



ریاست جمهوری  
سازمان برنامه و بودجه کشور  
سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان خراسان رضوی



سازمان جهاد دانشگاهی  
استان خراسان رضوی

طرح پژوهشی

# بازنگری مطالعات و سند آمایش استان خراسان رضوی

کارفرما: سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان خراسان رضوی

مجری: سازمان جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

۲- تحلیل وضعیت منابع طبیعی و محیط زیست

۲-۲- تحلیل وضعیت اقلیمی

تابستان ۱۴۰۱

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۰	۱-۲-۲- میزان بارندگی و تبخیر آب در استان خراسان رضوی
۱۲	۲-۲-۲- تحلیل جریانات جوی (توده های هوا)
۲۲	۳-۲-۲- تحلیل دما و تعداد روزهای یخبندان
۶۶	۴-۲-۲- تحلیل رطوبت، بارش، تبخیر-تعرق، پوشش ابر
۱۴۶	۵-۲-۲- تحلیل باد
۱۷۴	۶-۲-۲- تحلیل پهنه های اقلیمی
۱۸۰	۱-۶-۲-۲- پیشنگری دما و بارش دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت دو سناریو خوشبینانه و بدبینانه
۱۹۶	۷-۲-۲- جمع بندی
۲۱۱	منابع

پایان اسناد و انتشار

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

- جدول ۱. موقعیت ایستگاههای همدید استان خراسان رضوی به همراه ایستگاههای مورد استفاده..... ۴
- جدول ۲. مشخصات ایستگاههای تبخیر سنجی و باران سنجی استان خراسان رضوی..... ۵
- جدول ۳. مشخصات ایستگاههای تبخیر سنجی و باران سنجی استان خراسان رضوی..... ۶
- جدول ۴. مشخصات ایستگاههای تبخیر سنجی و باران سنجی استان خراسان رضوی..... ۷
- جدول ۵. مشخصات ایستگاههای تبخیر سنجی و باران سنجی استان خراسان رضوی..... ۸
- جدول ۶. مشخصات ایستگاههای تبخیر سنجی و باران سنجی استان خراسان رضوی..... ۹
- جدول ۷. میزان بارش تجمعی استان خراسان رضوی در سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نسبت به دوره مشابه نرمال ۳۰ ساله (سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۹۹-۱۳۹۸)..... ۱۰
- جدول ۸. مجموع تبخیر ماهانه و نسبت تبخیر به بارش سالانه در ایستگاههای منتخب استان خراسان رضوی..... ۱۲
- جدول ۹. میانگین دمای ماهانه استان خراسان رضوی در ایستگاههای معرف (سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۹)..... ۲۴
- جدول ۱۰. شاخصهای فرین دما که توسط کارگروه ETCCDI برای محاسبه شاخصهای فرین..... ۵۴
- جدول ۱۱. فرینهای دمایی ایستگاههای شاخص هواشناسی همدید استان خراسان رضوی..... ۵۴
- جدول ۱۲. مدلهای CMIP6 منتخب..... ۵۶
- جدول ۱۳. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه تربت حیدریه و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله..... ۷۹
- جدول ۱۴. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه سبزوار و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله..... ۷۹
- جدول ۱۵. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه سرخس و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله..... ۸۰
- جدول ۱۶. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه قوچان و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله..... ۸۰
- جدول ۱۷. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه کاشمر و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله..... ۸۱
- جدول ۱۸. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه گلמکان و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله..... ۸۲
- جدول ۱۹. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه گناباد و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله..... ۸۲
- جدول ۲۰. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه مشهد و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله..... ۸۳
- جدول ۲۱. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه نیشابور و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله..... ۸۳
- جدول ۲۲. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه تربت جام و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله..... ۸۴
- جدول ۲۳. شاخصهای فرین بارش که توسط کارگروه ETCCDI برای محاسبه شاخصهای..... ۹۳
- جدول ۲۴. فرینهای بارشی ایستگاههای شاخص هواشناسی همدید استان خراسان رضوی..... ۹۳
- جدول ۲۵. طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص پالمر واسنجی شده..... ۱۰۸
- جدول ۲۶. آستانه های مختلف وضعیت خشکسالی در شاخص استاندارد شده بارش تبخیر-تعرق (SPEI)..... ۱۰۹
- جدول ۲۷. درصد ماههای خشک و مرطوب در ایستگاههای شاخص هواشناسی همدید..... ۱۲۹
- جدول ۲۸. درصد شدت خشکسالی در استان خراسان رضوی..... ۱۳۲

- جدول ۲۹. شدت و ديگر مشخصات باد در مقياس بيفورت..... ۱۴۹
- جدول ۳۰. میانگین تندی میانگین باد ماهانه در ایستگاههای نماینده هواشناسی همدید استان خراسان رضوی ۱۵۴
- جدول ۳۱. میانگین تندی بیشینه باد ماهانه در ایستگاههای نماینده هواشناسی همدید استان خراسان رضوی.. ۱۵۵
- جدول ۳۲. درصد تندی میانگین روزانه باد در ایستگاههای همدید منتخب (طبقات باد بر حسب درصد و میانگین تندی باد روزانه بر حسب متر بر ثانیه است)..... ۱۶۸
- جدول ۳۳. درصد تندی بیشینه روزانه باد در ایستگاههای شاخص همدید (طبقات باد بر حسب درصد و میانگین تندی بار روزانه بر حسب متر بر ثانیه است)..... ۱۶۹
- جدول ۳۴. میانگین ساعت آفتابی ماهانه در ایستگاههای نماینده هواشناسی همدید استان خراسان رضوی ..... ۱۷۱
- جدول ۳۵. گروههای اصلی طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر، ویژگیها و معیارهای شناسایی آنها..... ۱۷۵
- جدول ۳۶. چگونگی تعیین شرایط دمایی (سومین حرف) گروههای اقلیمی کوپن-گایگر..... ۱۷۶
- جدول ۳۷. نوع اقلیم بر اساس شاخص دومارتن..... ۱۷۶
- جدول ۳۸. درصد پهنه های اقلیمی دومارتن در استان خراسان رضوی..... ۱۷۷
- جدول ۳۹. وسعت پهنه های اقلیمی کوپن در دوره فعلی (۱۴۰۰-۱۳۷۰) و آینده (۱۴۲۴-۱۴۰۲) بر حسب درصد ۱۷۸



## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۱. موقعیت نسبی سامانه های مؤثر در دوره سرد سال در اقلیم استان خراسان رضوی ..... ۱۳
- شکل ۲. الگوی میانگین درازمدت پرفشار سیبری ..... ۱۴
- شکل ۳. الگوی فشار سطح زمین در ۳۰ دی ماه ۱۳۸۶ (بی هنجاری پرفشار سیبری) ..... ۱۵
- شکل ۴. الگوی مدیترانه‌های مؤثر در بارشهای ایران و استان خراسان رضوی ..... ۱۶
- شکل ۵. الگوی کم‌فشار سودانی مؤثر در بارشهای ایران و استان خراسان رضوی ..... ۱۸
- شکل ۶. موقعیت نسبی سامانه های مؤثر در دوره گرم سال در اقلیم استان خراسان رضوی ..... ۱۹
- شکل ۷. الگوی میانگین درازمدت پرفشار جنب حاره ایران ..... ۲۰
- شکل ۸. بی هنجاری پرفشار جنب حاره ایران در روز ۳۰ خرداد ۱۴۰۰ و وقوع موج گرما ..... ۲۱
- شکل ۹. الگوی میانگین درازمدت پرفشار ترکمنستان ..... ۲۲
- شکل ۱۰. روند متوسط پهنه ای دمای میانگین استان خراسان رضوی در فصل زمستان ..... ۲۹
- شکل ۱۱. روند متوسط پهنه ای دمای میانگین استان خراسان رضوی در فصل بهار ..... ۲۹
- شکل ۱۲. روند متوسط پهنه ای دمای میانگین استان خراسان رضوی در فصل تابستان ..... ۲۹
- شکل ۱۳. روند متوسط پهنه ای دمای میانگین استان خراسان رضوی در فصل پاییز ..... ۳۰
- شکل ۱۴. روند متوسط پهنه ای دمای میانگین استان خراسان رضوی برای میانگین سالانه ..... ۳۰
- شکل ۱۵. بی هنجاری دمای فصلی در متوسط پهنه‌های استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴ ..... ۶۱
- شکل ۱۶. روند متوسط پهنه ای بارش استان خراسان رضوی در فصل زمستان (یکا: میلی‌متر) ..... ۷۴
- شکل ۱۷. روند متوسط پهنه ای بارش استان خراسان رضوی در فصل بهار (یکا: میلی‌متر) ..... ۷۴
- شکل ۱۸. روند متوسط پهنه ای بارش استان خراسان رضوی در فصل تابستان (یکا: میلی‌متر) ..... ۷۴
- شکل ۱۹. روند متوسط پهنه ای بارش استان خراسان رضوی در فصل پاییز (یکا: میلی‌متر) ..... ۷۵
- شکل ۲۰. روند متوسط پهنه ای بارش استان خراسان رضوی در مجموع سالانه (یکا: میلی‌متر) ..... ۷۵
- شکل ۲۱. روند بارش ایستگاه تربت‌حیدریه برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ..... ۷۶
- شکل ۲۲. روند بارش ایستگاه سبزوار برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ..... ۷۶
- شکل ۲۳. روند بارش ایستگاه سرخس برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ..... ۷۶
- شکل ۲۴. روند بارش ایستگاه گل‌مکان برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ..... ۷۷
- شکل ۲۵. روند بارش ایستگاه گناباد برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ..... ۷۸
- شکل ۲۶. روند بارش ایستگاه مشهد برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ..... ۷۸
- شکل ۲۷. روند بارش ایستگاه نیشابور برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ..... ۷۸
- شکل ۲۸. پیش‌نگری بارش فصلی در متوسط پهنه ای استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴ ..... ۹۵
- شکل ۲۹. روند تغییرات متوسط رطوبت خاک استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های سنجنده ..... ۱۱۹

- شکل ۳۰. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه تربت حیدریه با استفاده از شاخص SPEI..... ۱۲۱
- شکل ۳۱. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه سبزوار با استفاده از شاخص SPEI..... ۱۲۲
- شکل ۳۲. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه سرخس با استفاده از شاخص SPEI..... ۱۲۳
- شکل ۳۳. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه قوچان با استفاده از شاخص SPEI..... ۱۲۴
- شکل ۳۴. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه کاشمر با استفاده از شاخص SPEI..... ۱۲۵
- شکل ۳۵. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه گناباد با استفاده از شاخص SPEI..... ۱۲۶
- شکل ۳۶. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه مشهد با استفاده از شاخص SPEI..... ۱۲۷
- شکل ۳۷. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه نیشابور با استفاده از شاخص SPEI..... ۱۲۸
- شکل ۳۸. متوسط پهنه ای خشکسالی هواشناسی در استان خراسان رضوی (با شاخص SPEI)..... ۱۳۰
- شکل ۳۹. متوسط پهنه ای خشکسالی کشاورزی در استان خراسان رضوی (با شاخص SPEI)..... ۱۳۱
- شکل ۴۰. متوسط پهنه ای خشکسالی هیدرولوژیکی در استان خراسان رضوی (با شاخص SPEI)..... ۱۳۱
- شکل ۴۱. متوسط پهنه ای شدت خشکسالی در استان خراسان رضوی (با شاخص SC-PDSI)..... ۱۳۶
- شکل ۴۲. پیش نگرى درصد فراوانی کمتر از نرمال شاخصهای خشکسالی..... ۱۳۸
- شکل ۴۳. پیش نگرى درصد فراوانی رخداد خشکسالی شاخصهای خشکسالی..... ۱۴۲
- شکل ۴۴. فلوچارت عوامل مؤثر بر باد، تقسیم‌بندی و مشخصه های آن..... ۱۴۶
- شکل ۴۵. ویژگیهای باد در ایستگاه تربت جام..... ۱۵۷
- شکل ۴۶. ویژگیهای باد در ایستگاه تربت حیدریه..... ۱۵۸
- شکل ۴۷. ویژگیهای باد در ایستگاه خواف..... ۱۵۹
- شکل ۴۸. ویژگیهای باد در ایستگاه سبزوار..... ۱۶۰
- شکل ۴۹. ویژگیهای باد در ایستگاه سرخس..... ۱۶۱
- شکل ۵۰. ویژگیهای باد در ایستگاه قوچان..... ۱۶۲
- شکل ۵۱. ویژگیهای باد در ایستگاه کاشمر..... ۱۶۳
- شکل ۵۲. ویژگیهای باد در ایستگاه گل‌مکان..... ۱۶۴
- شکل ۵۳. ویژگیهای باد در ایستگاه گناباد..... ۱۶۵
- شکل ۵۴. ویژگیهای باد در ایستگاه مشهد..... ۱۶۶
- شکل ۵۵. ویژگیهای باد در ایستگاه نیشابور..... ۱۶۷

- شکل ۵۶. چارچوب مفهومی ارتباط اقلیم با بخشهای اثرگذار ..... ۲۰۵
- شکل ۵۷. برهمکنش اقلیم و تغییرات آن با کشاورزی و تنوع زیستی ..... ۲۰۶
- شکل ۵۸. برهمکنش اقلیم و تغییرات آن با کشاورزی، تنوع زیستی و تجارت ..... ۲۰۶

غیر فایبل استناد و انتشار

### فهرست نقشه ها

صفحه

عنوان

۱. موقعیت ایستگاههای همدید (سینوپتیک) استان خراسان رضوی..... ۳
۲. میانگین دمای فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۲۶
۳. میانگین دمای فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۲۶
۴. میانگین دمای فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۲۷
۵. میانگین دمای فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۲۷
۶. میانگین دمای سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۲۸
۷. روند دمای فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس به ازای دهه)..... ۳۱
۸. روند دمای فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس به ازای دهه)..... ۳۲
۹. روند دمای فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس به ازای دهه)..... ۳۲
۱۰. روند دمای فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس به ازای دهه)..... ۳۳
۱۱. روند دمای سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس به ازای دهه)..... ۳۳
۱۲. دمای کمینه فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۳۵
۱۳. دمای کمینه فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۳۵
۱۴. دمای کمینه فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۳۶
۱۵. دمای کمینه فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۳۶
۱۶. دمای کمینه سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۳۷
۱۷. دمای بیشینه فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۳۷
۱۸. دمای بیشینه فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۳۸
۱۹. دمای بیشینه فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۳۸
۲۰. دمای بیشینه سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۳۹
۲۱. دامنه شبانه‌روزی دمای فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۴۱
۲۲. دامنه شبانه‌روزی دمای فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۴۱
۲۳. دامنه شبانه‌روزی دمای فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۴۲
۲۴. دامنه شبانه‌روزی دمای فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۴۲
۲۵. دامنه شبانه‌روزی دمای سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۴۳
۲۶. دمای سطح زمین روز هنگام فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۴۴
۲۷. دمای سطح زمین روز هنگام فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۴۵
۲۸. دمای سطح زمین روز هنگام فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۴۵
۲۹. دمای سطح زمین روز هنگام فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)..... ۴۶

- نقشه ۳۰. دمای سطح زمین روز هنگام سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس).....۴۶
- نقشه ۳۱. دمای سطح زمین شب هنگام فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس).....۴۸
- نقشه ۳۲. دمای سطح زمین شب هنگام فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس).....۴۸
- نقشه ۳۳. دمای سطح زمین شب هنگام فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس).....۴۹
- نقشه ۳۴. دمای سطح زمین شب هنگام فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس).....۴۹
- نقشه ۳۵. دمای سطح زمین شب هنگام سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس).....۵۰
- نقشه ۳۶. تعداد روزهای همراه با یخبندان فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: روز).....۵۱
- نقشه ۳۷. تعداد روزهای همراه با یخبندان فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: روز).....۵۲
- نقشه ۳۸. تعداد روزهای همراه با یخبندان فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: روز).....۵۲
- نقشه ۳۹. تعداد روزهای همراه با یخبندان سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: روز).....۵۳
- نقشه ۴۰. دمای میانگین دوره تاریخی مدل همادی CMIP6 ، فصل زمستان (یکا: درجه سلسیوس).....۵۸
- نقشه ۴۱. دمای میانگین دوره تاریخی مدل همادی CMIP6 ، فصل بهار (یکا: درجه سلسیوس).....۵۹
- نقشه ۴۲. دمای میانگین دوره تاریخی مدل همادی CMIP6، فصل تابستان (یکا: درجه سلسیوس).....۵۹
- نقشه ۴۳. دمای میانگین دوره تاریخی مدل همادی CMIP6، فصل پاییز (یکا: درجه سلسیوس).....۶۰
- نقشه ۴۴. بی هنجاری دمای فصل زمستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس).....۶۲
- نقشه ۴۵. بی هنجاری دمای فصل زمستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس).....۶۲
- نقشه ۴۶. بی هنجاری دمای فصل بهار تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس).....۶۳
- نقشه ۴۷. بی هنجاری دمای فصل بهار تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس).....۶۳
- نقشه ۴۸. بی هنجاری دمای فصل تابستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس).....۶۴
- نقشه ۴۹. بی هنجاری دمای فصل تابستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس).....۶۴
- نقشه ۵۰. بی هنجاری دمای فصل پاییز تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس).....۶۵
- نقشه ۵۱. بی هنجاری دمای فصل پاییز تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس).....۶۵
- نقشه ۵۲. رطوبت نسبی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درصد).....۶۷
- نقشه ۵۳. رطوبت نسبی فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درصد).....۶۷
- نقشه ۵۴. رطوبت نسبی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درصد).....۶۸
- نقشه ۵۵. رطوبت نسبی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درصد).....۶۸
- نقشه ۵۶. رطوبت نسبی سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درصد).....۶۹
- نقشه ۵۷. مجموع بارش فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی متر).....۷۱
- نقشه ۵۸. مجموع بارش فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: میلی متر).....۷۱
- نقشه ۵۹. مجموع بارش فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی متر).....۷۲
- نقشه ۶۰. مجموع بارش فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: میلی متر).....۷۲
- نقشه ۶۱. مجموع بارش سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: میلی متر).....۷۳
- نقشه ۶۲. روند بارش ایستگاه قوچان برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (یکا: میلی متر).....۷۷
- نقشه ۶۳. روند بارش ایستگاه کاشمر برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (یکا: میلی متر).....۷۷

- نقشه ۶۴. روند بارش فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر به ازای دهه)..... ۸۶
- نقشه ۶۵. روند بارش فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر به ازای دهه)..... ۸۷
- نقشه ۶۶. روند بارش فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر به ازای دهه)..... ۸۷
- نقشه ۶۷. روند بارش فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر به ازای دهه)..... ۸۸
- نقشه ۶۸. روند بارش سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر به ازای دهه)..... ۸۸
- نقشه ۶۹. روزهای بارانی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: روز/فصل)..... ۹۰
- نقشه ۷۰. روزهای بارانی فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: روز/فصل)..... ۹۰
- نقشه ۷۱. روزهای بارانی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: روز/فصل)..... ۹۱
- نقشه ۷۲. روزهای بارانی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: روز/فصل)..... ۹۱
- نقشه ۷۳. روزهای بارانی سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: روز/فصل)..... ۹۲
- نقشه ۷۴. پیش‌نگری بارش فصل زمستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)..... ۹۶
- نقشه ۷۵. پیش‌نگری بارش فصل زمستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)..... ۹۶
- نقشه ۷۶. پیش‌نگری بارش فصل بهار تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)..... ۹۷
- نقشه ۷۷. پیش‌نگری بارش فصل بهار تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)..... ۹۷
- نقشه ۷۸. پیش‌نگری بارش فصل تابستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)..... ۹۸
- نقشه ۷۹. پیش‌نگری بارش فصل تابستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)..... ۹۸
- نقشه ۸۰. پیش‌نگری بارش فصل پاییز تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)..... ۹۹
- نقشه ۸۱. پیش‌نگری بارش فصل پاییز تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)..... ۹۹
- نقشه ۸۲. تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر)..... ۱۰۰
- نقشه ۸۳. تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر)..... ۱۰۱
- نقشه ۸۴. تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر)..... ۱۰۱
- نقشه ۸۵. تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر)..... ۱۰۲
- نقشه ۸۶. درصد تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) نسبت به مجموع بارش سالانه در استان خراسان رضوی..... ۱۰۳
- نقشه ۸۷. درصد پوشش ابرناکی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)..... ۱۰۴
- نقشه ۸۸. درصد پوشش ابرناکی فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)..... ۱۰۵
- نقشه ۸۹. درصد پوشش ابرناکی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)..... ۱۰۵
- نقشه ۹۰. درصد پوشش ابرناکی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)..... ۱۰۶
- نقشه ۹۱. درصد پوشش ابرناکی سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)..... ۱۰۶
- نقشه ۹۲. خشکسالی هواشناسی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۱
- نقشه ۹۳. خشکسالی هواشناسی فصل بهار در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۱
- نقشه ۹۴. خشکسالی هواشناسی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۲
- نقشه ۹۵. خشکسالی هواشناسی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۲
- نقشه ۹۶. خشکسالی هواشناسی سالانه در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۳
- نقشه ۹۷. خشکسالی کشاورزی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۳

- نقشه ۹۸. خشکسالی کشاورزی فصل بهار در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۴
- نقشه ۹۹. خشکسالی کشاورزی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۴
- نقشه ۱۰۰. خشکسالی کشاورزی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۵
- نقشه ۱۰۱. خشکسالی کشاورزی سالانه در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۵
- نقشه ۱۰۲. خشکسالی هیدرولوژیکی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۶
- نقشه ۱۰۳. خشکسالی هیدرولوژیکی فصل بهار در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۶
- نقشه ۱۰۴. خشکسالی هیدرولوژیکی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۷
- نقشه ۱۰۵. خشکسالی هیدرولوژیکی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۷
- نقشه ۱۰۶. خشکسالی هیدرولوژیکی سالانه در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)..... ۱۱۸
- نقشه ۱۰۷. شدت خشکسالی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SC-PDSI)..... ۱۳۳
- نقشه ۱۰۸. شدت خشکسالی فصل بهار در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SC-PDSI)..... ۱۳۳
- نقشه ۱۰۹. شدت خشکسالی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SC-PDSI)..... ۱۳۴
- نقشه ۱۱۰. شدت خشکسالی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SC-PDSI)..... ۱۳۴
- نقشه ۱۱۱. شدت خشکسالی سالانه در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SC-PDSI)..... ۱۳۵
- نقشه ۱۱۲. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو خوشبینانه شاخص خشکسالی هواشناسی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۳۸
- نقشه ۱۱۳. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی هواشناسی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۳۹
- نقشه ۱۱۴. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو خوشبینانه شاخص خشکسالی کشاورزی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۳۹
- نقشه ۱۱۵. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی کشاورزی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۴۰
- نقشه ۱۱۶. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو خوشبینانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۴۰
- نقشه ۱۱۷. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۴۱
- نقشه ۱۱۸. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو خوشبینانه شاخص خشکسالی هواشناسی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۴۳
- نقشه ۱۱۹. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی هواشناسی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۴۳
- نقشه ۱۲۰. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو خوشبینانه شاخص خشکسالی کشاورزی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۴۴
- نقشه ۱۲۱. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی کشاورزی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۴۴

- نقشه ۱۲۲. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو خوش‌بینانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۴۵
- نقشه ۱۲۳. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)..... ۱۴۵
- نقشه ۱۲۴. میانگین تندی باد فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: متر بر ثانیه)..... ۱۵۱
- نقشه ۱۲۵. میانگین تندی باد فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: متر بر ثانیه)..... ۱۵۲
- نقشه ۱۲۶. میانگین تندی باد فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: متر بر ثانیه)..... ۱۵۲
- نقشه ۱۲۷. میانگین تندی باد فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: متر بر ثانیه)..... ۱۵۳
- نقشه ۱۲۸. میانگین تندی باد میانگین سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: متر بر ثانیه)..... ۱۵۳
- نقشه ۱۲۹. ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر (PM2.5) در استان خراسان رضوی (۱۳۸۰-۱۳۹۹) مبتنی بر برونداد داده های ماهواره های سنجنده های SeaWifs, MISR و MODIS..... ۱۷۰
- نقشه ۱۳۰. طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی با روش دومارتن..... ۱۷۷
- نقشه ۱۳۱. طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی با روش کوپن گایگر در دوره فعلی..... ۱۷۹
- نقشه ۱۳۲. طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی با روش کوپن گایگر در دوره آینده..... ۱۷۹
- نقشه ۱۳۳. دوره تاریخی دمای فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۱
- نقشه ۱۳۴. پیش‌نگری دمای فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۲
- نقشه ۱۳۵. پیش‌نگری دمای فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۲
- نقشه ۱۳۶. دوره تاریخی دمای فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۳
- نقشه ۱۳۷. پیش‌نگری دمای فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوش‌بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۳
- نقشه ۱۳۸. پیش‌نگری دمای فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۴
- نقشه ۱۳۹. دوره تاریخی دمای فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۵
- نقشه ۱۴۰. پیش‌نگری دمای فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۶
- نقشه ۱۴۱. پیش‌نگری دمای فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۶
- نقشه ۱۴۲. دوره تاریخی دمای فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۷
- نقشه ۱۴۳. پیش‌نگری دمای فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۷
- نقشه ۱۴۴. پیش‌نگری دمای فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)..... ۱۸۸



- نقشه ۱۴۵. دوره تاریخی بارش فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: میلیمتر)..... ۱۸۹
- نقشه ۱۴۶. پیش نگرى بارش فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۰
- نقشه ۱۴۷. پیش نگرى بارش فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۰
- نقشه ۱۴۸. دوره تاریخی بارش فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۱
- نقشه ۱۴۹. پیش نگرى بارش فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۲
- نقشه ۱۵۰. پیش نگرى بارش فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۲
- نقشه ۱۵۱. دوره تاریخی بارش فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۳
- نقشه ۱۵۲. پیش نگرى بارش فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۴
- نقشه ۱۵۳. پیش نگرى بارش فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۴
- نقشه ۱۵۴. دوره تاریخی بارش فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۵
- نقشه ۱۵۵. پیش نگرى بارش فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوشبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۵
- نقشه ۱۵۶. پیش نگرى بارش فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلیمتر)..... ۱۹۶

همه جنبه‌های زندگی انسان و سایر موجودات زنده، به نوعی متأثر از فرایندهای اقلیمی است. این فرآیندها بسیار پیچیده و مطالعات در زمینه‌های نظری و کاربردی آن‌ها روزبه‌روز پرمیانه‌تر می‌گردد. از سوی دیگر، تحقیقات در مورد آشکارسازی و نسبت دادن (D&A<sup>1</sup>) تغییر اقلیم طی دوره تاریخی (دوره گذشته) و پیش‌نگری تغییرات آن در آینده نقش حیاتی در برنامه‌ریزی و مدیریت جنبه‌های مختلف انسانی دارد. لزوم بررسی دقیق اقلیم برای درک ما از تغییر اقلیم کلیدی است. همگام با دقیق‌تر شدن مشاهدات بهتر و پیش‌بینی‌های طولانی‌تر از سامانه اقلیم، پایش و پیش‌بینی‌های بهنگام اقلیمی نقش مهمی در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری جامعه در حال رشد ایران و بخصوص شمال‌شرق با محوریت استان خراسان رضوی ایفا می‌کند. مخاطرات اقلیمی بسیاری طی سال‌های اخیر در استان خراسان رضوی اتفاق افتاده است که انتظار می‌رود در آینده نیز بر شدت و فراوانی آن‌ها افزوده شود که طبیعتاً پیامدهایی برای سلامتی انسان، کشاورزی، محیط‌زیست، منابع آب و سایر جنبه‌های محیطی و انسانی را به همراه خواهد داشت. لذا ضروری است تا اقلیم و تغییرات آنچه در دوره گذشته و چه در دوره آینده مورد بررسی همه‌جانبه قرار گیرد. چرا که ارائه اطلاعات دقیق از اقلیم به مدیران، برنامه‌ریزان و سازمان‌های متولی برای تدوین و اجرای برنامه‌های عملیاتی ملی و منطقه‌ای از اهمیت بسزایی برخوردار است.

استان خراسان رضوی به لحاظ موقعیت ویژه جغرافیایی نیازمند برنامه‌ریزی‌های گسترده‌ای در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی، انرژی، محیط‌زیست، آب و کشاورزی است. این برنامه‌ریزی بدون شناخت اقلیم و پهنه‌بندی آن و بدون در نظر گرفتن توزیع زمانی-مکانی متغیرهای اقلیمی، موفق به نظر نمی‌رسد. در این بین پایش و پیش‌بینی بارش که بیشترین بی‌نظمی زمانی را در بین متغیرهای اقلیمی دارد از اولویت بنیادی برخوردار است و تغییرات این متغیر در اکثر موارد خسارات جبران‌ناپذیری را بر جای می‌گذارد که نمود بارز آن خشکسالی گسترده و فراگیر ایران و بخصوص استان خراسان رضوی برای سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ است. با توجه به اهداف طرح مطالعات آمایش استان خراسان رضوی و لزوم بازنگری آن سعی شده است از جدیدترین داده‌ها و مدل‌های در دسترس استفاده شود تا ضمن ارائه گزارشی دقیق از وضعیت اقلیمی استان، چشم‌اندازی روشن از اقلیم آن برای برنامه‌ریزان کشوری و استانی ارائه شود. در این بخش از گزارش، متغیرهای اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن به همراه جداول، نمودارها و نقشه‌ها ارائه شده است.

#### - بررسی موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی همدید (سینوپتیک) استان خراسان رضوی

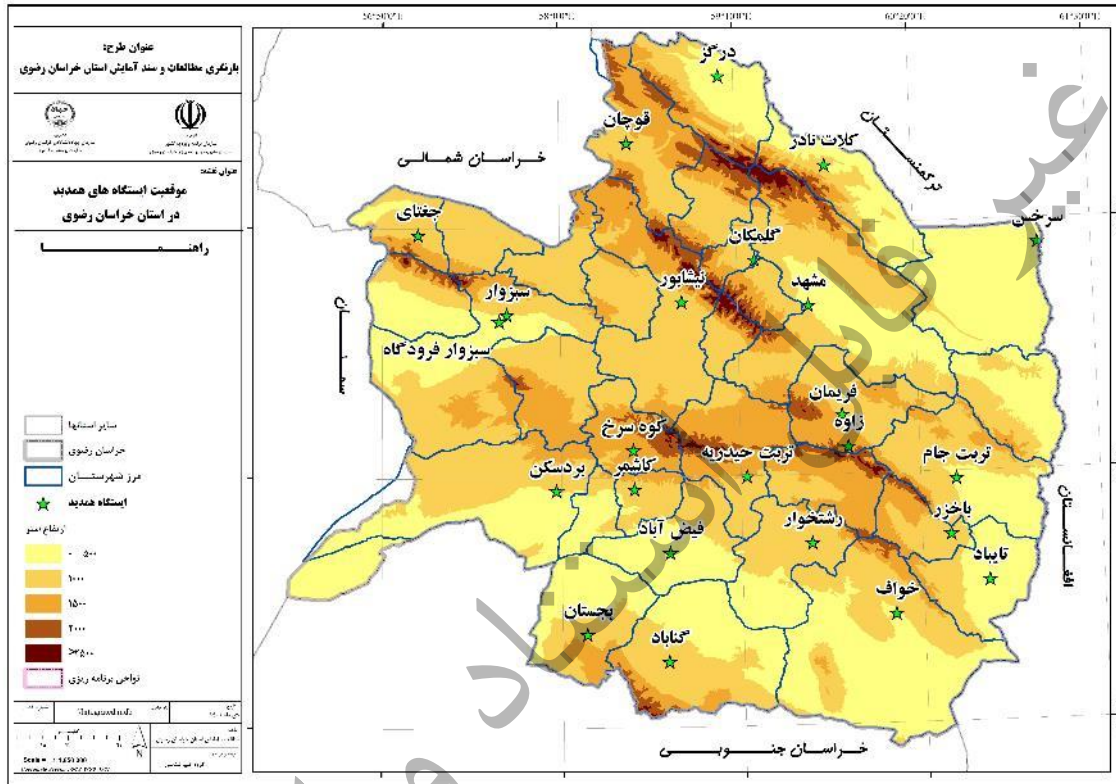
شبکه ایستگاه‌های هواشناسی که برای اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی در سطح استان خراسان رضوی وجود دارد را می‌توان به چهار گروه ۱- ایستگاه‌های سینوپتیک (همدید)، ۲- ایستگاه‌های کلیماتولوژی (اقلیم‌شناسی)، ۳- ایستگاه‌های باران سنجی، ۴- ایستگاه‌های تبخیر سنجی تقسیم‌بندی کرد. ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی تحت نظارت سازمان هواشناسی کشور و ایستگاه‌های باران سنجی و تبخیر سنجی تحت نظارت وزارت نیرو می‌باشند که به جمع‌آوری و ارائه اطلاعات می‌پردازند.

بر اساس استاندارد بین المللی که توسط سازمان هواشناسی جهانی (WMO) تعریف شده است در مطالعات اقلیمی باید از یک دوره آماری مشترک استفاده کرد. بر همین اساس WMO با بررسی انجام شده در سطح جهانی یک دوره ۳۰ ساله را به عنوان دوره نرمال اقلیمی (بهنجار) معرفی کرده است و بر همین اساس به کشورها، سازمانها و پژوهشگران توصیه کرده است که در مطالعات اقلیمی دوره‌هایی را با حداقل ۳۰ سال داده مورد بررسی قرار دهند. بر همین مبنا در بخش مطالعات اقلیمی از دوره نرمال سی ساله ۱۳۶۹ تا ابتدای سال ۱۴۰۰ استفاده شده است. به همین دلیل در این طرح ایستگاه‌هایی مورد استفاده قرار گرفتند که حداقل ۳۰ سال از دوره آماری مذکور دارای داده باشند. همچنین به دلیل تأکید ویژه سند آمایش استان خراسان رضوی بر تولید انرژی‌های پاک خورشیدی و بادی ۵ ایستگاه همدید با طول دوره ۱۰ ساله از سال ۱۳۹۰ نیز مورد استفاده قرار گرفته است که شرح هر یک در جدول (۱) آمده است. لازم به ذکر است هر چند که ایستگاه جغتای از سال ۱۳۹۰ اقدام به ثبت داده کرده است، اما دارای نواقص آماری بسیاری بوده که به همین دلیل این ایستگاه از مطالعه حذف شده است. افزون بر این ایستگاه فرودگاه سبزوار نیز از سال ۱۳۹۰ داده در اختیار داشته است اما به دلیل نزدیکی به ایستگاه سبزوار از یک طرف و از آنجایی که ایستگاه اصلی شهر سبزوار ۳۰ سال آمار کامل در اختیار داشته است از مشارکت دادن اطلاعات ایستگاه فرودگاه سبزوار صرف نظر شده است. غربال گیری اولیه برای هریک از متغیرهای اقلیمی صورت گرفته است تا نواقص احتمالی قابل مشاهده برطرف گردد. پس از آن ایستگاه‌هایی که بیش از ۲۵ درصد دارای نقص داده بوده‌اند همانند جغتای از مطالعه حاضر کنار گذاشته شدند.

لازم به ذکر است که در ایستگاه‌های سینوپتیک (همدید) و کلیماتولوژی (اقلیم‌شناسی) تمام متغیرهای اقلیمی مورد نیاز ثبت می‌شوند. اما در ایستگاه‌های تخیخیرسنجی متغیرهای بارش، دمای کمینه و بیشینه و باد و در ایستگاه‌های باران‌سنجی فقط بارش ثبت می‌شود. لذا در این مطالعه تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده برای بارش و دما ترکیبی از داده‌های وزارت نیرو و سازمان هواشناسی کشور است و برای سایر متغیرها تنها از داده‌های سازمان هواشناسی کشور (IRIMO) استفاده شده است. شایان ذکر است که دقت و قطعیت داده‌های ایستگاه‌های همدید سازمان هواشناسی به دلیل رعایت کامل دستورالعمل‌های سازمان هواشناسی جهانی (WMO) در سطح بسیار بالایی قرار دارد چرا که تمام ابزارهای مورد استفاده در ایستگاه‌های هواشناسی کشور از یک استاندارد ثابت بین المللی پیروی می‌کنند و بر این اساس نتایج به دست آمده و ارائه شده از ایستگاه‌های هواشناسی همدید به عنوان مبنای اصلی این طرح پژوهشی است.

بر اساس آنچه گفته شد در مطالعه حاضر، داده‌های اقلیمی روزانه ۱۰ ایستگاه هواشناسی همدید (با رنگ زرد در جدول ۱) به عنوان داده‌های اصلی و مبنا برای سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۹ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. با توجه به اینکه انرژی‌های نوین همچون باد و تابش خورشید از اهمیت بالایی در سند بالادستی برخوردار است، پنج ایستگاه بردسکن، تایباد، خواف، درگز و فریمان نیز با طول دوره ۱۰ ساله و کمتر مورد استفاده قرار گرفتند تا تراکم حداکثری ایستگاه‌ها در تمام مناطق اقلیمی استان خراسان رضوی در نظر گرفته شود (نقشه ۱). از آزمون همگنی استاندارد معمولی (SNHT) برای ارزیابی همگنی داده‌های اقلیمی روزانه

در طول دوره زمانی یادشده، استفاده شد. SNHT یک فن آماری برای بررسی یکنواختی نسبی و مطلق داده‌های پرت است. پس از کنترل کیفی داده‌های ایستگاه‌های همدید در نهایت ۱۰ ایستگاه همدید با طول دوره آماری ۳۰ ساله، یک ایستگاه با طول دوره آماری ۲۹ ساله، چهار ایستگاه با طول دوره آماری ۱۰ ساله و یک ایستگاه با طول دوره آماری ۶ ساله گزینش و موقعیت آن‌ها در نقشه و جدول (۱) نشان داده شده است.



نقشه ۱. موقعیت ایستگاه‌های همدید (سینوپتیک) استان خراسان رضوی

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های همدید استان خراسان رضوی به همراه ایستگاه‌های مورد استفاده

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	سال تأسیس
بجستان	۵۸/۱۶	۳۴/۵۰	۱۲۹۳	۱۳۹۴
باخزر	۶۰/۵۲	۳۵/۰۰	۱۲۸۱	۱۳۹۷
بردسکن	۵۷/۹۷	۳۵/۲۷	۹۸۵	۱۳۹۰
درگز	۵۹/۰۷	۳۷/۴۷	۵۱۴	۱۳۸۶
فریمان	۵۹/۸۳	۳۵/۶۵	۱۴۷۲	۱۳۸۵
فیض آباد	۵۸/۷۰	۳۴/۹۳	۹۶۰	۱۳۹۷
گلمکان	۵۹/۲۸	۳۶/۴۸	۱۱۷۶	۱۳۶۵
گناباد	۵۸/۶۸	۳۴/۳۵	۱۰۵۶	۱۳۶۵
جغتای	۵۷/۰۷	۳۶/۶۳	۱۳۳۵	۱۳۹۰
کلات نادر	۵۹/۷۶	۳۶/۹۸	۸۹۰	۱۳۹۴
کاشمر	۵۸/۴۷	۳۵/۲۷	۱۱۱۰	۱۳۶۵
خواف	۶۰/۱۵	۳۴/۵۸	۹۹۸	۱۳۸۴
کوه سرخ	۵۸/۴۷	۳۵/۴۸	۱۷۲۴	۱۳۹۶
مشهد	۵۹/۶۳	۳۶/۲۴	۹۹۹	۱۳۲۹
نیشابور	۵۸/۸۰	۳۶/۲۷	۱۲۱۳	۱۳۶۹
قوچان	۵۸/۴۵	۳۷/۱۲	۱۲۸۷	۱۳۶۲
رشتخوار	۵۹/۶۲	۳۴/۹۷	۱۱۵۰	۱۳۹۷
سبزوار	۵۷/۶۵	۳۶/۲۱	۹۶۲	۱۳۳۳
سبزوار فرودگاه	۵۷/۶۰	۳۶/۱۷	۹۳۸	۱۳۹۰
سرخس	۶۱/۱۵	۳۶/۵۴	۲۷۸	۱۳۶۳
تایباد	۶۰/۷۶	۳۴/۷۵	۹۰۰	۱۳۹۴
تربت حیدریه	۵۹/۲۱	۳۵/۳۳	۱۴۵۱	۱۳۳۷
تربت جام	۶۰/۵۶	۳۵/۲۹	۹۵۰	۱۳۷۱
زاوه	۵۹/۸۷	۳۵/۴۸	۱۳۸۳	۱۳۹۷

■ ایستگاه‌هایی که یک دوره ۳۰ ساله داده کامل در اختیار دارند و استفاده شده است.  
■ ایستگاه‌هایی که یک دوره ۲۹ ساله داده در اختیار دارند و استفاده شده است.  
■ ایستگاه‌هایی که یک دوره ۱۰ ساله داده در اختیار دارند و استفاده شده است.  
■ ایستگاهی که از داده ۶ ساله آن استفاده شده است.

به دلیل گستردگی زیادی استان خراسان رضوی و همچنین مناطق کوهستانی آن در شمال و شمال شرق برای تحلیل وضعیت اقلیمی استان خراسان رضوی لازم است تا از مشارکت حداکثری ایستگاه‌های سنجش وضعیت اقلیمی استفاده شود. تعداد زیاد ایستگاه‌های مشاهداتی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای را در دقت مدل‌سازی‌های آبی استان و همچنین ارائه چشم‌اندازی واقع‌بینانه از وضعیت اقلیمی استان داشته باشد. در این بخش به معرفی اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی مورد استفاده در استان خراسان رضوی در جداول (۲ تا ۶) پرداخته شده است. در این جداول اسامی تمامی ایستگاه‌ها با توجه به ارگان ذی‌ربط و نوع ایستگاه ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های تبخیرسنجی و باران‌سنجی استان خراسان رضوی

ارتفاع ایستگاه	Y(utm)	X(utm)	سال شروع آماربرداری	نوع ایستگاه	نام ایستگاه
۱۵۱۰	۴۱۱۷۰۰۷	۶۵۲۷۱۵	۱۳۴۶	تبخیرسنجی	تبرک آباد
۱۵۱۳	۴۱۱۹۴۵۴	۶۵۰۶۸۱	۱۳۸۰	تبخیرسنجی	پیرانلو
۱۳۲۴	۴۱۰۸۴۱۱	۶۳۵۹۴۶	۱۳۴۷	باران‌سنجی	هی هی قوچان
۱۱۴۰	۳۹۹۲۸۷۹	۶۶۷۲۳۵	۱۳۵۱	باران‌سنجی	روح آباد
۱۳۹۸	۴۰۱۸۹۷۷	۶۶۴۴۲۸	۱۳۵۱	باران‌سنجی	عیش آباد
۱۰۸۱	۳۹۸۷۰۹۰	۶۲۹۱۱۰	۱۳۷۶	تبخیرسنجی	فدیشه
۱۵۹۶	۴۰۳۶۱۸۳	۶۵۳۱۵۴	۱۳۳۱	تبخیرسنجی	بار اریه
۱۰۶۵	۳۹۸۸۹۹۵	۶۲۴۴۰۸	۱۳۵۱	باران‌سنجی	حسین آباد جنگل
۱۶۸۳	۴۰۷۶۶۷۳	۶۱۲۷۰۰	۱۳۵۵	تبخیرسنجی	ینگجه آبشار
۱۱۸۰	۴۰۱۷۸۶۱	۶۴۳۶۲۵	۱۳۶۶	باران‌سنجی	کارخانه قندنیشابور
۱۷۰۵	۴۰۷۹۴۷۸	۶۰۳۶۶۴	۱۳۸۰	باران‌سنجی	نشیب
۱۴۴۰	۴۰۴۶۹۵۳	۵۱۷۵۰۸	۱۳۵۱	باران‌سنجی	حطیپه
۱۲۸۵	۳۹۶۱۷۸۹	۶۰۲۸۷۷	۱۳۵۱	باران‌سنجی	سنگرد سبزوار
۹۵۰	۴۰۰۶۹۸۱	۵۶۱۵۷۲	۱۳۶۱	باران‌سنجی	سبزوار
۱۶۹۴	۳۹۲۱۱۷۷	۶۹۳۷۴۲	۱۳۴۵	تبخیرسنجی	صنوبر
۱۴۹۵	۳۹۰۳۲۴۵	۶۰۶۳۳۵	۱۳۶۳	باران‌سنجی	ایرج آباد- شش‌طراز
۱۳۷۰	۳۹۰۷۶۳۲	۷۰۲۸۵۶	۱۳۶۹	باران‌سنجی	قند تربت حیدریه
۱۹۱۶	۳۹۹۷۵۶۶	۷۰۵۷۵۲	۱۳۶۴	باران‌سنجی	دیزباد علیا
۱۱۱۲	۳۸۰۱۲۸۰	۶۵۳۹۱۴	۱۳۵۵	تبخیرسنجی	گناباد
۱۵۱۰	۴۱۱۷۰۰۷	۶۵۲۷۱۵	۱۳۴۶	تبخیرسنجی	تبرک آباد

جدول ۳. مشخصات ایستگاه‌های تبخیر سنجی و باران سنجی استان خراسان رضوی

ارتفاع ایستگاه	Y(utm)	X(utm)	سال شروع آماربرداری	نوع ایستگاه	نام ایستگاه
۱۵۰۴	۴۰۰۴۶۰۸	۶۸۴۴۵۴	۱۳۷۲	باران سنجی	خرو علیا
۱۴۹۷	۴۰۳۲۱۵۸	۶۵۰۹۲۰	۱۳۵۱	باران سنجی	طاغون
۱۴۳۴	۴۰۴۱۱۵۰	۶۳۳۷۲۱	۱۳۶۲	باران سنجی	زرنده - انراب
۱۳۲۸	۴۰۴۵۷۱۵	۵۲۹۶۷۴	۱۳۷۹	تبخیر سنجی	منج شیرین
۱۲۰۴	۴۰۰۸۸۸۳	۶۶۲۱۴۵	۱۳۸۲	باران سنجی	اداره نیشابور
۱۲۳۵	۴۰۴۸۲۰۱	۵۹۶۴۴۸	۱۳۷۰	تبخیر سنجی	دهنه شور - مشکان
۱۷۰۰	۳۹۲۷۵۹۸	۷۰۱۴۳۷	۱۳۷۱	باران سنجی	تروسک
۱۲۷۳	۳۸۹۹۵۷۰	۶۷۰۰۹۲	۱۳۸۲	باران سنجی	سلطان آباد ازغند
۹۲۵	۳۸۴۶۶۹۲	۷۱۰۱۴۱	۱۳۵۵	تبخیر سنجی	جنت آباد جنگل
۱۱۹۶	۳۸۹۰۸۹۰	۷۱۸۰۰۸	۱۳۶۰	تبخیر سنجی	ملک آباد
۸۶۵	۳۸۹۲۷۳۹	۵۳۷۱۹۳	۱۳۶۴	تبخیر سنجی	درونه
۸۳۸	۴۰۱۹۲۸۱	۴۸۳۴۹۵	۱۳۶۴	تبخیر سنجی	مزینان
۱۸۵۰	۳۹۲۹۷۳۰	۶۹۵۲۲۳	۱۳۷۰	تبخیر سنجی	بکاول
۱۱۲۱	۴۰۵۵۷۴۸	۵۳۶۸۹۵	۱۳۶۹	باران سنجی	کارخانه قند جوین
۱۰۶۰	۳۹۰۰۷۰۲	۶۳۳۷۵۹	۱۳۶۴	باران سنجی	کاشمر
۱۵۰۷	۴۰۴۳۷۵۸	۶۳۸۴۷۹	۱۳۷۰	باران سنجی	ماروسک
۱۰۰۹	۳۹۰۴۴۸۰	۶۱۱۷۴۵	۱۳۵۱	باران سنجی	کاریز کاشمر
۱۳۱۴	۳۹۰۱۱۶۹	۷۰۰۰۴۱	۱۳۶۹	باران سنجی	شیخ ابوالقاسم
۱۴۸۸	۳۹۵۴۹۲۸	۶۶۸۳۵۰	۱۳۶۹	باران سنجی	تلخ بخش
۱۵۹۵	۳۹۱۶۷۲۲	۶۷۴۴۴۷	۱۳۶۵	باران سنجی	فدیبه
۱۸۰۰	۳۹۲۰۱۸۸	۶۶۰۱۲۶	۱۳۶۵	باران سنجی	نامق
۱۷۶۰	۳۹۲۸۹۷۷	۵۹۵۲۳۶	۱۳۶۹	باران سنجی	ده چنار - بیروت
۱۴۴۵	۳۹۵۱۵۱۷	۶۰۳۶۶۰	۱۳۶۶	باران سنجی	بیروت
۱۳۳۰	۳۹۰۵۳۳۸	۷۳۰۹۰۵	۱۳۶۹	باران سنجی	سهل آباد خراسان
۱۵۸۴	۳۷۸۴۳۰۶	۶۴۲۸۷۵	۱۳۶۵	باران سنجی	گردنه کلات
۱۸۹۰	۳۹۳۲۲۶۵	۷۰۱۴۵۹	۱۳۷۱	باران سنجی	غنچی
۱۱۰۰	۳۹۱۰۳۶۰	۵۵۹۴۲۴	۱۳۶۹	باران سنجی	شریف آباد
۱۳۲۵	۳۹۰۴۰۵۵	۷۲۳۳۱۵	۱۳۸۲	باران سنجی	صبی - کال سالار
۱۲۷۹	۳۹۰۴۲۳۴	۶۶۴۲۱۱	۱۳۷۵	باران سنجی	چنار علی آباد
۱۵۰۰	۴۰۵۲۱۲۵	۶۱۵۳۱۰	۱۳۷۱	باران سنجی	برزنون
۱۵۱۰	۴۰۶۴۶۶۳	۶۲۶۴۵۳	۱۳۷۱	باران سنجی	ساق بیک

جدول ۴. مشخصات ایستگاه‌های تبخیر سنجی و باران سنجی استان خراسان رضوی

ارتفاع ایستگاه	Y(utm)	X(utm)	سال شروع آماربرداری	نوع ایستگاه	نام ایستگاه
۸۲۵	۳۸۵۲۴۰۹	۶۳۱۵۸۰	۱۳۷۸	باران سنجی	یونسی
۱۱۵۰	۳۸۷۳۰۸۰	۷۳۹۶۲۲	۱۳۷۱	باران سنجی	رشتخوار
۸۹۱	۳۸۵۹۶۰۶	۸۳۷۱۳۲	۱۳۷۸	تبخیر سنجی	خیر آباد تایباد
۹۸۰	۳۸۴۹۹۶۶	۷۵۸۶۰۴	۱۳۷۱	باران سنجی	فدک
۸۸۴	۳۸۱۱۸۴۱	۷۹۹۶۶۵	۱۳۷۸	تبخیر سنجی	سنگان خواف
۱۲۸۰	۳۸۷۹۶۵۳	۸۰۱۱۲۱	۱۳۵۵	تبخیر سنجی	ده منج
۱۲۹۷	۳۸۷۷۳۱۵	۸۰۱۷۹۷	۱۳۵۵	تبخیر سنجی	باخرز
۱۳۰۶	۳۸۷۶۹۹۵	۸۰۱۸۱۶	۱۳۸۲	تبخیر سنجی	باخرز بالا
۱۰۷۰	۳۸۳۰۷۵۵	۸۲۷۴۴۹	۱۳۶۵	باران سنجی	کرات خواف
۷۸۷	۳۸۹۶۷۳۵	۸۵۵۹۱۶	۱۳۷۹	باران سنجی	سمیع آباد
۱۶۳۵	۳۹۴۰۴۷۸	۷۴۸۳۸۲	۱۳۴۶	باران سنجی	باغ عباس
۱۵۰۰	۳۹۶۲۰۵۳	۷۴۶۹۲۲	۱۳۵۵	تبخیر سنجی	فرهادگرد
۱۶۱۰	۳۹۳۷۸۳۶	۷۶۱۴۹۲	۱۳۵۵	باران سنجی	کلانه رحمان
۱۵۰۵	۳۹۲۵۲۶۶	۷۸۰۳۴۵	۱۳۵۱	باران سنجی	غار شیشه
۹۳۹	۳۹۰۳۸۷۱	۸۲۷۸۷۴	۱۳۴۹	تبخیر سنجی	باغسنگان
۱۲۲۴	۳۹۳۴۷۷۱	۸۲۶۰۰۲	۱۳۵۵	باران سنجی	تیمنک سفلی
۱۴۰۶	۳۹۵۴۳۵۳	۷۵۷۶۵۹	۱۳۶۸	باران سنجی	فریمان
۱۷۹۰	۳۹۴۲۷۱۹	۷۳۹۷۴۶	۱۳۵۵	باران سنجی	کاریز نو
۱۸۴۰	۳۹۳۵۰۷۲	۷۴۰۳۳۷	۱۳۵۷	باران سنجی	ناری
۱۲۱۰	۴۰۷۵۲۲۴	۶۷۹۳۴۲	۱۳۵۲	باران سنجی	امامزاده - رادکان
۱۴۶۰	۴۰۵۱۶۳۳	۶۷۳۹۹۲	۱۳۵۲	باران سنجی	دهانه اخلمد
۱۶۶۰	۴۰۳۹۸۱۲	۶۷۶۸۰۲	۱۳۶۸	باران سنجی	فریزی
۱۴۰۵	۴۰۴۰۰۹۷	۶۹۳۸۴۴	۱۳۴۸	تبخیر سنجی	گلمکان
۱۵۶۱	۴۰۳۴۶۱۰	۶۹۴۱۹۷	۱۳۵۳	باران سنجی	دولت آباد
۱۸۰۵	۴۰۲۳۵۵۹	۶۹۶۸۸۹	۱۳۵۳	تبخیر سنجی	زشک خراسان
۱۰۰۰	۴۰۲۱۹۵۶	۷۳۱۰۳۹	۱۳۴۷	باران سنجی	اداره مشهد
۱۲۷۳	۴۰۳۱۳۴۷	۷۰۹۸۲۰	۱۳۵۴	باران سنجی	سرآسیاب شاندیز
۱۱۲۰	۴۰۵۱۸۱۳	۷۳۷۸۹۶	۱۳۴۶	باران سنجی	اندرخ



ارتفاع ایستگاه	Y(utm)	X(utm)	سال شروع آماربرداری	نوع ایستگاه	نام ایستگاه
۹۲۲	۴۰۰۷۰۲۵	۸۱۷۸۲۵	۱۳۴۷	تبخیر سنجی	مزدوران
۱۲۲۰	۴۰۲۰۹۵۳	۷۱۵۸۴۱	۱۳۶۷	باران سنجی	حصار(کشف رود)
۹۰۵	۴۰۱۵۵۲۴	۷۵۲۳۳۲	۱۳۴۶	تبخیر سنجی	اولنگ اسدی

جدول ۵. مشخصات ایستگاه‌های تبخیر سنجی و باران سنجی استان خراسان رضوی

ارتفاع ایستگاه	Y(utm)	X(utm)	سال شروع آماربرداری	نوع ایستگاه	نام ایستگاه
۶۸۰	۳۹۸۹۳۲۸	۸۴۷۰۷۴	۱۳۴۵	باران سنجی	آق دربند
۴۰۸	۳۹۸۸۱۰۹	۸۷۰۸۸۶	۱۳۴۷	تبخیر سنجی	پل خاتون
۱۲۷۵	۴۰۵۶۰۹۷	۷۴۰۶۹۰	۱۳۶۶	تبخیر سنجی	سد کارده
۱۸۱۲	۴۰۷۷۱۵۸	۷۲۷۰۶۳	۱۳۵۱	تبخیر سنجی	مارشک
۱۵۹۸	۴۰۷۵۶۷۹	۶۳۴۱۷۸	۱۳۶۷	باران سنجی	چکنه علیا
۱۲۲۳	۴۰۰۶۱۲۴	۷۲۹۵۸۵	۱۳۶۹	تبخیر سنجی	سد طرق
۱۳۰۶	۴۰۶۷۵۲۹	۷۱۳۶۴۹	۱۳۵۱	تبخیر سنجی	ارداک بند ساروج
۱۹۳۴	۴۰۸۱۰۲۲	۷۳۱۸۹۱	۱۳۶۵	باران سنجی	بلغور
۱۵۷۰	۴۰۶۶۶۴۱	۷۲۹۰۱۵	۱۳۶۹	باران سنجی	گوش بالا
۱۴۵۶	۴۰۶۶۸۳۰	۷۳۸۱۱۲	۱۳۶۹	باران سنجی	آل
۱۱۷۰	۴۰۵۷۴۷۸	۶۸۹۶۱۸	۱۳۶۵	باران سنجی	چناران
۱۷۸۰	۴۰۰۱۹۴۵	۷۱۴۱۶۴	۱۳۶۹	باران سنجی	مغان
۹۸۳	۳۹۸۱۹۳۷	۷۹۲۳۵۴	۱۳۶۴	باران سنجی	کلاته منار
۱۴۲۰	۴۰۲۱۱۱۳	۷۰۸۴۴۹	۱۳۶۵	باران سنجی	جاغرق
۱۴۵۵	۳۹۸۹۸۱۸	۷۲۵۸۵۲	۱۳۶۷	باران سنجی	شریف آباد(سنگ بست)
۱۲۱۰	۴۰۳۵۴۰۰	۷۶۸۶۷۶	۱۳۶۹	باران سنجی	هندل آباد
۱۰۳۰	۴۰۱۵۳۸۷	۷۸۰۶۵۶	۱۳۶۴	باران سنجی	امامزاده - میامی
۱۵۰۰	۴۰۷۱۶۸۳	۷۲۰۰۰۴	۱۳۸۱	باران سنجی	آبقد ارداک
۱۳۴۰	۴۰۸۵۸۵۳	۶۷۶۳۷۲	۱۳۶۵	باران سنجی	بهمن جان علیا
۵۱۰	۳۹۸۳۸۸۷	۸۷۷۱۵۱	۱۳۶۹	باران سنجی	گرماب
۱۳۸۰	۴۰۴۴۸۶۲	۶۸۵۶۰۱	۱۳۶۰	باران سنجی	آبقد فریزی
۱۵۴۶	۴۰۷۸۰۱۶	۷۱۰۵۴۸	۱۳۶۹	باران سنجی	تلغور
۱۱۷۷	۴۰۷۴۹۸۲	۶۷۶۳۹۳	۱۳۶۷	تبخیر سنجی	قدیر آباد

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	سال شروع آماربرداری	X(utm)	Y(utm)	ارتفاع ایستگاه
جنگ	باران سنجی	۱۳۷۱	۷۳۰۷۶۳	۴۰۷۳۹۰۷	۱۶۸۷
چهچه	باران سنجی	۱۳۷۲	۷۹۷۶۹۲	۴۰۶۰۰۹۸	۴۷۵
بزنگان	تبخیر سنجی	۱۳۴۷	۸۰۸۵۱۹	۴۰۲۲۵۴۷	۱۰۱۲
سنگر سرخس	باران سنجی	۱۳۵۲	۸۷۷۴۹۶	۴۰۱۳۹۹۲	۳۵۰
سرخس	تبخیر سنجی	۱۳۴۶	۸۷۲۱۳۰	۴۰۵۱۱۸۵	۲۷۶
سنگ دیوار	باران سنجی	۱۳۶۵	۷۲۵۴۷۰	۴۱۱۷۱۲۵	۷۰۵

جدول ۶. مشخصات ایستگاه‌های تبخیر سنجی و باران سنجی استان خراسان رضوی

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	سال شروع آماربرداری	X(utm)	Y(utm)	ارتفاع ایستگاه
قره تیکان	باران سنجی	۱۳۵۵	۷۸۴۷۵۰	۴۰۷۹۲۵۳	۵۲۲
دربند کلات نادری	باران سنجی	۱۳۷۱	۷۴۲۶۳۴	۴۰۹۸۰۰۴	۹۶۳
ارچنگان	باران سنجی	۱۳۷۱	۷۳۱۱۰۶	۴۱۱۰۷۳۳	۷۳۶
لایین نو	تبخیر سنجی	۱۳۷۸	۷۲۱۴۸۸	۴۱۱۲۷۴۴	۸۴۰
حاتم قلعه	باران سنجی	۱۳۴۶	۷۰۹۷۹۰	۴۱۳۲۱۶۱	۴۹۰
کپکان - قوزقانچای	باران سنجی	۱۳۵۹	۶۶۹۳۴۵	۴۱۲۴۴۴۴	۱۴۳۵
حصار درگز	باران سنجی	۱۳۷۵	۷۱۱۷۷۱	۴۱۴۶۱۳۸	۲۸۳
شمخال	تبخیر سنجی	۱۳۵۴	۶۲۸۴۵۰	۴۱۶۱۰۵۷	۱۴۸۰
محمد تقی بیگ	باران سنجی	۱۳۶۷	۶۴۵۳۲۲	۴۱۶۴۵۱۱	۹۹۰
درگز	تبخیر سنجی	۱۳۶۶	۶۸۵۷۹۹	۴۱۴۵۳۲۴	۴۹۰
کرتیان	تبخیر سنجی	۱۳۴۷	۷۲۶۰۷۳	۴۰۰۵۹۳۰	۱۲۴۰

بررسی موقعیت ایستگاه‌های فعال اقلیمی استان خراسان رضوی در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است. استان خراسان رضوی همان‌طور که پیداست دارای تنوع ارتفاعی و اقلیمی بسیار زیادی است. بررسی وضعیت ایستگاه‌های فعال نشان داد حداقل ارتفاع ایستگاهی استان ۲۴۶ متر از سطح دریا برای ایستگاه تبخیر سنجی سرخس و حداکثر ارتفاع آن مربوط به ایستگاه باران سنجی بلغور با ۱۹۳۴ متر از سطح دریا است. این بررسی نشان می‌دهد که استان کماکان دارای کمبود قابل توجهی از ایستگاه‌های اندازه‌گیری اقلیمی است. لذا در برنامه‌های آتی این استان باید توسعه شبکه‌های ایستگاهی استان خراسان رضوی مورد توجه برنامه‌ریزان قرار گیرد.

### ۲-۲-۱- میزان بارندگی و تبخیر آب در استان خراسان رضوی

در بین متغیرهای هواشناسی، بارش به دلیل نقش مهمی که در مدیریت منابع آب، کشاورزی، صنعت، محیط‌زیست و... دارد ارزش مطالعاتی بیشتری نسبت به سایر متغیرها دارد. با این حال بارش به دلیل ناهمگنی زمانی - مکانی در میان پیچیده‌ترین متغیرهای هواشناسی قرار دارد. بر این اساس مطالعه‌ای می‌تواند از ارزش بالایی برخوردار باشد که از داده‌های بهنگام و با خطای کمتری استفاده کرده باشد. داده‌های مشاهداتی منبع اصلی جهت بررسی متغیرهای هواشناسی و اقلیمی هستند. در ادامه بارش ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک استان به‌طور خلاصه برای سال آبی بلندمدت ۳۰ ساله ارائه شده است. شرح کامل بارش و تغییرات آن در بخش‌های بعدی گزارش به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. بنا به ضرورت مطالعه دقیق بارش و لحاظ کردن بارش سال ۱۴۰۰ در این گزارش، بارش سال آبی نیز بررسی شده است. برای درک بهتر تغییرات بارش و افت‌وخیز بالای آن مقدار بارش تجمعی استان خراسان رضوی در سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نسبت به دوره مشابه بهنجار ۳۰ ساله (سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۹۹-۱۳۹۸) مورد مقایسه قرار گرفته است و نتایج حاصل از آن در جدول (۷) ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بارش در تمامی ۹ ایستگاه هم‌دید نماینده در سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ کاهش قابل‌توجهی داشته است. بطوریکه در مشهد و نیشابور بارش بیش از ۵۰ درصد نسبت به دوره نرمال ۳۰ ساله کاهش نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ارائه شده بر مبنای سال آبی، بیشینه بارش با ۲۴۹ میلی‌متر در ایستگاه قوچان و کمینه آن با ۱۱۸/۶۸ میلی‌متر در ایستگاه گناباد است.

جدول ۷. میزان بارش تجمعی استان خراسان رضوی در سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نسبت به دوره مشابه نرمال ۳۰ ساله (سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۹۹-۱۳۹۸)

ایستگاه	بارش (میلی‌متر) (سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰)	بلندمدت (میلی‌متر) (از سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۹۹-۱۳۹۸)	تفاوت با بلندمدت (درصد)
تربت‌حیدریه	۱۸۵/۵۶	۲۱۳/۳۹	۱۳/۰۴
سبزوار	۱۲۴/۵۹	۱۵۷/۶۸	۲۰/۹۸
سرخس	۱۳۰/۲۲	۱۷۴/۰۲	۲۵/۱۶
قوچان	۱۵۷/۰۱	۲۴۹/۰۰	۳۶/۹۴
کاشمر	۱۵۴/۶۲	۱۷۰/۶۳	۹/۳۸
گلمکان	۹۲/۶۲	۱۶۱/۶۸	۴۲/۷۱
گناباد	۷۹/۶۸	۱۱۸/۶۸	۳۲/۸۶
مشهد	۹۴/۱۴	۱۹۶/۲۳	۵۲/۰۲
نیشابور	۸۰/۰۲	۱۹۶/۴۶	۵۹/۲۶

■ بارش بیش از ۵۰ درصد کاهش داشته است (تمامی اعداد کاهش هستند).

## مجموع تبخیر ماهانه در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان خراسان رضوی

مجموع ماهانه تبخیر برای ده ایستگاه هواشناسی همدید منتخب در استان خراسان رضوی برای سه دهه گذشته مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در جدول (۸) آمده است. لازم به ذکر است که متغیر تبخیر در فصل زمستان به دلیل پایین بودن دما و مقدار بالای بارش در ایستگاه‌های هواشناسی همدید سازمان هواشناسی کشور گزارش نمی‌شود. بر این اساس تنها مجموع تبخیر ماهانه فصول بهار، تابستان و پاییز در جدول (۸) موجود است. بر اساس نتایج گزارش شده برای مجموع تبخیر ماهانه، بالاترین مقدار تبخیر طبیعتاً در فصل تابستان و ایستگاه‌های جنوبی، غربی و مرکزی استان دیده می‌شود. بیشینه مجموع تبخیر ماهانه در ایستگاه تربت‌جام در تیر ماه که گرم‌ترین ماه سال نیز است با مقدار  $503/8$  میلی‌متر دیده می‌شود. از خرداد تا شهریور تبخیر بالای  $300$  میلی‌متر در تمامی ایستگاه‌ها دیده می‌شود (به غیر از مشهد و نیشابور در شهریور ماه). ایستگاه‌های تربت‌جام، تربت‌حیدریه، سبزوار، گناباد و کاشمر تبخیر بالای  $400$  میلی‌متر را در ماه‌های فصل تابستان نشان می‌دهند. این مقدار تبخیر ماهانه نشان‌دهنده دمای بالای هوا و همچنین تندی زیاد باد است. تبخیر زیاد باعث از دست رفتن رطوبت خاک و همچنین تبخیر سریع مخازن سطحی آب می‌شود. بر این اساس لازم است تا ساعت آبیاری برای باغات و فضای سبز مناطق شهری به گونه تنظیم شود که کمترین مقدار تبخیر را به همراه داشته باشد. به جهت زمانی کمینه تبخیر در فصل پاییز و ماه آذر دیده می‌شود. همگام با تغییرات بسیاری از متغیرهای اقلیمی همانند بارش و دما، تبخیر نیز در استان شیب افزایشی شمال به جنوب دارد. بطوریکه کمینه مقدار تبخیر در ایستگاه قوچان دیده می‌شود.

