نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال پانزدهم | شماره پنجاه و نهم | پاییز ۱۴۰۳
وصول: ۱۴۰۳/۰۷/۱۷ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰
صص ۱۷۶-۱۶۱

ارزیابی اثرات تغییراقلیم بر عملکرد محصول انگور در استان خراسان رضوی با مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: قوچان، سبزوار و کاشمر)

علی اصغر زاده[۱]، غلامعلی جانباز قبادی *[۲]، صدرالدین متولی[۲]، مجید طاهریان[۳]، منصوره کوهی[٤]

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گرایش اقلیم شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور، نور، ایران
۲- دانشیار، آب و هواشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی سازمان تحقیقات اموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
٤- استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو ، پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم مشهد، مشهد، ایران

چکیده

این مطالعه به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول انگور در شهرستان‌های قوچان، سبزوار و کاشمر در استان خراسان رضوی می‌پردازد. با استفاده از مدل MPI-ESM-HR از سری مدل‌های CMIP6 تحت دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 برای دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) و آینده (۲۱۰۰-۲۰۲۶) روند تغییرات شاخص های فرین مانند روزهای یخبندان و عملکرد محصول انگور تا پایان قرن حاضر شبیه‌سازی شد. بررسی ها نشان داده است که یخبندان‌های شدید سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷، عامل اصلی کاهش چشمگیر عملکرد انگور در شهرستان‌های قوچان، سبزوار و بودند. این یخبندان‌ها با آسیب‌رسانی به جوانه، گل و بافت چوبی درختان، فرآیندهای حیاتی چون گلدهی، گرده‌افشانی و فتوسنتز را مختل کرده و کاهش کمیت و کیفیت محصول را در پی داشتند. ریزمقیاس نمایی با روش تغییر عامل دلتا انجام شد. نتایج نشان داد تعداد روزهای یخبندان در هر سه منطقه به شدت کاهش خواهد یافت، به طوری که در کاشمر میانگین این نمایه تحت سناریو SSP5-8.5 به حدود ۰/۳۶ روز در سال خواهد رسید. این کاهش، علی‌رغم تأثیرات مثبت احتمالی، می‌تواند منجر به اختلالات جدی در چرخه زندگی انگور شود. تحلیل روند عملکرد محصول با استفاده از آزمون من-کندال تصحیح شده و برآورد کننده شیب سن نشان داد که تحت هر دو سناریو، روند کاهشی معناداری در عملکرد محصول وجود دارد. این کاهش تحت سناریو SSP5-8.5 شدیدتر است، به طوری که پیش‌نگری می‌شود عملکرد محصول انگور در قوچان، سبزوار و کاشمر به ترتیب ۳۲/۸٪، ۲۱/۵٪ و ۳۸/۷٪ کاهش یابد. این یافته‌ها در رابطه با تاثیر دما و تغییرات اقلیمی بر عملکرد و فنولوژی انگور تاکید دارد و ضرورت توجه به پیامدهای تغییر اقلیم در این مناطق و اتخاذ تدابیر پیشگیرانه را مشخص می‌سازد. این مطالعه همچنین بر ضرورت انجام تحقیقات بیشتر در زمینه اقدامات سازگاری مورد نیاز برای انگور با شرایط اقلیمی جدید و همکاری نزدیک بین محققان، کشاورزان و سیاست‌گذاران تاکید دارد.

کلید واژه‌ها: **انگور، مدل‌سازی عملکرد، CMIP6، استان خراسان رضوی.**

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۲۰۷۰۱۰۸۰ Email: ggobadi@yahoo.com

۱-مقدمه

اطلاعات اقلیمی به دلیل تأثیر آن‌ها بر فرآیندهای هوازی زیستی، مانند آزادسازی یا پراکندگی گرده و رشد محصول، برای تحلیل‌های هوازی زیستی در نظر گرفته می‌شوند. عوامل هواشناسی تأثیر مستقیمی بر شروع و مدت زمان مراحل فنولوژیکی دارند و به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی که گیاهان برای تکمیل چرخه رویشی-تولیدی خود نیاز دارند، عمل می‌کنند (دالامارتا و همکاران، ۲۰۱۰). متغیرهایی مانند دما، نور و رطوبت بر رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارند (بیندی و همکاران، ۱۹۹٦). این مؤلفه‌های محیطی، همراه با عناصر خاک (مانند ذخیره آب خاک یا عمق مؤثر خاک)، مهم‌ترین عوامل برای تعیین مناسب بودن یک منطقه برای کشت انگور در نظر گرفته می‌شوند (اونوریوس و همکاران، ۲۰۱۸). علاوه بر این، شرایط نامساعد جوی مانند تگرگ ممکن است با آسیب رساندن به گل‌ها و میوه‌ها، تأثیر بر کل سطح برگ در زمان برداشت، عملکرد انگور را کاهش دهد. همچنین بارندگی دانه‌های گرده را از جو یا سطح کلاله می‌شوید که منجر به کاهش کارایی لقاح و کاهش گل‌های بارور می‌شود (اورتگا و همکاران، ۲۰۰۷).

انگور یکی از حساس‌ترین محصولات نسبت به تغییر اقلیم است، به طوری که برای چرخه رشد خود به دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد نیاز دارد (کاردل و همکارانف ۲۰۱۹). تابش کافی خورشید نیز برای رشد صحیح آن مورد نیاز است. تاکستان‌ها به طور سنتی در مناطقی پرورش داده می‌شوند که میانگین دما در فصل رسیدن (آوریل تا اکتبر برای نیمکره شمالی) بین ۱۲ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد است (جونز، ۲۰۰٦). این دمای بهینه برای هر رقم انگور متفاوت است، بطوریکه دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد برای رقم Pinot Noir، دمای ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد برای رقم Chardonnay، دمای ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد برای رقم Cavernet Franc، دمای ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد برای رقم Tempranillo، دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد برای رقم Merlot و دمای ۱۸/۲ درجه سانتی‌گراد برای رقم Garnacha پیشنهاد شده است. علاوه بر این، دمای بهینه برای رشد میوه در تابستان در محدوده ۲۰—۳۰ درجه سانتی‌گراد است (هلالی و رسولی، ۱۳۹۵). دماهای بالا در فصل رسیدن به تولید میوه‌ای با عطر کمتر و از دست دادن رنگدانه‌ها، مانند لیکوپن، می شود (کالینز، ۲۰۰٦). سیستم فتوسنتز گیاه می‌تواند به دلیل قرار گرفتن طولانی مدت در معرض دمای شدید گرم (دمای بالاتر از ٤۰ درجه سانتی‌گراد) تحت تأثیر منفی قرار گیرد. در نتیجه، دماهای بالا می‌تواند بهره‌وری و کیفیت انگور را به خطر بیندازد. انگور توانایی تحمل دماهای تا ۱۵—۲۰ درجه سانتی‌گراد زیر صفر در مراحل اولیه رشد را دارد. با این حال، تولید آن در برابر یخبندان در بهار بسیار آسیب‌پذیر است که می‌تواند به طور به تاکستان آسیب برساند (هیدالگو، ۱۹۹۹).

تغییرات متغیرهای هواشناسی به روش‌های مختلفی بر محصولات تأثیر می‌گذارند و به طور غیرمستقیم شیوع و شدت آفات و بیماری‌ها را تغییر می‌دهند؛ بنابراین، لازم است سامانه های کشاورزی خود را با سناریوی های احتمالی تغییر اقلیم تطبیق دهند تا انعطاف‌پذیری و توانایی واکنش بیشتری برای کشاورزان فراهم آید. از جمله این سازگاری ها می‌توان به پیش‌نگری تولید نهایی محصول، شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر و زمان‌های خطر بالقوه اشاره کرد. همه این موارد با هدف نهایی دستیابی به تولید پایدارتر و مصرف منابعی که بهره‌وری را افزایش می‌دهد و توانایی سازگاری با رویدادهای فرین اقلیمی مانند خشکسالی، سیل و سایر بلایا را تقویت می‌کند در ارتباط است (اسمبلی، ۲۰۱۵).

تغییر اقلیمی به عنوان یک عامل مهم در تأثیرگذاری بر بهره‌وری کشاورزی در سراسر جهان، به ویژه در تاک‌کاری، ظهور کرده است. این پدیده، تأثیر قابل توجهی بر تولید انگور و تاک‌کاری در اروپا دارد و بر فنولوژی، عملکرد و کیفیت این محصول گذاشته است (فارگا و همکاران، ۲۰۱۲). تحقیقات پونتی و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داده است که افزایش دما، فصول رشد محصول انگور را تغییر می‌دهد و مناطق مناسب کشت را در مناطق کشت این محصول در اروپا جابه‌جا می‌کند. در حالی که برخی مناطق ممکن است نامناسب شوند، مناطق جدیدی ممکن است برای کشت انگور مناسب باشند. ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی نقش تغییر اقلیم بر عملکرد محصول انگور در آمریکای شمالی به این نتیجه رسیدند که تنش خشکسالی با کاهش عملکرد قابل توجه محصول مرتبط بوده است و ممکن است بقای تاک‌ها را در مناطقی که دچار خشکسالی طولانی مدت هستند، تهدید کند. مطالعات راجرز و همکاران (۲۰۲۲) در استرالیا نشان داده است که گرمای بیش از حد می‌تواند منجر به آفتاب‌سوختگی انگور و چروکیدگی شود که به طور نامطلوبی بر قابلیت فروش آنها تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، تغییرات ناشی از آب و هوا در چرخه‌های آفات و بیماری‌ها چالش‌های اضافی را برای مدیریت تاکستان ایجاد می‌کند.

