

## پهنه بندی وقوع آخرین یخبندان‌های دیررس خراسان رضوی با استفاده از خروجی مدل اقلیمی

رضا اسماعیلی<sup>۱\*</sup>

استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد

منصوره کوهی

دانشجوی کارشناسی ارشد کشاورزی دانشگاه فردوسی و کارشناس پژوهشکده اقلیم‌شناسی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۰۴ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۰۴/۳۰

### چکیده

هدف از پژوهش حاضر بکارگیری داده‌های خروجی مدل اقلیمی به صورت کاربردی است. به این منظور با استفاده از خروجی مدل اقلیمی GCM ECHO-G سناریو A1 برای دوره اقلیمی ۱۳۸۹-۱۴۱۸ هجری قمری یخبندان‌های خراسان رضوی در دو سطح سبک و سنگین مورد ارزیابی قرار گرفته است. داده‌های مدل ذکر شده به روش آماری و با استفاده از مدل-LARS WG در مقیاس زمانی روزانه و برای ۶ ایستگاه همدید که در داخل و مجاور منطقه مورد بودند، ریز مقیاس شده‌اند. سپس با استفاده از داده‌ها تولید شده برای دوره اقلیمی آینده تاریخ آخرین یخبندان سبک(تاریخ آخرین افت دما به زیر صفر درجه سانتی‌گراد) و سنگین (تاریخ آخرین افت دما به کمتر از ۲- درجه سانتی‌گراد) استخراج شد و با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره نقشه پهنه بندی آخرین یخبندان ترسیم شد. بر اساس نتایج بدست آمده وقوع یخبندان‌های بهاره از آرایش ناهمواری‌های منطقه تبعیت می‌کند به طوری که دیرترین یخبندان‌های بهاره در مرتفع ترین نقاط کوه‌ها به وقوع می‌پیوندد و بالعکس. به دلیل تفاوت‌های ارتفاعی بین استان تاریخ وقوع یخبندان نیز بسیار متفاوت می‌باشد به طوری که در حالی که در نواحی جنوبی و پست استان در نیمه اول اسفند خطر برور یخبندان به اتمام می‌رسد در نقاط مرتفع رشته کوه‌های بینالود، هزار مسجد و کوه‌های سلیمانی تربت حیدریه این خطر تا اواخر فصل بهار محتمل است.

واژگان کلیدی: یخبندان دیررس بهاره، ریز مقیاس کردن، رگرسیون چند متغیره، مدل LARS-WG

### مقدمه

برآورد روند تغییرات برخی شاخص‌های اقلیم- کشاورزی از قبیل تغییرات بارش و دما، تغییرات طول فصل رشد، تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان بهاره و پائیزه و غیره طی سال‌های آینده به منظور ارزیابی برنامه‌ریزی صحیح و در نظر گرفتن تمهیدات لازم بسیار مورد توجه است. امروزه دستیابی به این مهم با بسط و توسعه مدل‌های اقلیمی فراهم شده است در این مدل‌ها متغیرهای اقلیمی تحت تاثیر تنش‌های ناشی از گازهای گلخانه‌ای شبیه سازی می‌شوند. معتبرترین

<sup>۱</sup> عضو باشگاه پژوهشگران جوان، مشهد، ایران

\* نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۳۱۹۲۷۸

ابزار موجود جهت شبیه سازی داده‌های اقلیمی برای دوره‌های آتی، استفاده از خروجی الگوهای جفت شده جو- اقیانوس گردش عمومی جو (AOGCM) است.

بکارگیری خروجی مدل‌های اقلیم جهانی (GCM<sup>۱</sup>) و منطقه ای (RCM<sup>۲</sup>) این امکان را به وجود آورده است تا محققان بتوانند تغییرات اقلیم را در مقیاس‌های زمانی بلند مدت بر بخش‌های مختلف بررسی نمایند. پژوهش‌های بسیار متعددی با استفاده از خروجی مدل‌های اقلیمی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های تامسون و مالان (۱۱۵، ۱۹۹۵) در نیوزیلند، ویلیامز (۱۹۹۱) و مک گاک و همکاران (۲۰۰۳) در کانادا، زمنف و بروکس (۱۹۹۹) در انگلستان و ویلی و همکاران (۲۰۰۱) و هارفان و ویلی (۲۰۰۵) اشاره کرد. همچنین در پژوهش‌های که روند افزایشی آن بسیار چشمگیر است به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی با استفاده از مدل سازی اقلیمی پرداخته شده است (کمیسون اتحادیه اروپا ۲۰۰۹)، (فنگ می و همکاران ۲۰۰۷) و (اسمیت و همکاران ۲۰۱۰). در داخل کشور مساح (۱۳۸۵) به ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب حوزه زاینده رود پرداخته است. در پژوهش‌های دیگر صمدی (۱۳۸۶) و خزانه داری (۱۳۸۸) با استفاده از خروجی مدل اقلیمی و ریز مقیاس نمایی داده‌ها به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی‌ها پرداخته‌اند. اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۹) اثر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و یخبندان را با استفاده از مدل اقلیمی GCM ECHO-G در سه ایستگاه خراسان رضوی برای دوره اقلیمی آینده مورد ارزیابی قرار دادند.

در میان بلاای اقلیمی، یخبندان یکی از مهمترین هاست که بر حسب شدت، تداوم و گسترش آن در زمینه‌های مختلف کشاورزی، حمل و نقل و ... تأثیر بسزایی دارد (علیزاده، ۱۳۷۳). از این میان یخبندان‌های دیر رس به دلیل ماهیت غیر مطر قبه بودن آن هر ساله آسیب‌های سنگینی را بر بخش‌های مختلف وارد می‌کند، از اینرو تلاش‌های زیادی جهت پیش بینی تاریخ وقوع یخبندان (بهاره و پاییزه) صورت گرفته است به عنوان نمونه می‌توان به پژوهش‌های انجام شده توسط هاشمی (۱۳۴۸) علیزاده و کمالی (۱۳۷۳)، براتی (۱۳۷۵)، رحیمی (۱۳۷۸)، توکلی و حسینی (۱۳۸۵) و طاووسی (۱۳۸۹) اشاره کرد.

