاخص‌های ارزیابی.

**ارجاع:** دهقان ز. کوچک‌زاده م. علی‌خاصی م. و فتحیان ف. ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری تحت تأثیر تغییر اقلیم بدون محدودیت منابع آبی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری بيله‌سوار، دشت مغان). مجله پژوهش آب ایران. ۱۸: ۳۷-۴۶.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۴- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

\* نویسنده مسئول: [zohreh.dehghan64@gmail.com](mailto:zohreh.dehghan64@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۱۳

## مقدمه

براساس چهارمین گزارش IPCC افزایش دو برابر غلظت گازهای گلخانه‌ای در پایان قرن در اثر فعالیت‌های انسان سبب تغییرات اساسی در اقلیم جهانی در آینده خواهد شد. این افزایش غلظت بر افزایش دمای هوا و دیگر پارامترهای اقلیمی اثر منفی می‌گذارد که به این پدیده تغییر اقلیم گفته می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که متوسط دمای سالانه سطح جهان تا سال ۲۱۰۰ حدود ۱ تا ۳/۵ درجه سلسیوس افزایش یابد (IPCC, ۲۰۰۷). تغییر اقلیم در آینده می‌تواند تأثیر زیادی بر کشاورزی، به دلیل افزایش دما و وقوع خشکسالی و کاهش آب در دسترس گیاه، بگذارد و نیز عملکرد شبکه‌های آبیاری را تحت تأثیر قرار دهد (چاپوتی و جانسون، ۱۹۹۵). تلاش‌های بسیاری برای بررسی چگونگی تغییرات دما و بارش در آینده انجام شده است. از جمله مطالعات می‌توان به پژوهش آشفته و مساح (۱۳۸۸) که به بررسی اثر پدیده تغییر اقلیم بر دما و بارش در حوضه آیدوغموش پرداختند اشاره کرد که از روش تناسبی، برای ریزمقیاس کردن داده‌ها از نظر مکانی و از روش عامل تغییر، برای ریزمقیاس کردن زمانی داده‌ها استفاده کردند. محمدی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی گسترده چشم‌انداز تغییرات دما و بارش با تغییر اقلیم را برای تمام ایران بررسی کردند. تامسون و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از مدل HadCM3 و تحت دو سناریوی A2 و B2 در دشت شانگ‌های چین نشان دادند که تا سال ۲۰۸۵ در منطقه، بیشترین افزایش دما و بارش، نسبت به دوره ۲۰۳۰ وجود دارد. نکته مهم در این پژوهش، افزایش میزان بارش در دوره ۲۰۳۰ تحت دو سناریو A2 و B2 به میزان ۳۰ و ۲۵ تا ۷۵ میلی‌متر و به مقدار چشم‌گیری در دوره ۲۰۸۰ به میزان ۳۰۰ و ۱۰۰ تا ۲۴۰ میلی‌متر است. همچنین برانسل و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی گسترده‌ای از ۲۱ مدل GCM تحت سناریوی A1B پیش‌بینی و وجود عدم قطعیت در این مدل‌ها را بررسی کردند. واز و همکاران (۲۰۱۱) برای ارزیابی توزیع فصلی و روزانه بارش در شرق استرالیا از ۱۵ مدل GCM استفاده کردند. با بررسی اثر تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی در منطقه‌های مختلف دنیا، بیشتر بررسی‌ها نشان از کاهش عملکرد محصولات دارد. تاک و همکاران (۲۰۰۶) اثر تغییر اقلیم را بر عملکرد گیاهان دانه روغنی، غلات و گیاهان سوخت زیستی در شمال اروپا، ارزیابی کردند. آن‌ها با

استفاده از مدل‌های GCM و برخی از سناریوها نشان دادند که مقدار تولید محصولات بالا در شمال به دلیل افزایش دما افزایش، و در جنوب به دلیل خشکسالی‌های بیشتر، کاهش یافته است. در بخشی از غرب کالیفرنیا هایپن و مائوریر (۲۰۰۸) با در نظر گرفتن تغییرات احتمالی در تقاضای آب، پمپاژ آب‌های زیرزمینی، شوری خاک و عملکرد محصولات، افزایش زیاد تقاضای آب و کاهش عرضه آب تا ۳۰ درصد در سال ۲۱۰۰ را نسبت به شرایط فعلی پیش‌بینی کردند. ناکس و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی اثرات زمانی و مکانی تغییر اقلیم بر آب آبیاری مورد نیاز و عملکرد محصولات در منطقه‌ای در سوئیس پرداختند. آن‌ها با استفاده از سناریوهای A2 و B2 برای شرایط اقلیمی ۲۰۵۰ پیش‌بینی کردند که نیاز آبی ۲۰ تا ۲۲ درصد افزایش می‌یابد. در ایران نیز، کوچکی و نصیری (۱۳۸۷) در پژوهشی گسترده با استفاده از ۱۵ سناریوی مختلف، وضعیت تولید گندم را برای ۲۵ ایستگاه طراحی و شبیه‌سازی کردند.