کلر و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی محصول انگور در جنوب شرقی واشنگتن به این نتیجه رسیدند که دمای بالاتر از آستانه‌های مطلوب می‌تواند تنش گرمایی را القا کند که نه تنها رشد را مختل می‌کند بلکه بر تنظیم میوه و رشد توت نیز تأثیر می‌گذارد. افزایش دما و تغییرات فنولوژیکی تحقیقی است که توسط اتک (۲۰۲٤) بررسی شده است. نتایج تحقیق وی نشان داده شده است که افزایش دما ناشی از تغییرات آب و هوایی، به طور قابل توجهی بر فنولوژی تاک‌ها تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، مدت زمان مراحل فنولوژیکی

کوتاه‌تر شده است که بر ترکیب و کیفیت انگور تأثیر منفی می‌گذارد. به طور خاص، دمای بالاتر می‌تواند تعادل قند، طعم و عطر در انگور را مختل کند و منجر به تغییراتی در ویژگی‌های محصول و ارزش بازار شود.

به دلیل اهمیت زیاد اقتصادی محصول انگور و همچنین استفاده گسترده آن در صنایع غذایی باعث شده تا تحقیقات زیادی به بررسی این محصول تحت شرایط تغییر اقلیم در ایران بپردازند. در یکی از این تحقیقات، حجابی و همکاران (۱۳۹۸) به تأثیر تغییر اقلیم بر فنولوژی انگور رقم بی‌دانه سفید در استان آذربایجان‌غربی پرداختند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که در دو دوره آینده ۲۰۵۰-۲۰۲۱ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ با دوره تاریخی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ بیانگر کاهش فواصل بین مراحل فنولوژیکی است. بعلاوه، طول فصل رشد در دوره‌های آینده نزدیک و دور به میزان ۱۰ و ٤۰ روز در مقایسه با دوره تاریخی کاهش خواهد یافت. در تحقیقی دیگر علیزاده و همکاران (۱۳۹۸) بررسی اثر تغییر اقلیم بر تولید انگور بی دانه سفید در دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری در گلمکان استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد دمای حداکثر در سناریوهای RCP4.5 وRCP8.5 به ترتیب ۲/۷ و۳/۲ درجه سانتی گراد و در دمای حداقل به ترتیب۱/۸ و ۲/۹ درجه سانتی گراد در دوره آینده افزایش خواهد یافت. نتایج شبیه سازی عملکرد انگور در آینده تحت هر دو سناریوی RCP4.5 وRCP8.5 نشان داد که حداقل عملکرد به ترتیب ۲/۷ و۲/۰٤ و حداکثر عملکرد ۲/۳ و ۳ تن در هکتار خواهد رسید که به طور میانگین عملکرد ۰/٥٤ و ۰/۸٦ تن در هکتار کاهش پیدا خواهد کرد. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر زمان رخداد آستانهٔ زیستی و مرحلهٔ گُل دهی درخت انگور در ایران تحقیقی است که توسط شجاعی و همکاران (۱۳۹۹) انجام شده است. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که با توجه به افزیش دمای هوا، زمان رخداد آستانهٔ زیستی و مراحل فنولوژیکی درخت انگور در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ گذشته در زمان جلوتری تکمیل خواهد شد. به‌طوریکه در سناریو بدبینانه، زمان رخداد آستانهٔ زیستی در آیندهٔ میانی و دور ۸ تا ١٦ روز و زمان گُل‌دهی نیز ٦ تا ١٦ روز، جلوتر رخ خواهد داد. ارزیابی تأثیر عناصر و عوامل اقلیمی مؤثر بر کشت محصول انگور مشگین شهر تحقیقی است که توسط سبحانی (۱٤۰۳) انجام شده است. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داده است که کاربری اراضی، ارتفاع، ساعات آفتابی، بارندگی و دما در بین معیارهای موردمطالعه به ترتیب بیشترین تأثیر را در کشت محصول انگور در منطقه دارند. بر اساس نقشه‌های استخراج‌شده از روش WLC حدود ٣٤ درصد از مساحت منطقه مشگین شهر بسیار مناسب، ۲۸ درصد مناسب، ۲۲ درصد کمی مناسب و ١٦ درصد نامناسب برای کشت محصول انگور می‌باشند. بررسی نقش نمایه‌های حدی اقلیم بر عملکرد محصول انگور قوچان، سبزوار و کاشمر تحقیقی است که توسط اصغرزاده و همکاران (۱٤۰۳) که در خراسان رضوی به بررسی عملکرد این محصول مهم پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان داده است درصد روزهایی که دمای بیشینه کمتر از صدک دهم باشد (TX10P)، روزهای مرطوب متوالی (CWD)، تعداد روزهای با بارش سنگین (R10mm) و خیلی سنگین (R20mm)، دامنه تغییرات شبانه روزی دما (DTR)، شاخص امواج گرمایی (WSDI) و تعداد روزهای یخبندان (FD) مهم‌ترین نمایه‌هایی هستند که بر عملکرد محصول انگور نقش دارند.

خراسان رضوی به عنوان یکی از قطب‌های تولید انگور در ایران، از اهمیت ویژه‌ای در تاکداری و تولید محصولات فرآوری‌شده انگور برخوردار است. با توجه به تغییرات اقلیمی جهانی و افزایش نوسانات دمایی و بارش، بررسی نقش متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصول انگور در این منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. شناخت دقیق این تأثیرات، امکان پیش‌بینی دقیق‌تر عملکرد محصول، برنامه‌ریزی بهینه برای مدیریت مزارع و اتخاذ تدابیر مناسب برای مقابله با اثرات نامطلوب تغییرات اقلیمی را فراهم می‌کند. همچنین، این مطالعات می‌تواند در توسعه ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی، بهبود روش‌های آبیاری و کوددهی و به طور کلی افزایش بهره‌وری در تولید انگور در منطقه کمک شایانی کند؛ به عبارت دیگر، با بررسی دقیق نقش متغیرهای اقلیمی، می‌توان به یک برنامه جامع برای حفظ و بهبود تولید انگور در شرایط تغییر اقلیم دست یافت.

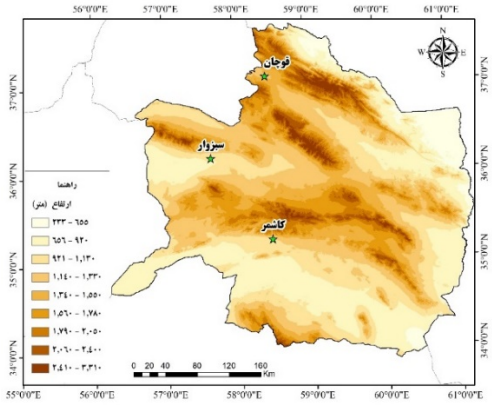
بررسی منابع تحقیق نشان داده است که تغییر اقلیم تهدیدات قابل توجهی را از طریق تأثیرات خود بر دما، دسترسی به آب و پاسخ‌های فیزیولوژیکی انگور، برای تولید آن ایجاد می‌کند. اتخاذ استراتژی‌های سازگاری برای اطمینان از پایداری تاکستان ها در مواجهه با این چالش‌ها بسیار مهم است. تحقیقات مداوم در مورد تنوع ژنتیکی انگور و روش‌های نوآورانه مدیریت تاکستان برای کاهش تأثیرات تغییرات اقلیمی بر این بخش کشاورزی حیاتی خواهد بود. با افزایش دمای جهانی و نامنظم‌تر شدن الگوهای اقلیمی، درک این تغییرات برای حفظ عملکرد و هم کیفیت در تولید انگور ضروری خواهد بود. لذا این تحقیق به بررسی نقش تغییر اقلیم بر عملکرد محصول انگور بر مناطق کشت اصلی این محصول در استان خراسان رضوی یعنی قوچان، کاشمر و سبزوار می‌پردازد.

۲- داده‌ها و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

این تحقیق بر روی سه منطقه عمده کشت انگور در استان خراسان رضوی متمرکز است (شکل ۱). این منطقه شامل کاشمر، قوچان و سبزوار است. این مناطق از مهمترین نواحی تولید انگور

در ایران به شمار می‌روند. کاشمر در دامنه‌های جنوبی رشته کوه‌های سرحد قرار گرفته و دارای ارتفاعات متوسط است. در مقابل در دامنه‌های شمالی رشته کوه بینالود واقع شده و دارای ارتفاعات نسبتاً زیاد است و در نهایت در حاشیه کویر مرکزی ایران قرار دارد و عمدتاً دارای توپوگرافی دشتی است. این منطقه به طور کلی دارای آب و هوای سردتر با زمستان‌های طولانی برای قوچان، اقلیم نیمه خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد برای کاشمر و اقلیم خشک با تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد برای سبزوار است. میانگین بارش سالانه در این مناطق بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر متغیر است. بطوریکه بیشترین بارش در قوچان و کمترین در سبزوار می‌بارد. این شرایط اقلیمی و توپوگرافی متنوع، زمینه مناسبی برای کشت انواع مختلف انگور فراهم کرده است. این تنوع جغرافیایی و اقلیمی، شرایط منحصر به فردی را برای مطالعه تأثیر تغییرات اقلیمی بر کشت انگور در این مناطق فراهم می‌کند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد بررسی در استان خراسان رضوی