هدف از پژوهش حاضر ارائه پهنه بندی خطر وقوع آخرین یخبندان‌های دیر رس در سطح خراسان با استفاده از خروجی مدل اقلیمی GCM ECHO-G برای دوره اقلیمی ۱۳۸۹-۱۴۱۸ می باشد. شرایط اقلیمی و همچنین مجاورت با هسته پرفشار ترمیکی دینامیکی قوی سیبری وقوع یخبندان‌ها را در خراسان رضوی اجتناب ناپذیر می‌کند (اسماعیلی، ۱۳۸۶)، که معمولاً باعث آسیب‌های هنگفت به بخش‌های مختلف به خصوص کشاورزی می‌شود. به عنوان مثال در سرمازدگی فروردین ۱۳۸۴ حدود ۱۰ هزار هکتار از باغات سیب استان خراسان رضوی با میزان آسیب‌های حدود یکصد و هفتاد میلیارد تومان آسیب دیدند (کمالی، ۱۳۸۶). طی دوره ۱۰ ساله ۱۳۶۹-۱۳۷۸ وقوع ۱۰۱ مورد سرمازدگی و یخبندان در سطح شهرستان‌های خراسان، موجب بروز آسیب‌های مالی و جانی در بخش دام و اراضی کشاورزی شده است (اقتداری، ۱۳۸۶).

بنابراین دسترسی به اطلاعاتی از کمیت و کیفیت یخبندان‌های دیر رس می‌تواند در برنامه ریزی‌های بلند مدت بخش‌های مختلف به خصوص بخش کشاورزی و در نظر گرفتن تمهیدات لازم مورد توجه و استفاده قرار گیرد.

## داده‌ها و روش‌ها

### ایستگاه‌ها و داده‌های مورد استفاده

پدیده‌های حدی را می‌بایست به عنوان شاخصه‌های اصلی تغییرات اقلیمی دانست که مطالعه بر روی آنها می‌تواند نتایج ملموس‌تری از تغییرات را نشان دهد. پدیده‌های حدی به اتفاق‌های نادری اطلاق می‌شوند که از دیدگاه آماری در ناحیه

1 - General Circulation Model

2 - Regional Climate Model

بالا و پایین توزیع آماری قرار گیرند، به طوری که احتمال وقوع آن کم باشد (کایان ۳، ۲۰۰۱، ۸). در پژوهش حاضر با استفاده از خروجی مدل اقلیمی ECHO-G سناریوی A1 وقوع آخرین یخبندان<sup>۳</sup> های دیر رس بهاره در دوره اقلیمی ۱۴۱۸-۱۳۸۹ به عنوان یک پدیده حدی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

سناریوهای مختلف انتشار که نشان دهنده میزبان انتشار گازهای گلخانه‌ای و وضعیت آنها تا سال ۲۱۰۰ هستند بر اساس فرض‌های مختلف برای وضعیت اقتصادی، اجتماعی و تغییرات رشد جمعیت کره زمین ارائه شده‌اند که به مدل معرفی می‌گردد و بر این اساس، داده‌های آینده شبیه سازی می‌شوند. هیات بین الدول تغییر اقلیم (IPCC)<sup>۴</sup> به منظور بررسی دامنه احتمالی رشد اقتصادی و جمعیت انسان در آینده که احتراق سوخت‌های فسیلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، این سری سناریوی انتشار (SRES)<sup>۵</sup> ارائه داده است. در جدول (۱) سه سناریوی با فرض‌های مختلف آمده است.

در این پژوهش، از داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو ECHO - G استفاده شده است. این مدل متعلق به مرکز پژوهش‌های هواشناسی کشور کره جنوبی است. قدرت تفکیک مکانی داده‌های GCM این مدل،  $3/9 \times 3/9$  درجه است. که با استفاده از مدل LARS-WG و استفاده از سناریو A1، داده‌های مدل مذکور در مقیاس زمانی روزانه و در سطح ایستگاهی ریز مقیاس گردیده‌اند. داده‌های دیده بانی شده مربوط به دوره اقلیمی ۱۳۸۴-۱۳۵۵ و داده‌های شبیه سازی شده یا تولید شده مربوط به دوره اقلیمی ۱۳۸۹-۱۴۱۸ است. داده‌های خروجی مدل شامل متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در مقیاس روزانه است. با توجه به موضوع پژوهش، محاسبات آماری لازم و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس متغیر دمای کمینه صورت گرفته است. برای انجام فرایند پهنه بندی، از سه ایستگاه مشهد، سبزوار و تربت حیدریه که در داخل استان خراسان رضوی قرار دارند و دارای آمار طولانی مدت بیش از ۳۰ سال بوده‌اند و سه ایستگاه دیگر که دارای تطابق اقلیمی زیادی با منطقه مورد مطالعه هستند، و در استان‌های مجاور قرار گرفته‌اند، استفاده شده است. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های استفاده شده را نشان می‌دهد.

**جدول ۱: سناریو های انتشار گازهای گلخانه‌ای و فرض‌های مورد استفاده در آن‌ها (هاردی، ۲۰۰۴)**

سناریو	فرض‌های کلیدی
A1	جهانی با رشد اقتصادی بسیار سریع، جمعیت جهانی که در نیمه قرن به حداکثر می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد و نیز فناوری‌های کارآمدتر و جدیدتر در آینده را توصیف می‌کند. موضوعات اصلی این سناریو عبارتند از همرفت بین مناطق، ظرفیت سازی زیربنایی و افزایش تعامل فرهنگی و اجتماعی با کاهش قابل توجه اختلافات منطقه‌ای در سرانه درآمد.
A2	جهان بسیار ناهمگنی را توصیف می‌کند. موضوع این سناریو عبارتست از خوداتکایی و حفظ ویژگی‌های محلی. در این سناریو الگوهای باروری در سراسر مناطق به کندی همگون می‌شوند که نتیجه آن افزایش مداوم جمعیت است. توسعه اقتصادی اصولاً منطقه‌ای است و سرانه رشد اقتصادی و تغییرات فناورانه به زیربخش‌هایی تفکیک شده و در مقایسه با سایر سناریوها کندتر می‌باشد.
B1	جهانی همگون را با همان افزایش جمعیت که در نیمه قرن حداکثر می‌شود و پس از آن کاهش می‌یابد (مانند سناریوی A1) اما با تغییر سریع در ساختارهای اقتصادی به سمت اقتصاد و خدمات، کاهش حجم کالا و معرفی فناوری‌های منابع کارآمد و پاک توصیف می‌کند. در این سناریو بر راه حل‌های جهانی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیطی، به انضمام اصلاح سرمایه اما بدون تغییرات اضافی اقلیم تاکید شده است.