برای درک بهتر مجموع تبخیر سالانه در استان خراسان رضوی نسبت مجموع تبخیر سالانه با مجموع بارش سالانه محاسبه گردید که نتایج آن در ستون انتهایی جدول (۸) ارائه شده است. به‌طور کلی مجموع تبخیر استان به شکل چشمگیری نسبت به مجموع بارش استان بیش‌تر است. بطوریکه  $5/04$  برابر بارشی که در قوچان می‌بارد در این منطقه تبخیر می‌شود. در گناباد این مقدار  $22/92$  برابر است. به عبارتی تقریباً  $23$  برابر بارشی که در گناباد می‌بارد در این منطقه تبخیر می‌شود. ایستگاه‌هایی که نسبت تبخیر به بارش آن‌ها بیش از  $10$  برابر است به ترتیب از بزرگ به کوچک عبارت‌اند از تربت‌جام، کاشمر، سبزوار، سرخس و نیشابور. لذا توجه به مسئله مدیریت آب بخصوص در مخازن آبی استان و سدهای آن باید مورد توجه ویژه برنامه ریزان قرار گیرد. چرا که چنین پتانسیلی از تبخیر نسبت به بارش اگر درست مدیریت نشود با توجه به افزایش قطعی دما در سال‌های آتی می‌تواند بزرگ‌تر شود که تهدیدی جدی برای محیط‌زیست، منابع آب و کشاورزی استان خواهد بود. شایان‌ذکر است که این ارقام برای مجموع بارش و تبخیر سالانه محاسبه شده و طبیعتاً اگر این مقدار برای هر ماه محاسبه می‌گردید قطعاً عدد به‌دست‌آمده بسیار بزرگ‌تر از آنچه که ارائه شده است، می‌بود.

جدول ۸. مجموع تبخیر ماهانه و نسبت تبخیر به بارش سالانه در ایستگاه‌های منتخب استان خراسان رضوی

نسبت تبخیر به بارش سالانه	ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
۱۸/۱۳	تربت جام	۱۵۵/۴	۲۶۸/۴	۴۰۵/۷	۵۰۳/۸	۴۹۴/۸	۳۸۲/۱	۲۲۳/۶	۱۰۷/۱	۲۶/۷
۹/۴۲	تربت حیدریه	۱۳۴/۲	۲۳۸/۵	۳۴۷/۱	۴۲۳/۴	۴۱۲/۹	۳۱۵/۰	۱۹۴/۰	۸۵/۰	۱۳/۱
۱۴/۱۱	سبزوار	۱۵۷/۴	۲۶۸/۶	۳۸۹/۵	۴۶۱/۹	۴۳۳/۳	۳۵۶/۶	۲۲۲/۷	۱۰۲/۵	۲۸/۶
۱۲/۸۳	سرخس	۱۳۶/۵	۲۵۶/۹	۳۸۲/۳	۴۴۷/۸	۴۲۲/۲	۳۰۹/۴	۱۸۸/۵	۹۳/۰	۲۹/۹
۵/۰۴	قوچان	۸۷/۳	۱۵۹/۵	۲۴۳/۲	۳۰۷/۸	۲۹۶/۴	۲۳۶/۹	۱۲۶/۷	۴۳/۰	۷/۷
۱۴/۵۲	کاشمر	۱۷۱/۷	۲۹۴/۳	۳۹۶/۶	۴۶۱/۹	۴۲۰/۶	۳۳۰/۵	۲۱۹/۷	۱۲۰/۴	۴۸/۱
۹/۶۶	گلمکان	۱۲۶/۷	۲۰۷/۱	۳۰۹/۵	۳۶۴/۹	۳۵۳/۰	۲۷۴/۶	۱۶۶/۵	۶۱/۲	۲۱/۴
۲۲/۹۲	گناباد	۱۹۶/۴	۳۱۱/۵	۴۲۸/۲	۴۷۵/۴	۴۳۲/۳	۳۴۸/۹	۲۳۲/۶	۱۲۵/۸	۳۴/۸
۸/۲۸	مشهد	۱۱۵/۴	۲۰۲/۹	۳۰۱/۸	۳۷۳/۳	۳۵۳/۵	۲۷۵/۲	۱۶۳/۵	۷۰/۷	۱۷/۸
۱۰/۰۶	نیشابور	۱۲۶/۶	۲۲۳/۳	۳۳۷/۷	۴۱۶/۳	۳۸۸/۸	۲۹۸/۳	۱۸۶/۵	۸۱/۵	۱۸/۵

نسبت تبخیر به بارش سالانه، برابری مجموع تبخیر سالانه نسبت به مجموع بارش سالانه است.

## ۲-۲-۲- تحلیل جریانات جوی (توده های هوا)

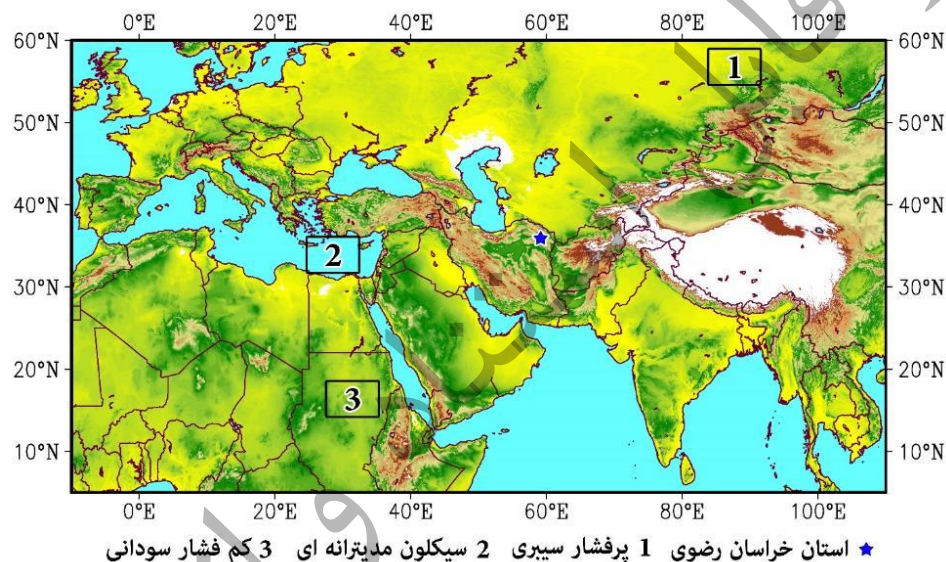
ساختار گردش جو در هر منطقه‌ای تبیین کننده ویژگی‌های اقلیمی آن منطقه است. بر این اساس، با شناخت ساختار گردش جو و الگوهای همدیدی غالب در یک منطقه به خوبی می‌توان شرایط اقلیمی غالب را شناسایی نمود. به‌عنوان نمونه، تسلط سامانه‌های پرفشار جنب حاره در ترازهای مختلف جو همراه با نزول گسترده و مداوم در دوره گرم سال سبب شکل‌گیری یک فصل بسیار گرم و کم بارش همراه با ساعات آفتابی و تابش زیاد در ایران شده است. این در حالی است که امکان نفوذ و گسترش امواج راسبی برون حاره در نیمه سرد سال، سبب شده تا خاورمیانه و ایران عمده بارش‌های سالانه خود را در فصول پاییز و زمستان دریافت نمایند. با این وجود، ویژگی‌های غالب اقلیمی در هر منطقه به واسطه اثر ویژگی‌های جغرافیایی محلی و منطقه-ای به چالش کشیده می‌شوند. به طوری که در نتیجه برهمکنش گردش بزرگ مقیاس با ویژگی‌های جغرافیایی محلی و منطقه‌ای، شاهد تنوع اقلیمی در مقیاس‌های محلی، علیرغم تبعیت کلی هر منطقه از گردش‌های بزرگ مقیاس خواهیم بود. در این راستا می‌توان به تفاوت‌های موجود در رژیم بارش در مناطق مختلف ایران از جمله در سواحل جنوبی دریای خزر، شمال غرب، جنوب شرق و جنوب غرب ایران اشاره کرد.

در این میان، اقلیم شمال شرق کشور نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. منطقه شمال شرق کشور در تبعیت از ساختار گردش حاکم بر روی خاورمیانه عمده بارش خود را در نیمه سرد سال دریافت می‌نماید و در مقابل، تسلط سامانه‌های پرفشار جنب حاره سبب پیدایش یک دوره بسیار گرم، خشک و کم بارش در شمال شرق

کشور شده است. سایر ویژگی‌های غالب فصلی از جمله خشکی هوا، رطوبت کم، ساعات آفتابی زیاد و بادهای با تندی بالا از دیگر ویژگی‌های متأثر از ساختار گردش منطقه‌ای جو در استان خراسان رضوی است. به جهت اهمیت گردش مقیاس منطقه‌ای جو و سامانه‌های فشار مقیاس همدید در شکل گیری اقلیم استان خراسان رضوی در ادامه ویژگی‌های یادشده به شکل مختصر و خلاصه برای دوره گرم و سرد سال مورد بررسی قرار می‌گیرند.

#### - جریانات جوی زمستانه

در دوره سرد سال سه سامانه جوی پرفشار سیبری، چرخندهای (سیکلون) مدیترانه و کم‌فشار سودانی نقش تعیین‌کننده‌ای را در اقلیم ایران و استان خراسان رضوی دارند. موقعیت نسبی این سامانه‌ها که در تغییرات دما و بارش فصل زمستان در استان نقش دارند در شکل (۱) نشان داده شده است.

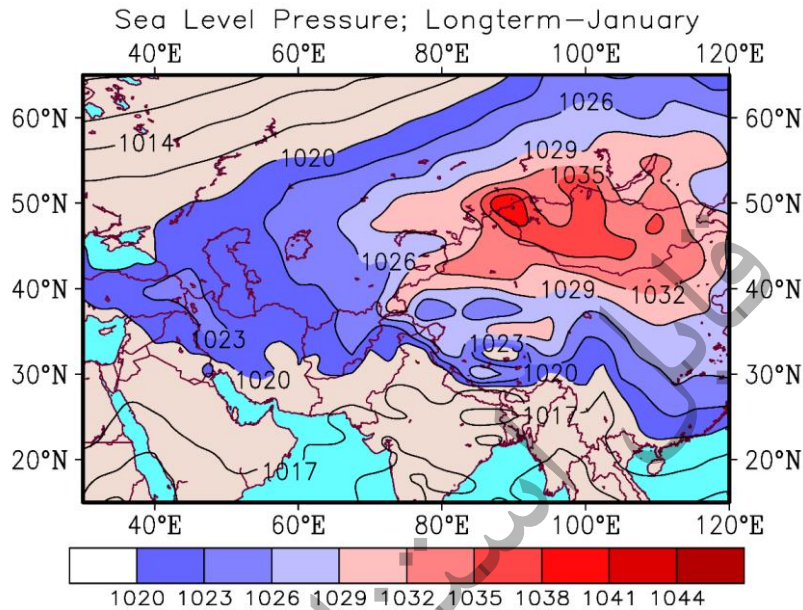


شکل ۱. موقعیت نسبی سامانه‌های مؤثر در دوره سرد سال در اقلیم استان خراسان رضوی

پرفشار سیبری قوی‌ترین سامانه پرفشار سطح زمین در نیمکره شمالی است که در منطقه سرد شمال روسیه در سیبری تشکیل می‌شود. این منطقه کمینه دمای ایستگاهی کره زمین را دارد و در زمستان دمای آن به پایین‌تر از  $-۶۰$  درجه سلسیوس می‌رسد. توده هوای خشک و فوق‌العاده سرد سیبری بر هوای اطراف خود نیز تأثیر می‌گذارد. در شرایط میانگین مرکز این پرفشار به  $۱۰۳۵$  هکتوپاسکال می‌رسد (شکل ۲). این پرفشار از یک سو منطقه بسیار وسیعی از آسیا را در زمستان پوشانده و از طرف دیگر بر سرزمین‌های اطراف خود نیز تأثیر می‌گذارد و باعث سردی و خشکی هوا در اغلب مناطق آسیای مرکزی می‌گردد.



دامنه نفوذ پرفشار سیبری در برخی مواقع حتی تا اروپای شرقی نیز رسیده و می‌تواند بر فعالیت سامانه‌های این منطقه نیز تأثیر گذاشته و سبب ایجاد هوای سرد و خشک در این مناطق نماید. از طرف دیگر عبور این سامانه پرفشار از روی آب‌ها همانند دریای خزر باعث می‌شود که به‌واسطه پایین بودن ظرفیت رطوبتی سریعاً به اشباع رسیده و بارش‌هایی را در آن مناطق ایجاد نماید.

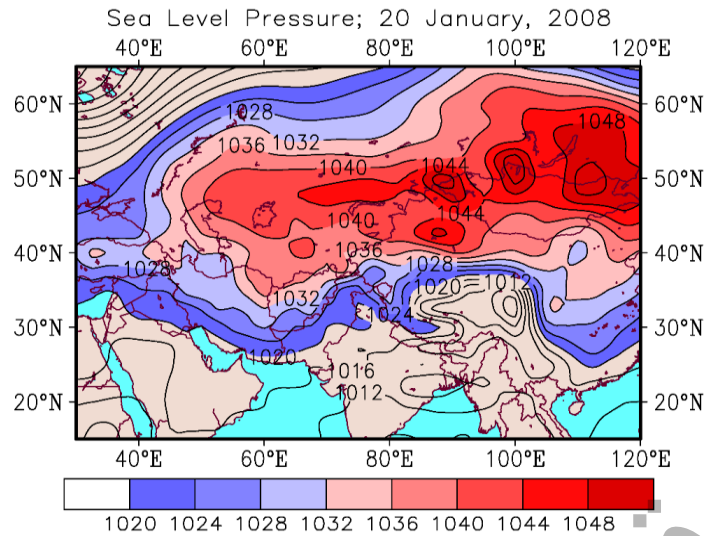


شکل ۲. الگوی میانگین درازمدت پرفشار سیبری

بی‌هنجاری<sup>۱</sup> مثبت پرفشار سیبری و گسترش آن به‌سوی ایران می‌تواند سبب ایجاد امواج سرماییه به‌ویژه در استان‌های شمال شرقی کشور از جمله استان خراسان رضوی گردد. در یکی از این رخدادها در دی ماه ۱۳۸۶ فشار در مرکز پرفشار سیبری به ۱۰۵۰ هکتوپاسکال رسید و زبانه‌هایی از آن که وارد ایران شده بود کل کشور را با سرمای بی‌سابقه‌ای روبرو کرد که روزهای متوالی تداوم داشته و باعث خسارات بسیار زیادی در بخش‌های مختلف به کشور شد. شکل (۳) الگوی فشار سطح زمین در روز سی‌ام دی ماه ۱۳۸۶ را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که در شکل ملاحظه می‌گردد پربند<sup>۲</sup> ۱۰۳۶ هکتوپاسکال تا روی شمال شرق ایران گسترش یافته است که بیانگر سرمای شدید در این منطقه است.

۱ منظور از بی‌هنجاری (anomaly)، اختلاف از میانگین است.

۲ پربند (contour) به خطوط هم‌ارزش می‌گویند برای مثال در اینجا خطوط هم‌فشار ۱۰۳۶ هکتوپاسکال



شکل ۳. الگوی فشار سطح زمین در ۳۰ دی ماه ۱۳۸۶ (بی‌هنجاری پرفشار سیبری)

پژوهش‌های گسترده انجام شده بر روی اقلیم خاورمیانه حاکی از آن است که چرخندهای<sup>۱</sup> مدیترانه‌ای عامل اصلی بخش اعظم بارش‌های مناطق داخلی این منطقه محسوب می‌گردند (راوه روبین و ورنلی، ۲۰۱۶). در واقع، توزیع زمانی-مکانی چرخندهای مدیترانه‌ای نقش اصلی را در توزیع جغرافیایی و وردایی‌های زمانی-مکانی بارش در کشورهای منطقه خاورمیانه بازی می‌کنند. در این میان، استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران از جمله مناطقی است که در طول دوره سرد سال به‌دفعات با عبور چرخندهای مدیترانه‌ای، بارش‌های فراگیر و گسترده زمستانی خود را دریافت می‌نماید. در حقیقت، چرخندهای مدیترانه‌ای نقش بسیار مهمی در مجموع بارش سالانه دریافت شده و وردایی سال‌به‌سال بارش در استان خراسان رضوی دارند. اگر چه این چرخندها در عبور طولانی خود از روی سرزمین‌های خشک و مرتفع خاورمیانه، بخش فراوانی از رطوبت خود را قبل از رسیدن به شمال شرق ایران از دست می‌دهند و همین امر می‌تواند مقادیر پایین متوسط سالانه بارش در استان خراسان رضوی را توضیح دهد، اما از سویی سامانه‌های یاد شده علیرغم ضعف نسبی و تضعیف عمومی در مرحله گذر از شمال شرق کشور، عامل اصلی وقوع بارش‌های فراگیر زمستانه استان خراسان رضوی به شمار می‌روند.

مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که در اغلب موارد چرخندهای مدیترانه‌ای عبوری از روی شمال شرق کشور با دریافت حجم قابل توجهی از منابع رطوبت از دریاها جنوبی (دریای عمان، دریای عرب، خلیج عدن و دریای سرخ) بارش‌های فراگیر و قابل توجهی را در شمال شرق کشور ایجاد می‌نمایند. بدین ترتیب، استقرار یک ناوه موج غربی در شرق مدیترانه در تراز میانی وردسپهر و جابجایی شرق سوی آن در طی چند روز متوالی، ضمن آن که سبب تشکیل یک چرخند جبهه‌ای در شرق مدیترانه و جابجایی شرق سوی

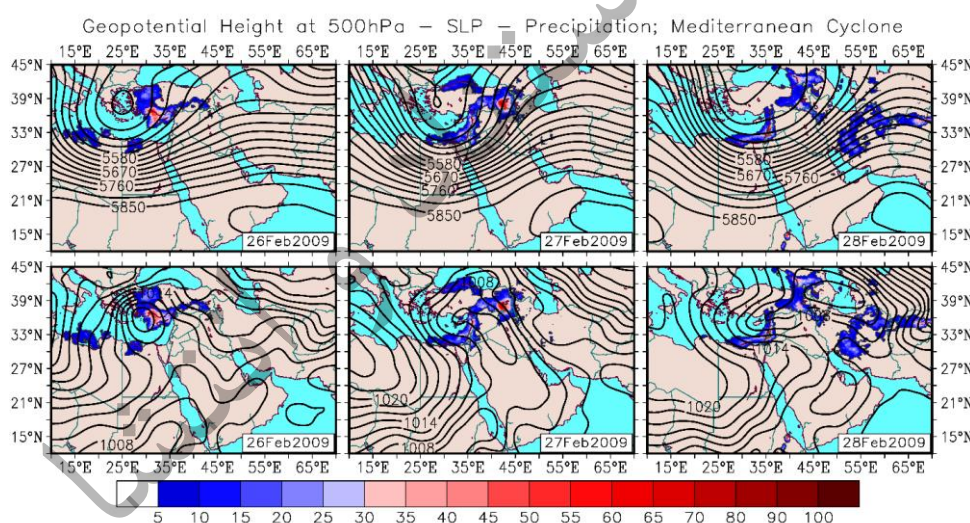
۱ چرخند (cyclone) به کم فشارهای دینامیکی اطلاق می‌شود.



آن بر روی خاورمیانه می‌گردد، در ادامه ناپایداری و وقوع بارش و تغییرات جوی در بخش‌های داخلی خاورمیانه را رقم می‌زند.

بر اساس تحقیقات انجام شده، عبور شرق سوی ناوهی موج غربی با محور شمال شرقی-جنوب غربی ضمن هدایت چرخندهای بارش زای سطحی به داخل ایران، امکان عبور آن‌ها از روی مناطق شمال شرقی کشور را فراهم می‌کند. در این میان، بهترین شرایط برای فعالیت سامانه‌های کم‌فشار مدیترانه‌ای عبوری، زمانی فراهم می‌گردد که به‌واسطه استقرار مناسب یک مرکز پرفشار در محدوده‌ی شمالی دریای عرب، انتقال رطوبت مناسبی در ترازهای زیرین جو از دریای عمان، دریای عرب و به‌طور کلی دریاهای جنوبی در پایین‌ترین ترازهای جو به داخل سامانه کم‌فشار عبوری صورت گرفته باشد. در چنین شرایطی، چرخندهای مدیترانه‌ای بارش‌های خوب و فراگیری را در نیمه شرقی کشور از جمله در استان خراسان رضوی ایجاد می‌نمایند.

شکل (۴) یک نمونه از چرخندهای مدیترانه‌ای نسبتاً عمیق را که پس از تشکیل در شرق مدیترانه در روز سوم عمر خود به شمال شرق کشور رسیده و بارش‌های قابل توجهی در استان خراسان رضوی ایجاد نموده نشان می‌دهد. با توجه به شکل استقرار یک ناوه عمیق در وردسپهر میانی بر روی منطقه و جابجایی شرق سوی آن ضمن کنترل چرخند سطحی، وردایی<sup>۱</sup> زمانی-مکانی چرخند مدیترانه‌ای در طول دوره عمر آن را موجب گردیده است.



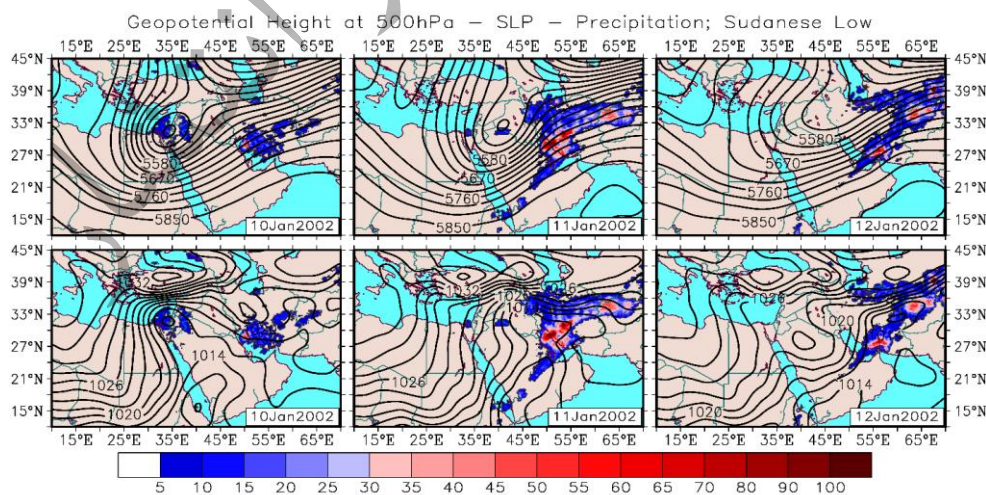
شکل ۴. الگوی مدیترانه‌ای مؤثر در بارش‌های ایران و استان خراسان رضوی

کم‌فشارهای سودانی سامانه‌های کم‌فشار بارش زایی هستند که در مراحل اولیه تشکیل و گسترش خود بر روی خاورمیانه عمدتاً فاقد یک مرکز هم‌فشار بسته بوده و به شکل یک‌زبانه کم‌فشار نمود می‌یابند. تا همین

۱ وردایی (variability) واژه مصوب فرهنگستان فیزیک در مقابل کلمه تغییرپذیری است.

اواخر عامل اصلی بارش‌های خاورمیانه صرفاً چرخنده‌های مدیترانه‌ای و یا سامانه‌های کم‌فشار برون حاره دانسته می‌شد. در واقع تصور این که سامانه‌های کم‌فشار بارش‌زایی بتوانند پس از عبور از بیابان‌های گرم و خشک شبه‌جزیره عربستان در مناطق داخلی خاورمیانه و ایران سبب وقوع بارش‌های گسترده و سنگین گردند، بسیار ناممکن می‌نمود. اما در طول دو دهه گذشته تحقیقات متعددی نقش مهم و چشمگیر سامانه‌های کم‌فشار بدون جبهه سودانی بر بارش‌های مناطق مختلف کشور را به اثبات رسانیدند. سامانه‌های سودانی در شکل اولیه خود کم‌فشارهای کم‌عمق محسوب می‌شوند که در تمام طول دوره سرد سال در محدوده کشور سودان و بر جانب غربی فلات اتیوپی مشاهده می‌گردند. در برخی مواقع در نتیجه‌ی گسترش جنوب سوی ناوه امواج غربی در شرق مدیترانه و به واسطه عمیق شدن ناوه تراز میانی تا بخش‌های میانی و جنوبی دریای سرخ، امکان توسعه دینامیکی کم‌فشارهای کم‌عمق سودانی و گسترش و جابجایی شمال و یا شمال‌شرق سوی این کم‌فشارها در منطقه خاورمیانه فراهم می‌گردد. نکته جالب توجه در مورد این کم‌فشارها این است که کم‌فشارهای سودانی که در مراحل اولیه گسترش خود در خاورمیانه عمدتاً به شکل یک‌زبانه‌ی فشاری (Pressure Trough) نمود می‌یابند، شرایط مناسب برای وقوع بارش در شبه‌جزیره عربستان را ندارند و یا تنها مقادیر بارش محدودی را به شکل پراکنده بر جای می‌گذارند. اما در ادامه‌ی گسترش شمال سو و یا شمال‌شرق سوی خود به واسطه بسط قائم و تقویت دینامیکی ضمن پدیدآوردن یک مرکز هم‌فشار بسته، بارش‌های سنگین و فراگیری را موجب می‌گردند. در واقع، کم‌فشارهای سودانی چه به صورت مستقل و چه در ادغام با چرخنده‌های مدیترانه‌ای عامل اصلی وقوع بارش‌های سنگین در بخش‌های مختلف ایران شناخته شده‌اند. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که سامانه‌های کم‌فشار سودانی عامل اصلی وقوع بارش‌های سنگین در بخش‌های جنوبی و جنوب غربی ایران و یکی از مهم‌ترین سامانه‌های ایجاد کننده بارش‌های سنگین در مناطق مختلف خاورمیانه به شمار می‌روند. سامانه کم‌فشار سودانی به تبعیت از موقعیت و محور ناوه تراز میانی و ردسپهر مسیرهای مختلفی را در منطقه خاورمیانه تجربه می‌کند. توضیح بیشتر آن که، استقرار شمالی - جنوبی یا شمال غربی - جنوب شرقی محور ناوه موج غربی، جابجایی شمال سوی کم‌فشارهای مدیترانه‌ای به شرق مدیترانه و شمال شبه‌جزیره عربستان را در پی دارد. در مقابل کجی محور ناوه به سمت شرق و امتداد شمال شرقی - جنوب غربی آن، جابجایی شرق - شمال شرق سوی کم‌فشارهای سودانی را به دنبال دارد. همچنین تحقیقات متعدد انجام شده حاکی از آن است که منابع رطوبتی بارش‌های کم‌فشارهای سودانی توسط سامانه پرفشاری که در زمان تشکیل آن‌ها بر روی شرق شبه‌جزیره عربستان مستقر است تأمین می‌گردد. بر اساس مطالعات، پرفشار عربستان با گردش و اچرخندی خود بر روی دریای عرب، دریای عمان و خلیج عدن، امکان انتقال حجم قابل توجهی از رطوبت از دریاهای یاد شده را در پایین‌ترین ترازهای جو به داخل سامانه‌های کم‌فشار سودانی فراهم می‌آورد. نکته دیگری که در خصوص سامانه‌های کم‌فشار سودانی قابل ذکر است این است که رشته‌کوه زاگرس به عنوان یک واداشت مکانیکی نقش مهمی در تقویت سامانه‌های سودانی و همچنین افزایش بارش آن‌ها بر عهده دارد. به همین جهت، بالاترین مقادیر بارش سامانه‌های سودانی

در محدوده استان‌های واقع در مناطق مرتفع زاگرس در جنوب غربی کشور مشاهده می‌گردد. بعلاوه، سامانه‌های کم‌فشار سودانی نقش قابل‌توجهی بر بارش‌های استان خراسان رضوی دارد. اگر چه هنوز به شکل دقیق و مجزا، سهم هر یک از سامانه‌های مدیترانه‌ای و سودانی بر بارش‌های استان خراسان رضوی مشخص نشده است، اما تحقیقات اخیر بیانگر نقش مهم سامانه‌های سودانی در وقوع بارش‌های سنگین در این استان است (مفیدی، ۱۳۸۳). قابل‌ذکر است که در عمده بارش‌های سنگین با منشأ سودانی در شمال‌شرق کشور، رطوبت این بارش‌ها به‌واسطه استقرار مناسب پرفشار عربستان بر روی قطاع شرقی دریای عرب از دریای عمان و دریای عرب و به‌طور کلی دریاچه‌های جنوبی کشور تأمین می‌گردد. شکل (۵) یک نمونه از کم‌فشار سودانی که در حد فاصل روزهای ۲۰ الی ۲۲ دی ۱۳۸۰ بارش‌های سنگین و فراگیری را در منطقه خاورمیانه ایجاد نموده و در روز سوم گسترش خود سبب وقوع بارش‌های سنگین در شمال‌شرق کشور و در ادامه در کشور افغانستان شده را نشان می‌دهد. در روز ۲۰ دی ماه، گسترش ناوه موج غربی تا بخش‌های جنوبی دریای سرخ و استقرار محور ناوه تراز میانی در حول و حوش طول جغرافیایی ۳۵ درجه شرقی، ضمن آن‌که صعود در محدوده دریای سرخ و سودان شمالی را افزایش داده، سبب گسترش و جابجایی شمال‌شرق سوی کم‌فشار سودانی بر روی شبه جزیره عربستان و در ادامه بر روی ایران شده است. کم‌فشار سودانی یاد شده که در روزهای بیستم و بیست یک دی ماه به شکل یک زبانه فشاری گسترش شمال‌شرق سویی را به سمت ایران تجربه نموده، در روز بیست و دوم دی ماه به شکل یک کم‌فشار بسته در شرق ایران ظاهر شده و بارش‌های گسترده و قابل‌توجهی را در بخش‌های شمال شرقی ایران و کشور افغانستان ایجاد نموده است. جابجایی شرق سوی ناوه در وردسپهر میانی و نحوه استقرار محور ناوه نقش اصلی را در جابجایی شمال‌شرق سوی کم‌فشار سودانی و عبور آن از استان خراسان رضوی داشته است. موقعیت مرکز پرفشار عربستان بر جانب شمالی دریای عرب نیز در روز بیست و دوم دی ماه ۱۳۸۰ به‌خوبی بیانگر نحوه انتقال رطوبت دریاچه‌های جنوبی توسط این سامانه پرفشار به داخل سامانه کم‌فشار سودانی است.

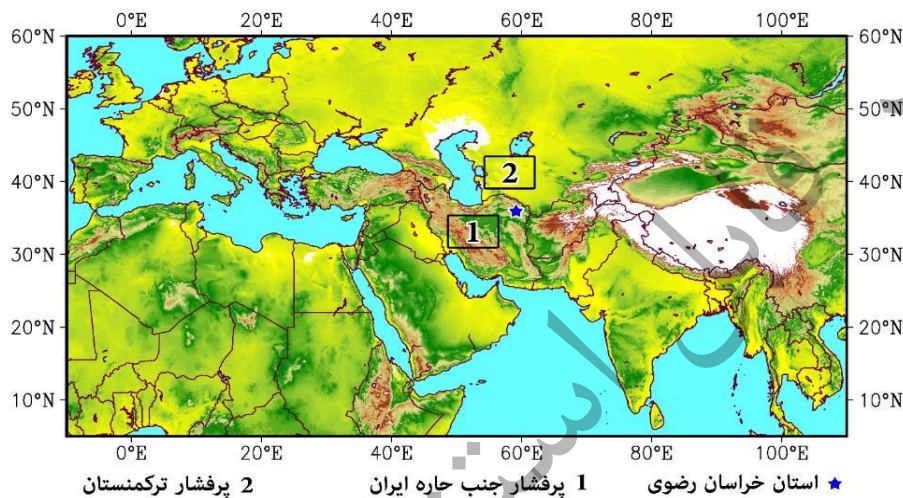


شکل ۵. الگوی کم‌فشار سودانی مؤثر در بارش‌های ایران و استان خراسان رضوی



## - جریانات جوی تابستانه

در فصل گرم، تسلط جریان‌های غالب شمالی و شمال شرقی بر عمده مناطق واقع در نیمه شرقی کشور و استان خراسان رضوی ناشی از نوع استقرار و آرایش سامانه‌های فشار دوره گرم سال در منطقه خاورمیانه و آسیای مرکزی است. در این زمان از سال دو سامانه پرفشار جنب حاره ایران در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و پرفشار ترکمنستان در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال کنترل‌کننده‌های اصلی اقلیم استان خراسان رضوی به شمار می‌روند. موقعیت نسبی این دو سامانه در شکل (۶) نشان داده شده است.

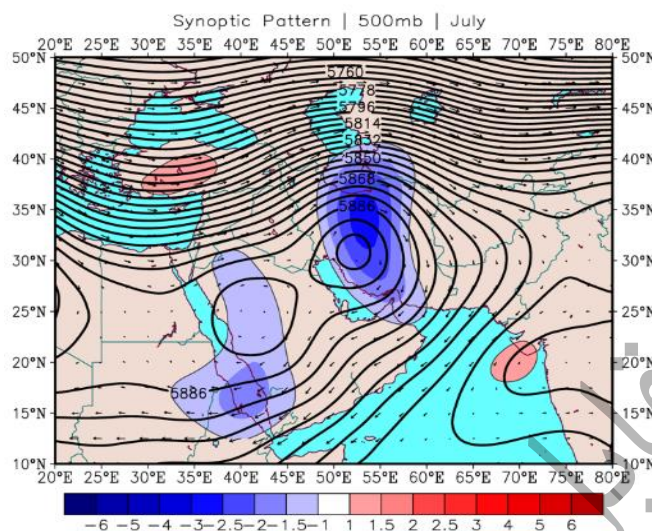


شکل ۶. موقعیت نسبی سامانه‌های مؤثر در دوره گرم سال در اقلیم استان خراسان رضوی

در امتداد مناطق جنب حاره نیمکره شمالی و جنوبی، نوارهایی از فشار یا ارتفاع ژئوپتانسیل زیاد وجود دارد که معمولاً به‌عنوان کمربندهای پرفشار جنب حاره خوانده می‌شوند. با این وجود پرفشارهای مذکور به‌صورت کمربندی ممتد نبوده و به دلایلی از جمله وجود کوهستان‌ها و تضاد گرمایشی بین خشکی و دریا، بودجه انرژی جو تغییر کرده و «مراکز فعالیت» کمربندها به‌صورت سلول‌های پرفشار مجزا ظاهر می‌گردند. یکی از این سلول‌ها پرفشار جنب حاره ایران است که در دوره گرم سال از اواخر اردیبهشت تا اواخر شهریور ماه به‌صورت میانگین در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی به‌صورت یک سلول پرفشار بسته بر روی رشته‌کوه‌های زاگرس دیده می‌شود. هر گونه بی‌هنجاری در وسعت و شدت پرفشار جنب حاره‌ای ایران معمولاً با گردش‌های منطقه‌ای یا جهانی بی‌هنجار و بلایای جوی و اقلیمی همراه است که سبب خسارت‌های اقتصادی-اجتماعی بر زندگی انسان‌ها می‌شود.

پرفشار جنب حاره ایران به‌عنوان یک چشمه گرمایی ارتفاع یافته قلمداد می‌گردد. نتایج تحقیقات نشان داده است که وجود رشته‌کوه پهن‌اور زاگرس نقشی اساسی در شکل‌گیری هسته‌های بیشینه گرما در فلات

ایران داشته و همین عامل تشکیل و تقویت پرفشار جنب حاره ایران در تراز میانی وردسپهر<sup>۱</sup> را رقم زده است (شکل ۷).



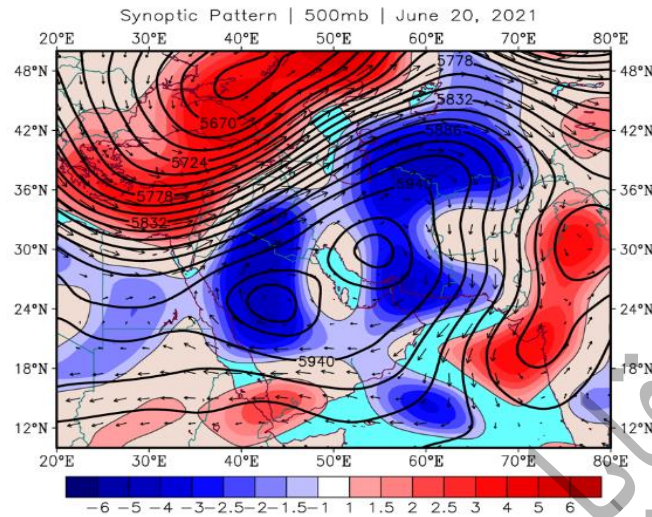
شکل ۷. الگوی میانگین درازمدت پرفشار جنب حاره ایران

میانگین بلندمدت تاوایی نسبی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماه جولای (۱۰ تیر تا ۱۰ مرداد) در شکل (۸) نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود، سلول مرکزی پرفشار با پربند ۵۸۹۸ ژئوپتانسیل متر بر روی زاگرس قرار دارد. در این زمان استان خراسان رضوی بر جانب شمال شرقی پشته پرفشار قرار دارد و با ریزش مداوم جریان های گرم، فرونشینی دائمی هوا را در این فصل از سال تجربه می کند. فرونشینی مداوم هوا از یک طرف سبب پایداری هوای گرم در منطقه شده و از طرف دیگر مانع از ورود سامانه های باران زا و نیز شکل گیری هر گونه جریان همرفتی می شود. شایان ذکر است که پرفشار جنب حاره ایران از اواخر اردیبهشت تا اواخر شهریور بر روی منطقه استقرار داشته و مهم ترین دلیل خشکی و نبود بارش در نیمه گرم سال در کشور ایران و استان خراسان رضوی به شمار می آید.

بی هنجاری مثبت این پرفشار سبب به وجود آمدن رخدادهایی همانند امواج گرمایی می شود. یک نمونه از این بی هنجاری ها که در شکل (۹) نشان داده شده است، مربوط به تاریخ سی ام خرداد ماه ۱۴۰۰ مطابق با بیستم ژوئن ۲۰۲۱ است. در این روز سلول مرکزی پرفشار به سمت شرق جابجا شده و در موقعیتی شمالی تر و شرقی تر نسبت به موقعیت میانگین خود قرار گرفته است. درعین حال پرفشار جنب حاره نیز نسبت به وضعیت میانگین خود بسیار شدیدتر است به طوری که پربند ۵۹۶۷ معرف سلول مرکزی پرفشار ایران است

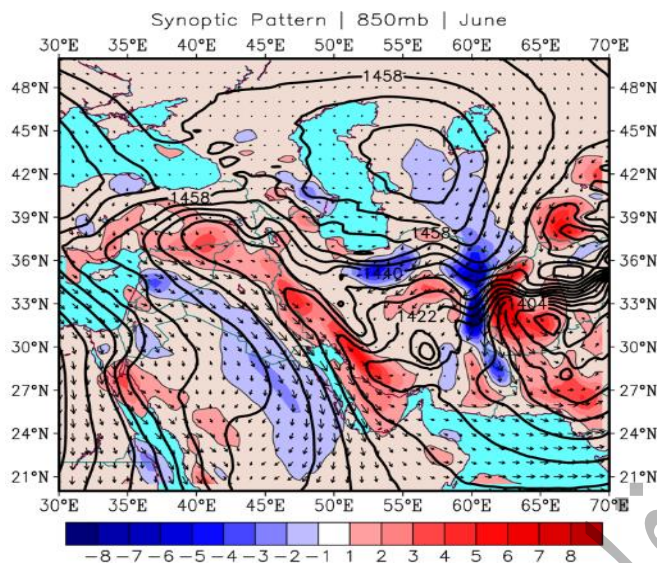
۱ وردسپهر (troposphere) اولین لایه جو از سطح زمین تا ارتفاع متوسط ۱۲ کیلومتری را می گویند.

که نشان دهنده یک وضعیت فرین است. در این روز و همچنین روزهای بعد دمای اغلب مناطق کشور از جمله استان خراسان رضوی به شدت بالا بوده است.



شکل ۸. بی‌هنجاری پرفشار جنب حاره ایران در روز ۳۰ خرداد ۱۴۰۰ و وقوع موج گرما در استان خراسان رضوی

یکی دیگر از سامانه‌های گردشی که اقلیم تابستانه ایران را از خود متأثر می‌سازد پرفشار ترکمنستان است. در مطالعاتی که بر روی این پرفشار انجام شده است تشکیل آن را به همگرایی و نزول مداوم هوای منشأ یافته از گردش مونسونی جنوب آسیا نسبت داده‌اند که در شرق دریای خزر منجر به تشکیل و تداوم مرکز پرفشاری در نیمه غربی کشور ترکمنستان می‌گردد (مفیدی و جعفری، ۱۳۹۰). پرفشار ترکمنستان بیشینه گردش و اچرخندی خود را در زیر تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال تجربه می‌کند. شکل (۹) وضعیت بلندمدت پرفشار ترکمنستان در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد.



شکل ۹. الگوی میانگین درازمدت پرفشار ترکمنستان

به طوری که در شکل (۹) مشاهده می‌گردد در الگوی میانگین تابستانه، سلول پرفشار ترکمنستان در شرق دریای خزر با فشار مرکزی ۱۴۶۷ ژئوبتانسیل متر بسته شده است. زبانه‌هایی از این پرفشار در نیمه شرقی ایران از طریق دره‌های کوهستانی به داخل کشور نفوذ پیدا کرده و جریان‌های شمالی شدیدی را تا استان سیستان و بلوچستان ایجاد می‌نمایند. این جریان‌ها سبب انتقال گردو خاک از روی چشمه‌های گردو خاک ترکمنستان همچون بیابان‌های قره قوم و قزل قوم و بسترهای خشکیده دریاچه آرال و خلیج قره بغاز به منطقه می‌گردد (زرین و همکاران، ۱۴۰۰).

### ۲-۳- تحلیل دما و تعداد روزهای یخبندان

#### تحلیل دما و روند آن در استان خراسان رضوی

دمای هوا یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی محسوب می‌شود که به شکل مستقیم بر روند فیزیکی و بیولوژیکی زیست‌بوم تأثیر می‌گذارد. در دهه‌های اخیر شاهد افزایش ناگهانی دمای هوا همراه با واردایی قابل توجهی در فراوانی رخدادهای فرین سرد و گرم هستیم. دمای استان خراسان رضوی نیز در دهه‌های اخیر افزایش قابل توجهی را نشان داده است.

وردایی متغیر دما پیامدهای گوناگونی بر سامانه اقلیم دارد. تغییر طولانی مدت میانگین سالانه دما در سطح جهانی، یکی از نشانگرهای گرمایش جهانی است که تأثیرات چشمگیری بر اکوسیستم‌های زمینی دارد. بر این اساس، بررسی وردایی سالانه، فصلی و دهه‌ای میانگین دما در سطح منطقه‌ای بسیار مهم است. همچنین درک ما از چگونگی تغییر دما و شاخص‌های مرتبط با آن همانند تنش‌های گرمایی، دماهای کمینه و به‌طور

کلی دماهایی با آستانه بالا در مقیاس‌های زمانی مختلف مهم است تا بر اساس آن تصمیمات آگاهانه‌ای در رابطه با توسعه اقتصادی و آمایش اتخاذ نمود.

به‌منظور بررسی وردایی دمای استان خراسان رضوی، نخست با توجه به نواحی مختلف اقلیمی استان که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد، تعداد ۱۰ ایستگاه به‌عنوان معرف این متغیر در نظر گرفته شده است. هرچند پراکنش مکانی و ارتفاعی ایستگاه‌ها مطلوب نیست، اما ایستگاه‌های معرف طوری انتخاب شده‌اند که تمامی نواحی اقلیمی استان خراسان رضوی را پوشش داده و از نظر طول دوره‌ی آماری و کیفیت از آمار مناسبی برخوردار باشند. بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های معرف هم‌دید با طول دوره آماری ۳۰ ساله در استان خراسان رضوی گرم‌ترین ماه در استان تیر و سردترین ماه دی است. بالاترین دمای میانگین با  $۳۲/۲$  درجه سلسیوس در تیر ماه در ایستگاه سرخس و کمترین دما با  $۰/۶$  درجه سلسیوس در ایستگاه قوچان در دی ماه به‌دست آمده است (جدول ۹).



جدول ۹. میانگین دمای ماهانه استان خراسان رضوی در ایستگاه‌های معرف (سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۹)

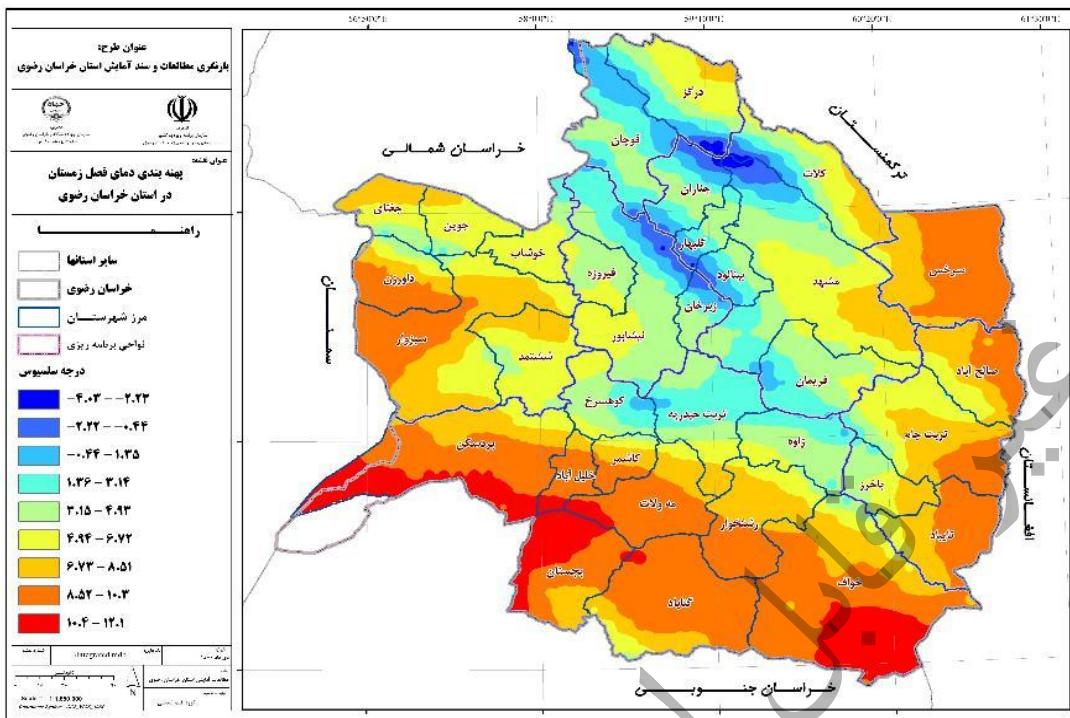
ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
تربت‌جام	۱۴/۳	۲۰/۶	۲۵/۹	۲۹/۰	۲۸/۱	۲۳/۹	۱۷/۹	۱۱/۳	۵/۱	۳/۱	۴/۲	۸/۴
تربت‌جیلویه	۱۲/۳	۱۸/۶	۲۴/۰	۲۶/۹	۲۶/۲	۲۲/۶	۱۶/۸	۱۰/۱	۳/۹	۱/۴	۲/۱	۶/۳
سبزوار	۱۵/۸	۲۲/۱	۲۷/۸	۳۱/۰	۳۰/۳	۲۶/۶	۲۰/۴	۱۳/۵	۶/۹	۴/۵	۵/۶	۹/۹
سرخس	۱۶/۶	۲۳/۴	۲۹/۳	۳۲/۲	۳۱/۱	۲۶/۶	۲۰/۲	۱۳/۸	۷/۳	۶/۱	۶/۵	۱۰/۶
قوچان	۱۰/۶	۱۶/۰	۲۱/۱	۲۴/۵	۲۴/۱	۲۰/۶	۱۴/۹	۸/۹	۳/۰	۰/۶	۰/۸	۵/۰
کاشمر	۱۶/۶	۲۳/۲	۲۸/۶	۳۱/۵	۳۰/۵	۲۶/۹	۲۱/۲	۱۴/۴	۷/۸	۵/۰	۶/۱	۱۰/۵
گلمکان	۱۳/۴	۱۹/۸	۲۵/۵	۲۸/۸	۲۸/۳	۲۴/۱	۱۷/۹	۱۱/۲	۵/۴	۳/۵	۳/۹	۷/۷
گناباد	۱۷/۱	۲۳/۸	۲۹/۰	۳۱/۲	۳۰/۱	۲۶/۶	۲۰/۸	۱۴/۰	۷/۴	۴/۶	۶/۱	۱۰/۸
مشهد	۱۳/۳	۱۹/۳	۲۴/۹	۲۸/۲	۲۷/۵	۲۳/۴	۱۷/۲	۱۱/۰	۵/۳	۳/۳	۳/۸	۷/۶
نیشابور	۱۲/۸	۱۸/۹	۲۴/۴	۲۷/۶	۲۶/۷	۲۲/۷	۱۶/۸	۱۰/۴	۴/۵	۲/۰	۳/۱	۷/۱

## پراکنش فصلی و سالانه دمای میانگین در استان خراسان رضوی

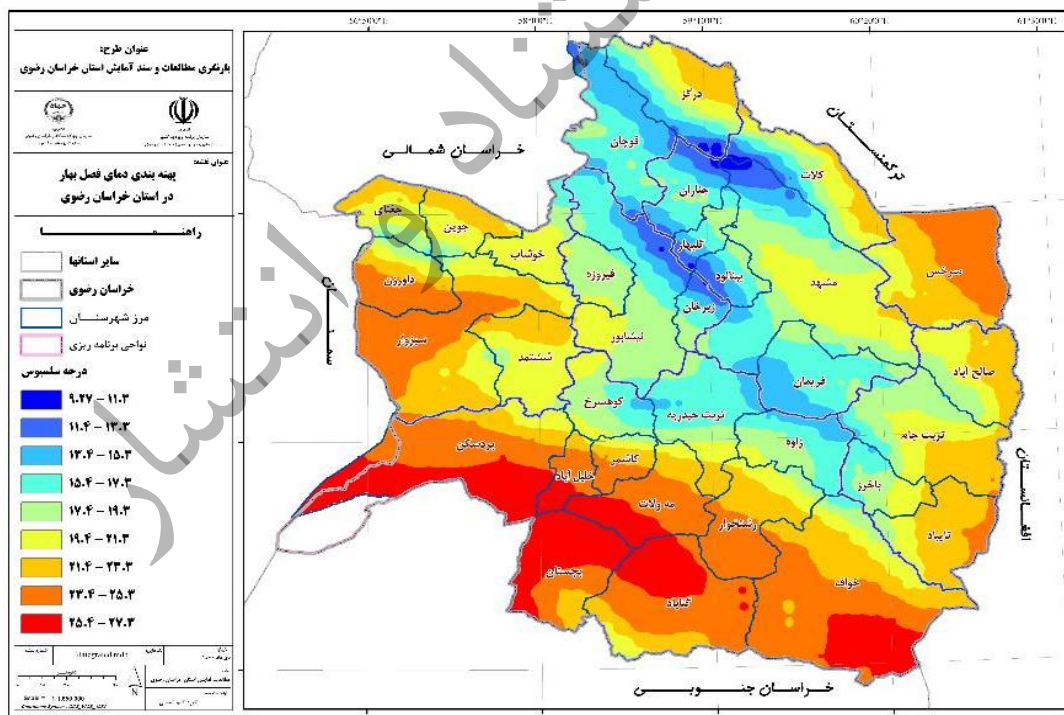
میانگین فصلی و سالانه دمای استان خراسان رضوی در نقشه‌های (۲ تا ۶) نشان داده شده است. دمای میانگین طی فصل زمستان در استان خراسان رضوی بین  $۴/۰۳-$  تا  $۱۲/۱$  درجه سلسیوس در نوسان است.

میانگین دمای هوای زیر صفر درجه سلسیوس در این فصل با تغییرات ناهمواری در امتداد بخش شمالی خراسان رضوی و قسمت قابل توجهی از دو رشته کوه کپه داغ- هزار مسجد و آلا داغ- بینالود منطبق است. مقادیر دمای زیر صفر تنها در فصل زمستان حاکم است. شایان ذکر است که رشته کوه‌های هزار مسجد با حدود ۳۰۴۰ متر ارتفاع از شمال غربی به جنوب شرقی امتداد یافته است و ارتفاع آن در اطراف سرخس کاهش می‌یابد. همین تغییرات ارتفاعی نقش تعیین کننده‌ای در تغییرات دمای فصلی استان خراسان رضوی دارد.

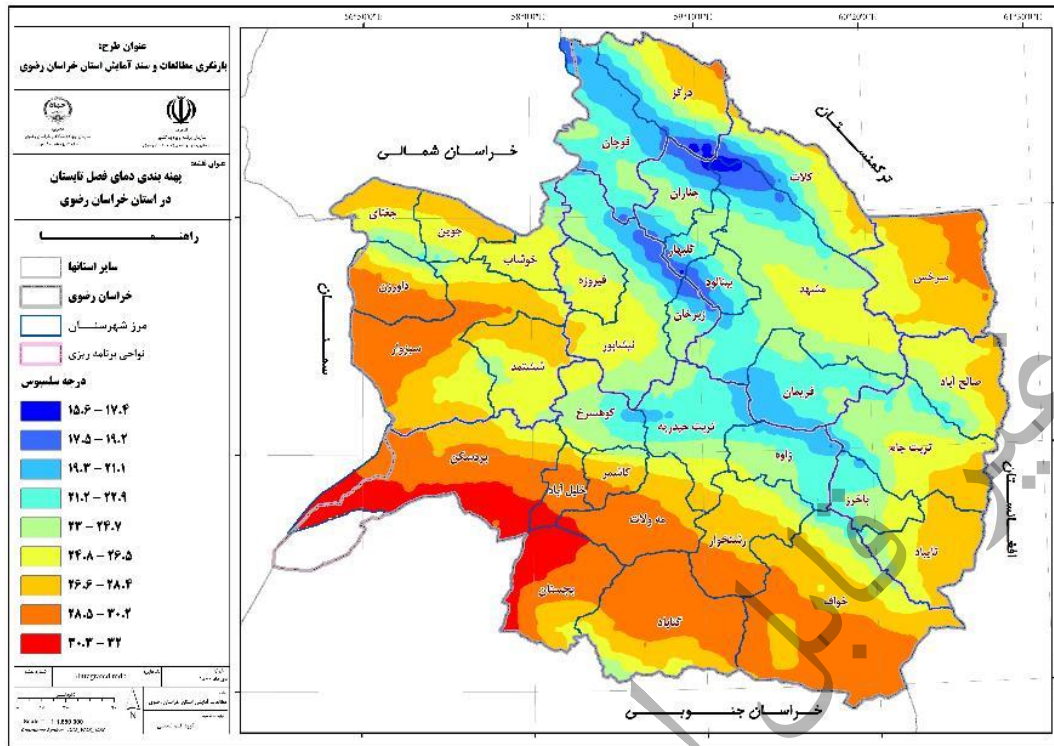
در فصل بهار به علت شکل‌گیری پرفشار جنب حاره و حرکت آن از جنوب به شمال در ایران مقدار دامنه دما در استان خراسان رضوی افزایش یافته و حداقل دمای رخ داده در استان در این فصل به ۹/۲۷ درجه سلسیوس در مناطق مرتفع استان به وقوع پیوسته است و بیشترین دما نیز در این فصل به ۲۷/۳ درجه سلسیوس در مناطق کم ارتفاع جنوبی استان در خواف، گناباد، بجستان و بردسکن اختصاص یافته است. با آغاز فصل تابستان و حاکمیت سامانه پرفشار جنب حاره، بادهای غربی و سامانه‌های همراه آن‌ها نیز به عرض‌های شمالی‌تر عقب‌نشینی می‌کنند و میانگین دما در استان به ۳۲ درجه سلسیوس می‌رسد که در بخش جنوب غربی استان دیده می‌شود. همانند فصل بهار کمینه دما با ۱۵/۶ درجه سلسیوس منطبق بر مناطق مرتفع استان است. در فصل پاییز هم‌زمان با شروع دوره سرد و با توجه به موقعیت استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران تحت تأثیر سامانه‌های کم‌فشار مدیترانه‌ای و کم‌فشار سودانی است. کمترین دما در فصل پاییز به مقدار ۱/۰۸ درجه سلسیوس منطبق بر ارتفاعات و بیشینه آن ۱۵/۵ درجه سلسیوس به دست آمده است. میانگین دمای سالانه نیز در نقشه (۶) نشان داده شد. همان‌طور که برای دمای فصلی نیز گفته شد دمای سالانه در استان خراسان رضوی منطبق بر ارتفاعات است بطوریکه کمینه دما با ۵/۵۷ درجه سلسیوس در ارتفاعات کوه کپه داغ- هزار مسجد، آلا داغ- بینالود دیده می‌شود. بیشینه دما نیز در دو کانون مجزا در جنوب شرقی استان واقع در شهرستان خواف و جنوب غربی استان منطبق بر دو شهرستان بجستان و بردسکن با مقدار ۲۱/۷ درجه سلسیوس دیده می‌شود. میانگین دمای استان خراسان رضوی در فصل زمستان ۶/۳۹ درجه سلسیوس، فصل بهار ۲۰/۵۲ درجه سلسیوس، فصل تابستان ۲۵/۶۳ درجه سلسیوس، فصل پاییز ۱۰/۱۳ درجه سلسیوس و در میانگین سالانه ۱۵/۶۷ درجه سلسیوس است.



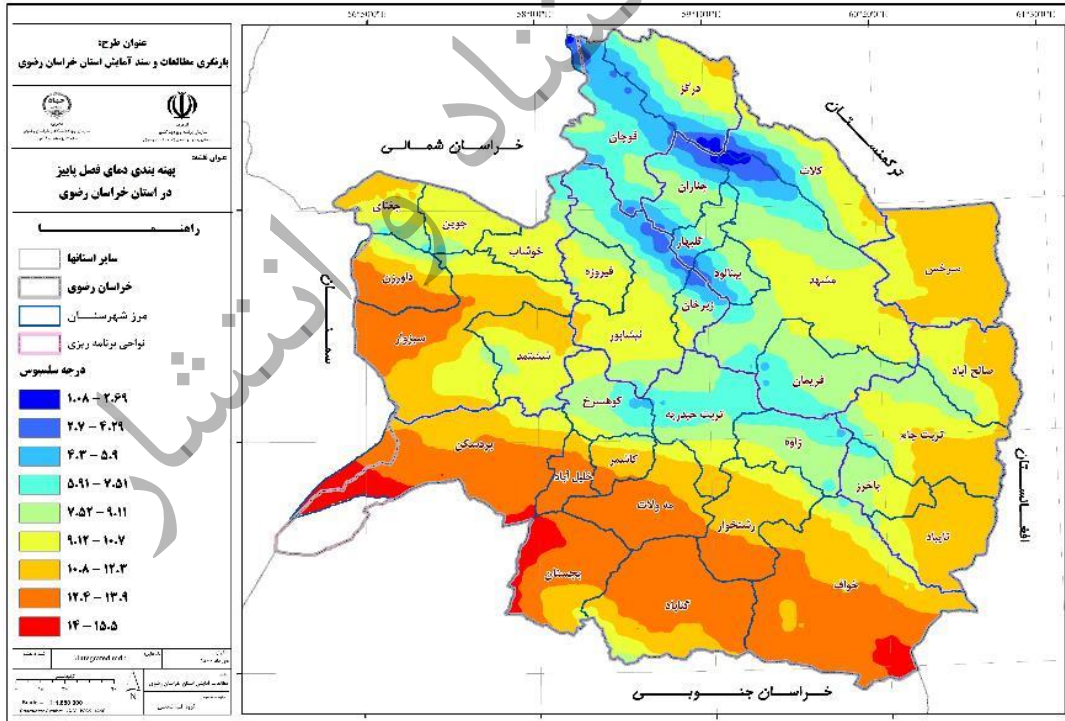
نقشه ۲. میانگین دمای فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۳. میانگین دمای فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)

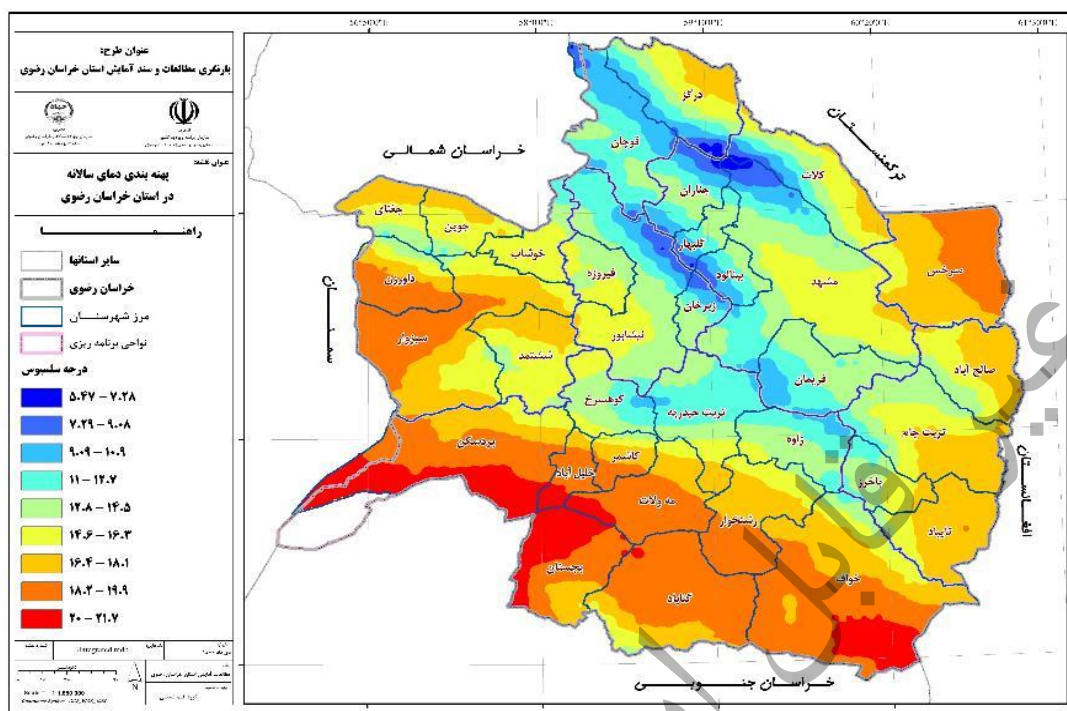


نقشه ۴. میانگین دمای فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکای: درجه سلسیوس)



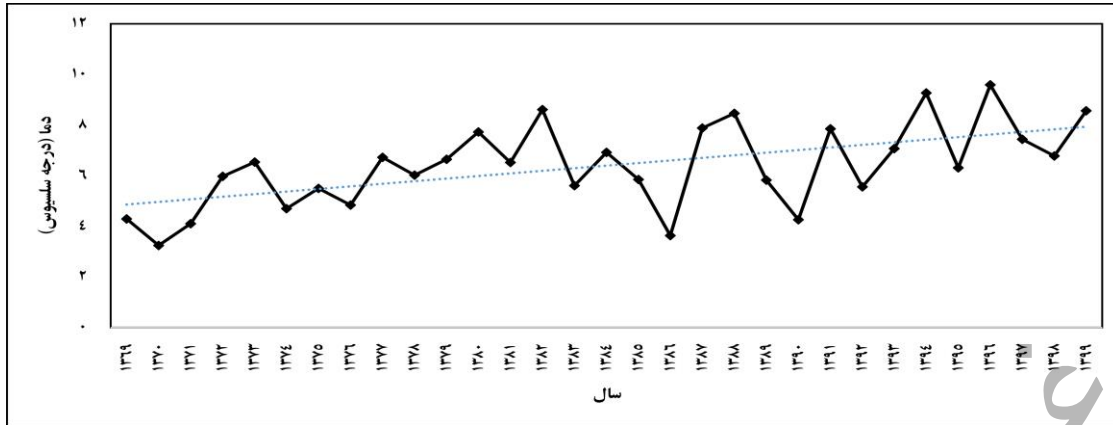
نقشه ۵. میانگین دمای فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکای: درجه سلسیوس)



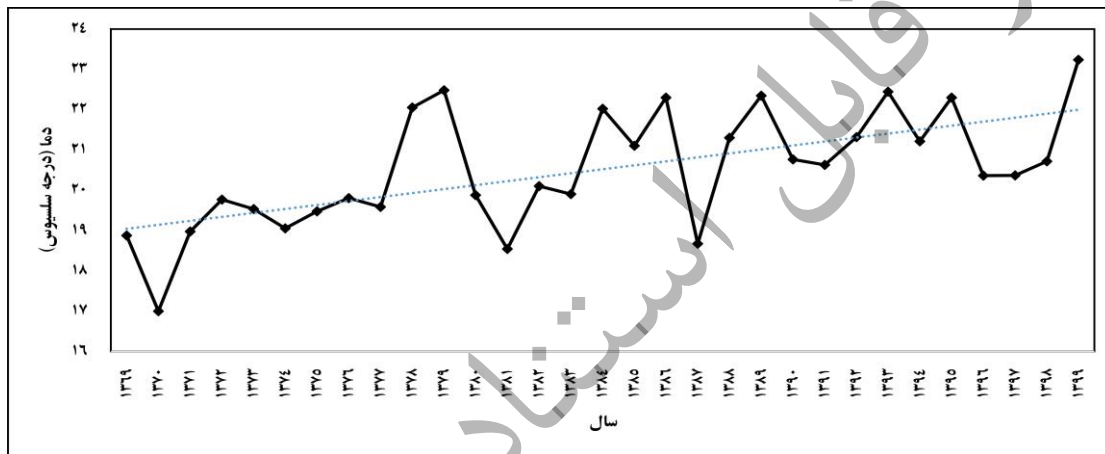


### روند میانگین دما در استان خراسان رضوی

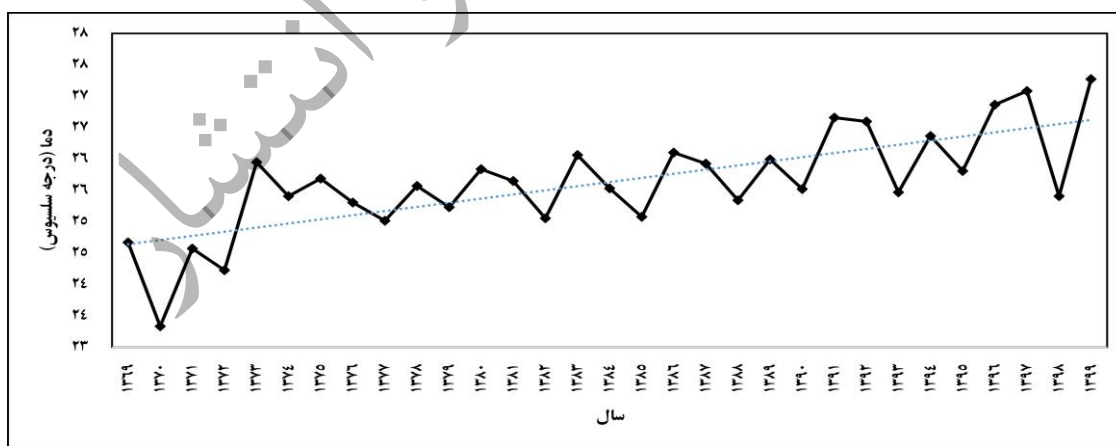
همان طور که گفته شد روند دما نیز برای استان خراسان رضوی تهیه گردید. روند دما این بینش را به برنامه ریزان می‌دهد که نسبت به تغییرات وضعیت دما آشنایی کافی داشته و در برنامه‌ریزی‌های آتی بخصوص در بخش‌های کشاورزی، انرژی منابع آب و گردشگری تصمیمات متناسب را اخذ نمایند. همان طور که در شکل - های (۱۰ تا ۱۴) نیز نشان داده شده است متوسط دما در پهنه استان خراسان رضوی در تمامی فصول و میانگین سالانه روند افزایشی دارد. بطوریکه متوسط دما در فصل زمستان برای کل استان خراسان رضوی  $۱/۰۸$  درجه سلسیوس/دهه، در فصل بهار  $۰/۹۷$  درجه سلسیوس/دهه، فصل تابستان  $۰/۶۵$  درجه سلسیوس/دهه، فصل پاییز  $۰/۰۴$  درجه سلسیوس/دهه و در میانگین سالانه  $۰/۶۷$  درجه سلسیوس به ازای هر دهه افزایش داشته است. همان طور که دیده می‌شود بالاترین افزایش دما در فصل زمستان با متوسط  $۱/۰۸$  درجه سلسیوس به ازای هر دهه به دست آمده است. این نتیجه نشان می‌دهد که زمستان‌های استان خراسان رضوی طی سال‌های اخیر گرم‌تر شده است. این افزایش قابل توجه دما در استان خراسان رضوی تهدیدی جدی برای منابع آب و بخصوص ذخیره برف در مناطق مرتفع استان است که بر این اساس موجب ذوب سریع برف انباشته شده در ارتفاعات و همچنین رخداد سیل‌های ناگهانی و فرسایش خاک خواهد شد.