۲-۲-داده‌های مورد استفاده

۲-۲-۱- داده‌های ایستگاهی

برای انجام این پژوهش، از داده‌های هواشناسی روزانه سه ایستگاه همدید اصلی کشت انگور در استان خراسان رضوی شامل قوچان، سبزوار و کاشمر استفاده شده است. این داده‌ها که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده‌اند، شامل کمینه دما (°C)، بیشینه دما(°C) و میزان بارش روزانه (mm) برای دوره ۲۵ ساله (۲۰۱۴-۱۹۹۰) می‌باشند. قبل از هرگونه تحلیل آماری، کلیه داده‌های هواشناسی کنترل کیفی شدند تا از دقت و قابلیت اطمینان آن‌ها اطمینان حاصل شود. مراحل این فرآیند عبارتند بودند از تأیید نرمال بودن توزیع داده‌ها؛ برای هر یک از متغیرهای هواشناسی (بیشینه دما، کمینه دما و بارش) در هر ایستگاه، نرمال بودن توزیع داده‌ها به صورت آماری با روش آزمون همگنی نرمال استاندارد (SNHT) (اسمیت و دوئه، ۲۰۲۳) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان‌دهنده توزیع نرمال داده‌های ماهانه برای بارش و دما بود. مقدار P-Value برای دمای ایستگاه سبزوار ۰/۰۴، برای کاشمر ۰/۰۳ و برای قوچان ۰/۰۲ محاسبه شده است. این امر نشان می‌دهد که داده‌ها از الگوی توزیع آماری مناسبی برخوردار بوده و برای تحلیل‌های آماری مناسب هستند. داده‌هایی که به طور غیرعادی از سایر داده‌ها فاصله داشتند (داده‌های پرت) و احتمالاً ناشی از خطاهای اندازه‌گیری یا عوامل خارجی بودند، از تحلیل حذف شدند. برای شناسایی این داده‌ها، داده‌هایی که از میانگین بیش از ۳ انحراف معیار فاصله داشتند، به عنوان داده پرت در نظر گرفته شده و از مجموعه داده‌ها حذف شدند. این کار به منظور افزایش دقت و قابلیت اطمینان نتایج انجام شد.

۲-۲-۲-داده‌های عملکرد محصول انگور

در این پژوهش، به منظور بررسی روند تولید انگور و شناسایی عوامل مؤثر بر آن، سه شهرستان عمده کشت انگور در استان خراسان رضوی شامل قوچان، کاشمر و سبزوار انتخاب شدند. این شهرستان‌ها به دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی مناسب برای کشت انگور و سابقه طولانی در تولید این محصول، از اهمیت ویژه‌ای در بخش کشاورزی استان برخوردار هستند. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل سطح زیر کشت انگور به هکتار و عملکرد محصول به تن در هر هکتار برای هر یک از

شهرستان‌های مذکور در بازه زمانی مشخصی می‌باشند. این داده‌ها از منابع معتبر مانند سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی برای دوره ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۹ گردآوری شد (جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی).

۳-۲-۲-مدل‌های CMIP6

مدل‌های CMIP6 نسل جدیدی از مدل‌های اقلیمی جهانی هستند که برای ارزیابی و پیش‌نگری تغییرات اقلیمی استفاده می‌شوند. این مدل‌ها نسبت به نسخه‌های قبلی (CMIP5) از پیچیدگی و وضوح مکانی بیشتری برخوردارند و فرآیندهای جو، اقیانوس‌ها و فرآیندهای مقیاس کوچک مانند ابرها، بخار آب و آئروسل‌ها را با جزئیات بیشتری شبیه‌سازی می‌کنند (آیرینگ و همکاران، ۲۰۱۶). در این تحقیق، از دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 استفاده شده است. سناریوی SSP2-4.5 یک مسیر میانه را نشان می‌دهد که در آن تلاش‌های جهانی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا حدی موفق بوده، اما چالش‌هایی همچنان باقی می‌ماند. در مقابل، سناریوی SSP5-8.5 یک مسیر با انتشار بالا را نشان می‌دهد که در آن وابستگی به سوخت‌های فسیلی ادامه می‌یابد (اونیل و همکاران، ۲۰۱۴). این دو سناریو طیف وسیعی از پیامدهای احتمالی تغییرات اقلیمی را پوشش می‌دهند و امکان ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی را تحت شرایط مختلف فراهم می‌کنند. در این تحقیق از مدل MPI-ESM-HR استفاده شده است. مدل MPI-ESM-HR به دلیل رزولوشن بالای خود (۱۰۰ کیلومتر) و عملکرد خوب در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی تاریخی انتخاب شد. رزولوشن بالای این مدل امکان می‌دهد تا تغییرات اقلیمی را در مقیاس محلی با دقت بیشتری بررسی کرد. همچنین، ارزیابی‌های گذشته نشان داده‌اند که این مدل توانایی خوبی در بازتولید الگوهای مشاهده شده اقلیمی دارد (زرین و داداشی رودباری، ۱۳۹۹). علاوه بر این، توسعه مداوم این مدل و در دسترس بودن داده‌های خروجی آن از دیگر دلایل انتخاب این مدل بودند. برای شبیه سازی عملکرد محصول انگور از دو سناریو حدواسط (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5) برای دوره آینده (۲۱۰۰-۲۰۲۶) استفاده شده است.

نرم افزار 1CMHyd به دلیل برخورداری از هشت روش گوناگون مقیاس‌کاهی و اجرای سریع روش‌های منتخب می تواند به عنوان مدلی کارا برای مقیاس کاهی برونداد مدل های سری CMIP6 بکار رود. این نرم افزار با استفاده از پایتون ۲/۷ نوشته شده است (راجنز و همکاران، ۲۰۱۶). برخی از روش‌های موجود در این نرم‌افزار برای مقیاس‌کاهی بارش یا دما مناسب نیستند که لازم است در هنگام انتخاب روش مقیاس‌کاهی، روش‌های مناسب با توجه به هدف مقیاس‌کاهی انتخاب گردد. در این پژوهش، به منظور ریزمقیاس کردن داده های دما و بارش از روش تغییر دلتا (راتو و همکاران،۲۰۱۴) استفاده شد. بر این اساس سناریوهای آتی اقلیم با افزودن سیگنال‌های بی‌هنجاری، از شبیه‌سازی‌های مدل های اقلیمی برای ایجاد پریشیدگی در مجموعه داده‌های مشاهداتی به جای برونداد مستقیم مدل در آینده استفاده می‌کنند (مندز و همکاران، ۲۰۲۰، بابائیان و همکاران، ۱۴۰۲). روش تغییر دلتا به دلیل سادگی، کارایی و حفظ ساختار آماری داده‌ها انتخاب شد. این روش امکان تطبیق نتایج با شرایط محلی را نیز فراهم می‌کند. با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه، پارامترهای مدل را تنظیم شده است تا نتایج دقیق‌تری به دست آید. این روش این امکان را فراهمی می آورد تا تغییرات اقلیمی را در مقیاس محلی با دقت بیشتری بررسی شود.

۳-۲- شاخص‌های حدی اقلیمی برای پیش‌بینی عملکرد انگور در مناطق قوچان، کاشمر و سبزوار

در این پژوهش، با هدف ارزیابی تأثیرات احتمالی تغییر اقلیم بر تولید انگور در مناطق قوچان، کاشمر و سبزوار، به بررسی دقیق شاخص‌های حدی اقلیمی دما و بارش پرداخته شد. این شاخص‌ها که توسط تیم کارشناسان تشخیص و شاخص‌گذاری تغییر اقلیم[2] (ETCCDI) توسعه یافته‌اند، به عنوان ابزاری قدرتمند برای توصیف رویدادهای اقلیمی شدید دمایی و بارشی به کار می‌روند. شاخص‌های حدی اقلیمی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: شاخص‌های مرتبط با دما و شاخص‌های مرتبط با بارش. شاخص‌های دمایی، مانند تعداد روزهای گرمای شدید یا تعداد روزهای یخبندان، که امکان بررسی تغییرات در الگوهای دمایی و وقوع رویدادهای دمایی شدید را میسر می سازند. از سوی دیگر،

[1] Climate Model data for hydrologic modeling
[2] Expert Team on Climate Change Detection and Indices

شاخص‌های بارشی، مانند تعداد روزهای خشک متوالی یا شدت بارش‌های شدید، کمک می‌کنند تا تغییرات در الگوهای بارشی و وقوع خشکسالی یا سیلاب ارزیابی شود.

در این مطالعه، با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه‌های هواشناسی قوچان، کاشمر و سبزوار، شاخص‌های منتخب ETCCDI محاسبه شد. سپس، با تحلیل این شاخص‌ها و بکارگیری آن‌ها در مدل رگرسیونی به به شناسایی شاخص های حدی دمایی و بارشی موثر بر عملکرد انگور در این مناطق و در ادامه اثرات تغییر اقلیم بر این محصول پرداخته شد.

