

## بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آبی استان مازندران

### آزاده اذعانی

(دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه زابل) (ezani1387@gmail.com)

### شهاب عراقی نژاد

(استادیار، عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه تهران) (shahab\_araghinejad@yahoo.com)

### بهزاد شیفته صومعه

(دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه زابل) (b.shifteh.s@gmail.com)

### چکیده

در تحقیق حاضر، ابتدا با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و آزمون سن، روند پارامترهای اقلیمی و آثار ناشی از تغییر اقلیم روی منابع آبی سه ایستگاه سینوپتیک بابلسر، نوشهر و رامسر تحت سناریوی اقلیمی A2 و مدل گردش عمومی CGCM3 برای دوره آماری 2001-2100 مورد بررسی قرار گرفت. کوچک مقیاس سازی خروجی مدل CGCM3 توسط مدل SDSM انجام شد. نتایج کوچک مقیاس سازی برای درصد تغییر دمای متوسط و بارش سالانه در 90 سال آینده (2011-2100) برای ایستگاه-های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب 8/8، 3/6 و 3/5 درصد و 14-، 16/2- و 10/4+ درصد محاسبه شد. این تغییرات می‌تواند اثرات قابل توجهی در منابع آب منطقه داشته باشد. برای بررسی چنین اثراتی همبستگی میان منابع آب اصلی منطقه با میزان بارندگی و متوسط دما بررسی شده و تغییرات منابع آب در مقابل چنین تغییراتی در متغیرهای هواشناسی منطقه بررسی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، منابع آبی، مدل گردش عمومی، کوچک مقیاس سازی، استان مازندران

### مقدمه:

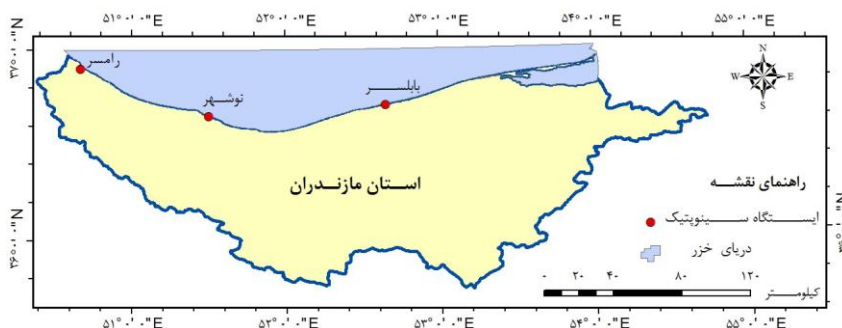
پدیده‌ی تغییر اقلیم، افزایش دمای کره‌ی زمین و محدودیت منابع آبی از مهم‌ترین چالش‌های امروزه‌ی زیست محیطی جهان است. ایران کشوری گرم و خشک با منابع آبی محدود می‌باشد، مطالعات در زمینه تغییر اقلیم برای آمادگی و برنامه‌ریزی جهت مقابله با این تغییرات بسیار ضروری می‌باشد. هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم بیان کرده است که تکرار و شدت وقایع حدی مانند خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها با افزایش اثرات پدیده تغییر اقلیم، رو به افزایش است. این در حالی است که حتی تغییر کوچکی در متغیرهای هیدرولوژیکی می‌تواند منجر به تغییرات محسوسی در عملکرد سیستم‌های منابع آب شود.

از این رو بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب از ضروریات برنامه ریزی و مدیریت سیستم‌های منابع آب کشورها، به ویژه کشورهای نیمکره شمالی (از جمله ایران)، می‌باشد، هیئت بین المللی تغییر اقلیم<sup>۱</sup> (2001). اکثر تحقیقات تغییر اقلیم بر تاثیر آن روی منابع آب متمرکزاند، زکستر و لویسیگا<sup>۲</sup> (1993)، آلن و همکاران<sup>۳</sup> (2004)، برویر و همکاران<sup>۴</sup> (2004)، گرین و همکاران<sup>۵</sup> (2007)، سو و همکاران<sup>۶</sup> (2007)، سبک و همکاران<sup>۷</sup> (2007)، سرات-کاپدویلا<sup>۸</sup> و همکاران (2007). ویسی و همکاران<sup>۹</sup> (2009) بر روی برهمکنش تغییر اقلیم و آب موجود برای کشاورزی برای تولید غلات در چین تحقیق و اعلام نمودند که تولید غلات تا سال 2040 بیش از 40٪ کاهش خواهد یافت. مساح و مرید (1384) تحقیقاتی را بر روی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر منابع آب و کشاورزی حوضه زاینده رود اصفهان و راه های تطبیق با آن، با استفاده از مدل گردش عمومی در دو دوره 2010-2039 و 2070-2099 انجام دادند و از روش‌های زمین‌آماري برای افزایش دقت وضوح مکانی داده‌ها، برای کوچک‌مقیاس سازی استفاده نمودند. تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی باعث گسترش خشکسالی‌ها و تداوم آن‌ها شده است و همچنین این تغییر باعث عدم توزیع یکنواخت بارش می‌گردد که این موضوع بر منابع آبی تاثیرگذار است، خسروی و همکاران (1389). پدیده تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد که در کشور کمتر به آن پرداخته شده است. این تحقیق تلاشی بوده تا تاثیر این پدیده بر منابع آب استان مازندران بررسی و ارزیابی گردد. برای این امر روند تغییرات دما و بارش در استان مازندران برای گذشته و میزان تغییرات در آینده بررسی گردید و نیاز آبی منطقه در شرایط حاضر و تغییر اقلیم محاسبه شد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه