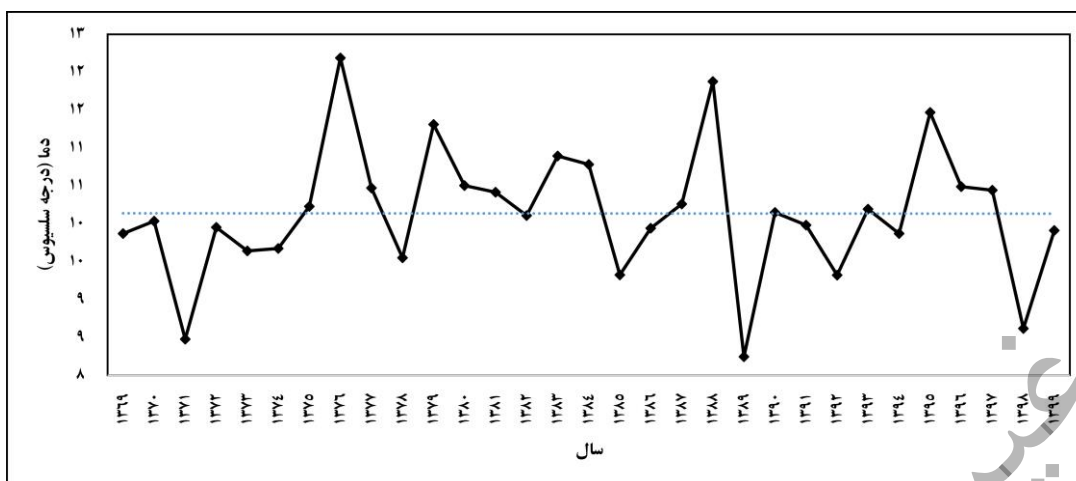
شکل ۱۰. روند متوسط پهنه‌ای دمای میانگین استان خراسان رضوی در فصل زمستان (یکا: درجه سلسیوس)



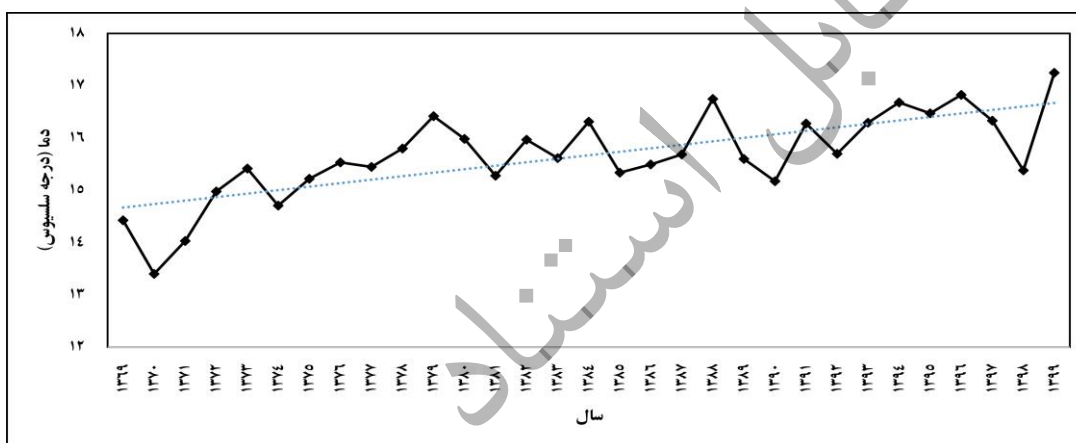
شکل ۱۱. روند متوسط پهنه‌ای دمای میانگین استان خراسان رضوی در فصل بهار (یکا: درجه سلسیوس)



شکل ۱۲. روند متوسط پهنه‌ای دمای میانگین استان خراسان رضوی در فصل تابستان (یکا: درجه سلسیوس)



شکل ۱۳. روند متوسط پهنه‌ای دمای میانگین استان خراسان رضوی در فصل پاییز (یکای: درجه سلسیوس)

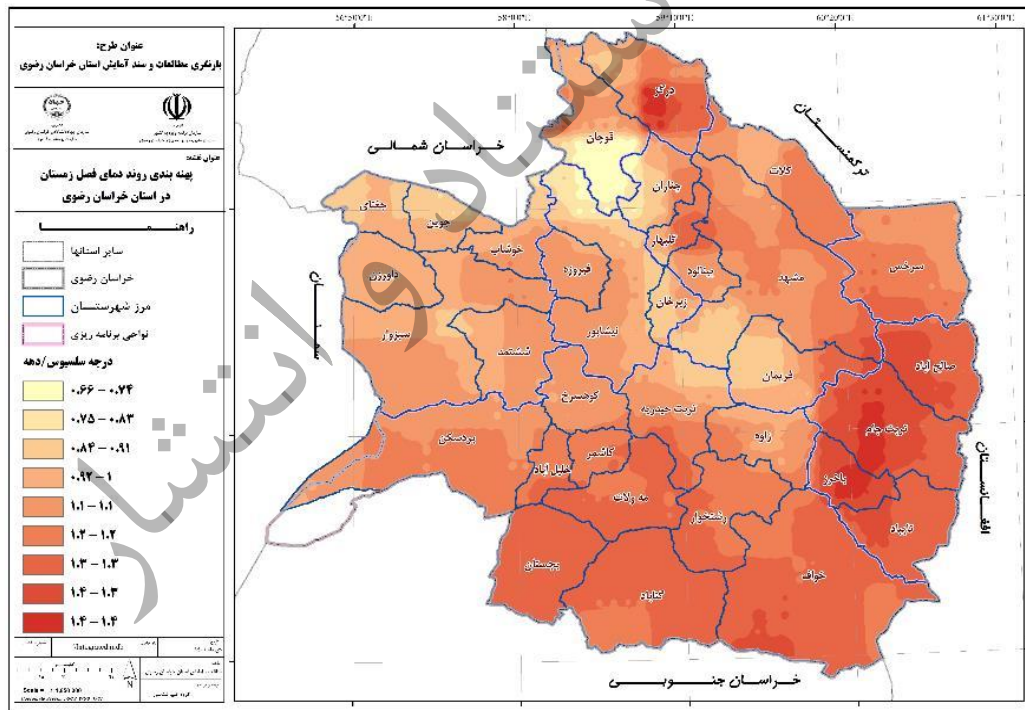


شکل ۱۴. روند متوسط پهنه‌ای دمای میانگین استان خراسان رضوی برای میانگین سالانه (یکای: درجه سلسیوس)

### پهنه‌بندی روند فصلی و سالانه دمای میانگین در استان خراسان رضوی

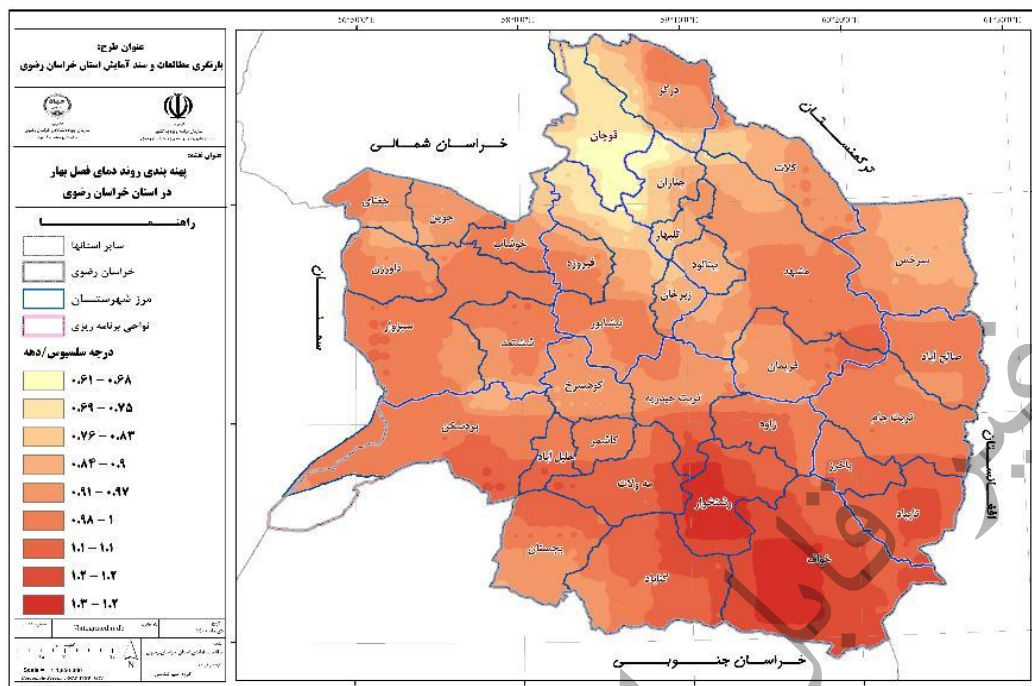
از آنجایی که روند دما و تغییرات آن تابع عوامل مختلف جغرافیایی است علاوه بر روند میانگین پهنه‌های استان خراسان رضوی، روند دهه‌ای دما نیز برای هر فصل و میانگین سالانه پهنه‌بندی گردید که نتایج آن در نقشه‌های (۷ تا ۱۱) نشان داده شده است. روند دما در فصول زمستان، بهار، تابستان، پاییز و میانگین سالانه در کل استان خراسان رضوی افزایشی است. دامنه روند افزایشی دما در فصل زمستان بین ۰/۶۴ درجه سلسیوس به ازای هر دهه تا ۱/۴ درجه سلسیوس/دهه در نوسان است. روند دما در مناطق شمالی، شرقی و جنوبی استان در فصل زمستان افزایش بیش‌تری داشته است. روند افزایشی دما در فصل بهار نیز همانند فصل زمستان افزایشی است با این تفاوت که از شدت روند کمی کاسته شده است. بطوریکه دامنه روند افزایشی دما به ازای هر دهه در فصل بهار بین ۰/۶۱ تا ۱/۲ درجه سلسیوس در نوسان است. در این فصل کانون اصلی

افزایش دما در مناطق جنوبی استان دیده می‌شود. دما در فصل تابستان که گرم‌ترین فصل سال در استان نیز است همانند دو فصل پیشین روندی سراسر افزایشی را نشان می‌دهد. بررسی نتایج روند دما در این فصل نشان می‌دهد که بیشینه روند افزایشی دما در مناطق مرکزی و جنوب غربی استان با مقدار  $0/79$  درجه سلسیوس به ازای هر دهه دیده می‌شود. کمینه روند افزایشی دما نیز در فصل تابستان مثبت و با مقدار  $0/44$  درجه سلسیوس/دهه به‌دست‌آمده است. بر عکس سه فصل زمستان، بهار و تابستان الگوی روند دما در فصل پاییز متفاوت است. روند دما در این فصل در برخی از مناطق همچون جغتای، داورزن، کلات، سرخس، صالح‌آباد، فریمان، تربت‌جام، تایباد و خواف روند کاهشی را نشان داده است. اما مناطق مرکزی، جنوبی و غربی استان تا مناطق شمالی روند افزایشی را برای دمای پاییز نشان دادند. روند افزایشی دما برای پاییز چندان قابل توجه نبوده بطوریکه بیشینه روند افزایشی دما به ازای هر دهه در بجستان و بردسکن با مقدار  $0/27$  درجه سلسیوس/دهه به‌دست‌آمده است. روند دما در میانگین سالانه نیز در استان خراسان رضوی سراسر افزایشی است. حداقل روند افزایشی دما در میانگین سالانه دما در استان  $0/44$  درجه سلسیوس/دهه و حداکثر روند آن  $0/8$  درجه سلسیوس/دهه است. بیشینه روند افزایشی دما نیز در مناطق جنوبی استان در شهرستان‌های رشتخوار، باخرز، بجستان، گناباد، مهولات و بخش‌های جنوبی و غربی تربت‌جام و تربت‌حیدریه به‌دست‌آمده است.

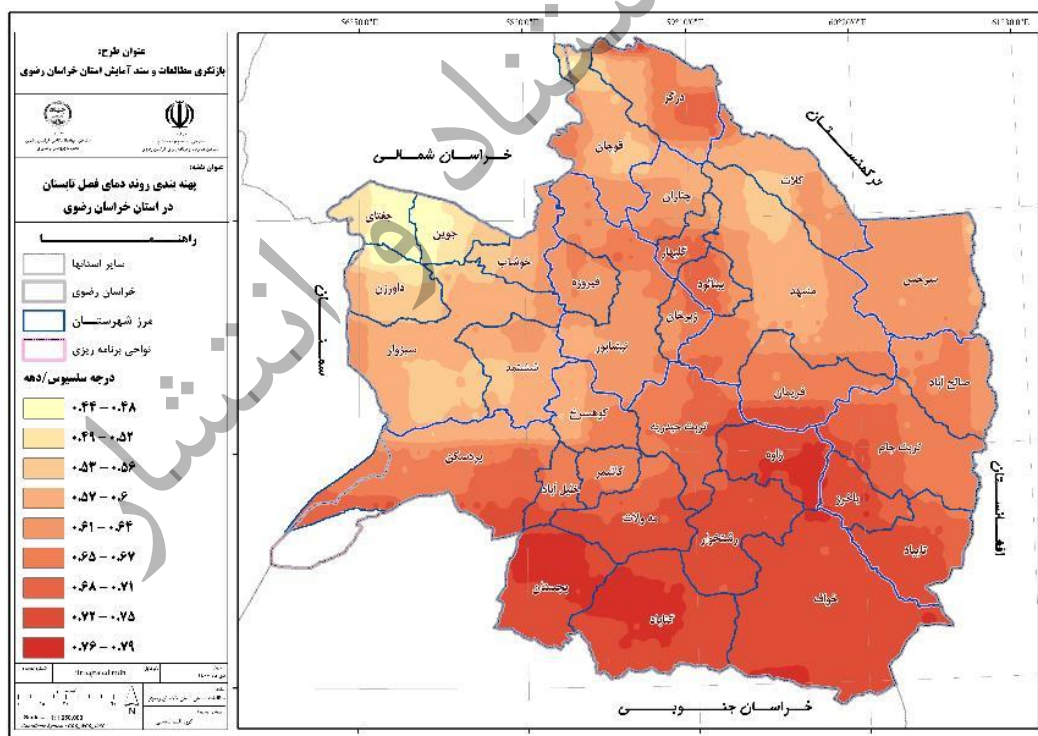


نقشه ۷. روند دمای فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس به ازای دهه)

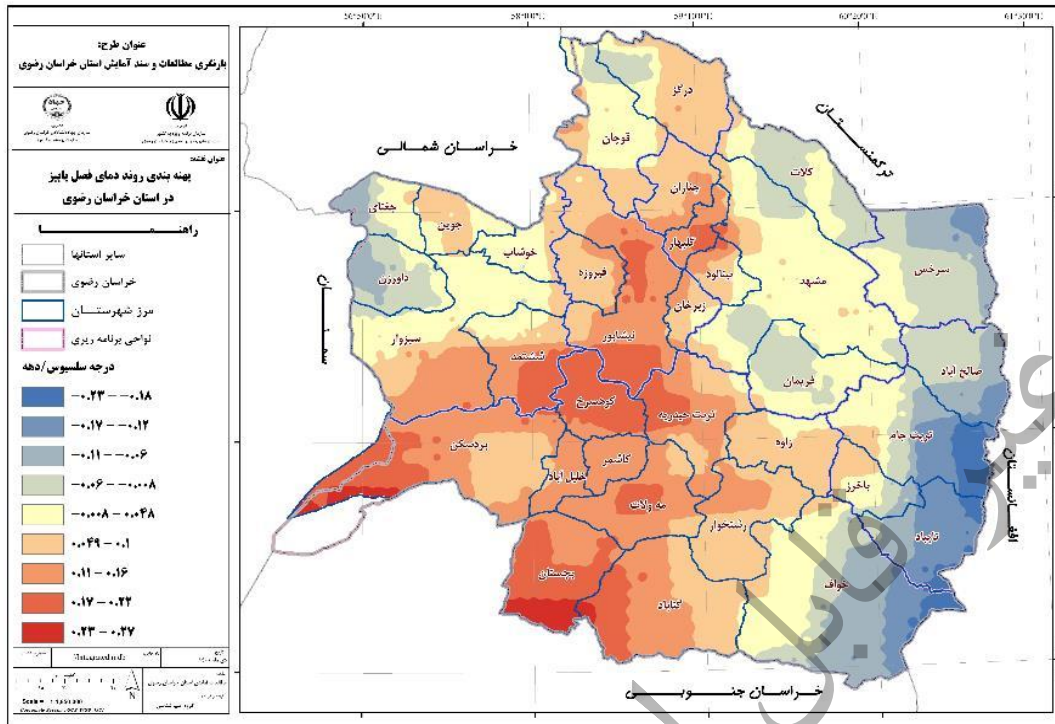




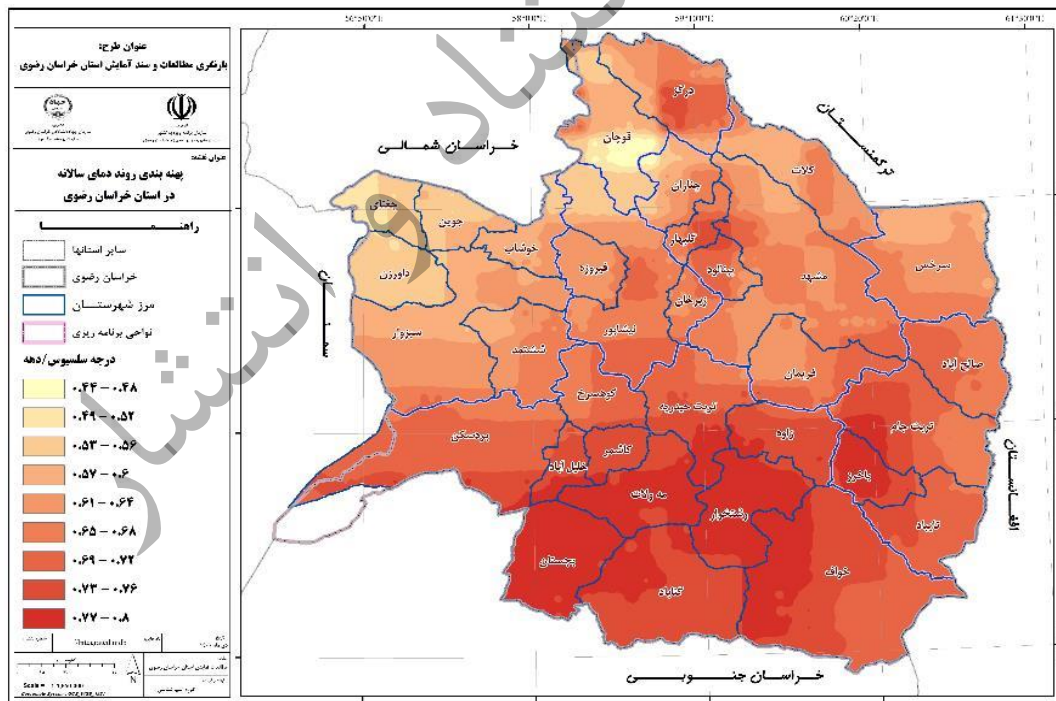
نقشه ۸. روند دمای فصل بهار در استان خراسان رضوي (يکا: درجه سلسیوس به ازای دهه)



نقشه ۹. روند دمای فصل تابستان در استان خراسان رضوي (يکا: درجه سلسیوس به ازای دهه)



نقشه ۱۰. روند دمای فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس به ازای دهه)



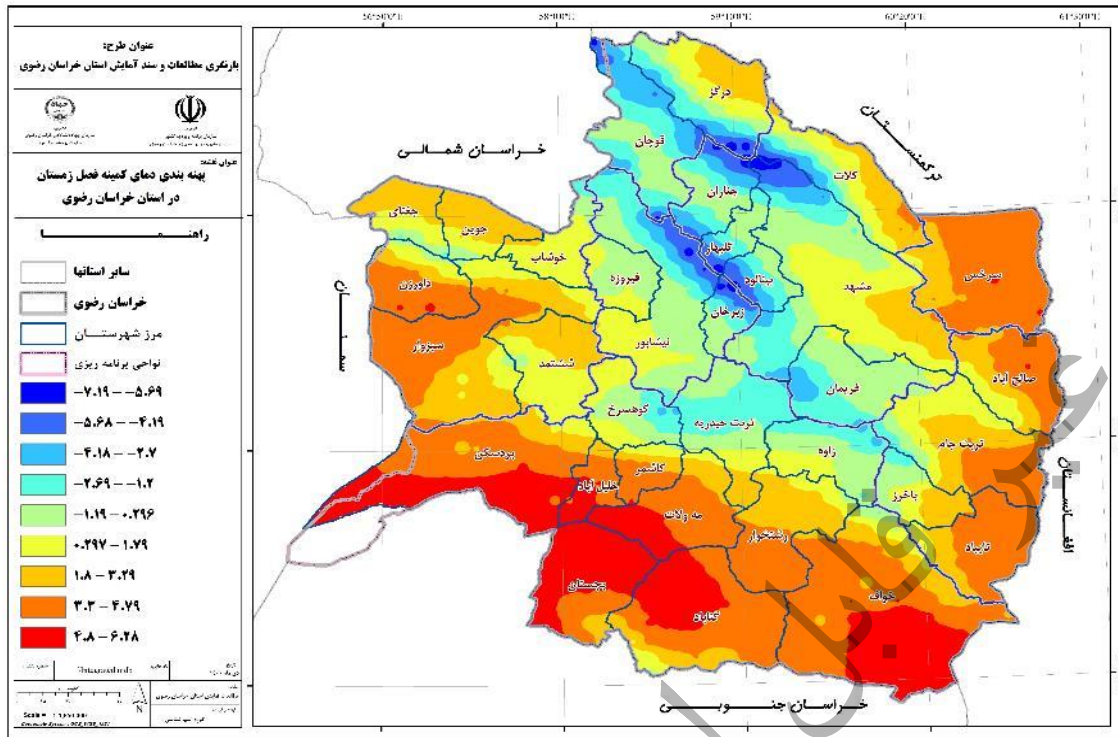
نقشه ۱۱. روند دمای سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس به ازای دهه)

### پراکنش فصلی و سالانه دمای کمینه و بیشینه در استان خراسان رضوی

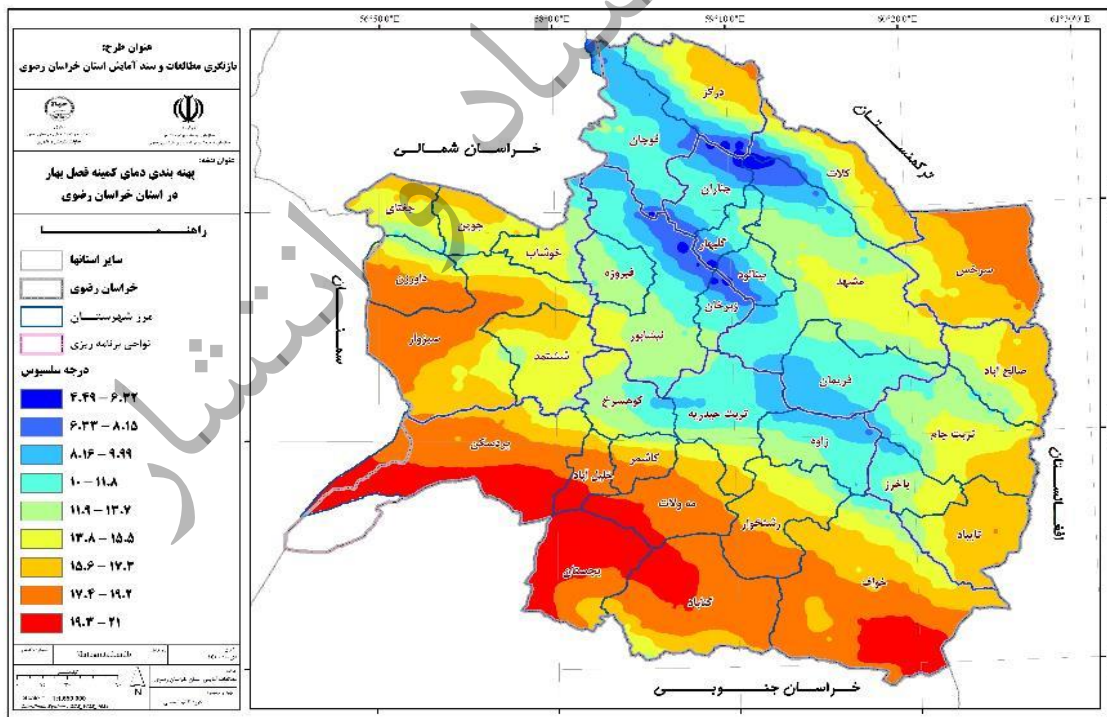
همان‌طور که برای دمای میانگین استان خراسان رضوی پیش‌تر بحث شد، دمای کمینه و دمای بیشینه که در حقیقت دمای شبانه و روزانه را نشان می‌دهند مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نقشه‌های مربوط به دمای کمینه و بیشینه استان خراسان رضوی در نقشه‌های (۱۲ تا ۲۰) ارائه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود دمای کمینه استان خراسان رضوی در فصل زمستان حداقل ۷/۱۹- درجه سلسیوس و حداکثر ۶/۲۸ درجه سلسیوس به‌دست آمده است. توزیع مکانی دما همانند دمای میانگین منطبق بر ارتفاعات استان است که به جهت ایجاز در نوشتار از ارائه توضیحات مجدد پرهیز می‌شود. به همین ترتیب دمای بیشینه استان خراسان رضوی در فصل زمستان بین ۰/۸- درجه سلسیوس تا ۱۸ درجه سلسیوس در تغییر است. با شروع فصل بهار دمای کمینه در تمامی مناطق استان بالاتر از صفر درجه سلسیوس است. بطوریکه کمینه دما در فصل بهار ۴/۴۹ درجه سلسیوس به‌دست آمده است که نسبت به فصل زمستان افزایشی برابر با ۱۱/۶۸ درجه سلسیوس را تجربه کرده است. کمترین مقدار بیشینه دما در فصل بهار ۱۴ درجه سلسیوس و بیشینه آن ۳۳/۱ درجه سلسیوس است. در یک قاعده کلی دما در استان خراسان رضوی از جنوب به شمال به دلیل وجود رشته‌کوه‌ها در مناطق شمالی کاهشی است.

کمینه و بیشینه دما در استان خراسان رضوی در فصل تابستان به اوج خود می‌رسند. بطوریکه کمینه مطلق دما در استان ۱۰ درجه سلسیوس است. همانند فصول پیشین ارتفاعات به‌عنوان کنترل‌کننده اصلی دما در استان خراسان رضوی ایفای نقش می‌کند. بالاترین مقدار دمای کمینه در فصل زمستان ۲۵/۹ درجه سلسیوس در بجنستان و بردسکن به‌دست آمده است. طبیعتاً بیشینه مطلق دما در استان خراسان رضوی در فصل تابستان دیده می‌شود. بطوریکه این مقدار در جنوب غربی استان عدد ۳۸/۲ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. در اواخر فصل پاییز به دلیل نفوذ توده هوای بسیار سرد سبیری که در بخش جریان‌ات جوی زمستانه توضیحات آن آمده است کمینه مطلق دما به ۲/۸۲- درجه سلسیوس می‌رسد. بالاترین مقدار دمای کمینه در این فصل در مناطق بیابانی استان ۹/۶۹ درجه سلسیوس است. دمای بیشینه نیز در فصل پاییز روند کاهشی را نشان داده است. کمینه این متغیر ۵/۶۸ درجه سلسیوس و بیشینه آن ۲۲ درجه سلسیوس است. دمای کمینه و بیشینه سالانه نیز الگویی همانند آنچه که برای دمای میانگین توضیح داده شد، دارد. دمای کمینه سالانه در استان بین ۱/۱۳ درجه سلسیوس تا ۱۵/۶ درجه سلسیوس و دمای بیشینه بین ۱۰/۱ درجه سلسیوس تا ۲۷/۸ درجه سلسیوس در نوسان است.

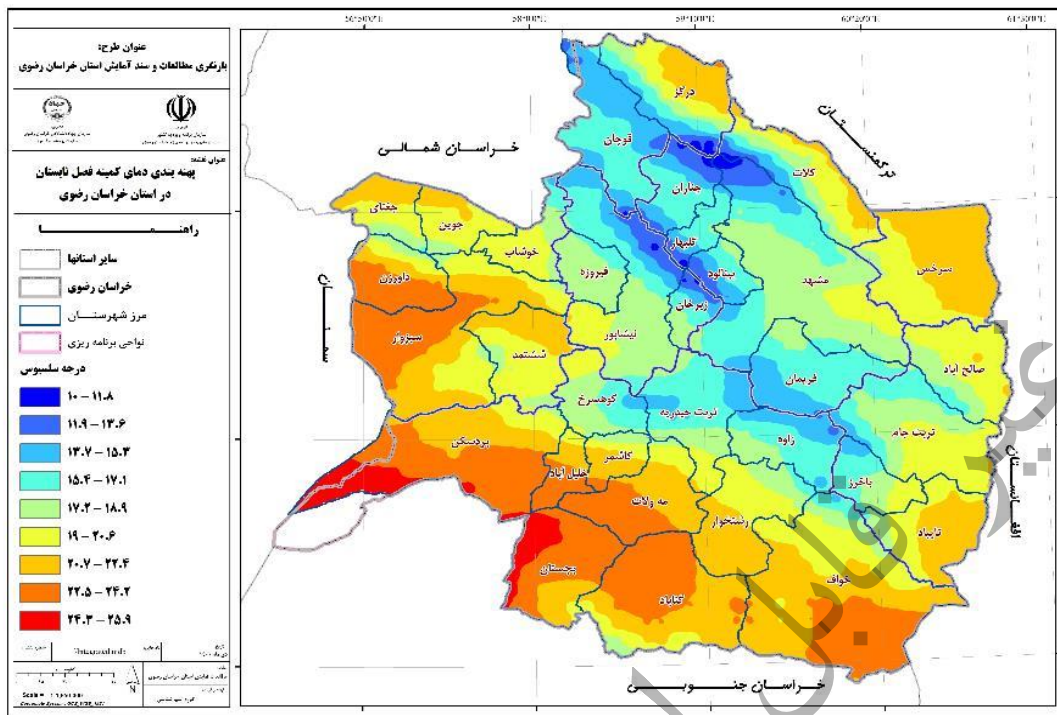




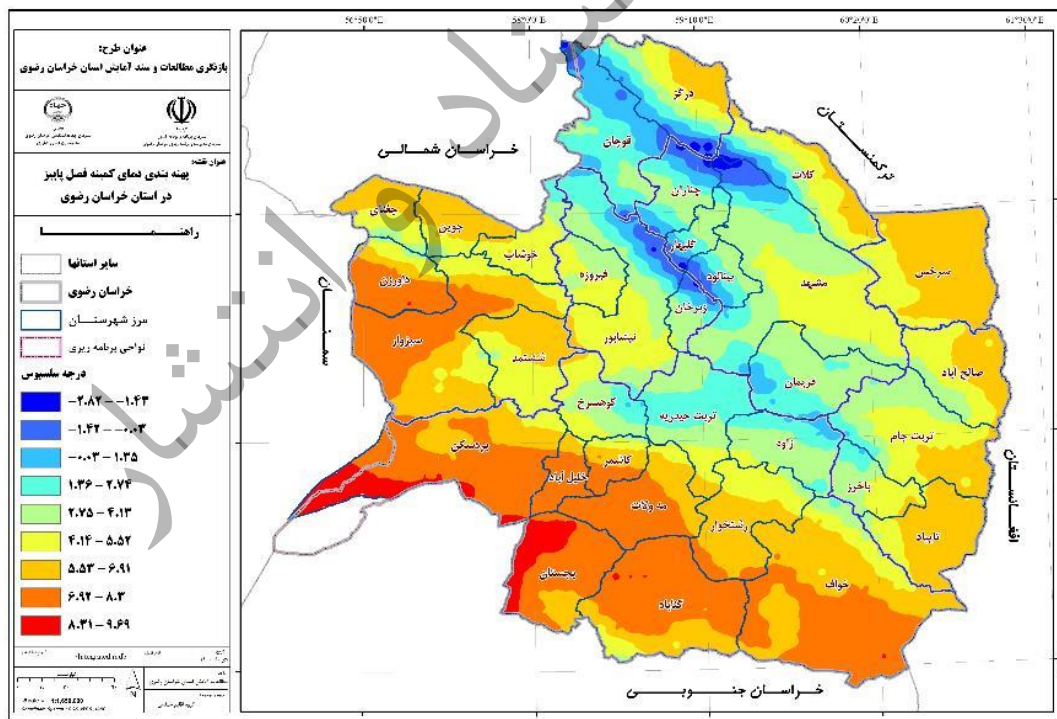
نقشه ۱۲. دمای کمینه فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۱۳. دمای کمینه فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)

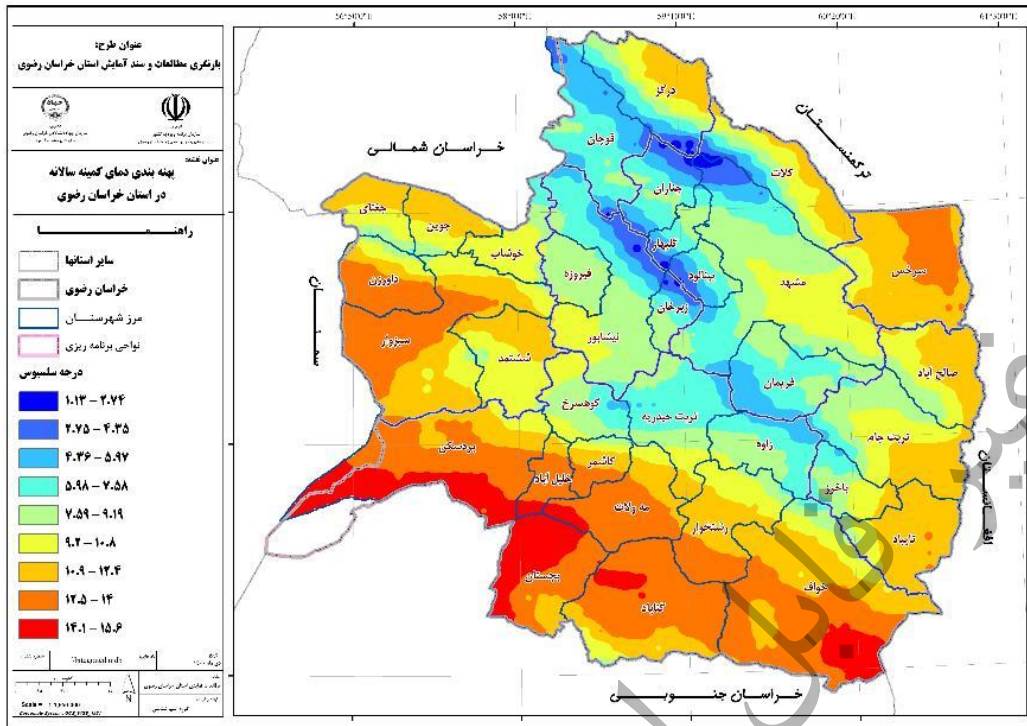


نقشه ۱۴. دمای کمینه فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکای: درجه سلسیوس)

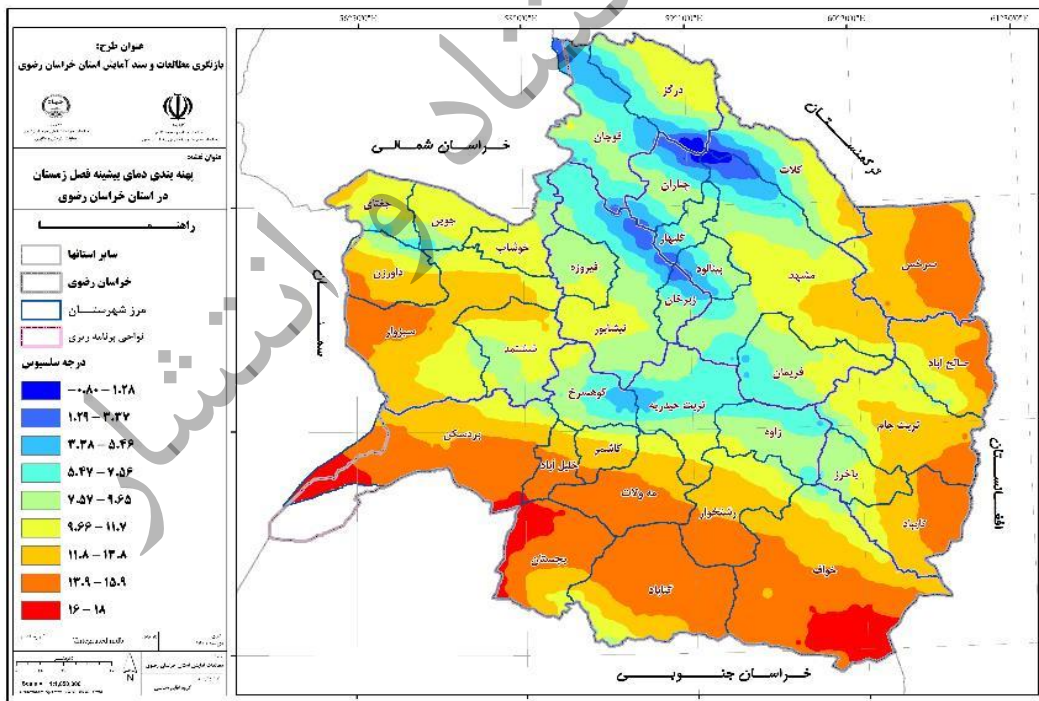


نقشه ۱۵. دمای کمینه فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکای: درجه سلسیوس)

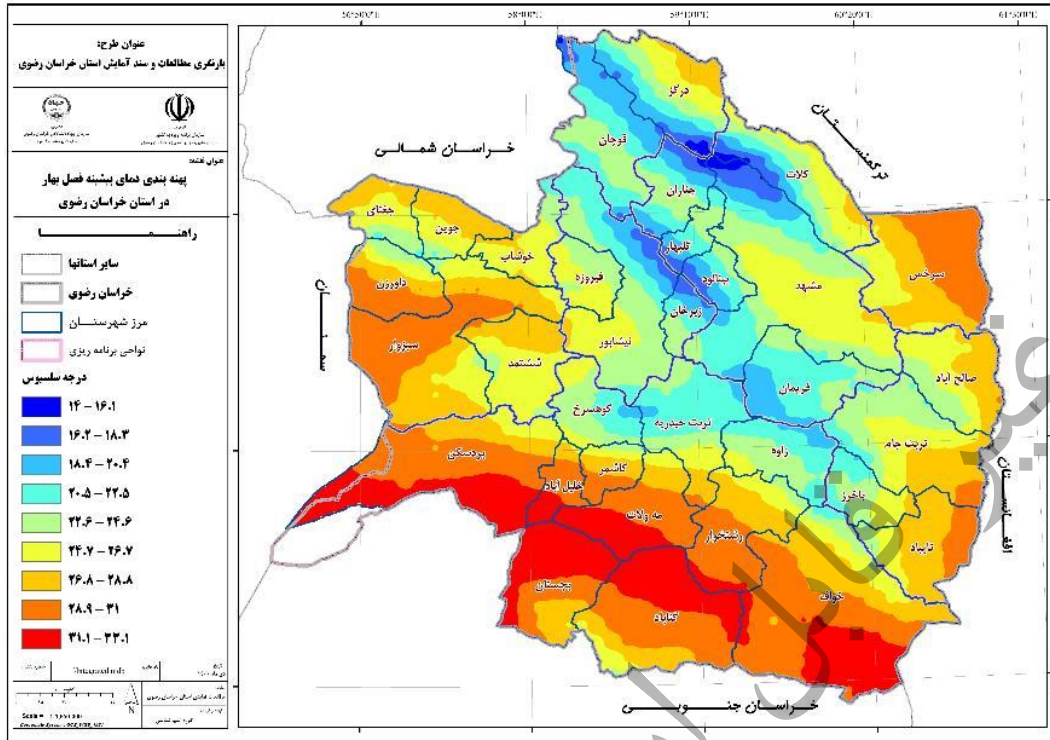




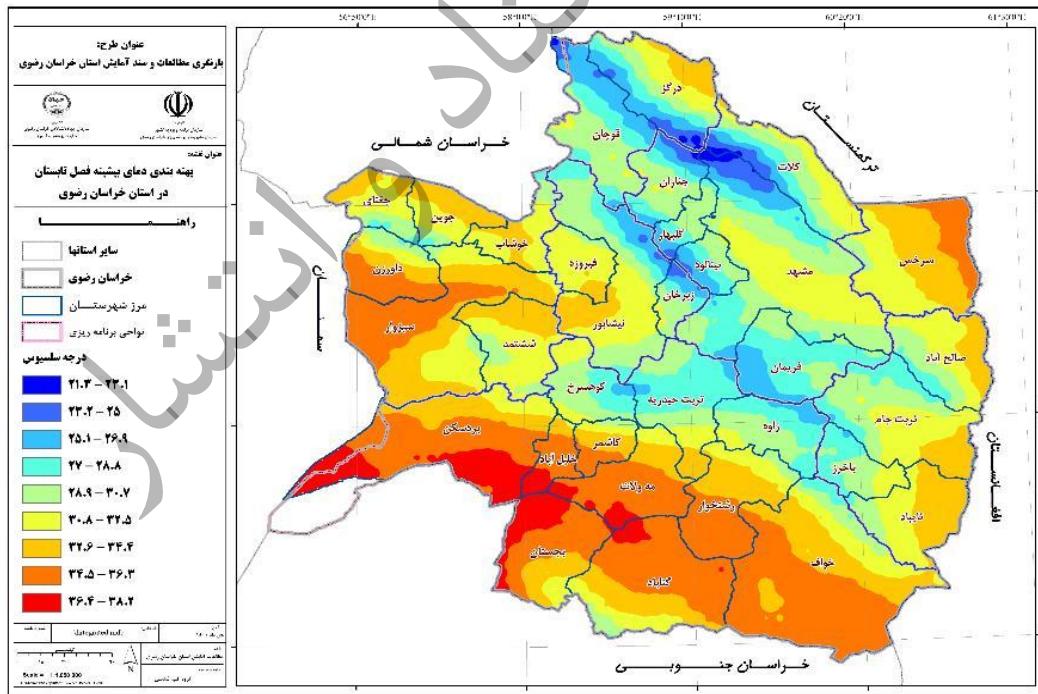
نقشه ۱۶. دمای کمینه سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)



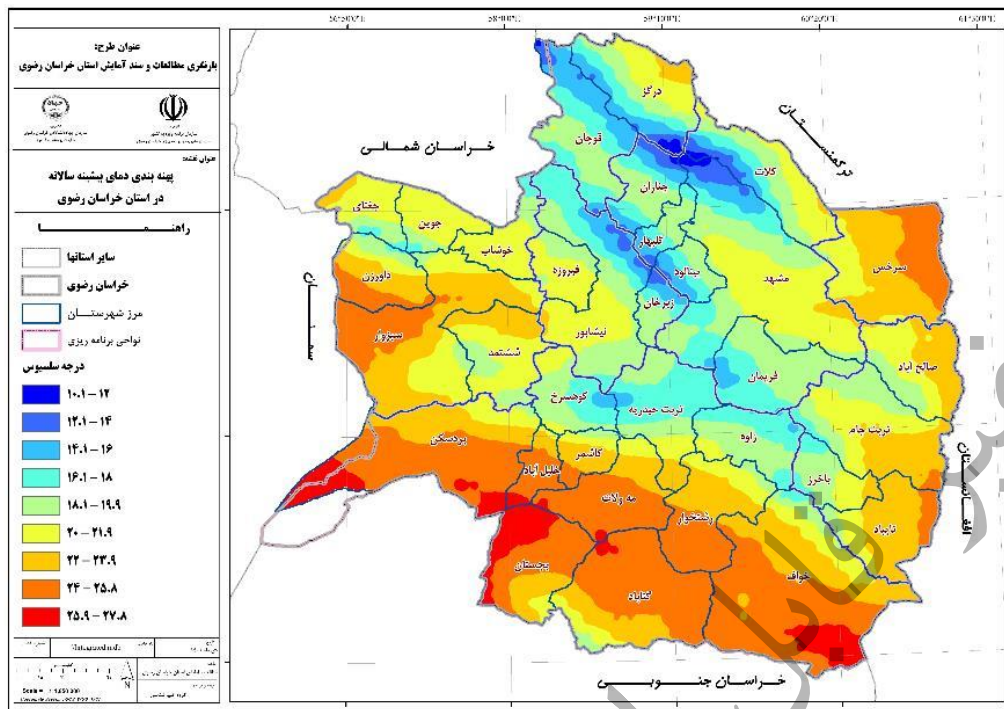
نقشه ۱۷. دمای بیشینه فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۱۸. دمای بیشینه فصل بهار در استان خراسان رضوي (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۱۹. دمای بیشینه فصل تابستان در استان خراسان رضوي (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۲۰. دمای بیشینه سالانه در استان خراسان رضوی (یک: درجه سلسیوس)

### جمع‌بندی پراکنش فصلی و سالانه دما

نتایج بخش دما نشان داد که کمینه دمای فصلی و سالانه در استان خراسان رضوی در عرض‌های جغرافیایی بالاتر و مناطق مرتفع کوهستانی آن دیده می‌شود. روند دما در تمامی فصول و میانگین سالانه به غیر از فصل پاییز افزایشی است. همان‌طور که گفته شد در بین فصول تنها فصل پاییز الگوی متفاوتی از روند را ارائه داده است که صرفاً بخش‌های جنوب‌شرقی و شرقی استان روند کاهشی دارند. این روند افزایشی دما می‌تواند یک تهدید عمده برای منابع آب استان خراسان رضوی باشد. بررسی دامنه روند دما در فصول مختلف در متوسط پهنه‌ای استان نشان می‌دهد که مطابق با گرمایش جهانی از پهنه‌های دمایی سرد و خنک و به‌طور کلی سرماهای فرین در استان خراسان رضوی کاسته شده است. همچنین افزایش دمای هوا در استان خراسان رضوی مشکلات بسیاری می‌تواند به همراه داشته باشد. باید در نظر داشت که خراسان رضوی یک استان خشک و نیمه‌خشک است که بخش قابل‌توجهی از نیاز آبی این استان از منابع آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود که افزایش دما منجر به استفاده بیشتر از آن‌ها شده و مشکلات بسیاری در زمینه‌های مختلف اکوسیستم استان به همراه خواهد داشت.



### دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما در استان خراسان رضوی

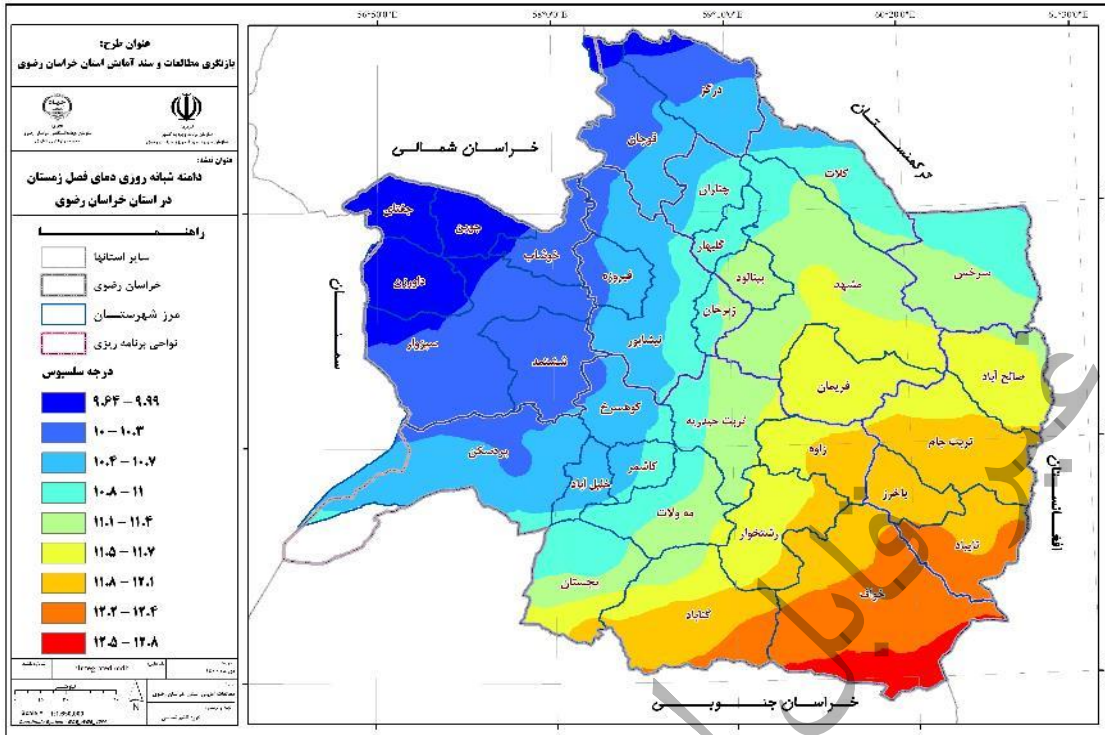
دامنه شبانه‌روزی دما (DTR<sup>۱</sup>) به دلیل نقش مهمی که در مدیریت انرژی و نیاز گرمایش و سرمایش دارد مورد توجه ویژه‌ای است. همان‌طور که پراکنش ماهانه دمای میانگین، دمای کمینه و دمای بیشینه استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت، شاخص DTR نیز برای فصول و میانگین سالانه محاسبه و در نقشه‌های (۲۱ تا ۲۵) ارائه شد.

نتایج شاخص DTR نشان می‌دهد که این شاخص حداقل ۹/۶ درجه سلسیوس در فصل زمستان و حداکثر ۱۷/۱ درجه سلسیوس در فصل پاییز در تغییر است. همان‌طور که نقشه‌ها نشان می‌دهند، شاخص DTR در تمامی فصول سال در مناطق شرقی، جنوبی و جنوب‌شرقی استان که جزو مناطق خشک و بیابانی هستند، مقادیر قابل توجه بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس و حتی مقدار حداکثری ۱۷/۱ درجه سلسیوس را تجربه نموده است. علت این افزایش قابل توجه در شاخص DTR به این دلیل است که دمای کمینه معمولاً در شب اتفاق می‌افتد و دمای شبانه تابعی از تابش طول موج بلند خروجی است و تابش طول موج کوتاه که در طی روز در وردایی دما نقش دارد در طول شب حذف می‌شود.

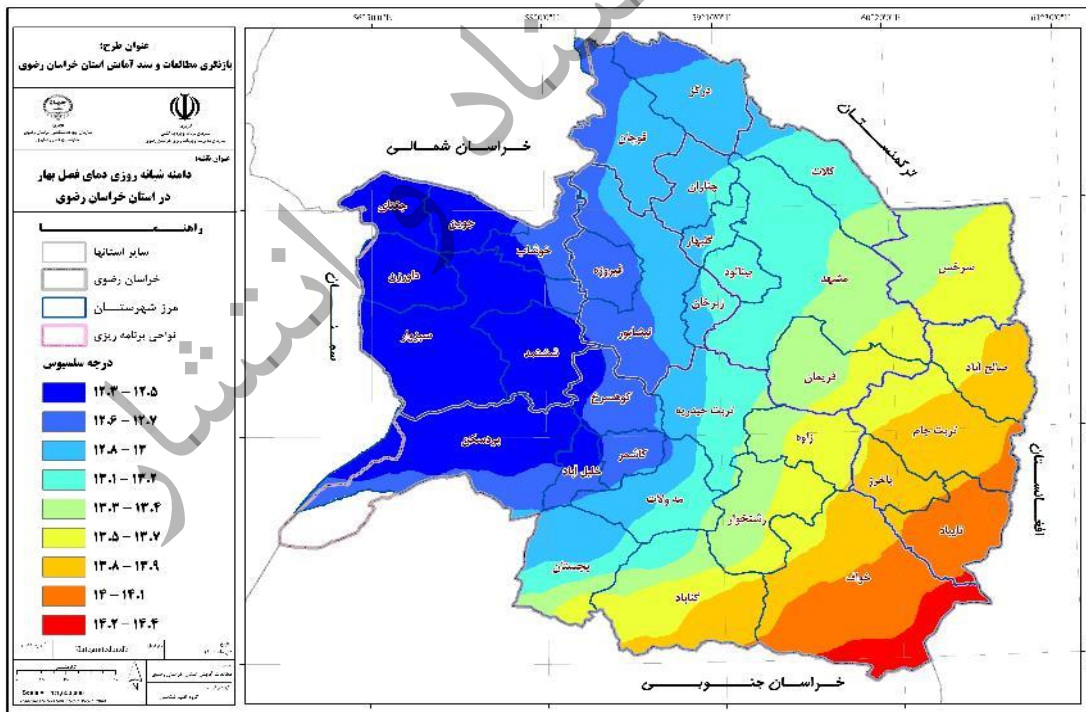
مناطق خشک جنوبی و شرقی استان را عمدتاً زمین‌های خشک و بدون پوشش گیاهی و با ابرناکی پایین در بر گرفته است. این مناطق در طول شب به سرعت دمای خود را از دست داده و دمای پایینی را به نسبت به روز تجربه می‌کنند که باعث افزایش قابل توجه شاخص DTR در این مناطق می‌شود. کمینه این شاخص نیز در مناطق کوهستانی شمال و مناطق غربی استان دیده می‌شود.

دامنه شبانه‌روزی دما در فصل زمستان بین ۹/۶۴ تا ۱۸/۲ درجه سلسیوس، فصل بهار بین ۱۲/۳ تا ۱۴/۴ درجه سلسیوس، فصل تابستان بین ۱۳/۵ تا ۱۷ درجه سلسیوس و فصل پاییز بین ۱۳/۳ تا ۱۷/۱ درجه سلسیوس به دست آمده است. میانگین سالانه دامنه شبانه‌روزی دما در استان خراسان رضوی حداقل ۱۲/۲ درجه سلسیوس و حداکثر ۱۵/۲ درجه سلسیوس محاسبه گردید. به‌طور کلی دامنه شبانه‌روزی دما در استان خراسان رضوی از غرب به شرق و از شمال به جنوب افزایشی است. بالا بودن دامنه شبانه‌روزی دما می‌تواند نقش مهمی در نیاز گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها، کشاورزی و بخصوص یخ‌زدگی محصولات و استهلاک زیر ساخت‌ها به دلیل افت و خیز بالای دمایی داشته باشد.

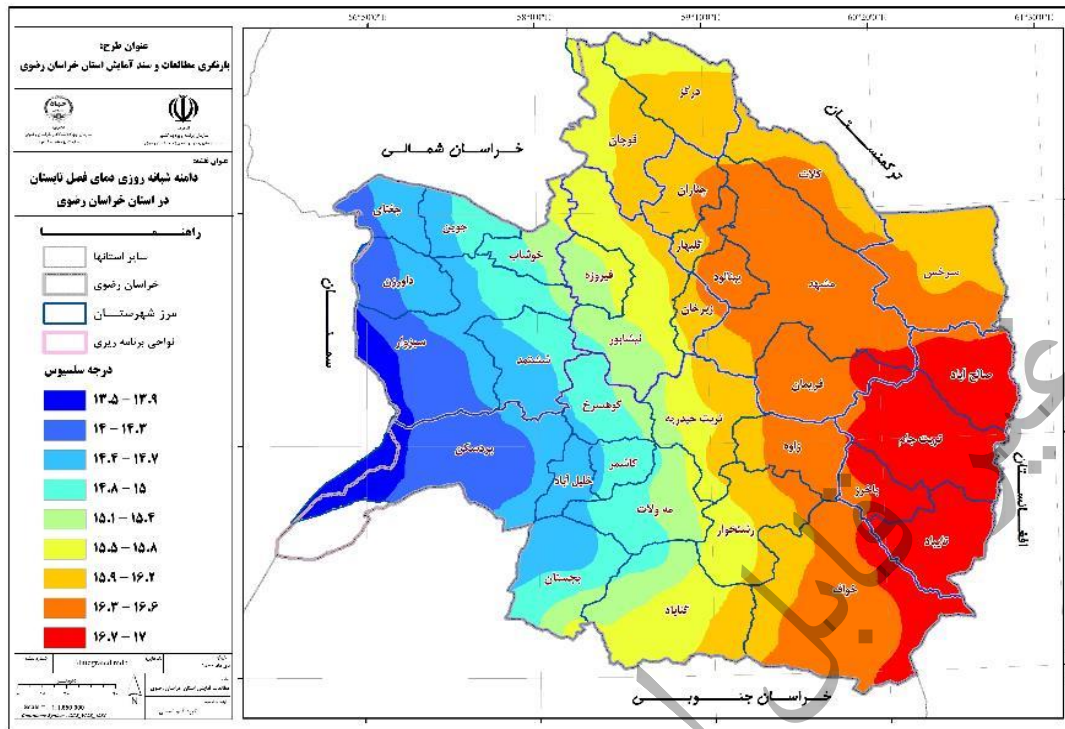
1 Diurnal Temperature Range (DTR)



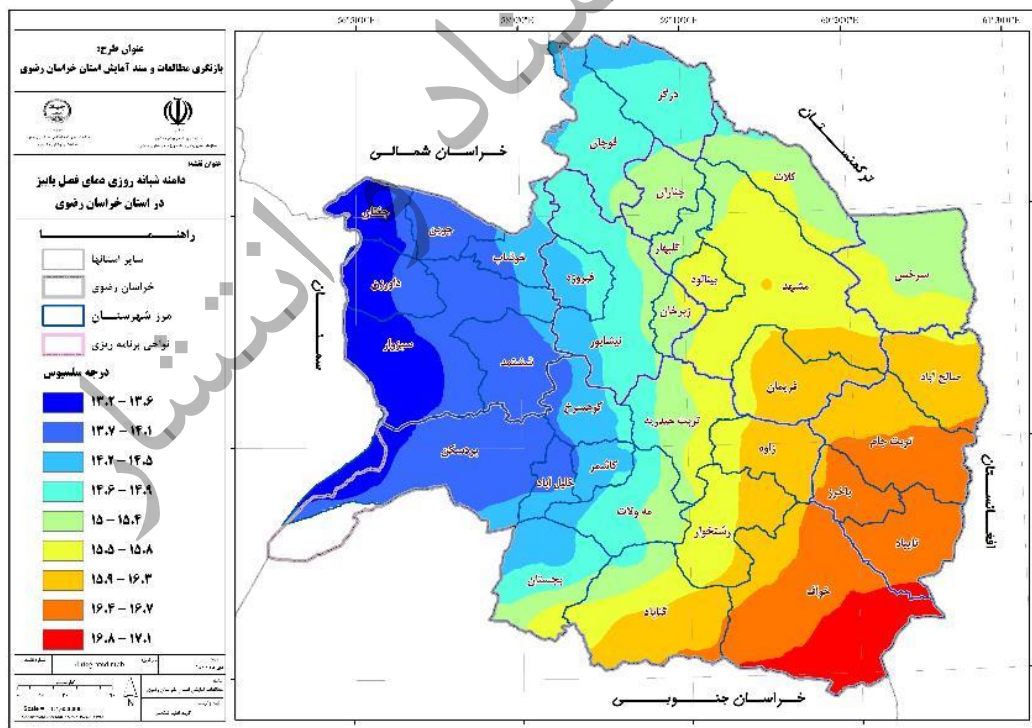
نقشه ۲۱. دامنه شبانه روزی دمای فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۲۲. دامنه شبانه روزی دمای فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)

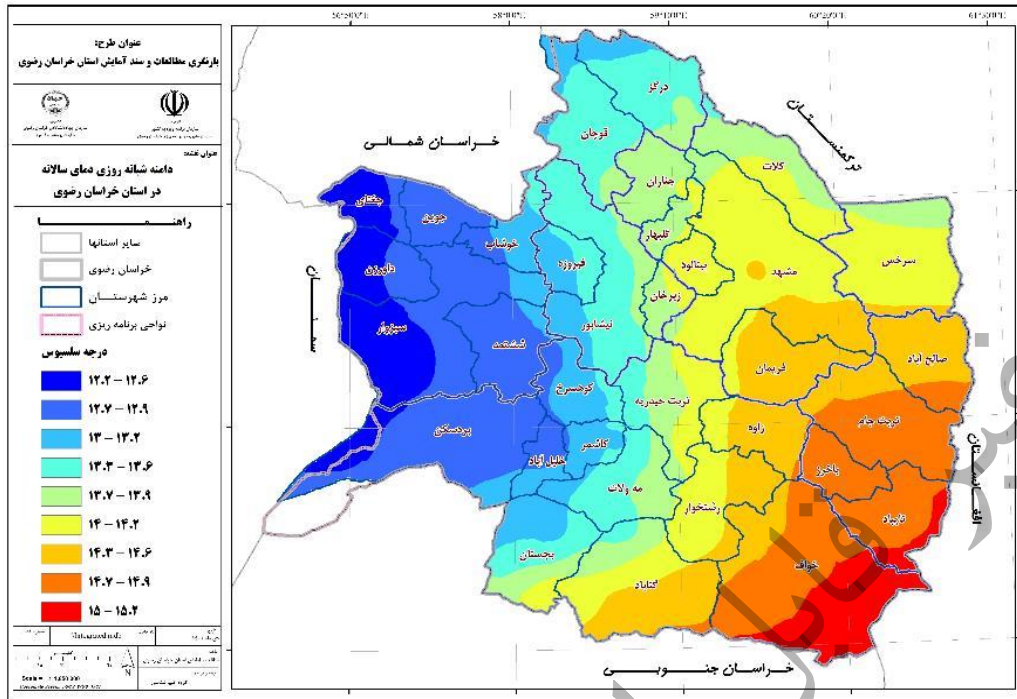


نقشه ۲۳. دامنه شبانه‌روزی دمای فصل تابستان در استان خراسان رضوي (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۲۴. دامنه شبانه‌روزی دمای فصل پاییز در استان خراسان رضوي (یکا: درجه سلسیوس)





نقشه ۲۵. دامنه شبانه‌روزی دمای سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)

### تغییرات دمای سطح زمین روز هنگام در ایران با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS

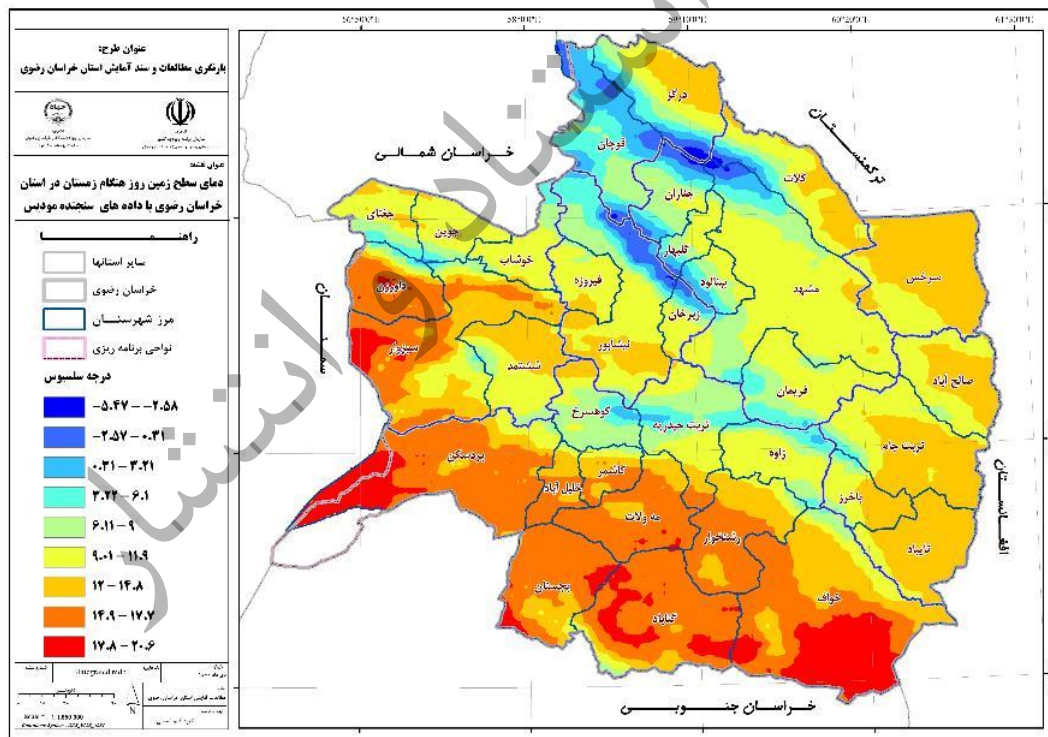
آگاهی از توزیع زمانی-مکانی دمای سطح زمین برای تعیین بیلان انرژی زمین، بررسی‌های هواشناسی و تبخیر-تعرق ضروری است. دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلمندی سطح، رطوبت و جریان جو بستگی دارد. ماهواره‌های سنجنده‌ها با تفکیک زمانی-مکانی بالا با به‌کارگیری باندهای حرارتی تعبیه‌شده در حسگرهایشان امکان ارزیابی دقیق تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح زمین را فراهم آوردند (نقشه‌های ۲۶ تا ۳۰).