٤-۲- مدل‌سازی پیش‌بینی عملکرد انگور با رویکرد رگرسیون چندگانه

عملکرد انگور تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل اقلیمی و غیراقلیمی قرار دارد. عواملی مانند مدیریت آبیاری، نوع رقم، تغذیه و کوددهی، هرس، مدیریت آفات و بیماری‌ها و عملیات به‌زراعی نقش مهمی در عملکرد نهایی محصول ایفا می‌کنند. در این پژوهش، برای تفکیک اثر عوامل اقلیمی از غیراقلیمی، باغات با شرایط مدیریتی یکسان از نظر سیستم آبیاری، برنامه کوددهی، رقم کشت شده، سن درختان و روش‌های هرس و تربیت انتخاب شدند. همچنین، داده‌های مدیریتی جمع‌آوری و تمام عملیات باغی در طول دوره مطالعه ثبت شد و از روش‌های آماری برای حذف اثر متغیرهای غیراقلیمی از داده‌های عملکرد استفاده گردید. بدین ترتیب، پس از خنثی‌سازی اثر عوامل غیراقلیمی، تأثیر متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصول مورد بررسی قرار گرفت. برای پیش‌نگری عملکرد محصول انگور در مناطق کاشمر، سبزوار و قوچان، از روش رگرسیون خطی چندگانه استفاده شده است. این روش آماری این امکان را می دهد تا رابطه پیچیده بین عملکرد انگور به عنوان متغیر وابسته و چندین متغیر مستقل از جمله حداقل دما، حداکثر دما و میزان بارش به طور همزمان مدل‌سازی شود. به صورت کلی، مدل رگرسیون خطی چندگانه با رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_p X_p + \varepsilon \qquad (۱)$$

در این معادله Y عملکرد محصول انگور (متغیر وابسته)، $X_1, X_2, \ldots, X_p$: متغیرهای مستقل (مانند حداقل دما، حداکثر دما، بارش و یا شاخص های حدی دما و بارش) ، β_0 عرض از مبدأ یا مقدار ثابت، $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_p$ ضرایب رگرسیونی که نشان‌دهنده اثر هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته هستند و ε خطای تصادفی یا باقی‌مانده است.

ضرایب رگرسیونی (β) اهمیت بسیار زیادی دارند. این ضرایب نشان می‌دهند که با افزایش یک واحد از هر یک از متغیرهای مستقل، به طور متوسط به چه میزان به مقدار متغیر وابسته اضافه یا کم می‌شود (استولزنبرگ، ۲۰۰٤). به عنوان مثال، اگر ضریب رگرسیونی مربوط به حداقل دما مثبت باشد، به این معنی است که با افزایش حداقل دما، عملکرد انگور نیز به طور متوسط افزایش می‌یابد. برای اطمینان از اینکه تأثیر یک متغیر مستقل بر متغیر وابسته به طور تصادفی رخ نداده است، از آزمون‌های آماری استفاده می‌شود (مکنیک و همکاران، ۲۰۱۳). اگر مقدار احتمال (P-value) مربوط به یک ضریب رگرسیونی کمتر از سطح آلفای مشخص شده (معمولاً ۰.۰۵) باشد، آنگاه آن ضریب از نظر آماری معنی‌دار تلقی شده و نتیجه گرفته می شود که آن متغیر مستقل تاثیر قابل ملاحظه ای بر عملکرد انگور دارد.

۵-۲- بررسی روند عملکرد محصول انگور با استفاده از آزمون من-کندال تصحیح شده و برآورد کننده شیب سن

تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از چالش‌های اصلی قرن حاضر، بر بسیاری از جنبه‌های زندگی انسان از جمله کشاورزی تأثیر گذاشته است. بررسی روند تغییرات متغیرهای اقلیمی و ارزیابی تأثیر این تغییرات بر عملکرد محصولات کشاورزی، از جمله انگور، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، روش‌های آماری مختلفی برای تحلیل روند تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از رایج‌ترین و شناخته‌شده‌ترین این روش‌ها، آزمون من-کندال تصحیح شده (Modified Mann-Kendall) یا به اختصار MMK است (حامد و رائو، ۱۹۹۸). آزمون MMK یک آزمون ناپارامتریک است که برای بررسی وجود روند در سری‌های زمانی داده‌ها استفاده می‌شود.

جدول ۱- نمایه‌های حدی دما و بارش ETCCDI مورد استفاده در این تحقیق (ZHANG و همکاران، ۲۰۱۱)

نمایه	تعریف	واحد
FD	روزهای یخبندان: تعداد روزهایی از سال که دمای کمینه روزانه کوچکتر از صفر درجه سلسیوس باشد	روز
GSL	طول فصل رشد در سال	روز
TXx	بزرگ‌ترین دمای بیشینه: میزان حداکثر دمای بیشینه روزانه در ماه	درجه سلسیوس
TXn	کوچک‌ترین دمای بیشینه: میزان حداقل دمای کمینه روزانه در ماه	درجه سلسیوس
TNx	بزرگ‌ترین دمای کمینه: میزان حداکثر دمای کمینه در ماه	درجه سلسیوس
TNm	میانگین دمای کمینه روزانه	درجه سلسیوس
TXm	میانگین دمای بیشینه روزانه	درجه سلسیوس
TMm	میانگین دمای روزانه	درجه سلسیوس
TNn	کوچک‌ترین دمای کمینه: میزان حداقل دمای کمینه در ماه	درجه سلسیوس
WSDI	موج گرما: تعداد روزهای از سال که حداقل ٦ روز پیاپی دمای روزانه بیشتر از صدک ۹۰ ام دوره مبنا باشد	روز
CSDI	موج سرما: تعداد روزهای از سال که حداقل ٦ روز متوالی دمای شبانه کوچکتر از صدک ۱۰ ام دوره مبنا باشد	روز
DTR	دامنه دمای شبانه‌روزی: تفاوت میانگین ماهانه دمای روزانه و شبانه	درجه سلسیوس
RX1day	بیشترین مقدار بارش یک‌روزه: بیشترین بارش یک‌روزه در ماه	میلی‌متر
SDII	نمایه ساده شدت بارش روزانه: از تقسیم مقدار کل بارش سالانه بر تعداد روزهای بارشی (حداقل ۱میلیمتر) سالانه به دست می‌آید.	میلی‌متر در روز
R10mm	تعداد روزهای همراه با بارش سنگین: تعداد روزهایی که در سال بارش دستکم ۱۰میلی‌متر باشد	روز
CDD	روزهای متوالی خشک: بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش کمتر از ۱میلی‌متر باشد	روز
CWD	روزهای متوالی مرطوب: بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش بیشتر از ۱میلی‌متر باشد	روز
PRCPTOT	مقدار کل بارش روزهای مرطوب سالانه: مقدار کل بارش روزهای مرطوب (مقدار بارش از ۱میلیمتر بیشتر باشد) سالانه	میلی‌متر

این آزمون به ویژه برای تحلیل داده‌های اقلیمی که اغلب دارای توزیع نرمال نیستند، مناسب است (من، ۱۹٤٥؛ کندال، ۱۹۷۵). آزمون من-کندال تصحیح شده یک ابزار آماری مفید برای بررسی روند تغییرات متغیرهای اقلیمی و ارزیابی تأثیر این تغییرات بر عملکرد محصولات کشاورزی است. با استفاده از این آزمون می‌توان به درک بهتری از اثرات تغییرات اقلیمی بر کشاورزی دست یافت و در نتیجه اقدامات لازم برای سازگاری با این تغییرات را اتخاذ کرد. در این آزمون، فرض صفر (H_0) بیان

می‌کند که هیچ روند افزایشی یا کاهشی در داده‌ها وجود ندارد، در حالی که فرض مقابل (H_1) نشـــان‌دهنده وجود روند در داده‌ها اســـت. آزمون شـــیب ســـن یک روش ناپارامتریک قدرتمند برای بررسی روند تغییرات در سری‌های زمانی است. این آزمون به ویژه برای تحلیل داده‌های اقلیمی که اغلب دارای توزیع نرمال نیســـتند، مناسب است. یکی از مزایای مهم این آزمون نسبت به روش‌های دیگر مانند رگرســـیون خطی، مقاومت آن در برابر نقاط پرت و خطاهای موجود در داده‌ها اســت. برآورد کننده ی شـیب سـن که مقدار شـــیب خط را تخمین می زند بر اســـاس مقایســـه تمام جفت‌های ممکن از داده‌ها در یک سری زمانی محاسبه می‌شود.

۳- بحث

۳-۱- تحلیل آمارهای سطح زیر کشت و عملکرد محصول انگور در مناطق عمده کشت در استان خراسان رضوی

تحلیل آماری مقادیر سـطح زیر کشـت و عملکرد محصـول انگور در شهرستان‌های قوچان، سبزوار و کاشمر در استان خراسان رضوی نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل توجهی طی دوره آماری مورد بررسی در این مناطق است. بررسی داده‌های موجود از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۹ نشـان می‌دهد که سـطح زیر کشـت محصـول انگور در قوچان به میزان ٤٦٠٩ هکتار، در سبزوار ۲۲۱۰ هکتار و در کاشمر ۸٤۱۲ هکتار بوده است (جدول ۲). این آمارها بیانگر این است که شـهرستان کاشـمر با اختلاف قابل توجهی نسبت به دو شـهرستان دیگر، دارای بیشـترین سـطح زیر کشـت بوده اسـت. این موضـوع می‌تواند به دلیل شـرایط اقلیمی مناسب‌تر یا سیاسـت‌های حمایتی بیشـتر در این منطقه باشـد. از سـوی دیگر، عملکرد محصـول انگور نیز در این شـهرستان‌ها متفاوت اسـت. عملکرد محصـول انگور در قوچان بـه میزان ۱۳/۱۰ تن در هکتار، در ســـبزوار ۷/٤٦ تن در هکتار و در کاشمر ۲۱/۵۵ تن در هکتار گزارش شده است (جدول ۲). مشـاهده می‌شـود که عملکرد محصـول انگور در کاشـمر به وضـوح بالاتر از دو شـهرستان دیگر اسـت که نشـان‌دهنده کارایی بالاتر و مدیریت بهتر باغات انگور در این منطقه می‌باشـد. به طور کلی، با توجه به آمارهای ارائه شـــده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شـهرسـتان کاشـمر دارای بالاترین سـطح زیر کشـت و عملکرد محصـول اسـت که نشـان‌دهنده پتانسـیل بالای این شـهرسـتان برای تولید انگور می‌باشد. قوچان با وجود سطح زیر کشت کمتر نسبت به کاشـمر، عملکرد خوبی دارد. همچنین، سـبزوار کمترین سـطح زیر کشـــت و عملکرد را دارد که نیازمند بررســـی بیشـــتر برای شناسایی موانع و چالش‌ها در تولید انگور در این منطقه است.