برخلاف پژوهش‌های ذکر شده بالا، که در مورد اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی (دما و بارش) و عملکرد محصولات کشاورزی است، بیشتر پژوهش‌های انجام شده در مورد ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری سطحی و تحت فشار در شرایط اقلیمی کنونی است. به طوری که در بیشتر موردها از روش‌ها و مدل‌های متفاوت و متنوعی استفاده شده است. از جمله ابزارهای استفاده شده AKLA و ICARE (کالگو و همکاران، ۲۰۰۸) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (کروی جیت، ۲۰۰۶) و یا استفاده از ترکیبی از روش‌های مختلف است (ری و همکاران، ۲۰۰۲). از طرفی در تمامی پژوهش‌ها، ارزیابی شبکه‌ها با استفاده از تعریف برخی شاخص‌ها در دیدگاه‌های فنی، مدیریتی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی انجام شده است (مهدوی و منعم، ۱۳۸۸ و گارسیا بولانز و همکاران، ۲۰۱۱). اما از معدود پژوهش‌هایی که به ارزیابی شبکه در شرایط تغییر اقلیم به انجام رسیده است، پژوهش پرز یورستارزو و همکاران (۲۰۱۰) است. آن‌ها از مدل HadCM3 و سناریوهای پخش SRES برای تولید داده‌های اقلیمی در سه دوره، پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰)، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ استفاده و شبکه را با استفاده از دو شاخص آسیب‌پذیری (عدالت و کفایت) با شبیه‌سازی در مدل EPANET ارزیابی کردند. از پژوهش‌های مشابه دیگر

میلی‌متر در سال گزارش شده است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۰).

برای ارزیابی اثرات پدیده تغییر اقلیم، مدل‌های عددی تحت عنوان AOGCM توسعه یافته است، که فرآیندهای فیزیکی در جو، اقیانوس، یخ کره، سطح زمین و تغییرات سیستم آب و هوای جهانی را، در پی افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی می‌کند (ناکینوویک و همکاران، ۲۰۰۰). در این پژوهش از دو سناریوی A2 و B2 که متداول‌ترین سناریوهای مورد استفاده در بین این سناریوها هستند (مساح و مرید، ۱۳۸۴؛ تامسون و همکاران، ۲۰۰۶ و ناکس و همکاران، ۲۰۱۰) تحت مدل HADCM3 برای بررسی هدف موردنظر استفاده شدند. از مشکلات مدل‌های GCM بزرگ بودن در مقیاس زمانی و مکانی آن‌ها می‌باشد، برای کوچک کردن مقیاس داده‌ها و تبدیل آن‌ها از مقیاس جهانی به منطقه‌ای از روش وزندهی عکس فاصله (IDW)<sup>۱</sup> استفاده شد. در این روش میان‌یابی نقاط نمونه در طول درون‌یابی وزندهی می‌شوند. وزن‌های تخصیص داده شده برای نقاط نمونه، ضریب وزنی برای کنترل این است که چگونه وزن‌ها با فاصله از نقطه جدید افزایش می‌یابند. با افزایش فاصله از نقطه نامعلوم تأثیر نقطه معلوم کمتر شده و ضریب کمتری به خود می‌گیرد. مقدار کمیت موردنظر از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$Z^*(x_j) = \frac{\sum \frac{Z(x_i)}{(h_{ij} + S)^\rho}{1}}{\sum \frac{1}{(h_{ij} + S)^\rho}} \quad (1)$$

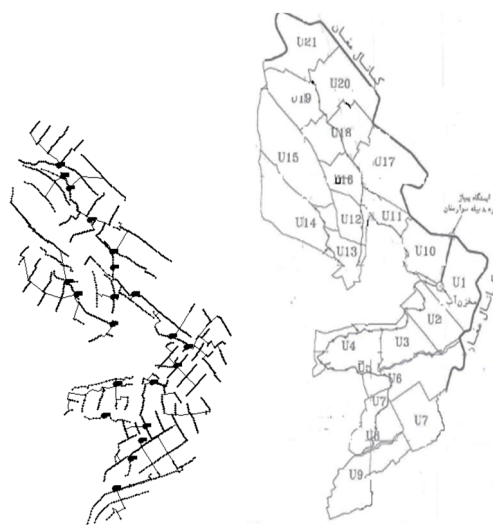
مقدار  $Z^*(x_j)$  مقدار کمیت تخمین زده در نقطه  $x_j$  مقدار کمیت اندازه‌گیری شده در نقطه  $x_i$ ،  $h_{ij}$  فاصله بین نقطه  $Z(x_i)$  و  $Z^*(x_j)$  و  $s$  فاکتور همواری و  $\rho$  نمای وزندهی است (شاه‌کرمی، ۱۳۸۸). در این پژوهش برای محاسبه میانگین بلندمدت ۳۰ ساله و به دست آوردن عامل تغییر، در محیط Matlab کدنویسی انجام شد و برای به دست آوردن سری زمانی سناریوهای اقلیمی در آینده، مقدار ضریب‌های به دست آمده از IDW به مقادیر مشاهده شده افزوده شد (شاه‌کرمی، ۱۳۸۸). در ادامه تبخیر و تعرق پتانسیل و نیاز آبی گیاه در دوره‌های آبی با داشتن

پژوهش کارآموز و همکاران (۲۰۱۱) است که به ارزیابی بهبود عملکرد شبکه‌های زهکشی شهری تحت شرایط تغییر اقلیم پرداخته‌اند.

با توجه به آنچه بیان شد، هدف از این پژوهش، بررسی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی (دما و بارش) و نیاز آبی تحت سناریوهای A2 و B2 در شبکه آبیاری بیل‌سوار است. در نهایت، عملکرد شبکه، با در نظر گرفتن عدم محدودیت در عرضه آب، با استفاده از شاخص‌های فنی و مدیریتی در شرایط تغییر اقلیم ارزیابی شد.