استان مازندران با مساحت 23756 کیلومترمربع بین طول شرقی  $50^{\circ} 21'$  و  $54^{\circ} 8'$  و عرض شمالی  $35^{\circ} 46'$  و  $36^{\circ} 58'$  در شمال ایران واقع شده است که از شمال به دریای خزر و از جنوب به رشته کوه البرز منتهی می‌گردد، شکل (1). سه ایستگاه مورد مطالعه در منطقه ساحلی واقع اند که بافت خاک این مناطق، سنگین تا خیلی سنگین بوده و کشت غالب، برنج می‌باشد. آب و هوای مازندران با توجه به وجود دریا، کوه و جنگل به دو نوع معتدل مرطوب و کوهستانی تقسیم می‌شود. میانگین بارندگی سالانه در نوار ساحلی استان برابر با 977 میلیمتر است.



شکل (1): نقشه موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

- 1 - Intergovernmental Panel on Climate Change
- 2 - Zekster and Loaiciga
- 3 - Allen *et al.*
- 4 - Brouyère *et al.*
- 5 - Green *et al.*
- 6 - Hsu *et al.*
- 7 - Scibek *et al.*
- 8 - Serrat-Capdevila *et al.*
- 9 - Wei *et al.*

## روش تحقیق

برای انجام تحقیقات تغییر اقلیم پیش از هر کاری ابتدا نیاز به آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم می‌باشد. برای این کار با استفاده از آزمون‌های روند، داده‌های مشاهده شده‌ی دما و بارش منطقه تجزیه و تحلیل شدند. در این تحقیق از آزمون‌های ناپارامتری روند من-کندال<sup>۱</sup> و تخمینگر شیب سن<sup>۲</sup> استفاده شده است.

آزمون روند من-کندال (من<sup>۳</sup> (1945)، کندال و گیونز<sup>۴</sup> (1990))، یک همبستگی رتبه‌ای بین مرتبه مقادیر مشاهده شده و سری زمانی‌شان می‌باشد. فرض مورد بررسی در این آزمون به صورت:  $H_0 =$  داده‌ها روند ندارند و  $H_1 =$  داده‌ها دارای روند هستند، می‌باشد. اگر  $X_1, X_2, \dots, X_n$  مشاهدات مورد نظر باشند، آنگاه داریم:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

با فرض اینکه داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس S از روابط زیر بدست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

در رابطه بالا: n: تعداد داده‌ها، m: تعداد گره‌ها و t: تعداد داده در هر گره می‌باشد. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره m ام برابر t می‌باشد. آماره این آزمون (Z) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی که  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$  باشد، در سطح اطمینان  $\alpha$  فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (وجود روند)، در صورتی که  $S > 0$  باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که  $S < 0$  باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود.

اگر روند خطی در یک سری زمانی وجود داشته باشد، آنگاه می‌توان مقدار شیب را (تغییر به ازاء هر واحد زمانی) توسط یک روش ناپارامتری که توسط سن<sup>۵</sup> در سال 1968 ارائه شد و تخمینگر شیب سن نامیده می‌شود، برآورد نمود. ابتدا شیب بین هر جفت داده مشاهداتی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

1 -Mann-Kendall  
2 -Sen's slope estimator  
3 -Mann  
4 - Kendall and Gibbons  
5 -Sen

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (6)$$

در حالیکه  $i = 1, 2, \dots, N$  و  $x_k$  و  $x_j$  به ترتیب داده‌های مشاهداتی در زمان  $k$  و  $j$  می‌باشند. با اعمال رابطه فوق برای هر جفت داده یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده بدست می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند،  $Q_{med}$  حاصل می‌گردد. اگر  $N$  فرد باشد  $Q_{med} = Q_{[(N+1)/2]}$  و اگر زوج باشد  $Q_{med} = \frac{1}{2}(Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]})$ . سپس باید پارامتر  $C_\alpha$  در سطح اطمینان مورد نظر توسط رابطه زیر محاسبه گردد:

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{var}(s)} \quad (7)$$

در رابطه بالا  $Z$  آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد.  $\text{var}(s)$  نیز از رابطه 4 بدست می‌آید. سپس حدود اعتماد بالا و پایین  $M_1 = (N + C_\alpha)/2$  و  $M_2 = (N - C_\alpha)/2$  محاسبه می‌گردد. حال اگر مقادیر  $M_1$  امین و  $M_2 + 1$  امین شیب به گونه‌ای باشد که عدد صفر بین آن‌ها قرار گیرد به عبارت دیگر یکی مثبت و دیگری منفی باشد، فرض صفر پذیرفته شده و سری زمانی هیچگونه روندی نخواهد داشت.

