ارزیابی خشکسالی استان گیلان در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو

لادن کاظمی راد[۱*]، حسین محمدی[۲]، طوبی عابدی[۳]

۱*و ۳- عضو هیات علمی پژوهشکده محیط زیست جهاددانشگاهی

۲- استاد دانشگاه تهران، گروه جغرافیا

* ایمیل نویسنده مسئول: lkazemi1980@yahoo.com

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۲/۲۳ تاریخ پذیرش : ۹۹/۰۳/۱۱

چکیده

افزایش تقاضای آب و پیدایش تغییرات آب و هوایی باعث گردیده که در سال های اخیر به سناریوهای خشکسالی جهانی توجه بیشتری شود. به این منظور ضروری است که ضمن بررسی اثرات خشکسالی، به درک تاریخی از آن در منطقه پرداخته شود. در این پژوهش، در ابتدا پارامترهای اقلیمی تاثیرگذار بر روی خشکسالی توسط یک مدل مولد داده های آب و هوا شناسی به نام LARS-WG برای استان گیلان ریز مقیاس شدند. پس از انتخاب مدل گردش عمومی جو و سناریوی منطبق تر با شرایط اقلیمی منطقه، خروجی های مدل منتخب جهت بررسی وضعیت خشکسالی منطقه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مورد استفاده قرار گرفتند. ارزیابی خشکسالی برای دو دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۲) و دوره پیش بینی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) توسط روش TOPSIS صورت گرفت. پس از اعتبار سنجی روش پیشنهادی، عمل پهنه بندی خشکسالی برای دو دوره مذکور با استفاده از روش درون یابی در محیط GIS انجام گرفت. نتایج نشان داد که در قسمتهای مرکزی شهرستان رشت و در بخشهای غربی شهرستانهای آستارا و تالش در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه بر وسعت مناطقی که از شاخص خشکسالی پایین تری برخوردار هستند افزوده خواهد گردید و انتظار می رود که در آینده شاهد خشکسالی های بیشتری در مناطق مذکور باشیم.

کلمات کلیدی

"خشکسالی"، "مدل گردش عمومی جو"، " LARS-WG"، "روش TOPSIS"، "استان گیلان"

Drought assessment during 2011-2030 by using output of general circulation climate models (GCMs) in Gilan province

Ladan Kazemi Rad[1, *], Hossein Mohammadi[2], Tooba Abedi[3]

1,3. Academic Centre for Education, Culture & Research

2. Department of Geography, Tehran University

*Email Address: lkazemi_1980@yahoo.com

Abstract

Owing to the rise in water demand and looming climate change, recent years have witnessed much focus on global drought scenarios. So understanding the history of drought in the area is essential like investigating the effects of drought. In this study, at first Climate parameters affecting the drought have downscaled by LARS-WG stochastic weather generator over Gilan province in Iran. After choosing a suitable model, outputs of it used for assessing the drought situation in the period of 2011-2030. Assessing the drought was done by TOPSIS method during 2 periods (present and future). After validation of the method, zoning the drought was performed by IDW method in GIS. Results shown that expanse of situations with lower drought index will increase. Also we will expect more droughts in these regions for the future.

Keywords

“Drought”, “GCM model”, “LARS-WG”, “TOPSIS method”, “Gilan province”