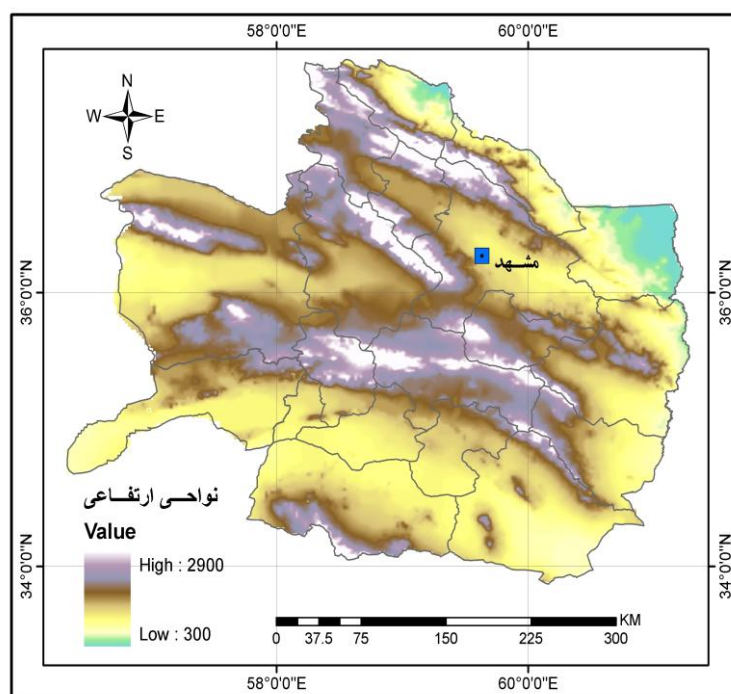
3 - Cayan

4- Intergovernmental Panel on Climate Change

5- Special Report on Emission Scenario

جدول ۲: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع به متر
مشهد	۳۶.۲۸	۵۹.۶۰	۹۹۹.۲
سبزوار	۳۶.۲۰	۵۷.۶۶	۹۷۷.۶
تریت حیدریه	۳۵.۲۷	۵۹.۲۲	۱۴۵۰.۸
بجنورد	۳۷.۴۶	۴۸.۳۹	۱۰۹۱
سمنان	۳۵.۵۰	۵۲.۴۰	۱۱۳۰.۸
بیر جند	۳۲.۸۶	۵۲.۳۹	۱۴۹۱



شکل ۱: مدل رقومی ارتفاع استان خراسان رضوی

بر اساس داده‌های تولید برای دوره اقلیمی آینده، ابتدا تاریخ آخرین وقوع یخبندان بهاره برای دو سطح یخبندان سبک بهاره (افت درجه حرارت به زیر صفر درجه سانتی‌گراد) و یخبندان سنگین بهاره (افت دما به پایین‌تر از  $-2$  درجه سانتی‌گراد) استخراج شد. جهت برخورداری از امکان انجام عملیات آماری، تاریخ‌های وقوع هر یک از یخبندان‌ها به تاریخ ژولیوسی تبدیل گردید. بر اساس این تاریخ، روز اول سال کشاورزی یا اول مهر ماه عدد ۱ و به صورت متوالی به روزهای دیگر عدد بالاتر اختصاص می‌یابد بدیهی است آخرین روز سال در سال‌های غیر کبیسه عدد ۳۶۵ تعلق می‌گیرد. عملیات پهنه بندی که در حقیقت تعمیم نتایج و ارزش‌های عددی نقطه‌ای به سطح مورد نظر می‌باشد با استفاده از روش رگرسیون صورت گرفته است. استفاده از این روش مستلزم برخورداری از همبستگی بالا و همچنین معنا دار بودن آن می‌باشد.

## معرفی مدل LARS-WG

استفاده از مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری کاربران را قادر می‌سازد تا خروجی مدل‌های گردش عمومی جو را با استفاده از روش‌های آماری به گونه ای ریزمقیاس نمایند که داده‌های تولیدی از شباهت زیادی به مقادیر داده‌های ثبت شده در یک ایستگاه داشته باشند. این فرآیند از طریق همبستگی آماری بین خروجی مدل‌های گردش عمومی جو در گذشته با داده‌های دوره آماری در ایستگاه هواشناسی قرار گرفته شده در یک شبکه مدل اقلیمی صورت می‌گیرد و این همبستگی به دوره مورد مطالعه در آینده عمومیت داده می‌شود. برای بررسی قدرت مدل‌های Weather Generator، داده‌های آب و هوایی تولید شده توسط مدل با داده‌های دوره آماری ثبت شده در ایستگاه هواشناسی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، در صورتی که نتایج قابل قبول باشد از مدل مورد نظر جهت تولید سناریوهای آینده استفاده می‌شود. مدل‌های مورد استفاده جهت ریزمقیاس نمایی عبارتند از: ۱- مدل‌های ریزمقیاس نمایی دینامیکی ۲- مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری. از مهمترین مدل‌های ریزمقیاس نمایی دینامیکی می‌توان به REGCM و PRECIS و مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری به مدل‌های ASD، CLIGEN، LARS-WG و SDSM اشاره نمود. در مورد روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری، ویلی و همکارانش (۲۰۰۲) مدل SDSM را برای ریزمقیاس کردن اطلاعات دما و بارش با استفاده از روش‌های آماری توسعه داده‌اند در پژوهشی دیگر روش‌های مختلف ریزمقیاس کردن مدل SDSM، شبکه عصبی شعاعی و شبکه عصبی چند لایه را برای پیش بینی بارش مناطق مختلف انگلستان مورد استفاده قرار گرفته است (هارفام و ویلی، ۲۰۰۵). مدل LARS-WG نیز یک مدل ریزمقیاس نمایی آماری می‌باشد که مولد مصنوعی داده‌های آب و هواشناسی است، این مدل می‌تواند برای شبیه سازی داده‌های هواشناسی در یک مکان واحد، تحت شرایط اقلیم حال و آینده بکار رود. خواص آماری داده‌های تولید شده مشابه دوره آماری بوده اما انحراف معیار آنها به نسبت اختلاف داده‌های مدل GCM در دوره آینده و گذشته پریشیده می‌شود. این مدل به تهیه میانگین سری‌های زمانی داده‌های مصنوعی شبیه سازی شده با مشخصات آماری مطابق با آمار دیده بانی شده در یک ایستگاه می‌پردازد. نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد (راکسکو و همکاران، ۱۹۹۱، ۲۷). هدف اصلی از اجرای این روش، غلبه بر محدودیت‌های روش زنجیره مارکف در وقوع بارش بود. کارایی مدل LARS-WG توسط زمنف در سال ۱۹۹۰ در ۱۸ ایستگاه هواشناسی واقع در آمریکا، اروپا و آسیا مورد ارزیابی قرار گرفت (زمنف و همکاران، ۱۹۹۸).