### مواد و روش‌ها

شبکه بیل‌سوار در غرب شهر بیل‌سوار در جلگه مغان استان اردبیل قرار دارد. وسعت کل اراضی تحت پوشش شبکه ۳۲۰۰ هکتار است که از ۲۱ واحد زراعی جدا از هم تشکیل شده است که هر واحد دارای ایستگاه پمپاژ و مخزن آبگیر مستقل هستند. شکل ۱ نقشه قرارگیری لوله‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ را در ۲۱ واحد زراعی نشان می‌دهد.



شکل ۱- شبکه بیل‌سوار در مدل WaterGems (شرکت سامان آبراه، ۱۳۷۹)

داده‌های هواشناسی مورد استفاده از آمار ۳۰ ساله (۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰) ایستگاه پارس آباد (در طول جغرافیایی ۴۷/۵۵ و عرض جغرافیایی ۳۹/۳۹) است که نزدیک‌ترین ایستگاه همدیدی به منطقه بیل‌سوار است. براساس همین آمار دمای متوسط، حداکثر و حداقل به ترتیب برابر با ۱۳/۷، ۳۰ و ۲/۳- درجه سلسیوس و متوسط بارش ۲۸۳

1- InverseDistanceWeighting

بیان کننده یکنواختی توزیع یا پراکندگی کفایت در بین آبگیرهای مختلف و نحوه چگونگی توزیع پارامتر موردنظر (فشار یا دبی) در آبگیرها است (رابطه (۳)).

$$PEq = \left( \frac{\overline{P_{pq}}}{P_{bq}} \right) \quad (3)$$

در این رابطه،  $\overline{P_{pq}}$  متوسط فشار در یک چهارم بدترین فشار در کل هیدرانت‌های شبکه و  $P_{bq}$  متوسط فشار در یک چهارم بهترین فشار در کل هیدرانت‌های شبکه است. چنانچه مقدار این شاخص برابر با یک باشد، نشان دهنده تعادل در توزیع فشار در بین نقاط شبکه است (پرز یورستارزو و همکاران، ۲۰۰۹).

#### شاخص نسبت حداکثر سرعت در لوله‌های انتقال آب ( $V_{max} TR$ )

این شاخص مشخص کننده نسبت بیشینه سرعت موجود در لوله‌های انتقال به حداکثر سرعت مجاز در نظر گرفته شده است (رابطه (۴)). از آنجا که با افزایش این نسبت میزان افت و احتمال وقوع ضربه قوچ در لوله‌ها افزایش می‌یابد و نیز یکنواختی پخش در شبکه کاهش می‌یابد، ارزیابی این شاخص مهم است.

$$V_{max} TR = \frac{V_{max} T}{V_{max} TP} - 1 \quad (4)$$

در این رابطه حداکثر سرعت اندازه‌گیری شده در لوله‌های انتقال بر حسب متر بر ثانیه و  $V_{max} TP$  بیشینه سرعت مجاز آب در لوله‌های انتقال بر حسب متر بر ثانیه است (مه‌دوی، ۱۳۸۷).

#### شاخص نسبت حداقل سرعت در لوله‌های انتقال آب ( $V_{min} TP$ )

این شاخص مشخص کننده نسبت کمینه سرعت در لوله‌های انتقال به حداقل سرعت مجاز است (رابطه (۵)).

$$V_{min} TR = \frac{V_{min} T}{V_{min} TP} \quad (5)$$

در این رابطه حداقل سرعت اندازه‌گیری شده در لوله‌های انتقال بر حسب متر بر ثانیه و  $V_{min} TP$  کمینه سرعت مجاز آب در لوله‌های انتقال بر حسب متر بر ثانیه است. کاهش این نسبت سبب احتمال رسوب ذرات ریز دانه در لوله‌های انتقال می‌شود (مه‌دوی، ۱۳۸۷).

متغیرهای اقلیمی آینده، از مدل Cropwat محاسبه شد.

#### ارزیابی عملکرد شبکه تحت شرایط تغییر اقلیم

برای سیستم‌های بزرگ شبکه‌های تحت فشار، ارزیابی عملکرد با استانداردهای فشار یا دبی مورد نیاز در نقاط آبگیری شبکه انجام می‌شود. برای اطمینان بیشتر از نیازهای کشاورزان، طراحان و مدیران اغلب زمان‌بندی تحویل آب را با درجه آزادی بالاتر برای کاربران براساس تقاضا انجام می‌دهند. در شرایط تغییر اقلیم که گیاه با افزایش تقاضای آب روبرو است، برای جلوگیری از تنش و کاهش عملکرد محصول باید نیاز گیاه به موقع و به مقدار کافی در زمان اوج تقاضا تأمین شود. این هدف در شبکه‌های آبیاری تحت فشار فقط در صورت طراحی مناسب این شبکه‌ها در شرایط تعریف شده‌ای از فشار و دبی مشخص برآورده خواهد شد (پرز یورستارزو و همکاران، ۲۰۰۹). در این پژوهش برای ارزیابی شبکه بیله‌سوار از دسته‌ای شاخص‌ها در دیدگاه مدیریتی، فنی و اقتصادی استفاده شده است که در ادامه تشریح می‌شوند.

#### شاخص کفایت توزیع فشار $P_{s/a}$

این شاخص بیان کننده چگونگی توزیع فشار در بین نقاط آبگیری شبکه است. این مقدار مشخص می‌کند که آیا فشار در نقطه موردنظر در حد کفایت است یا خیر (رابطه (۲)).

$$\left( \frac{P_{s/a}}{P_a} \right) = \left( \frac{P_s}{P_a} \right) \quad (2)$$

در این رابطه، فشار شبیه‌سازی اندازه‌گیری شده در نقطه موردنظر (فشاری که بعد از اجرای مدل در شرایط اقلیمی جدید در مدل در نقطه موردنظر به دست می‌آید) بر حسب متر،  $P_a$  - فشار طراحی شده در نقطه موردنظر است. چنانچه مقدار این شاخص کوچک‌تر از یک باشد، نشان دهنده آن است که آبگیر موردنظر در فشاری پایین‌تر از فشار لازم در حال کار است (گورانتیوار و اسموت، ۲۰۰۵ و پرز یورستارزو و اسموت، ۲۰۰۹).