۱. مقدمه

بررسی روند داده های آب و هوایی ثبت شده در دهه های گذشته و همچنین نتایج خروجی از تمامی مدل های اقلیمی پیش بینی کننده اقلیم آینده، حاکی از بروز تغییرات غیر قابل اغماض در اقلیم جهانی است (Esmaili et al,2011). معتبر ترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده توسط مدل های جفت شده جوی _اقیانوسی می باشد. این مدلها قادرند پارامتر های جوی و اقیانوسی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تاییدشده IPCC مدل سازی نمایند و جهت ارزیابی تغییر اقلیم و پدیده های حدی مرتبط با آن در دهه های آتی مورد استفاده قرار گیرند (Haltiner and Williams, 1980). استفاده از روش مناسب و معتبر در کوچک مقیاس سازی خروجی مدلهای گردش عمومی جو، این مدلها را به ابزار مناسبی برای پیش بینی وقایع حدی تبدیل می نماید. یکی از روش های آماری ریز مقیاس کردن، مدل LARS-WG[1] است که یکی از مولدهای داده های تصادفی هواشناسی می باشد (Semenov and Brooks, 1999) که دقت بالای آن در تولید داده های آب و هوایی مربوط به ۱۸ ایستگاه در کانادا (Williams, 1991) و ۲۰ ایستگاه واقع در اقلیم های متفاوت انگلیس (Semenov, 2008) گزارش شده است. ماوروماتیس و هانسن (Mavromatis and Hansen, 2001) نیز با مقایسه مدل های WM، WM2 و LARS-WG نشان دادند که مدل LARS-WG در سطح اطمینان قابل قبول تری (۹۵ درصد) اقدام به تولید داده نموده است. نتایج بابائیان و نجفی (Babaiean and Najafi Nick, 2006) نیز بیانگر قابلیت بالای این مدل در شبیه سازی پارامترهای هواشناسی در دوره آماری و همچنین استفاده از آن برای ارزیابی تغییر اقلیم در دهه های آتی است. خلیلی اقدم و همکاران (Khalili Aghdam et al, 2012) توانایی مدل LARS-WG را در شبیه سازی داده های مشاهده شده در ایستگاه سنندج مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج حاکی از دقت بالای مدل در شبیه سازی دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش بود، اما پارامتر بارش نسبت به سایر پارامترها خطای بیشتری را نشان داد. گزارش های دیگری از کاربرد مدل برای اطلاع از نحوه تغییرات اقلیمی در دهه های آتی و اثرات آن بر منابع مختلف محیطی توسط سمنوف وبارو (Semenov and Barrow, 1997)، سمنوف و بروکس (Semenov and Brooks, 1999)، دونینگ و همکاران (Downing et al, 2000)، سیروتکنو(Sirtekno, 2001)، لیوکانوان و همکاران(Luo Qanyan et al, 2003)، ریچتر و سمنوف (Richter and Semenov, 2004)، بابائیان و کوان (Babaeian and Kwon, 2004)، سجادخان و همکاران(Sajjad Khan et al, 2006)، اودن و همکاران (owden et al, 2008)، خزانه داری و همکاران (Khazanedari et al, 2009)، بابائیان و همکاران (Babaeian et al, 2009)، زابل عباسی و همکاران (Zabul Abbasi et al, 2010)، اسماعیلی و همکاران (Esmaeili et al, 2010)، بابائیان و کوهی (Babaiean and Kuhi, 2012)، خلیلی اقدم و همکاران (Khalili Aghdam et al, 2012) وجود دارد که به نتایج متفاوتی از نظر نحوه تغییرات مقادیر بارندگی و دما در مناطق مختلف رسیده اند. افزایش تقاضای آب و پیدایش تغییرات آب و هوایی باعث گردیده که در سال های اخیر به سناریوهای خشکسالی جهانی توجه بیشتری شود. خشکسالی به عنوان یک فاجعه زیست محیطی به رسمیت شناخته شده است و درجه تاثیر گذاری آن در دوره های زمانی مختلف برای یک منطقه یکسان نمی باشد. به طوری که در بعضی از دوره ها از شدت بیشتر و در دوره های دیگر از شدت کمتری برخوردار است (Olapida, 1985). این پدیده با چندین عنصر اقلیمی و هیدرولوژیک توصیف می شود و ارزیابی آن اهمیت ویژه ای جهت برنامه ریزی و مدیریت منابع آب دارد. به این منظور ضروری است که ضمن بررسی اثرات خشکسالی، به درک تاریخی از آن در منطقه پرداخته شود. از اینرو پیش بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تخفیف اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه متخصصان مختلف قرار گرفته است(Khalili Aghdam et al, 2012). با توجه به اینکه کشور ما همواره در معرض خطر احتمالی خشکسالی بوده است و همچنین با توجه به تاثیر محسوس تغییرات اقلیمی بر منابع آب، بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی های آتی کشور از اهمیت زیادی برخوردار است. بنا به سوابق تحقیقی، به منظور شناسائی شدت و گسترش خشکسالی، عموماً شاخص هائی توسعه داده شده است که هر کدام ورودی ها و شرایط استفاده خاص خود را دارا می باشند (Mishra and Singh, 2010) اما جهت ارزیابی خشکسالی صرفاً از یک یا دو متغیر استفاده می کنند. با توجه به این امر که بررسی وضعیت خشکسالی جهت تدوین طرح های مقابله با خشکسالی و مدیریت خطر آن از اهمیت زیادی برخوردار است، این روش قادر است با استفاده از عناصر اقلیمی مختلف و نگرش چند متغیره و چند بعدی به خشکسالی، عمل رتبه بندی سال های آماری یک ایستگاه را از نظر خشکسالی انجام دهد (Chen and Liu, 2011). الگوریتم TOPSIS[2] از جمله رویکردهای جبرانی در دسته بندی مدل های چند معیاره می باشد که از عناصر جوی بیشتری استفاده کرده و درنتیجه این امکان وجود دارد که ضعف در یک شاخص با قوت در شاخص دیگر قابل جبران باشد. همچنین این روش قادر است بعد از تعیین خشکسالی (ترسالی)، با استفاده از عناصر اقلیمی مختلف و نگرش چند متغیره به خشکسالی، عمل رتبه بندی سال های آماری یک ایستگاه را از نظر خشکسالی انجام دهد. این روش در سال های اخیر با موفقیت در حوزه های مختلف استفاده شده است اما در زمینه بررسی خشکسالی کارهای محدودی با این روش انجام گرفته است. از جمله خوش اخلاق و همکاران (Khoshakhlagh et al, 2006) با این روش و با استفاده از چهار عنصر جوی بارش، دما، نم نسبی و تعداد روزهای بارش، خشکسالی های رخ داده در استان خوزستان را تعیین نمودند و با تاکید به میانگین شش ساله هر ایستگاه، عمل پهنه بندی خشکسالی، برای هر دوره را به صورت مجزا انجام دادند. کاظمی راد و همکاران (Kazemi Rad and Mohammadi, 2013) نیز از روش فوق جهت پهنه بندی خشکسالی در استان گیلان استفاده نمودند. آنها از ۹ عنصر جوی جهت بررسی وضعیت خشکسالی استفاده کردند. نتایج کار آنها نشان داد که طی ۳ دوره، از وسعت شرایط نرمال از لحاظ خشکسالی کاسته شده و به شدت و وسعت خشکسالی در محدوده مورد مطالعه افزوده گردیده است. در این تحقیق در نظر است که در ابتدا با استفاده از مدل LARS-WG، خروجی مدل های گردش عمومی جو ریزمقیاس شوند تا بتوان از نتایج آنها در سطح منطقه استفاده نمود. پس از انتخاب مدل منتخب، پارامترهای تاثیرگذار بر خشکسالی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ پیش بینی و در نهایت با استفاده از مدل TOPSIS به تعیین و رتبه بندی خشکسالی برای دوره پایه و دوره پیش بینی شده پرداخته و نتایج بدست آمده از دو دوره با هم مقایسه شوند.

۲. مواد و روش ها

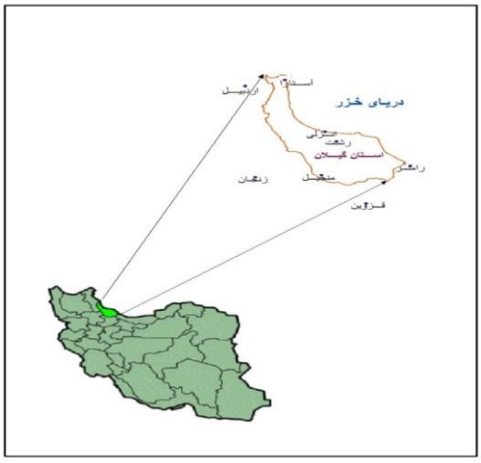
- **محدوده مورد مطالعه**

محدوده مورد مطالعه اســتان گیلان با مســاحت حدود ۱۴۶۰۰ کیلومتر مربع در شمال کشور می با شد. جهت انجام تحقیق، از بین ایستگاههای داخل و اطراف