اگر داده‌های مشاهده شده را بوسیله لگاریتم طبیعی ( $\ln$ ) تبدیل نماییم، سپس آزمون سن را بر روی آن‌ها اجرا کنیم، با استفاده از فرمول ناپارامتری زیر می‌توان مقدار شیب یا درصد تغییر در طول دوره را محاسبه نمود، هلسل و هیرش<sup>1</sup> (1992)، لهمان و همکاران<sup>2</sup> (2005):

$$\Delta T = (e^S - 1) 100t \quad (8)$$

$\Delta T$  درصد تغییر در طول دوره،  $S$  همان شیب آزمون سن یا  $Q_{med}$  محاسبه شده از روابط بالا و  $t$  طول دوره‌ی روند می‌باشد. در مرحله بعد نتایج یکی از مدل‌های گردش عمومی جو در محدوده مورد نظر بر اساس سناریوی محتمل از اقلیم آینده تهیه و جمع‌آوری شد. بطور کلی مدل‌های گردش عمومی الگوی ثابتی را برای تغییر اقلیم فراهم می‌کنند. برای شبیه‌سازی تغییر اقلیم، کدهای کامپیوتری که بر اساس معادلات ریاضی مشتق شده از فیزیک می‌باشند بکار می‌رود که تابعی از سیستم جوی زمین هستند، کاندلا و همکاران<sup>3</sup> (2009). مدل‌های گردش عمومی جو مدلی هستند که به منظور شبیه‌سازی اقلیم حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند و قادر هستند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند، زو<sup>4</sup> (1999). این مدل‌ها در مقیاس مکانی معمولاً جو را به 5 تا 20 لایه نامساوی شبکه بندی می‌کنند. این لایه‌ها در نزدیکی سطح زمین بوده و لایه‌های نزدیک به سطح فواصل کمتری با یکدیگر دارند. بدیهی است که محدودیت محاسبات معادلات دینامیک سیالات در این مدل‌ها بطور توأم، ابعاد شبکه‌های مکانی و زمانی می‌باشد. اغلب مدل‌های گردش عمومی برای اجرا نیاز به ابر رایانه‌ها دارند. در این تحقیق از نتایج مدل CGCM3، نسل سوم از مدل‌های جفت شده‌ی گردش عمومی جو که در مرکز کانادایی توسعه یافته، تحت سناریوی A2 از مجموعه سناریوهای اقتصادی-اجتماعی SRES استفاده شده است. دقت مکانی این مدل 3/7 درجه طول و عرض جغرافیایی است. سناریو A2 بدلیل اینکه بدترین شرایط را نسبت به سناریوهای موجود داشت انتخاب گردید.

داده‌های مدل‌های گردش عمومی معمولاً در شبکه‌هایی به اضلاع 150 تا 300 کیلومتر اندازه‌گیری می‌شوند. تبدیل داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی به داده‌های منطقه‌ای، محلی و یا ایستگاهی کوچک مقیاس‌سازی نامیده می‌شود، زو (1999). کوچک مقیاس‌سازی به دو روش دینامیکی و آماری انجام می‌گردد. در این تحقیق از روش کوچک مقیاس‌سازی آماری توسط نرم افزار SDSM استفاده شده است.

1 - Helsel and Hirsch

2 - Lehmann et al.

3 - Candela et al.

4 - Xu

## نتایج و بحث

مقادیر  $Z$  و  $Q_{med}$  به ترتیب برای آزمون‌های من-کندال و تخمینگر شیب سن در جدول (1) ارائه شده است. بارش در بیشتر ماه‌ها روند کاهشی نشان داده است اما این روند در اکثر ماه‌ها معنی‌دار نمی‌باشد. بارش نوشهر در ماه آگوست در سطح احتمال 99٪ روند کاهشی داشته است همچنین بارش سالانه بابلسر روند معنی‌دار افزایشی در سطح احتمال 95٪ نشان داد. دمای متوسط ماهانه بابلسر در ماه‌های بیشتری نسبت به رامسر و نوشهر دارای روند مثبت معنی‌دار می‌باشد. دمای متوسط آگوست رامسر و نوشهر و سپتامبر رامسر دارای روند معنی‌دار صعودی در سطح احتمال 99٪ می‌باشد. دمای متوسط سالانه در هر سه ایستگاه دارای روند معنی‌دار افزایشی می‌باشد. با توجه به جدول (1) می‌توان نتیجه گرفت که افزایش درجه حرارت در استان مازندران طی نیم قرن اخیر به وضوح قابل مشاهده است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دمای بابلسر با شیب بیشتری نسبت به نوشهر و رامسر صورت گرفته است که این افزایش درجه حرارت در آینده می‌تواند اثرات منفی بر منابع آبی منطقه داشته باشد.