#### شاخص عدالت توزیع فشار ( $PEq$ )

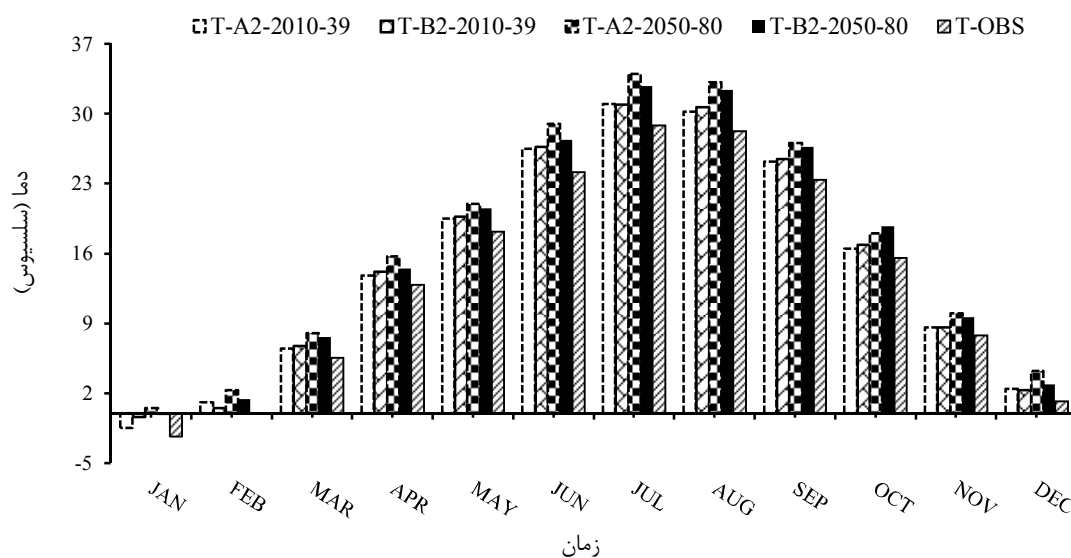
شاخص دیگری که برای ارزیابی شبکه مورد مطالعه استفاده شد، شاخص عدالت توزیع فشار است. این شاخص

## نتایج و بحث

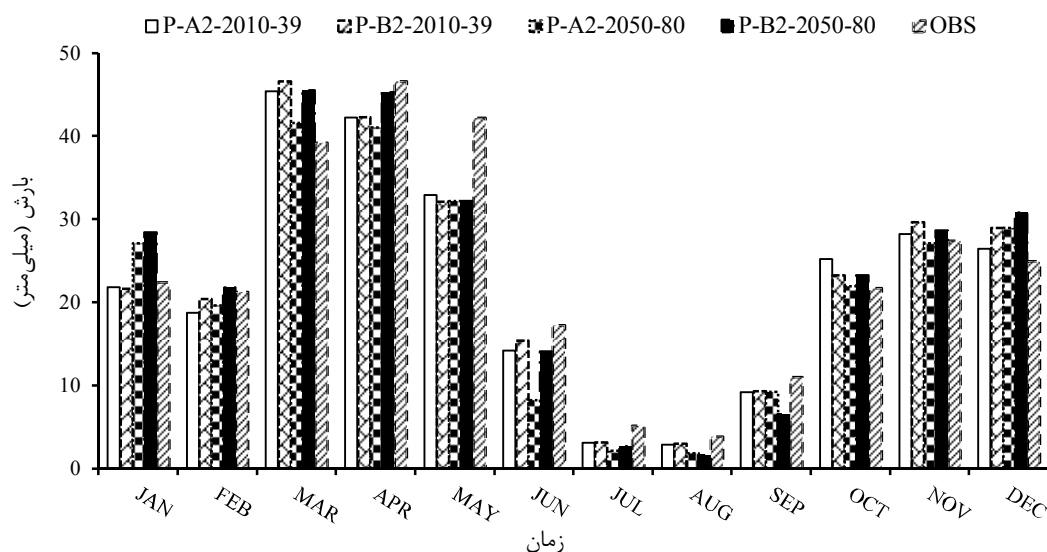
## داده‌های تغییر اقلیم

در این بخش نتایج حاصل از ریز مقیاس کردن داده‌های هواشناسی ارائه شده است. براساس شکل‌های ۲ و ۳ برای هر دو دوره آتی در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست بیشترین دما و کمترین میزان بارش دیده می‌شود. همچنین بیشترین افزایش دما در دوره ۲۰۱۰-۳۹ در ژوئن و به میزان ۲/۳ درجه سلسیوس و در دوره ۸۰-۲۰۵۰ در جولای به میزان ۵/۱ درجه سلسیوس رخ می‌دهد. در مورد بارش نیز، بیشترین کاهش بارش نسبت به دوره پایه در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست است. در

دوره ۸۰-۲۰۵۰ تحت سناریوی B2 درصد کاهش بارش بیشتر از سناریو A2 بوده است. نتایج به دست آمده با نتایج مطالعات مساح و مرید (۱۳۸۴) در ارزیابی تغییرات دما و بارش در حوضه زاینده و نیز آذرانفر و همکاران (۱۳۸۵) هماهنگی دارد. نکته مهم آن است که در دوره ۲۰۱۰-۳۹ افزایش دما در سناریوی B2 به طور ناچیز بیشتر از A2 بوده است اما در دوره ۸۰-۲۰۵۰، سناریوی A2 افزایش دمای بیشتری را نشان داده است. پس از بررسی نتایج، از بین دو سناریو، سناریوی A2 در هر دو دوره به‌عنوان سناریوی جدی‌تر برای ادامه محاسبات انتخاب شد.