1. Long Ashton Research Station Weather Generator

2. Technique for order performance by similarity to ideal solution

محدوده مورد مطالعه، ۸ ایستگاه سینوپتیک که دارای تعداد سالهای آماری مناسب بوده و پراکنش مناسبی در محدوده مورد نظر داشتند، انتخاب شدند که از بین آنها ۴ ایستگاه در داخل استان گیلان واقع شده اند و ۴ ایستگاه دیگر به عنوان نقاط کمکی در تکمیل شبکه ایستگاهی جهت انجام عملیات میانیابی استفاده گردید. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و ایستگاههای منتخب را نشان می دهد. مشخصات ایستگاههای مورد مطالعه نیز در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و ایستگاههای منتخب

جدول۱- مشخصات ایستگاههای مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	نوع ایستگاه	موقعیت	دوره آماری
انزلی	۳۷ ۲۹ º	۴۹ ۲۷ º	-۲۳/۶	سینوپتیک	داخل محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
اردبیل	۳۸ ۱۵ º	۴۸ ۱۷ º	۱۳۳۲	سینوپتیک	خارج محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
آستارا	۳۸ ۲۲ º	۴۸ ۵۱ º	-۲۱/۱	سینوپتیک	داخل محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
قزوین	۳۶ ۱۵ º	۵۰ ۳ º	۱۲۷۹/۲	سینوپتیک	خارج محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
منجیل	۳۶ ۴۴ º	۴۹ ۲۵ º	۳۳۸/۳	سینوپتیک	داخل محدوده	۱۹۹۳-۲۰۱۰
رامسر	۳۶ ۵۴ º	۵۰ ۴ º	-۲۰	سینوپتیک	خارج محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
رشت	۳۷ ۱۹ º	۴۹ ۳۷ º	-۸/۶	سینوپتیک	داخل محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
زنجان	۳۶ ۴۱ º	۴۸ ۲۹ º	۱۶۶۳	سینوپتیک	خارج محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰

- **روش کار**

از داده های روزانه ایستگاه های فوق شامل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش به عنوان دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۲) و از داده های خروجی ۲ مدل گردش عمومی جو MPEH5 و HADCM3 تحت ۲ سناریوی A2 و B1، جهت برآورد و تولید داده های دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱) استفاده گردید. جهت ارزیابی تغییرات اقلیمی در استان گیلان، خروجی مدل های گردش عمومی جو MPEH5 و HADCM3 با سناریوهای A2 و B1 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS-WG ریز مقیاس شدند. پس از تهیه خروجی های مدل که شامل داده های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش مدل شده برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۲ بود، ارز یابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده های دوره آماری و داده های تولید شده با استفاده از آزمون های آماری و نمودارهای مقایسه ای انجام شد. پس از تایید توانمندی مدل LARS-WG در شبیه سازی پارامترهای اقلیمی، مدل بر اساس ۲ سناریوی A2 و B1 برای ۲ مدل گردش عمومی جو EMPEH5 و HADCM3 اجرا گردیدند. سپس مدلی که کم ترین اختلاف را نسبت به میانگین نتایج کلی تمام حالتها دارا بود به عنوان مدل مناسب انتخاب و تحلیل های لازم بر روی نتایج آن صورت پذیرفت. در ادامه از روش TOPSIS تحت نرم افزار Matlab با استفاده از ۷ عنصر جوی موثر بر خشکسالی شامل: بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر، تعداد روزهای داغ، تعداد روزهای یخبندان، تعداد روزهای تر و تعداد روزهای خشک، شاخص Ti برای دو دوره پایه و پیش بینی شده محاسبه گردید. جهت اعتبار سنجی شاخص فوق، نتایج آن از طریق آزمون t با شاخص معیار بارش سالانه (SIAP) که یک شاخص معتبر خشکسالی است، مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت با استفاده از روش درون یابی (IDW) در نرم افزار ArcGIS 9.3 پهنه بندی خشکسالی برای دوره پایه و دوره پیش بینی شده توسط مدل صورت پذیرفت.

- **مراحل محاسبه شاخص** Ti

۱- تشکیل ماتریس داده ها

ابتدا ماتریس داده ها که شامل ۷ شاخص (عناصر جوی) و ۲۰ گزینه (تعداد سال های آماری) می باشد، تهیه گردید.

$$X = (X_{ij})n \times m \qquad (۱)$$

۲- تعیین وزن مناسب هر یک از عناصر اقلیمی

از آنجائیکه سهم هر یک از عناصر جوی در میزان خشکسالی متفاوت می باشد، وزن هر عنصر اقلیمی به صورت مجموع یک بردار بدست آورده شد. مجموع اوزان عناصر اقلیمی در نظر گرفته شده برابر یک می باشد.

$$\sum_{j=1}^{m} w_j = 1, \qquad j = 1,2,\ldots,m. \qquad (۲)$$

m، تعداد عناصر اقلیمی موثر

در خشکسالی و Wj، وزن شاخص jام می باشد.

برای تعیین اوزان هر یک از عناصر مراحل زیر انجام شد:

الف- یافتن توزیع هر عنصر اقلیمی

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} r} : \forall_{i,j} \qquad (۳)$$

ب- محاسبه آنتروپی برای بیان مقدار عدم اطمینان این توزیع

$$E_j = -k\sum_{i=1}^{m}\left[p_{ij}.Ln(p_{ij})\right] : \forall_j \qquad k = \frac{1}{Ln \quad m} \qquad (٤)$$

ج- محاسبه عدم اطمینان یا درجه انحراف از اطلاعات ایجاد شده به ازای هر عنصر اقلیمی

$$d = 1 - E_j : \forall_j \qquad (۵)$$

د- محاسبه وزن عناصر اقلیمی

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d} : \forall_j \qquad (٦)$$

۳- یکسان سازی عناصر اقلیمی

عناصر جوی در رخداد خشکسالی به صورت متفاوت عمل می کنند. از بین عناصر اقلیمی در نظرگرفته شده ۵ عنصر حداکثر دما، حداقل دما، تعداد روزهای خشک، تعدا روزهای داغ و تعداد روزهای یخبندان باعث بروز اثرات خشکسالی می شوند و افزایش مقادیر عددی ۲ عامل دیگر یعنی بارش و تعداد روزهای تر باعث کاهش اثرات خشکسالی می شوند. از این رو باید این روند وارون در بین عناصر موثر همسو شود. لذا در این مرحله، روند عناصر جوی یکسان سازی شد. عنا صری که کاهش آنها در وقوع خ شک سالی موثر ه ستند به عنوان شاخص مثبت و عناصری که افزایش آنها باعث بروز خشکسالی می شوند به عنوان شاخص منفی در نظر گرفته شد. در شاخص های مثبت، بیشینه مقدار در دوره آماری مورد نظر، انتخاب و داده های سال های دیگر را بر آن تقسیم و در شاخص های منفی، کمینه مقدار در دوره آماری موردنظر بر داده های سال های دیگر تقسیم گردید.