## نتایج و بحث

### تحلیل فضایی

در این پژوهش از روش رگرسیون چند متغیره برای ترسیم نقشه‌های پهنه بندی استفاده شد. معادلات زیر نتایج رگرسیون چند متغیره را که از طریق محاسبه همبستگی بین متغیرهای مورد استفاده به دست آمده است، نشان می‌دهد. این معادلات در محیط نرم افزار Arc GIS 9.3 جهت تهیه نقشه‌های پهنه بندی اعمال شده اند:

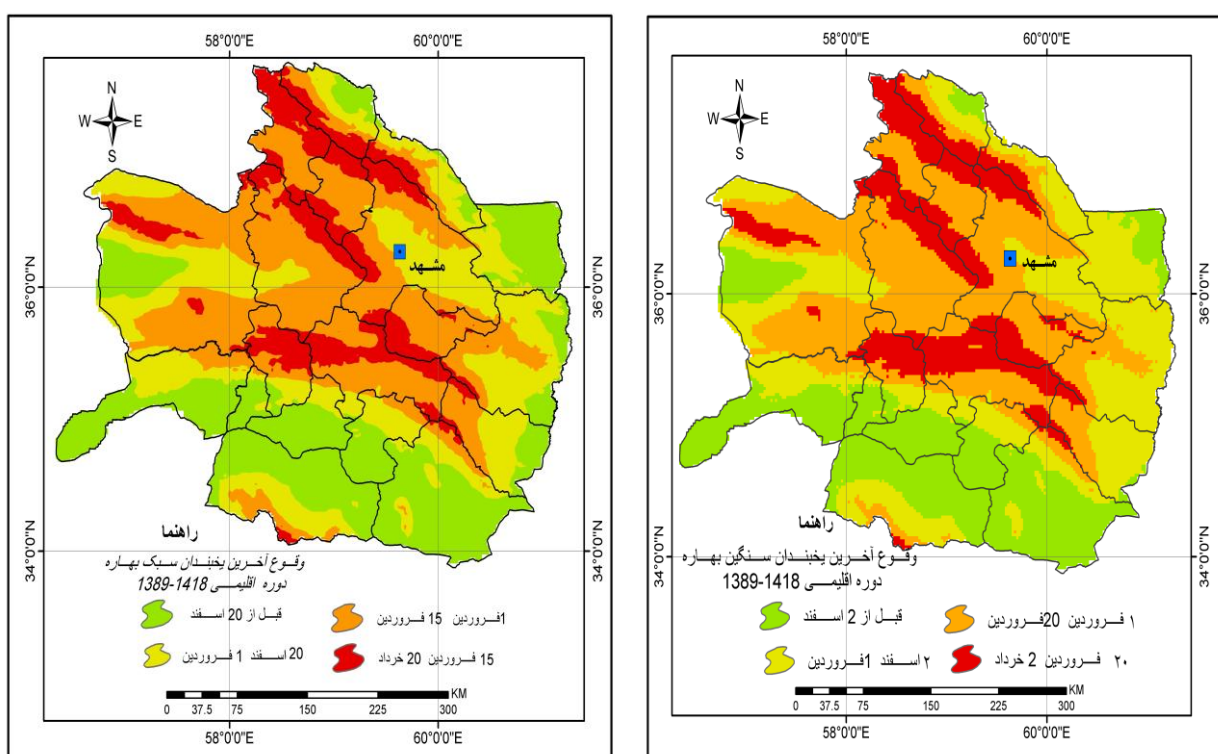
$$FL_1 = 59 + 0.051 E + 3.6 Y - 3.76 T \quad (1)$$

$$FL_2 = 134 + 0.0342 E + 2.47 Y - 5.77 T \quad (2)$$

در معادلات فوق:

$FL_1$  آخرین یخبندان دیررس سبک،  $FL_2$  آخرین یخبندان دیررس سنگین،  $E$  معرف ارتفاع،  $T$  معرف دما،  $Y$  معرف عرض جغرافیایی است. مقادیر ضریب تبیین برای معادلات ۱، ۲ و به ترتیب ۹۴/۷ و ۹۰/۱ می‌باشد. بنابراین با توجه به مقادیر بالای ضریب تبیین بدست آمده، می‌توان از این معادلات برای پهنه بندی خطر یخبندان استفاده کرد. طبق معادله ۱ و ۲ تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد و با متوسط سالانه دما