جدول (1): نتایج آزمون‌های روند استان مازندران

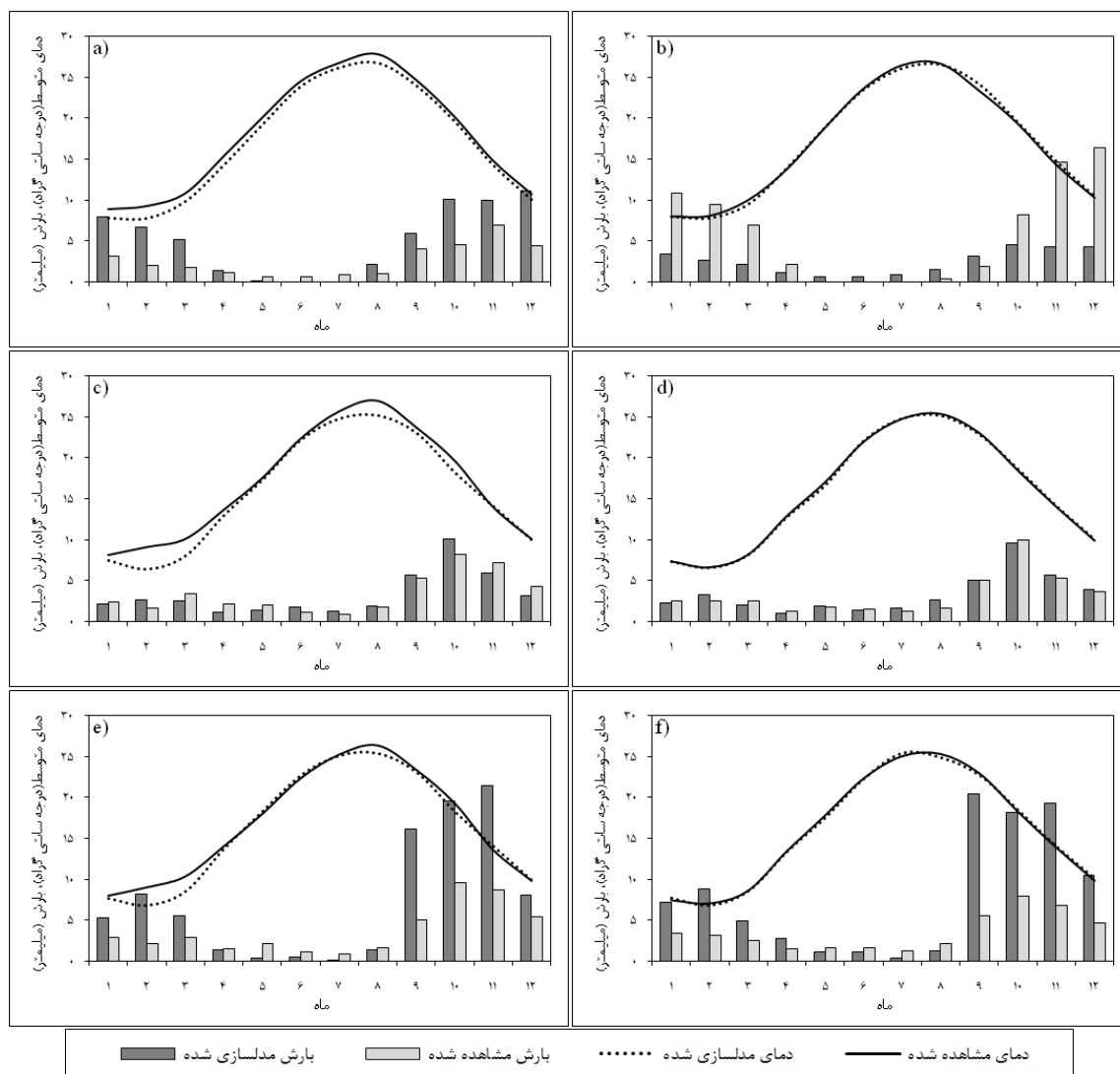
سری زمانی		دمای متوسط						بارش					
		بابلسر		رامسر		نوشهر		بابلسر		رامسر		نوشهر	
Z	$Q_{med}$	Z	$Q_{med}$	Z	$Q_{med}$	Z	$Q_{med}$	Z	$Q_{med}$	Z	$Q_{med}$	Z	$Q_{med}$
ژانویه	0/019	1/47	-0/001	-0/15	0/03	1/21	0/03	0/46	-0/02	0	-0/02	0/46	0/11
فوریه	0/018	1/12	-0/005	-0/32	0/05	1/82 <sup>+</sup>	0/05	-0/45	-0/12	-0/32	-0/32	-0/45	-0/12
مارچ	0/03 <sup>*</sup>	2/24 <sup>*</sup>	0/022	1/36	0/061 <sup>*</sup>	2/04 <sup>*</sup>	0/061 <sup>*</sup>	-0/07	-0/05	0/14	0/2	-0/07	-0/05
آوریل	0/44 <sup>**</sup>	4/29 <sup>**</sup>	0/013	1/35	0/02	0/68	0/02	-0/89	-0/36	0/73	0/47	-0/89	-0/36
می	0/019 <sup>*</sup>	2/02 <sup>*</sup>	-0/003	-0/36	0/02	0/78	0/02	-0/02	-0/01	-0/6	-0/28	-0/02	-0/01
ژوئن	0/031 <sup>**</sup>	3/38 <sup>**</sup>	0/013	1/41	0/02	0/89	0/02	-1/12	-0/49	-0/1	-0/12	-1/12	-0/49
جولای	0/022 <sup>**</sup>	2/89 <sup>**</sup>	0/016 <sup>*</sup>	2/14 <sup>*</sup>	-0/01	-0/25	-0/01	-0/16	-0/02	0/59	0/2	-0/16	-0/02