٤- محاسبه وزن هر یک از عناصر اقلیمی

جهت بررسی اهمیت اوزان هر یک از عناصر اقلیمی در ماتریس داده های اقلیمی تمام سالها، ماتریس داده های اقلیمی تمام سالها در بردار عناصر اقلیمی ضرب گردید. از آنجائیکه ضرب مذکور قابل تعریف نمی باشد، بردار W به صورت یک ماتریس ۷*۷ در نظر گرفته شد.

$$V_{ij} = w_j r_{ij}; \qquad j = 1,2,\ldots,m; \qquad i = 1,2,\ldots,n. \qquad (۷)$$

۵- تعیین راه حل ایده آل مثبت (A^+) و منفی (A^-)

در این مرحله به تعیین سال های ایده آل (حداکثر و حداقل) پرداخته شد. در انتخاب سال ایده آل، این نکته قابل توجه است که این انتخاب، نسبی بوده زیرا سالی که از نظر تمام عناصر از بهترین الویت برخوردار باشد، وجود ندارد. واضح است که در عمل، گزینه ایده آل وجود ندارد و لذا برای رتبه بندی سال ها از نظر خشکسالی، از حالت تقریبی نزدیک به واقعیت استفاده گردید.

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \ldots, v_n^+) = \{(\max_i \{v_{ij}\} | j \in B), (\min_i \{v_{ij}\} | j \in C)\}, \qquad (۸)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \ldots, v_n^-) = \{(\min_i \{v_{ij}\} | j \in B), (\max_i \{v_{ij}\} | j \in C)\} \qquad (۹)$$

در این رابطه : A^+ ، حداکثرترین میزان شاخص های مثبت و A^- ، حداقل ترین میزان شاخص های منفی می باشد.

٦- تعیین معیار فاصله ای برای گزینه ایده ال (S^+_i) و گزینه حداقل (S^-_i)

در این مرحله، فاصله هر یک از سال ها تا ایده آل مثبت و منفی بدست آمد.

$$S_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^{m} \left(v_{ij} - v_j^+\right)^2 \right\}^{0.5}; \qquad i = 1,\ldots,n \qquad (۱۰)$$

$$S_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^{m} \left(v_{ij} - v_j^-\right)^2 \right\}^{0.5}; \qquad i = 1,\ldots,n \qquad (۱۱)$$

در این رابطه : S^+_i، فا صله سال iام از ایده آل مثبت، ، S^-_i، فا صله سال i ام از ایده آل منفی، j ، متغیر اقلیمی و v، ارزش عنصر اقلیمی i ام برای سال j ام می باشد.

۷- تعیین ضریبی که برابر است با فاصله گزینه حداقل (S^-_i) تقسیم بر مجموع فاصله حداقل(S^-_i) و فاصله گزینه ایده ال (S^+_i)

$$T_i = \frac{S_i^-}{\left(S_i^+ + S_i^-\right)}; \qquad i = 1,\ldots,n. \qquad (۱۲)$$

Ti برابر با یک، نشان دهنده بالاترین رتبه و Ti برابر با صفر، نشان دهنده کمترین رتبه است. هر چه ضریب Ti بیشتر باشد گویای حالت مرطوب تر و هر چه مقدار آن کمتر باشد گویای وضعیت خشک تر است.

۳. نتایج و بحث

- **ارزیابی صحت مدل** LARS-WG

به منظور تایید صحت مدل، مقادیر دیدبانی و مدل شده برای پارامترهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در ۸ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۲ مقایسه شدند. ارزیابی مدل از طریق مقایسه داده های آماری و داده های تولید شده توسط مدل با استفاده از آزمونهای آماری و نمودارهای مقایسه ای انجام گردید. به منظور مقایسه این دو سری داده از آزمون مقایسه زوجی (آزمون t) و همبستگی پیرسون استفاده گردید. تحلیل نتایج بدست آمده از آزمون آماری t-Student نشان داده است که در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی داری بین داده های دیدبانی شده و داده های تولید شده توسط مدل وجود نداشته است. همچنین مقادیر همبستگی پیرسن بین این دو سری داده در سطح ۹۹ درصد قابل قبول بوده است. به طور کلی نتایج نشان دادند که مدل LARS-WG، توانمندی مدلسازی اقلیم ایستگاههای تحت مطالعه را بر اساس یک سناریوی حالت پایه دارد.

- **انتخاب مدل مناسب گردش عمومی جو**

به منظور انتخاب مدل مناسب، مقادیر ۲ سناریوی A2 و B1 برای ۲ مدل گردش عمومی جو MPEH5 و HADCM3 با میانگین کل مدلها مقایسه گردید و مدلی که حداقل اختلاف را نسبت به میانگین نتایج کلی تمام حالت ها دارا بود به عنوان مدل مناسب انتخاب و تحلیل های لازم بر روی نتایج آن صورت پذیرفت. در بین پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه، حداقل و حداکثر دمای پیش بینی شده با استفاده از دو مدل و دو سناریوی مورد مطالعه، تطابق خوبی با داده های مشاهده شده داشتند و در واقع اختلاف معنی داری بین داده های دمای کمینه و بیشینه در ۴ حالت فوق وجود نداشت ولی بارش پیش بینی شده توسط سناریوی A2 مدل MPEH5 نسبت به سایر حالتها از دقت بالاتری برخوردار بود.