رابطه‌ای معکوس دارد. شکل ۲ نقشه پهنه‌بندی وقوع آخرین یخبندان دیر رس سبک و سنگین را برای دوره اقلیمی آینده نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، وقوع دماهای بحرانی از الگوی ناهموازی‌های منطقه (شکل ۱) تبعیت می‌کند. به طوری که وقوع آخرین یخبندان‌های دیر رس منطقه، بر نواحی مرتفع رشته کوه‌های بینالود و هزار مسجد منطبق است. به عنوان مثال، در حالی که تاریخ آخرین وقوع یخبندان دیررس سبک در مرتفع‌ترین نقاط استان تا اواخر فصل بهار ادامه دارد، مناطق پست و کم ارتفاع در نیمه اول اسفند خاتمه می‌یابد. یک چنین شرایطی در مورد یخبندان سنگین بهاره نیز صادق است. در مجموع می‌توان گفت خطر بروز یخبندان تقریباً از نیمه دوم فروردین جز در نواحی مرتفع کوهستانی (کوه‌های هزار مسجد، بینالود و سلیمانی در مرکز استان) به پایان می‌رسد. نواحی عمده‌ای از نواحی پست و کم ارتفاع استان که منطبق بر دشت سرخس، شهرستان‌های خواف، رشتخوار مه ولات، بردسکن، کاشمر، سبزوار و گناباد در نیمه اول اسفند از خطر بروز یخبندان مصون می‌باشند.



شکل ۲: پهنه بندی وقوع آخرین یخبندان سنگین (سمت راست) و سبک بهاره (سمت چپ) بهاره دوره اقلیمی ۱۴۱۸-۱۳۸۹ ه. ق.

### تحلیل ایستگاهی

جهت مشخص شدن میزان تغییرات و مقایسه بین دوره گذشته و آینده سه ایستگاه مشهد، سبزوار و تربت حیدریه که مدل در آنها اجرا شده است مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. طبق محاسبات صورت گرفته شده، در مشهد، میانگین تاریخ وقوع یخبندان سبک و سنگین بهاره در دوره آماری پایه‌ی (۱۳۸۴-۱۳۵۵) به ترتیب روز ۱۸۷ و ۱۷۰ ژولایوسی بوده است اما نتایج حاصل از مدل برای دوره ی ۱۴۱۸-۱۳۸۹ نشان می‌دهد این تاریخ به طور میانگین به ترتیب به روز ۱۷۹ و روز ۱۶۱ ژولایوسی منتقل شده که به معنای کاهش خطر پذیری ناشی از آخرین یخبندان دیررس بهاره در هر دو سطح طی دوره‌ی شبیه سازی خواهد بود.

در تربت حیدریه، تاریخ وقوع آخرین یخبندان سبک و سنگین بهاره طی دوره آماری مذکور به ترتیب در روز ۱۸۷ و ۱۷۶ ژولایوسی می‌باشد که در دوره آماری شبیه سازی شده این دو تاریخ به طور میانگین در روز ۱۸۸ و ۱۶۹ رخ خواهند

داد. در سبزواری نیز تاریخ میانگین آخرین یخبندان سبک و سنگین بهار در دوره پایه به ترتیب ۱۷۷ و ۱۵۵ بوده و در دوره شبیه سازی شده در روزهای ۱۶۳ و ۱۴۵ ژولیبوسی خواهد بود. بنابراین بجز در ایستگاه تربت حیدریه (آخرین تاریخ یخبندان سبک بهاره)، در بقیه موارد شاهد اتمام زودتر دوره یخبندان بهاره در سی سال آتی خواهیم بود. در جدول ۴ تاریخ میانگین آخرین یخبندان دیررس بهاره در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده جهت مقایسه آورده شده است.

جدول ۴: تاریخ میانگین وقوع آخرین یخبندان دیررس سبک و سنگین بهاره در دوره پایه و دوره شبیه سازی شده

ایستگاه	آخرین یخبندان سبک بهاره		آخرین یخبندان سنگین بهاره	
	ش. ۱۳۵۵-۱۳۸۴	ش. ۱۳۸۹-۱۴۱۸	ش. ۱۳۵۵-۱۳۸۴	ش. ۱۴۱۸-۱۳۸۹
مشهد	۸ فروردین	۲۹ اسفند	۲۰ اسفند	۱۱ اسفند
سبزواری	۲۶ اسفند	۱۳ اسفند	۵ اسفند	۲۶ بهمن
تربت حیدریه	۹ فروردین	۸ فروردین	۲۶ اسفند	۱۹ اسفند

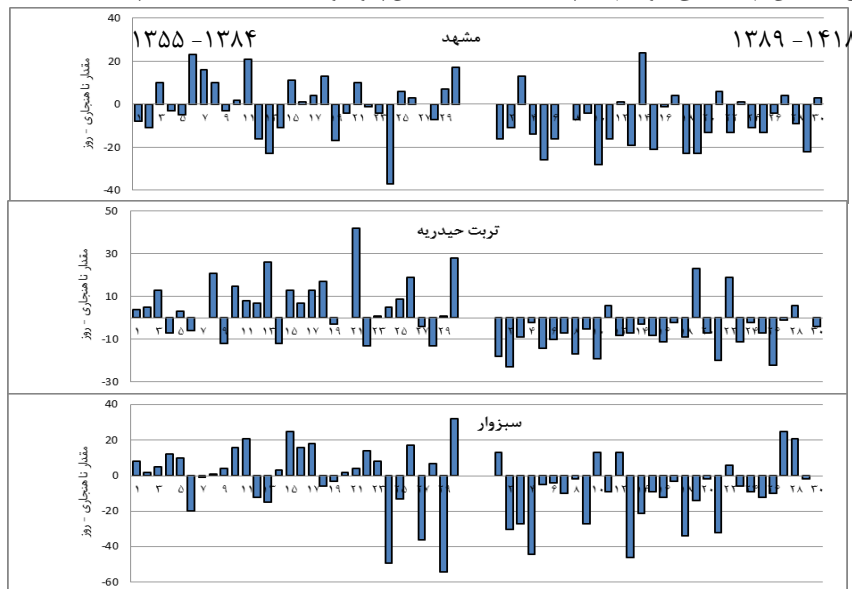
در جدول ۵ متوسط تغییرات بر اساس روز در ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقایسه با دوره آماری پایه (۱۳۵۵-۱۳۸۴ هجری شمسی) ارایه شده است. همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود اعداد منفی وقوع زودتر یخبندان را نسبت به میانگین ۳۰ ساله گذشته نشان می‌دهد که کاهش خطر یخبندان را در پی دارد و بالعکس اعداد مثبت نشانه‌ی وقوع دیرتر یخبندان می‌باشند. بدیهی است اعداد بزرگتر خطر بیشتری را در پی خواهند داشت. بر این اساس، بجز در ایستگاه تربت حیدریه (رخداد دیرتر یخبندان سبک به میزان تقریباً یک روز)، در سایر ایستگاه‌ها شاهد وقوع زودتر یخبندان سبک و سنگین بهاره نسبت به متوسط دوره آماری پایه خواهیم بود.