شکل ۲- تغییرات دما در سه دوره مطالعاتی (OBS) ۱۹۷۰-۲۰۰۰، ۲۰۱۰-۳۹ و ۸۰-۲۰۵۰



شکل ۳- تغییرات بارش در سه دوره مطالعاتی (OBS) ۱۹۷۰-۲۰۰۰، ۲۰۱۰-۳۹ و ۸۰-۲۰۵۰

بررسی ۲۱ واحد زراعی نشان می‌دهد که دو واحد ۱۵ و ۱۹ از نظر نقاط تأمین فشار نسبت به سایر واحدها با آسیب‌پذیری بیشتری روبرو هستند. به عبارتی هرچه تقاضای آب در واحد زراعی بیشتر باشد، تعداد نقاط مشکل‌دار از نظر تأمین فشار در آینده افزایش خواهد یافت. بررسی‌های دبی و فشار در شبکه نیز نشان داد که تغییرات دبی و فشار به طور کامل با یکدیگر متناسب هستند. در چنین شرایطی شبکه از نظر تأمین فشار و دبی از نظر کفایت و عدالت با مشکل روبرو می‌شود.

#### شاخص عدالت توزیع فشار (PEq)

با توجه به رقم‌های جدول ۲ می‌توان دریافت، یکی از مهم‌ترین آسیب‌های وارده به شبکه در شرایط وجود تقاضای مازاد از سوی الگوی کشت، کاهش عدالت توزیع فشار است. با افزایش تقاضای آب در نقاط برداشت، شبکه براساس طراحی پیش‌بینی شده عمل نکرده و هماهنگی بین قسمت‌های مختلف شبکه با مشکل روبرو می‌شود. بررسی مقادیر این شاخص در ۲۱ واحد زراعی نشان می‌دهد که واحد ۱۴ کمترین میزان عدالت توزیع فشار در بین واحدها را دارد.

نتایج به دست آمده نشان از افت عملکرد شبکه بیل‌سوار در شرایط تغییر اقلیم داد که با توجه به نتایج پژوهش پرزیورستارزو و همکاران (۲۰۱۰) نیز تأیید می‌شود.

#### شاخص نسبت حداکثر سرعت در لوله‌های انتقال (VmaxTR)

برای آنکه بتوان از جریان به‌نسبت یکنواخت در لوله‌ها اطمینان به دست آورد، لازم است که وضعیت شبکه از نظر معیار بیشینه سرعت نیز ارزیابی شود (علیزاده، ۱۳۸۳). این مقادیر در جدول ۳ آورده شده است. دیده می‌شود که در دوره ۲۰۱۰-۳۹ و ۲۰۵۰-۸۰ سرعت بیشینه در لوله‌های انتقال به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد نسبت به دوره پایه افزایش نشان داده است. بیشینه مقدار افزایش بیش از سرعت مجاز در واحد ۱۹ به میزان ۲۰ درصد است. همچنین در برخی از واحدها این شاخص پایین‌تر از حد مجاز می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مقادیر در دوره ۲۰۱۰-۳۹ نسبت به دوره پایه افزایش کمتری را نشان می‌دهد اما در دوره ۲۰۵۰-۸۰ افزایش بیشتری دیده می‌شود.

در شکل ۴، تغییرات تبخیر و تعرق در منطقه در دوره پایه و دو دوره آتی تحت سناریوی A2 نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود تبخیر و تعرق از اواخر آوریل تا اواخر آگوست نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و در دوره ۲۰۵۰-۸۰ مقدار این افزایش بیشتر است. پژوهش فیچر و همکاران (۲۰۰۷) میزان افزایش تقاضای آب در آینده را در دنیا را تا ۴۵٪ نشان داد که نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند. نتایج این پژوهش با پژوهش ناکس و همکاران (۲۰۱۰) که نشان دادند نیاز آب آبیاری تا سال ۲۰۵۰، ۲۰ تا ۲۲ درصد افزایش می‌یابد، نیز هماهنگی دارد. همچنین در پژوهش‌های کهایس و همکاران (۱۳۸۹) تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و کوچکی و کمالی (۱۳۸۹) با فرض تداوم شرایط مدیریتی، افزایش نیاز آبی محصولات تحت دوره‌های اقلیمی دیده شد که نتایج این پژوهش را تأیید می‌کنند.