- **رتبه بندی خشکسالی با روش TOPSIS**

در ابتدا با استفاده از روش آنتروپی وزن هر یک از عناصر اقلیمی در دو دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۲) و دوره پیش بینی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) تعیین گردید که نتایج آن به ترتیب در جدول (۲) و (۳) آورده شده است. در ادامه، پس از یکسان سازی عناصر اقلیمی، ضرب ماتریس R (ماتریس داده ها که شامل ۷ عنصر اقلیمی و ۲۰ سال آماری است) در بردار W (وزن هر یک از عناصر اقلیمی)، جهت محاسبه اوزان هر یک از عناصر اقلیمی انجام گرفت. پس از مشخص کردن سال های ایده آل

برای تمامی ایستگاه ها از طریق فرمول (۸) و (۹)، با استفاده از فرمول (۱۰) و(۱۱)، فاصله هر یک از سال های ایستگاه های منتخب تا ایده آل مثبت و منفی بدست آمد. در نهایت، ضریب Ti با توجه به عبارت (۱۲) برای دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۲) و دوره پیش بینی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) محاسبه گردید که نتایج آن به ترتیب در جدول (۴) و (۵) آورده شده است. پس از محاسبه شاخص Ti، با استفاده از روش درون یابی (IDW) در نرم افزار ArcGIS 9.3، پهنه بندی خشکسالی برای منطقه مورد مطالعه در دو دوره مذکور صورت گرفت که نتایج آن در نقشه های (۲) و (۳) آورده شده است.

جدول۲- اوزان عناصر اقلیمی در ایستگاه های منتخب استان گیلان برای دوره پایه (۲۰۱۰- ۱۹۹۲)

	بارش	دمای حداقل	دمای حداکثر	روزهای تر	روزهای خشک	روزهای داغ	روزهای یخبندان
انزلی	۰/۰۱۴۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۱۳	۰/۳۶۱۵	۰/۶۱۵۸
اردبیل	۰/۰۷۰	۰/۲۷۸۹	۰/۰۱۲۵	۰/۰۱۵۹	۰/۰۰۱۷	۰/۵۷۷۶	۰/۴۲۶۲
آستارا	۰/۰۵۳۵	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۳۳	۰/۰۱۹۷	۰/۰۰۵۷	۰/۳۷۳۷	۰/۵۳۸۲
قزوین	۰/۴۴۲۹	۰/۰۵۷۹	۰/۰۱۳۶	۰/۱۹۰۱	۰/۰۱۰۵	۰/۱۰۱۸	۰/۱۸۲۷
منجیل	۰/۱۴۶۱	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۴۷	۰/۰۹۷۱	۰/۰۰۶۲	۰/۱۲۶۵	۰/۶۱۵۷
رامسر	۰/۰۴۴۹	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۰۹	۰/۳۰۵۸	۰/۶۴۰۵
رشت	۰/۰۸۶۴	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۲۵	۰/۰۲۷۲	۰/۰۰۷۸	۰/۱۵۸۱	۰/۷۱۳۰
زنجان	۰/۳۰۹۲	۰/۲۸۰۵	۰/۰۲۴۲	۰/۱۱۲۵	۰/۰۰۸۵	۰/۱۵۹۶	۰/۱۰۵۲

جدول۳- اوزان عناصر اقلیمی در ایستگاه های منتخب استان گیلان برای دوره پیش بینی (۲۰۳۰- ۲۰۱۱)

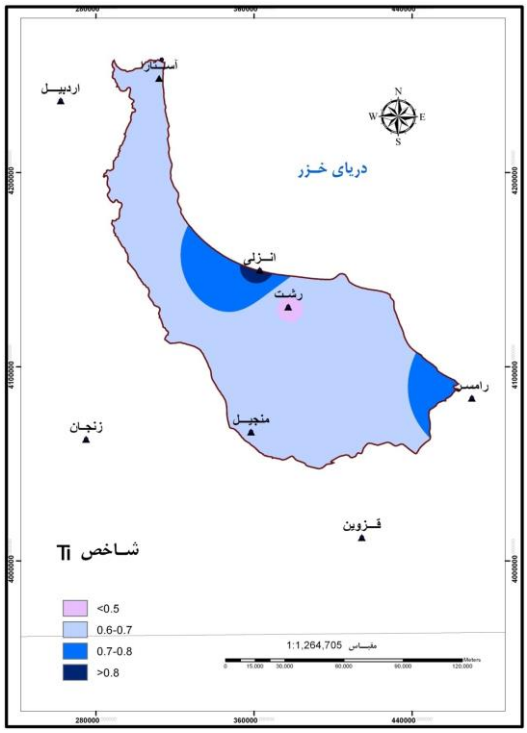
	بارش	دمای حداقل	دمای حداکثر	روزهای تر	روزهای خشک	روزهای داغ	روزهای یخبندان
انزلی	۰/۰۶۵۷	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۴۷	۰/۰۳۶۱	۰/۰۰۸۱	۰/۲۳۶۰	۰/۶۴۳۲
اردبیل	۰/۱۶۸۲	۰/۴۲۴۵	۰/۰۲۲۰	۰/۰۲۵۵	۰/۰۰۱۸	۰/۳۴۷۶	۰/۰۱۰۱
آستارا	۰/۲۰۹۱	۰/۰۱۷۵	۰/۰۱۰۹	۰/۰۶۸۴	۰/۰۱۶۱	۰/۱۲۷۳	۰/۵۵۰۳
قزوین	۰/۶۳۵۰	۰/۰۵۵۸	۰/۰۱۴۴	۰/۲۱۲۲	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۹۶	۰/۰۶۲۰
منجیل	۰/۱۹۰۶	۰/۰۰۵۰	۰/۰۰۷۰	۰/۰۴۵۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۱۸۲	۰/۷۳۲۰
رامسر	۰/۱۷۰۷	۰/۰۰۸۰	۰/۰۰۳۹	۰/۰۳۵۹	۰/۰۰۶۱	۰/۰۶۰۳	۰/۷۱۴۷
رشت	۰/۱۴۲۰	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۴۰	۰/۰۵۶۷	۰/۰۰۹۶	۰/۰۳۵۹	۰/۷۴۴۳
زنجان	۰/۴۴۰۷	۰/۲۹۵۸	۰/۰۳۰۱	۰/۱۱۳۲	۰/۰۰۸۰	۰/۰۷۷۵	۰/۰۳۴۴

جدول٤- مقادیر محاسبه شده Ti در ایستگاه های منتخب استان گیلان برای دوره پایه (۲۰۱۰- ۱۹۹۲)