جدول ۵: میزان تغییرات در تاریخ وقوع آخرین یخبندان سبک و سنگین بهاره بین دو دوره پایه و دوره شبیه سازی شده بر حسب روز

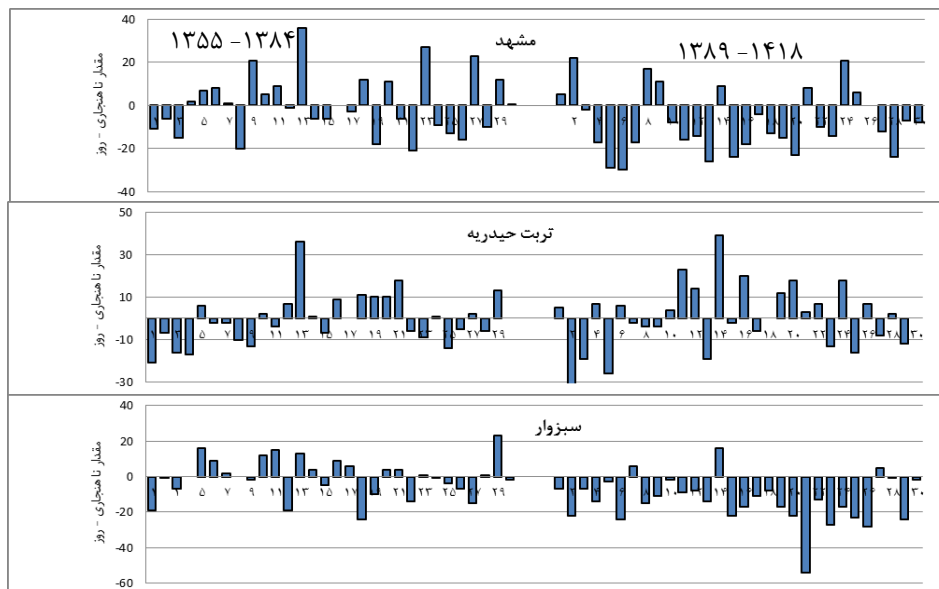
ایستگاه	یخبندان سنگین بهاره	یخبندان سبک بهاره
مشهد	-۹	-۸
تربت حیدریه	-۷	۱
سبزواری	-۹	-۱۳

از لحاظ فراوانی وقوع رخداد‌های یخبندان سبک و سنگین بهاره در سی ساله آینده، نتایج حاصل از اجرای مدل نشان دهنده‌ی کاهش فراوانی تعداد سال‌های با ناهنجاری مثبت در رخداد دیررس یخبندان سبک (بجز ایستگاه تربت حیدریه) و سنگین بهاره نسبت به دوره پایه می‌باشد نتایج حاصل از این تحلیل به صورت نمودار در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. در این نمودارها میانگین تاریخ وقوع آخرین یخبندان سبک (دمای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد) و سنگین (دمای کمتر از -۲ درجه سانتی‌گراد) در دوره گذشته مبنای قرار گرفته است (صفر محور عمودی). بروز ناهنجاری ۶ منفی به معنی زودتر حادث شدن دمای مد نظر نسبت به میانگین دوره گذشته است که مسلماً کاهش خطر سرمازدگی را به دنبال دارد و ناهنجاری‌های مثبت، به معنی وقوع دمای‌های بحرانی بعد از تاریخ میانگین بلند مدت می‌باشد که می‌تواند باعث بروز سرمازدگی و آسیب‌های شود. لازم به ذکر است بزرگی عددی ناهنجاری، بیانگر میزان شدت آن است. به عنوان مثال، در ایستگاه مشهد تاریخ متوسط آخرین یخبندان سبک در دوره گذشته ۸ فروردین (روز ۱۸۷ ژولیبوسی) است، لذا به عنوان مبنای (صفر محور قائم) در نظر گرفته شده است. و تاریخ ژولیبوسی وقوع یخبندان دیر رس در هر سال از تاریخ متوسط (۱۸۷ برای مشهد) کسر شده است که اعداد مثبت نشان دهنده وقوع دیر هنگام تر یخبندان دیررس نسبت به میانگین است که خطر سرمازدگی را در پی دارد و بالعکس به طوری که در ایستگاه مشهد تعداد سال‌های با ناهنجاری مثبت (خطر پذیری

بیشتر) در مورد یخبندان سبک بهاره طی دوره پایه (۱۳۸۴-۱۳۵۵ شمسی) ۱۳ سال و طی دوره شبیه سازی شده (۱۴۱۸-۱۳۸۹) ۸ سال می‌باشد. بررسی این تعداد سال در رابطه با یخبندان سنگین بهاره نیز نشان دهنده‌ی ۱۵ سال برای دوره پایه و ۸ سال برای دوره شبیه سازی شده می‌باشد. در ایستگاه سبزواری سال‌های با ناهنجاری مثبت یخبندان سبک بهاره طی سی سال پایه و سی سال آتی به ترتیب ۱۲ و ۳ سال و در مورد یخبندان سنگین نیز ۲۰ و ۶ سال می‌باشد. نتایج این بررسی در ایستگاه تربت حیدریه نشان دهنده‌ی به ترتیب تعداد ۱۳ و ۱۵ سال رخداد دیررس یخبندان سبک بهاره و تعداد ۲۰ و ۴ سال در مورد یخبندان سنگین بهاره طی دوره پایه (۱۳۸۴-۱۳۵۵ ه. ش.) و دوره شبیه سازی شده (۱۴۱۸-۱۳۸۹ ه. ش.) است.