جدول ۲- سطح زیر کشت و عملکرد محصول انگور در سه منطقه قوچان، سبزوار و کاشمر بر اساس آمار منتشر شده جهاد کشاورزی برای دوره ۱۳۹۹-۱۳۷۷

ایستگاه	سطح زیر کشت (هکتار)	عملکرد محصول (تن)
قوچان	٤٦٠٩/٨٧	۱۳/۱۰
سبزوار	۲۲۱۰/٥٦	۷/٤٦
کاشمر	۸٤۱۲/۰۸	۲۱/۵۵

۳-۲-تحلیل روند سطح زیر کشت و عملکرد محصول انگور بر اساس آمارهای جهاد کشاورزی طی دوره ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۹

تحلیل روند سـطح زیر کشـت و عملکرد محصـول انگور در شهرستان‌های قوچان، سبزوار و کاشمر استان خراسان رضوی بر اسـاس داده‌های آماری وزارت جهاد کشـاورزی طی دوره ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۹، نشـــان‌دهنده تغییرات معناداری اســـت که می‌تواند به درک بهتر وضـعیت کشـاورزی این مناطق کمک کند. نتایج آزمون من-کندال تصـحیح شـده برای سـطح زیر کشـت انگور در این سـه شـهرسـتان به شـرح زیر اسـت. در قوچان، نمره Z برابر با ۱/۳۳- و

P-Value برابر با ۰/۱۹۱۸ به دست آمده که نشان‌دهنده عدم معنی‌داری روند در سطح ۵ درصد است. مقدار آزمون شیب روند نیز کاهش سطح زیر کشت با شیب ۳۲/٦٦- هکتار بر سال را نشان داد. در سبزوار، نمره z برابر با ۰/۲۱- و P-Value برابر با ۰/۸۲٦۱ است که به وضوح نشان‌دهنده عدم وجود روند در متغیر سطح زیر کشت است. مقدار آزمون شیب روند نیز ۳/۳۱- هکتار بر سال طی دوره مورد بررسی می‌باشد. همچنین در کاشمر، نمره z برابر با ۱/۰۰۳ و P-Value برابر با ۰/۳۱۵۵ محاسبه شده که به معنای عدم تغییر معنادار در سطح زیر کشت با شیب ۱۰/٦٤ هکتار بر سال طی دوره مورد بررسی است. این نتایج نشان می‌دهد به رغم مقادیر منفی و مثبت شیب سن، هیچ‌یک از مناطق روندی صعودی یا نزولی در سطح زیر کشت انگور نشان ندادند. روند غیرمعنی‌دار ولیکن صعودی در تغییر سطح زیر کشت انگور در کاشمر، می‌تواند به این دلیل باشد که در کاشمر عوامل محرک افزایش سطح زیر کشت (مثل شرایط اقلیمی مناسب، بازار مناسب، دولت مشوق های حمایتی، وجود تخصص و نیروی کار ماهر در منطقه یا افزایش کارایی آب و بهبود روش‌های آبیاری) با عواملی که مانع افزایش سطح زیر کشت هستند (مثل محدودیت منابع آبی، افزایش قیمت نهاده‌ها، نوسانات بازار، بیماری‌های گیاهی شایع در منطقه یا کمبود زمین مناسب) تقریبا در تعادل بوده‌اند. به عبارت دیگر، در کاشمر پتانسیل توسعه وجود داشته اما به دلیل وجود موانع، این پتانسیل به افزایش معنی‌دار سطح زیر کشت منجر نشده است. نمره z مثبت نشان‌دهنده‌ی تمایل خفیف به افزایش سطح زیر کشت است که به دلیل وجود این تعادل از نظر آماری معنی‌دار نشده است

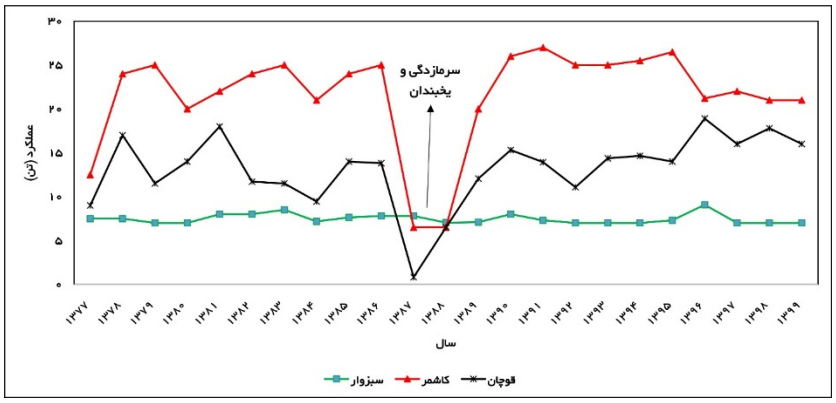
بررسی روند عملکرد محصول انگور نیز بر اساس آزمون من-کندال تصحیح شده انجام شد که نتایج آن به شرح زیر است. در قوچان، نمره z برابر با ۲/۱۱ و P-Value برابر با ۰/۰۳٤٤ نشان‌دهنده روند افزایشی معنادار در سطح ۵ درصد با شیب ۰/۲٤ تن در هکتار در سال طی دوره مورد بررسی است. در سبزوار، نمره z برابر با ۱/۵۹- و P-Value برابر با ۰/۱۱نشان‌دهنده روند کاهشی غیرمعنادار با شیب ۰/۱۲- تن در هکتار در سال می‌باشد. همچنین در کاشمر، نمره z برابر با ۰/۹٤ و P-Value برابر با ۰/۳۵محاسبه شده که نشان‌دهنده عدم تغییر معنادار در عملکرد محصول با شیب ۰/٦۲ تن در هکتار در سال است. تحلیل این داده‌ها نشان می‌دهد که تنها قوچان دارای روند افزایشی معنادار در سطح ۵ درصد در عملکرد محصول انگور است که می‌تواند ناشی از بهبود تکنیک‌های کشاورزی، استفاده از ارقام مقاوم‌تر یا مدیریت بهتر باغات باشد.

جدول ۳- روند سطح زیر کشت عملکرد محصول انگور طی دوره گذشته بر اساس آمار منتشر شده جهاد کشاورزی برای دوره ۱۳۹۹-۱۳۷۷ با استفاده از آزمون من-کندال تصحیح شده و برآورد کننده شیب سن

ایستگاه	سطح زیر کشت (هکتار)			عملکرد (تن)		
	نمره Z	شیب روند	P-Value	نمره Z	شیب روند	P-Value
قوچان	-۱/۳۳	-۳۲/٦٦	۰/۱۸۱۹	۲/۱۱	۰/۲٤	۰/۰۳٤٤
سبزوار	-۰/۲۱	-۳/۳۱	۰/۸۲٦۱	-۱/۵۹	-۰/۰۱۲	۰/۱۰۹۹
کاشمر	۱/۰۰۳	۱۰/٦٤	۰/۳۱۵۵	۰/۹٤	۰/۰٦۲	۰/۳٤۵۵

یکی از مخاطرات دمایی که تاثیر چشم گیری بر عملکرد انگور گذاشت تعداد روزهای یخبندان بوده است. در شکل ۳، سری زمانی عملکرد انگور در سه منطقه مورد بررسی آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود کاهش چشمگیر عملکرد محصول انگور در مناطق قوچان، کاشمر و سبزوار در سال‌های ۱۳۸٦ و ۱۳۸۷، به وضوح با یخبندان‌ها و سرمای شدید این دو سال مرتبط بوده و آسیب‌های جدی و چندجانبه‌ای به باغات انگور وارد کرد (شکل ۲). یخبندان‌های بهاره به جوانه‌ها و گل‌های انگور

آسیب رسانده و مانع تشکیل میوه و باعث ریزش گل‌ها و میوه‌های جوان شدند. سرمای شدید این سال‌ها نه تنها به جوانه‌ها و گل‌ها، بلکه به بافت‌های چوبی درختان نیز آسیب زده و توانایی آن‌ها را در جذب آب و مواد مغذی کاهش داد که می‌تواند اثرات طولانی‌مدت بر سلامت و عملکرد درختان داشته باشد. این شرایط نامساعد جوی ناشی از یخبندان، باعث توقف رشد رویشی درختان و کاهش فتوسنتز شده که به نوبه‌ی خود بر تولید و ذخیره‌ی مواد غذایی در گیاه تأثیر منفی گذاشته است. همچنین، سرمای هوا فعالیت حشرات گرده‌افشان را مختل و به اندام‌های تولیدمثلی گل آسیب رسانده و در مجموع باعث کاهش میزان گرده‌افشانی و تشکیل میوه شده است. درختان آسیب‌دیده از یخبندان، مقاومت کمتری در برابر بیماری‌ها و آفات داشته و شرایط جوی نامساعد به شیوع بیماری‌ها در باغ‌های انگور دامن زده است. عواملی چون عدم مقاومت ارقام محلی، سن درختان (درختان مسن‌تر حساس‌ترند) و مدیریت نادرست باغ (هرس، آبیاری و تغذیه) نیز در تشدید خسارت یخبندان مؤثر بوداند. در مجموع، یخبندان‌ها با تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم بر روی اجزای مختلف گیاه و اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی، منجر به کاهش شدید عملکرد انگور در مناطق مورد مطالعه شده‌اند. این سال نشان دهنده‌ی تاثیرات شاخص‌های حدی دمایی بر عملکرد این محصول می‌باشد.