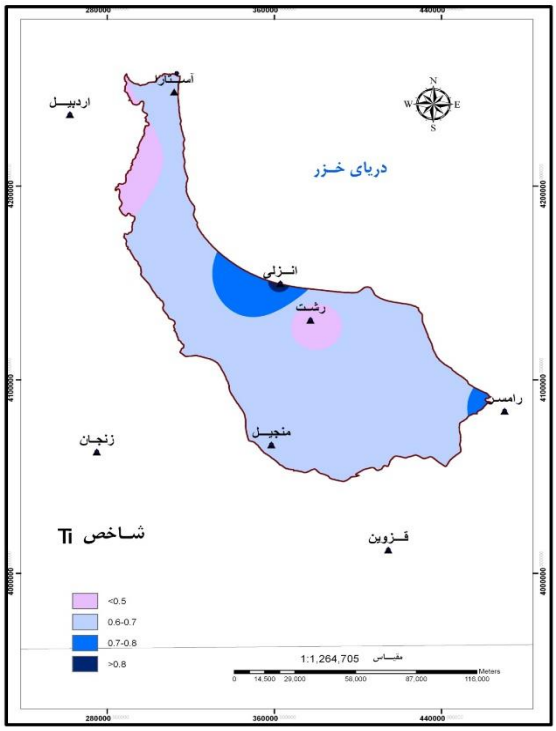
	انزلی	اردبیل	آستارا	قزوین	منجیل	رامسر	رشت	زنجان
۱۹۹۲	۰/۷۶۳	۰/۹۱۴	۰/۵۸۴	۰/۶۵۴	۰/۶۴۲	۰/۲۲۳	۰/۱۱۰	۰/۷۳۳
۱۹۹۳	۰/۸۸۱	۰/۷۵۳	۰/۴۶۳	۰/۶۵۳	۰/۳۷۵	۰/۵۷۲	۰/۳۲۴	۰/۷۰۸
۱۹۹٤	۰/۸۲۲	۰/۹۳۰	۰/۵۰۰	۰/۸۵۱	۰/۴۸۹	۰/۷۱۶	۰/۶۲۰	۰/۶۹۱
۱۹۹٥	۰/۹۵۵	۰/۸۹۵	۰/۷۵۲	۰/۲۰۰	۰/۷۸۶	۰/۹۰۳	۰/۹۰۵	۰/۴۶۵
۱۹۹٦	۰/۹۵۵	۰/۶۴۱	۰/۷۳۴	۰/۸۴۶	۰/۵۷۲	۰/۸۶۶	۰/۶۱۴	۰/۴۸۴
۱۹۹۷	۰/۸۶۶	۰/۵۷۴	۰/۵۵۸	۰/۱۹۳	۰/۴۱۹	۰/۶۹۳	۰/۱۲۱	۰/۴۸۵
۱۹۹۸	۰/۸۱۲	۰/۵۸۹	۰/۶۵۵	۰/۵۶۵	۰/۶۲۴	۰/۷۳۴	۰/۳۰۹	۰/۳۹۱
۱۹۹۹	۰/۸۹۰	۰/۶۷۵	۰/۸۳۷	۰/۳۱۵	۰/۸۷۸	۰/۸۶۹	۰/۹۰۴	۰/۲۶۳
۲۰۰۰	۰/۸۷۸	۰/۵۳۰	۰/۷۰۵	۰/۴۷۵	۰/۷۴۱	۰/۸۵۰	۰/۷۲۶	۰/۴۷۶
۲۰۰۱	۰/۷۹۲	۰/۴۹۳	۰/۴۴۹	۰/۲۸۷	۰/۸۱۵	۰/۷۶۹	۰/۷۶۵	۰/۲۲۷
۲۰۰۲	۰/۸۷۳	۰/۵۰۳	۰/۷۵۶	۰/۵۷۱	۰/۵۶۹	۰/۹۵۴	۰/۴۲۲	۰/۳۸۸
۲۰۰۳	۰/۹۸۵	۰/۶۹۲	۰/۸۱۹	۰/۷۵۳	۰/۷۸۰	۰/۹۳۳	۰/۶۹۳	۰/۵۰۷
۲۰۰٤	۰/۹۶۰	۰/۶۸۹	۰/۷۵۶	۰/۵۵۲	۰/۸۵۲	۰/۸۹۳	۰/۸۳۸	۰/۴۸۰
۲۰۰٥	۰/۸۲۲	۰/۵۴۸	۰/۵۹۶	۰/۴۱۴	۰/۶۵۷	۰/۸۳۱	۰/۴۶۵	۰/۴۱۲
۲۰۰٦	۰/۸۳۳	۰/۲۸۳	۰/۶۵۰	۰/۶۱۸	۰/۴۲۱	۰/۸۱۹	۰/۶۰۸	۰/۴۶۳
۲۰۰۷	۰/۸۷۸	۰/۵۵۲	۰/۱۳۶	۰/۵۵۴	۰/۵۷۳	۰/۸۷۹	۰/۸۲۴	۰/۶۲۶
۲۰۰۸	۰/۱۵۵	۰/۵۸۹	۰/۷۴۶	۰/۱۲۸	۰/۰۳۰	۰/۳۰۵	۰/۰۸۹	۰/۳۰۸
۲۰۰۹	۰/۹۰۴	۰/۷۵۲	۰/۸۶۳	۰/۴۸۴	۰/۹۴۴	۰/۷۶۸	۰/۸۷۸	۰/۴۸۱
۲۰۱۰	۰/۷۶۳	۰/۰۱۶	۰/۴۹۹	۰/۶۵۴	۰/۸۶۲	۰/۸۹۸	۰/۸۷۹	۰/۲۵۲

جدول۵- مقادیر محاسبه شده Ti در ایستگاه های منتخب استان گیلان برای دوره پیش بینی (۲۰۳۰- ۲۰۱۱)