شکل ۳: ناهنجاری موجود در تاریخ آخرین وقوع یخبندان سنگین بهاره طی سی سال آینده نسبت به تاریخ میانگین دوره آماری پایه در مشهد، تربت و سبزواری



شکل ۴: ناهنجاری موجود در تاریخ آخرین وقوع یخبندان سبک بهاره طی سی سال آینده نسبت به تاریخ میانگین دوره آماری پایه در مشهد، تربت حیدریه و سبزواری



## نتیجه گیری

بروز تغییرات اقلیمی حتمی است و تاثیر پذیری از تاثیرات آن امری اجتناب ناپذیر است. آنچه بسیار ضروری و مهم به نظر می‌رسد دستیابی به اطلاعاتی از کمیت و کیفیت اقلیم آینده و میزان تغییرات احتمالی است دستیابی به این مهم امروزه به بکارگیری مدل‌های اقلیمی که توان شبیه سازی اقلیم دوره آینده را دارند امکان پذیر گشته است. ضعف عمده مدل‌های عمومی گردش جو عدم تفکیک مکانی و زمانی مناسب خروجی این مدل‌ها جهت مطالعات منطقه‌ای و بخصوص ایستگاهی است. که امروزه با استفاده از روش‌های ریز مقیاس گردانی این نقیصه برطرف گشته است. در این پژوهش، با هدف کاربردی کردن نتایج خروجی مدل اقلیمی، پدیده مخرب و خسارت زای آخرین یخبندان بهاره مورد ارزیابی قرار گرفته است در حقیقت یک چنین فعالیتی در جهت کاهش آثار سوء تغییرات اقلیم صورت گرفته است. نتایج این پژوهش منجر به ارائه نقشه‌های پهنه بندی تاریخ وقوع آخرین یخبندان در دو سطح سبک (آخرین تاریخ افت دما به زیر صفر درجه) و سنگین (آخرین تاریخ وقوع دمای ۲- درجه و کمتر) شده است که برای متوسط دوره اقلیمی ۱۳۸۹-۱۴۱۸ تهیه و ترسیم شده است.

بر اساس نتایج بدست آمده وقوع یخبندان‌های بهاره از آرایش ناهموازی‌های منطقه تبعیت می‌کند به طوری که دیرترین یخبندان‌های بهاره در مرتفع ترین نقاط کوه‌ها به وقوع می‌پیوندد و بالعکس. به دلیل تفاوت‌های ارتفاعی بین استان تاریخ وقوع یخبندان نیز بسیار متفاوت می‌باشد به طوری که در حالی که در نواحی جنوبی و پست استان در نیمه اول اسفند خطر بروز یخبندان به اتمام می‌رسد در نقاط مرتفع رشته کوه‌های بینالود، هزار مسجد و کوه‌های سلیمانی تربت حیدریه این خطر تا اواخر فصل بهار محتمل است.

نتایج حاصل از بررسی ناهنجاری‌های موجود در تاریخ وقوع یخبندان سبک و سنگین بهاره، در سه ایستگاه همدیدی مشهد، سبزوار و تربت حیدریه نشان دهنده‌ی رخداد زودتر آخرین یخبندان دیررس بهاره در هر دو سطح سبک و سنگین می‌باشد که به معنای کاهش خطر بروز سرمازدگی می‌باشد (بجز در مورد یخبندان سبک بهاره در ایستگاه تربت حیدریه). همچنین طی سی سال آتی فراوانی رخداد یخبندان سبک و سنگین دیررس بهاره نسبت به تاریخ متوسط این نوع یخبندان‌های در دوره پایه، در سه ایستگاه مورد بررسی نسبت به سی سال دوره آماری پایه، کاهش خواهد داشت که در بعضی موارد اختلاف بین فراوانی وقوع به ۱۶ مورد (در یخبندان سنگین دیررس بهاره در ایستگاه تربت حیدریه) می‌رسد. تنها استثنا در مورد یخبندان سبک بهاره در ایستگاه همدید تربت حیدریه است که فراوانی وقوع با ناهنجاری مثبت در دوره‌ی شبیه سازی شده بیش از دوره آماری پایه می‌باشد. در نهایت با توجه به صحت سنجی انجام شده بر روی داده‌های دوره پایه این پژوهش (با دقت بیش از ۹۰ درصد)، به نظر می‌رسد شبیه سازی داده‌های دوره اقلیمی مذکور و نتایج بدست آمده با این احتمال قابل بحث و بررسی باشد لذا استفاده از نتایج این پژوهش در امر برنامه ریزی‌های آتی در زمینه‌های مختلف کاربردی نظیر کشاورزی، عمران، حمل و نقل و غیره، می‌توان مورد استفاده قرار گیرد و در برنامه ریزی‌های بلند مدت استفاده شود.

## تشکر و قدردانی :

بدین وسیله از مساعدت‌های آقای دکتر مجید حبیبی نوخندان، آقای دکتر ایمان بابائیان و خانم مهندس فاطمه زابل عباسی کارشناسان پژوهشکده اقلیم شناسی تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

- ۱- اسماعیلی، ر. (۱۳۸۶): بررسی یخبندان‌های دیررس بهاره از دیدگاه آماری - سینوپتیکی و اثرات آن بر محصولات باغی، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی، به راهنمایی دکتر محمود خسروی، دانشگاه سیستان و بلوچستان. ص ۷۲-۲۶.