شکل ۴- تغییرات تبخیر و تعرق در سه دوره مطالعاتی (۱۹۷۰-۲۰۰۰) (OBS)، (۲۰۱۰-۳۹) و (۲۰۵۰-۸۰)

#### شاخص کفایت توزیع فشار (P<sub>s/a</sub>)

شاخص‌های خروجی‌های از مدل WaterGems در جدول ۱ ارائه شده است. با بررسی این شاخص مشاهده شد که از میان ۲۲۹۴ نقطه آبیگیری در نظر گرفته شده در شبکه، ۸۶۳ نقطه به طور همزمان آبیگیری می‌شوند که در دوره ۲۰۲۰ تعداد ۲۴۵ (۲۸٪ نقاط) و در دوره ۲۰۷۰ تعداد ۴۵۰ (۵۲٪ نقاط) بیشتر از دوره پایه، از نظر تأمین فشار در آینده با مشکل روبرو خواهند شد. همچنین

جدول ۱- حدود تغییرات شاخص کفایت توزیع فشار

۲۰۵۰-۸۰			۲۰۱۰-۳۹			پایه			دوره
$P_{s/a} < 1$	$P_{s/a} \text{ min}$	$P_{s/a} \text{ max}$	$P_{s/a} < 1$	$P_{s/a} \text{ min}$	$P_{s/a} \text{ max}$	$P_{s/a} < 1$	$P_{s/a} \text{ min}$	$P_{s/a} \text{ max}$	واحد زراعی
۲۸	۰/۵۸	۱/۰۷	۱۵	۰/۷	۱/۱	۱۱	۰/۸۳	۰/۲۴	۱
۲۵	۰/۷۳	۱/۱۳	۱۲	۰/۸۲	۱/۲۳	۵	۰/۹	۱/۳۱	۲
۲۸	۰/۴۸	۰/۹۱	۲۵	۰/۶۱	۱/۰۴	۱۶	۰/۷۱	۱/۱۴	۳
۲۸	۰/۶۲	۱/۱۵	۱۷	۰/۷۸	۱/۲۵	۱۱	۰/۸۹	۱/۳۲	۴
۹	۰/۴۸	۰/۵۲	۹	۰/۶	۰/۶۴	۹	۰/۷۱	۰/۷۵	۵
۳۶	۰/۴۹	۱	۳۱	۰/۶۳	۱/۱۶	۱۱	۰/۷۲	۱/۲۴	۶
۶۴	۰/۴۸	۱/۱۳	۵۶	۰/۵۸	۱/۲۴	۳۸	۰/۶۹	۱/۳۲	۷
۲۹	۰/۶۶	۱	۲۷	۰/۷۵	۱/۰۷	۲۵	۰/۸۲	۱/۱۱	۸
۳۱	۰/۷۳	۱/۱۶	۱۴	۰/۸۶	۱/۲۳	۶	۰/۹۶	۱/۳	۹
۴۲	۰/۷۳	۱/۱	۱۶	۰/۸۵	۱/۲۲	۲	۰/۹۵	۱/۳۱	۱۰
۲۷	۰/۸	۱/۰۶	۱۱	۰/۹	۱/۱۳	۳	۰/۹۶	۱/۱۹	۱۱
۲۳	۰/۴۵	۱/۱۲	۱۲	۰/۵۸	۱/۱۸	۹	۰/۶۷	۱/۲۳	۱۲
۱۶	۰/۶۱	۱/۰۹	۱۰	۰/۷۱	۱/۱۸	۵	۰/۷۸	۱/۲۳	۱۳
۷۲	۰/۴۱	۱/۰۴	۴۹	۰/۵۷	۱/۱۸	۳۱	۰/۶۹	۱/۲۸	۱۴
۸۹	۰/۵۹	۰/۹۲	۸۴	۰/۷۶	۱/۰۲	۳۷	۰/۸۵	۱/۱۲	۱۵
۲۵	۰/۶۱	۱	۱۹	۰/۷۶	۱/۱۱	۱۱	۰/۸۹	۱/۱۹	۱۶
۵۰	۰/۵	۰/۹۸	۴۶	۰/۶۴	۱/۰۷	۲۶	۰/۷۵	۱/۱۴	۱۷
۳۵	۰/۶۲	۰/۹	۳۰	۰/۷۶	۱/۰۵	۱۷	۰/۸۵	۱/۱۶	۱۸
۴۶	۰/۶۳	۱	۳۰	۰/۷۹	۱/۱۱	۱۶	۰/۸۹	۱/۲۱	۱۹
۴۰	۰/۶۲	۱	۳۳	۰/۷۶	۱/۱۳	۱۸	۰/۸۷	۱/۲	۲۰
۱۵	۰/۷۲	۱/۲۴	۷	۰/۹۱	۱/۳۲	۱	۰/۹۹	۱/۳۸	۲۱

جدول ۳- مقادیر شاخص حداکثر سرعت در لوله‌های انتقال

۲۰۵۰-۸۰	۲۰۱۰-۳۹	پایه	دوره
VmaxTR			واحد زراعی
۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۴	۱
۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۷	۲
۰/۱۲	۰/۰۵	۰	۳
۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۸	۴
۰/۰۶	۰/۶۵	۰/۶۶	۵
۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۸	۶
۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۰۲	۷
۰/۲۰	۰/۲۶	۰/۳۲	۸
۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۲۰	۹
۰/۱۸	۰/۱۰	۰/۰۴	۱۰
۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۸	۱۱
۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۰۶	۱۲
۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۰	۱۳
۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۱۴
۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۴	۱۵
۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۷	۱۶
۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۴	۱۷
۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۱۸
۰/۲۰	۰/۱۲	۰/۰۵	۱۹
۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۴	۲۰
۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۲۱

جدول ۲- حدود تغییرات شاخص عدالت توزیع فشار

۲۰۵۰-۸۰	۲۰۱۰-۳۹	پایه	دوره
PEq	PEq	PEq	واحد زراعی
۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۷۹	۱
۰/۷۸	۰/۸	۰/۸	۲
۰/۵۷	۰/۶۴	۰/۶۸	۳
۰/۷۹	۰/۷	۰/۷۳	۴
۰/۹۴	۰/۹	۰/۹	۵
۰/۷۳	۰/۷۸	۰/۸۱	۶
۰/۶۶	۰/۷	۰/۷۳	۷
۰/۷۶	۰/۸	۰/۸۲	۸
۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۸	۹
۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۸۷	۱۰
۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۹۱	۱۱
۰/۵۸	۰/۶۵	۰/۷۱	۱۲
۰/۷۴	۰/۷۸	۰/۸	۱۳
۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۶۶	۱۴
۰/۸	۰/۸۵	۰/۸۷	۱۵
۰/۷	۰/۷۶	۰/۸	۱۶
۰/۶۶	۰/۷۲	۰/۷۷	۱۷
۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۸۴	۱۸
۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۱	۱۹
۰/۶۹	۰/۷۵	۰/۹۴	۲۰
۰/۷۳	۰/۷۸	۰/۷۹	۲۱

این پژوهش برای دوره ۸۰-۲۰۵۰ این افزایش بیشتر است.