آگوست	0/03 <sup>**</sup>	3/3 <sup>**</sup>	0/032 <sup>**</sup>	2/88 <sup>**</sup>	0/071 <sup>**</sup>	3/42 <sup>**</sup>	0/071 <sup>**</sup>	-2/04 <sup>*</sup>	-0/73 <sup>*</sup>	-2/9 <sup>**</sup>	-2/34 <sup>**</sup>	-2/04 <sup>*</sup>	-0/73 <sup>*</sup>
سپتامبر	0/025 <sup>**</sup>	2/94 <sup>**</sup>	0/027 <sup>**</sup>	2/82 <sup>**</sup>	0/01	0/39	0/01	0/31	0/29	0/55	1/22	0/31	0/29
اکتبر	0/029 <sup>**</sup>	2/59 <sup>**</sup>	0/021	1/94 <sup>+</sup>	0/06	1/6	0/06	0/92	1/19	0/93	1/56	0/92	1/19
نوامبر	0/034 <sup>**</sup>	3/24 <sup>**</sup>	0/013	1/31	-0/01	-0/32	-0/01	-0/43	-0/47	0/86	2	-0/43	-0/47
دسامبر	0/029 <sup>*</sup>	2/35 <sup>*</sup>	0/001	0/06	-0/003	-0/04	-0/003	0/16	0/05	0/21	0/22	0/16	0/05
سالانه	0/28 <sup>**</sup>	5/14 <sup>**</sup>	0/014 <sup>*</sup>	2/04 <sup>*</sup>	0/04 <sup>**</sup>	2/89 <sup>**</sup>	0/04 <sup>**</sup>	2/44 <sup>*</sup>	3/26 <sup>*</sup>	0/39	1/59	-0/21	-0/9