	انزلی	اردبیل	آستارا	قزوین	منجیل	رامسر	رشت	زنجان
۲۰۱۱	۰/۹۲۵	۰/۵۶۲	۰/۷۱۷	۰/۷۷۵	۰/۸۸۴	۰/۹۲۳	۰/۶۶۵	۰/۵۹۴
۲۰۱۲	۰/۹۳۲	۰/۷۸۱	۰/۷۴۳	۰/۹۵۲	۰/۸۰۰	۰/۷۹۳	۰/۹۵۳	۰/۲۷۳
۲۰۱۳	۰/۶۳۵	۰/۲۹۶	۰/۷۱۶	۰/۲۹۳	۰/۹۰۷	۰/۷۹۲	۰/۳۳۶	۰/۵۲۹
۲۰۱٤	۰/۶۵۹	۰/۵۴۱	۰/۴۸۷	۰/۲۳۳	۰/۳۵۷	۰/۹۲۴	۰/۰۳۲	۰/۴۲۴
۲۰۱۵	۰/۹۷۵	۰/۵۲۰	۰/۷۹۷	۰/۹۶۸	۰/۸۸۱	۰/۷۹۵	۰/۹۳۶	۰/۴۷۷
۲۰۱٦	۰/۸۷۴	۰/۵۱۹	۰/۷۳۸	۰/۳۵۰	۰/۴۵۷	۰/۲۰۱	۰/۵۰۰	۰/۵۵۲
۲۰۱۷	۰/۹۲۵	۰/۳۸۹	۰/۷۳۵	۰/۴۵۵	۰/۴۶۰	۰/۹۵۱	۰/۶۶۷	۰/۳۰۲
۲۰۱۸	۰/۹۰۳	۰/۲۶۹	۰/۷۴۰	۰/۶۱۹	۰/۶۳۶	۰/۵۹۳	۰/۵۰۲	۰/۳۴۵
۲۰۱۹	۰/۹۹۶	۰/۳۳۶	۰/۸۴۹	۰/۳۳۹	۰/۷۸۶	۰/۸۰۱	۰/۶۶۳	۰/۳۵۴
۲۰۲۰	۰/۶۵۹	۰/۴۹۹	۰/۱۲۴	۰/۴۵۶	۰/۸۱۳	۰/۷۹۸	۰/۶۶۱	۰/۶۷۷
۲۰۲۱	۰/۶۶۸	۰/۲۰۸	۰/۷۴۹	۰/۷۳۲	۰/۴۵۱	۰/۹۸۸	۰/۷۵۲	۰/۴۴۴
۲۰۲۲	۰/۹۵۶	۰/۳۰۲	۰/۸۹۱	۰/۳۷۶	۰/۸۰۷	۰/۷۹۵	۰/۵۷۹	۰/۶۸۴
۲۰۲۳	۰/۹۴۶	۰/۴۵۲	۰/۸۸۳	۰/۶۷۰	۰/۹۳۲	۰/۵۹۷	۰/۵۸۴	۰/۲۷۴
۲۰۲٤	۰/۱۰۵	۰/۲۲۰	۰/۷۳۶	۰/۷۶۰	۰/۴۵۱	۰/۷۸۳	۰/۲۴۸	۰/۴۰۰
۲۰۲۵	۰/۶۶۵	۰/۷۲۷	۰/۵۸۸	۰/۶۷۵	۰/۶۴۳	۰/۷۷۶	۰/۳۳۴	۰/۳۲۹
۲۰۲٦	۰/۸۹۵	۰/۶۸۹	۰/۵۰۰	۰/۲۴۰	۰/۸۸۲	۰/۷۸۵	۰/۴۹۷	۰/۹۴۹
۲۰۲۷	۰/۸۴۰	۰/۵۳۲	۰/۲۳۶	۰/۲۰۳	۰/۹۵۴	۰/۰۳۱	۰/۶۶۵	۰/۶۸۳
۲۰۲۸	۰/۹۲۵	۰/۳۸۹	۰/۴۹۹	۰/۶۳۴	۰/۸۶۴	۰/۷۹۲	۰/۹۸۱	۰/۲۵۵
۲۰۲۹	۰/۹۳۰	۰/۴۷۰	۰/۸۵۳	۰/۸۵۴	۰/۰۸۲	۰/۴۰۱	۰/۰۴۴	۰/۵۲۵
۲۰۳۰	۰/۸۶۷	۰/۴۰۳	۰/۷۲۹	۰/۰۳۲	۰/۲۷۹	۰/۷۹۳	۰/۵۷۸	۰/۳۶۳



شکل۲- پهنه بندی خشکسالی برای دوره ۲۰۱۰- ۱۹۹۲



شکل۳- پهنه بندی خشکسالی برای دوره ۲۰۳۰- ۲۰۱۱

٤ . نتیجه گیری

با توجه به اینکه در بین شاخص های مبتنی بر بارش، شاخص استاندارد بارش سالانه (SIAP) یکی از پرکاربردترین شاخص های بررسی خشکسالی هواشناسی در جهان و ایران می باشد، از شاخص فوق جهت ارزیابی رویکرد پیشنهادی استفاده گردید. برای این منظور، با استفاده از نرم افزار SPSS و از طریق آزمون t، نتایج حاصل شده از روش TOPSIS با شاخص SIAP تطبیق داده شد و مقایسه نتایج نشان دادند که در سطح احتمال ۹۵ درصد، ارتباط معنی داری بین این دو روش وجود دارد. از آنجائی که در روش پیشنهادی از عناصر جوی بیشتری استفاده گردیده، این روش نسبت به روش SIAP که شاخص معتبری جهت شناسایی وضعیت خشکسالی است و همچنین روش های ساده تر پیشین که صرفاً از یک یا دو متغیر استفاده کرده اند، برتری دارد و می توان اذعان داشت که در صورت دقت کافی در محاسبات مربوطه، روش پیشنهادی نسبت به روش SIAP دارای مزیت های بیشتری است. بررسی خشکسالی های استان گیلان در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه حاکی از آن است که با وجود افزایش شاخص Ti در اکثر ایستگاههای منتخب خارج از محدوده استان، میزان شاخص مذکور در محدوده داخل استان کاهش پیدا کرده است. همانطور که در نقشه ها کاملا مشهود است در قسمتهای مرکزی شهرستان رشت و در بخشهای غربی شهرستانهای آستارا و تالش در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه بر وسعت مناطقی که از شاخص Ti پایین (کمتر از ۰/۵) برخوردار هستند افزوده خواهد گردید. بنابراین انتظار می رود که در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ شاهد خشکسالی های بیشتری در مناطق مذکور باشیم. ضمنا در شهرستانهای انزلی، رضوانشهر، ماسال، صومعه سرا و رودسر از وسعت مناطقی که از شاخص Ti بالایی (بالاتر از ۰/۷) برخوردار هستند کاسته خواهد شد. با وجود اینکه در این شهرستان ها خشکسالی پیش بینی نگردیده است اما از میزان ترسالی ها کاسته خواهد شد که این موضوع می تواند در دهه های آتی زنگ خطری برای مناطق مذکور باشد. در سایر شهرستانها تغییر چندانی از نظر مقدار Ti مشاهده نگردیده و میزان شاخص مذکور در هر دو دوره بین ۰/۶ تا ۰/۷ بوده است.