- به دنبال تغییرات اقلیمی، شبکه آبیاری تحت بررسی دچار اختلالاتی از نظر تأمین دبی و فشار خواهد شد. به طوری که دبی کل شبکه آبیاری از ۳/۷ در شرایط فعلی به ۴ و ۴/۳ متر مکعب بر ثانیه برای دو دوره آبی افزایش نشان داد.
- ارزیابی عملکرد شبکه نیز در دوره ۸۰-۲۰۵۰ نشان داد که شاخص عدالت توزیع فشار از ۰/۸۱ به ۰/۵۵ و کفایت آن از مقدار ۱/۰۳ به ۰/۵۹ افت پیدا می‌کند. همچنین شاخص نسبت حداکثر سرعت در بدترین حالت، ۲۰ درصد بیشتر از حد مجاز و شاخص نسبت حداقل سرعت به میزان ۰/۴ کمتر از حد مجاز را نشان می‌دهد.

#### منابع

۱. آذرانفر ا. ابریشم‌چی ا. و تجربی م. ۱۳۸۵. ارزیابی تغییرات بارش و دما بر اثر تغییر اقلیم با استفاده از خروجی مدل‌های چرخش عمومی. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. ۸ ص.
۲. آشفته پ. س. و مساح بوانی ع. ر. ۱۳۸۸. تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹. مجله دانش آب و خاک. ۹(۲): ۸۵-۹۸.
۳. سازمان هواشناسی کشور. ۱۳۹۰. [www.irmo.ir](http://www.irmo.ir)
۴. شاه‌کرمی ن. ۱۳۸۸. ارائه راهکارهای تطبیق با تغییر اقلیم با دخالت تحلیل ریسک و مدیریت جامع منابع آب در حوضه زاینده‌رود ایران. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران. ۲۵۰ ص.
۵. علیزاده ا. ۱۳۸۳. طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات آستان قدس رضوی. ۳۵۰ ص.
۶. کوچکی ع. ر. و کمالی غ. ع. ۱۳۸۹. تغییر اقلیم و تولید گندم در ایران. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۸(۳): ۵۰۸-۸۲۰.
۷. کوچکی ع. ر. و نصیری م. ۱۳۸۷. تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO2 بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۶(۱): ۱۳۹-۱۵۳.
۸. کهایش ن. اندرزیان ب. و دادنیا م. ر. ۱۳۸۹.

#### شاخص نسبت حداقل سرعت در لوله‌های انتقال (VminTR)

اهمیت این شاخص به دلیل جلوگیری از رسوب ذرات رس و لای و کاهش ظرفیت انتقال در شبکه است. با توجه به مقادیر این شاخص (جدول ۴) دیده می‌شود که در کل ۲۱ واحد، حداقل سرعت به میزان زیادی کاهش می‌یابد. به طوری که حداقل سرعت در لوله‌ها در بین ۲۱ واحد زراعی به طور تقریبی به یک نسبت کاهش می‌یابد.

جدول ۴- مقادیر شاخص حداقل سرعت در لوله‌های انتقال

دوره	پایه	۲۰۱۰-۳۹	۲۰۵۰-۸۰
واحد زراعی	VminTR		
۱	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۵۵
۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۵۸
۳	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۴۳
۴	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۶۳
۵	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۳
۶	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۴۷
۷	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۵۲
۸	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۴۸
۹	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۳۵
۱۰	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۴۷
۱۱	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۶۳
۱۲	۰/۴۰	۰/۴۳	۰/۳۷
۱۳	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۳۳
۱۴	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۵۰
۱۵	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۵۰
۱۶	۰/۴۰	۰/۴۲	۰/۴۳
۱۷	۰/۴۸	۰/۳۷	۰/۳۸
۱۸	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۴۸
۱۹	۰/۵۸	۰/۶۲	۰/۶۷
۲۰	۰/۴۵	۰/۳۳	۰/۳۷
۲۱	۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۴۲

#### نتیجه‌گیری

این پژوهش تلاشی برای بررسی پدیده تغییر اقلیم در منطقه بيله‌سوار و اثر آن بر شاخص‌های ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری، تحت سناریوهای اقلیمی مختلف است. یافته‌های این پژوهش به شرح زیر ارائه می‌شوند:

- نتایج ریزمقیاس شده دما در منطقه برای دو دوره آبی تحت سناریوی A2 و B2 نشان دادند که سناریوی B2 دما در دوره ۲۰۱۰-۳۹ را کمی بیشتر از A2 نشان می‌دهد اما، به طور کلی سناریوی A2 شرایط شدیدتری را به دنبال خواهد داشت.
- به طور کلی منطقه به سمت افزایش دما و کاهش بارش در آینده میل می‌کند. از پیامدهای تغییرات محرک‌های اقلیمی افزایش نیاز آبی گیاه است که در