\*\*\*، \*\*، \*، +، به ترتیب در سطح احتمال 99٪، 95٪ و 90٪ معنی‌دار می‌باشد.

با استفاده از درجه حرارت و بارندگی مشاهده شده در ایستگاه‌ها، کالیبراسیون مدل SDSM انجام شد، نتایج کالیبراسیون و مرحله صحت سنجی با استفاده از بارندگی و دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل CGCM3 و بارش و دمای مشاهده شده در ایستگاه‌ها، به منظور مقایسه عملکرد مدل کوچک مقیاس سازی در شکل (2) ارائه شده است. شبیه‌سازی داده‌های بارندگی با خطای بیشتر و همبستگی کمتری صورت گرفته است که می‌تواند بدلیل همبستگی کم بین پارامترهای NCEP با بارش مشاهده شده باشد. بارش شبیه‌سازی شده رامسر نسبت به دو ایستگاه دیگر، تطابق بیشتری با داده‌های مشاهده شده دارد. در مجموع همبستگی بالایی بین مقادیر کوچک مقیاس شده و تاریخی ایستگاه‌ها مشاهده شد. این موضوع بیانگر صحت خروجی‌های مدل SDSM می‌باشد.

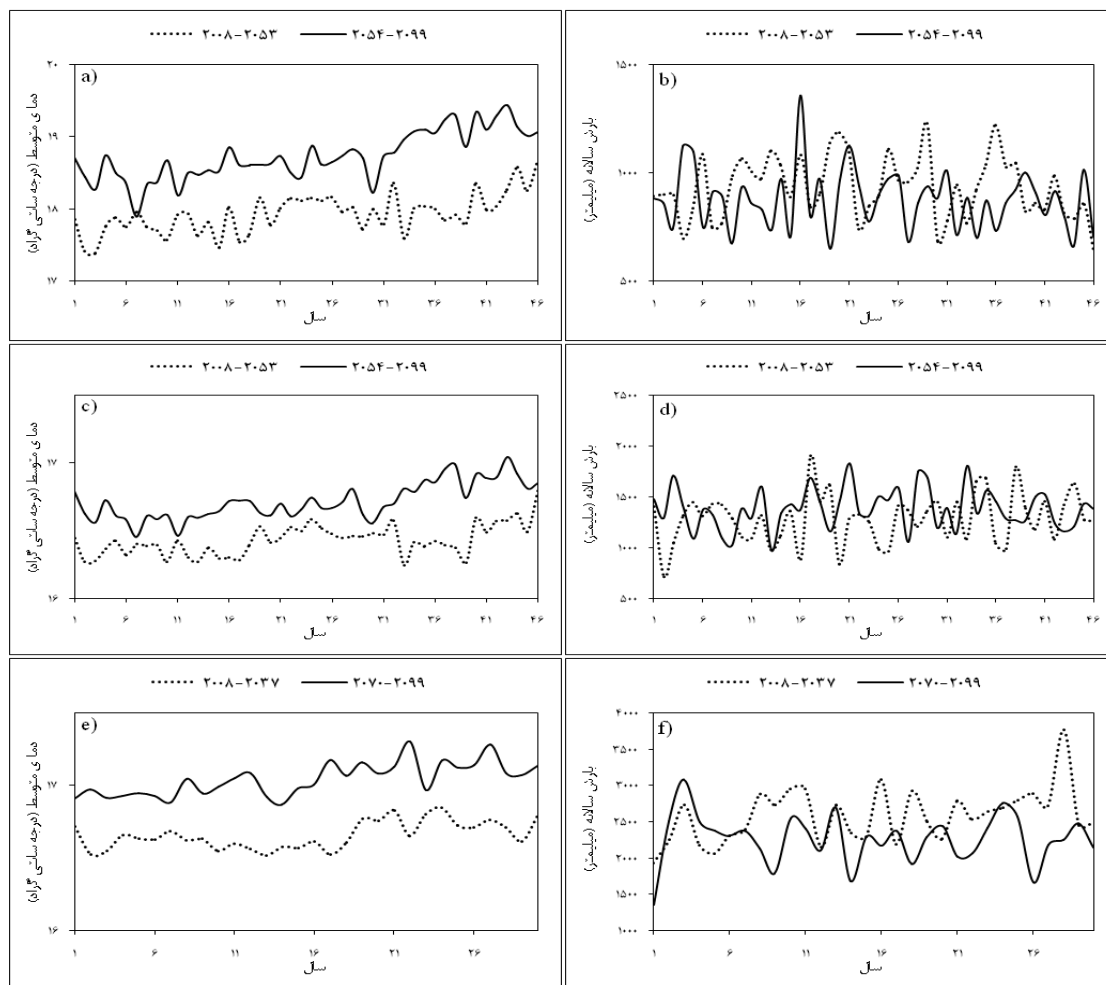
در شکل (3) مقادیر شبیه‌سازی شده بارش و دمای میانگین مدل CGCM3 برای دو دوره متفاوت در آینده نشان داده شده است. دمای میانگین 46 سال دوم بابلسر و رامسر تفاوت فاحشی با 46 سال اول دارد همچنین این افزایش برای دو دوره زمانی 30

ساله نوشهر قابل مشاهده است که این بیانگر افزایش دما تا سال 2100 می‌باشد. در مورد بارش این تفاوت در رامسر و بابلسر واضح نیست. در بعضی از سال‌ها افزایش بارش و در بعضی از سال‌ها کاهش بارش را تا سال 2100 نشان می‌دهد اما بارش نوشهر در اکثر سال‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که افزایش دما تا سال 2100 در بابلسر بیشتر از دو ایستگاه دیگر و بطور متوسط تقریباً 1 درجه است.



شکل (2): نمودار ارزیابی عملکرد مدل کوچک مقیاس سازی (a) کالیبراسیون - بابلسر (1995-2003)، (b) صحت سنجی - بابلسر (2000-2003)، (c) کالیبراسیون - رامسر (1999-2003)، (d) صحت سنجی - رامسر (1976-2000)، (e) کالیبراسیون - نوشهر (1999-2003)، (f) صحت سنجی - نوشهر (1977-2000)

درصد تغییر دما و بارش برای دوره‌های مشاهده شده و دو دوره 50 ساله، 45 ساله و 30 از آینده به ترتیب برای سه ایستگاه بابلسر، رامسر و نوشهر با استفاده از رابطه 8 محاسبه و نتایج در جدول (2) ارائه شده است. کاهش بارش برای تمام ایستگاه‌ها بجز رامسر و افزایش دما برای تمام ایستگاه‌ها، در تمام دوره‌های زمانی، قابل رؤیت می‌باشد. نکته دیگر این است که تغییرات در دوره آینده کمتر از دوره تاریخی می‌باشد.



شکل (3): مقایسه پارامترهای اقلیمی مدل‌سازی شده در دور دوره‌ی آینده (a) دمای متوسط بابلسر، (b) بارش سالانه بابلسر، (c) دمای متوسط رامسر، (d) بارش سالانه رامسر، (e) دمای متوسط نوشهر و (f) بارش سالانه نوشهر