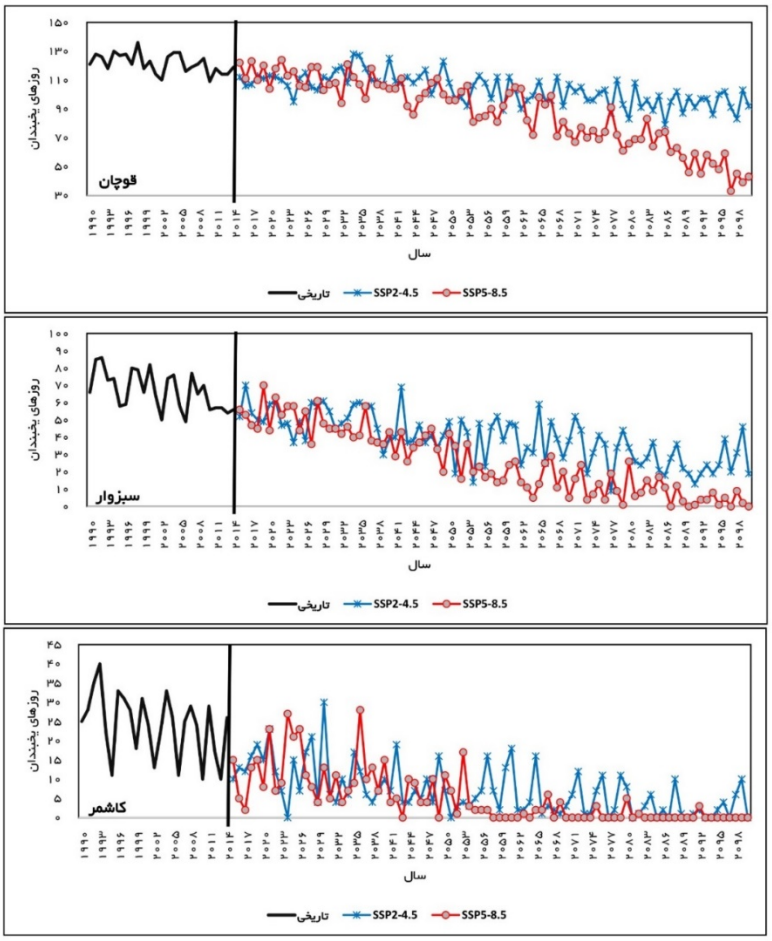


شکل ۲- سری زمانی عملکرد محصول انگور در قوچان، سبزوار و کاشمر طی دوره آماری ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۹ (واحد: تن/سال)

۳-۳- بررسی تغییرات روزهای یخبندان تحت شرایط تغییر اقلیم آینده در قوچان، سبزوار و کاشمر تحت دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5

با توجه به تاثیر زیاد شاخص های حدی دمایی مانند روزهای یخی (ID)، در این بخش تحلیل نقش یخبندان در عملکرد محصول انگور در شهرستان‌های قوچان، سبزوار و کاشمر استان خراسان رضوی با توجه به داده‌های شبیه‌سازی شده تحت دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 تا پایان قرن حاضر انجام شد (شکل ۳). بررسی نشان می‌دهد که در دوره تاریخی (۲۰۱٤-۱۹۹۰)، قوچان به طور متوسط ۱۲۱/٥٦ روز، سبزوار ٦٦/۸٤ روز و کاشمر ۲٤/۰٤ روز یخبندان را تجربه کرده‌اند. بر اساس نتایج پیش‌نگری‌های آینده، روزهای یخبندان با شیب تندی تحت هر دو سناریو مورد بررسی روند کاهشی دارد. به طور خاص، پیش‌نگری شده است که در پایان قرن حاضر، میانگین تعداد روزهای یخبندان طی دوره آتی، برای کاشمر به ۳/۲ روز تحت سناریو SSP2-4.5 و تقریباً به ۰/۳٦ روز تحت سناریو بدبینانه SSP5-8.5 برسد. این کاهش شدید در روزهای یخبندان می‌تواند تأثیرات معناداری بر عملکرد محصول انگور داشته باشد. کاهش روزهای یخبندان ممکن است به طور مستقیم بر روی جوانه‌زنی و رشد گیاه تأثیر مثبت بگذارد، اما این تغییرات همچنین می‌تواند منجر به عدم تعادل در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه شود. به عنوان مثال، کاهش سرما ممکن است باعث شود که جوانه‌ها زودتر از موعد باز شوند و در نتیجه در معرض خطر آسیب‌های ناشی از سرمای ناگهانی

قرار گیرند. همچنین، کاهش فعالیت حشـــرات گرده‌افشـــان که معمولاً در دماهای ســردتر بیشــتر فعال هســتند، می‌تواند منجر به اختلال در گرده‌افشـانی و کاهش کیفیت و کمیت محصـول شـود. علاوه بر این، با توجه به یافته‌های پیشـــین که نشـــان‌دهنده آســـیب‌پذیری درختان انگور نســـبت به یخبندان اســـت، کاهش روزهای یخبندان می‌تولند مقاومت گیاهان را در برابر بیماری‌ها و آفات نیز تحت تأثیر قرار دهد. درختانی که به دلیل تغییرات اقلیمی دچار تنش‌های محیطی می‌شـــوند، ممکن اســـت آســـیب‌پذیری بیشتری نسبت به بیماری‌ها داشته باشند



شکل ۳- بررسی تغییرات میانگین سالانه روزهای یخبندان (FD) تحت شرایط تغییر اقلیم آینده در قوچان، سبزوار و کاشمر تحت دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5

٤-۳- پیش‌نگری عملکرد محصـــول انگور تحت شرایط تغییر اقلیم آینده بر اساس سناریوهای SSP

تحلیل عملکرد محصول انگور در شهرستان‌های قوچان، سبزوار و کاشمر در استان خراسان رضوی تحت دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 نشان‌دهنده تغییرات معناداری در تولید این محصول است. بر اساس داده‌های موجود، عملکرد فعلی انگور در کاشمر ۲۵ تن در هکتار، در قوچان ۱۳ تن در هکتار و در سبزوار ۸ تن در هکتار بدست آمده است. این ارقام نمایانگر پتانسیل بالای تولید انگور در کاشمر نسبت به دو شهرستان دیگر است. با انجام تحلیل همبستگی بین عملکرد انگور در سه ایستگاه با شاخص های حدی منتخب دمایی و بارشی معادلات رگرسیونی برای سه ایستگاه برای دوره گذشته بدست آمد. در آزمون اعتبار سنجی مدل، مقدار R^2 بالاتر از ۰/۷٦ محاسبه شد (جدول ٤).

در ادامه، با جایگذاری میانگین شاخص های حدی برای دوره ۲۰۱۵-۲۱۰۰ در معادلات رگرسیونی بدست آمده، مدلسازی عملکرد انگور انجام شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها طی دوره ۲۰۱۵ تا

۲۱۰۰ نشان می‌دهد که تحت سناریو حد واسط SSP2-4.5، عملکرد انگور در قوچان به ۱٤/٤ تن در هکتار، در سبزوار به ٦/٤ تن در هکتار و در کاشمر به ۲۰ تن در هکتار خواهد رسید. این تغییرات به ترتیب نشان‌دهنده افزایش عملکرد در قوچان و کاهش شدید در سبزوار است، این در حالی است که کاشمر نیز با کاهش مواجه خواهد شد. اما تحت سناریو بدبینانه SSP5-8.5، عملکرد انگور در کاشمر به ۱٦/۸تن در هکتار، سبزوار به ٤/۹ تن در هکتار و قوچان به ۱۰/۲ تن در هکتار کاهش خواهد یافت. این تغییرات نمایانگر کاهش شدید عملکرد محصول است؛ به‌طوری که کاشمر با کاهش ۳۲/۸درصدی، قوچان با کاهش ۲۱/۵درصدی و سبزوار با کاهش ۳۸/۷۵ درصدی مواجه خواهد شد (جدول ۵).

جدول ٤- روابط رگرسیونی مورد استفاده برای برآورد عملکرد محصول

ایستگاه	رابطه رگرسیونی	R^2
کاشمر	Yield=-95.76 - 0.82 ID+9.4 DTR+0.21 FD - 0.22 WSDI	۰/۷۷
قوچان	Yield= -70.51 -0.86TX10P - 3.24 CWD +1.40 TR20 -6.80 DTR-0.43 R20 -13FD	۰/۷٦
سبزوار	Yield = -4.94+1.09 DTR+5.03 FD - 0.05 TNn	۰/۷۷

جدول ۵-شبیه سازی عملکرد محصول انگور (تن بر هکتار) بر اساس سناریوهای SSP

منطقه	عملکرد فعلی انگور	عملکرد انگور تحت سناریو SSP2-4.5	عملکرد انگور تحت سناریو SSP5-8.5
کاشمر	۲۵	۲۰	۱٦/۸
قوچان	۱۳	۱٤/٤	۱۰/۲
سبزوار	۸	٦/٤	٤/۹

کاهش عملکرد محصول انگور تحت شرایط تغییر اقلیم می‌تواند ناشی از چندین عامل باشد. اولاً، تغییرات دما می‌تواند بر روی فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه تأثیر منفی بگذارد و منجر به اختلال در جوانه‌زنی و گرده‌افشانی شود. ثانیاً، همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، کاهش روزهای یخبندان (FD) و یخی (ID) ممکن است باعث زودتر باز شدن جوانه‌ها شود که این امر آن‌ها را در معرض آسیب‌های ناشی از سرما قرار می‌دهد. همچنین، شرایط جوی نامناسب می‌تواند فعالیت حشرات گرده‌افشان را کاهش دهد و منجر به اختلال در گرده‌افشانی و کیفیت پایین میوه‌ها شود. علاوه بر این، تغییرات اقلیمی می‌تواند مقاومت گیاهان را نسبت به بیماری‌ها و آفات کاهش دهد و شیوع آنها را افزایش دهد (هگلند و همکارام، ۲۰۰۹). به طور کلی، نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان‌دهنده روند کاهشی جدی عملکرد محصول انگور تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم است، به ویژه تحت سناریو بدبینانه SSP5-8.5 که تأثیرات منفی بیشتری بر روی تولید خواهد داشت. این تحلیل نشان می‌دهد که منطقه مورد بررسی، برای حفظ و افزایش عملکرد محصول انگور، نیازمند اتخاذ تدابیر مناسب از جمله انتخاب ارقام مقاوم‌تر، مدیریت بهتر باغات و استفاده از فناوری‌های نوین می‌باشد تا بتوان با چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی روبرو شد.