۵ . پیشنهادات

پدیده تغییر اقلیم می تواند بر بخشهای مختلف اعم از منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. کمترین تغییر در میزان بارش و درجه حرارت، ضربه های شدیدی به بخش های کشاورزی و اقتصادی می زنند. در سالهای اخیر نیز خشکسالی در کشور خسارات زیادی ببار آورده است. از اینرو پیش بینی های اقلیمی جهت استفاده در برنامه ریزی های کلان کشور خصوصا در رابطه با بلایای طبیعی ضروری به نظر می رسند. کاهش بارندگی موجب کاهش ذخیره و تامین منابع آبی استان خواهد شد، لذا تاکید و توجه به منابع طبیعی، آبخیزداری و آبخوانداری مفید می باشد. افزایش دما نیز باعث کاهش دوره رشد محصولات کشاورزی و به دنبال آن کاهش عملکرد آنها می گردد. در مجموع با تغییر پارامترهای هواشناسی پهنه های اقلیمی موجود نیز دچار تغییرات می گردند. بنابراین لازم است مسئولین و برنامه ریزان استان در بخش حوادث غیرمترقبه، کشاورزی و منابع آب راهکارهای لازم برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید را اتخاذ نمایند.

٦. منابع

- Babaeian, I. and Kwon, W.T. 2004. Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, climate research lab. 98pp.
- Babaeian, I. Najafi Nik, Z. Zabol Abbasi, F. Habibi Nokhandan, M. Adab, H. and Melbouri, Sh. 2009. Estimating the Climate Change of Iran in the Period 2039-2010 using exponential microscopy of ECHO-G Model Data. Geography and evelopment. 7(16): 135-152.
- Babaiean, I. and Kuhi, M. 2012. Evaluation of Agricultural Climate Indicators under Climate Change Scenarios in Selected Stations of Khorasan Razavi. Water and Soil (Agriculture Sciences and Technology). 26(4):967-953.
- Babaiean, I. and Najafi Nick, Z. 2006. Introduction and evaluation of LARS-WG model for modeling meteorological parameters of Khorasan province, statistical period (1961-2003). Nivar. 31(62, 63):49-66.
- Chen, Y. Li, K W. and Liu, S. 2011. An OWA-TOPSIS method for multiple criteria decision analysis. Expert Systems with Applications. 38: 5205–5211.
- Downing, T.E. Harrison, P.A. Butterfield R.E. and Lonsdale K.G. 2000. Climate Change Climatic Variability and Agriculture in Europe. An Integrated Assessment. Environmental Change Institute University of Oxford.
- Esmaeili, R. Habibi Nokhandan, H. Fallah Ghaleri, Gh. 2010. Assessment of Changes in Growth and Ice Growth Due to Climate Fluctuations Case Study: Khorasan Razavi. Natural Geography Research. 42(73):69-82.
- Esmaili, R. Gandamkar, A. and Ghayour, H. 2011. Zoning climate change from an agricultural perspective in the future climate. Case study: Razavi Khorasan Province. journal of geography and environmental planning. 22(1): 35-52.
- Haltiner, G. and Williams, R. 1980. Numirical Prediction and Dynamic Meteorology. John Wiley&Sons. 477p.

- Kazemi Rad, L. and Mohammadi, H. 2013. Application of Multi-criteria Decision Making Method (TOPSIS) in Diligence Scheme of Guilan Province. Geographic space. 13(44):203-217.
- Khalili Aghdam, N. Hosseini, A. Soltani, A. and Kamkar, B. 2012. Assessment of the ability of the LARS-WG model to predict some Sanandaj atmospheric parameters. Journal of Soil and Water Conservation Research. 19(4): 85-103
- Khazanedari, L. Zabol Abbasi, F. Ghandhari, Sh. Kouhi, M and Malbousi, Sh. 2009. Drought prediction in Iran during next 30 years. 9th EMS Annual Meeting Applications of Meteorology. 6.
- Khoshakhlagh, F. Hejazi Zadeh, Z. Mohammadi, H. and Roshan, Gh. 2006. TOPSIS Approach in Determining and Ranking of Drought (Case Study: Drought Distribution in Several Stations in Khuzestan Province). 5(6):105-127.
- Luo Qanyan, M.A. Williams, J. Belloti, W.and Bryan, B.2003.Quantities and visual assessments of climate change impacts on south Australian wheat production.Agriculture Systems.77(3):173-186.
- Mavromatis, Th. and Hansen, J. 2001. Inter annual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. Agricultural and forest meteorology. 109: 283-296.
- Mishra, A.K. and Singh V.P. 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology.391:202–216.
- Olapida, E.O. 1985. A Comparative Performance Analysis of Three Meteogical Drought Indices. Journal of climatology. 5: 655-664.
- owden, J.R. Watkins, Jr.D.W. and Mihelcic, J.R. 2008. Stochastic rainfall modeling in west aafrica: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. J. Hydrol.361(1-2): 64-77.
- Richter, G.M. and Semenov, M.A. 2004. Modeling impacts of climate change on wheat yields in England and wales. Assessing drought risks. Agriculture Systems. 84(1):77-97.
- Sajjad Khan, M. Coulibaly, P. and Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of stochastically downscaling methods. J. Hydrol. 319(1-4): 357-382.
- Semenov, M.A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate Research. 35: 203-212.
- Semenov, M.A. and Barrow, E.M. 1997. Use of a stochastic Weather Generator in the development of Climate Change Scenarios. Climatic Change. 35.
- Semenov, M.A. and Brooks, R.J. 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG Stochastic Weather Generator in Great Britain. Climate Research. 11: 137-148.
- Semenov, M.A. and Brooks, R.J. 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG Stochastic Weather Generator in Great Britain. Climate Research. 11: 137-148.
- Sirtekno, O. 2001. The Global Greenhouse Effect. Agro Ecosystems and the Future of Agriculture. WMO. CAGM report. No 77b.
- Williams, A.G. 1991. Modeling future climates: From GCMs to statistical downscaling approaches. University of Toronto at Scarborough. 56p.
- Zabul Abbasi,F. Melboshi, Sh. Babaeian, I. Etemori, M. and Borhani, R. 2010. Prediction of Climate Change in Southern Khorasan in the 2010-2010 period of 2039 using the ECHO-G Model Output Statistical Exponential Scale. Water and Soil (Agriculture Sciences and Technology). 24(2): 218-233.