دمای سطح زمین (LST) از متغیرهای بنیادی مطالعات مربوط به زمین و شهرهاست که به دلیل نقش مهمی که بر روند زندگی دارد، به‌طور مستمر مورد بحث بوده است. در این بخش دمای روز هنگام سطح زمین استان خراسان رضوی در یک بازه زمانی ۲۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۱) بر اساس پرونداد سنجنده MODIS مورد بررسی قرار گرفته است.

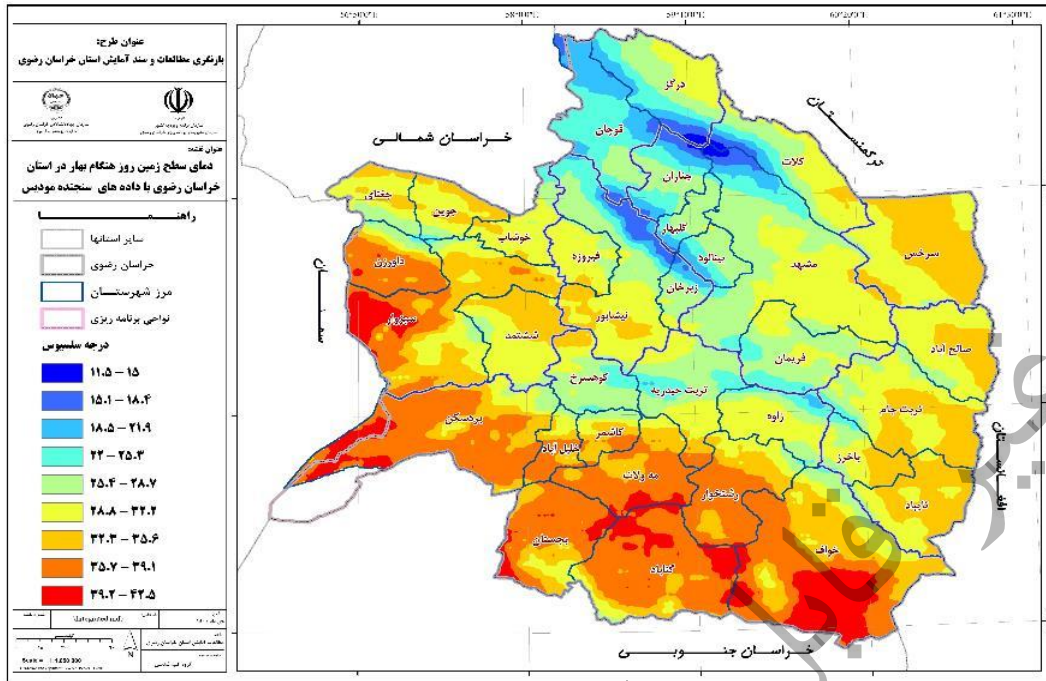
بررسی آماری دمای سطح زمین روز هنگام استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که بیشینه و کمینه میانگین دمای سطح زمین ایران به ترتیب با ۵۶/۹ درجه سلسیوس در فصل تابستان و ۵/۴۷- درجه سلسیوس، در فصل زمستان رخ داده است. پردازش‌های مکانی دمای سطح زمین روز هنگام استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که دمای سطح زمین به‌شدت متأثر از عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا است و شرایط توپوگرافیکی نقش مهمی در توزیع زمانی-مکانی LST ایفا می‌کند.

اگرچه پهنه‌های دمایی ارائه شده برای فصول مختلف سال از پیوستگی مکانی قابل توجهی برخوردارند، اما بخش‌هایی از یک خوشه دمایی به صورت جزایری درون پهنه‌های دیگر نمایان شده است که نشان از اثر شرایط محلی و توپوگرافی پیچیده دارد، که باعث اختلاف مکانی دما و افزایش میل به خوشه شدن دمای سطح زمین دارد.

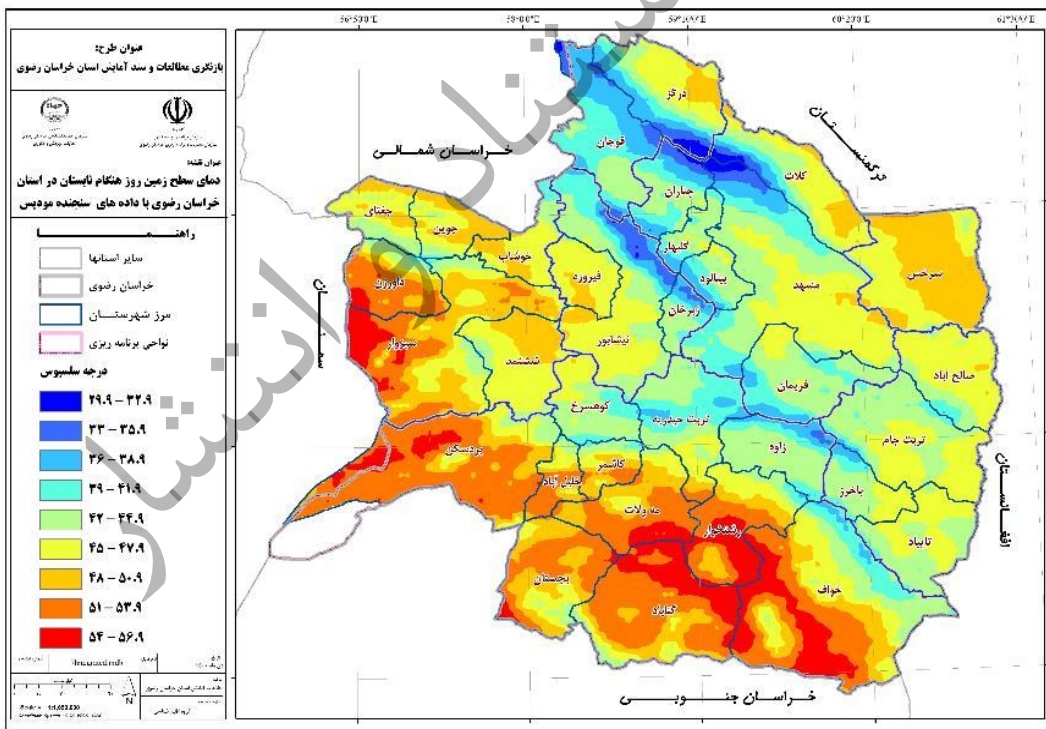
دمای سطح زمین از شمال به جنوب استان در تمامی فصول و همچنین میانگین سالانه افزایشی است. شهرستان‌های خواف، گناباد، رشتخوار، مهولات، گناباد، بردسکن و سبزوار بالاترین دمای سطح زمین را در طول روز نشان می‌دهند. خشک بودن خاک، سپیدایی سطح و پوشش زمین، فقر رطوبتی خاک و همچنین عرض جغرافیایی پایین تر موجب شده تا این مناطق جزو گرم‌ترین مناطق در استان خراسان رضوی باشند. دمای سطح زمین در طول روز برای میانگین سالانه در استان خراسان رضوی بین ۱۳ تا ۳۹/۵ درجه سلسیوس در تغییر است. کمینه دمای سطح زمین همانند دمای هوا در مناطق کوهستانی شمالی استان دیده می‌شود. نتایج و دستاوردهای دمای سطح زمین در مکان‌یابی و استقرار سامانه‌های جذب انرژی خورشیدی در طول سال، کاربردی و دارای اهمیت است. مناطق جنوبی استان تا شرق استان، بهینه‌ترین مناطق برای استفاده از انرژی خورشیدی در طول سال محسوب می‌شوند.



نقشه ۲۶. دمای سطح زمین روز هنگام فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکایا: درجه سلسیوس)

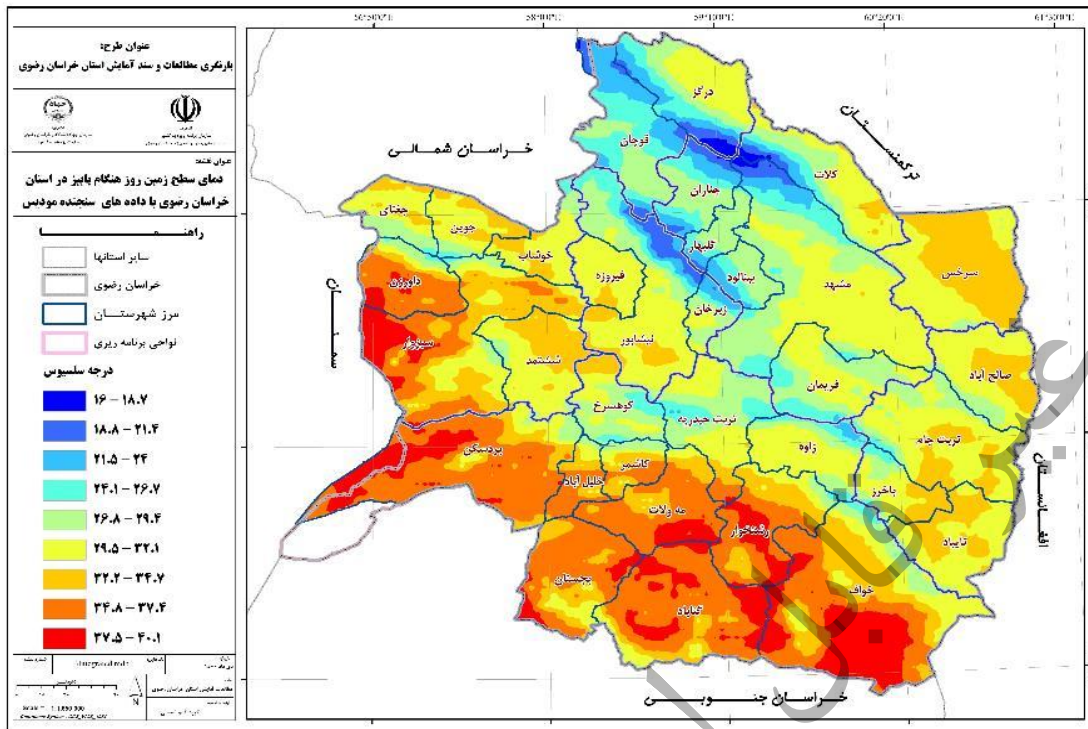


نقشه ۲۷. دمای سطح زمین روز هنگام فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)

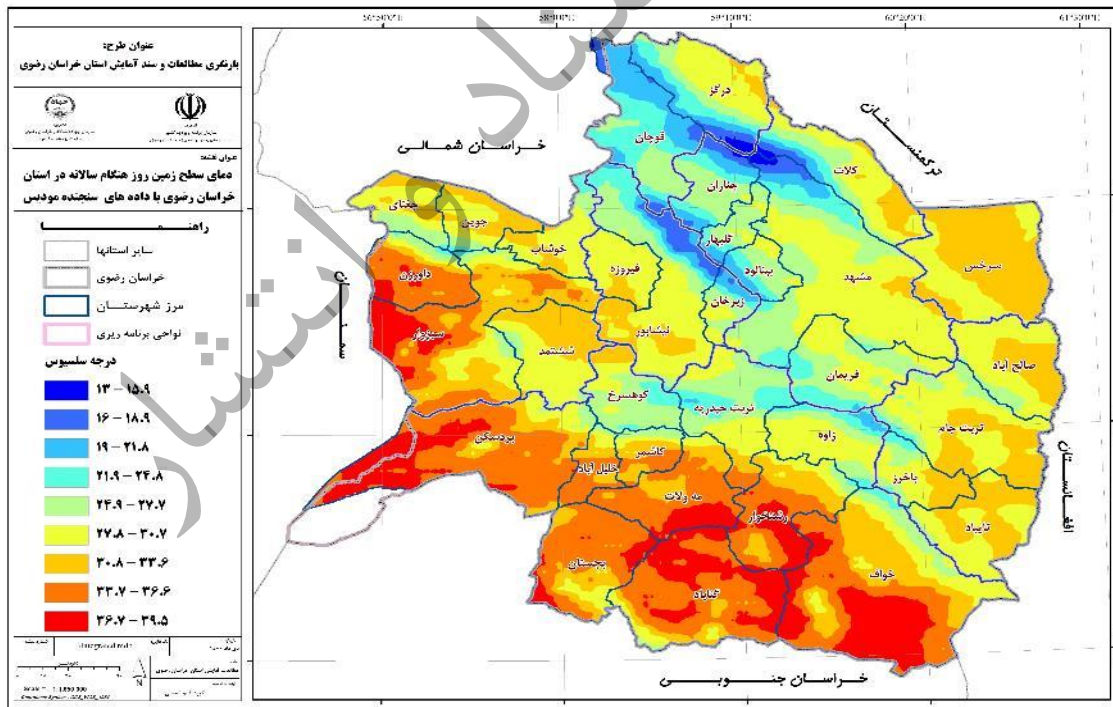


نقشه ۲۸. دمای سطح زمین روز هنگام فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)





نقشه ۲۹. دمای سطح زمین روز هنگام فصل پاییز در استان خراسان رضوي (يکا: درجه سلسيوس)



نقشه ۳۰. دمای سطح زمین روز هنگام سالانه در استان خراسان رضوي (يکا: درجه سلسيوس)

### تغییرات دمای سطح زمین شب‌هنگام در ایران با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS

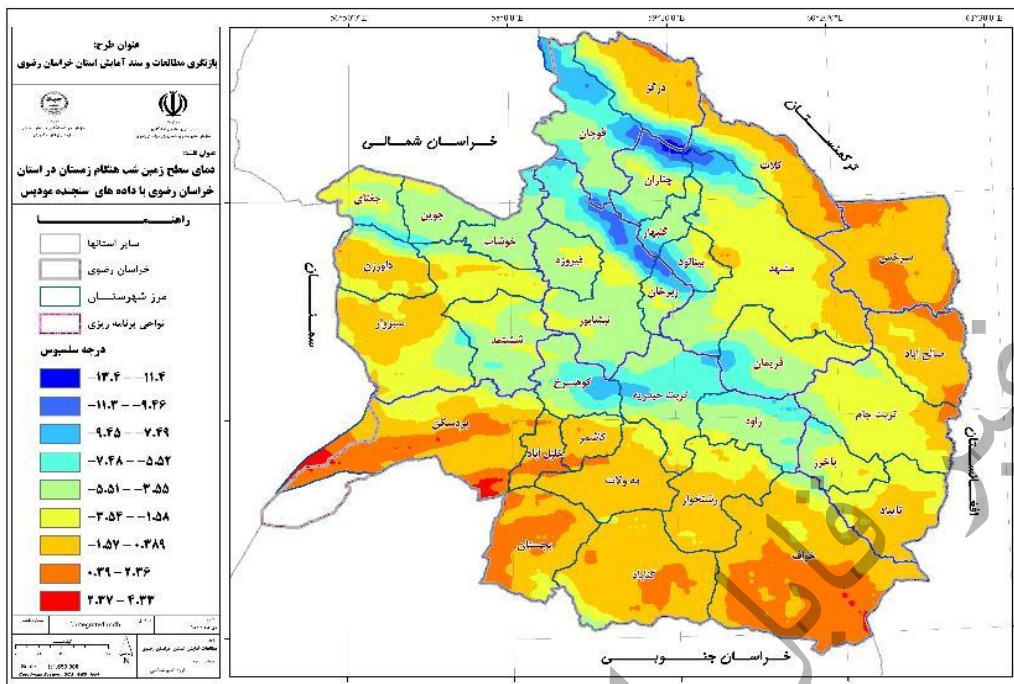
همان‌طور که گفته شد دمای سطح زمین یک پارامتر کلیدی در فرایندهای فیزیکی سطح زمین است. در طول روز دمای سطح زمین تحت شرایط سایه و نور مستقیم خورشید می‌تواند یک اختلاف ۲۰ درجه‌ای دما را ایجاد کند. اما این اختلاف در طول شب نمود چندانی نخواهد داشت. لذا رفتار عوارض زمین و جو که بر دمای سطح زمین تأثیر می‌گذارند در شب کمتر نمود می‌یابند و از این جهت شناسایی مناطق و جداسازی عوارض و رفتار بیوفیزیکی‌شان در فضای دمایی محیط کمی پیچیده‌تر خواهد شد.

دمای سطح زمین شب‌هنگام ایران با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS در نقشه‌های (۳۱ تا ۳۵) نشان داده شده است. با توجه به نتایج، رژیم دمای شب‌هنگام سطح زمین ایران قاره‌ای است. مسعودیان (۱۳۹۰) در مطالعه آب‌وهوای ایران در تعریف رژیم قاره‌ای برای دمای ایران ابراز داشته است که دمای هوا در ایران به شدت تابع ارتفاع، عرض جغرافیایی و محتوای رطوبتی جو است. وی ضمن برشماری نقش پرفشار جنب حاره در دوره گرم سال و حاکمیت پرفشار سیبری در دوره سرد سال به‌ویژه در شمال شرق و اثر گلخانه‌ای بخار آب و نقش آن در مناطق مختلف ایران وجود یک رژیم قاره‌ای را برای ایران نشان داده است. الگوی تغییرات مکانی دمای شب‌هنگام سطح زمین در فصول سرد نامنجم‌تر از ایام گرم سال است. وجود رژیم دمایی قاره‌ای موجب اختلاف دما و نوسانات مکانی بالای آن در گستره ایران و خراسان رضوی شده است. بررسی الگو و ساختار دمای شب‌هنگام سطح زمین در فصل زمستان نشان می‌دهد که تغییرات فضایی دمای شب‌هنگام سطح زمین از ارتفاعات و عامل عرض جغرافیایی تبعیت می‌نماید.

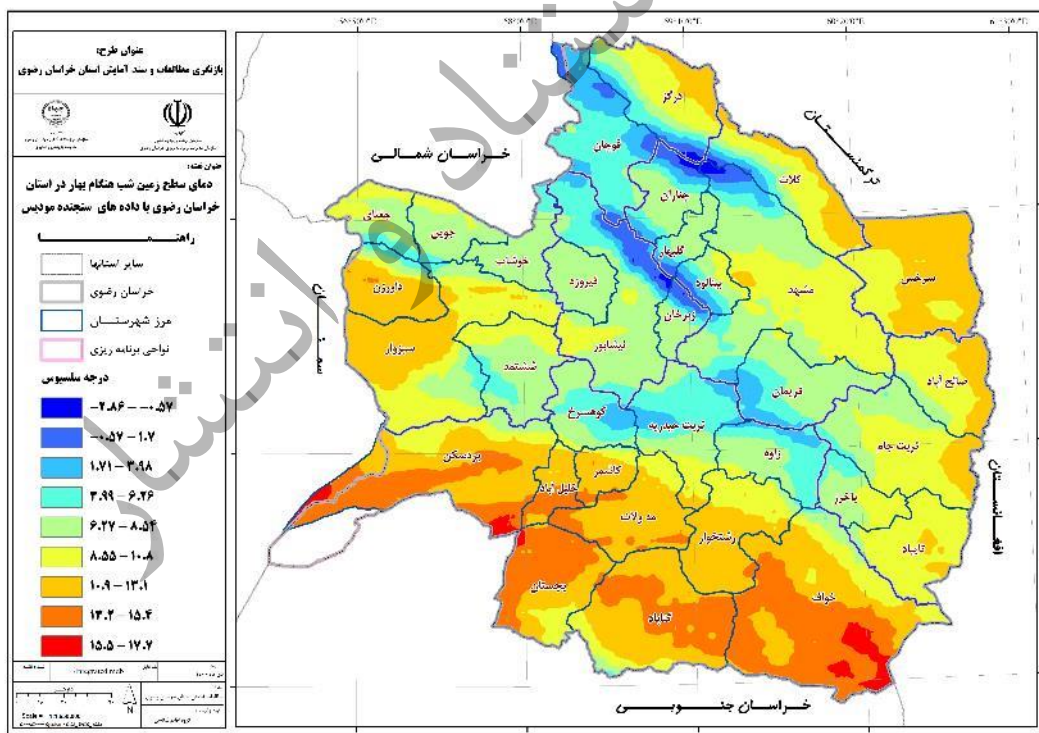
وردایی زمانی-مکانی دمای سطح زمین در طول شب در استان خراسان رضوی برای فصل زمستان بین ۱۳/۴- درجه سلسیوس تا ۴/۳۳ درجه سلسیوس در نوسان است. کمینه دمای شبانه سطح زمین در استان خراسان رضوی کماکان منفی است. بطوریکه کمینه دما ۲/۸۶- درجه سلسیوس و بیشینه آن ۱۷/۷ درجه سلسیوس است. دمای سطح زمین شب‌هنگام در فصل تابستان بین ۸/۳ درجه سلسیوس تا ۳۰/۷ درجه سلسیوس در تغییر است. با شروع فصل پاییز دمای کمینه سطح زمین شب‌هنگام، مجدد منفی شده است بطوریکه کمینه این متغیر ۱/۱۲- درجه سلسیوس و بیشینه آن به ۱۷/۶ درجه سلسیوس رسیده است. دمای سطح زمین شب‌هنگام، برای متوسط سالانه بین ۲/۲۴- درجه سلسیوس تا ۱۷/۵ درجه سلسیوس به‌دست آمده است. دمای سطح زمین شب‌هنگام همانند دمای سطح زمین روز هنگام، در کل استان از توپوگرافی و عرض جغرافیایی تبعیت می‌کند.

دمای شب‌هنگام سطح زمین یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی در رشد و نمو و فعالیت‌های زراعی و باغی محسوب می‌شود. در فصل بهار با شکوفه دهی محصولات باغی و رشد گیاهان، آگاهی از وضعیت دمای شب‌هنگام سطح زمین به دلیل یخ‌زدگی سطح بخصوص در مواقعی که زمین آبیاری شده باشد، حائز اهمیت است.

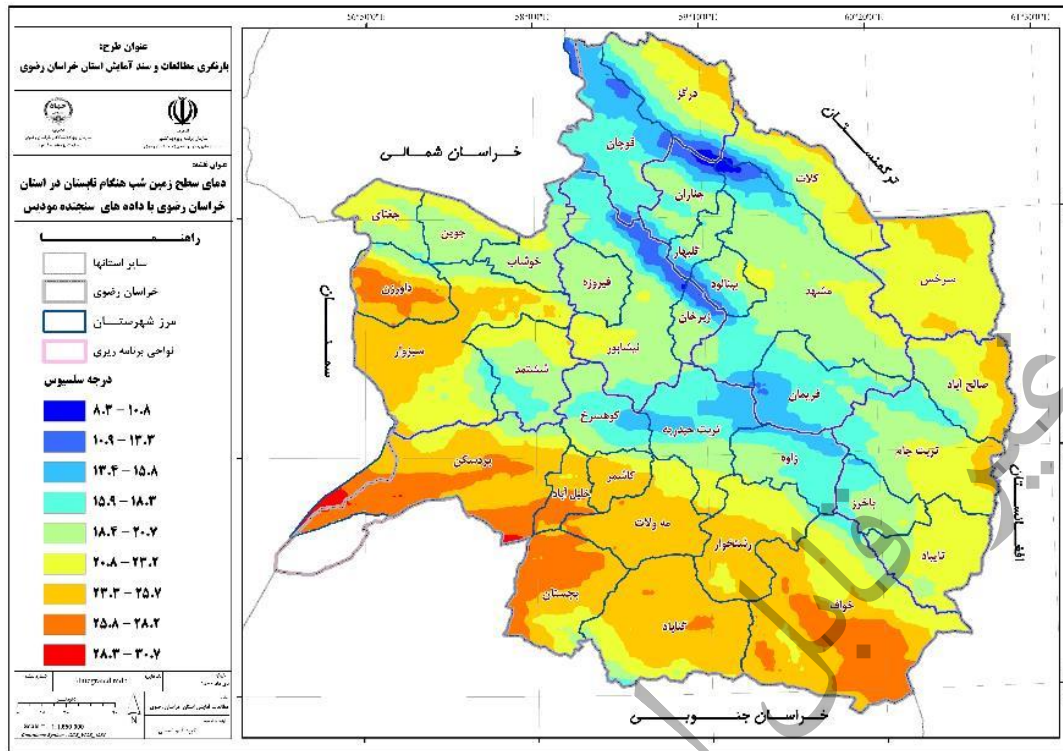




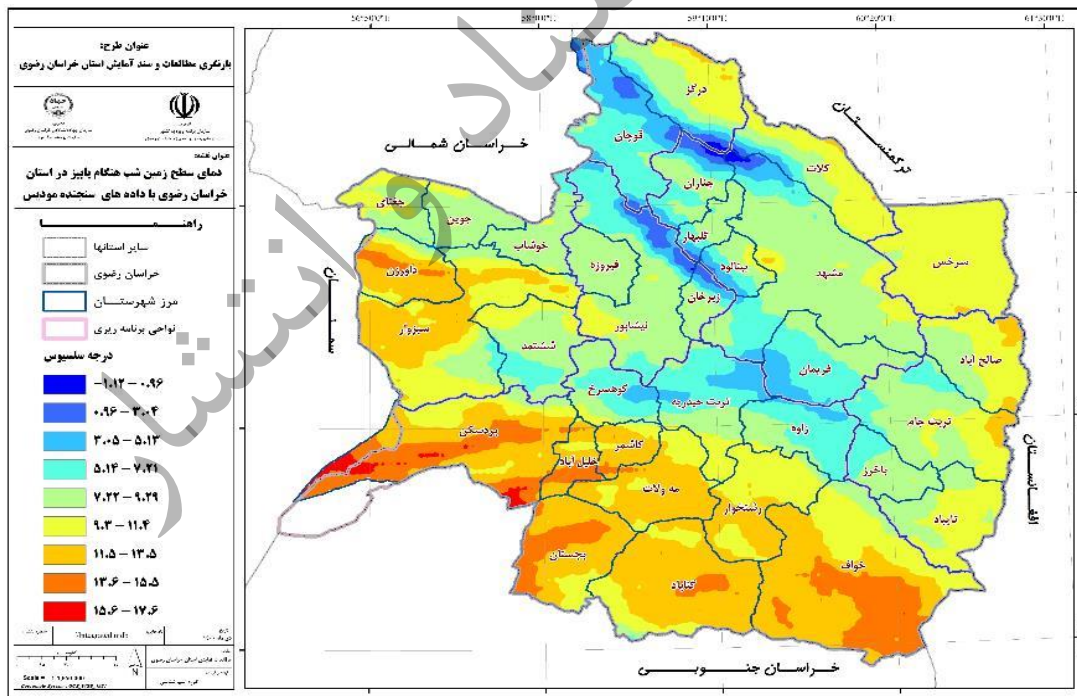
نقشه ۳۱. دمای سطح زمین شب هنگام فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۳۲. دمای سطح زمین شب هنگام فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)

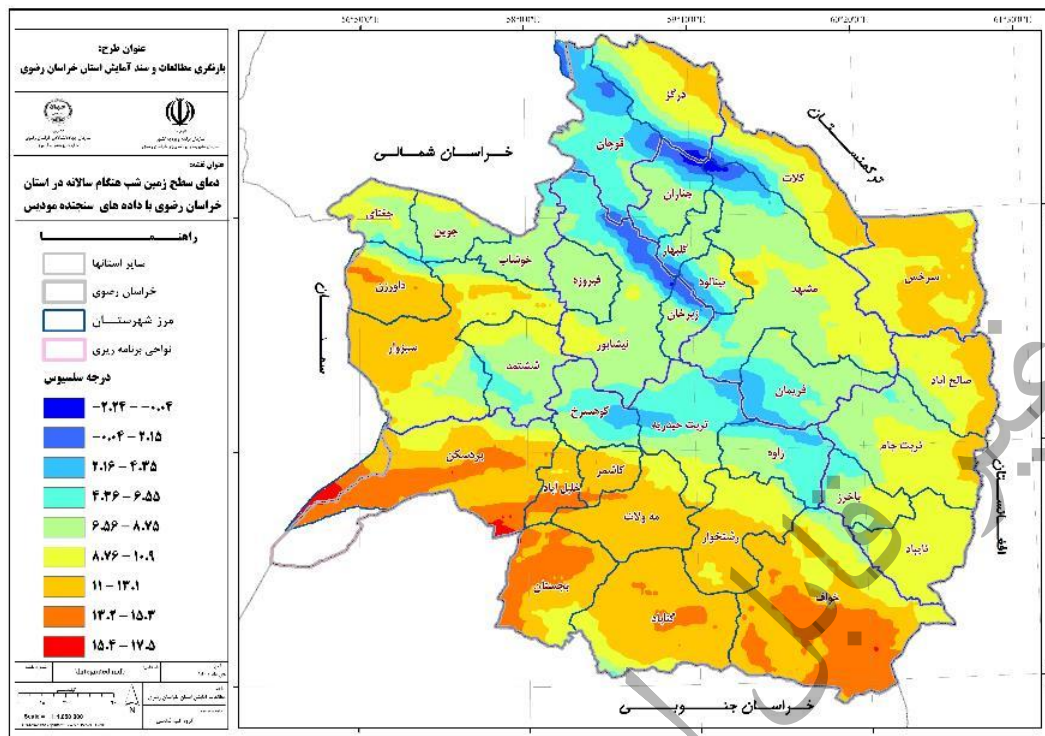


نقشه ۳۳. دمای سطح زمین شب هنگام فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۳۴. دمای سطح زمین شب هنگام فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درجه سلسیوس)





نقشه ۳۵. دمای سطح زمین شب هنگام سالانه در استان خراسان رضوی (یکای: درجه سلسیوس)

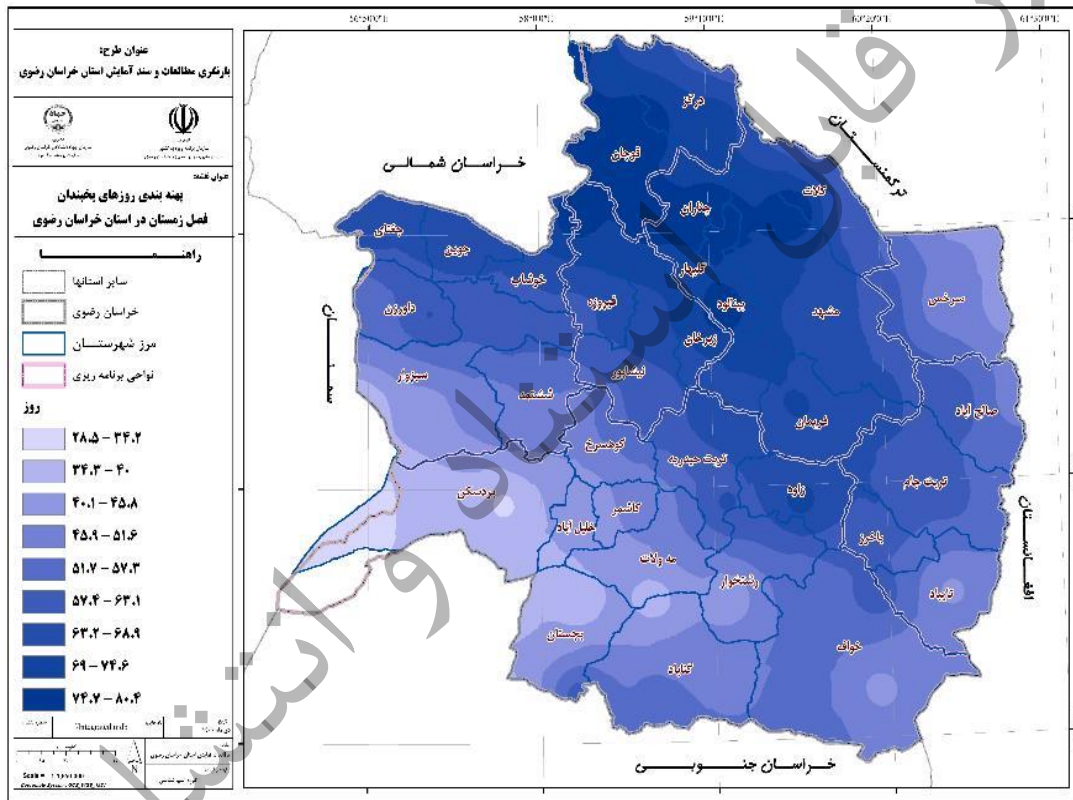
### تحلیل تعداد روزهای یخبندان در استان خراسان رضوی

روزهای یخبندان که با علامت اختصاری استاندارد FD توسط سازمان هواشناسی جهانی تعریف شده است به روزهایی گفته می‌شود که دمای کمینه روزانه کمتر از صفر درجه سلسیوس باشد. مطابق با نقشه های ارائه شده برای متغیرهای دما، تعداد روزهای یخبندان نیز برای هر فصل و مجموع سالانه تهیه و نتایج آن در نقشه های (۳۶ تا ۳۹) ارائه شده است. با توجه به کوهستانی بودن مناطق شمالی استان، بیشینه روزهای یخبندان در تمامی فصول و مجموع سالانه در مناطق شمالی دیده می‌شود. توزیع مکانی روزهای یخبندان در استان خراسان رضوی جهت شمال غربی به جنوب شرقی و منطبق بر ارتفاعات آن دارد. کمینه روزهای یخبندان استان در مناطق جنوبی و بخصوص جنوب شرقی آن دیده می‌شود.

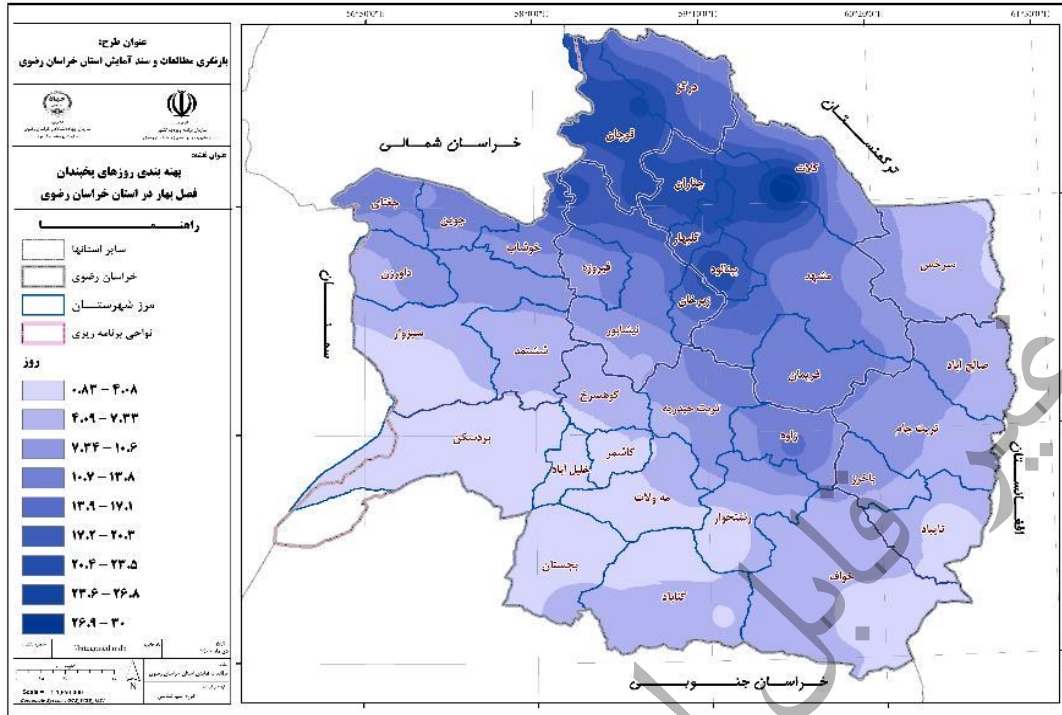
در فصل زمستان روزهای یخبندان بین ۲۸/۵ روز تا ۸۰/۴ روز در تغییر است. بالاترین تعداد روزهای یخبندان در فصل زمستان در شهرستان های قوچان، چناران و کلات دیده می‌شود. در فصل بهار تعداد روزهای یخبندان در مناطق جنوبی و جنوب غربی استان تقریباً دیده نمی‌شود. بطوریکه میانگین ۳۰ ساله تعداد روزهای یخبندان در بردسکن، سبزوار، بجستان، خلیل آباد، کاشمر، مهولات و بخش های شمالی گناباد کمتر از یک روز در فصل است. همانند فصل زمستان بیشینه روزهای یخبندان بهار در مناطق مرتفع و کوهستانی

شمال استان با فراوانی ۳۰ روز دیده می‌شود. هیچ‌یک از مناطق استان در فصل تابستان روز توأم یخبندان ندارد.

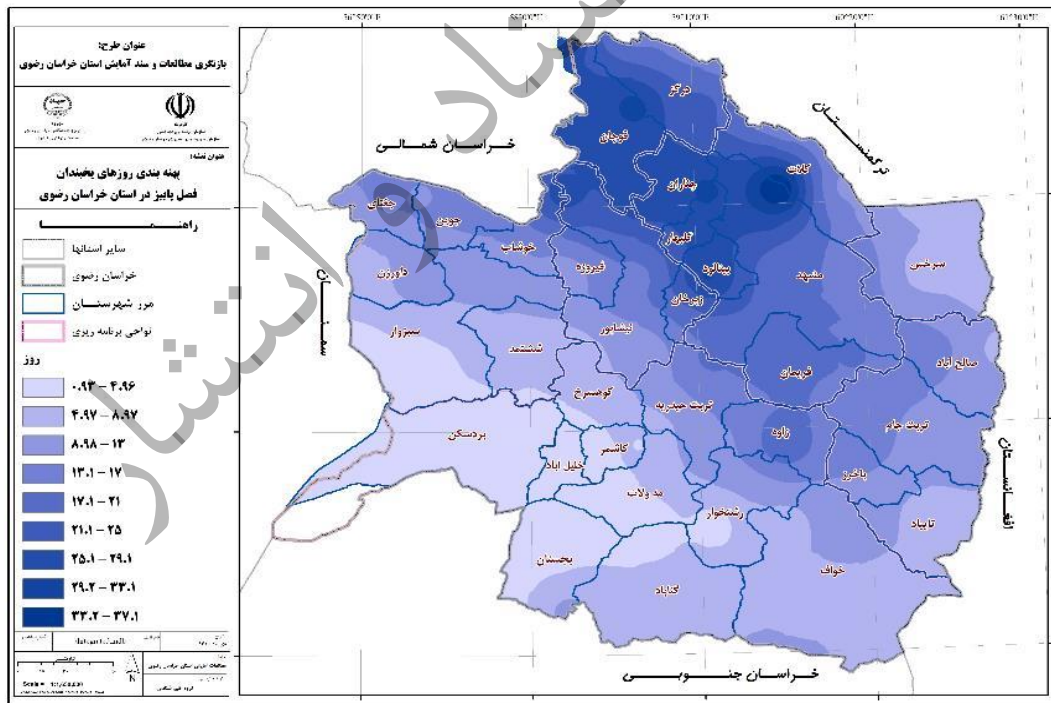
در فصل پاییز روزهای یخبندان حداقل ۰/۹ روز و حداکثر ۳۷/۱ روز به‌دست‌آمده است. بیشینه روزهای یخبندان در منطقه کلات دیده می‌شود و پس‌از آن قوچان و چناران بالاترین فراوانی روزهای یخبندان فصل پاییز را نشان می‌دهند. مجموع تعداد روزهای یخبندان سالانه نیز در نقشه (۳۹) ارائه شده است. مجموع تعداد روزهای همراه با یخبندان در خراسان رضوی حداقل ۳۰ روز و حداکثر ۱۴۸ روز است. عمده مناطقی که تعداد روزهای یخبندان بالاتر از ۱۰۰ روز در سال دارند در مناطق کوهستانی و شمالی استان دیده می‌شوند.



نقشه ۳۶. تعداد روزهای همراه با یخبندان فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: روز)

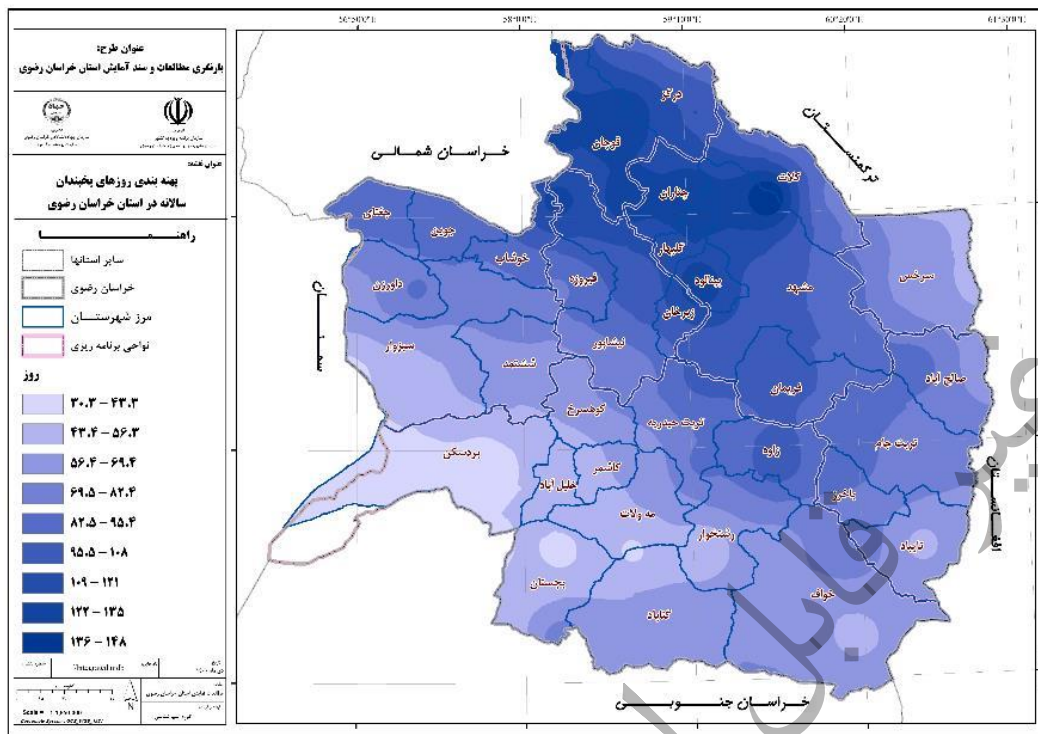


نقشه ۳۷. تعداد روزهای همراه با یخبندان فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکای: روز)



نقشه ۳۸. تعداد روزهای همراه با یخبندان فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکای: روز)





نقشه ۳۹. تعداد روزهای همراه با یخبندان سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: روز)

### فرین‌های دمایی استان خراسان رضوی در ایستگاه‌های همدید منتخب

شاخص‌های فرین دما در سه دسته روزهای سرد و گرم، شب‌های سرد و گرم و روزهای تابستانی و یخبندان مورد بررسی قرار گرفته است. شرح هر یک از شاخص‌ها و نحوه محاسبه آن در جدول (۱۰) و نتایج آن در جدول (۱۱) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که روزهای تابستانی یعنی روزهایی که دمای بیشینه آن بالاتر از ۲۵ درجه سلسیوس است، در تمامی ایستگاه‌های استان بیش‌تر از ۱۴۰ روز در سال است. در این بین ایستگاه‌های سرخس، سبزوار، گناباد و کاشمر با روزهای تابستانی بیش از ۱۸۰ روز بیشترین تعداد روزهای تابستانی را در سطح استان به خود اختصاص داده‌اند. میانگین سالانه روزهای یخبندان در استان خراسان رضوی بین ۳۰/۵۳ روز تا ۹۰/۳۷ روز در ایستگاه‌های سرخس و قوچان در نوسان است. مناطق کوهستانی و شمالی استان همانند قوچان و نیشابور بیشترین تعداد روزهای یخبندان سالانه را به خود اختصاص داده‌اند. بیشینه درصد فراوانی شب‌ها و روزهای سرد در استان خراسان رضوی به ترتیب با ۱۰/۲۸ و ۱۱/۲۶ درصد در ایستگاه‌های کاشمر و سرخس دیده می‌شود. کمینه درصد فراوانی شب‌های سرد در ایستگاه‌های سبزوار،

۱ منظور از فرین (extreme) یا حدی رخدادهای نادر هستند که کران‌های بسیار بالا و پایین از توزیع آماری هر متغیر را می‌گویند. برای مثال بارش‌های خیلی سنگین و خشکسالی جزو رخدادهای فرین متغیر بارش به حساب می‌آیند.

نیشابور و مشهد و کمینه درصد فراوانی روزهای سرد در ایستگاه‌های نیشابور، تربت‌حیدریه و مشهد دیده می‌شوند.

به همین ترتیب شب‌ها و روزهای گرم نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بیشینه درصد فراوانی روزها و شب‌های گرم در استان خراسان رضوی به ترتیب در ایستگاه‌های مشهد و سبزوار اتفاق می‌افتد. بالا بودن بیشینه درصد فراوانی روزهای گرم در شهر مشهد به دلیل زیاد بودن جمعیت و تشکیل جزیره گرمایی در این شهر در طی روز است.

جدول ۱۰. شاخص‌های فرین دما که توسط کارگروه ETCCDI برای محاسبه شاخص‌های فرین توصیه شده‌اند.

یکا	معرفی نمایه	نام نمایه	نمایه
روز	دمای بیشینه روزانه بیشتر از ۲۵ درجه سلسیوس	روزهای تابستانی	SU
روز	دمای کمینه روزانه کمتر از ۰ درجه سلسیوس	روزهای یخبندان	FD
روز	درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد	شب‌های سرد	TN10p
روز	درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد	روزهای سرد	TX10p
روز	درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد	شب‌های گرم	TN90p
روز	درصد روزهایی که دمای حداکثر بیشتر از صدک نودم باشد	روزهای گرم	TX90p

جدول ۱۱. فرین‌های دمایی ایستگاه‌های شاخص هواشناسی همدید استان خراسان رضوی

نام نمایه	گناباد	کاشمر	مشهد	نیشابور	قوچان	سبزوار	سرخس	ت.حیدریه
روزهای تابستانی	۱۸۹/۴۱	۱۸۱/۲۴	۱۶۷/۷	۱۶۷/۴۶	۱۴۰/۲۶	۱۹۱/۹۶	۱۹۴/۱۴	۱۵۶/۵۸
روزهای یخبندان	۴۱/۸۰	۳۳/۲۱	۵۷/۲۴	۸۵/۱۹	۹۰/۳۷	۳۷/۵	۳۰/۵۲	۸۳/۸۳
شب‌های سرد	۹/۷۱	۱۰/۲۸	۹/۳۹	۹/۴۸	۹/۹۸	۹/۳۵	۹/۹۳	۹/۹۹
روزهای سرد	۱۰/۰۵	۱۰/۶۳	۹/۹۶	۹/۸۳	۱۰/۸۳	۹/۹۹	۱۱/۲۶	۹/۹۲
شب‌های گرم	۱۰/۲۳	۱۰/۱۸	۱۰/۷۸	۱۰/۲۶	۱۰/۶۲	۱۰/۸۹	۱۰/۸۷	۱۰/۴۰
روزهای گرم	۱۰/۴۳	۱۰/۲۱	۱۰/۶۳	۱۰/۱۹	۱۰/۴۹	۱۰/۶۱	۱۰/۰۹	۱۰/۴۴



## - پیش‌نگری اقلیمی استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴

تغییر اقلیم یک چالش اساسی برای جامعه بشری و محیط طبیعی است (IPCC, 2014). شواهد نشان از نقش فعالیت‌های انسانی در افزایش دما در مقیاس‌های گوناگون زمانی-مکانی دارد. پیامدهای تغییر اقلیم را می‌توان به‌طور مشخص با تحلیل روند دمای هوا مورد ارزیابی قرار داد. مطابق با آخرین گزارش IPCC میانگین دمای جهانی تا پایان قرن حاضر به‌طور متوسط ۱/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت. هر گونه تغییر در دمای هوا منجر به تغییرات جدی در بودجه انرژی سطحی، تشدید چرخه هیدرولوژیکی، جریان تبخیر-تعرق، افزایش سطح آب دریاها و فرین‌های اقلیمی شده و خطرات ناشی از مشکلات مرتبط با سلامت عمومی را افزایش می‌دهد. بر اساس گزارش‌های IPCC گرمایش اخیر سامانه اقلیم منجر به انحراف از میانگین متغیرهای مختلف جوی مانند دما می‌شود که منجر به افزایش فرین‌های اقلیمی می‌شود. گرم شدن اخیر سامانه اقلیم را می‌توان به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای (GHG) از طریق فعالیت‌های انسان-شناختی نسبت داد. مقدار CO<sub>2</sub> در جو نزدیک، قبل از انقلاب صنعتی حدود ۲۸۰ ppm بود؛ اما این مقدار در سال ۲۰۱۶ به ۴۰۳/۳ ppm افزایش یافته است. مطابق با ششمین گزارش ارزیابی اقلیم زمین (AR6)، هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) افزایش میانگین دمای جهانی مشاهده شده را ۱/۰۹ درجه سلسیوس بین سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۲۰ نسبت به آغاز انقلاب صنعتی (۱۹۰۰-۱۸۵۰) برآورد کرده است (IPCC, 2021). بر اساس گزارش ویژه IPCC به نام گزارش SR1.5، افزایش دما تا پایان قرن حاضر (۲۱۰۰ میلادی) به ۱/۵ درجه سلسیوس خواهد رسید. IPCC گزارش ویژه‌ای را در مورد مدیریت خطرات ناشی از حوادث فرین و بلایای مربوط به تغییر اقلیم (SREX) برای پرداختن به چالش‌های جهانی ناشی از تغییر اقلیم انجام داد که نشان داد برخی از نقاط جهان که قبلاً و یا در حال حاضر تجربه فرین‌های اقلیمی را دارند؛ فرین‌های اقلیمی روند افزایشی در طول قرن ۲۱ خواهند داشت (IPCC, 2012). لذا بررسی تغییرات سالانه و دهه‌ای میانگین دما در سطح منطقه‌ای بسیار مهم است. همچنین درک این مسئله مهم است که دما و بارش چگونه در مقیاس‌های زمانی مختلف تغییر می‌کنند تا بر اساس آن بتوان تصمیمات آگاهانه‌ای در رابطه با توسعه اقتصادی و برنامه‌های اقدام اقلیمی اتخاذ کرد.

مدیریت منابع آب در استان خراسان رضوی و حتی در کشور از مقیاس محلی تا منطقه‌ای در شرایط متغیر اقلیم یک چالش اساسی است؛ که سیستم مدیریتی ایران امروزه با آن روبه‌رو است. به دلیل عدم قطعیت‌های قابل توجه در مورد سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای آینده در جو، ارائه چشم‌اندازی مناسب از شرایط اقلیمی آینده می‌تواند راهگشای الگوهای مدیریتی بسیاری باشد.

استان خراسان رضوی با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی خود می‌تواند در برابر حوادث فرین اقلیمی در آینده آسیب‌پذیر باشد. لذا مطالعات بهنگام با عدم قطعیت پایین می‌تواند نقش تأثیرگذاری را در برنامه‌های مدیریتی آتی این استان داشته باشد. از منظری دیگر ارائه پیش‌آگاهی‌های اقلیمی با کمترین مقدار عدم قطعیت برای برنامه‌های راهبردی و الگوهای مدیریتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یک روش معمول برای مقابله با عدم قطعیت بالای مدل‌ها، گزینش مدلی با کمترین مقدار اریبی است. در این رویکرد از توانایی مدل

برای شبیه‌سازی دوره تاریخی با توجه به مشاهدات ایستگاهی و داده‌های باز تحلیل‌شده استفاده می‌شود. دلیل اصلی این رویکرد این است که مدل‌هایی که قادر به بازتولید وردایی اقلیم طی دوره مشاهداتی هستند، می‌توانند در پیش‌آگاهی وضعیت آینده شرایط بهتری داشته باشند.

#### داده‌ها و روش‌های مورد استفاده برای پیش‌نگری اقلیمی استان تا افق ۱۴۲۴

پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده (CMIP) با هماهنگی بین مراکز مختلف برای استانداردسازی GCMها به‌عنوان یک داده مینا در مطالعات مربوط به تغییر اقلیم در سطح جهان به انجام رسیده است. نسل جدید پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده با عنوان CMIP6 معرفی شده است. مدل‌های موجود در CMIP6 بهبود زیادی نسبت به سایر نسخه‌ها تجربه کرده و عدم قطعیت را نسبت به CMIP5 و CMIP3 کاهش داده‌اند. بر این اساس در این مطالعه نیز آخرین مدل‌های تغییر اقلیم موجود در سطح جهانی برای بررسی شرایط اقلیمی آینده استان خراسان رضوی استفاده شده است. مدل‌های مورد استفاده در این طرح پژوهشی در جدول (۱۲) آمده و تصحیح اریبی این داده‌ها با روش تصحیح مرتبه متوالی ( Sequential Elevation Correction: SEC) با استفاده از داده‌های واحد تحقیقات اقلیمی (CRU) انجام شده است.

جدول ۱۲. مدل‌های CMIP6 منتخب

مدل	موسسه سازنده	تفکیک افقی
GFDL-ESM4	آزمایشگاه دینامیک-شاره‌های ژئوفیزیکی آمریکا	$0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$
IPSL-CM6A-LR	موسسه پیر سیمون لاپلاس فرانسه	$0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$
MPI-ESM1-2-HR	مدل سامانه زمین موسسه ماکس پلانک آلمان	$0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$
MRI-ESM2-0	موسسه تحقیقات هواشناسی ژاپن	$0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$
UKESM1-0-LL	مرکز هدلی، اداره هواشناسی انگلستان	$0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$

سناریوهای مختلف SSP بکار رفته در CMIP6 تغییرات اقتصادی-اجتماعی جهان را تا سال ۲۱۰۰ پیش-نگری می‌کنند. پنج سناریو اصلی با علامت‌های اختصاری SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0، SSP4-6.0 و SSP5-8.5 در CMIP6 بکار رفته‌اند. در نام‌گذاری سناریوهای جدید از الگوی SSPx-y استفاده شده است. در این الگو x نشان‌دهنده گروه SSP و y نشان‌دهنده واداشت تابشی ( $W/m^2$ ) در سال ۲۱۰۰ است. از زمان توافق پاریس سناریوی انتشار کم کربن مورد توجه بیشتری قرار گرفت. بنابراین اهمیت سناریوهای گروه اول SSP بر اساس مفاد توافق‌نامه پاریس است (زرین و داداشی رودباری، ۱۳۹۹). در این پژوهش از سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6) و بدبینانه (SSP5-8.5) برای پیش‌نگری اقلیمی استان تحت شرایط تغییر اقلیم استفاده شد.

تولید مدل همادی<sup>۱</sup> از مدل‌های تصحیح‌شده اریبی CMIP6

برای کاهش عدم قطعیت مدل‌ها، میانگین و یا ترکیبی از برونداد چندین مدل در پیش‌نگری‌های اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه از روش میانگین وزنی با رویکرد مستقل ( $IWM^2$ ) استفاده شد که وابستگی بین مدل‌های تعریف‌شده را با استفاده از کوواریانس خطاهای مدل نشان می‌دهد. روش IWM در حقیقت ترکیب خطی یک مجموعه از شبیه‌سازی‌های مدل است که میانگین اختلاف مربع (MSD) را با توجه به مشاهدات به حداقل می‌رساند (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰). این روش همانند رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\sum_{j=1}^J (\mu_e^j - y^j)^2 \text{ where } \mu_e^j = w^T x^j = \sum_{k=1}^K w_k x_k^j \quad (1)$$

در رابطه (۱)  $(1, \dots, j, \dots, J)$  گام‌های زمانی مقادیر روزانه بارش و دما و  $(1, \dots, k, \dots, K)$  GCM‌های منتخب CMIP6 در این مطالعه هستند. مقدار بارش و دمای همادی شده مدل‌های چندگانه و  $j$ th گام زمانی مدل و  $y^j$  نشان‌دهنده گام زمانی داده مشاهداتی است.  $w$  وزن هر مدل از مجموعه مدل‌های همادی و در نهایت  $x^j$  ضریب مدل در ترکیب خطی است. سپس در گام بعدی برای اطمینان از اینکه  $\sum_{k=1}^K w_k = 1$  گردد از ضریب لاگرانژ مطابق با رابطه (۲) استفاده شد.

$$F(w, \lambda) = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (\mu_e^j - y^j)^2 \right] - \lambda \left( \left( \sum_{k=1}^K w_k \right) - 1 \right) \quad (2)$$

در رابطه (۲)  $w$  بر اساس رابطه (۳) محاسبه شد.

$$w = \frac{A^{-1}1}{1^T A^{-1}1} \quad (3)$$

در رابطه (۳)  $1^T = [1, 1, \dots, 1]$ ; برآورد مبتنی بر نمونه کوواریانس خطاهای تصحیح‌شده اریبی بین همه اعضای مدل همادی است (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰). در نهایت مقدار  $A$  نیز از رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$A = \frac{\sum_{j=1}^J (x^j - y^j)(x^j - y^j)^T}{J-1} \quad (4)$$

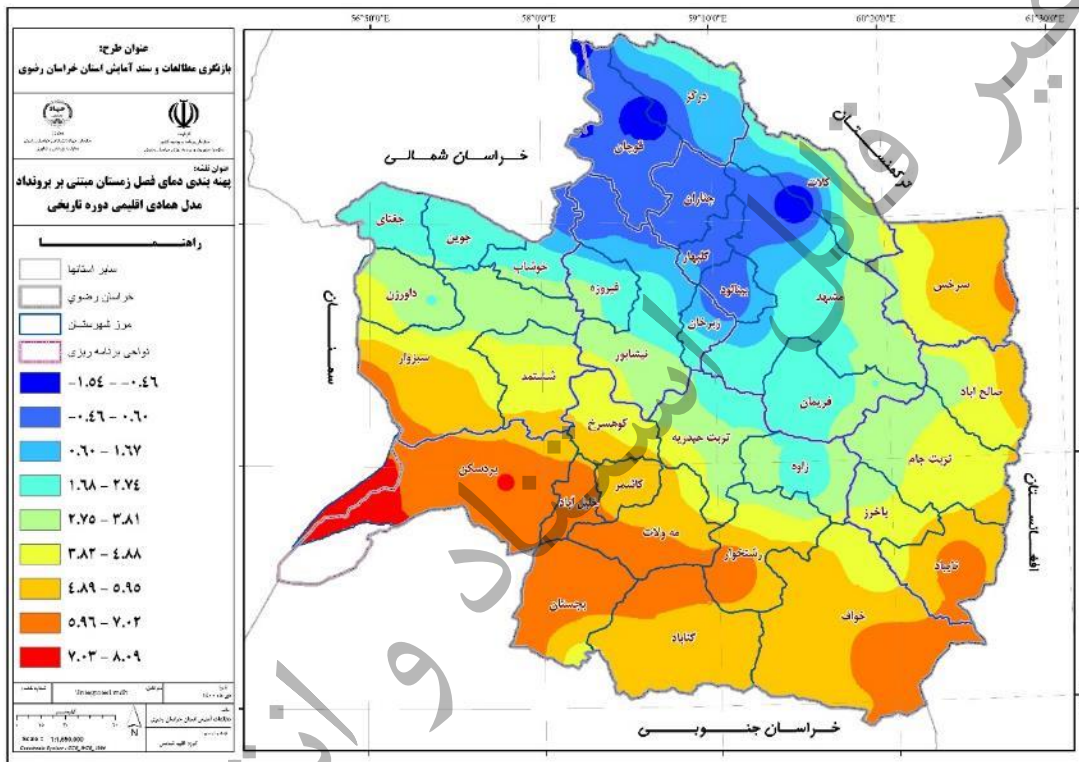
## پیش‌نگری میانگین دما استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴

مدل‌های اقلیمی نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای بیش برآوردی و کم‌برآوردی هستند. چرا که عدم قطعیت ذات مدل‌ها است و در این زمینه کارهای مختلفی برای کاهش عدم قطعیت این مدل‌ها انجام می‌شود که در این تحقیق از دو روش تصحیح اریبی و تولید مدل همادی استفاده شده است. دمای فصلی دوره تاریخی مدل‌ها که در ادامه ارائه شده است بر اساس خروجی مستقیم مدل است و طبیعتاً با داده‌های اندازه‌گیری شده دما که پیش‌تر ارائه شده تفاوت‌هایی دارد.

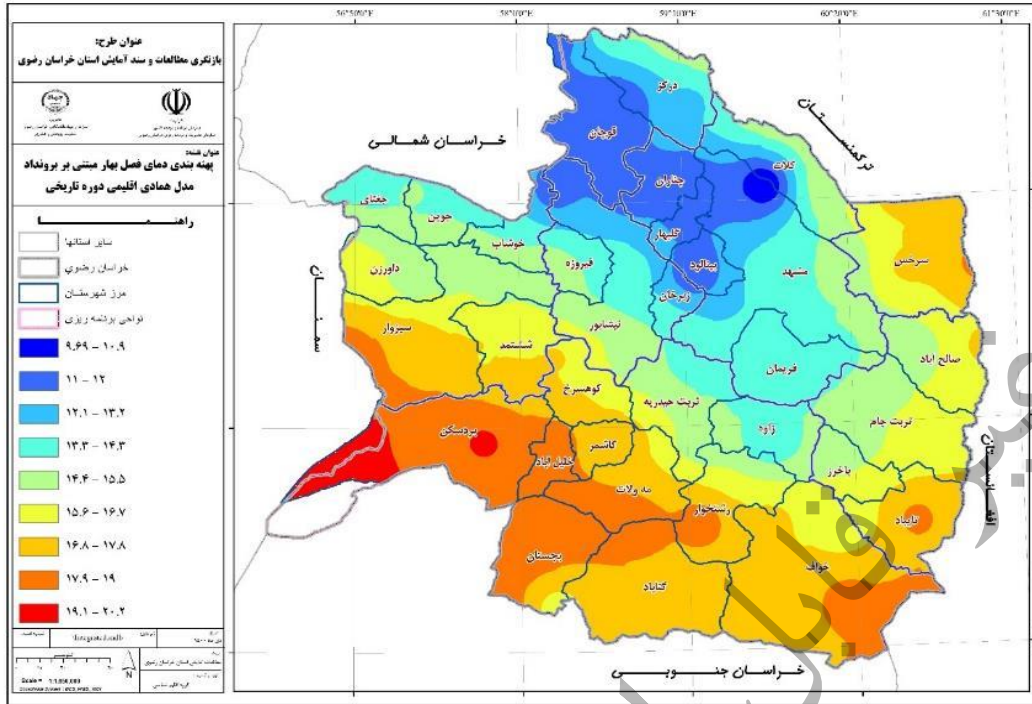
1 Ensemble

2 Independence Weighted Mean (IWM)

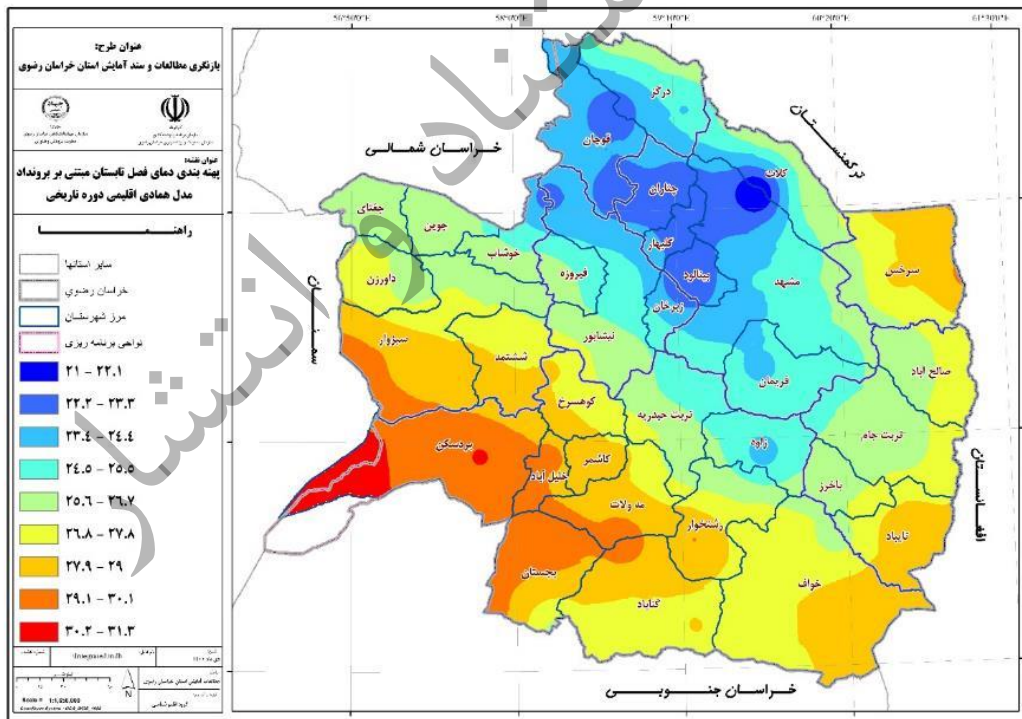
بر اساس خروجی مدل همادی تولید شده (CMIP6-MME) برای سه دهه گذشته دمای استان خراسان رضوی در فصل زمستان بین  $-1/54$  تا  $8/09$  درجه سلسیوس، فصل بهار  $9/69$  تا  $20/2$  درجه سلسیوس، فصل تابستان بین  $21$  تا  $31/3$  درجه سلسیوس و فصل پاییز بین  $9/81$  تا  $20/9$  درجه سلسیوس به دست آمده است. توزیع فضایی دما نیز همانند داده‌های مشاهداتی است، بطوریکه خروجی مدل‌های اقلیمی نیز کمینه دما را در مناطق شمالی استان و بیشینه دما را در مناطق جنوبی استان ارائه داده‌اند. همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد دمای استان دارای یک شیب افزایشی شمال به جنوب است (نقشه‌های  $40$  تا  $43$ ).