19. Gorantiwar S. D. and Smout I. K. 2005. Performance assessment of irrigation water management of heterogeneous irrigation schemes- a framework for evaluation. *Irrigation and Drainage Systems*. 19: 1-36
20. Hopmans J. W. and Maurer E. P. 2008. Impact of climate change on irrigation water availability, crop water requirements and soil salinity in the sjv, ca. technical completion reports, university of california water resources center, ucberkeley. 17 p.
21. IPCC. 2007. Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. cambridge university press, Cambridge.
22. Karamouz M. and Hosseinpour A. Drainage system performance under climate change impact- case study. *Journal of Hydrologic Engineering*. 16(5): 395-412.
23. Knox J. W. Rodríguez Díaz J. Nixon D. and Mkhwanazi M. 2010. A preliminary assessment of climate change impacts on sugarcane in swaziland. *Agricultural Systems*. 103: 63-72.
24. Kruijt A. H. 2006. A validation study of remote sensing techniques in irrigation performance assessments. m.sc. thesis, santiago del estero university. Argentina. 250 p.
25. Nakicenovic N. G. Davis B. De vries J. Fenhann S. Gaffin K. Gregory A. grübler T. Y. Jung T. Kram E. L. Larovere L. Michaelis S. Mori T. Morita W. Pepper H. Pitcher L. Price K. Raihi A. Roehrl H. H. Rogner A. Sankovski M. Schlesinger P. Shukla S. Smith R. Swart S. Van Rooijen N. and Victorand dadi Z. 2000. *Ipc special report on emissionscenarios*. cambridge university press, cambridge, unitedkingdom and new york, ny, usa. 612 p.
26. Perez urrestarazu L. Diaz J. A. R. Poyato E. C. and Luque R. L. 2009. Quality of service in irrigation distribution networks- case of palos de la frontera irrigation district (spain). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 135(6): 755-762.
27. Perez urrestarazu L. Smout I. K. Rodriguez diaz J. A. and Carrillo cobo M. T. 2010. Irrigation distribution networks' vulnerabilityto climate change. *Journal of Irrigation and Drainage*. performance assessment of small irrigation schemes along the mauritanian banks of the senegal river. 136(7): 486-493.
28. Ray S. S. Dadhwal V. K. and Navalgund R. R. 2002. Performance evaluation of an irrigation commandarea using remote sensing: a case studyof mahi command, gujarat, india. *Agricultural Water Management*. 56: 81-91.
29. Thomson A. M. Izaurralde R. C. Rosenberg N. J. and He X. 2006. Climate change impacts on agriculture and soil carbon sequestration potential in the huang-hai plain of china. *Agriculture. Ecosystems and Environment*. 114: 195-209.
- شبيهه سازي تأثیر تنش خشكي بر رشد و عملکرد گندم تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل CERES-WEAT. فصلنامه نظام مهندسي کشاورزي و منابع طبيعي. ۷(۲۷): ۶۷-۶۲.
۹. گزارش اول شرکت مهندسی سامان آبراه. ۱۳۷۹. ۳۰۰ ص.
۱۰. محمدی ح. مقبل م. و رنجبر ف. ۱۳۸۹. مطالعه تغییرات بارش و دمای ایران با استفاده از مدل MAGICC SCENGEN. فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران. ۸(۲۵): ۱۲۵-۱۴۲.
۱۱. مساح بوانی ع. و مرید س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی حوضه زاینده رود اصفهان. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*. ۱(۱۱): ۴۰-۴۷.
۱۲. مهدوی پ. ۱۳۸۷. توسعه مدل ارزیابی عملکرد سیستم‌های انتقال و توزیع آبیاری تحت فشار با استفاده از روش کلاسیک (PAPIS). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۷۰ ص.
۱۳. مهدوی پ. و منعم م. ج. ۱۳۸۸. توسعه مدل ارزیابی عملکرد سامانه‌های انتقال و توزیع آبیاری تحت فشار با استفاده از روش کلاسیک. دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران. ۱۴ ص.
14. Brunsell N. A. Jones A. R. Jackson T. L. and Feddema J. J. 2010. Seasonal trends in air temperature and precipitation in ipcc ar4 gcm output for kansas, usa- evaluation and implications. *International Journal of Climatology*. 30: 1178-1193.
15. Calejo M. J. Lamaddalena N. Teixeira J. L. and Pereira L. S. 2008. Performance analysis of pressurized irrigation systems operating on-demand using flow-driven simulation models. 95: 154-162
16. Chiotti Q. P. and Johnston T. 1995. Extending the boundaries of climate change research- a discussion on agriculture. *journal. rural studies*. 11: 335-350.
17. Fischer G. Tubiello F. N. Van Velthuisen H. and Wiberg D.A. 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements: effects of mitigation, 1990-2080. *Technological Forecasting and Social Change*. 74: 1083-1107.
18. Garcia-bolanos M. Borgia C. Poblador N. Dia M. Seyid M. M. V. and Mateos L. 2011. Performance assessment of small irrigation schemes along the mauritanian banks of the senegal river. *Agricultural Water Management*. 98: 1141-1152.

30. Tuck G. Glendining M. J. Smith P. House J. I. and Wattenbach M. 2006. The potential distribution of bioenergy crops in europe under present and future climate. biomass and bioenergy. 30: 83-197.
31. Vaze J. Teng J. and Chiew F. 2011. Assessment of gcm simulations of annual and seasonal rainfall and daily rainfall distribution across southeast australia. Hydrological Processes. 25(9): 1486-1497.