- ۲- اسماعیلی، ر، حبیبی نوخندان، م، فلاح قاله‌ری، غ. (۱۳۸۹): ارزیابی تغییرات طول دوره رشد و یخبندان ناشی از نوسانات اقلیمی مطالعه موردی خراسان رضوی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، پاییز (۱۳۸۹): صص ۸۲-۶۹.
- ۳- اقتداری، م، ۱۳۸۶. بررسی و تعیین نوع یخبندان در آستان خراسان رضوی، پایان نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی موسوی، م، کمالی، غ، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۴- بابائیان، ا، نجفی نیک، ز. (۱۳۸۴): ارزیابی تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ با استفاده از ریز مقیاس نمایی خروجی مدل GCM، گزارش پروژه پژوهشکده اقلیم شناسی و سازمان هواشناسی کشور
- ۵- براتی، غ. (۱۳۷۵): طراحی و پیش بینی الگوهای سینوپتیک یخبندان‌های بهاره ایران، رساله دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- توکلی، م، م، حسینی، (۱۳۸۵): ارزیابی شاخص‌های یخبندان و شروع پاییزه آن در ایران (مطالعه موردی: ایستگاه اکباتان همدان)، نیوار، شماره ۶۰ و ۶۱ صص ۳۱-۴۲.
- ۷- خزانه داری، ل، ف، زابل عباسی، ش، قندهاری، م، کوهی و ش، ملبوسی (۱۳۸۸): دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره دوازدهم، بهار و تابستان ۱۳۸۸.
- ۸- رحیمی، م، (۱۳۷۸): بررسی احتمال زمانی وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره و زودرس پاییزه در البرز مرکزی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- ۹- صمدی نقاب، س، (۱۳۸۶): پیش بینی خشکسالی با روش ریز گردانی خروجی الگوهای GCM، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۸، صص ۲۱۲-۱۹۳.
- ۱۰- طاووسی، ت، درختی، ج، (۱۳۸۹): تحلیل آماری احتمال وقوع و دوره برگشت یخبندان‌های زودرس و دیررس زاهدان در دوره آماری (۱۳۸۶ - ۱۳۶۰)، مجله علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دهم، شماره ۳۰، صص ۱۰۴ - ۸۹.
- ۱۱- عزیزاده، ا، موسوی بایگی، م، کمالی، (۱۳۷۳): تاریخ وقوع اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره در خراسان، نیوار، دوره جدید، شماره ۲۴، صص ۵۶-۳۸.
- ۱۲- کمالی، غ، رحیمی، م، محمدیان، ن. مهدویان، ع. (۱۳۸۶): پیش بینی زمان گلدهی سیب رقم گلدن براساس نیازهای تجمعی سرمایی جهت جلوگیری از خسارت یخبندان در منطقه گل‌مکان خراسان، مجله علوم انسانی، ۲۲: ۱، دانشگاه اصفهان.
- ۱۳- مساح بوانی، ع، (۱۳۸۵): ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب مطالعه موردی: حوزه زاینده رود اصفهان، رساله دکتری عمران گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۴- هاردی، جان، تی، تغییر اقلیم، علل، اثرات و راه حل‌ها، (۲۰۰۴): مترجم خزانه داری، ل، کوهی، م، قندهاری، ش، آسیایی، م، انتشارات پاپلی، چاپ اول، ۱۳۷۸.
- ۱۵- هاشمی، ف، (۱۳۴۸): تجزیه و تحلیل استاتستیک از سرمای تهران، انتشارات پژوهشات و بررسی علمی هواشناسی کل کشور.

- 16- Bonsal, B., R.X. Zhang, L.A. Vincent, and W.D. Hogg, (2001): Characteristics of Daily and Extreme Temperature Canada Climate, 14, 1959-1979.
- 17- Commission of the European Communications, (2009): Annex to the Commission staff Working Document, Adapting to Climate Change: the Challenge for European Agriculture and Rural Areas, Accompanying Document to the White Paper on Climate Change.
- 18- Fengmei Yao, Yinglong Xu, Erda Lin, Masayuki Yokozawa, Jiahua Zhang (2007): Assessing the Impacts of Climate Change on Rice Yields in the Main Rice Areas of China. Climatic Change 80:395-409.
- 19- Harpham, C., Wilby, R. L. (2005): Multi-Site Downscaling of Heavy Daily Precipitation Occurrence and Amounts. Journal of Hydrology, 312, 235-255.
- 20- MC KAGUE, K, et al. (2003): Clim. Gen-A Z Gnvenient Weather General Tion Tool for Canadian Climate Stations, Proceeding of CCAE/SCGR (2003): Mettin Montreal Canada.
- 21- Plummer, N., (1999): Marine Climate-Metadata and Standards, In International Workshop for Port Meteorological Officers from RAs II and V, Melbourne, Australia, pp. 8-12.
- 22- Rasco, P. Szeidl, L., and Semenov, M.A., (1991): A Serial Approach to Local Stochastic Models, Ecological Modeling 57, pp. 27-41.

- 23- Robenson S.M., (2002): Increasing Growing- Season in Illinois During the 20 the Century, *Climate Change* 52, pp. 219-238.
- 24- Schwartz, M. D., and B. Reiter, (2000): Changes in North American Spring, *int. Climate*, 20, pp. 929-932.
- 25- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. and Richardson, C.W. (1998): Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators for Diverse Climates, *Climate Research* 10 pp. 95-107.
- 26- Smith, D., Wvan W., Michael C., and John W., (2010): An Analysis of Climate Change Impacts on Irrigated Crop Water Requirement in the SA MDB Region, CRC for Irrigation Future Technical Report NO 15.10. And CSIRO Land and Water Science Report No. 05/10.
- 27- Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M., (2001):SDSM- A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts, *J. Environmental Modeling and Software*, Vol. 17,P.P. 147-159.
- 28- Harpham C., Wilby R., (2005): Multi-Site Downscaling of Heavy Daily Precipitation Occurrence and Amounts, *J. Hydrology*, Vol. 312, P.P. 235-255
- 29- William A, Gough, (1991): Modeling Future Climates: From GCMs to Statistical Downscaling Approaches, University of Toronto at Scarborough
- 30- Tampion, C. S, and MULLAN, A, B. (1995): Weather Generators, NIWA Internal Report, 115-120
- 31- Zhang, X., E., Aguilar, S., Sensoy, H. Melkonyan, U. Tagiyeva, N. Ahmed, N. Kotaladze, F. Rahemzadeh , A. Taghipour, T. H . Hantosh, P. Albert, M. Semawi, M. Karem Ali, A. Halal Said Al –Shabibi, Z. Al – Oulan, Taha zatari, I, Al Dean Khalet, S. Hammond, M. Demircan M. Eken, M. Adiguzel, I. Alexander m t. C. Peterson and T. Walis, 2005, Trends in Middle East, Climate Extremes Indices During (1930)-(2003): *J. Geophysics. Res*, D22104, DOI: 10.1029/2005JD006181.