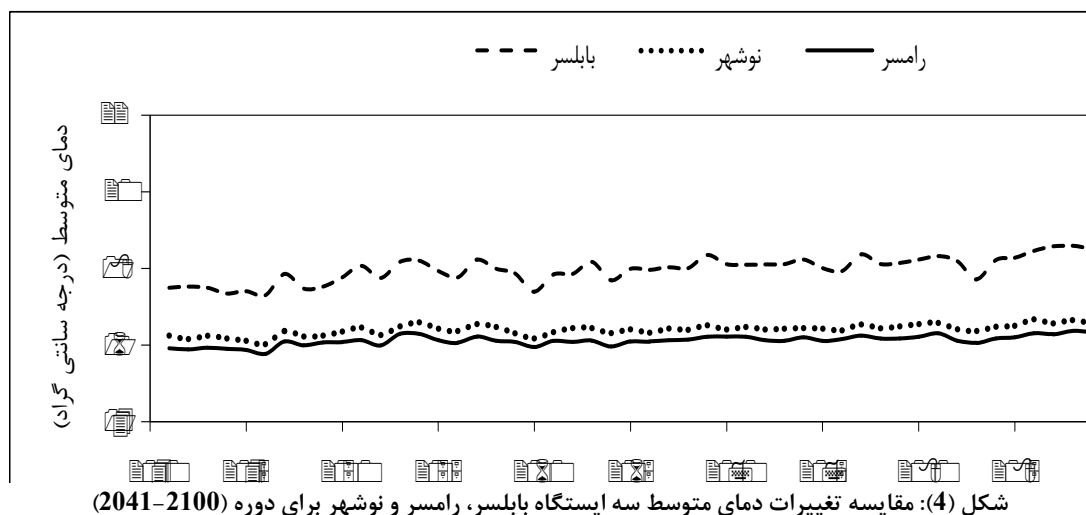
همچنین، درصد تغییر دمای متوسط و بارش سالانه در 90 سال آینده (2100-2101) برای ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب 8/8، 3/6 و 3/5 درصد و 14-، 16/2- و 10/4+ درصد محاسبه شد. در مجموع کاهش بارش و افزایش دمای متوسط تا 90 سال آینده نتیجه می‌شود.

جدول (2): مقادیر درصد تغییر دما و بارش برای دوره‌ی گذشته و آینده

ایستگاه	پارامتر	دوره آماری	درصد تغییر*	دوره آماری	درصد تغییر	دوره آماری	درصد تغییر
بابلسر	بارش	1951-2000	8	2051-2100	-9/3	2001-2050	8
	دما	1951-2000	6/8	2051-2100	2/7	2001-2050	6/8
رامسر	بارش	1955-1999	-6/9	2056-2100	6/2	2001-2045	-6/9
	دما	1955-1999	2	2056-2100	1/1	2001-2045	2
نوشهر	بارش	1977-2006	3/8	2071-2100	12	2001-2030	3/8
	دما	1977-2006	7	2071-2100	0/8	2001-2030	7
	درصد تغییر	دوره آماری	درصد تغییر	دوره آماری	درصد تغییر	دوره آماری	درصد تغییر
	-11	2011-2100	-1/4	2051-2100	-9/3	2001-2050	8
	8/8		5/3		2/7		6/8
	10/4		3	6/2	-6/9		
	3/5		2/4	1/1	2		
	-16/2		-6/7	12	3/8		
	3/6		1/8	0/8	7		

\* مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

همانطور که قبلاً بیان شد، تغییرات دمای متوسط بابلسر برای دوره‌های آینده بیشتر از دو ایستگاه دیگر مشاهده شده است. این تفاوت در شکل (4) به وضوح قابل مشاهده است. تغییرات سالانه دمای متوسط سه ایستگاه مورد مطالعه برای یک دوره 60 ساله از آینده در شکل (4) ارائه شده است.



تغییرات دمای رامسر برای 2041-2100 کمتر از دو ایستگاه دیگر می‌باشد، اما تفاوت تغییر دمای بابلسر به نسبت دو ایستگاه دیگر فاحش می‌باشد و این موضوع بیانگر این است که نیمه شرقی مازندران بیشتر از نیمه غربی در معرض تهدید اثرات پدیده تغییر اقلیم و مشکلات کمبود آب خواهد بود.

در مجموع، افزایش دما همراه با کاهش بارندگی، همزمان بر منابع آبی منطقه تاثیرات منفی از قبیل کاهش منابع آب و افزایش سال‌های خشک متوالی خواهد گذاشت. آسیب پذیری منابع آب و حساسیت آنها در برابر تغییرات اقلیم از جمله چالش‌هایی است که در سال‌های اخیر مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است، آرنل<sup>1</sup> (1999). استان مازندران دارای منابع آبی فراوان و چشمه‌های بسیار می‌باشد که بسیاری از آنها بدلیل افزایش تقاضا و بدنال آن استفاده بی‌رویه، رو به نابودی هستند. از طرفی دیگر، افزایش محسوس دما و کاهش بارش در سال‌های اخیر بر شدت آن خواهد افزود. نداشتن مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی مناسب برای استفاده از منابع آبی موجب می‌شود تا استان مازندران در آینده با کمبود ذخایر آبی مواجه گردد.

### نتیجه‌گیری

پدیده تغییر اقلیم می‌تواند به عنوان عمده‌ترین چالش بشر در دوره‌های آتی قلمداد گردد زیرا متعاقب تغییر اقلیم کره زمین، سیستم‌های مختلفی نظیر کشاورزی، محیط زیست و منابع آب از این تغییرات تأثیر می‌پذیرد. با افزایش دما و کاهش بارندگی نیاز به آبیاری افزایش خواهد یافت، بنابراین فشار بیشتری به منابع آبی وارد خواهد شد. در این تحقیق افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی و به تبع آن افزایش نیاز آبی برای دوره آینده محاسبه شد. نتایج کوچک مقیاس سازی برای درصد تغییر دمای متوسط و بارش سالانه در 90 سال آینده (2100-2011) برای ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب 8/8، 3/6 و 3/5 درصد و 14-، 16/2- و 10/4+ درصد محاسبه شد درحالی‌که این تغییرات برای دوره حاضر 6/8، 7 و 2 برای دمای متوسط و 8، 3/8 و 6/9- برای بارش بابلسر، نوشهر و رامسر می‌باشد. اگرچه از سال‌ها پیش بدلیل برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی به منابع آب ایران فشارهای گوناگونی وارد شده است، اما هرگونه تغییر در الگوهای اقلیمی که باعث افزایش دما و کاهش بارندگی شود، مشکلات