نقشه ۴۰. دمای میانگین دوره تاریخی مدل همادی CMIP6، فصل زمستان (یکا: درجه سلسیوس)

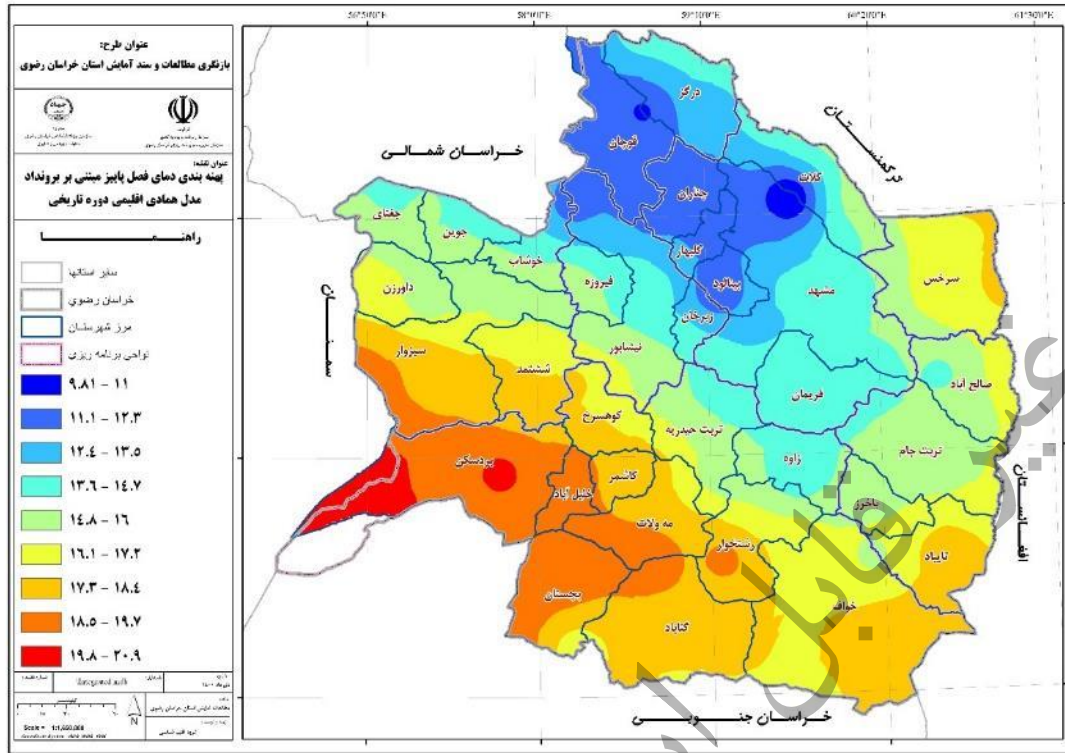


نقشه ۴۱. دمای میانگین دوره تاریخی مدل همادی CMIP6 ، فصل بهار (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۴۲. دمای میانگین دوره تاریخی مدل همادی CMIP6، فصل تابستان (یکا: درجه سلسیوس)





نقشه ۴۳. دمای میانگین دوره تاریخی مدل همادی CMIP6، فصل پاییز (یکا: درجه سلسیوس)

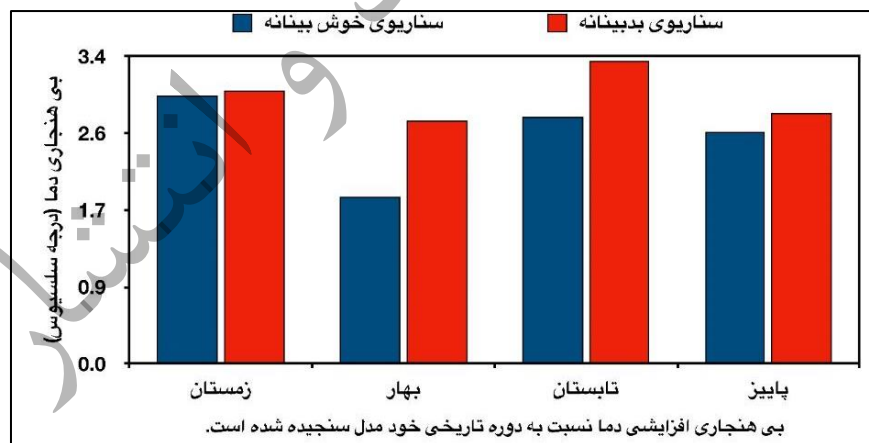
بی‌هنجاری میانگین دما در استان خراسان رضوی مبتنی بر برونداد مدل همادی (CMIP6-MME) در شکل (۱۵) و نقشه‌های (۴۴ تا ۵۱) تحت دو سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) و بدبینانه (SSP5-8.5) نشان داده شده است. برونداد مدل تحت شرایط تغییر اقلیم تا افق ۱۴۲۴ برای استان خراسان رضوی نشان داده است که دما در این استان روند سراسر افزایشی خواهد داشت. بیشینه بی‌هنجاری افزایشی دما در مناطق غربی استان دیده می‌شود بطوریکه در فصل تابستان بر اساس برونداد سناریوی بدبینانه (SSP5-8.5) دما در این منطقه از استان ۳/۴۸ درجه سلسیوس بیش‌تر از دوره تاریخی است (شایان‌ذکر است که بی‌هنجاری مدل‌های تغییر اقلیم نسبت به دوره تاریخی خود مدل سنجیده می‌شود که پیش‌تر نیز توضیح داده شده است).

طی فصول زمستان و بهار بیشینه بی‌هنجاری دما در استان خراسان رضوی در مناطق غربی و تا شمال غربی استان و بخصوص در شهرستان‌های سرخس، کلات و بخش‌های شرقی شهرستان مشهد دیده می‌شود. در مقابل مناطق غربی استان کمینه روند افزایشی دما را در این فصل تجربه خواهند کرد. در فصل پاییز بی‌هنجاری دما بر اساس سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) حداکثر ۲/۷۵ درجه سلسیوس افزایش و بر اساس نتایج سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) حداکثر ۲/۹۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. مناطق شمالی استان در این فصل کمینه بی‌هنجاری مثبت دما را با ۲/۴۱ و ۲/۶۸ درجه سلسیوس به ترتیب برای سناریوی

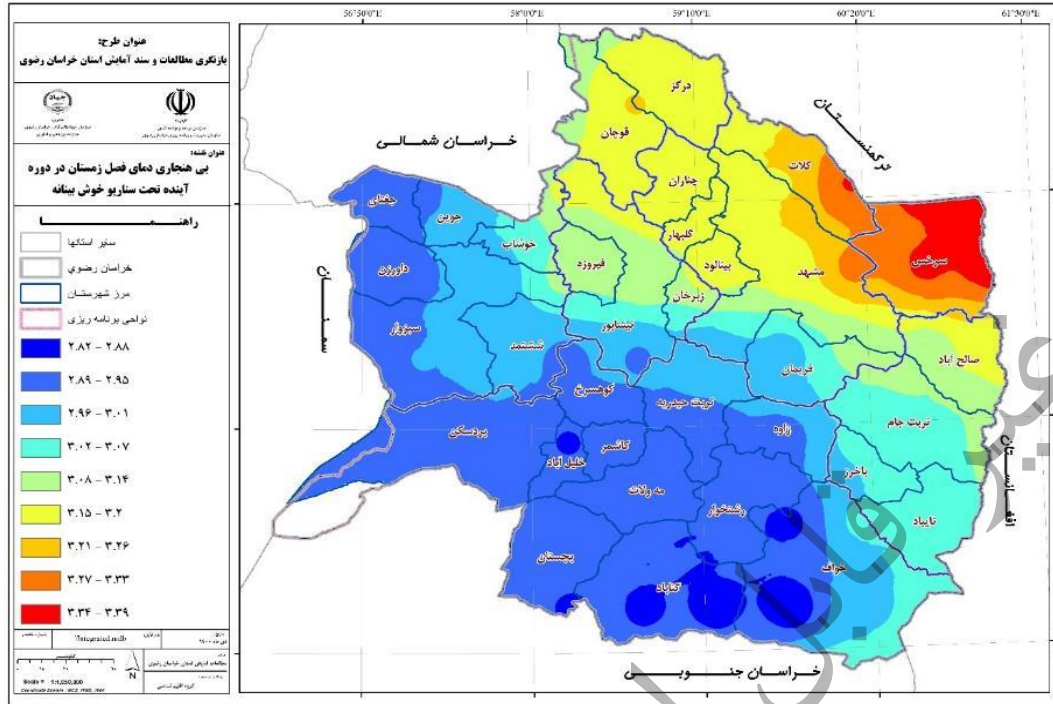


خوش بینانه و بدبینانه نشان دادند. توزیع فضایی بی‌هنجاری دما در فصل تابستان الگویی متقارن همانند دو فصل پیشین را ندارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در فصل تابستان، دمای میانگین در استان خراسان رضوی تحت سناریو خوش بینانه (SSP1-2.6) افزایشی بین ۲/۶۴ تا ۲/۸۰ درجه سلسیوس را تجربه خواهد کرد. افزایش دما برای سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) در این فصل افزایش بسیار قابل توجهی خواهد داشت بطوریکه کمینه افزایش دما در استان بر اساس نتایج سناریو بدبینانه ۳/۱۸ و بیشینه افزایش آن ۳/۴۸ درجه سلسیوس خواهد بود که تهدید بسیار جدی در استان خراسان رضوی است.

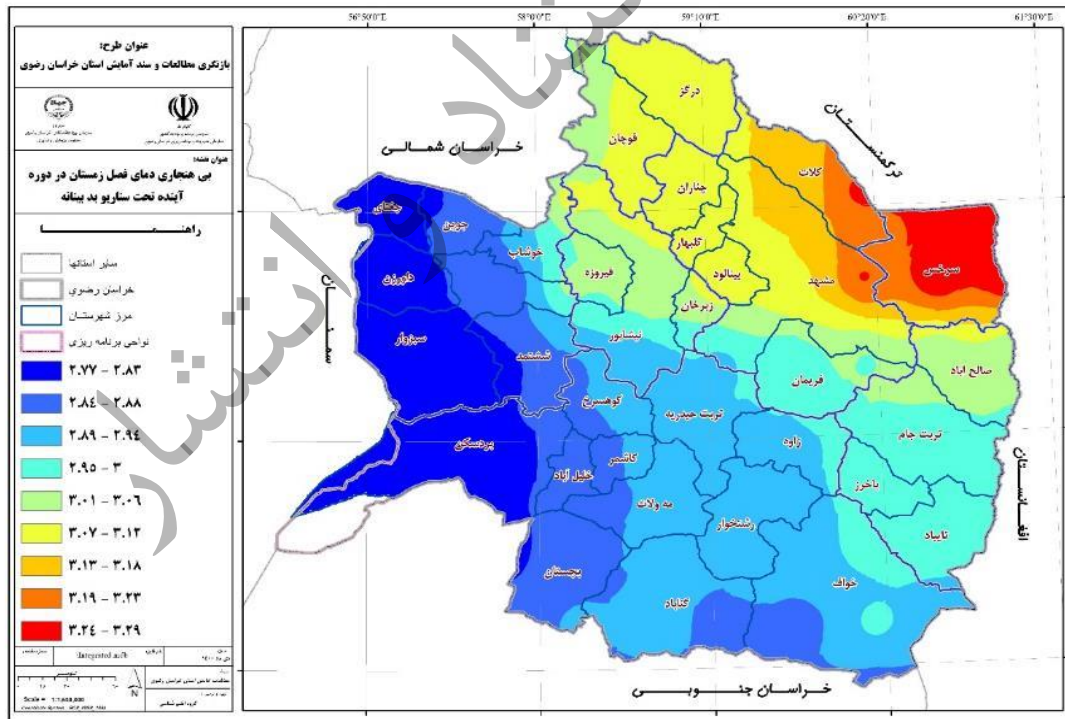
برای درک بهتر تغییرات دما در استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴ بی‌هنجاری دما برای متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی محاسبه و در شکل (۱۵) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل نیز دیده می‌شود و پیش‌تر نیز توضیح داده شد بیشینه افزایش دما در استان خراسان رضوی در فصل تابستان تحت سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) است. بطوریکه متوسط دما برای متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی افزایش ۳/۳۴ درجه سلسیوسی را نشان داده است. نتیجه بسیار مهمی که برای دمای استان خراسان رضوی تحت شرایط تغییر اقلیم آینده به‌دست‌آمده است، افزایش قابل توجه دما در فصل زمستان است. بطوریکه دمای متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی در فصل زمستان از فصول بهار و پاییز بیش‌تر است. این افزایش دما یک تهدید بسیار جدی برای اقلیم استان است. بطوریکه این شرایط می‌تواند تأثیر بسیار جدی روی بارش برف، ذخیره آن در مناطق کوهستانی و همچنین پوشش گیاهی و تنوع زیستی استان شود. دمای فصل زمستان برای متوسط پهنه‌ای تحت سناریو خوش بینانه (SSP1-2.6) افزایش ۲/۹۶ درجه سلسیوس و برای سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) افزایش ۳/۰۲ درجه سلسیوس را نشان داده است. همچنین در بین فصول برای متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی بهار کمینه افزایش دما را تجربه خواهد کرد.



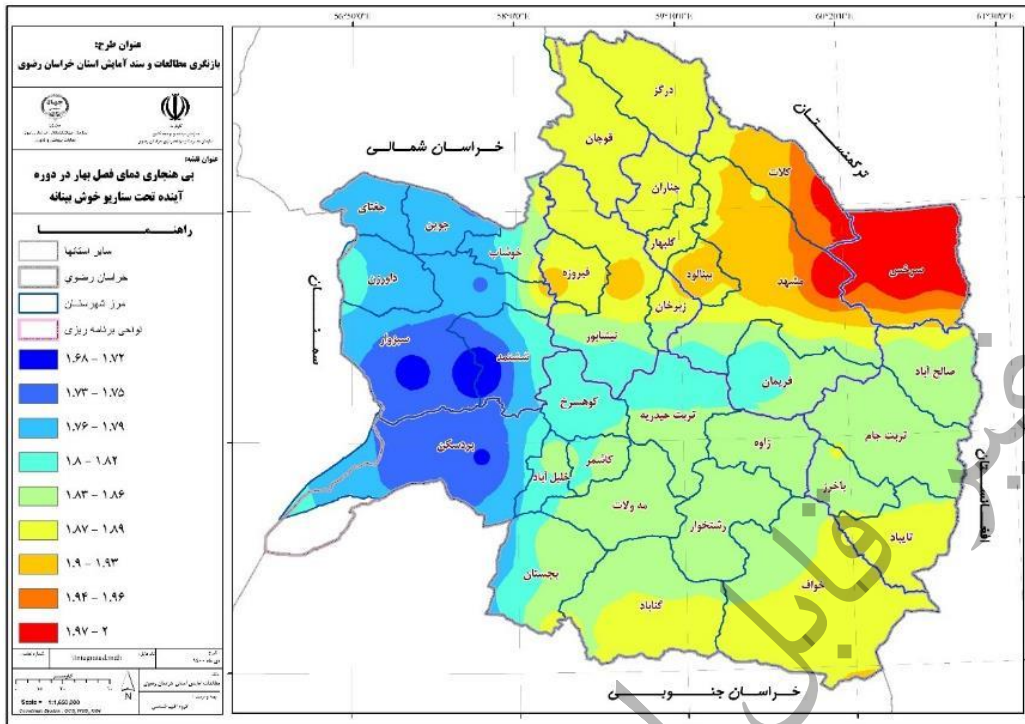
شکل ۱۵. بی‌هنجاری دمای فصلی در متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)



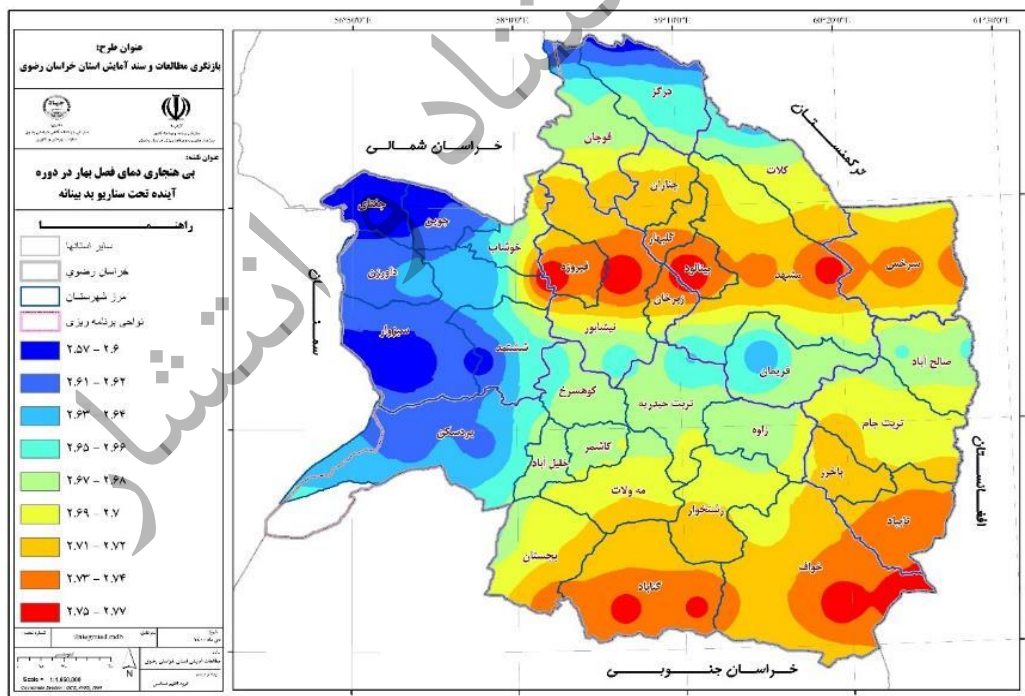
نقشه ۴۴. بی هنجاری دمای فصل زمستان تحت سناریو خوش بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۴۵. بی هنجاری دمای فصل زمستان تحت سناریو بد بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)

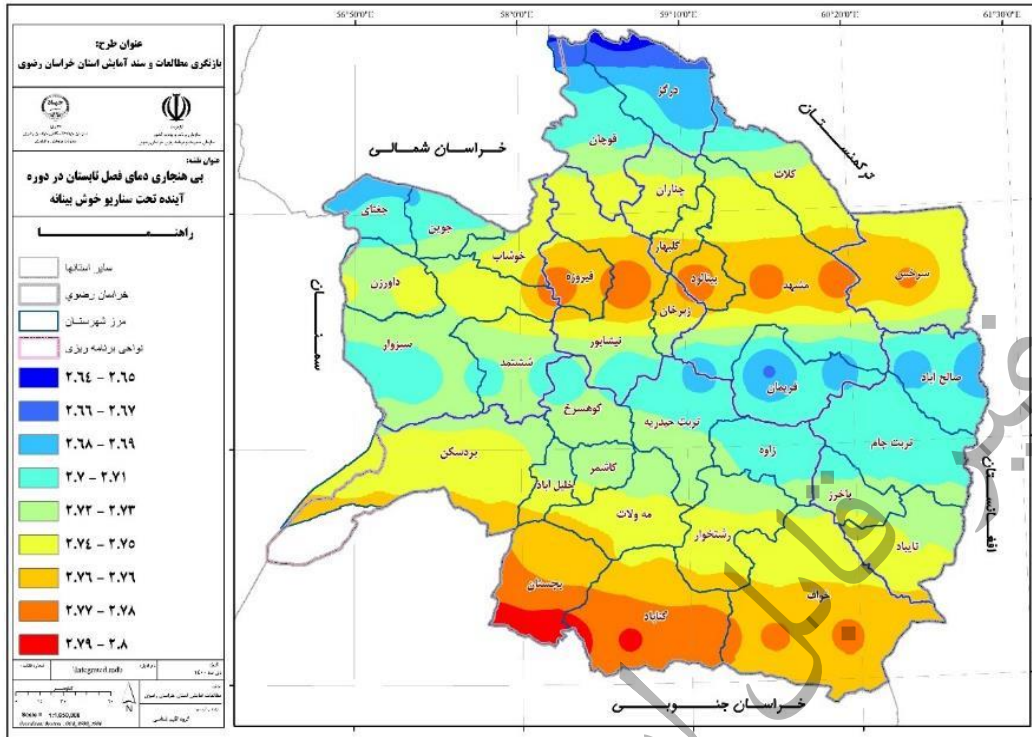


نقشه ۴۶. بی هنجاری دمای فصل بهار تحت سناریو خوش بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یک: درجه سلسیوس)

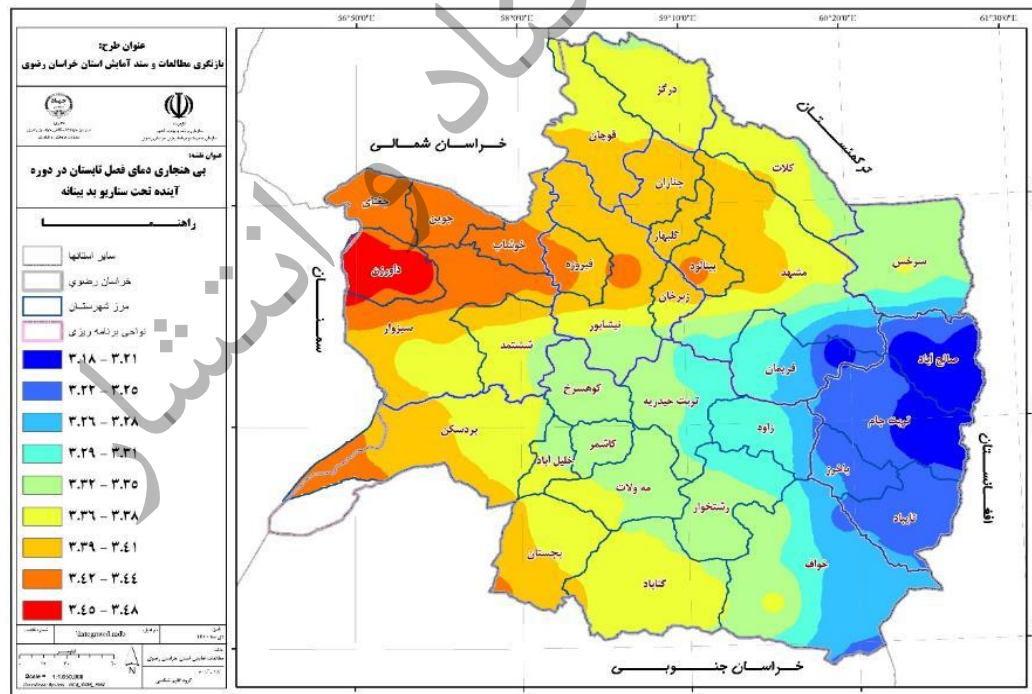


نقشه ۴۷. بی هنجاری دمای فصل بهار تحت سناریو بد بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یک: درجه سلسیوس)

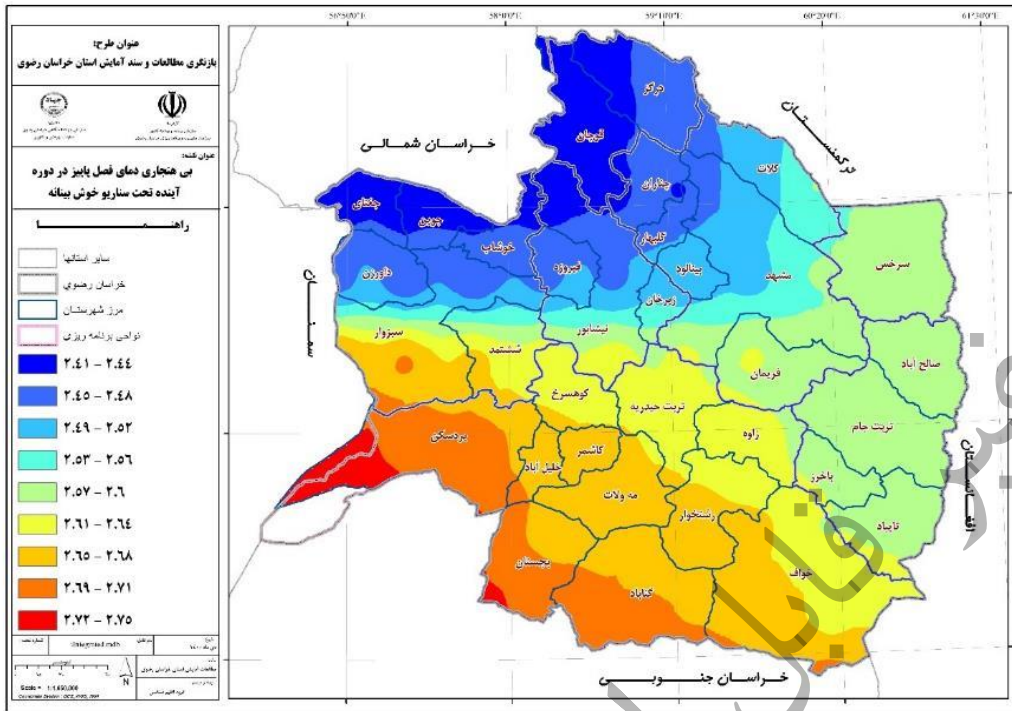




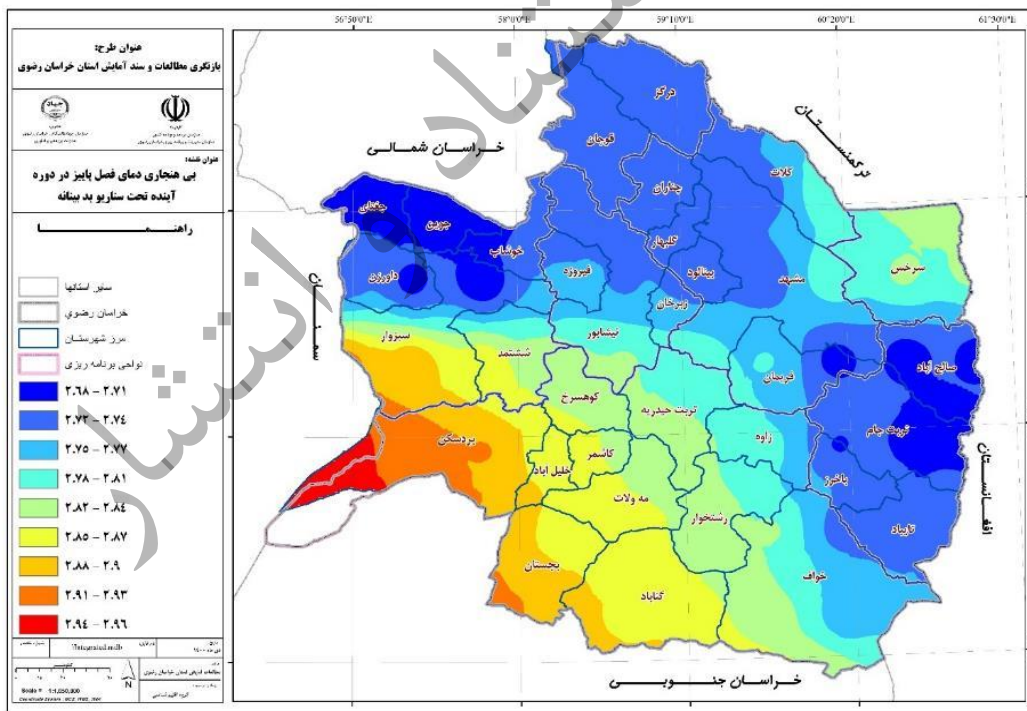
نقشه ۴۸. بی‌هنجاری دمای فصل تابستان تحت سناریو خوش‌بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۴۹. بی‌هنجاری دمای فصل تابستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۵۰. بی‌هنجاری دمای فصل پاییز تحت سناریو خوش بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)



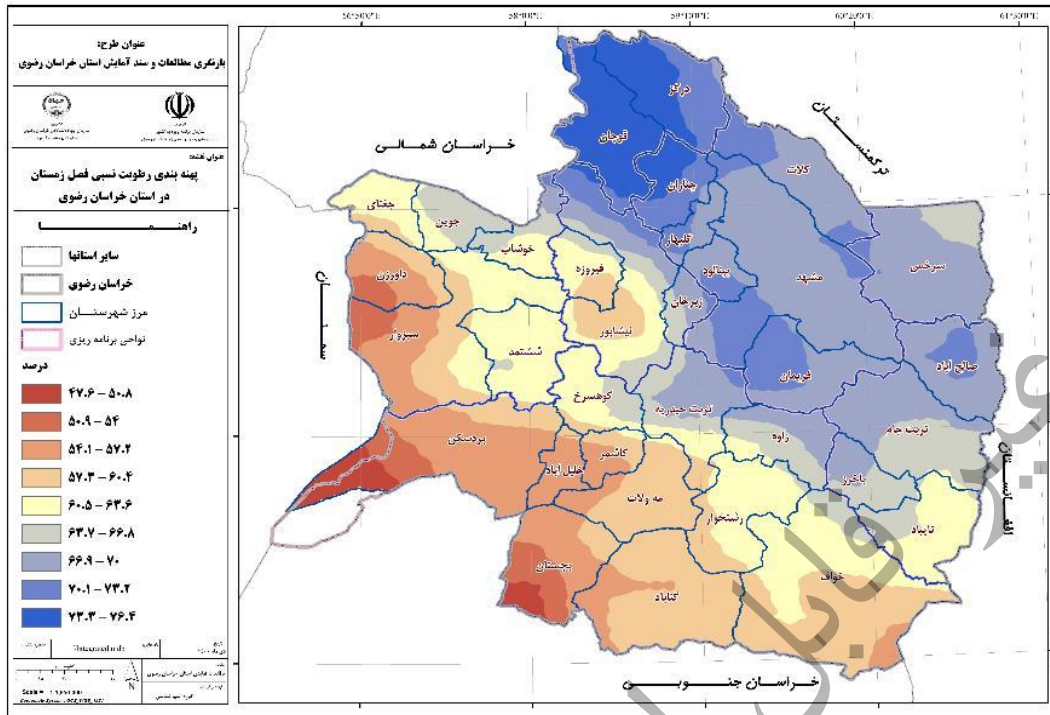
نقشه ۵۱. بی‌هنجاری دمای فصل پاییز تحت سناریو بد بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)



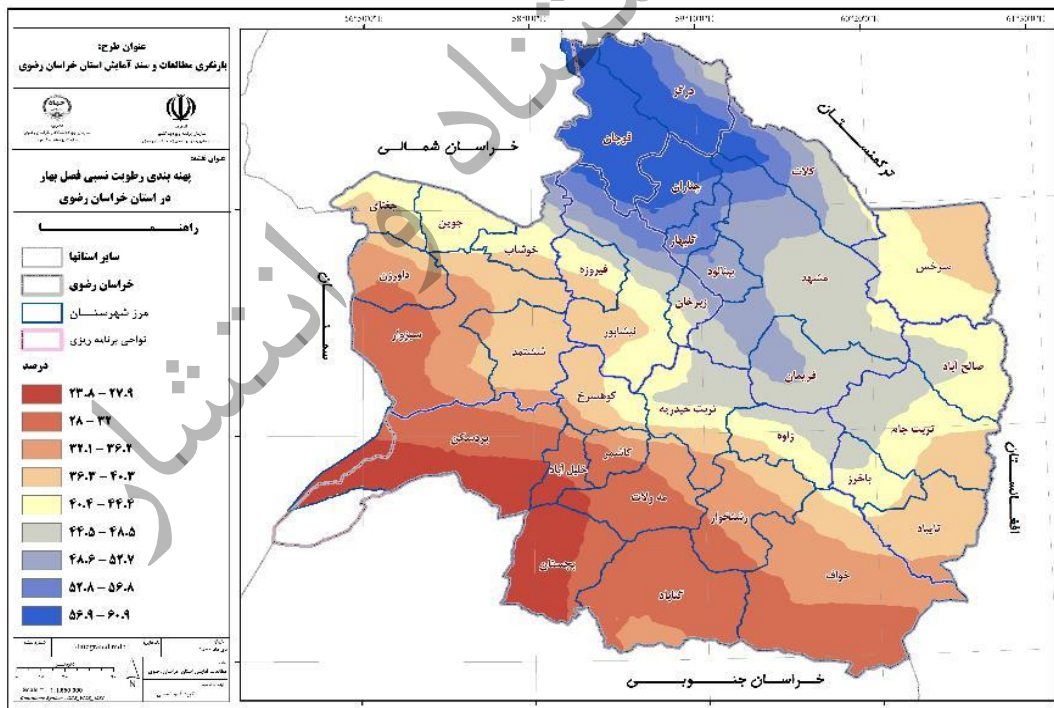
## ۲-۲-۴- تحلیل رطوبت، بارش، تبخیر-تعرق، پوشش ابر

## تغییرات زمانی-مکانی رطوبت نسبی در استان خراسان رضوی

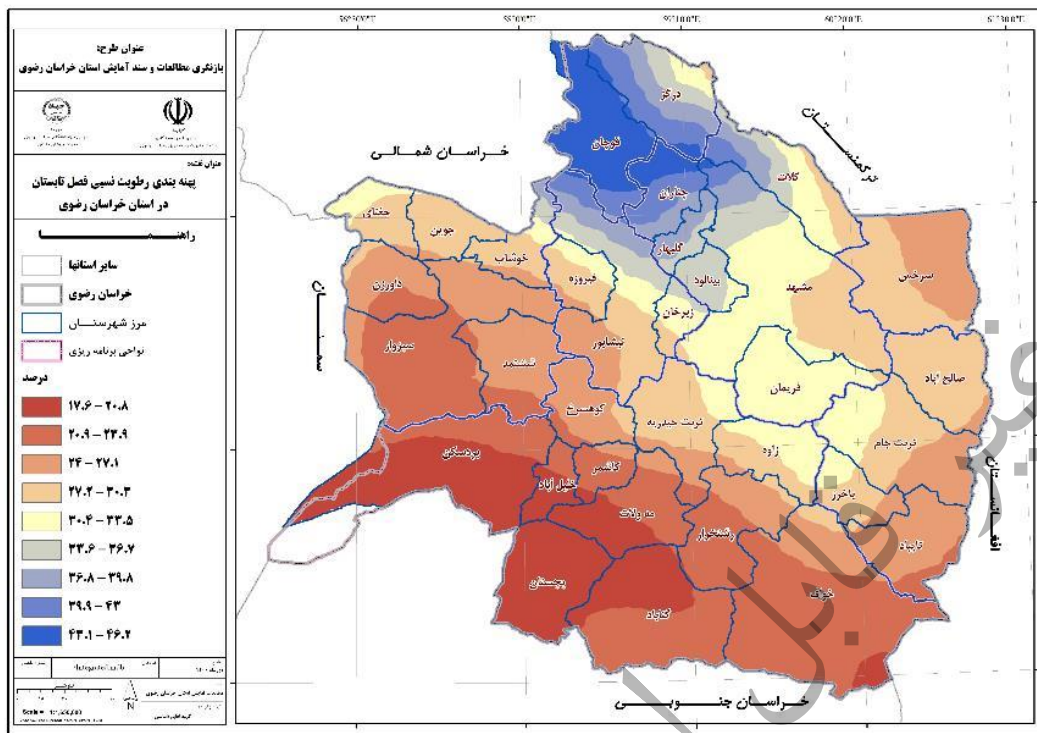
استان خراسان رضوی به دلیل دوری از مراکز رطوبتی مهم که در بارش ایران نقش دارند. دارای رطوبت نسبی پایینی است. میانگین سالانه رطوبت نسبی که در نقشه های (۵۲ تا ۵۶) نشان داده شده است، نشان از فقر رطوبتی زیاد در بخش های بزرگی از استان در مناطق جنوبی، شرقی، جنوب شرقی، غرب و جنوب غربی استان است. بطوریکه رطوبت نسبی در مناطق یاد شده برای میانگین سالانه کمتر از ۵۰ درصد است. حداقل رطوبت نسبی سالانه استان ۳۲/۹ درصد و حداکثر آن ۶۲ درصد در مناطق شمالی استان دیده می شود. فصل زمستان که پر بارش ترین فصل استان نیز نمی باشد رطوبت نسبی در مناطق غربی استان بسیار پایین است. بطوریکه کمینه رطوبت نسبی در منطقه بردسکن و گوشه جنوبی غربی بجنستان با ۴۷/۶ درصد دیده می شود. رطوبت نسبی در استان خراسان رضوی از شرق به غرب و شمال به جنوب روند کاهشی دارد. بیشینه رطوبت نسبی در فصل زمستان ۷۶/۶ درصد است که در قوچان، درگز و چناران قابل مشاهده است. با گرم تر شدن هوا رطوبت نسبی نیز در استان روند کاهشی دارد. بطوریکه بیشینه رطوبت نسبی در فصل بهار در استان خراسان رضوی کاهش ۱۵/۷ درصدی را نشان داده و به ۶۰/۹ درصد رسیده است. کمینه رطوبت نسبی نیز کاهش چشمگیری را در فصل بهار نشان داده است. بطوریکه در بجنستان، خلیل آباد و بردسکن مقدار آن به ۲۳/۸ درصد رسیده است. روند کاهشی رطوبت نسبی در فصل تابستان نیز با شیب تندی ادامه دارد در این فصل رطوبت نسبی در استان خراسان رضوی حداکثر به ۴۶/۲ درصد می رسد که در مناطق شمالی استان در قوچان، چناران و درگز قابل مشاهده است. کمینه رطوبت نسبی نیز در بجنستان، بردسکن، خلیل آباد، گناباد و مهولات با مقدار ۱۷/۶ درصد دیده می شود. پراکنش جغرافیایی رطوبت نسبی در فصل پاییز همانند سه فصل قبلی است. رطوبت نسبی در این فصل بین ۳۹/۵ درصد در جنوب غربی تا ۶۶/۶ درصد در مناطق شمالی استان در نوسان است.



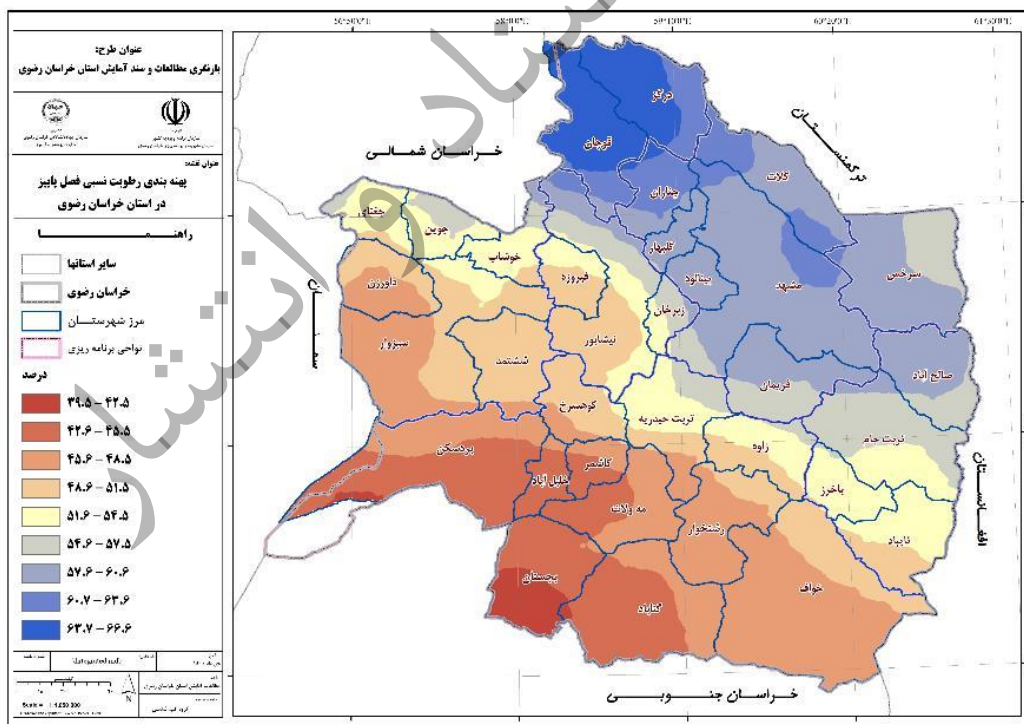
نقشه ۵۲. رطوبت نسبی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)



نقشه ۵۳. رطوبت نسبی فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)

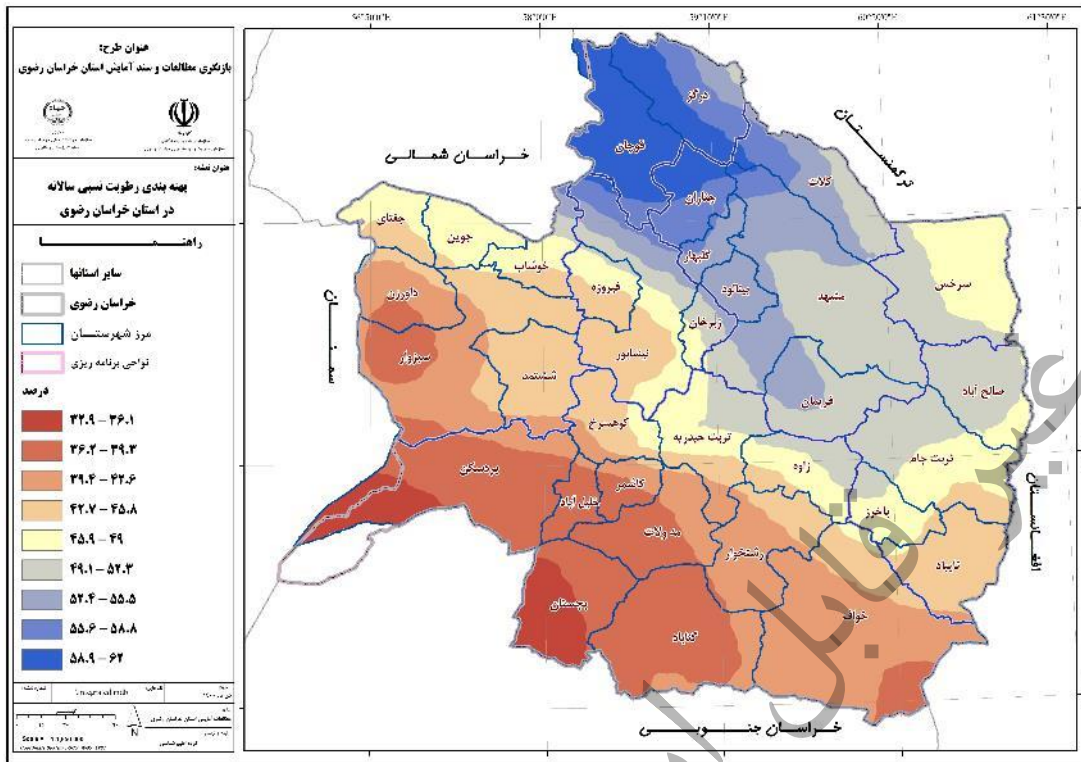


نقشه ۵۴. رطوبت نسبی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)



نقشه ۵۵. رطوبت نسبی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)





نقشه ۵۶. رطوبت نسبی سالانه در استان خراسان رضوی (بکا: درصد)

بررسی وضعیت رطوبتی استان خراسان رضوی نشان داده است که بخش‌های بزرگی از استان بخصوص در بخش‌های جنوبی آن دارای کمبود رطوبت است. بطوریکه کلی رطوبت نسبی در استان خراسان رضوی تابع ارتفاعات و عرض جغرافیایی است. بطوریکه شیب تند کاهش رطوبت بین شمال و جنوب استان دیده می‌شود. کمبود رطوبت در بخش‌های جنوبی استان نشان‌دهنده کاهش ابرناکی در این مناطق است و هر چند که این کاهش رطوبتی باعث خشکی هوا می‌شود اما از این محدودیت اقلیمی می‌توان به‌عنوان یک فرصت برای توسعه انرژی‌های پاک همانند نیروگاه‌های خورشیدی استفاده کرد.

#### پراکنش بارش فصلی و سالانه در استان خراسان رضوی

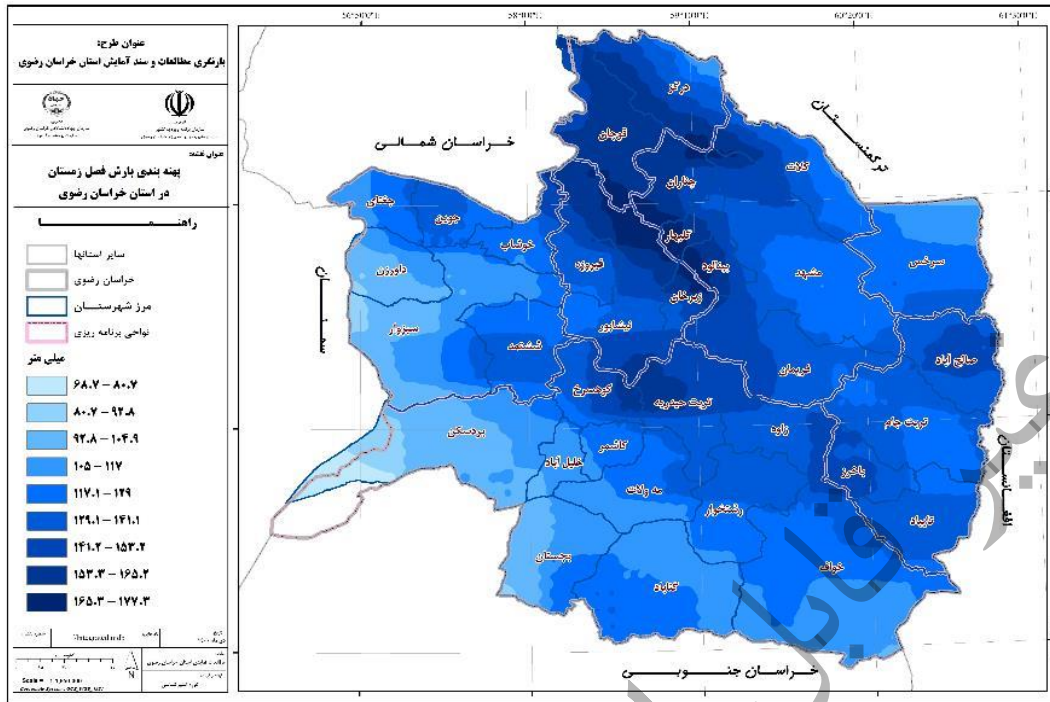
برای آشکارسازی بهتر تغییرات درون سالی بارش استان خراسان رضوی در دوره نرمال اقلیمی ۳۰ ساله (۱۳۶۹-۱۳۹۹) مجموع بارش فصلی و سالانه تهیه و نتایج آن در نقشه‌های (۵۷ تا ۶۱) ارائه شده است. بر اساس نقشه‌های ترسیمی مقدار بارش خراسان رضوی دارای تغییرپذیری بالایی است. برخلاف ساختار مکانی دما که دارای شیب افزایشی شمال به جنوب است؛ اما برای بارش شیب تغییرات افزایشی از جنوب به شمال است. بیشینه بارش استان در فصل زمستان  $128/70$  میلی‌متر است. کمینه مقدار بارش استان نیز در فصل تابستان و بخصوص در مناطق جنوب‌شرقی و مرکزی استان برابر با صفر است. همان‌طور که پیش‌تر برای دمای استان خراسان رضوی بحث شد به دلیل حاکمیت پرفشار جنب‌حاره‌ای و نبود شرایط صعود توده‌های

هوا و عبور سامانه‌های بارشی برای مناطق یادشده تقریباً هیچ بارشی در این مناطق از استان خراسان رضوی رخ نمی‌دهد. الگوی بیشینه بارش در دو رشته کوه کپه داغ- هزار مسجد و آلا داغ- بینالود دارای اوج زمستانه است.

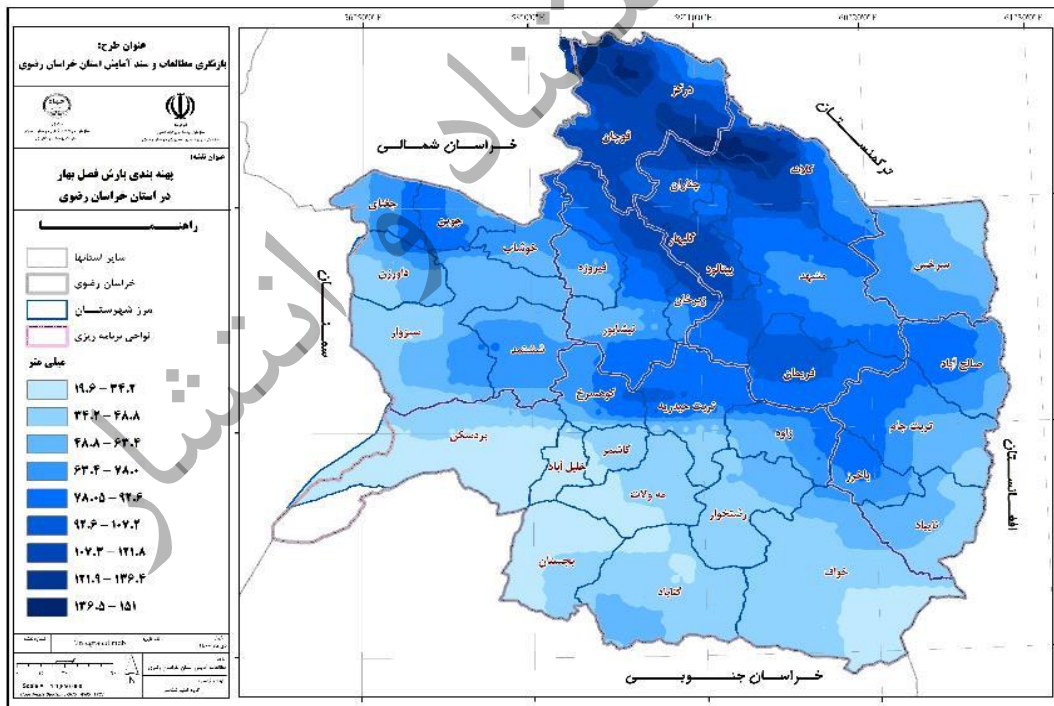
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های اقلیمی استان، میانگین بارش خراسان رضوی در مقیاس سالانه ۲۴۹/۸۴ میلی‌متر است. اوج بارش‌های استان همان‌طور که گفته‌شده در فصل زمستان دیده می‌شود که بیش از ۵۱ درصد کل بارش سالانه استان را شامل می‌شود. پس از فصل زمستان بهار ۶۶/۸۱ میلی‌متر، ۲۶ درصد از مجموع بارش سالانه استان را شامل می‌شود. به همین ترتیب پاییز نیز با ۵۰/۱۷ میلی‌متر، ۲۰ درصد از بارش سالانه استان و در نهایت تابستان با مجموع بارش ۴/۱۵ میلی‌متر، کمتر از ۲ درصد (۱/۶۶ درصد) بارش استان را دارا است. بارش‌های استان خراسان رضوی در فصل بهار عمدتاً ناشی از بارش‌های همرفتی است. بطوریکه در نقشه (۵۸) نیز برای بارش فصل بهار نشان داده شده است کانون اصلی بارش‌ها منطبق بر ارتفاعات استان است. در فصل تابستان بارش استان در بیش از ۸۰ درصد از مناطق کمتر از ۵ میلی‌متر است. بیشینه بارش‌های تابستانه در قوچان، درگز و کلات دیده می‌شود. پاییز پس از زمستان و بهار سومین فصل پر بارش استان خراسان رضوی است. بارش در این فصل حداقل ۲۵ میلی‌متر و حداکثر ۹۶ میلی‌متر در پهنه‌های مختلف استان خراسان رضوی به‌دست‌آمده است.

اختلاف بین مناطق کم بارش (مناطق شرقی و جنوبی استان) و پر بارش (مناطق شمالی) چشمگیر است (۳۲۰ میلی‌متر در سال). شایان ذکر است که رطوبت بارش‌های استان از دریای مدیترانه، دریای سیاه و دریای سرخ تأمین می‌شود که همانند دما نقش سامانه‌های همدیدی در بارش استان چشمگیر است. الگوهای پر بارش استان خراسان رضوی در دو کانون قابل‌مشاهده است که هر دوی این مناطق منطبق بر ارتفاعات هستند. این دو کانون پر بارش استان عبارت‌اند از ۱- مناطق شمالی استان شامل شهرستان‌های قوچان و کلات؛ ۲- منطقه بین چناران، گل‌بهار و بینالود. منطقه اول پر بارش‌ترین پهنه در استان خراسان رضوی است.

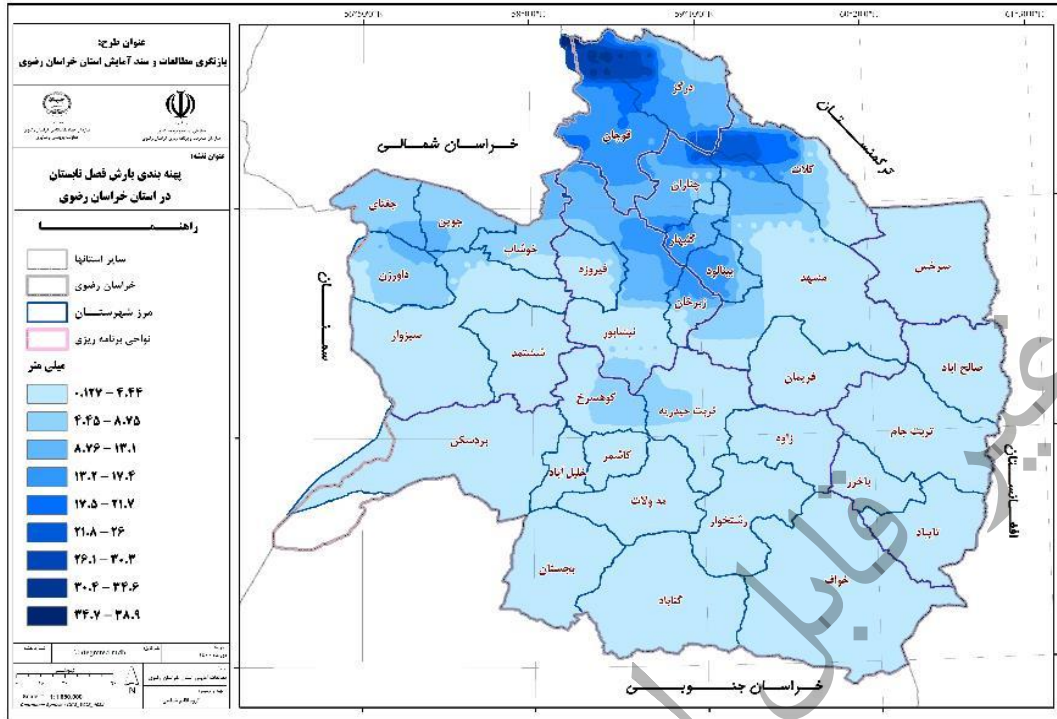




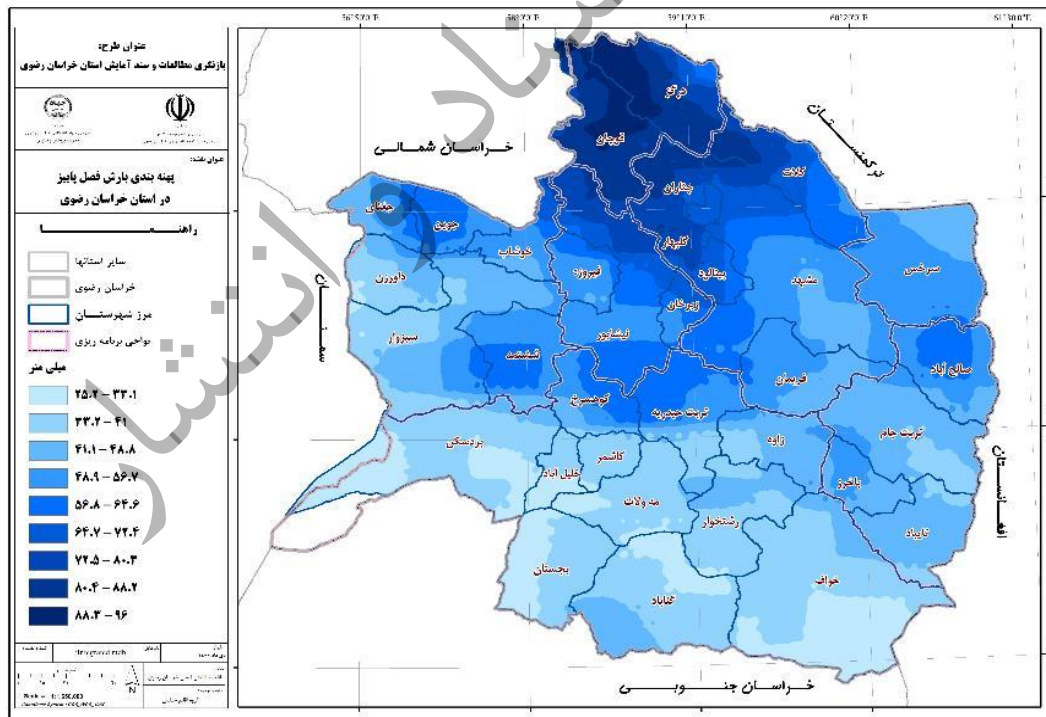
نقشه ۵۷. مجموع بارش فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر)



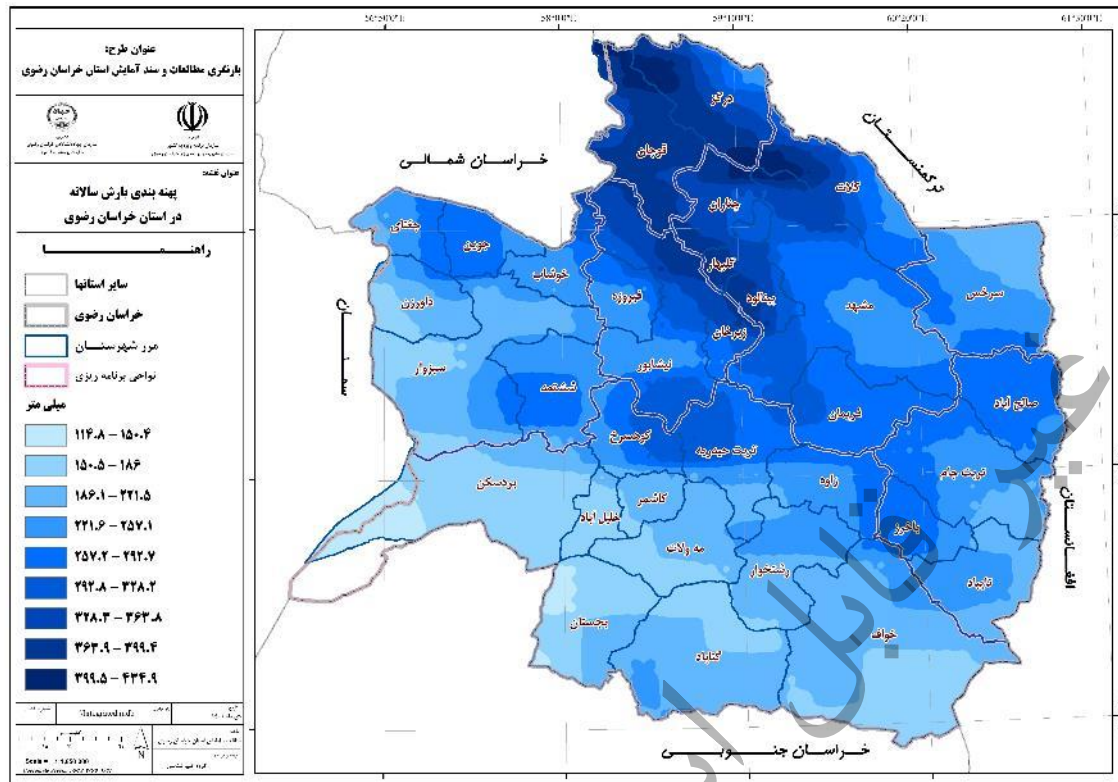
نقشه ۵۸. مجموع بارش فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر)



نقشه ۵۹. مجموع بارش فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر)



نقشه ۶۰. مجموع بارش فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر)

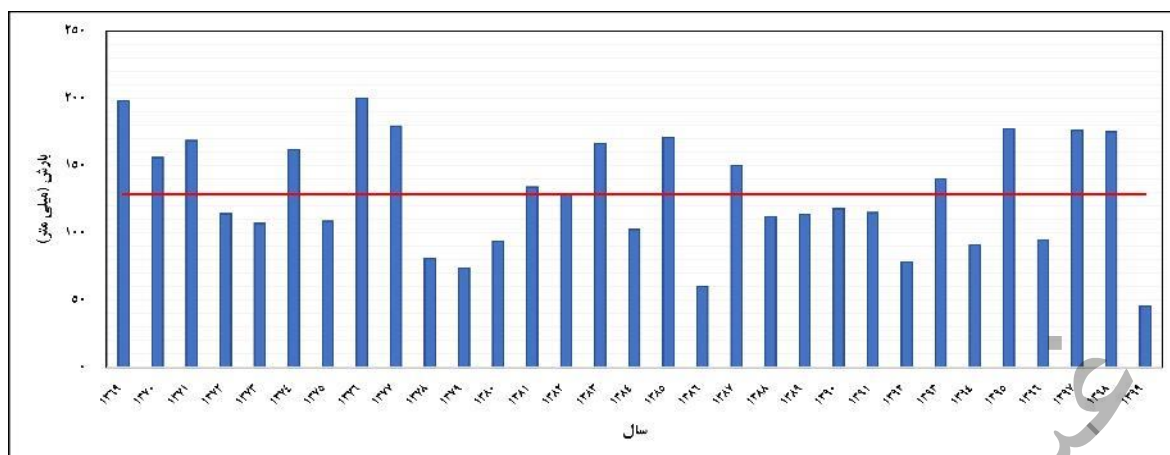


نقشه ۶۱. مجموع بارش سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر)

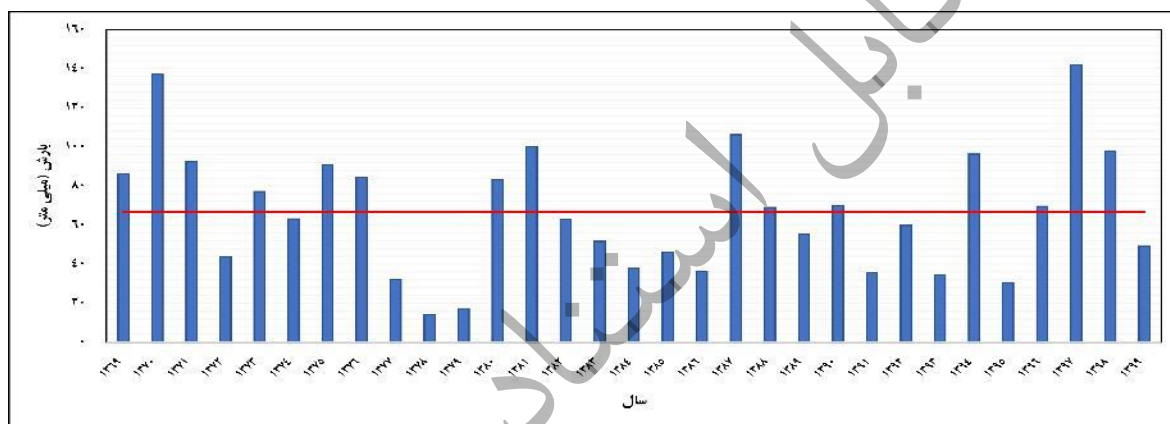
### روند بارش فصلی و سالانه استان خراسان رضوی

روند بارش همانند دما از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. شناخت دقیق روند بارش می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در مطالعات آب، کشاورزی، صنعت، گردشگری، محیط‌زیست و بسیاری از جنبه‌های طبیعی و انسانی داشته باشد. بررسی روند بارش برای متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی در شکل‌های (۱۸ تا ۲۲) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌ها نیز دیده می‌شود روند بارش دارای افت‌وخیز بسیاری در سطح استان است و مقدار بارش در سال پایانی (۱۳۹۹) در کل استان کاهش قابل توجهی را نشان داده است. بررسی متوسط روند پهنه‌های بارش در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که بارش در مقیاس سالانه کاهش ۱۸/۳۸ میلی‌متر را به ازای هر دهه داشته است. به همین ترتیب بارش در فصل زمستان کاهش ۱۲/۴۴ میلی‌متر/دهه، فصل بهار کاهش ۳/۴۰ میلی‌متر/دهه، فصل تابستان کاهش ۰/۶۵ میلی‌متر/دهه و در نهایت فصل پاییز کاهش ۲/۱۴ میلی‌متر/دهه را نشان می‌دهند.