٥-٤- بررسی روند عملکرد محصول انگور تحت شرایط تغییر اقلیم آینده بر اساس سناریوهای SSP

تحلیل روند عملکرد محصول انگور در شهرستان‌های قوچان، سبزوار و کاشمر استان خراسان رضوی تحت دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 با استفاده از مدل منتخب CMIP6 نشان‌دهنده روند کاهشی جدی در تولید این محصول است (جدول ٦). بر اساس نتایج حاصل از آزمون من-کندال تصحیح شده تحت سناریو SSP2-4.5، نمره Z برای عملکرد محصول انگور در قوچان ٤/۸۸-، در سبزوار ۳/۸٤- و در کاشمر ۰/۷۱- محاسبه شده است. این نتایج نشان‌دهنده وجود روند کاهشی

معنادار عملکرد در هر قوچان و سبزوار منطقه می‌باشد. مقدار شیب روند نیز به ترتیب ۰/۱۲-، ۰/۱۲- و ۰/۰۰٤- تن در سال برای این شهرستان‌ها محاسبه شد. همچنین، مقدار P-Value کمتر از سطح معنی داری بدست آمد که نشان‌دهنده معنی‌داری روند کاهشی در سطح ۵ درصد است. تحت سناریو بدبینانه SSP5-8.5، نمره Z آزمون من-کندال تصحیح شده بیش از سناریوی مقابل و به ترتیب برای قوچان ٤/۹۰-، سبزوار ٤/۸۹- و کاشمر ٤/٤٥- محاسبه شد. مقدار P-Value نیز در این سناریو به ۰/۰۰۰۱ > برای این سه منطقه به دست آمده که نشان‌دهنده روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد است. مقدار شیب آزمون سن نیز برای این سه منطقه به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۱۱- و ۰/۰۸- تن در سال محاسبه شده است (جدول ٦).

جدول ٦-روند عملکرد محصول انگور تحت شرایط تغییر اقلیم آینده بر اساس سناریوهای SSP طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۱۵

ایستگاه	سناریو SSP2-4.5			سناریو SSP5-8.5		
	نمره Z	شیب روند	P-Value	نمره Z	شیب روند	P-Value
قوچان	-٤/۸۸	-۰/۱۲	< ۰/۰۰۰۱	-٤/۹۰	-۰/۱۳	< ۰/۰۰۰۱
سبزوار	-۳/۸٤	-۰/۱۲	< ۰/۰۰۰۱	-٤/۸۹	-۰/۱۱	< ۰/۰۰۰۱
کاشمر	-۰/۷۱	-۰/۰۰٤	۰/٤۷۲۰	-٤/٤٥	-۰/۰۸	< ۰/۰۰۰۱

همانطور که ذکر شد، تغییرات اقلیمی به طرق مختلف بر عملکرد محصول انگور تأثیر منفی می‌گذارد. تغییرات دمایی، از جمله افزایش دما و کاهش روزهای یخبندان، می‌تواند چرخه زندگی گیاه را مختل کند. جوانه‌های انگور ممکن است زودتر از موعد باز شوند و در معرض آسیب‌های ناشی از سرما قرار بگیرند. همچنین، فرایندهای حیاتی گیاه مانند جوانه‌زنی و گرده افشانی به دلیل نوسانات دمایی دچار اختلال می‌شوند. از سوی دیگر، شرایط جوی نامناسب ناشی از تغییرات اقلیمی بر فعالیت حشرات گرده افشان تأثیر منفی می‌گذارد. کاهش فعالیت این حشرات، گرده افشانی را با مشکل مواجه کرده و در نتیجه، کیفیت میوه‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این، تغییرات اقلیمی می‌تولند مقاومت گیاهان را در برابر آفات و بیماری‌ها کاهش دهد و شیوع آنها را افزایش دهد. این عوامل در مجموع، به کاهش قابل توجه عملکرد محصول انگور منجر می‌شوند. نتایج پیشین نیز نشان‌دهنده خسارت‌های ناشی از سرما به باغات انگور بوده است که یک نمونه شاخص آن در سال ۱۳۸۷ اتفاق افتاده که به کاهش شدید تولید منجر شده است (شکل ۳). لذا هر گونه تغییر در متغیرهای اقلیمی همانند دما و بارش می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای را در عملکرد محصول انگور داشته باشد.

۵- نتیجه‌گیری

تحلیل تغییرات اقلیمی و تاثیر آن بر محصول انگور در شهرستان‌های قوچان، سبزوار و کاشمر خراسان رضوی، روندی نگران‌کننده را آشکار می‌کند. عوامل متعددی در این کاهش عملکرد نقش دارند، از جمله این عوامل می‌توان به تغییرات دمایی و تأثیر آن بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، اختلال در گرده‌افشانی به دلیل تغییر در الگوی فعالیت حشرات گرده‌افشان، افزایش آسیب‌پذیری گیاهان نسبت به بیماری‌ها و آفات و تنش‌های محیطی ناشی از تغییرات اقلیمی اشاره کرد. مطالعات نشان می‌دهد کاهش چشمگیر تولید انگور در سال‌های ۱۳۸٦ و ۱۳۸۷ ناشی از یخبندان‌های شدید و سرمای مستمر و شدید (حدود یک ماه) بوده است. این یخبندان‌های بهاره و اوایل تابستان به جوانه‌ها، گل‌ها و بافت‌های چوبی درختان آسیب زده و مستقیماً باعث کاهش عملکرد شدند. این شرایط جوی، به اختلال در فرآیندهای حیاتی گیاه مانند گلدهی، گرده‌افشانی و فتوسنتز منجر شده و میزان و کیفیت میوه را کاهش داده‌اند. علاوه بر این، در پی رخداد سرمای شدید، مقاومت درختان را در برابر بیماری‌ها کاهش می‌یابد. مطالعات لورنزو و همکاران (۲۰۱۲) درباره تاثیر دما بر کمیت و کیفیت انگور و ون لیوون و همکاران (۲۰۱۹) در مورد تاثیر تغییرات اقلیمی بر فنولوژی و عملکرد انگور در فرانسه، این یافته‌ها را تایید می‌کنند. در نتیجه، یخبندان‌های شدید به عنوان یکی از تبعات تغییرات اقلیمی، می‌توانند خسارات قابل توجهی به باغات انگور و کاهش تولید این محصول منجر شوند و توجه

جدی و اقدامات پیشگیرانه از جمله توسعه سامانه های هشدار را می‌طلبند.

نتایج شبیه‌سازی‌های اقلیمی تحت دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 حاکی از کاهش چشـــمگیر روزهای یخبندان و یخی در هر سه منطقه است. این کاهش، علی‌رغم تأثیرات مثبت احتمالی بر رشـــد گیاه، می‌تواند منجر به اختلالات جدی در چرخه زندگی انگور شـود. زودرس شـدن جوانه‌زنی و افزایش آسـیب‌پذیری در برابر سـرمازدگی‌های ناگهانی از جمله پیامدهای این تغییر اسـت. نتیجه‌گیری کلی روند روزهای یخبندان نشـــان می‌دهد که اگرچه کـاهش روزهـای یخبنـدان ممکن اســـت دارای اثرات مثبـت بر محصـــول انگور باشـــد، اما تأثیرات بلندمدت آن بر روی عملکرد محصول انگور نیازمند بررسی دقیق‌تری است.

بررسی روند عملکرد محصول انگور با استفاده از آزمون من-کندال تصـحیح شـده و برآورد کننده ی شـیب سـن نشـان داد که تحت هر دو سـناریو، روند کاهشـی معناداری در عملکرد محصـول وجود دارد. این کاهش در سـناریو SSP5-8.5 شـدیدتر اسـت، به طوری که پیش‌بینی می‌شـود عملکرد در قوچان، سـبزوار و کاشـمر بـه ترتیـب ۳۲.۸٪، ۲۱.۵٪ و ۳۸.۷۵٪ در پایـان قرن کـاهش یـابـد. مقایسـه یافته های این مقاله، با پژوهش‌های مشـابه انجام شـده در ســـطح جهان نشـــان از نتایج مشـــابهی دارد. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که توسط فریرا و همکاران (۲۰۲۰) در پرتغال انجام شد، تأثیر تغییرات اقلیمی بر تولید انگور در منطقه دورو بررســی شـد. نتایج نشـــان داد که افزایش دما و کاهش بارش می‌تولند منجر به کاهش ۳۰-٤۰ درصـدی عملکرد انگور تا سـال ۲۰۵۰ شـود که با یافته‌های مطالعه حاضـر در خراسـان رضـوی همخوانی دارد. در اســـترالیا، وب و همکاران (۲۰۱۸) پیش‌نگری کردند که تا ســـال ۲۱۰۰، مناطق مناسب برای کشت انگور در استرالیا تا ۷۳٪ کاهش خواهد یافت. این یافته‌ها نشـــان‌دهنده اهمیت مطالعات منطقه‌ای مانند تحقیق حاضـر در خراسـان رضـوی برای درک بهتر تأثیرات محلی تغییرات اقلیمی است.