1-Arnell



موجود را، مخصوصاً در شرق مازندران حادث می‌نماید. تغییر اقلیم اثرات معنی داری در منابع آب در دسترس در زمان و مکان خواهد داشت. به طور کلی اثرات پدیده تغییرات اقلیم و گرم شدن کره زمین بر منابع آب را می‌توان در تغییر مدت، شدت و زمان بارش در مناطق مختلف، تغییر در حجم، زمان و مدت جستجو کرد.

## منابع

- 1- خسروی، م.، اسماعیل‌نژاد، م.، نظری‌پور، ح. چهارمین کنگره جغرافیدانان جهان اسلام. زاهدان، 25 تا 27 فروردین 1389.
- 2- مساح بوانی، ع.، و مرید، س. 1384. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان. تحقیقات منابع آب ایران، 47-40: 1.
- 3- Allen, D.M., Mackie, D.C., Wei, M. 2004. Groundwater and climate change: a sensitivity analysis for the Grand Forks aquifer, southern British Columbia, Canada, *Hydrogeol. J.*, 12 : 270–290.
- 4- Arnell, N.W. 1999. Climate change and global water resources, *Global Environmental Change*, 9: S31-S49.
- 5- Brouyère, S., Carabin, G., Dassargues, A. 2004. Climate change impacts on groundwater resources: modelled deficits in a chalky aquifer, Geer basin, Belgium, *Hydrogeol. J.*, 12: 123–134.
- 6- Candela, L., von Igel, V., Elorza, F.J., Aronica, G. 2009. Impact assessment of combined climate and management scenarios on groundwater resources and associated wetland (Majorca, Spain), *J. Hydrol.*, 376: 510-521.
- 7- De Silva, C.S., Weatherhead, E.K., Knox, J.W., Rodriguez-Diaz, J.A. 2007. Predicting the impacts of climate change-A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka, *Agricultural Water Management*, 93: 19-29.
- 8- Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., Kojiri, T. 2008. Assessing the impacts of climate change on the water resources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of dynamically downscaled data for hydrologic simulations, *J. Hydrol.*, 353: 33-48.
- 9- Gondim, R., Castro, M.A., Maia, A., Evangelista, S. 2009. Climate change and irrigation water requirement at Jaguaribe river basin, semi-arid northeast of Brazil, *Earth and Environment Science*, 6: 292032.
- 10- Green, T.R., Taniguchi, M., Kooi, H. 2007. Potential impacts of climate change and human activity on subsurface water resources, *Vadose Zone J.*, 6: 531–532.
- 11- Hsu, K.C., Wang, C.H., Chen, K.C., Chen, C.T., Ma, K.W. 2007. Climate-induced hydrological impacts on the groundwater system of the Pingtung Plain, Taiwan, *Hydrogeol. J.*, 15: 903–913.
- 12- IPCC, 2001. *Climate Change: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 881 pp.
- 13- Kendall, M.G., Gibbons, J.D., 1990. *Rank Correlation Methods*, fifth ed. Griffin, London.
- 14- Lehmann, C.M.B., Bowersox, V.C., Larson, S. 2005. Spatial and temporal trends of precipitation chemistry in the United States, 1985–2002, *Environ. Pollu.*, 135: 347-361.
- 15- Mann, H.B., 1945. Non-parametric test against trend. *Econometrika* 13: 245–259
- 16- Modares, R., Rodrigues da Silva, V. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran, *J. Arid Environ*, 70: 344–355.
- 17- Scibek, J., Allen, D., Cannon, A., Whitfield, P.H. 2007. Groundwater–surface water interaction under scenarios of climate change using a high-resolution transient groundwater model, *J. Hydrol.*, 333: 165–181.
- 18- Serrat-Capdevila, A., Valdés, J.B., González Pérez, J., Baird, K., Mata, L.J., Maddock III, T. 2007. Modeling climate change impacts – and uncertainty – on the hydrology of a riparian system: the San Pedro Basin (Arizona/Sonora), *J. Hydrol.*, 347: 48–66.
- 19- Thomas, A. 2008. Agricultural irrigation demand under present and future climate scenarios in China, *Global and Planetary Change*, 60: 306-326.
- 20- Wei, X., Declan, C., Erda, L., Yinlong, X., Hui, J., Jinhe, J., Lan, H., Yan, L. 2009. Future cereal production in china: The interaction of climate change, water availability and socio-economic scenarios, *Global Environmental Change*, 19: 34-44.
- 21- Xu, C. Y. 1999. From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches, *Progress in physical Geography*, 23 (2): 229-249.
- 22- Zekster, I.S., Loaiciga, H. 1993. Groundwater fluxes in the global hydrologic cycle: past, present and future, *J. Hydrol.*, 144: 405–427.