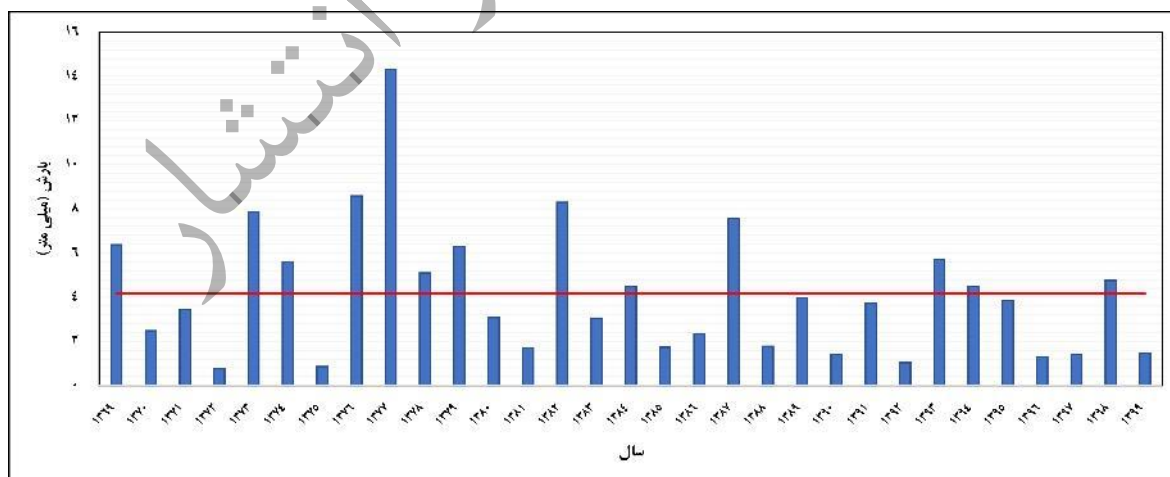




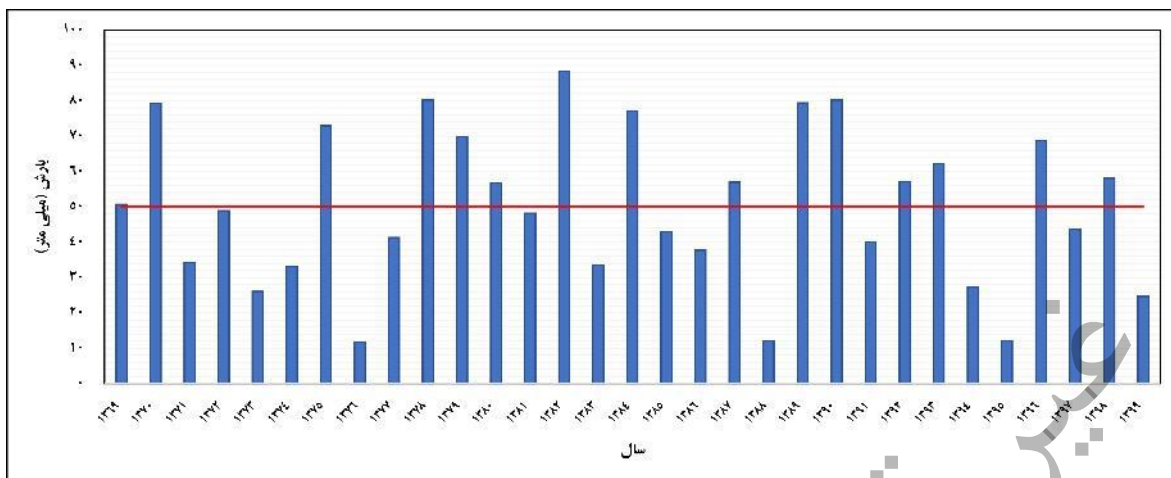
شکل ۱۶. روند متوسط پهنه‌ای بارش استان خراسان رضوی در فصل زمستان (یکا: میلی‌متر)



شکل ۱۷. روند متوسط پهنه‌ای بارش استان خراسان رضوی در فصل بهار (یکا: میلی‌متر)



شکل ۱۸. روند متوسط پهنه‌ای بارش استان خراسان رضوی در فصل تابستان (یکا: میلی‌متر)



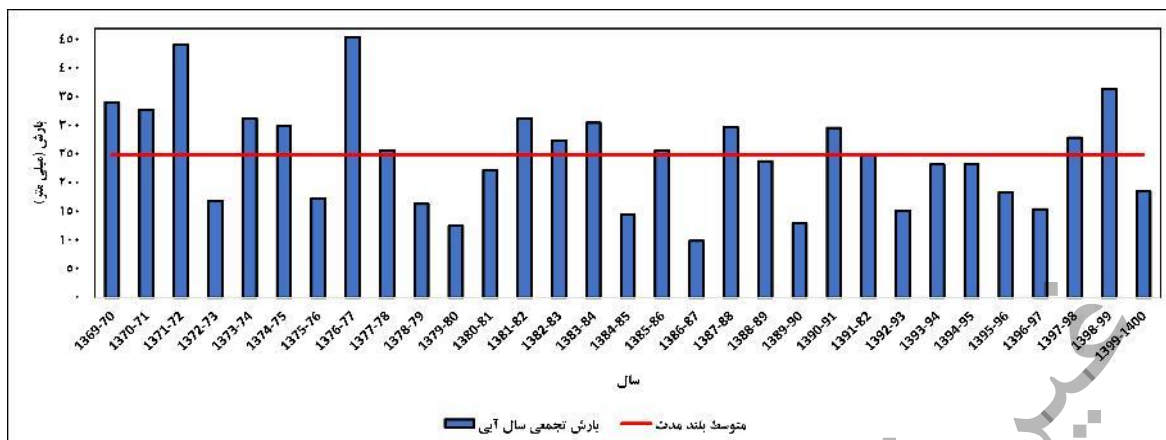
شکل ۱۹. روند متوسط پهنه‌ای بارش استان خراسان رضوی در فصل پاییز (بیکا: میلی‌متر)



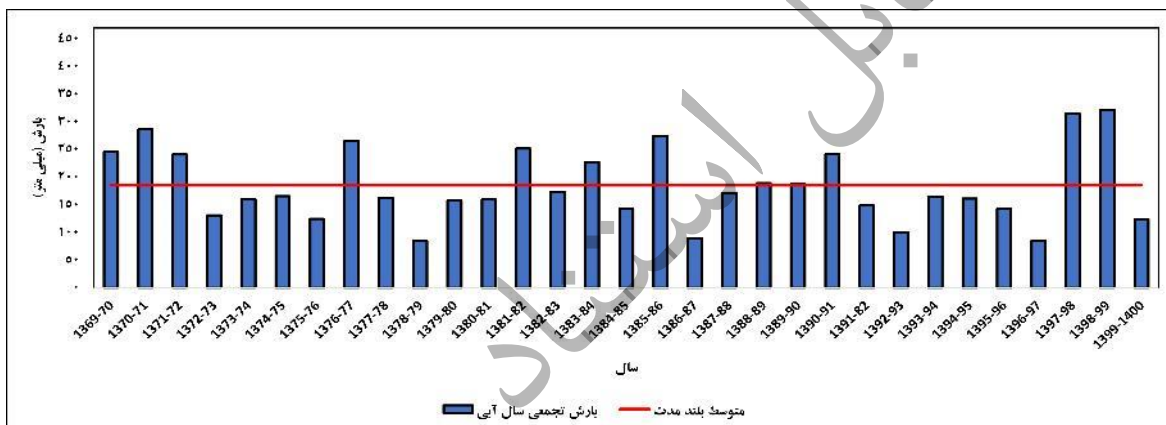
شکل ۲۰. روند متوسط پهنه‌ای بارش استان خراسان رضوی در مجموع سالانه (بیکا: میلی‌متر)

برای مقایسه بصری بهتر از افت‌وخیز بارش در سال آبی، نمودار سری زمانی بارش سال آبی برای ایستگاه‌های نماینده تهیه و نتایج آن در شکل‌های (۲۳ تا ۲۹) ارائه شده است. به همین ترتیب بارش ماهانه به همراه روند و شیب روند آن به ازای هر دهه نیز محاسبه و در جدول‌های (۱۳ تا ۲۲) ارائه شده است (توضیحات مربوط به هر جدول در انتهای آن آمده است).

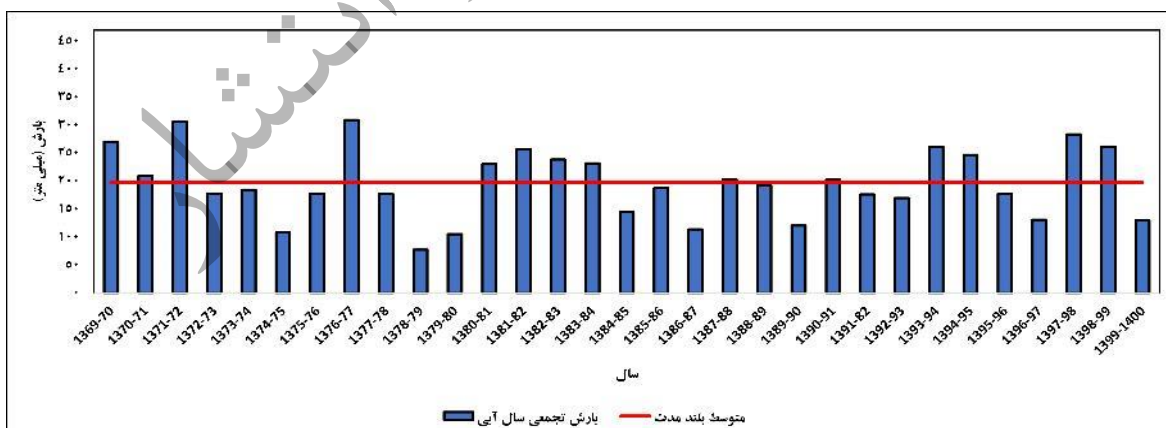




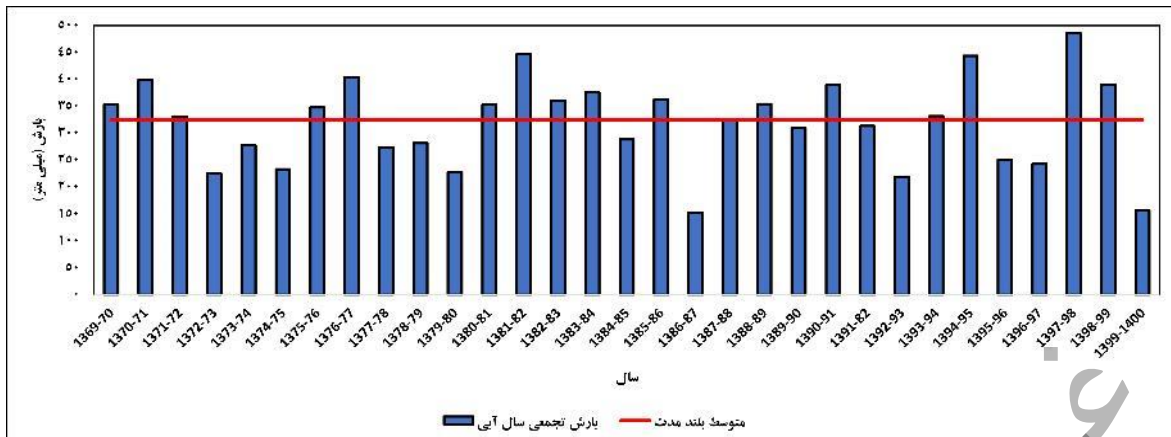
شکل ۲۱. روند بارش ایستگاه تربت حیدریه برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (یکای: میلی‌متر)



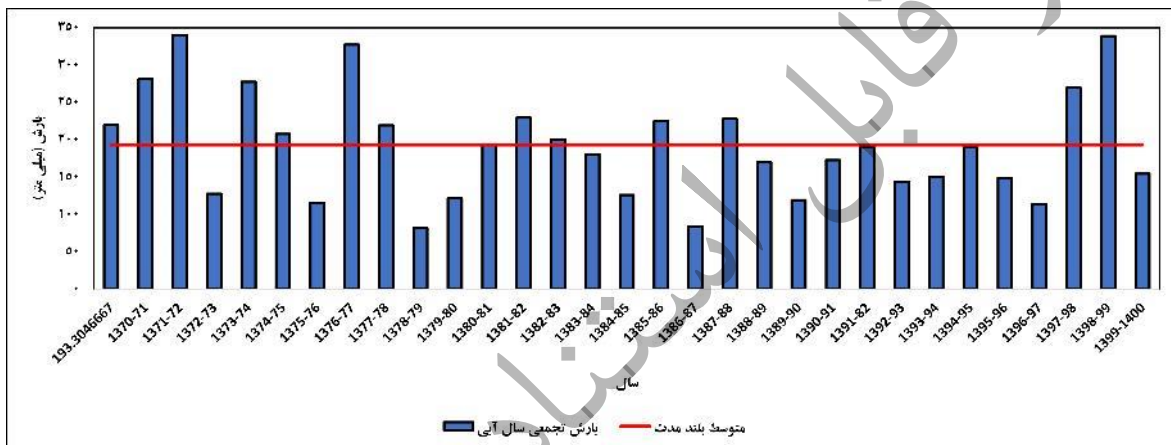
شکل ۲۲. روند بارش ایستگاه سبزوار برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (یکای: میلی‌متر)



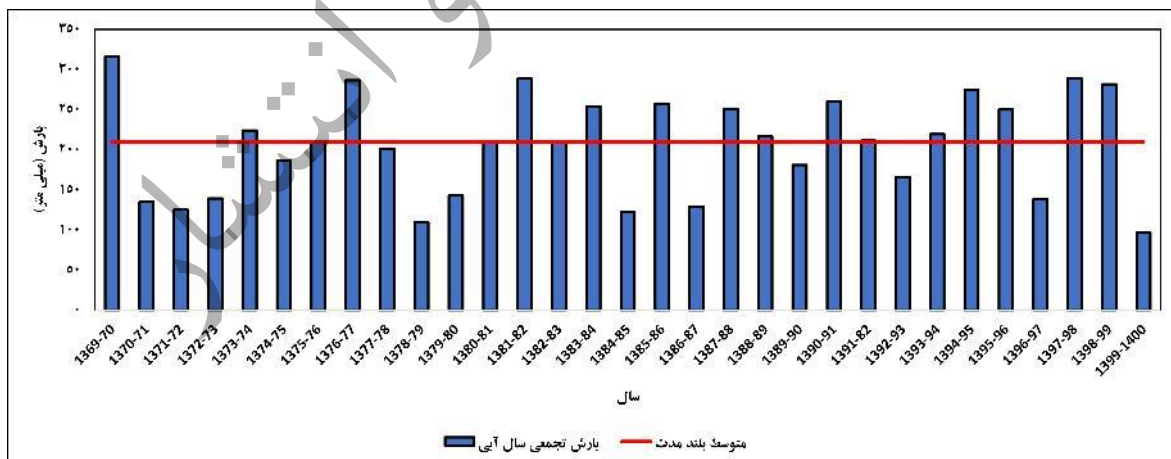
شکل ۲۳. روند بارش ایستگاه سرخس برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (یکای: میلی‌متر)



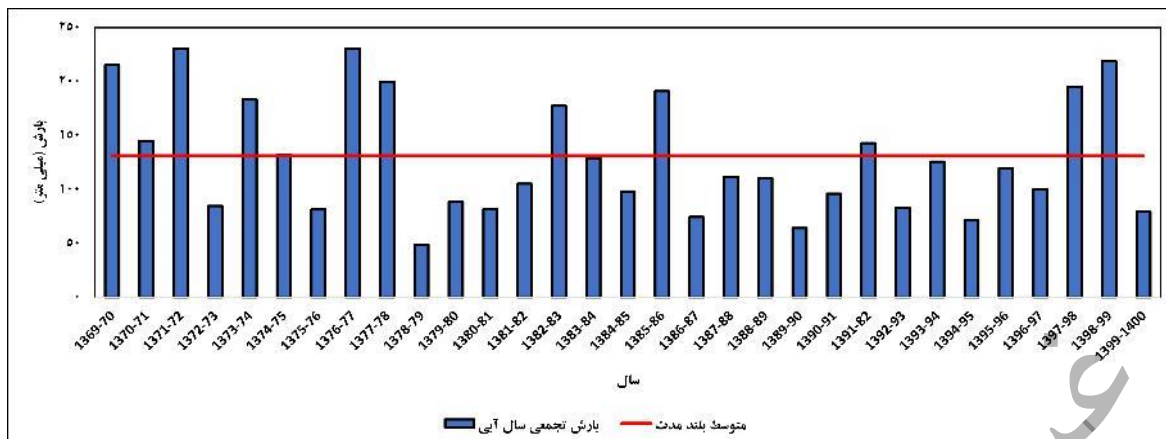
نقشه ۶۲. روند بارش ایستگاه قوچان برای سال‌های آبی ۱۳۶۹-۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹-۱۴۰۰ (یکا: میلی‌متر)



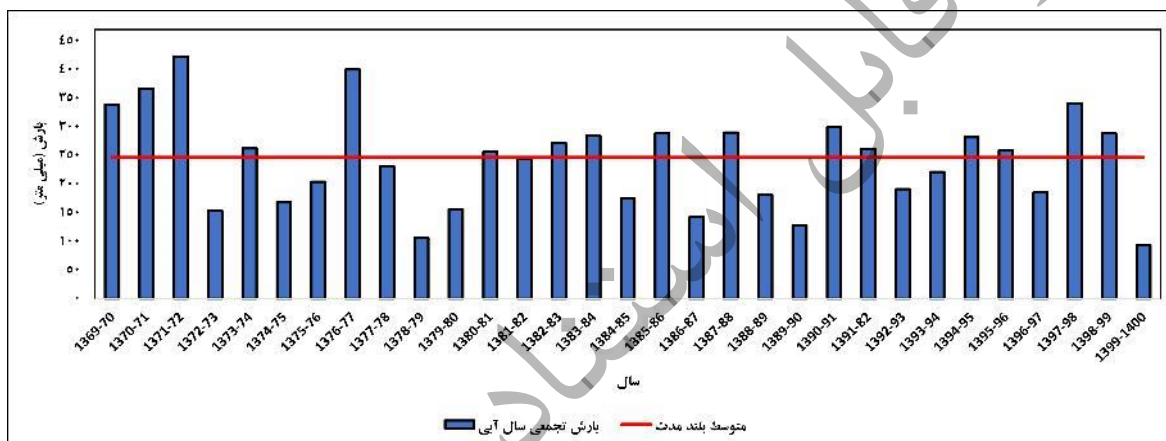
نقشه ۶۳. روند بارش ایستگاه کاشمر برای سال‌های آبی ۱۳۶۹-۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹-۱۴۰۰ (یکا: میلی‌متر)



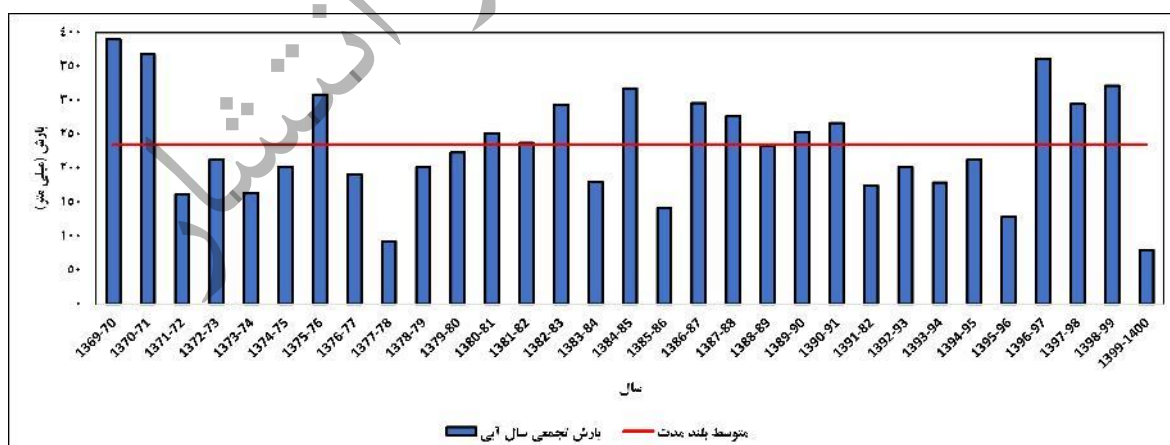
شکل ۲۴. روند بارش ایستگاه گلستان برای سال‌های آبی ۱۳۶۹-۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹-۱۴۰۰ (یکا: میلی‌متر)



شکل ۲۵. روند بارش ایستگاه گناباد برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (یکا: میلی‌متر)



شکل ۲۶. روند بارش ایستگاه مشهد برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (یکا: میلی‌متر)



شکل ۲۷. روند بارش ایستگاه نیشابور برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (یکا: میلی‌متر)

جدول ۱۳. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه تربت حیدریه و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	آزمون روند
فروردین	۴۲/۶۳	۱/۵۲	۰/۲۹
اردیبهشت	۲۶/۹۱	-۳/۰۷	-۰/۶۴
خرداد	۴/۲۹	-۰/۵۴	-۱/۷۰
تیر	۰/۳۷	۰/۰۰	۰/۳۸
مرداد	۰/۲۱	۰/۰۰	-۰/۳۹
شهریور	۰/۱۳	۰/۰۰	۲/۴۲
مهر	۱/۹۹	۰/۰۰	-۰/۰۷
آبان	۱۳/۲۴	۳/۰۵	۱/۲۷
آذر	۲۵/۰۶	-۵/۹۴	-۱/۴۶
دی	۳۰/۰۱	-۱۰/۵۸	-۱/۷۷
بهمن	۴۲/۲۷	-۳/۰۵	-۰/۵۰
اسفند	۴۴/۱۴	-۶/۱۰	-۱/۰۳
سالانه	۲۳۱/۲۴	-۷/۴۷	-۰/۳۶

آزمون روند بر اساس روش ناپارامتریک من-کندال تصحیح شده انجام شده است.  
مقادیر ۰ تا ۱/۹۶ فاقد روند معنی دار افزایشی؛ مقادیر ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۵ درصد و بیش تر از ۲/۵۸ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۱ دارد (همین آستانه‌ها برای مقادیر منفی نیز صادق است و روند معنی دار کاهشی در سطوح مربوطه یا فاقد روند کاهشی را دارد).

جدول ۱۴. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه سبزواری و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
فروردین	۳۴/۲۶	۱/۹۴	۰/۴۳
اردیبهشت	۱۷/۷۱	-۱/۱۳	-۰/۳۵
خرداد	۵/۳۶	۰/۲۶	-۰/۷۳
تیر	۱/۰۸	۰/۰۰	-۰/۰۲
مرداد	۰/۳۷	۰/۰۰	۱/۹۱
شهریور	۰/۵۲	۰/۰۰	-۰/۱۵
مهر	۲/۱۹	۰/۰۰	۰/۴۴
آبان	۱۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
آذر	۲۲/۱۲	-۴/۶۵	-۱/۱۱
دی	۱۸/۹۰	-۴/۴۷	-۱/۳۶
بهمن	۲۹/۱۰	-۵/۹۴	-۱/۱۸



ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
اسفند	۳۱/۱۱	-۳/۱۴	-۰/۶۴
سالانه	۱۷۳/۷۳	-۰/۷۴	-۰/۱۴

آزمون روند بر اساس روش ناپارامتریک من-کندال تصحیح شده انجام شده است.  
مقادیر ۰ تا ۱/۹۶ فاقد روند معنی دار افزایشی؛ مقادیر ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۵ درصد و بیش تر از ۲/۵۸ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۱ دارد (همین آستانه‌ها برای مقادیر منفی نیز صادق است و روند معنی دار کاهشی در سطوح مربوطه یا فاقد روند کاهشی را دارد).

جدول ۱۵. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه سرخس و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
فروردین	۳۴/۶۷	۱/۰۷	۰/۸۷
اردیبهشت	۱۴/۷۹	-۰/۰۴	-۰/۰۱
خرداد	۲/۷۳	۰/۰۰	۰/۰۰
تیر	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۰
مرداد	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰
شهریور	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۰
مهر	۳/۱۴	۰/۷۰	۰/۰۰
آبان	۱۰/۹۷	۱/۶۸	۰/۳۰
آذر	۱۹/۵۵	-۰/۰۲	۰/۰۰
دی	۲۰/۵۵	۰/۳۴	۰/۱۲
بهمن	۳۴/۵۹	۰/۲۳	۰/۱۰
اسفند	۳۵/۱۲	-۰/۶۴	-۰/۲۲
سالانه	۱۷۶/۳۳	۱/۹۶	۱/۹۹

آزمون روند بر اساس روش ناپارامتریک من-کندال تصحیح شده انجام شده است.  
مقادیر ۰ تا ۱/۹۶ فاقد روند معنی دار افزایشی؛ مقادیر ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۵ درصد و بیش تر از ۲/۵۸ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۱ دارد (همین آستانه‌ها برای مقادیر منفی نیز صادق است و روند معنی دار کاهشی در سطوح مربوطه یا فاقد روند کاهشی را دارد).

جدول ۱۶. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه قوچان و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
فروردین	۵۵/۰۸	۳/۹۰	۰/۵۵
اردیبهشت	۴۲/۶۶	۳/۶۹	۰/۷۵
خرداد	۱۹/۰۲	-۰/۵۷	-۰/۱۴
تیر	۴/۰۵	۰/۰۹	۰/۳۲

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
مرداد	۲/۰۷	۰/۰۰	۰/۲۹
شهریور	۳/۱۴	۰/۰۰	۰/۸۴
مهر	۷/۵۹	۰/۱۵	۰/۳۰
آبان	۲۴/۴۸	۲/۰۲	۰/۷۱
آذر	۲۹/۷۹	۰/۴۹	۰/۱۸
دی	۲۲/۶۶	-۴/۶۷	-۱/۳۶
بهمن	۴۱/۲۷	-۷/۷۴	-۱/۴۳
اسفند	۵۰/۵۵	-۴/۹۲	-۰/۸۶
سالانه	۳۰۲/۳۸	۱۴/۸۱	۰/۶۱

آزمون روند بر اساس روش ناپارامتریک من-کندال تصحیح شده انجام شده است. مقادیر ۰ تا ۱/۹۶ فاقد روند معنی دار افزایشی؛ مقادیر ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۵ درصد و بیش تر از ۲/۵۸ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۱ دارد (همین آستانه‌ها برای مقادیر منفی نیز صادق است و روند معنی دار کاهشی در سطوح مربوطه یا فاقد روند کاهشی را دارد).

جدول ۱۷. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه کاشمر و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
فروردین	۳۸/۲۲	۳/۶۲	۰/۷۱
اردیبهشت	۱۳/۲۵	-۱/۷۰	-۰/۷۹
خرداد	۲/۵۴	۰/۰۰	۰/۲۳
تیر	۰/۳۶	۰/۰۰	۰/۷۱
مرداد	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۴۵
شهریور	۰/۱۷	۰/۰۰	۱/۱۴
مهر	۱/۳۲	۰/۰۰	-۰/۵۹
آبان	۹/۴۸	۴/۱۹	۲/۵۵
آذر	۲۱/۲۲	-۴/۸۵	-۱/۱۱
دی	۲۳/۱۲	-۲/۲۱	-۰/۵۰
بهمن	۳۱/۴۰	-۲/۰۶	-۰/۴۳
اسفند	۳۲/۱۱	-۶/۵۶	-۱/۱۴
سالانه	۱۷۳/۲۹	۳/۹۸	۰/۳۶

آزمون روند بر اساس روش ناپارامتریک من-کندال تصحیح شده انجام شده است. مقادیر ۰ تا ۱/۹۶ فاقد روند معنی دار افزایشی؛ مقادیر ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۵ درصد و بیش تر از ۲/۵۸ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۱ دارد (همین آستانه‌ها برای مقادیر منفی نیز صادق است و روند معنی دار کاهشی در سطوح مربوطه یا فاقد روند کاهشی را دارد).

جدول ۱۸. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه گلکان و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
فروردین	۴۲/۹۱	۵/۴۳	۰/۷۹
اردیبهشت	۲۹/۹۸	-۰/۳۸	-۰/۰۷
خرداد	۱۲/۷۵	۰/۳۶	۰/۲۷
تیر	۱/۵۷	۰/۰۰	-۰/۵۰
مرداد	۰/۴۲	۰/۰۰	۰/۹۶
شهریور	۱/۰۶	۰/۰۰	۰/۶۴
مهر	۴/۵۲	-۰/۶۰	-۱/۸۶
آبان	۱۵/۱۵	۲/۱۵	۰/۸۲
آذر	۱۵/۹۴	-۰/۷۹	-۰/۳۲
دی	۱۳/۶۵	۰/۵۳	۰/۱۸
بهمن	۲۴/۷۸	-۳/۲۱	-۱/۰۳
اسفند	۳۴/۹۸	۱/۴۹	۰/۳۲
سالانه	۱۹۷/۷۱	۱۹/۹۱	۱/۶۱

آزمون روند بر اساس روش ناپارامتریک من-کندال تصحیح شده انجام شده است.  
مقادیر ۰ تا ۱/۹۶ فاقد روند معنی دار افزایشی؛ مقادیر ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۵ درصد و بیش تر از ۲/۵۸ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۱ دارد (همین آستانه‌ها برای مقادیر منفی نیز صادق است و روند معنی دار کاهشی در سطوح مربوطه یا فاقد روند کاهشی را دارد).

جدول ۱۹. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه گناباد و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
فروردین	۲۵/۰۶	۴/۰۰	۱/۱۱
اردیبهشت	۹/۶۸	-۱/۲۸	-۰/۹۵
خرداد	۰/۵۹	۰/۰۰	۰/۳۲
تیر	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۳۰
مرداد	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۱۴
شهریور	۰/۱۰	۰/۰۰	۱/۴۶
مهر	۰/۳۲	۰/۰۰	-۱/۱۶
آبان	۷/۸۳	۱/۸۳	۱/۳۹
آذر	۱۲/۰۶	-۳/۱۶	-۱/۶۴
دی	۱۵/۸۹	-۲/۱۴	-۰/۷۷
بهمن	۲۰/۷۴	-۲/۳۱	-۰/۷۵
اسفند	۲۲/۶۵	-۱/۵۰	-۰/۴۱

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
سالانه	۱۱۵/۰۴	-۳/۵۲	-۰/۴۳

آزمون روند بر اساس روش ناپارامتریک من-کندال تصحیح شده انجام شده است. مقادیر ۰ تا ۱/۹۶ فاقد روند معنی دار افزایشی؛ مقادیر ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۵ درصد و بیش تر از ۲/۵۸ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۱ دارد (همین آستانه‌ها برای مقادیر منفی نیز صادق است و روند معنی دار کاهشی در سطوح مربوطه یا فاقد روند کاهشی را دارد).

جدول ۲۰. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه مشهد و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
فروردین	۴۹/۱۱	۶/۲۵	۱/۰۰
اردیبهشت	۳۲/۷۷	-۰/۳۹	-۰/۰۴
خرداد	۱۰/۳۰	۰/۹۵	۰/۵۵
تیر	۱/۵۱	۰/۰۰	۰/۸۰
مرداد	۰/۶۷	۰/۰۰	۰/۳۷
شهریور	۰/۷۱	۰/۰۰	۱/۴۳
مهر	۳/۶۰	۰/۰۱	۰/۲۰
آبان	۱۵/۳۶	۳/۰۲	۱/۴۶
آذر	۱۹/۱۱	-۲/۶۳	-۱/۰۳
دی	۲۱/۴۱	-۳/۹۸	-۱/۴۱
بهمن	۳۴/۸۷	-۱۰/۴۶	-۲/۰۰
اسفند	۴۴/۱۷	-۴/۶۷	-۱/۱۱
سالانه	۲۳۳/۵۸	-۳/۱۶	-۰/۳۲

آزمون روند بر اساس روش ناپارامتریک من-کندال تصحیح شده انجام شده است. مقادیر ۰ تا ۱/۹۶ فاقد روند معنی دار افزایشی؛ مقادیر ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۵ درصد و بیش تر از ۲/۵۸ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۱ دارد (همین آستانه‌ها برای مقادیر منفی نیز صادق است و روند معنی دار کاهشی در سطوح مربوطه یا فاقد روند کاهشی را دارد).

جدول ۲۱. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه نیشابور و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
فروردین	۴۵/۱۰	۹/۹۶	۱/۵۰
اردیبهشت	۲۳/۷۷	-۰/۶۰	-۰/۲۹
خرداد	۷/۲۸	۰/۲۷	۰/۴۱
تیر	۱/۱۷	۰/۰۰	۰/۸۷



ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
مرداد	۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۵۴
شهریور	۰/۸۱	۰/۰۰	۰/۶۴
مهر	۲/۰۲	۰/۰۲	۰/۵۹
آبان	۱۴/۲۷	۲/۶۴	۱/۱۴
آذر	۲۴/۲۹	-۲/۹۲	-۰/۷۵
دی	۲۲/۹۶	-۴/۷۸	-۱/۳۹
بهمن	۳۴/۳۱	-۶/۶۰	-۱/۲۵
اسفند	۳۶/۳۰	-۵/۹۶	-۱/۷۸
سالانه	۲۱۲/۵۲	-۲/۹۳	-۰/۰۷

آزمون روند بر اساس روش ناپارامتریک من-کندال تصحیح شده انجام شده است. مقادیر ۰ تا ۱/۹۶ فاقد روند معنی دار افزایشی؛ مقادیر ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۵ درصد و بیش تر از ۲/۵۸ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۱ دارد (همین آستانه‌ها برای مقادیر منفی نیز صادق است و روند معنی دار کاهشی در سطوح مربوطه یا فاقد روند کاهشی را دارد).

جدول ۲۲. مقدار بارش ماهانه و سالانه ایستگاه تربت جام و روند و شیب روند آن در دوره نرمال ۳۰ ساله

ماه	بلندمدت (میلی متر) (دوره نرمال ۳۰ ساله)	شیب روند (میلی متر/دهه)	مقدار آزمون روند
فروردین	۳۰/۵۰	۷/۷۵	۱/۳۹
اردیبهشت	۱۷/۵۲	۰/۵۷	۰/۲۵
خرداد	۲/۹۰	۰/۰۰	-۰/۴۶
تیر	۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۱۱
مرداد	۰/۰۷	۰/۰۰	-۰/۳۰
شهریور	۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۰۴
مهر	۰/۵۶	۰/۰۰	۰/۵۵
آبان	۱۰/۳۳	۲/۱۱	۱/۵۵
آذر	۱۲/۳۲	-۰/۵۲	-۰/۱۸
دی	۱۵/۹۵	۰/۰۶	۰/۰۰
بهمن	۲۳/۴۳	-۶/۱۵	-۲/۰۷
اسفند	۳۱/۳۵	-۵/۹۱	-۱/۱۴
سالانه	۱۴۵/۲۱	۱۴/۹۰	۱/۱۱

آزمون روند بر اساس روش ناپارامتریک من-کندال تصحیح شده انجام شده است. مقادیر ۰ تا ۱/۹۶ فاقد روند معنی دار افزایشی؛ مقادیر ۱/۹۶ تا ۲/۵۷ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۵ درصد و بیش تر از ۲/۵۸ روند معنی دار افزایشی در سطح ۰/۰۱ دارد (همین آستانه‌ها برای مقادیر منفی نیز صادق است و روند معنی دار کاهشی در سطوح مربوطه یا فاقد روند کاهشی را دارد).

### روند فصلی و سالانه بارش در استان خراسان رضوی

روند فصلی و سالانه بارش در استان خراسان رضوی با استفاده از آزمون سنس برای چهار دهه گذشته مورد بررسی قرار گرفته و روند بارش به ازای هر دهه پهنه‌بندی گردید. برای متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی بارش در فصل زمستان ۱۲/۴۴ میلی‌متر/دهه، فصل بهار ۳/۴۰ میلی‌متر/دهه، فصل تابستان ۰/۶۵ میلی‌متر/دهه، فصل پاییز ۲/۱۴ میلی‌متر/دهه و برای بارش سالانه ۱۸/۳۸ میلی‌متر/دهه کاهش داشته است. نقشه های (۶۴ تا ۶۸) روند فصلی و سالانه بارش را در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد.

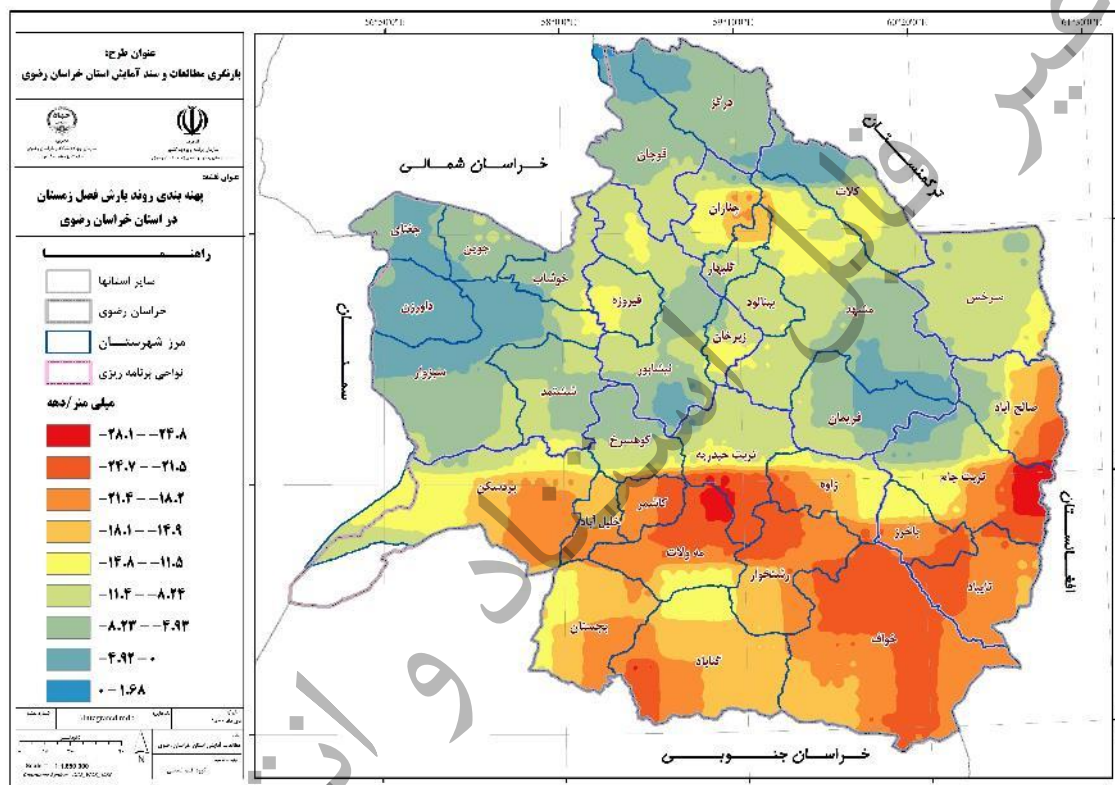
در فصل زمستان بارش غالب مناطق استان روند کاهشی دارد. بیشینه روند کاهشی بارش در استان خراسان رضوی در فصل زمستان مربوط به بخش‌های جنوبی استان است. بیشینه روند کاهشی بارش در فصل زمستان به ازای هر دهه ۲۸/۱ میلی‌متر است که در شهرستان‌های تربت‌جام و مهولات دیده می‌شود. همچنین در شهرستان‌های تایباد، باخرز، خواف، رشتخوار، گناباد، بجستان، صالح‌آباد، بردسکن، کاشمر، خلیل‌آباد، مهولات، زاوه و بخش‌های جنوبی تربت‌حیدریه بارش روند سراسر کاهشی دارد. به غیر از بخش‌های خیلی کوچک استان در فریمان، داورزن، شمال کلات و درگز که بارش روند افزایشی را نشان داده است، در سایر مناطق استان روند بارش زمستانه سراسر کاهشی است. شایان‌ذکر است که روند افزایشی بارش در زمستان حداکثر ۱/۶۸ میلی‌متر/دهه است که چندان قابل توجه نیست.

بارش‌های بهاره در استان خراسان رضوی الگوی جالب توجهی را نشان می‌دهند. بطوریکه بارش در مناطق شرقی استان روند سراسر کاهشی و در مناطق غربی استان روند افزایشی دارد. غالب بارش‌های بهاره ایران ناشی از عبور چرخندهای مدیترانه‌ای و فرآیند همرفت هستند. بیشینه روند کاهشی بارش در این فصل با ۱۳/۷ میلی‌متر/دهه در مناطق شمالی استان در درگز و چناران دیده می‌شود. به‌طور کلی روند کاهشی بارش عمدتاً در مناطق کوهستانی استان قابل مشاهده است. این روند کاهشی بارش برای مناطق کوهستانی در فصل بهار که بارش ناشی از الگوهای همرفتی است می‌تواند در ارتباط با کاهش ذخیره برف در فصل زمستان باشد. چرا که با کاهش برف در فصل زمستان مقدار رطوبت مورد نیاز برای بارش‌های همرفتی در فصل بهار تأمین نمی‌شود و بر این اساس بارش روند کاهشی را در این فصل نشان داده است. روند کاهشی بارش بهاره در مناطقی همچون تربت‌حیدریه، فریمان، باخرز و صالح‌آباد که جزو مناطق کشاورزی استان هستند می‌تواند تهدیدی جدی برای کشت بهاره و عملکرد محصولات کشاورزی استان باشد.

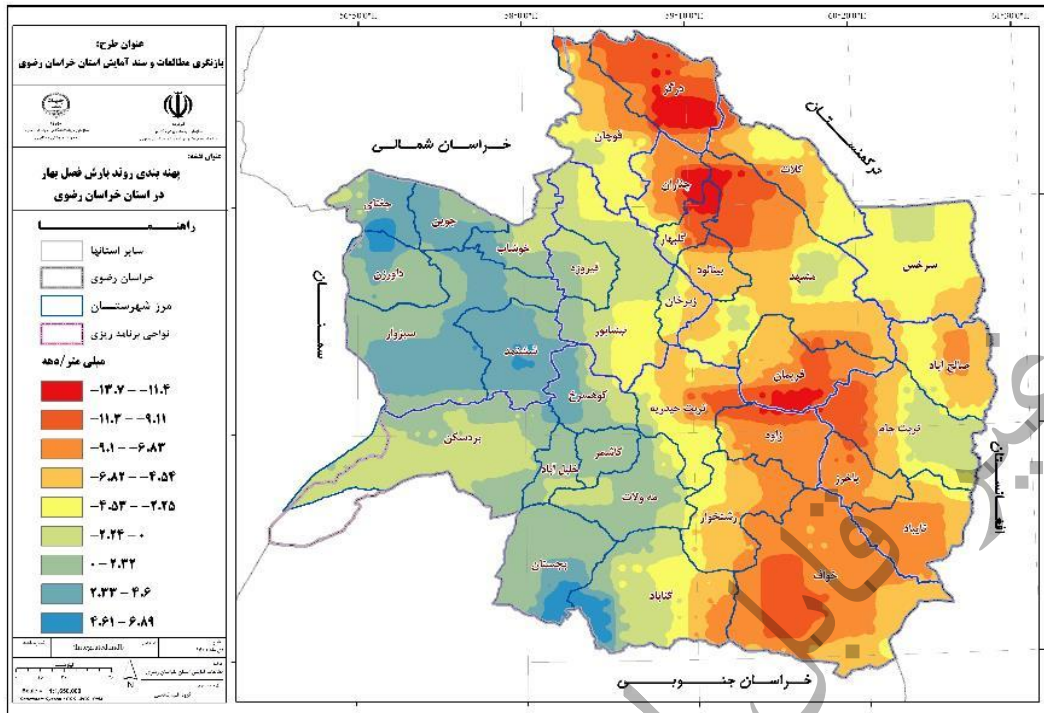
روند بارش در تابستان شاید چندان جالب توجه نباشد چرا که همان‌طور که می‌دانیم بارش چندان در این فصل در استان نمی‌بارد. بطوریکه سهم بارش تابستانه از کل بارش سالانه در استان کمتر از ۲ درصد است. باین حال بارش در مناطق شمالی استان که در فصل تابستان بارش دارند، دارای روند کاهشی است. بارش فصل پاییز نیز همانند بارش فصل زمستان در غالب مناطق استان روند کاهشی را نشان داده است. بیشینه روند کاهشی بارش در استان به ازای هر دهه ۹/۸۹ میلی‌متر است. بیشینه روند کاهشی بارش در دو منطقه شمالی و جنوبی استان با محوریت قوچان، درگز، نیشابور و گلپه‌ار دیده می‌شود. در مقابل در مناطق جنوبی استان نیز بارش در تربت‌حیدریه، زاوه، رشتخوار، مهولات و بجستان روند کاهشی را نشان داده است. روند

افزایشی بارش در فصل پاییز معطوف به شرق استان و بخصوص مشهد است. همچنین سرخس و صالح آباد نیز روند افزایشی جزئی را برای بارش پاییزه نشان می دهند.

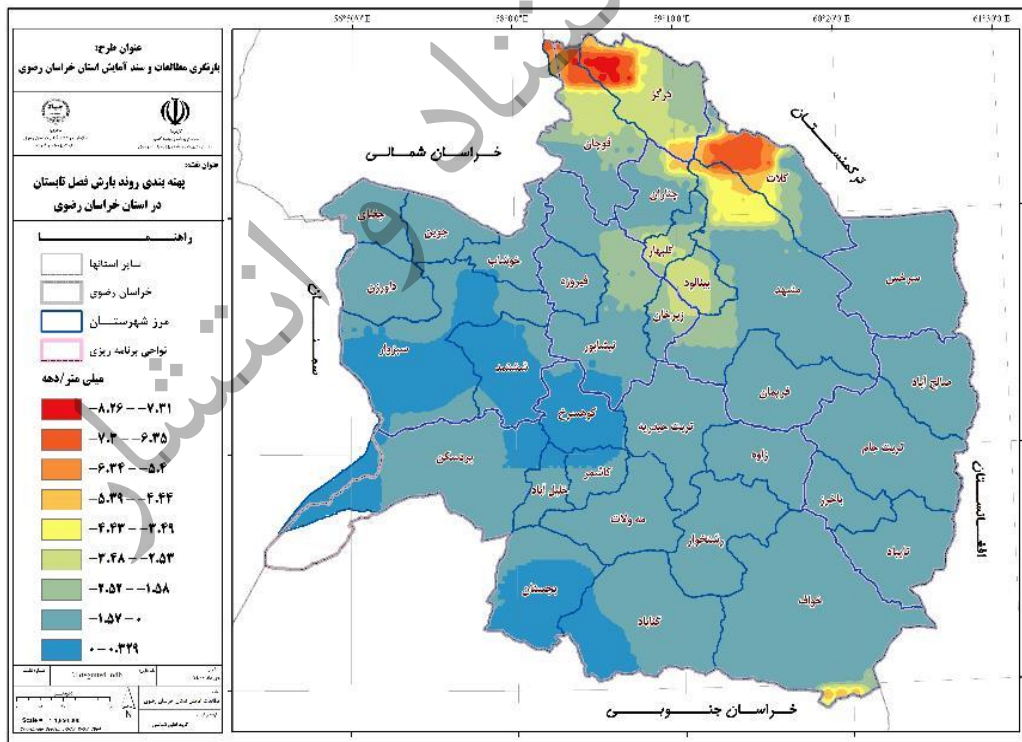
در نهایت بارش سالانه استان در نقشه (۶۸) نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود بارش سالانه استان در مناطق جنوبی و شمالی آن روند کاهشی دارد. بارش افزایشی جزئی با مقدار ۱/۶۷ میلی متر/دهه در شمال غربی استان در جوین، جغتای، داورزن، ششتمد، فیروزه، نیشابور و کوه سرخ دیده می شود. بیشینه روند کاهشی بارش با مقدار ۳۶/۴ میلی متر/دهه در تربت حیدریه، مهولات، زاوه و رشتخوار دیده می شود.



نقشه ۶۴. روند بارش فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی متر به ازای دهه)

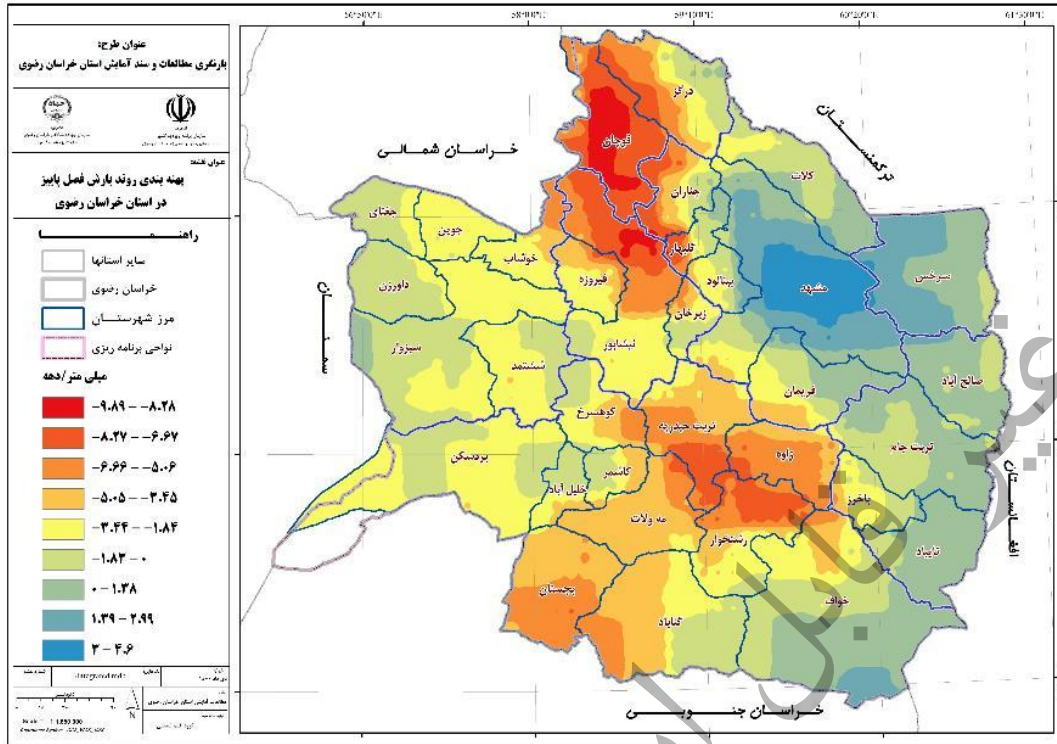


نقشه ۶۵. روند بارش فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر به ازای دهه)

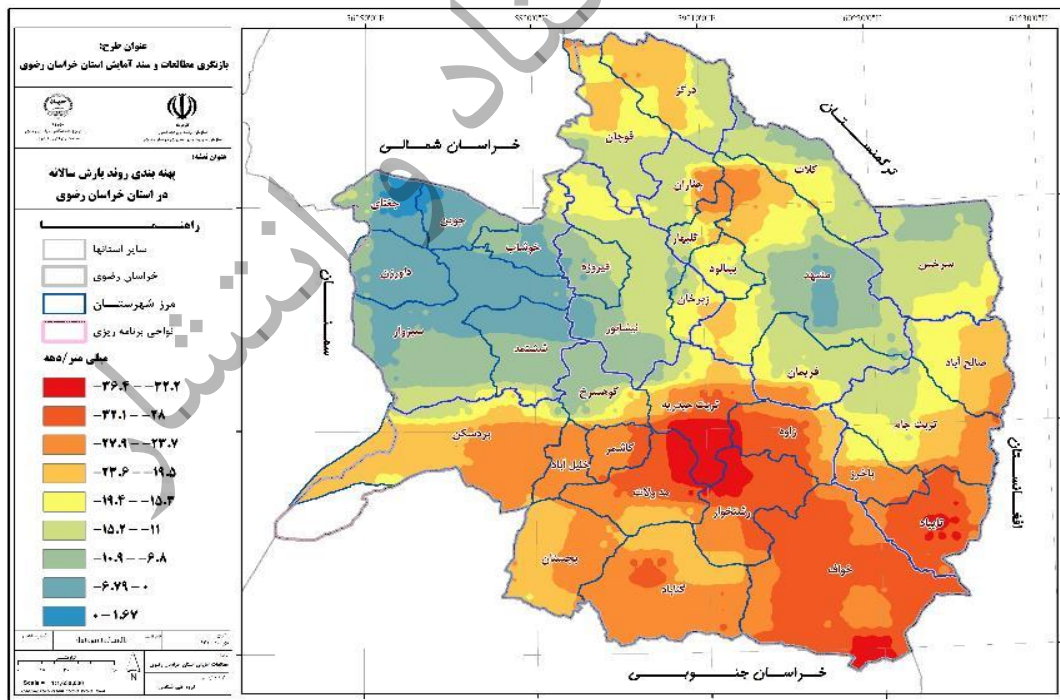


نقشه ۶۶. روند بارش فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر به ازای دهه)





نقشه ۶۷. روند بارش فصل پاییز در استان خراسان رضوي (یکا: میلی متر به ازای دهه)



نقشه ۶۸. روند بارش سالانه در استان خراسان رضوي (یکا: میلی متر به ازای دهه)

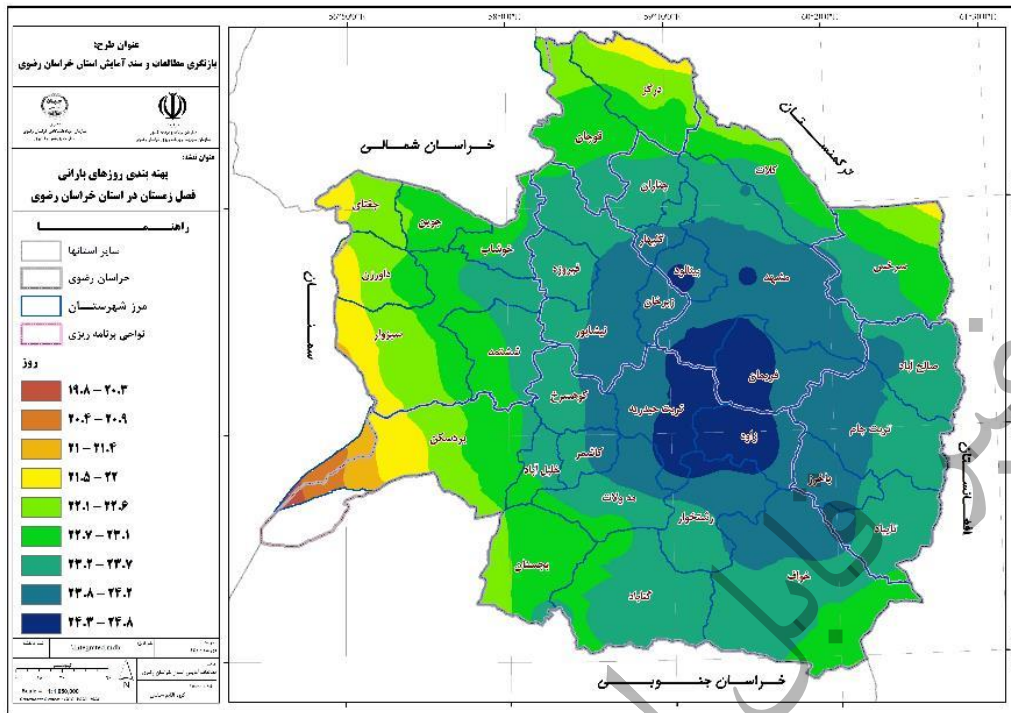
## تعداد روزهای بارانی فصلی و سالانه در استان خراسان رضوی

روزهای بارانی یک شاخص بسیار مهم در مطالعات اقلیمی است و تغییرات آن می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در شدت بارش داشته باشد. روزهای بارانی بر اساس استاندارد سازمان هواشناسی جهانی با آستانه یک میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. متوسط پهنه‌ای روزهای بارانی در استان خراسان رضوی در مقیاس سالانه ۶۲/۲۱ روز، در فصل زمستان ۲۳/۳۹ روز، فصل بهار ۲۷/۵۵ روز، فصل تابستان ۲/۳۱ روز و در فصل پاییز ۸/۹۴ روز به‌دست آمده است. بر این اساس سهم روزهای بارانی در فصل زمستان ۲۵/۹۹ درصد، فصل بهار ۲۹/۶۳ درصد، فصل تابستان ۲/۴۹ درصد، فصل پاییز ۹/۶۱ درصد و در مقیاس سالانه ۱۷/۰۴ درصد از کل روزهای فصل/سال را در بر می‌گیرد.

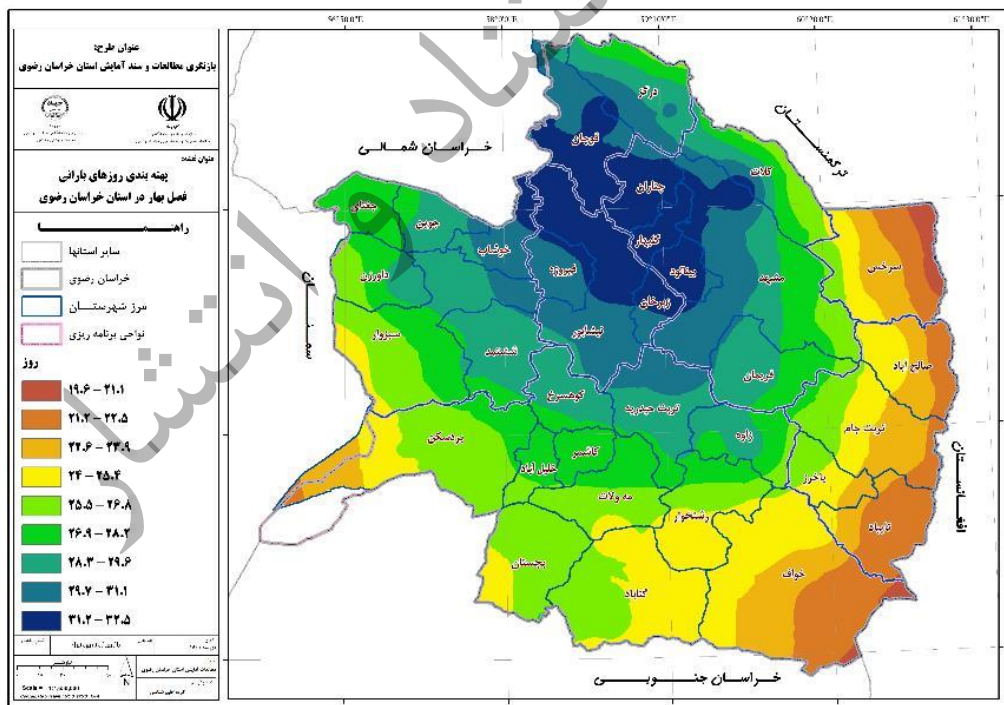
پهنه‌بندی روزهای بارانی در فصول مختلف سال و مقیاس سالانه در نقشه‌های (۶۹ تا ۷۳) نشان داده شده است. بررسی نقشه‌های روزهای بارانی در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که روزهای بارانی در متوسط سالانه و فصول بهار، تابستان و پاییز با عرض جغرافیایی و ارتفاع رابطه مستقیم دارد. بطوریکه در این فصول روزهای بارانی از جنوب به شمال استان افزایش می‌یابد. اما روزهای بارانی فصل زمستان که تابع سامانه‌های هم‌مدیدی است از این الگو تبعیت نکرده و بیشینه روزهای بارانی در مرکز استان دیده می‌شود.

مجموع روزهای بارانی در فصل زمستان بین ۱۹/۸ روز تا ۲۴/۸ روز در نوسان است. در این فصل بیشینه روزهای بارانی در زاوه، تربت‌حیدریه، فریمان و مشهد دیده می‌شود. کمینه روزهای بارانی با ۱۹ روز در غرب استان در سبزوار و بردسکن دیده می‌شود. در استان خراسان رضوی در فصل بهار بارش تابع عرض جغرافیایی و ارتفاعات است. بطوریکه بیشینه روزهای بارانی در بینالود، چناران، گلپه‌ار، قوچان، فیروزه و نیشابور دیده می‌شود. در مقابل کمینه روزهای بارانی در سرخس، صالح‌آباد، تربت‌جام، تایباد، خواف و بخش‌های غربی بردسکن دیده می‌شود. بیشینه روزهای بارانی در فصل تابستان کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. بیشینه روزهای بارانی در جوین، جغتای و بخش‌های شمالی نیشابور و قوچان دیده می‌شود. میانگین بلندمدت روزهای بارانی در مناطق شرقی، جنوبی و غربی استان نهایتاً یک روز است. در فصل پاییز نیز الگوی کلی روزهای بارانی در فصل بهار و تابستان حفظ شده است. بیشینه روزهای بارانی این فصل در شهرستان قوچان با فراوانی ۱۲ روز در فصل پاییز دیده می‌شود. کمینه روزهای بارانی نیز در تایباد و خواف قابل مشاهده است.

فراوانی سالانه روزهای بارانی در استان خراسان رضوی بین ۴۷/۶ روز تا ۷۲/۳ روز در نوسان است. بطوریکه مناطق شمالی استان بیشینه روزهای بارانی و مناطق شرقی و گوشه جنوب غربی استان کمینه روزهای بارانی را دارا می‌باشند. همان‌طور که بالاتر نیز گفته شد روزهای بارانی در خراسان رضوی با ارتفاعات و عرض جغرافیایی رابطه زیادی دارد.

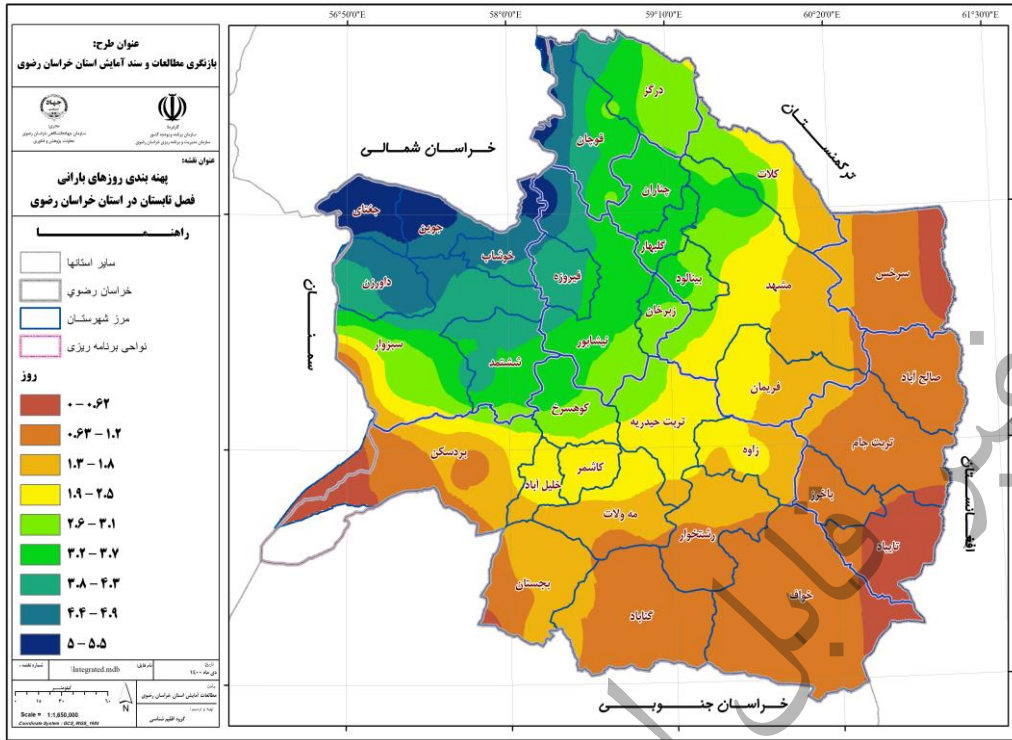


نقشه ۶۹. روزهای بارانی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: روز/فصل)

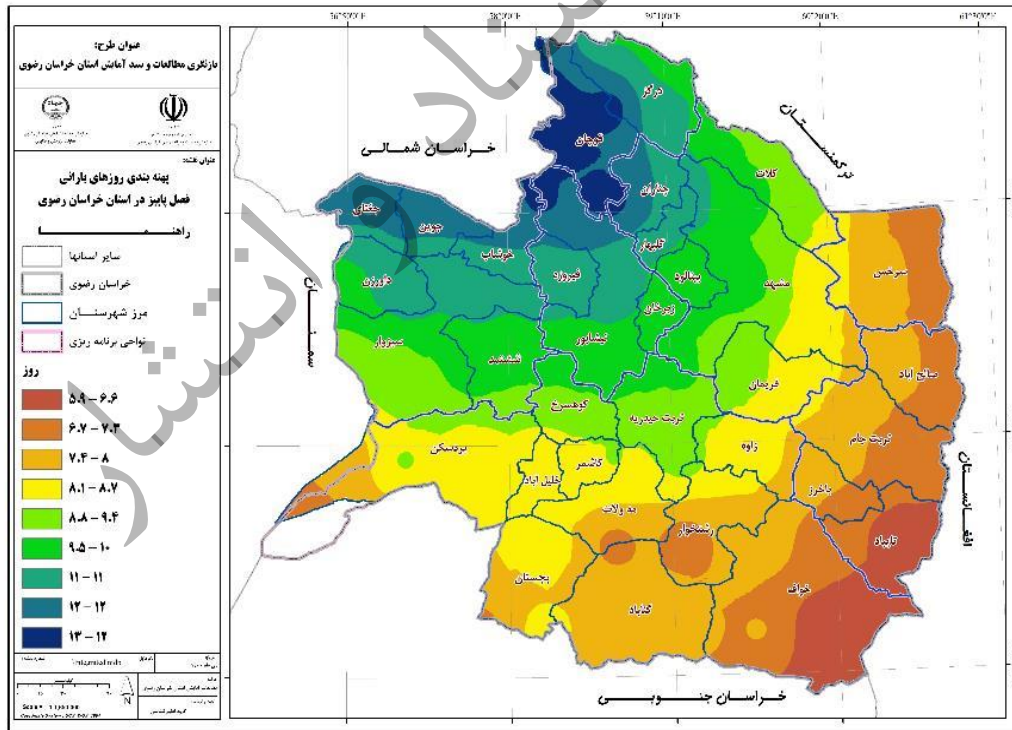


نقشه ۷۰. روزهای بارانی فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: روز/فصل)



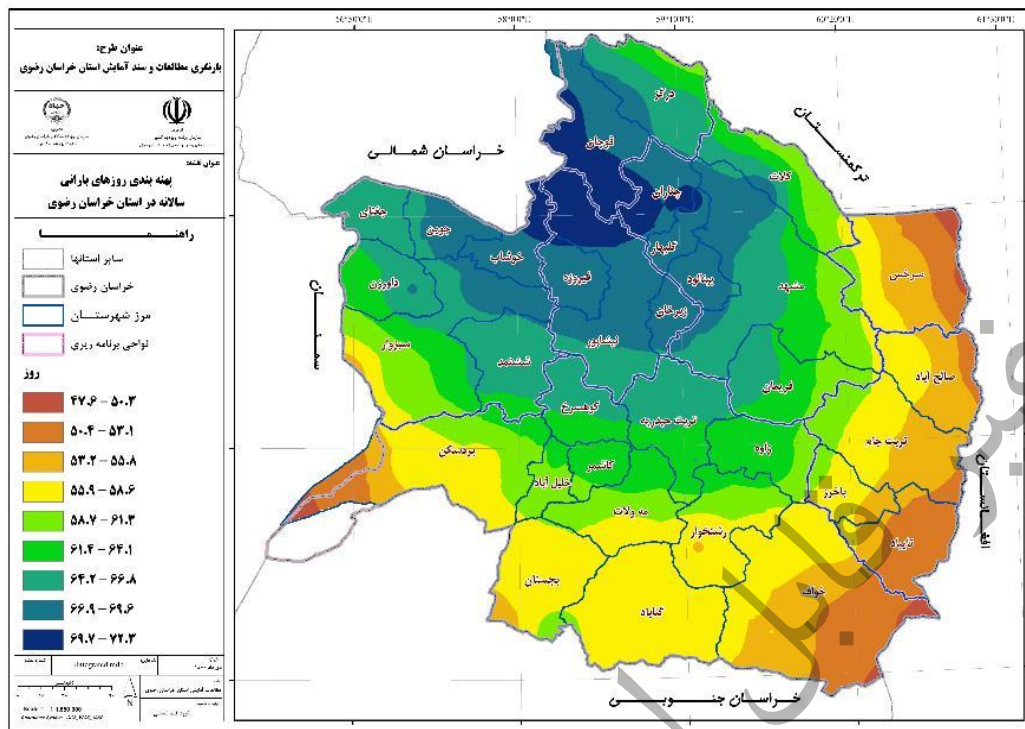


نقشه ۷۱. روزهای بارانی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: روز/فصل)



نقشه ۷۲. روزهای بارانی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: روز/فصل)





نقشه ۷۳. روزهای بارانی سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: روز/فصل)

### فرین‌های بارشی ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان خراسان رضوی

علاوه بر بارش و وردایی آن که مورد بحث قرار گرفت شش شاخص بارش فرین در سه گروه شدت (شدت بارش روزانه و بیشینه بارش یک‌روزه)، فراوانی (بارش سنگین و خیلی سنگین) و طول دوره (روزهای خشک و مرطوب متوالی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی بارش‌های فرین سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی همدید منتخب در جدول (۲۴) ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (۲۴) نیز دیده می‌شود، بیشینه بارش یک‌روزه در استان بین ۱۸/۹۴ میلی‌متر در گناباد تا ۲۹/۵۴ میلی‌متر در تربت‌حیدریه در نوسان است. دامنه شدت بارش روزانه نیز بین ۵/۲۵ میلی‌متر/روز در گناباد تا ۶/۶۶ میلی‌متر/روز در تربت‌حیدریه در نوسان است. بررسی نتایج شدت بارش در استان نشان می‌دهد که تربت‌حیدریه بالاترین شدت بارش روزانه را دارد که بر این اساس این منطقه از استان دارای پتانسیل زیادی برای رخداد سیل است.

روزهای همراه با بارش سنگین در استان بین ۳/۷ روز در سال در ایستگاه گناباد تا ۱۰/۵۹ روز در سال در ایستگاه قوچان اتفاق افتاده است. روزهای همراه با بارش خیلی سنگین با ۰/۶۷ روز در سال در ایستگاه گناباد تا ۲/۰۹ روز در سال در ایستگاه تربت‌حیدریه دیده می‌شود. بالاترین فراوانی روزهای همراه با بارش سنگین بین ۵ تا ۷ روز در استان دیده می‌شود. میانگین روزهای همراه با بارش خیلی سنگین در استان خراسان رضوی کمتر از ۲ روز در میانگین ۳۰ ساله است.

روزهای خشک متوالی در استان خراسان رضوی به غیر از ایستگاه قوچان در سایر ایستگاه‌های هواشناسی منتخب بیش از ۱۰۰ روز در سال است. بیشینه روزهای خشک متوالی در ایستگاه گناباد با ۱۶۶/۳ روز دیده می‌شود. پس از گناباد سرخس با ۱۵۶/۱ روز، کاشمر با ۱۵۰/۲ روز و سبزوار با ۱۴۱/۸ روز بیشینه روزهای خشک متوالی را در استان خراسان رضوی دارند.