این یافته‌ها اهمیت اتخاذ اسـتراتژی‌های سـازگاری با تغییرات اقلیمی را در صـــنعـت انگورکـاری منطقـه برجســـتـه می‌کنـد. راهکارهایی چون انتخاب ارقام مقاوم‌تر، بهبود مدیریت باغات، استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری و حفاظت از باغات و همچنین آموزش کشـــاورزان برای مقابله با چالش‌های جدید، می‌تولند در کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم مؤثر باشـد. در نهایت، این مطالعه بر ضـرورت انجام تحقیقات بیشـتر در زمینه سـازگاری ارقام مختلف انگور با شـــرایط اقلیمی جدید و همچنین بررســـی راهکارهای نوآورلنه برای حفظ و بهبود عملکرد محصـــول در شـــرایط تغییر اقلیم را تاکید دارد. همکاری نزدیک بین محققان، کشـــاورزان و سیاست‌گذاران برای توسعه و اجرای استراتژی‌های مؤثر سازگاری با تغییرات اقلیمی در صـــنعت انگورکاری منطقه ضـــروری به نظر می‌رســـد. همچنین این تحلیل می‌توانـد بـه عنوان مبنـایی برای تحقیقات آینده و برنامه‌ریزی‌های کشـاورزی در اسـتان خراسـان رضـوی مورد اسـتفاده قرار گیرد و به کشـاورزان و مسـئولین کمک کند تا با شناسایی نقاط قوت و ضعف هر منطقه، اقدامات لازم را برای بهبود تولید انگور انجام دهند.

منابع

1. Alizadeh, A. , Babaeian, I. , Nouri,, H. and Najatian,, M. A. (2019). Investigating the Effect of Climate Change on the Production of White Seedless Grapes during(2020 -2050) by using the statistical Downscaling of the HadCM3 Model output (Case Study: Golmakan Station). Journal of Meteorology and Atmospheric Science, 2(3), 246-257.
2. Asgharzadeh, A. , janbazghobadi, G. , Motevalli, S. , Taheryan, M. and Koohi, M. (2024). Investigating the role of extreme climate profiles on grape yield(Case study: Qochan, Sabzevar and Kashmer). Irrigation and Water Engineering, 15(2), 143-163. doi: 10.22125/iwe.2024.463786.1814
3. Assembly, G. (2015). Resolution adopted by the General Assembly on 19 September 2016. A/RES/71/1, 3 October 2016 (The New York Declaration), Tech. Rep.
4. Atak, A. (2024). Climate change and adaptive strategies on viticulture (Vitis spp.). Open Agriculture, 9(1), 20220258.
5. Babaeian, I. , Modirian, R. , Khazanedari, L. , Karimian, M. , Kouzegaran, S. , Kouhi, M. , Falamarzi, Y. and Malbusi, S. (2023). Projection of Iran's precipitation in 21st Century using downscaling of selected CMIP6 Models by CMHyd. Journal of the Earth and Space Physics, 49(2), 431-449. doi: 10.22059/jesphys.2023.332410.1007436
6. Bindi, M., Fibbi, L., Gozzini, B., Orlandini, S., & Miglietta, F. (1996). Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine. Climate research, 7(3), 213-224.

7. Cardell, M. F., Amengual, A., & Romero, R. (2019). Future effects of climate change on the suitability of wine grape production across Europe. Regional Environmental Change, 19, 2299-2310.
8. Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2003). Understanding the drought tolerance of grapevine: Contemporary challenges and future directions. Australian Journal of Grape and Wine Research, 9(2), 260-277.
9. Collins, J. K., Perkins-Veazie, P., & Roberts, W. (2006). Lycopene: from plants to humans.
10. DALLA MARTA, A., Grifoni, D., Mancini, M., Storchi, P., Zipoli, G., & Orlandini, S. (2010). Analysis of the relationships between climate variability and grapevine phenology in the Nobile di Montepulciano wine production area. The Journal of Agricultural Science, 148(6), 657-666.
11. Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Geoscientific Model Development, 9(5), 1937-1958.
12. Ferreira, A. C., Pinto-Gomes, C., Ramos, M. C., & Jones, G. V. (2020). Modelling the effects of climate change on the viability and productivity of viticulture in the Portuguese Douro region. Journal of Wine Research, 31(1), 1-16.
13. Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2012). An overview of climate change impacts on European viticulture. Food and Energy Security, 1(2), 94-110.
14. Hamed, K. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of hydrology, 204(1-4), 182-196.
15. Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A. L., & Totland, Ø. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. Ecology Letters, 12(2), 184-195.
16. Hejabi, S., Abasalinezhad Sheramin, H., & Doulati Baneh, H. (2019). Effect of climate change on the phenology of "Bidaneh Sefid" table grape variety in West Azerbaijan province. Research in Pomology, 4(2), 43-52.
17. Helalili , J., Rasouli, M. ().Plants Protection From Frost And Chilling,
18. Hidalgo, L. (1999). Tratado de Viticultura General (Mundi-Prensa: Madrid, Spain).
19. Honorio, F., García-Martín, A., Moral, F. J., Paniagua, L. L., & Rebollo, F. J. (2018). Spanish vineyard classification according to bioclimatic indexes. Australian journal of grape and wine research, 24(3), 335-344.
20. Jones, G. V. (2006). Climate and terroir: impacts of climate variability and change on wine. Geoscience Canada Reprint Series, 9, 203-217.
21. Jones, G. V. (2007). Climate change and grape quality: Implications and strategies for the wine industry. Australian and New Zealand Wine Industry Journal, 22(1), 60-66.
22. Keller, M. (2010). The science of grapevines: Anatomy and physiology. Academic Press.
23. Keller, M. (2023). Climate Change Impacts on Vineyards in Warm and Dry Areas: Challenges and Opportunities: From the ASEV Climate Change Symposium Part 1– Viticulture. American Journal of Enology and Viticulture, 74(2).
24. Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods.
25. Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. Econometrica, 13(3), 245-259.
26. Mekanik, F., Asadi, H., & Talebi, A. A. (2013). Evaluation of climate change impacts on crop yield: A case study of wheat in Iran. Agricultural Water Management, 124, 133-141.
27. Mendez, M., Maathuis, B., Hein-Griggs, D., & Alvarado-Gamboa, L. F. 2020, Performance evaluation of bias correction methods for climate change monthly precipitation projections over Costa Rica: Water, 12(2), 482.
28. O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., ... & van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. Climatic Change, 122(3), 387-400.
29. Ortega, E., Dicenta, F., & Egea, J. (2007). Rain effect on pollen–stigma adhesion and fertilization in almond. Scientia Horticulturae, 112(3), 345-348.
30. Ponti, L., Gutierrez, A. P., Boggia, A., & Neteler, M. (2018). Analysis of grape production in the face of climate change. Climate, 6(2), 20.

31. Räty, O., Räisänen, J., & Ylhäisi, J. S. 2014, Evaluation of delta change and bias correction methods for future daily precipitation: intermodel cross- validation using ENSEMBLES simulations: Climate dynamics, 42(9- 10), 2287-2303.
32. Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Liu, Y., Baby, T., & Xiao, Z. (2022). Impact of climate change on grape berry ripening: An assessment of adaptation strategies for the Australian vineyard. Frontiers in Plant Science, 13, 1094633.
33. Shojaee, T. , Fallah Ghalhari, G. A. and Kashki, A. (2020). Effects of Climate Change on Grape Tree Phenological Date Change in Iran. Physical Geography Research, 52(1), 129-145. doi: 10.22059/jphgr.2020.284132.1007404
34. Smith, J. A., & Doe, R. B. (2023). Statistical evaluation of data homogeneity in meteorological stations using the Standard Normal Homogeneity Test (SNHT). Journal of Climate Analysis, 45(3), 123-137.
35. Sobhani, B. (2024). Assessment of effective climatic elements and factors on grape crop cultivation using ARAS, AHP and WLC methods (Case study: Meshgin Shahr region). Geography and Human Relationships, 6(4), 606-623. doi: 10.22034/gahr.2023.431274.2010
36. Stolzenberg, L. (2004). Regression modeling: Basic concepts. In G. Arminger, C. Clogg, & C. Sobel (Eds.), Handbook of statistical modeling for the social and behavioral sciences (pp. 1-37). Springer.
37. van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., ... & Ollat, N. (2019). An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. Agronomy, 9(9), 514.
38. Webb, L. B., Watterson, I., Bhend, J., Whetton, P. H., & Barlow, E. W. R. (2018). Global climate analogues for winegrowing regions in future periods: temperature and precipitation projections. Australian Journal of Grape and Wine Research, 24(2), 143-156.
39. Zarrin, A. and Dadashi Roudbari, A. A. (2020). Projection the Long-Term Outlook Iran Future Temperature Based on the Output of The coupled model intercomparison project phase 6 (CMIP6). Journal of the Earth and Space Physics, 46(3), 583-602. doi: 10.22059/jesphys.2020.304870.1007226
40. Zhang, T., He, Y., DePauw, R., Jin, Z., Garvin, D., Yue, X., ... & Yang, X. (2022). Climate change may outpace current wheat breeding yield improvements in North America. Nature communications, 13(1), 5591.