به همین ترتیب روزهای مرطوب متوالی نیز در استان مورد بررسی قرار گرفته است. روزهای مرطوب متوالی در کلیه ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان کمتر از ۴ روز در سال است. بیشینه روزهای مرطوب متوالی در ایستگاه قوچان با ۳/۹۰ روز در سال و کمینه آن در ایستگاه تربت حیدریه با ۳/۱۲ روز در سال در نوسان است. این نتایج نشان می‌دهد که استان خراسان رضوی در یک منطقه اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است. بطوریکه در بخش اعظم استان روزهای خشک متوالی بیش از ۱۰۰ روز یا تقریباً یک‌سوم کل روزهای سال را در بر می‌گیرد. فراوانی روزهای خشک متوالی در برخی از ایستگاه‌ها همچون گناباد به بیش از ۴۵ درصد از روزهای سال می‌رسد.

جدول ۲۳. شاخص‌های فرین بارش که توسط کارگروه ETCCDI برای محاسبه شاخص‌های فرین توصیه شده‌اند

یکا	معرفی نمایه	نام نمایه	نمایه
میلی متر	اگر $RR_{ij}$ میزان بارش روز $i$ در دوره $j$ باشد، آنگاه بیشینه بارش روزانه برای دوره $j$ عبارت است از $Rx1day_i = \max(RR_{ij})$	بیشینه بارش یک‌روزه	Rx1day
میلی متر بر روز	اگر $RR_{wj}$ میزان بارش در یک روز بارانی ( $RR \geq 1mm$ ) در دوره $j$ و $w$ عبارت باشد از روزهای تر در دوره $j$ ، آنگاه $SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^w RR_{wj}}{w}$	شدت بارش روزانه	SDII
روز	اگر $RR_{ij}$ میزان بارش روزانه در روز $i$ در دوره $j$ باشد، آنگاه روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهایی با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر عبارت است از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 10mm$	روزهای همراه با بارش سنگین	R10mm
روز	اگر $RR_{ij}$ میزان بارش روزانه در روز $i$ در دوره $j$ باشد، آنگاه روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهایی با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر عبارت است از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 20mm$	روزهای همراه با بارش خیلی سنگین	R20mm
روز	اگر $RR_{ij}$ میزان بارش در روز $i$ در دوره $j$ باشد، آنگاه بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که $RR_{ij} < 1mm$ تعداد می‌شود.	روزهای خشک متوالی	CDD
روز	اگر $RR_{ij}$ میزان بارش در روز $i$ در دوره $j$ باشد، آنگاه بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که $RR_{ij} \geq 1mm$ تعداد می‌شود.	روزهای مرطوب متوالی	CWD

جدول ۲۴. فرین‌های بارشی ایستگاه‌های شاخص هواشناسی همدید استان خراسان رضوی

نام نمایه	گناباد	کاشمر	مشهد	نیشابور	قوچان	سبزوار	سرخس	ت.حیدریه
بیشینه بارش یک‌روزه	۱۸/۹۴	۲۵/۸۵	۲۶/۳۶	۲۵/۵۶	۲۷/۷۹	۲۲/۳۳	۲۶/۱۷	۲۹/۵۴
شدت بارش	۵/۲۵	۶/۲۷	۶/۰۹	۵/۸۵	۶/۲۹	۵/۸۳	۵/۹۱	۶/۶۶

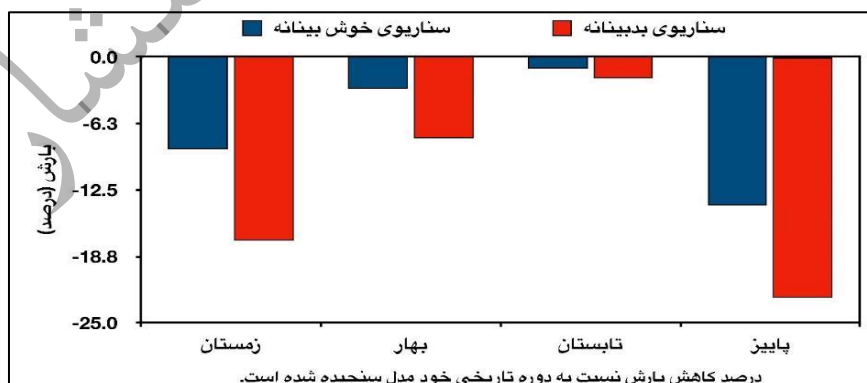
نام نمابه	گناباد	کاشمر	مشهد	نیشابور	قوچان	سبزوار	سرخس	ت.حیدریه
روزهایی با بارش سنگین	۳/۷۷	۶	۷/۱۵	۶/۴۸	۱۰/۵۹	۵/۹۶	۵/۶۲	۷/۸۴
روزهایی با بارش خیلی سنگین	۰/۶۷	۱/۳۷	۱/۴۶	۱/۳۱	۱/۹۶	۱/۰۶	۱/۳۱	۲/۰۹
روزهای خشک متوالی	۱۶۶/۳	۱۵۰/۲	۱۰۹/۸۷	۱۱۲/۹	۸۴/۹۶	۱۴۱/۸	۱۵۶/۱	۱۳۲/۸
روزهای مرطوب متوالی	۳/۱۹	۳/۵۳	۳/۸۴	۳/۸۶	۳/۹۰	۳/۳۷	۳/۶۲	۳/۱۲

### پیش‌نگری بارش فصلی در استان خراسان رضوی تحت شرایط تغییر اقلیم تا افق ۱۴۲۴

بارش یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است که نقش تعیین‌کننده‌ای را در کشاورزی، محیط‌زیست، منابع طبیعی و آب دارد. پیش‌نگری بارش تحت دو سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) و بدبینانه (SSP5-8.5) تا افق ۱۴۲۴ در استان خراسان رضوی در شکل (۳۰) و نقشه‌های (۷۴ تا ۸۱) نشان داده شده است. پیش‌نگری بارش در فصل زمستان نشان می‌دهد که بر اساس سناریو خوش‌بینانه بارش در استان بین ۶۲/۶۷ تا ۱۱۹/۷ میلی‌متر است. در صورتی که داده‌های مشاهداتی حداکثر بارش استان را ۱۷۷/۳ میلی‌متر گزارش کرده‌اند. همچنین پیش‌نگری بارش با سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) نشان می‌دهد که بارش بین ۵۴/۱۵ تا ۱۱۱/۴ میلی‌متر در تغییر است. مقایسه نتایج پیش‌نگری شده تحت دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه حاکی از کاهش بارش در فصل زمستان است که فصل اصلی بارشی در استان خراسان رضوی به شمار می‌آید. بیشینه و کمینه بارش همانند داده‌های مشاهداتی به ترتیب در مناطق شمالی و شرقی استان دیده می‌شود. بارش آینده فصل بهار نیز همانند فصل زمستان نسبت به دوره گذشته روند کاهشی خواهد داشت. بر اساس نتایج سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) بارش در استان خراسان رضوی در فصل بهار بین ۵۶/۱۴ تا ۱۵۲/۲ میلی‌متر و بر اساس نتایج سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) بین ۵۸/۷۶ میلی‌متر تا ۱۴۹/۷ میلی‌متر در نوسان خواهد بود. در این فصل بیشینه بارش در مناطق شمالی استان در شهرستان‌های قوچان، درگز، کلات و چناران خواهد بود. کمینه بارش نیز در مناطق جنوبی استان در بجستان و گناباد دیده می‌شود.

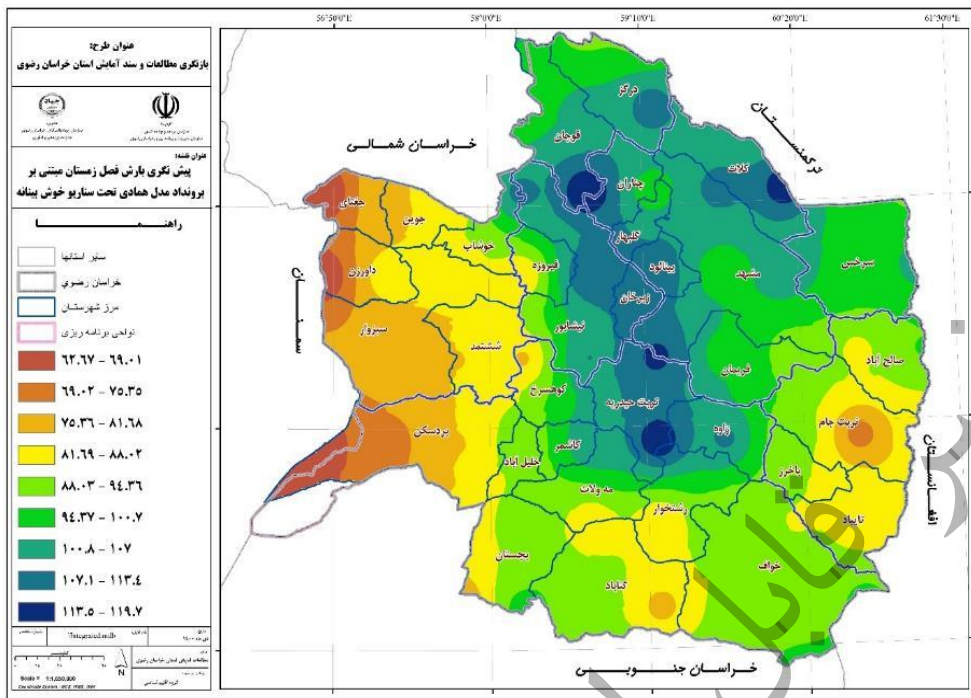
همان‌طور که برای داده‌های مشاهداتی نیز دیده شده است تابستان کم‌بارش‌ترین فصل در بین فصول در استان خراسان رضوی است. در این فصل بارش تحت سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) تا افق ۱۴۲۴ حداکثر ۲۱/۷۲ میلی‌متر و تحت سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) ۱۷/۰۸ میلی‌متر خواهد بود. بیشینه بارش نیز همانند فصل بهار در مناطق شمالی استان بخصوص در قوچان و کلات دیده می‌شود. کمینه بارش در مناطق جنوبی استان در شرایط پیش‌نگری تفاوت چندانی با دوره مشاهداتی نشان نداده است چرا که در بخش‌های بزرگی از استان بخصوص در جنوب و مرکز استان تقریباً در تابستان بارشی نمی‌بارد. اما بیشینه بارش در مناطق شمالی استان در فصل تابستان است که برای دوره مشاهداتی ۳۸/۹ میلی‌متر به دست آمده است در دوره پیش‌نگری کاهش داشته است.

بارش فصل پاییز نیز هماهنگ با سه فصل قبلی در استان خراسان رضوی کاهش خواهد داشت. کمینه و بیشینه بارش فصلی تحت سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) در استان خراسان رضوی بین ۳/۵۰ تا ۴۹/۱۲ میلی‌متر به‌دست‌آمده است. نتایج سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) بارش صفر تا ۴۷/۱۱ میلی‌متر را برای استان در فصل پاییز پیش‌نگری کرده است. پراکنش فضایی بارش در استان در فصل پاییز از همان الگوی بارش در دوره مشاهداتی پیروی می‌کند. بطوریکه مناطق شمالی استان بیشینه بارش و مناطق جنوبی استان کمینه بارش را خواهند داشت. همان‌طور که برای دما نیز گفته شد بارش در استان خراسان رضوی دارای شیب کاهشی شمال به جنوب است. از آنجایی که تغییرات بارش نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای را در هر برنامه‌ریزی آبی برای استان خواهد داشت، تغییرات بارش پیش‌نگری شده برای متوسط پهنه‌ای استان نسبت به دوره تاریخی خود مدل مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی خروجی مدل همادی تغییر اقلیم برای استان خراسان رضوی نشان داد که بارش در سطح استان تا افق ۱۴۲۴ نسبت به دوره تاریخی روند سراسر کاهشی خواهد داشت. بیشینه تغییرات کاهشی بارش برای متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی مربوط به فصول سرد سال است. بطوریکه بیشینه کاهش بارش در فصل پاییز و سپس زمستان اتفاق می‌افتد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بارش تحت سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) در فصل زمستان ۱۷/۳۲ درصد و در فصل پاییز ۲۲/۶۲ درصد کاهش خواهد داشت. تحت سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) نیز بارش وضعیت مناسبی را در فصول زمستان و پاییز نخواهد داشت. بطوریکه در فصل زمستان بارش ۸/۶۴ درصد و در فصل پاییز ۱۳/۹۷ درصد نسبت به دوره تاریخی مدل کاهش نشان می‌دهد. در فصل تابستان بارش استان تحت هر دو شرایط خوش‌بینانه و بدبینانه کمتر از ۲ درصد نسبت به دوره تاریخی کاهش خواهد داشت. شایان‌ذکر است که در فصل تابستان بارش چندانی را در دوره مشاهداتی در استان شاهد نبوده‌ایم. در فصل بهار نیز بارش روند کاهشی را در استان خواهد داشت. بر اساس نتایج سناریو خوش‌بینانه بارش در فصل بهار کاهش ۳/۰۳ درصدی و بر اساس نتایج سناریو بدبینانه کاهش ۷/۶۲ درصدی را تا افق ۱۴۲۴ خواهد داشت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و با توجه به افزایش قابل توجه دما و کاهش بارش دورنمای اقلیمی استان شرایط مناسبی را نخواهد داشت که ضرورت برنامه‌های سازگاری بیش‌ازپیش در استان احساس می‌شود.

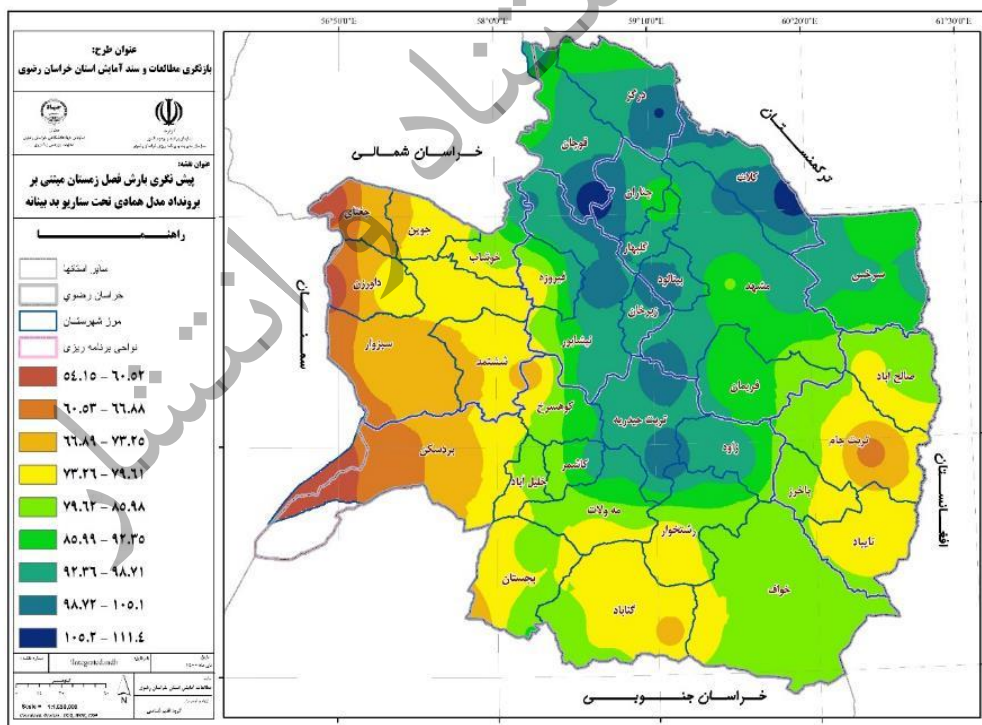


شکل ۲۸. پیش‌نگری بارش فصلی در متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴ (یکای درجه سلسیوس)

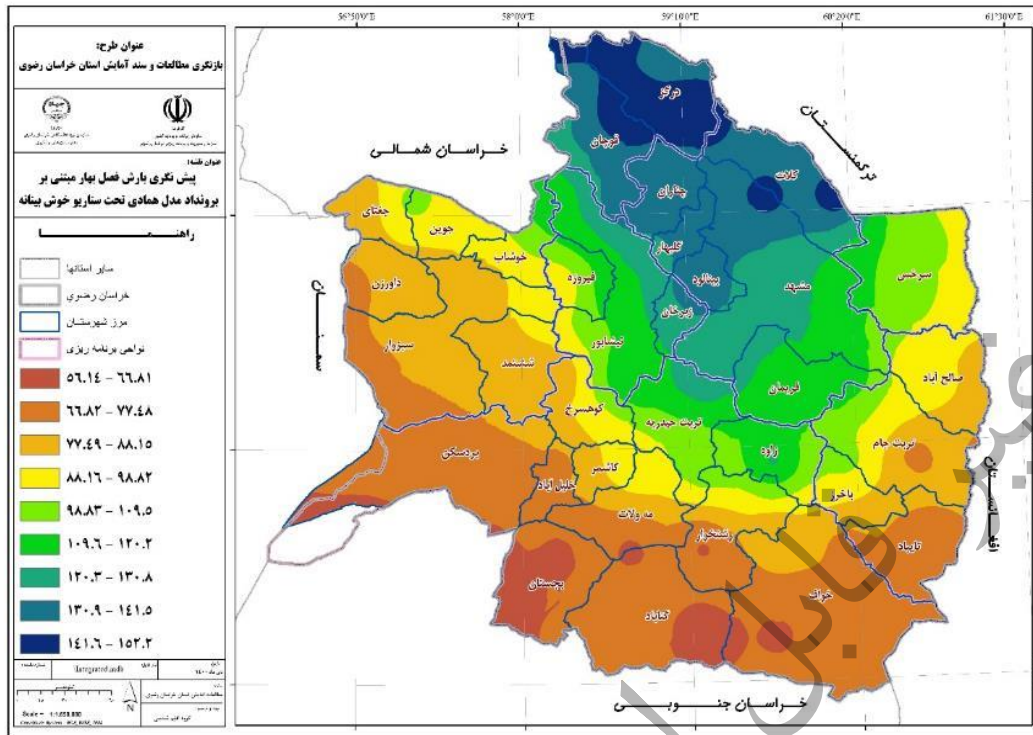




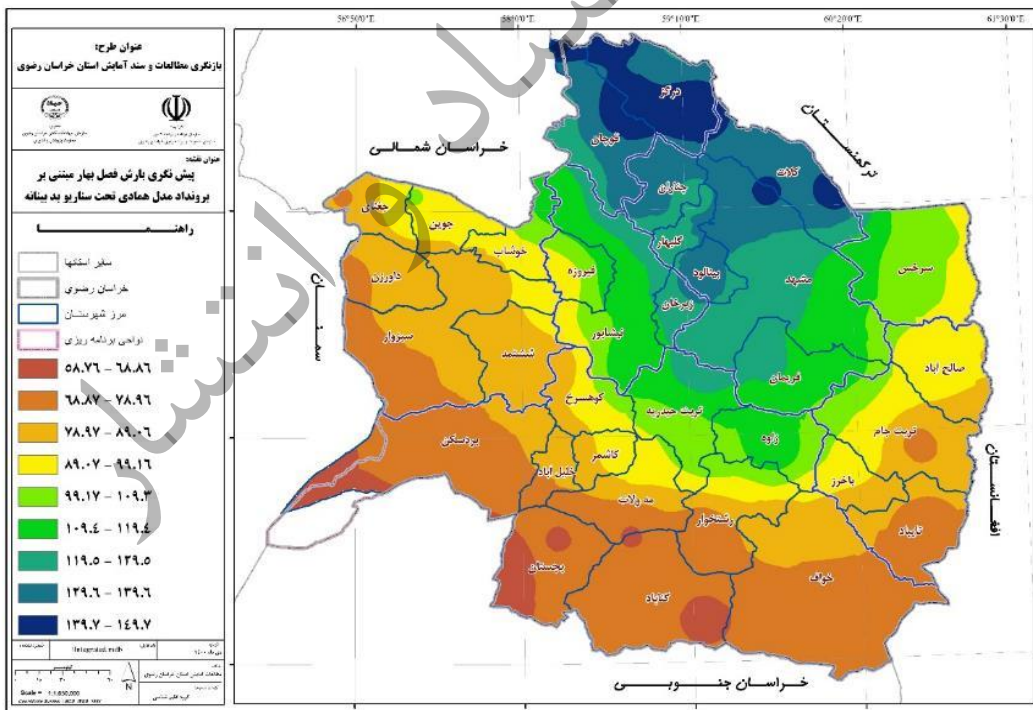
نقشه ۷۴. پیش‌نگری بارش فصل زمستان تحت سناریو خوش‌بینانه تا افق ۱۴۲۴ (بکا: میلی‌متر)



نقشه ۷۵. پیش‌نگری بارش فصل زمستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (بکا: میلی‌متر)

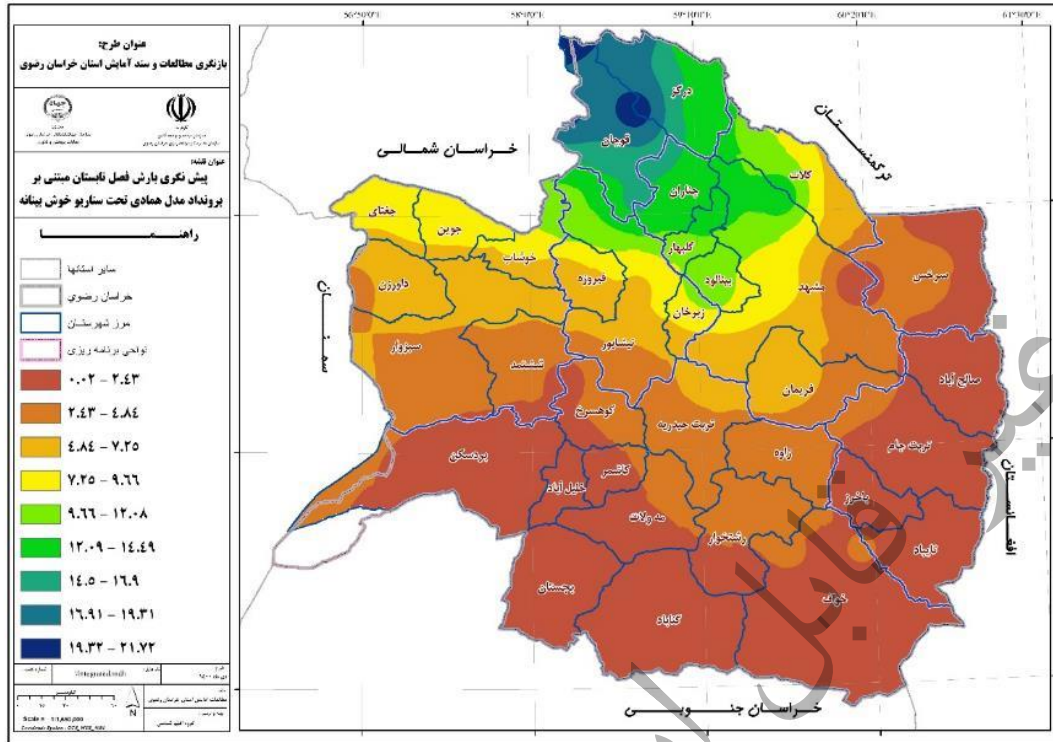


نقشه ۷۶. پیش‌نگری بارش فصل بهار تحت سناریو خوش بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)

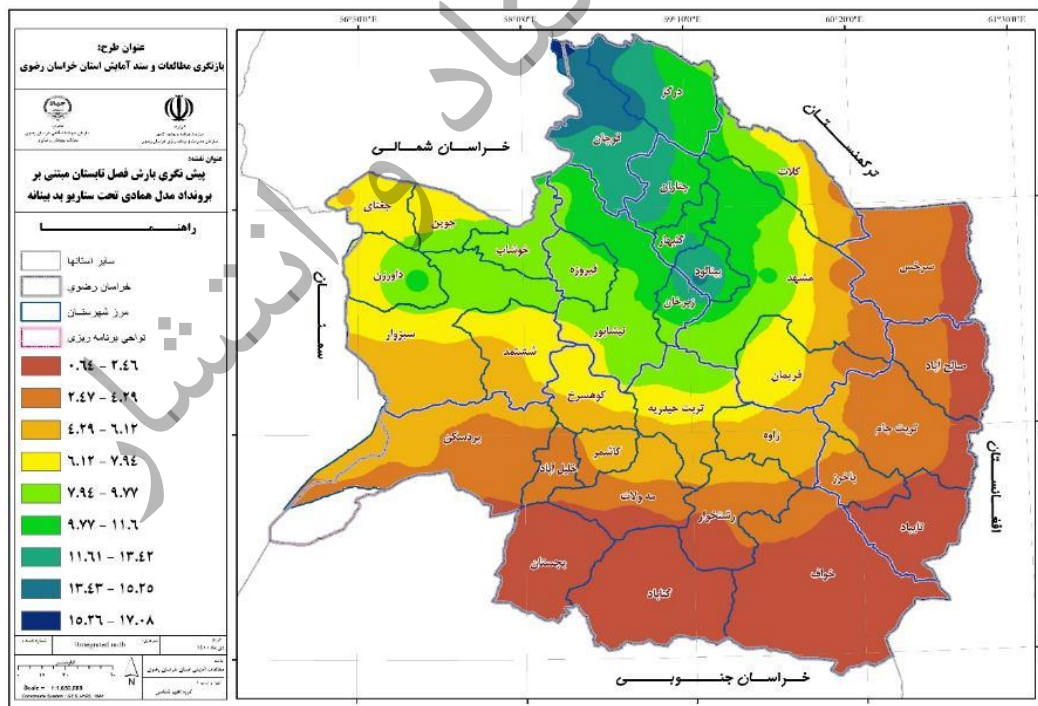


نقشه ۷۷. پیش‌نگری بارش فصل بهار تحت سناریو بد بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)

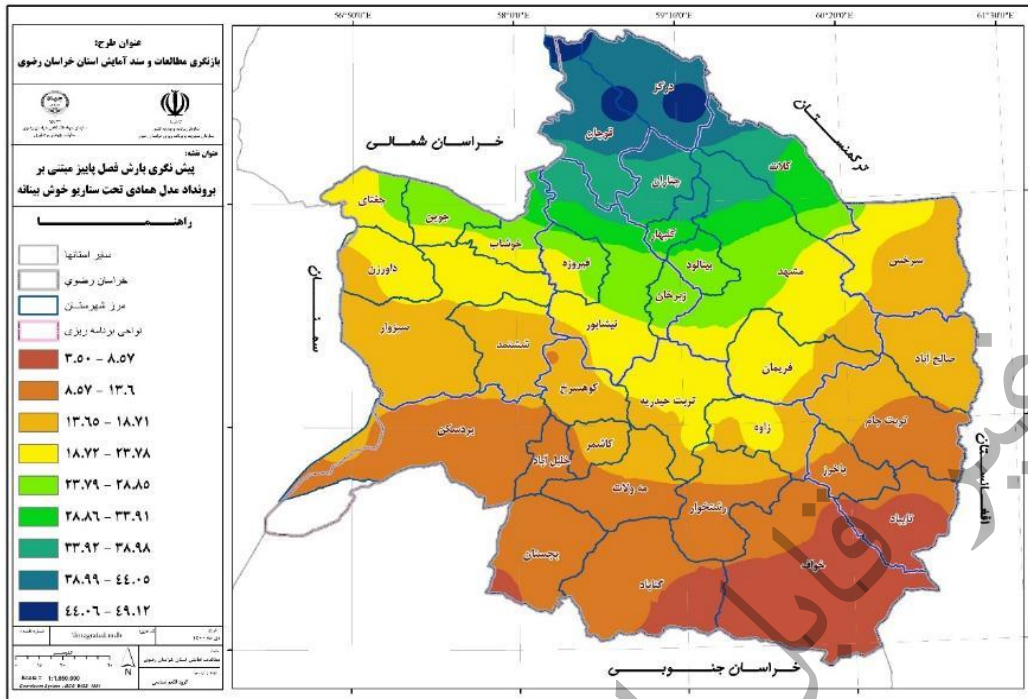




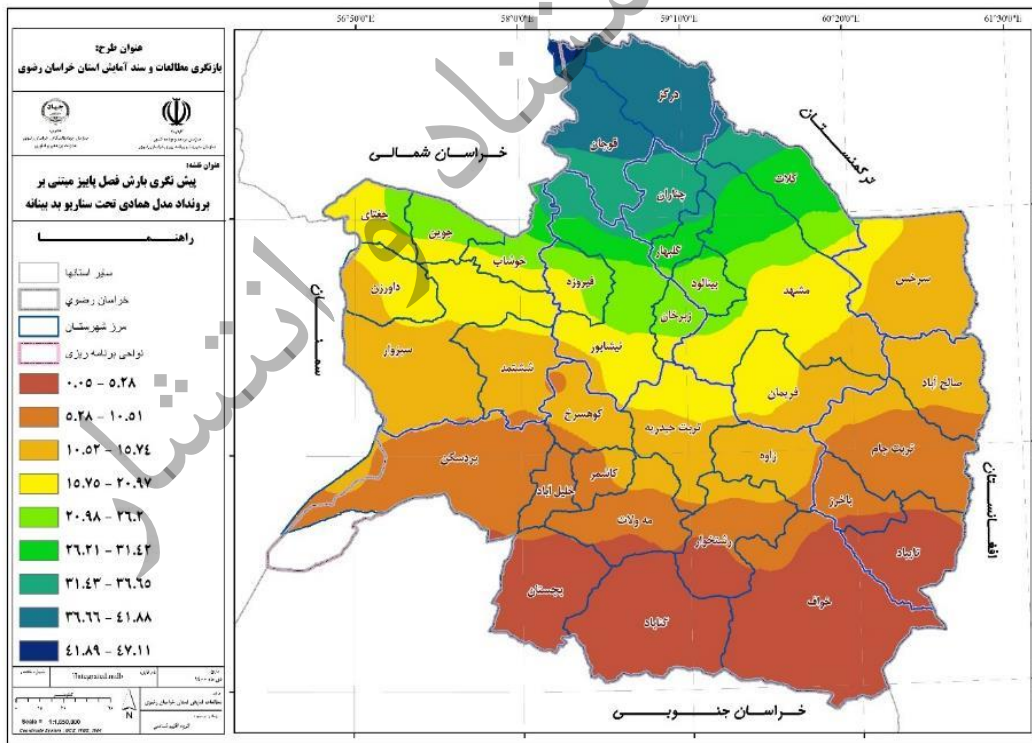
نقشه ۷۸. پیش‌نگری بارش فصل تابستان تحت سناریو خوش‌بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)



نقشه ۷۹. پیش‌نگری بارش فصل تابستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)



نقشه ۸۰. پیش‌نگری بارش فصل پاییز تحت سناریو خوش بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)



نقشه ۸۱. پیش‌نگری بارش فصل پاییز تحت سناریو بد بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)

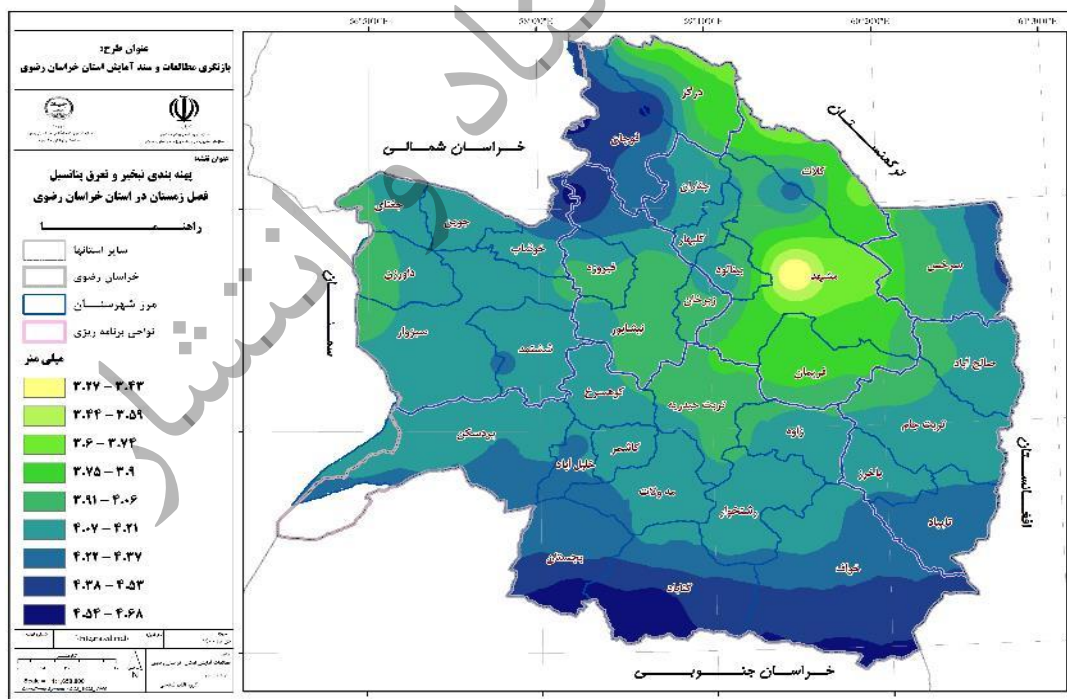


## پهنه‌بندی تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) در استان خراسان رضوی

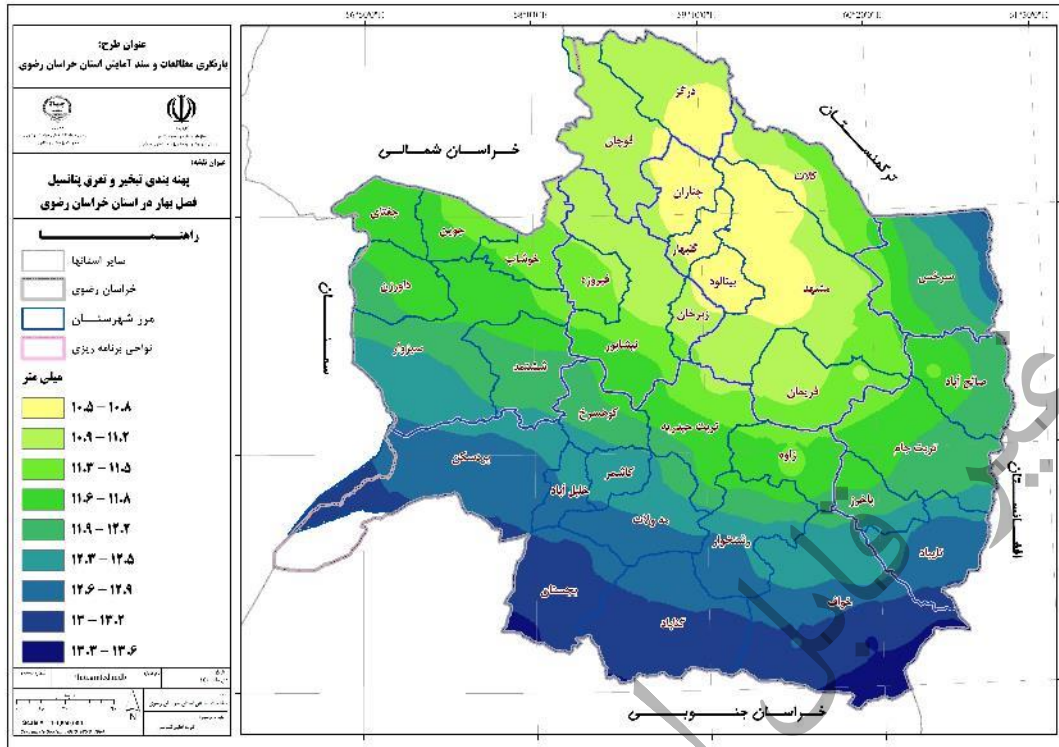
تبخیر-تعرق (ET) و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) نقش بسیار مهمی را در تنش خشکی و بیلان آبی یک منطقه بر عهده دارند. برای روشن شدن وضعیت تبخیر-تعرق پتانسیل در استان خراسان رضوی شاخص PET به شکل سالانه و فصلی مورد بررسی قرار گرفته است. به همین ترتیب درصد PET سالانه نسبت به بارش نیز یکی دیگر از جنبه‌های مورد بررسی در این طرح پژوهشی بوده است (نقشه های ۸۲ تا ۸۵).

پهنه‌بندی تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که این شاخص در سطح استان به شدت تابع فصل و سال است. مقدار PET در فصل زمستان بین  $3/27$  تا  $4/68$  میلی‌متر، فصل بهار بین  $10/5$  تا  $13/6$  میلی‌متر، فصل تابستان بین  $18/8$  تا  $25/2$  میلی‌متر و فصل پاییز بین  $8/64$  تا  $11/6$  میلی‌متر در نوسان است. بالاترین مقدار PET به دست آمده در سطح استان خراسان رضوی در منطقه خواف و در فصل تابستان با مقدار  $25/2$  میلی‌متر قابل مشاهده است.

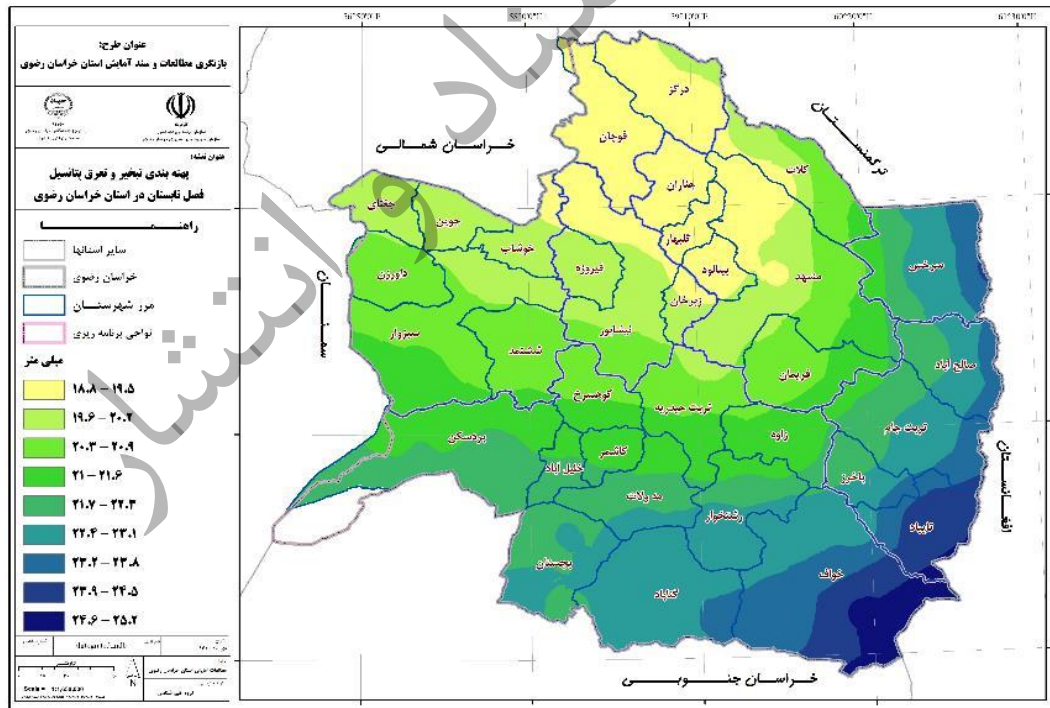
نتایج مربوط به مجموع سالانه PET در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که این متغیر مهم اقلیمی در استان خراسان رضوی بین  $41/8$  تا  $54/8$  میلی‌متر در نوسان است. بالاترین مقدار شاخص در جنوب شرقی استان و سپس در مناطق شرقی، جنوبی، و جنوب غربی استان قابل مشاهده است که با توجه به خشکی بالای این مناطق امری طبیعی است. کمینه مقدار شاخص نیز در مناطق شمالی استان در محدوده بین درگز، چناران، بینالود، کلات و مناطق شمالی مشهد دیده می‌شود.



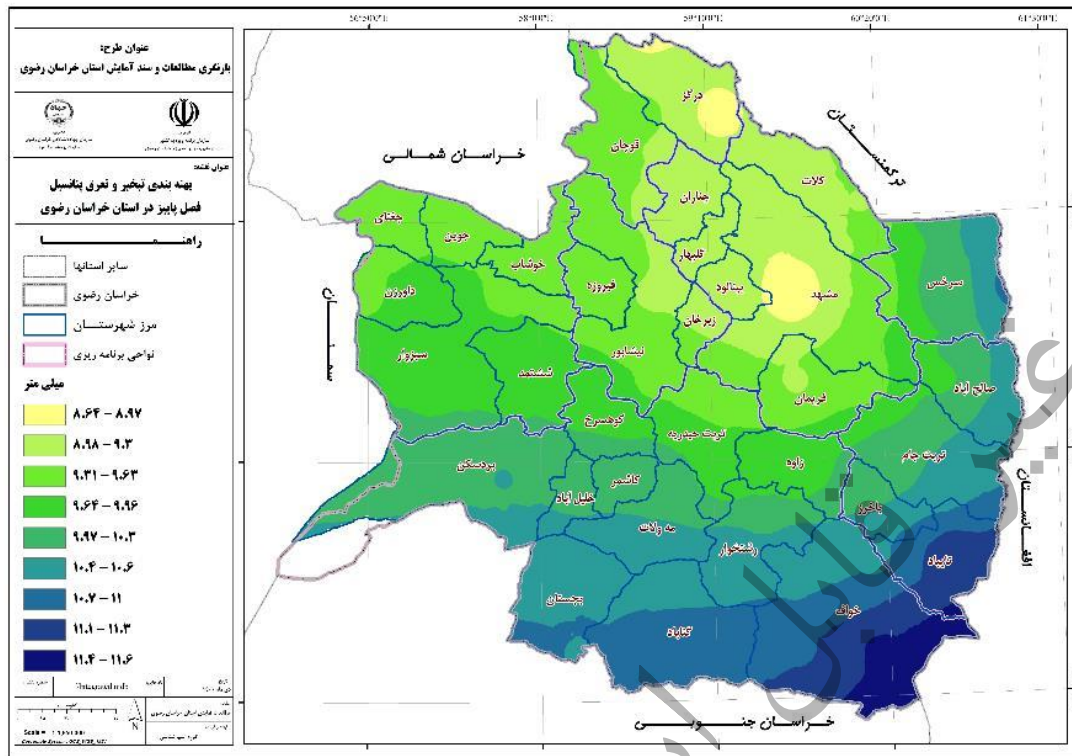
نقشه ۸۲. تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی‌متر)



نقشه ۸۳. تبخیر- تعرق پتانسیل (PET) فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: میلی متر)



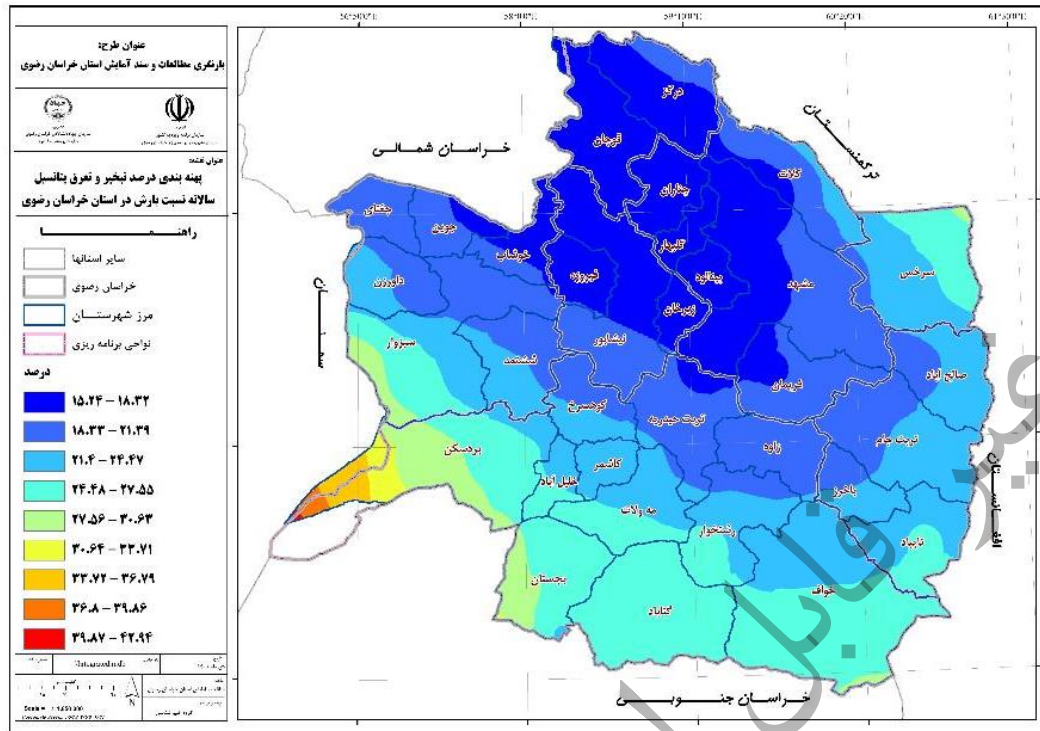
نقشه ۸۴. تبخیر- تعرق پتانسیل (PET) فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: میلی متر)



نقشه ۸۵. تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) فصل پاییز در استان خراسان رضوي (یکا: میلی متر)

تبخیر-تعرق و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) زمانی می تواند به یک مسئله مهم تبدیل شود که بدانیم این مقدار چند درصد از بارش سالانه را در بر می گیرد. برای این منظور درصد تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) را نسبت به مجموع بارش سالانه در استان خراسان رضوي محاسبه کرده و نتایج حاصل از آن در نقشه (۸۶) ارائه شده است. همان طور که در نقشه نیز دیده می شود، درصد تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) نسبت به مجموع بارش سالانه در استان خراسان رضوي بین ۱۵/۳۴ درصد در مناطق شمالی استان شامل درگز، قوچان، فیروزه، زبرخان، بینالود، گلپهارد و چناران تا ۴۲/۹۴ درصد در مناطق جنوب غربی استان در بردسکن در تغییر است. به طور کلی درصد تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) نسبت به مجموع بارش سالانه در استان خراسان رضوي از شمال به جنوب این استان روند افزایشی را نشان می دهد.





نقشه ۸۶. درصد تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) نسبت به مجموع بارش سالانه در استان خراسان رضوی (بیکا: درصد)

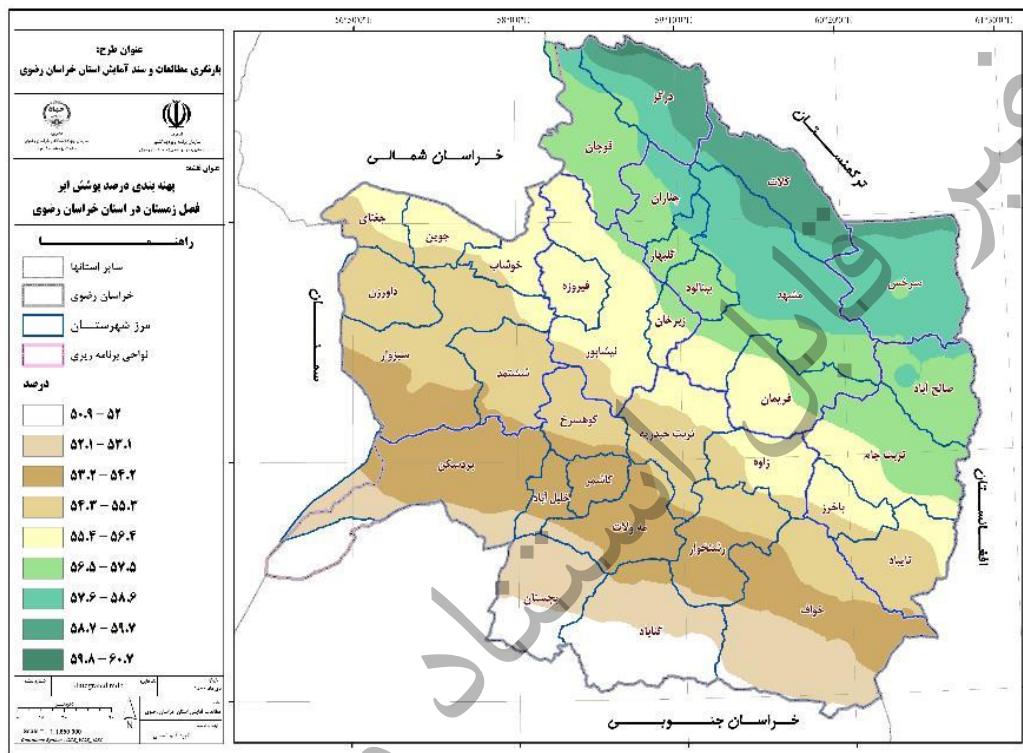
### - تحلیل پوشش ابر: درصد پوشش ابرناکی در استان خراسان رضوی

ابرناکی نماینده‌ی درصدی از آسمان است که پوشیده از ابر باشد. ابرناکی در استان خراسان رضوی با سامانه‌های کم‌فشار و جبهه‌های هوا در ارتباط است. میانگین ابرناکی سالانه استان خراسان رضوی بین ۴۳ تا ۵۰ درصد است بر این اساس استان خراسان رضوی منطقه کم ابر در ایران و حتی جهان که متوسط آن ۵۰ درصد است، است. پوشش ابرناکی از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. مناطق کم ابر استان برای میانگین سالانه در تایباد و خواف دیده می‌شود. هر چند که این کاهش پوشش ابر رابطه مستقیمی با فقر رطوبتی جو دارد اما پایین بودن پوشش ابر در مناطق جنوبی استان فرصت بی‌نظیری را برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی ایجاد می‌کند.

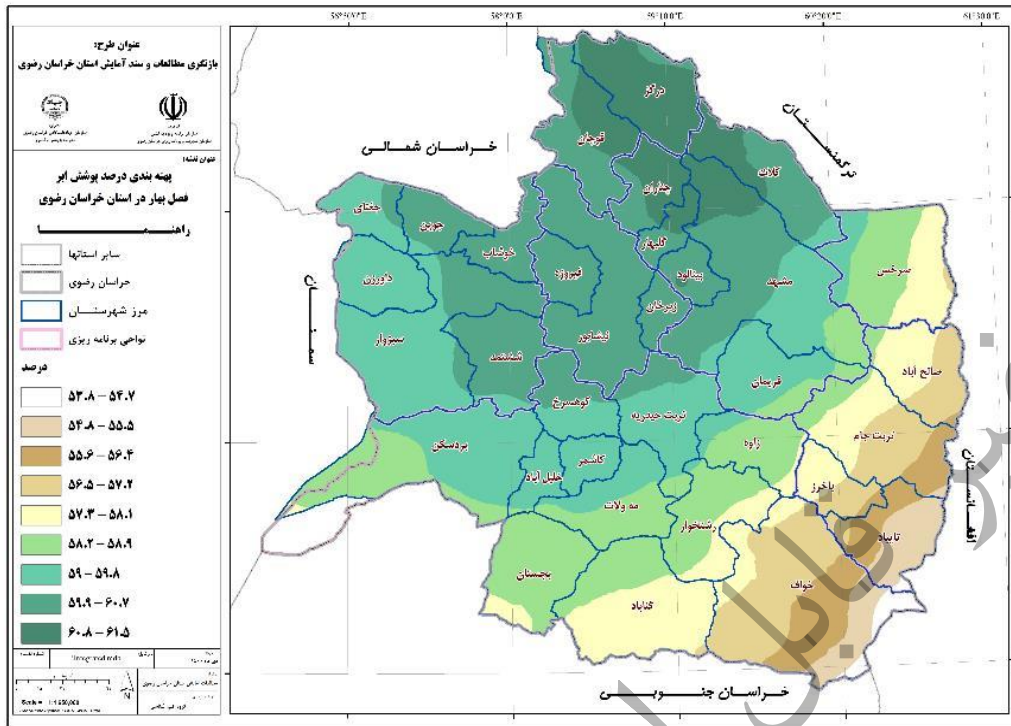
پوشش ابری برای هر یک از فصول سال تهیه و در نقشه‌های (۸۷ تا ۹۱) ارائه شده است. نتایج نشان داده است که پوشش ابری حداکثر در فصل بهار و حداقل در فصل تابستان دیده می‌شود. در فصل زمستان پوشش ابری از ۶۰ درصد در شمال شرقی استان تا ۵۰ درصد در جنوب غربی استان در تغییر است. در فصل بهار به دلیل تقویت فعالیت‌های همرفتی در ارتفاعات پوشش ابری نیز رشد قابل توجهی را نشان داده است. بطوریکه مناطق کوهستانی استان در شمال آن پوشش ابری به ۶۱/۵ درصد نیز می‌رسد. کمینه پوشش ابری نیز در گوشه جنوب شرقی استان در تایباد و خواف با مقدار ۵۳/۸ درصد دیده می‌شود. در فصل تابستان پوشش ابری در هیچ یک از مناطق استان به بالاتر از ۵۰ درصد نمی‌رسد. بیشینه درصد پوشش ابر در این فصل از سال



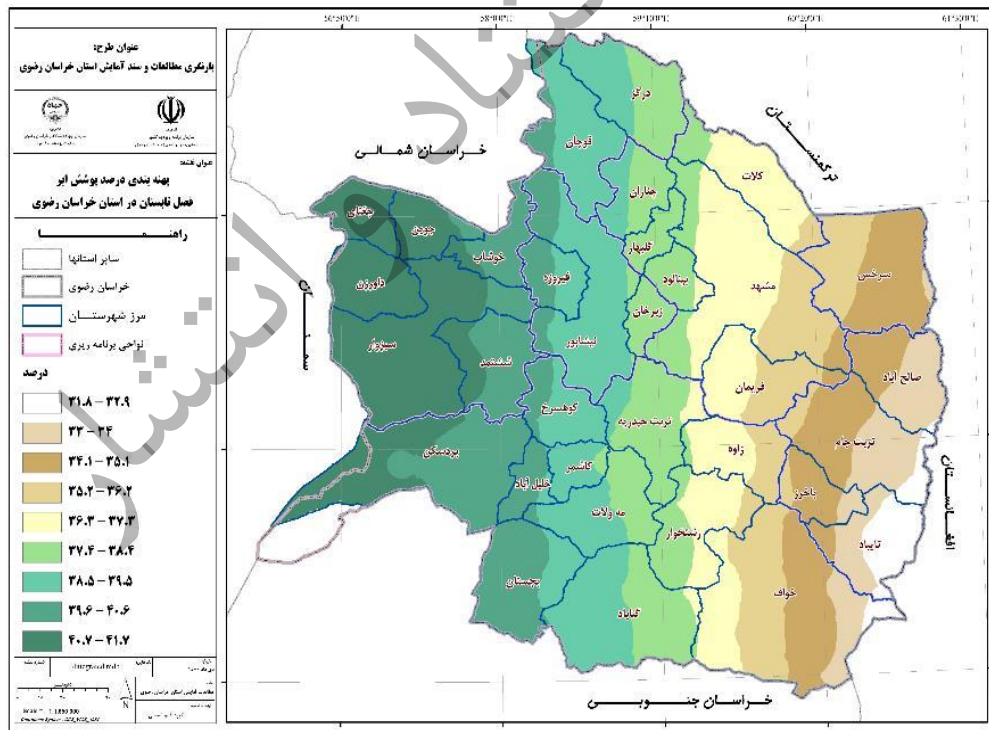
۴۱/۷ درصد است که در مناطق شرقی استان دیده می‌شود. و کمینه آن نیز با مقدار ۳۱/۸ درصد در تایباد، تبت جام و خواف قابل مشاهده است. در فصل پاییز با سردتر شدن هوا پوشش ابری نیز در استان تا حدودی روند افزایشی نشان داده است. در این فصل پوشش ابرناکی حداکثر به ۴۲/۳ درصد در مناطق شمالی استان می‌رسد و کمینه آن نیز همانند سایر فصل در تایباد و خواف با مقدار ۳۳ درصد قابل مشاهده است.



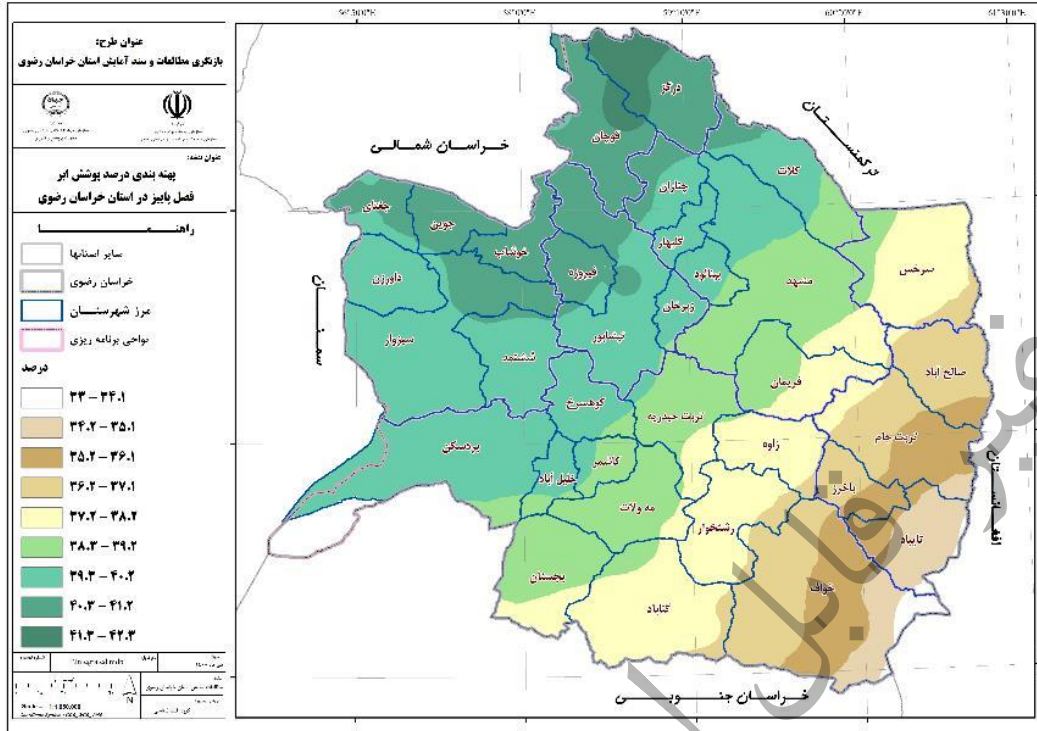
نقشه ۸۷. درصد پوشش ابرناکی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)



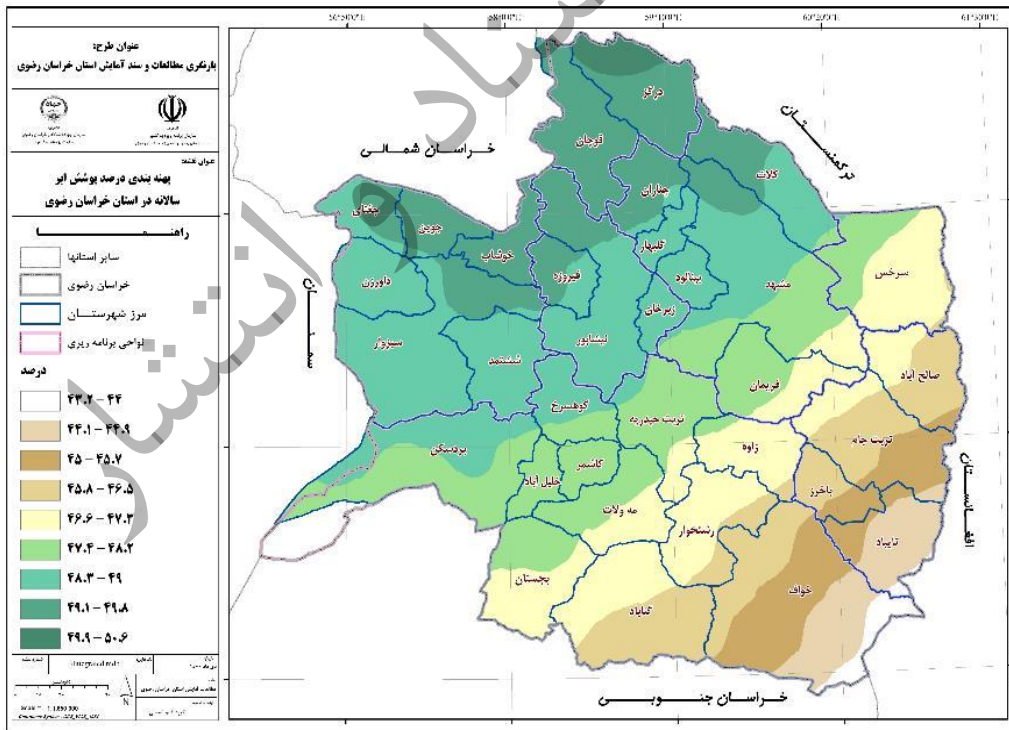
نقشه ۸۸. درصد پوشش ابرناکی فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)



نقشه ۸۹. درصد پوشش ابرناکی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: درصد)



نقشه ۹۰. درصد پوشش ابرناکی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکایا: درصد)



نقشه ۹۱. درصد پوشش ابرناکی سالانه در استان خراسان رضوی (یکایا: درصد)

## بررسی وضعیت خشکسالی در استان خراسان رضوی

خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین مخاطرات طبیعی است و پیامدهای گسترده‌ای بر تولید کشاورزی، منابع آب، عملکردهای اکوسیستم، محیط‌زیست و در مسائل اقتصادی-اجتماعی دارد. به دلیل تنوع زمانی-مکانی، فرآیندهای فیزیکی پیچیده، اثرات غیر ساختاری و تعاریف متفاوت، شناسایی، پیش‌بینی و کاهش پیامدهای خشکسالی اغلب بسیار چالش‌برانگیز است.

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی افزایش خشکسالی را در سراسر جهان از جمله ایران نشان داده‌اند. علاوه بر این، فراوانی و شدت خشکسالی به دلیل تغییر اقلیم افزایش یافته و انتظار می‌رود در سال‌های آتی نیز افزایشی باشد. پیش‌بینی می‌شود که رخدادهای خشکسالی در آینده برای ایران و بخصوص خراسان رضوی مکرر و شدیدتر شوند. با افزایش دما و تغییرات بیشتر در رژیم بارش، افزایش تقاضای آب به دلیل رشد جمعیت، در تضاد شدید با در دسترس بودن آب در مناطق خشک و نیمه‌خشکی همچون استان خراسان رضوی خواهد بود. برای آمادگی بهتر و اقدامات کاهش‌ی در برابر رخدادهای خشکسالی، اطلاعات روشمند و قوی‌تر در مورد رخداد و توزیع خشکسالی نقش اساسی دارد. اطلاعات دقیق در مورد گستره مکانی و شدت خشکسالی پیش‌نیاز آمادگی و برنامه‌ریزی مؤثر در مقابله با اثرات نامطلوب خشکسالی است. به‌ویژه پایش دقیق خشکسالی بر اساس شاخص‌های مختلف خشکسالی تضمین می‌کند که اطلاعات کمی در مورد ویژگی‌های خشکسالی می‌تواند در اختیار تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران قرار گیرد.

استان خراسان رضوی شامل منطقه‌ای از پویایی‌های پیچیده جوی و فرآیندهای اقلیم منطقه‌ای است. اقلیم استان خراسان رضوی با دمای زیاد، دوره‌های خشک متوالی و تغییرات فصلی بارش مشخص می‌شود. گرمایش جهانی مرتبط با تغییر اقلیم منجر به افزایش تنش آبی و خطرات بیشتر کمبود آب در استان خراسان رضوی خواهد شد. چندین منطقه در استان خراسان رضوی به‌طور قابل‌توجهی با رخدادهای فرین اقلیمی مانند امواج گرمایی مکرر، سیل‌های بیشتر و شدت بالاتر بارش مواجه هستند. علاوه بر این، رخدادهای خشکسالی و امواج گرما منجر به کاهش سطح آب و کاهش محصول در سراسر منطقه خواهند شد. شواهدی مبنی بر افزایش دما در اکثر مناطق استان خراسان رضوی وجود دارد. تشدید امواج گرمایی به تسریع رخدادهای خشکسالی در اکثر مناطق استان خراسان رضوی کمک کرده است.

از آنجایی که پیش‌بینی می‌شود بارش کاهش یابد و تبخیر-تعرق افزایش یابد، این مطالعه ضرورت در نظر گرفتن تغییرات در چرخه هیدرولوژیکی را به‌عنوان ابزاری برای بهبود مدیریت آب ضروری می‌داند. در برخی از مناطق افزایش قابل‌توجهی در خشکی دیده می‌شود که نشان‌دهنده کاهش قابل‌توجه بارش در مقیاس فصلی و بین‌سال است. به دلیل افزایش تبخیر، تنش آب تحت شرایط تغییر اقلیم در استان افزایش خواهد یافت، که می‌تواند شرایط خشکسالی شدید را در این مناطق ایجاد کند. طول مدت خشکسالی نشان‌دهنده آن است که خشکسالی شدید ممکن است پیامدهای بیشتری در استان خراسان رضوی داشته باشد.

توصیف رخدادهای خشکسالی در یک منطقه مستعد خشکسالی مانند استان خراسان رضوی برای کاهش خطر خشکسالی بسیار مهم است. در این بخش، خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی به



همراه شاخص شدت خشکسالی در استان خراسان رضوی برای دوره ۱۴۰۰-۱۳۶۹ مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی خشکسالی شاخص بارش تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI) و شاخص شدت خشکسالی پالمر واسنجی شده (SC-PDSI) تحلیل شده است. نتایج کلی نشان می‌دهد که افزایش قابل توجهی در شرایط خشکسالی مشهود است. افزایش شدید در میانگین مدت خشکسالی و فراوانی خشکسالی طی دهه اخیر در استان بارز است. مناطق غربی و جنوب شرقی استان آسیب پذیرترین مناطق برای مواجهه با خشکسالی‌های مکرر با مدت طولانی‌تر و شدت بیشتر است. این نتایج مبنایی برای توسعه اقدامات سازگاری با خشکسالی برای استان خراسان رضوی را فراهم می‌کند.

### روش محاسبه شاخص‌های خشکسالی در استان خراسان رضوی

برای پیگیری اهداف طرح آمایش استان خراسان رضوی، جهت بررسی خشکسالی از دو شاخص خشکسالی SC-PDSI و SPEI استفاده شده است که در ادامه شرح مختصری از این دو شاخص ارائه می‌شود.

#### شاخص شدت خشکسالی پالمر واسنجی شده (SC-PDSI)

شاخص شدت خشکسالی پالمر یک شاخص کاربردی و بسیار مهم در پایش خشکسالی است. انتخاب مقیاس زمانی فصلی برای SC-PDSI متناسب با هدف مطالعه حاضر برای توصیف شرایط خشکسالی و همچنین دوره‌های فصلی برای سری طولانی مدت هواشناسی مناسب‌تر است. شاخص SC-PDSI بر اساس مدل عرضه و تقاضای رطوبت خاک محاسبه می‌شود (دای، ۲۰۱۱). داده‌های ظرفیت نگهداری آب با استفاده از نقشه خاک FAO از انستیتوی تحقیقات تأثیر اقلیم (PIK) به دست آمده است. این مطالعه برای محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه (PET) از روش پنمن-مونتیث استفاده کرده است که توسط سازمان غذا و کشاورزی (FAO) توصیه شده است. روش پنمن-مونتیث به دلیل ترکیب عوامل دمایی و دینامیکی در مناطق خشک اثرگذاری بهتری دارد (جدول ۲۵).

جدول ۲۵. طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص پالمر واسنجی شده

ردیف	درجه‌بندی خشکسالی	محدوده شاخص PDSI
۱	خشکسالی بسیار شدید	$PDSI < -4$
۲	خشکسالی شدید	$-4 < PDSI < -3$
۳	خشکسالی متوسط	$-3 < PDSI < -2$
۴	خشکسالی خفیف	$-2 < PDSI < -1$
۵	نزدیک به نرمال	$-1 < PDSI < +1$
۶	ترسالی خفیف	$+2 < PDSI < +1$
۷	ترسالی متوسط	$+3 < PDSI < +2$
۸	ترسالی شدید	$+4 < PDSI < +3$
۹	ترسالی بسیار شدید	$PDSI < +4$

شاخص استاندارد شده بارش تبخیر-تعرق (SPEI<sup>1</sup>)

شاخص SPEI را نخستین بار ویسنته سرانو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) بکار بردند. شاخص SPEI شاخصی چند کمیتی است که در آن داده‌های بارش و دما ترکیب می‌شوند. در این شاخص مقادیر اختلاف بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر در واقع معرف تعادل اقلیمی بیلان آب است که در شاخص SPEI مدنظر قرار گرفته است. با در نظر گرفتن تبخیر-تعرق پتانسیل (PET)، تفاوت بین بارش (P) و تبخیر-تعرق پتانسیل برای ماه نام به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌گردد. معادله تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) نیز با روش پنمن-مونتیث فائو استفاده شد.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

مقادیر D در مقیاس‌های زمانی مختلف از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$D_n^k = \sum_{n=0}^{k-1} P_{n-1} - PET_{n-i} \quad (2)$$

که k (ماه‌ها) مقیاس زمانی موردنظر و n ماه موردنظر در محاسبه می‌باشد.

یک توزیع سه پارامتری برای محاسبه شاخص خشکسالی نیاز است تا بتواند مقادیر منفی در داده‌های D را پوشش دهد. نتایج انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع نشان می‌دهد که داده‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف برآزش خوبی با استفاده از تابع لجستیک لگاریتمی دارد. بدین ترتیب تابع تجمعی احتمال سری داده‌های D بر اساس تابع لجستیک لگاریتمی به صورت رابطه (۳) می‌باشد.

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right) \right]^{-1} \quad (3)$$

که  $\alpha$  پارامتر مقیاس و  $\gamma$  پارامتر اصلی برای مقادیر D در محدوده  $\infty > D > \gamma$  است. مقیاس تعیین شدت خشکسالی در جدول (۲۶) آمده است (ویسنته سرانو و همکاران، ۲۰۱۰).

جدول ۲۶. آستانه‌های مختلف وضعیت خشکسالی در شاخص استاندارد شده بارش تبخیر-تعرق (SPEI)

مقدار شاخص SPEI	وضعیت خشکسالی
فوق العاده مرطوب	(۳) - (۲)
خیلی مرطوب	(۲) - (۱/۵)
نسبتاً مرطوب	(۱) - (۱/۵)
نزدیک به نرمال	(۱) - (-۱)
نسبتاً خشک	(-۱) - (-۱/۵)
خشکسالی شدید	(-۱/۵) - (-۲)

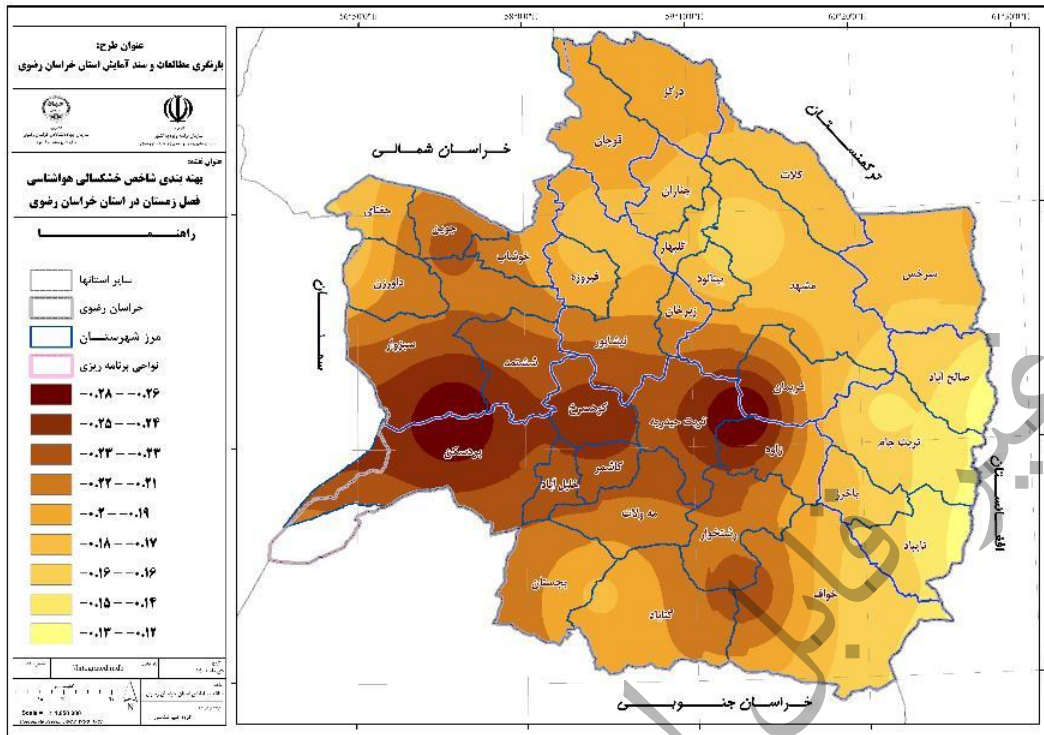
1 Standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI)

2 Vicente-Serrano et al.

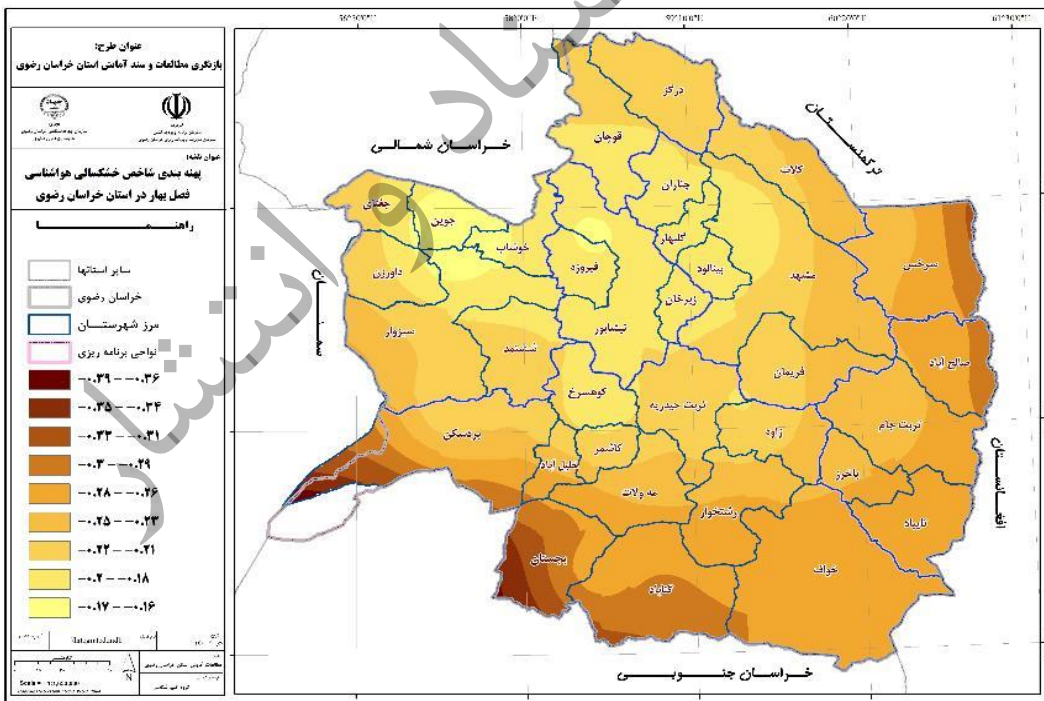
وضعیت خشکسالی	مقدار شاخص SPEI
(-۲) - (-۳)	فوق العاده خشک

شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی در استان خراسان رضوی برای فصول و متوسط سالانه تهیه و در نقشه‌های (۹۲ تا ۱۰۶) نشان داده شده است. اهم نتایج به‌دست آمده از وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی به شرح زیر است:

- پاسخ خشکسالی به گرمایش جهانی به‌شدت به منطقه، فصل و شاخص‌های در نظر گرفته شده بستگی دارد.
- خشکسالی در استان به کاهش رطوبت خاک و به‌تبع آن کاهش رواناب بستگی دارد.
- وسعت مکانی خشکسالی در اکثر مناطق استان افزایش یافته است. به‌طور مشخص خشکسالی با رطوبت خاک که در شکل (۲۹) برای متوسط استان خراسان رضوی نشان داده شد بیش‌ترین ارتباط را نشان می‌دهد. با این حال، در مقایسه با وسعت مکانی خشکسالی، در مناطقی که رطوبت خاک پایین باشد شدت خشکسالی بالا است.
- فراتر از تغییرات در حالت میانگین که در نقشه‌های (۹۲ تا ۱۰۶) ارائه شده است، تغییرات احتمال وقوع شدیدترین رخداد‌های خشکسالی از نظر تاریخی در نمودارهای ارائه شده برای ایستگاه‌های شاخص دیده می‌شود. خطر این رخدادها به‌طور کلی در مناطق خشک استان با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد.
- حتی با وجود تفاوت در شاخص‌های خشکسالی و فصول، روند اصلی خشکسالی همراه با گرم شدن هوا در استان مشهود است.
- شروع و زمان رخداد خشکسالی یک مؤلفه حیاتی برای کشاورزی است، زیرا خشکسالی ناگهانی می‌تواند عملکرد محصول را به‌شدت کاهش داده و منجر به خسارات اقتصادی شدید شود و به‌طور بالقوه امنیت غذایی را تحت تأثیر قرار دهد.
- برای اکثر مناطق در استان، فصلی بودن فراوانی خشکسالی مشهود است و خشکسالی‌های شدید با احتمال زیاد بین ماه‌های خرداد و شهریور برای مناطق مرکزی، جنوب غربی و شرقی مشهود است (نقشه‌های ۹۲ تا ۱۰۶).

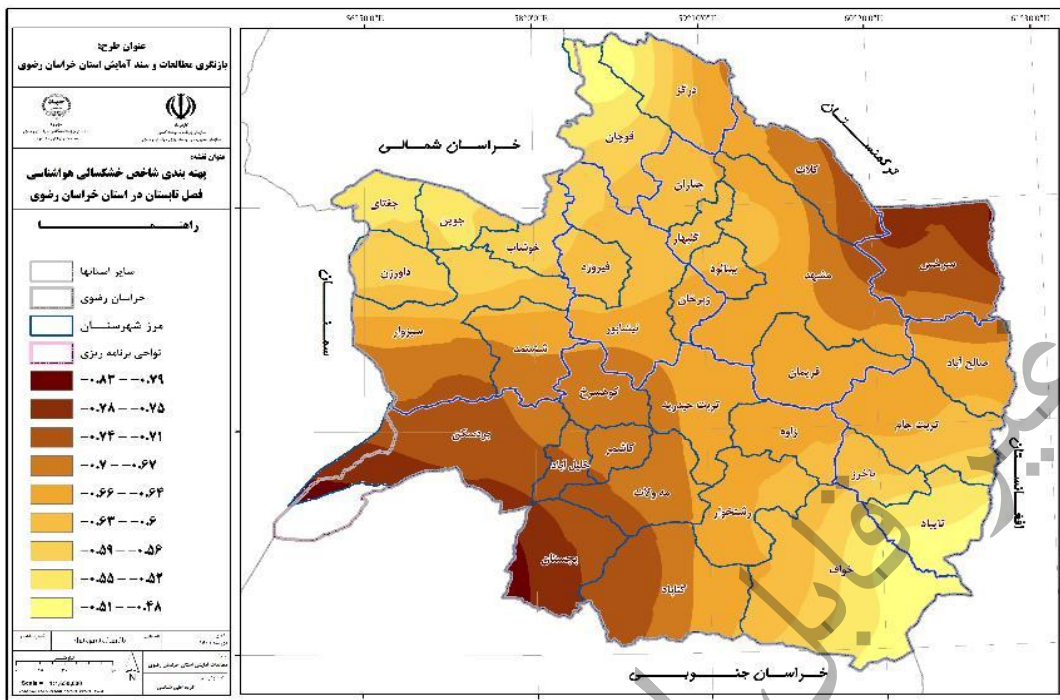


نقشه ۹۲. خشکسالی هواشناسی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)

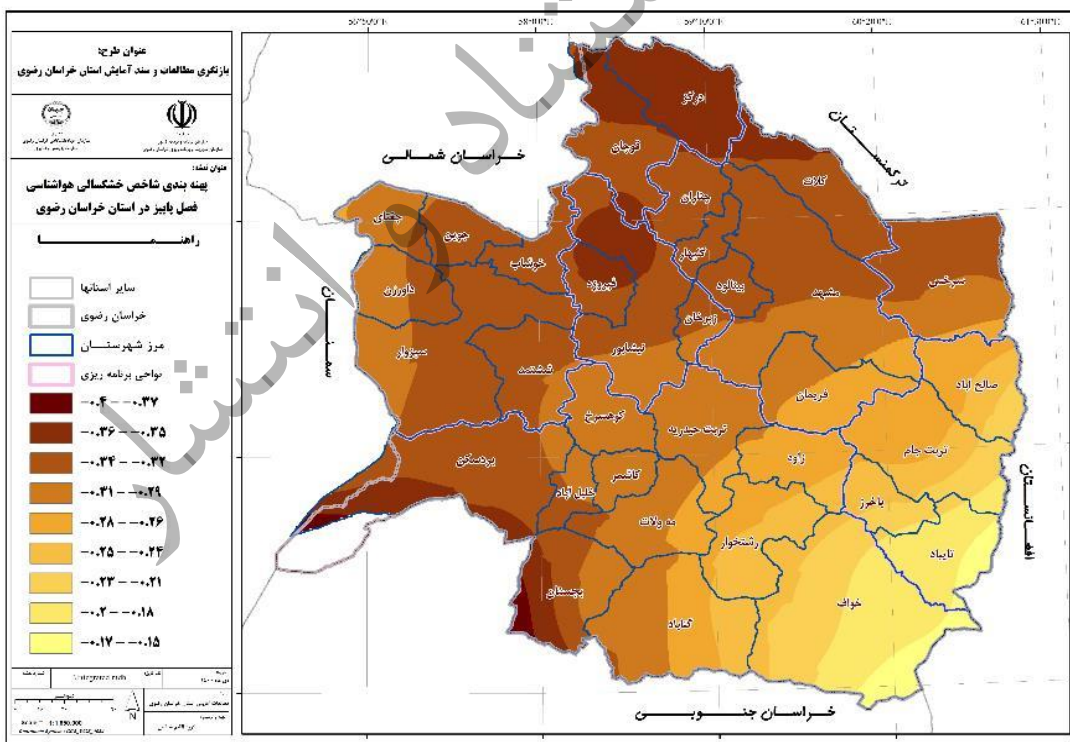


نقشه ۹۳. خشکسالی هواشناسی فصل بهار در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)

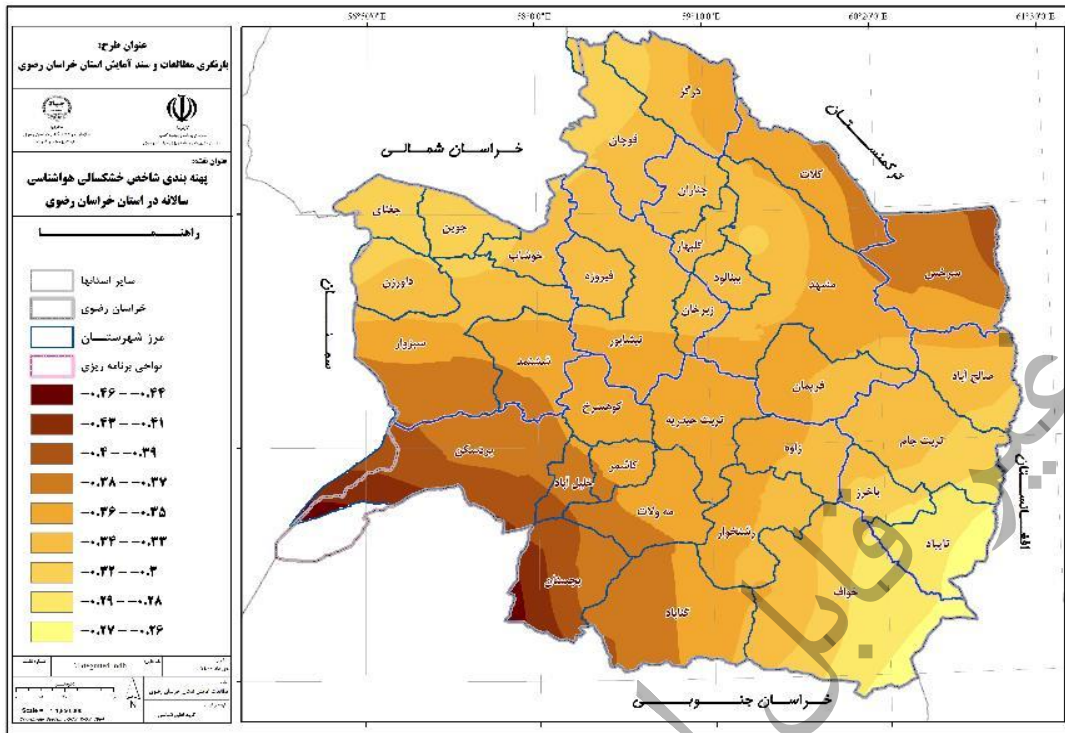




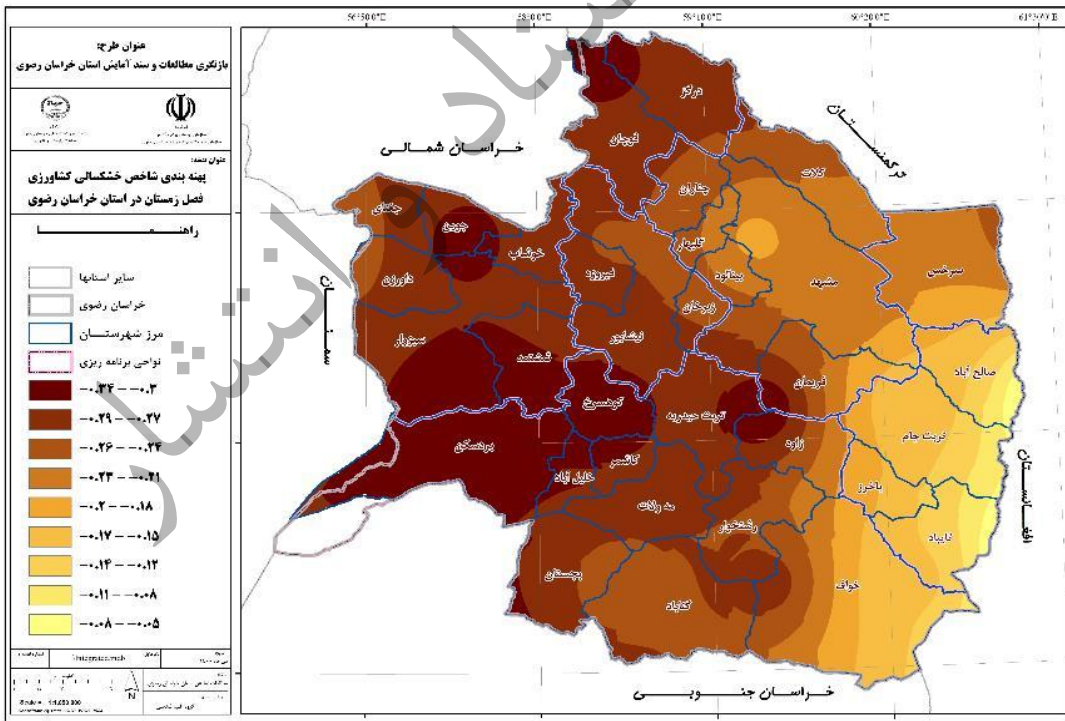
نقشه ۹۴. خشکسالي هواشناسي فصل تابستان در استان خراسان رضوي (مبتني بر شاخص SPEI)



نقشه ۹۵. خشکسالي هواشناسي فصل پایيز در استان خراسان رضوي (مبتني بر شاخص SPEI)

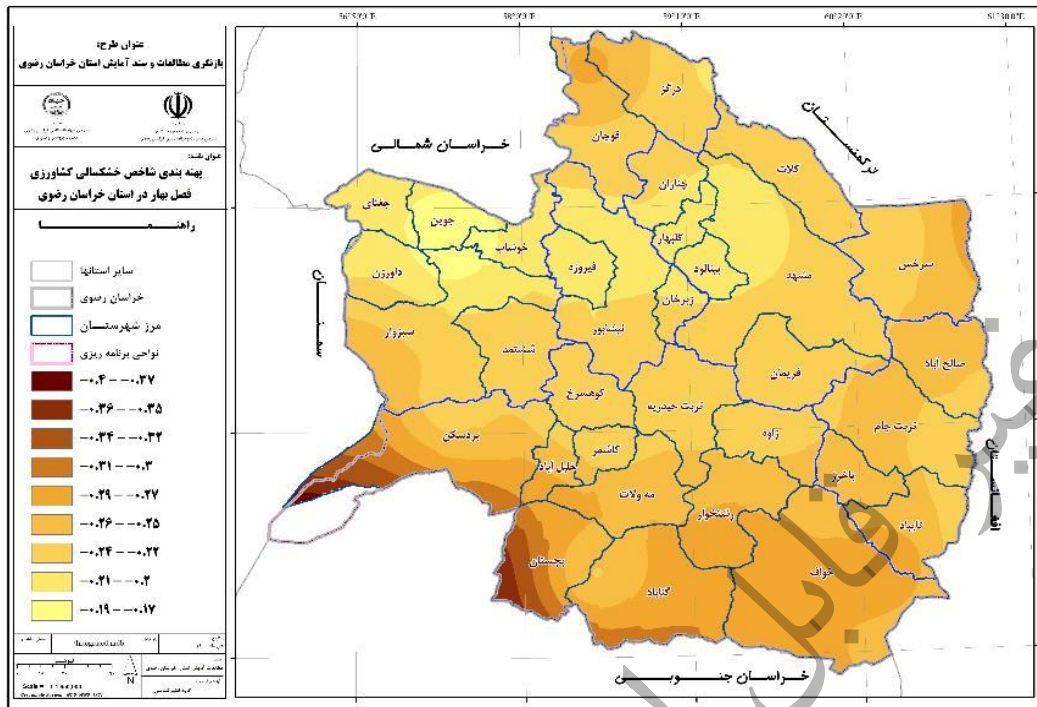


نقشه ۹۶. خشکسالی هواشناسی سالانه در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)

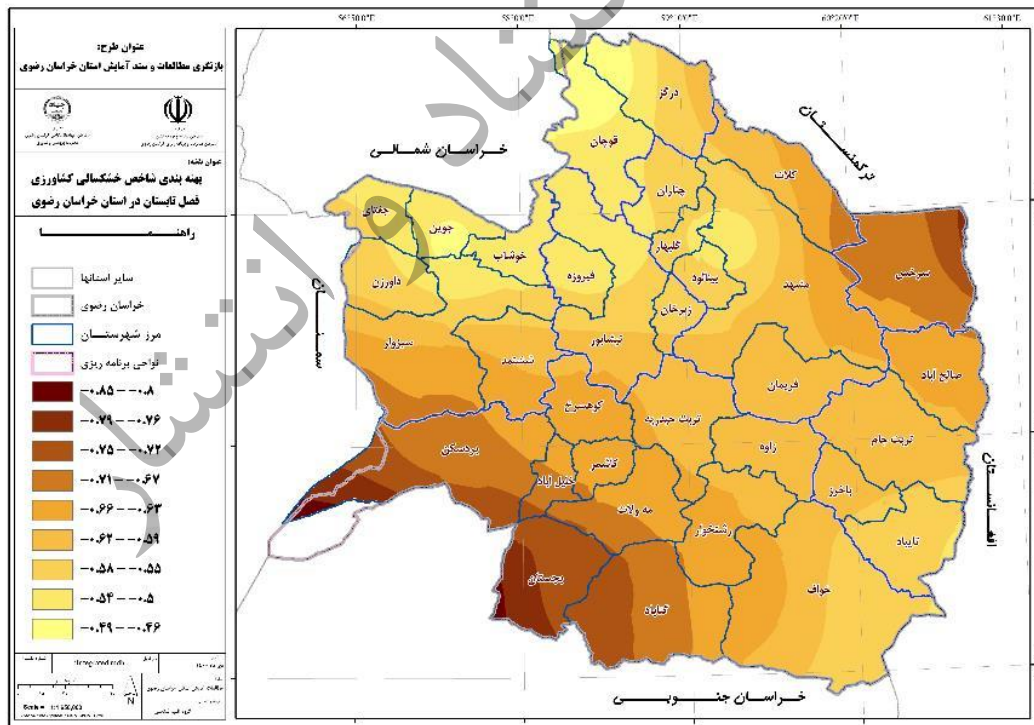


نقشه ۹۷. خشکسالی کشاورزی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)

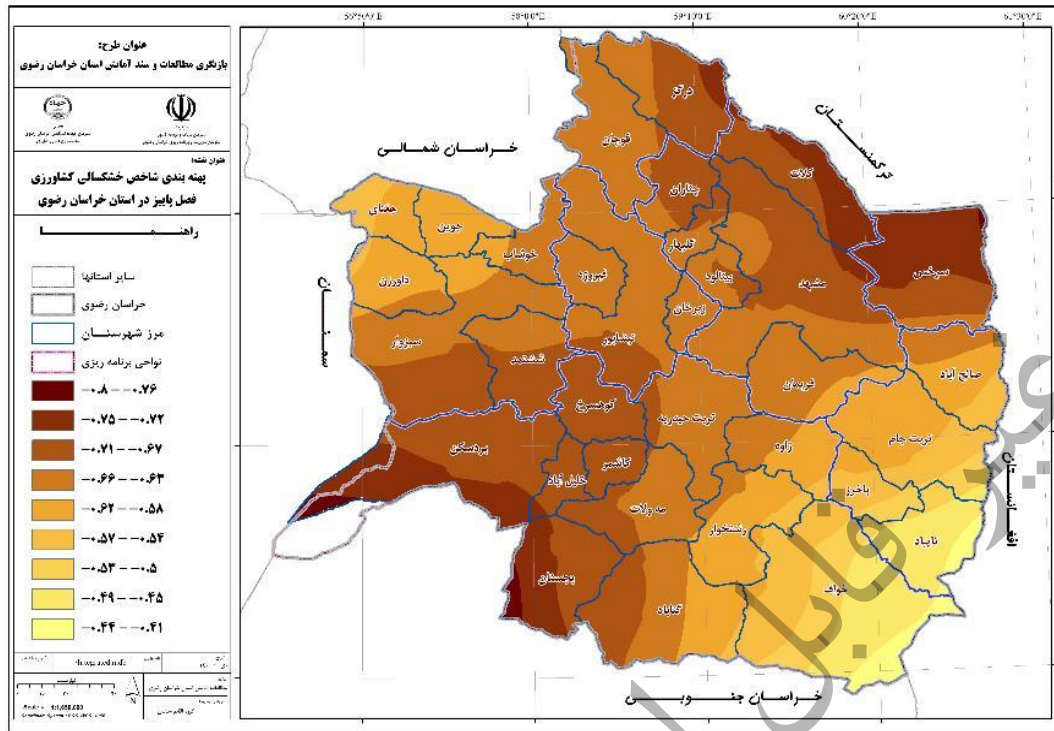




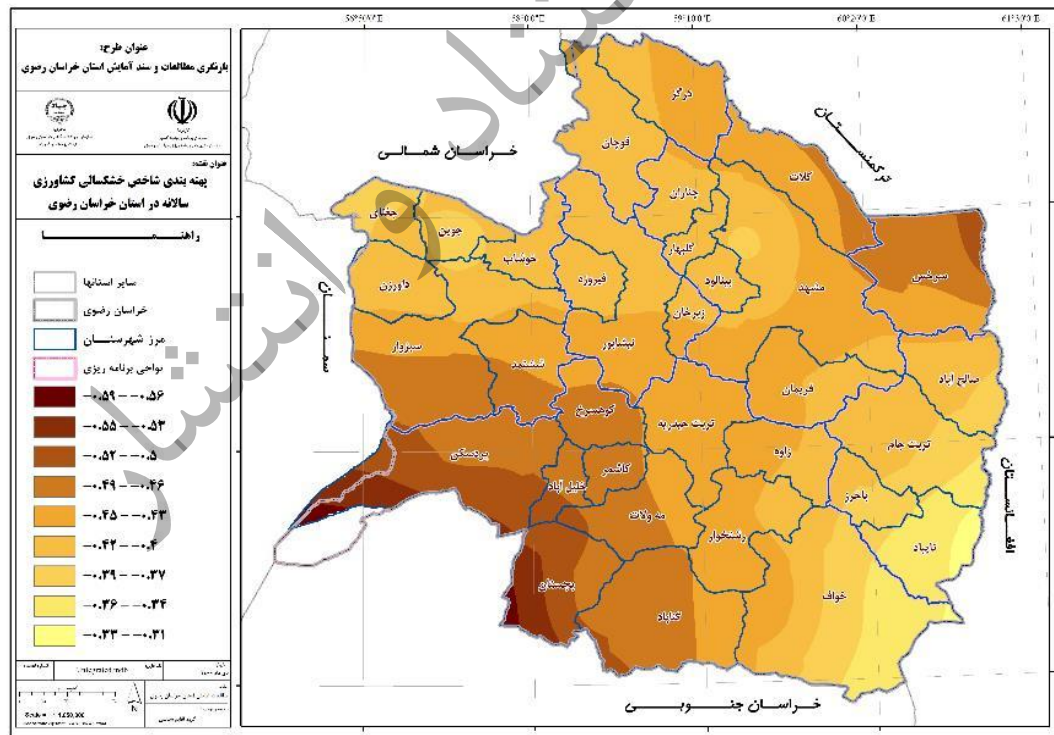
نقشه ۹۸. خشکسالي کشاورزي فصل بهار در استان خراسان رضوي (مبتني بر شاخص SPEI)



نقشه ۹۹. خشکسالي کشاورزي فصل تابستان در استان خراسان رضوي (مبتني بر شاخص SPEI)

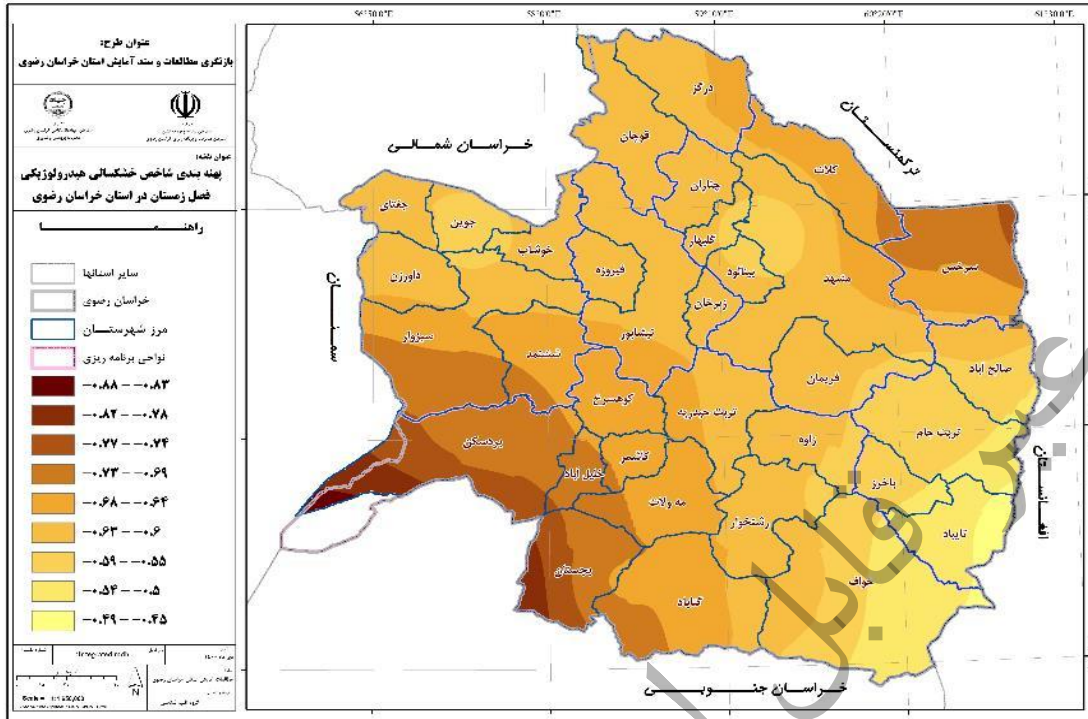


نقشه ۱۰۰. خشکسالی کشاورزی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)

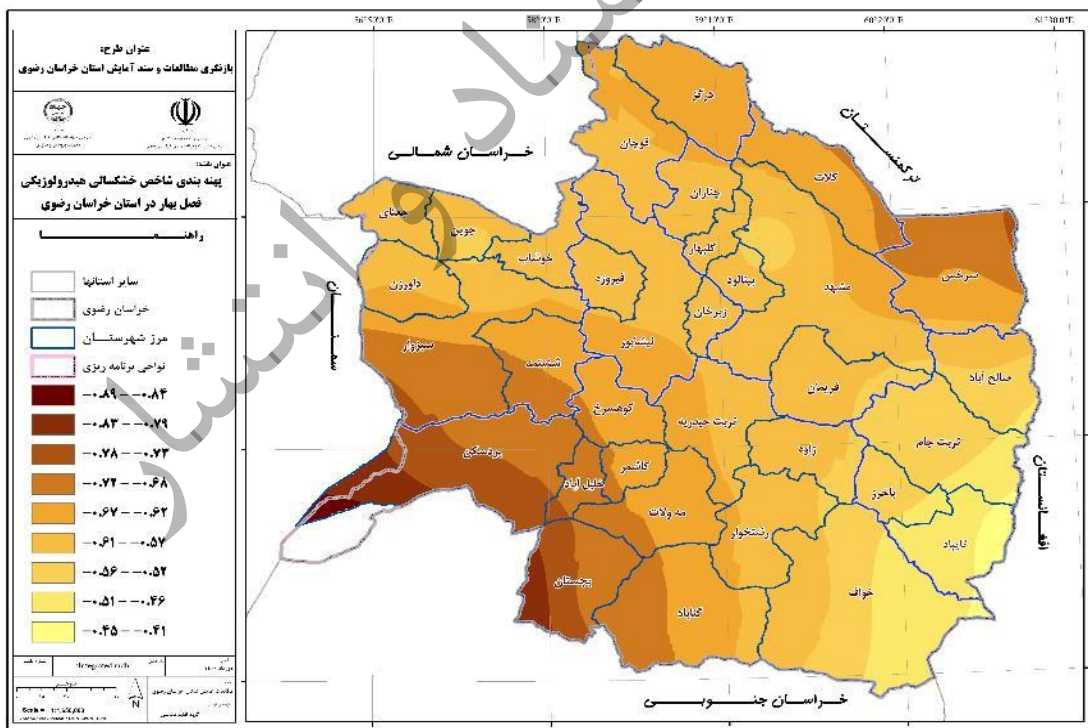


نقشه ۱۰۱. خشکسالی کشاورزی سالانه در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)

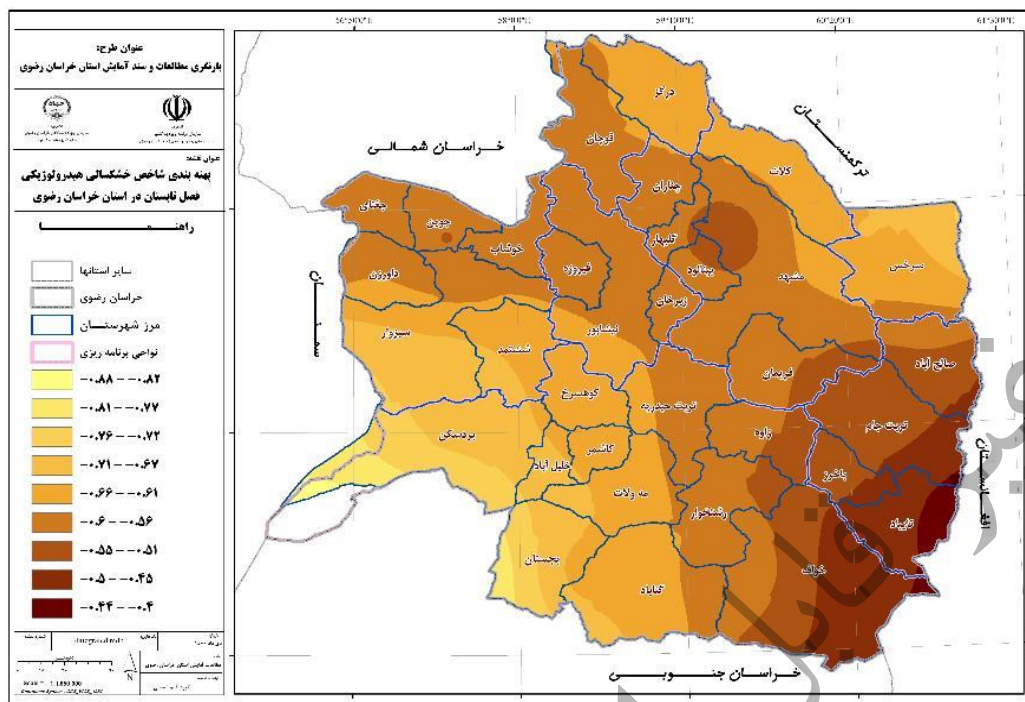




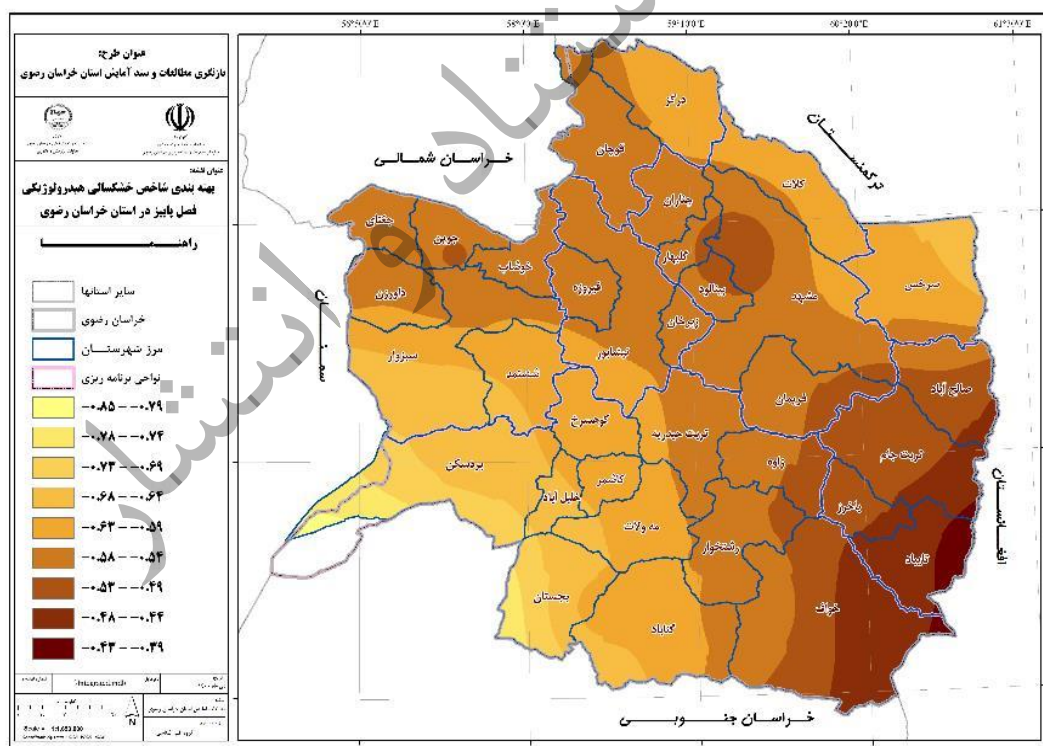
نقشه ۱۰۲. خشکسالي هيدرولوژيکي فصل زمستان در استان خراسان رضوي (مبتني بر شاخص SPEI)



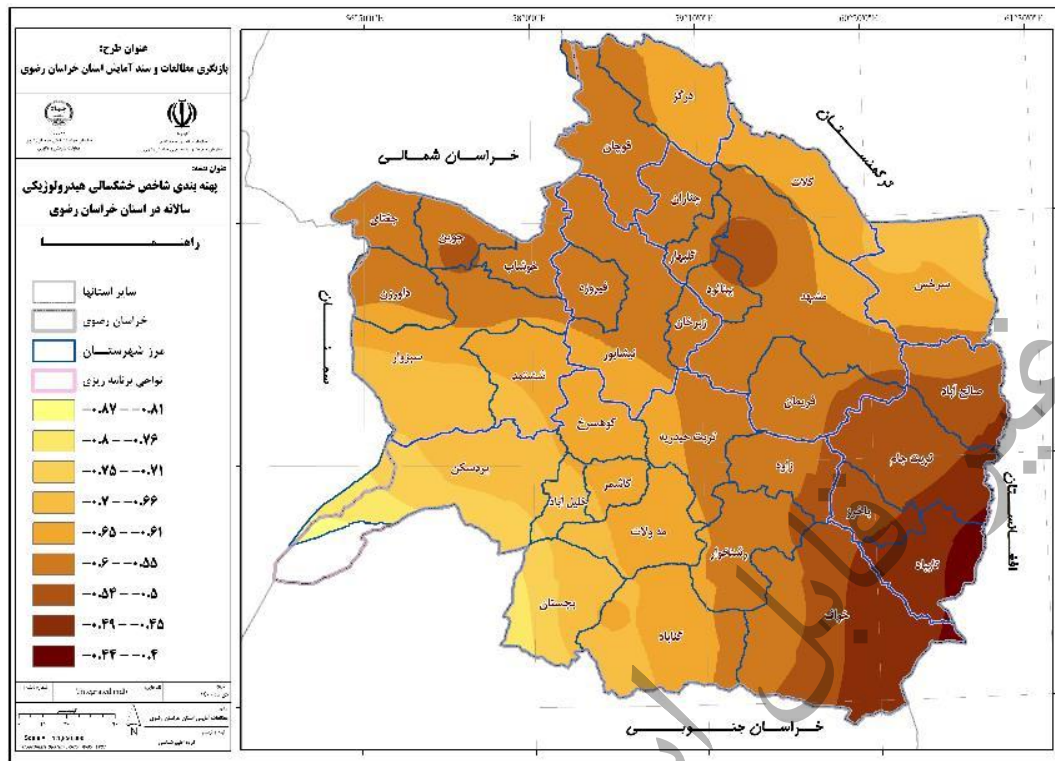
نقشه ۱۰۳. خشکسالي هيدرولوژيکي فصل بهار در استان خراسان رضوي (مبتني بر شاخص SPEI)



نقشه ۱۰۴. خشکسالی هیدرولوژیکی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)



نقشه ۱۰۵. خشکسالی هیدرولوژیکی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)



نقشه ۱۰۶. خشکسالی هیدرولوژیکی سالانه در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SPEI)

### محرک‌های تشدید خشکسالی در استان خراسان رضوی

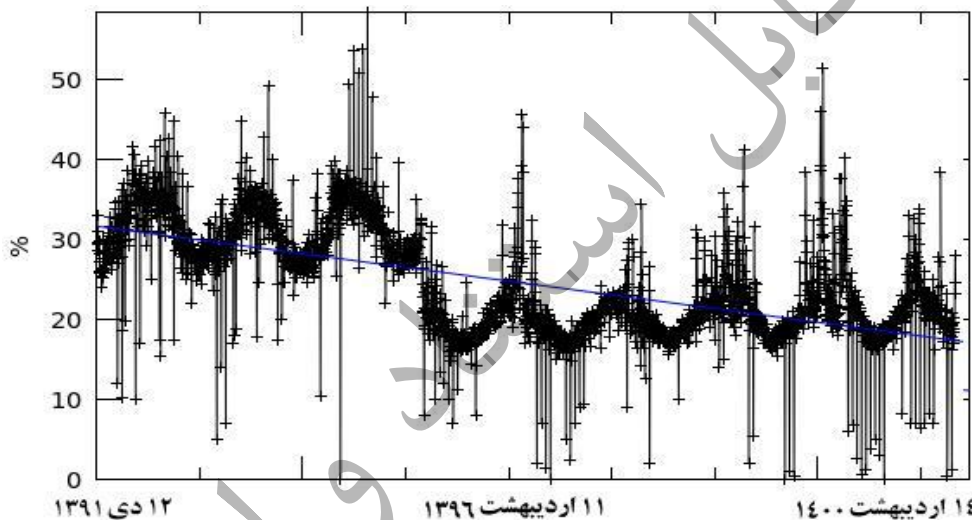
تشدید سریع خشکسالی از طریق دو عامل کلیدی رخ می‌دهد: کمبود بحرانی بارش و افزایش تقاضای تبخیر. هنگامی که کمبود بارش در یک دوره زمانی طولانی (مثلاً چند هفته) رخ می‌دهد، رطوبت خاک با تبخیر-تعرق کاهش می‌یابد و باعث افزایش تنش تبخیری شده و پتانسیل خشک شدن سطح زمین را افزایش می‌یابد. علاوه بر این، شرایط جوی پایدار می‌تواند پتانسیل تبخیر را در سطح زمین از طریق افزایش تابش خورشیدی و کمبود فشار بخار آب افزایش دهد و در نتیجه سبب افزایش PET و تنش تبخیری می‌شود. درحالی‌که ترکیبی از کمبود بارش و بی‌هنجاری‌های مثبت PET برای تشدید خشکسالی شناخته شده‌اند، سهم نسبی هر عامل در تشدید خشکسالی نسبتاً ناشناخته است.

نتیجه کلیدی از تحلیل خشکسالی و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) این است که به‌طور متوسط در منطقه مورد مطالعه، بی‌هنجاری‌های بزرگ و مثبت تبخیر-تعرق در طول رخداد های خشکسالی با نرخ مشابهی در مقایسه با کسری بارش زیاد رخ داده است. با این حال، باید توجه داشت که محرک اصلی در طول گسترش خشکسالی در منطقه متفاوت است.



عوامل متعددی در وقوع خشکسالی در استان خراسان رضوی و در مقیاسی گسترده تر در شمال شرق ایران نقش دارند. اولین مورد از آن‌ها نقش توأمان زمین و جو در تشدید خشکسالی و بخصوص خشکسالی ناگهانی است. درحالی که فعل و انفعالات محلی زمین-جو بسیار پیچیده است، رابطه اساسی بین گسترش ناگهانی خشکسالی و نقش توأمان زمین و جو را می‌توان با متغیرهای کلیدی رطوبت و دما خلاصه کرد. با کاهش رطوبت خاک، تبخیر-تعرق در جو کاهش می‌یابد.

بررسی‌ها نشان داده است که رطوبت خاک در استان خراسان رضوی روند کاهشی داشته است. برای همین منظور روند تغییرات متوسط رطوبت خاک استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های سنجنده AMSR-2 در شکل (۳۱) نشان داده شده است. داده‌های سنجنده AMSR-2 از سال ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ در دسترس بوده است که نمودار تغییرات رطوبت خاک نیز برای همین دوره ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است رطوبت خاک در متوسط استان روند کاهشی را برای یک دهه گذشته نشان داده است.



شکل ۲۹. روند تغییرات متوسط رطوبت خاک استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های سنجنده AMSR-2

تعدیل مؤثر دمای سطح زمین توسط تبخیر-تعرق محدود است و در نتیجه پتانسیل تبخیر افزایشی است. کاهش شار رطوبت از سطح باعث ایجاد یک ستون جوی خشک تر می‌شود که از تولید بارش جلوگیری می‌کند. این فرآیند بازخورد مثبت خشک شدن سطح زمین، افزایش دمای سطح و کاهش پتانسیل بارش به ایجاد و گسترش خشکسالی کمک می‌کند. نقش هم‌زمان زمین - جو نقش مهمی در گسترش سریع خشکسالی به‌ویژه مناطقی که در اقلیم انتقالی قرار دارند و به دینامیک جو حساس هستند، دارد.

سامانه‌های پرفشار (Anticyclones) که در بخش جریان‌ات جوی مفصل بحث شده‌اند نیز نقش مهمی در تشدید خشکسالی دارند. پرفشارها از طریق فرونشست و سرکوب بارش نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد خشکسالی دارند. پشته‌های سطح فوقانی می‌توانند پتانسیل تجدید رطوبت خاک را محدود کنند. به‌طور

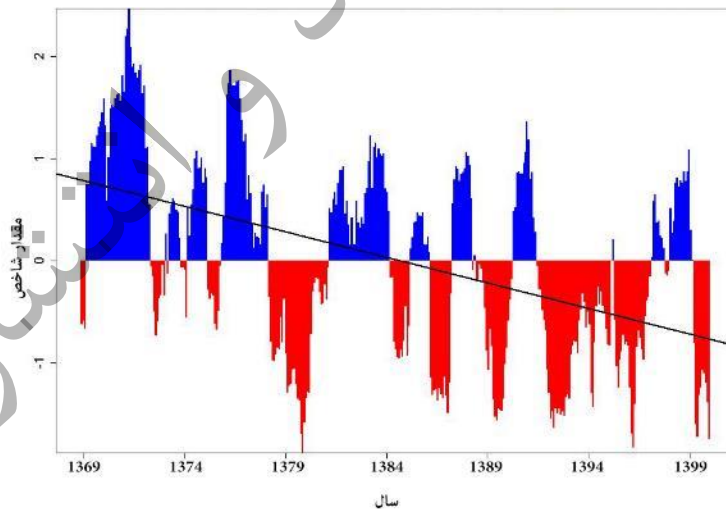
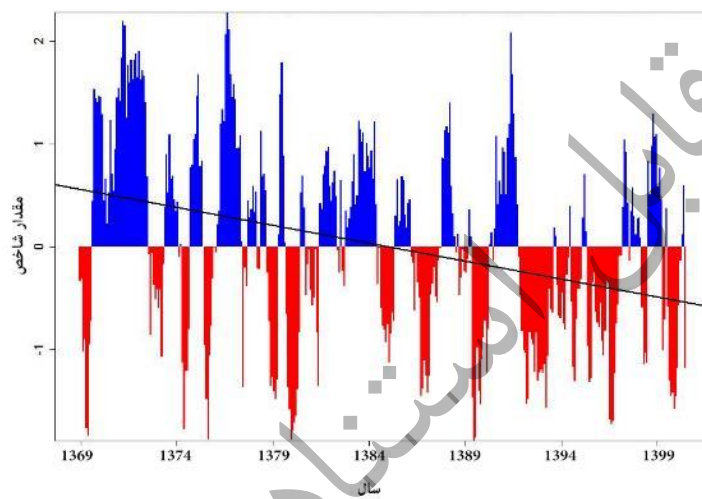
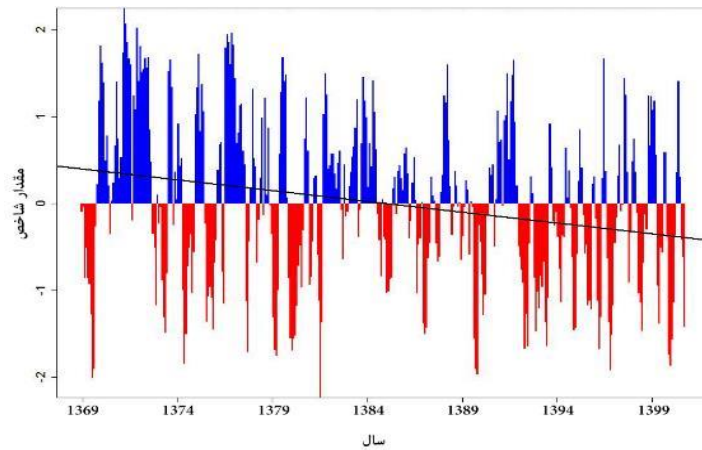


هم‌زمان، پوشش کمتر ابر و دمای سطح گرم‌تر، پتانسیل تبخیر رطوبت از سطح زمین را افزایش می‌دهد. به‌این‌ترتیب، پرفشارها با محدود کردن رطوبت برای تبخیر-تعرق و افزایش تبخیر پتانسیل، تأثیر دوگانه‌ای بر افزایش تنش تبخیری دارند. افزایش مخاطره خشکسالی به‌ویژه با سامانه‌های مانع (بلا کینگ‌ها) که برای چندین هفته ادامه دارند نیز مشهود است.

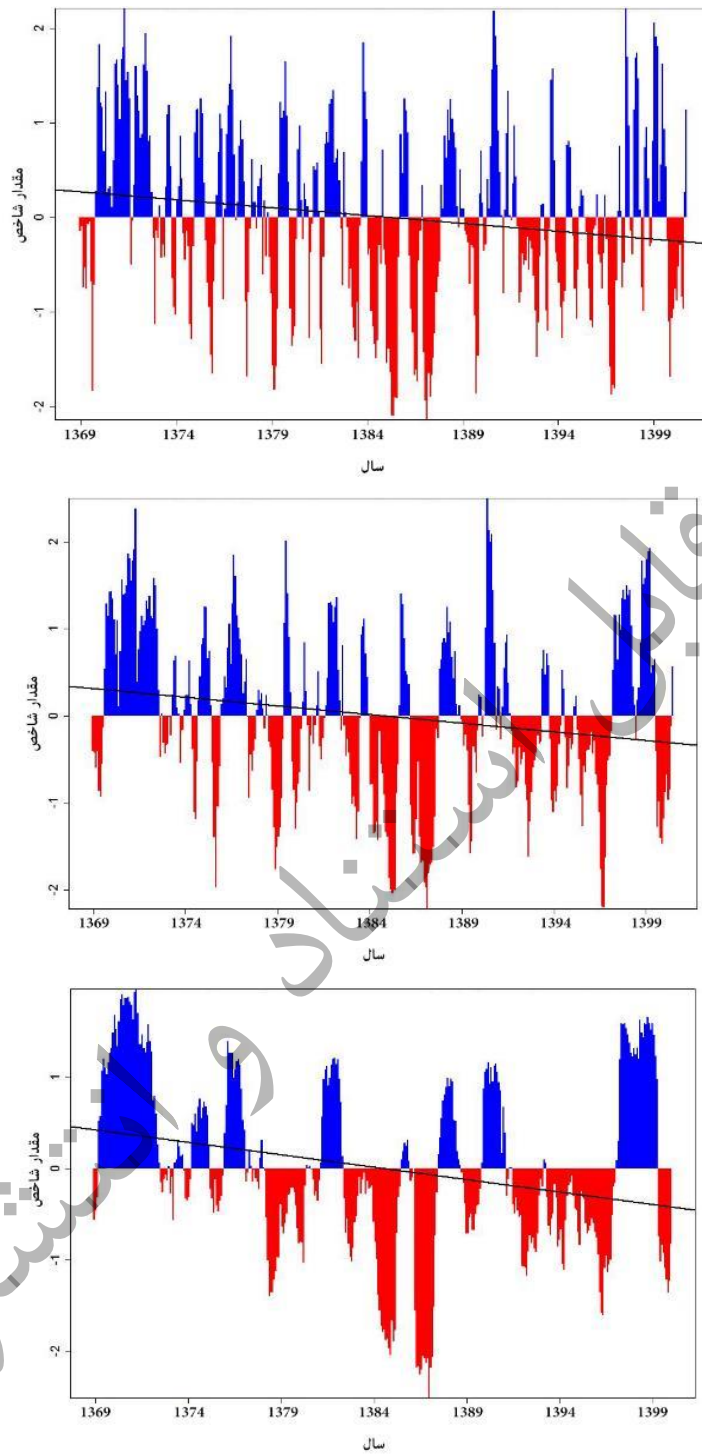
تحلیل ارائه شده در اینجا نشان می‌دهد که خشکسالی در استان خراسان رضوی را می‌توان در سه جنبه (۱) فصلی بودن وقوع خشکسالی در استان خراسان رضوی، (۲) روندهای قابل‌توجه در پراکنش فضایی خشکسالی و (۳) سهم محرک‌های کلیدی در تشدید و گسترش خشکسالی؛ خلاصه کرد. علاوه بر این، پتانسیل تبخیر بالاتر از حد متوسط و کمبود بارش با فراوانی مشابهی در گسترش خشکسالی نقش دارند. نکته مهم این است که اکثر مناطق با رخداد خشکسالی زیاد، مناطقی هستند که تولیدات کشاورزی گسترده‌ای دارند.

یک موضوع رایج مرتبط با گسترش خشکسالی، تأثیر آن بر عملکرد محصول است. از بین رفتن محصول از طریق تخلیه سریع رطوبت خاک در ناحیه ریشه رخ می‌دهد که منجر به تعدیل محدود دمای سطح و تنش تبخیر بیش از حد می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از اقلیم‌شناسی رخداد خشکسالی و بخصوص خشکسالی-های ناگهانی و خشک شدن سریع سطح زمین که به گسترش سریع خشکسالی نسبت داده می‌شود، رخدادهای خشکسالی ناگهانی پتانسیل ایجاد اثرات جدی فراتر از کاهش عملکرد کشاورزی را دارند. به‌ویژه در مناطق روستایی، خشکسالی ناگهانی که به یک خشکسالی بلندمدت تبدیل می‌شود ممکن است به افزایش خطر قحطی منجر شود.

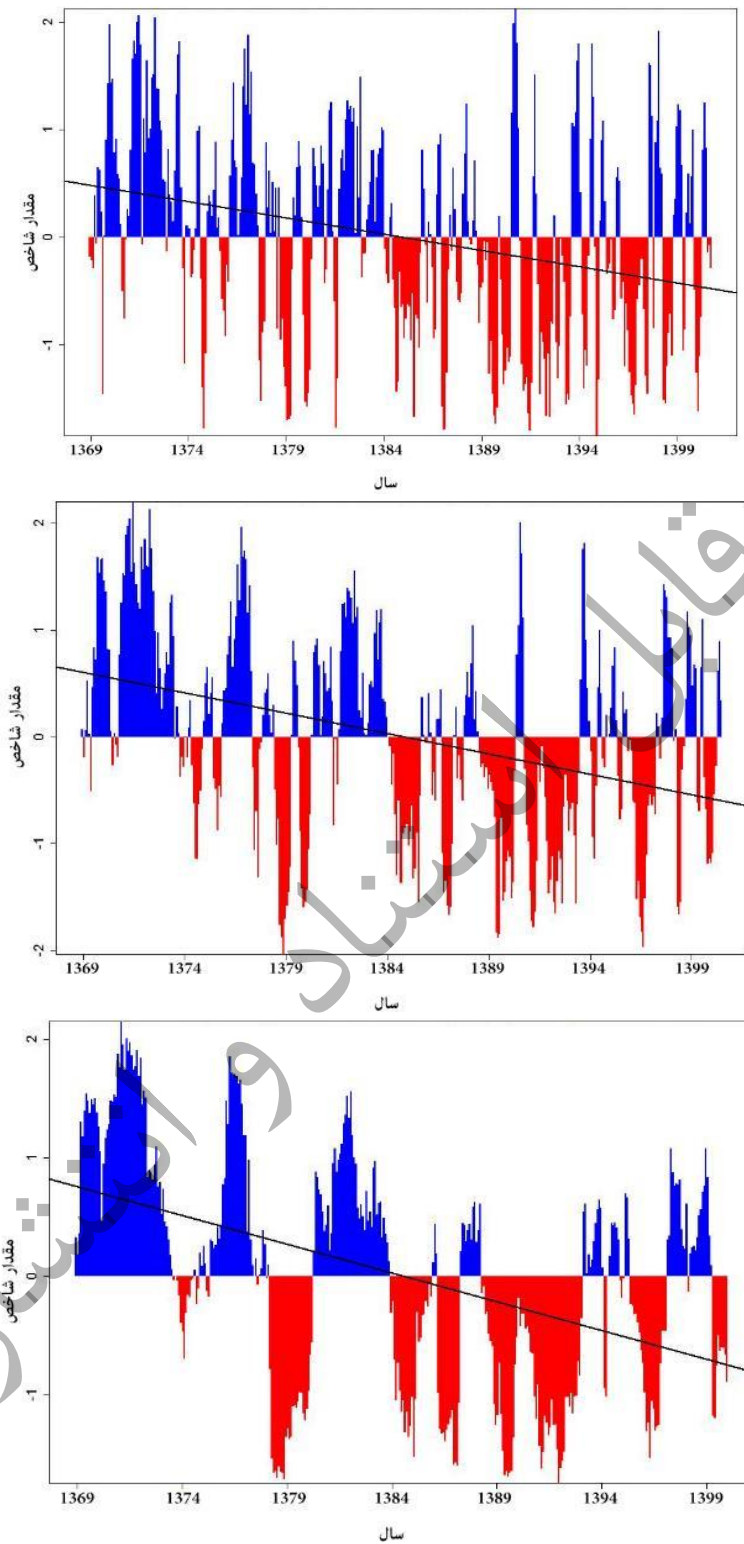
از آنجایی که خشکسالی به‌شدت تابع زمان و مکان است برای درک بهتر تغییرات سری زمانی خشکسالی بلندمدت در استان خراسان رضوی هشت ایستگاه شاخص هواشناسی همدید که در تمامی مناطق استان توزیع شده‌اند به‌عنوان نماینده انتخاب گردید و نتایج حاصل از آن در قالب نمودارهای مربوطه ارائه شد (شکل-های ۳۲ تا ۳۹). در این نمودارها مقدار رو به منفی که با رنگ قرمز نشان داده شده است معرف خشکسالی و مناطقی که به رنگ آبی و رو به مثبت می‌روند نماینده ترسالی می‌باشند. به دلیل گویایی این نمودارها از ارائه توضیحات بیش‌تر پرهیز شده است.



شکل ۳۰. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه تربت حیدریه با استفاده از شاخص SPEI

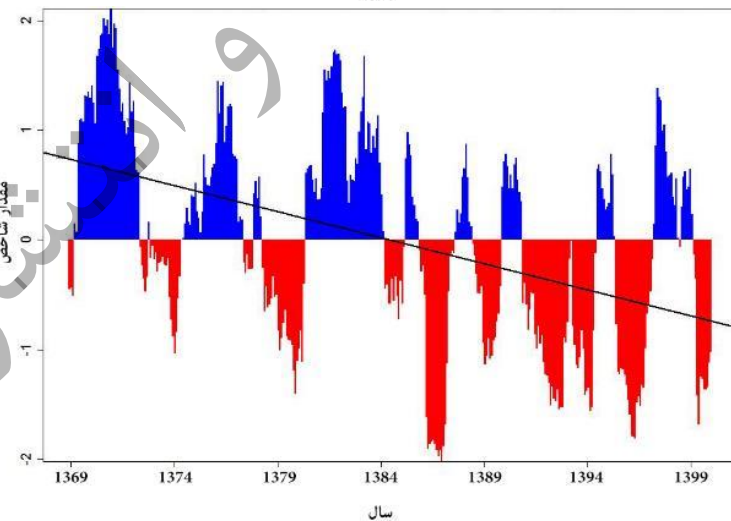
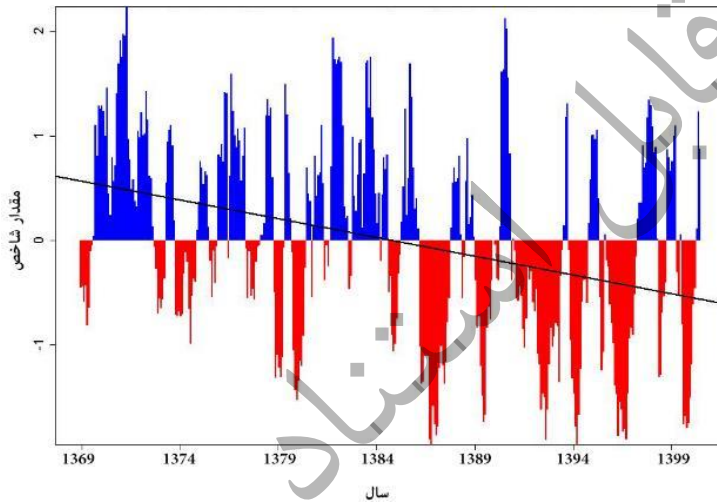
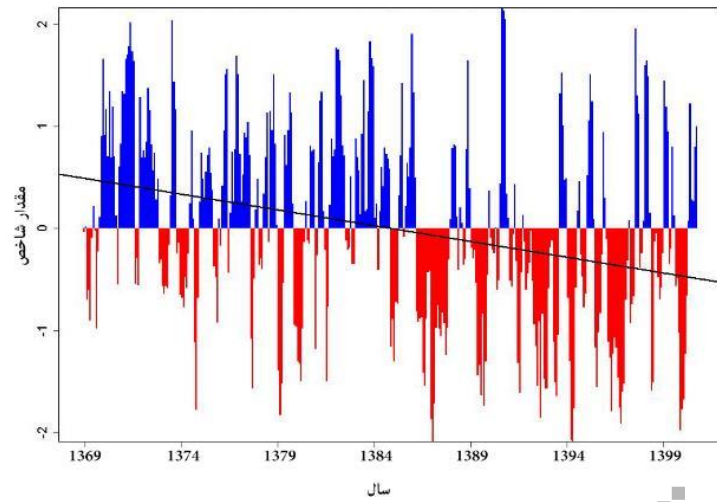


شکل ۳۱. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه سبزوار با استفاده از شاخص SPEI

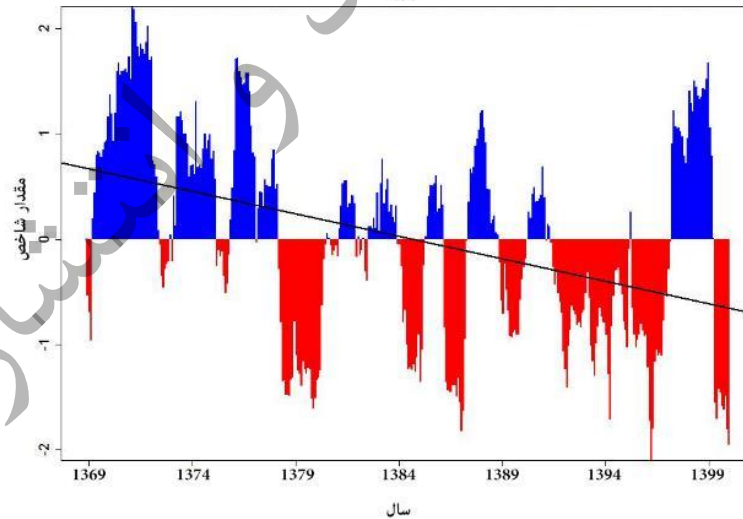
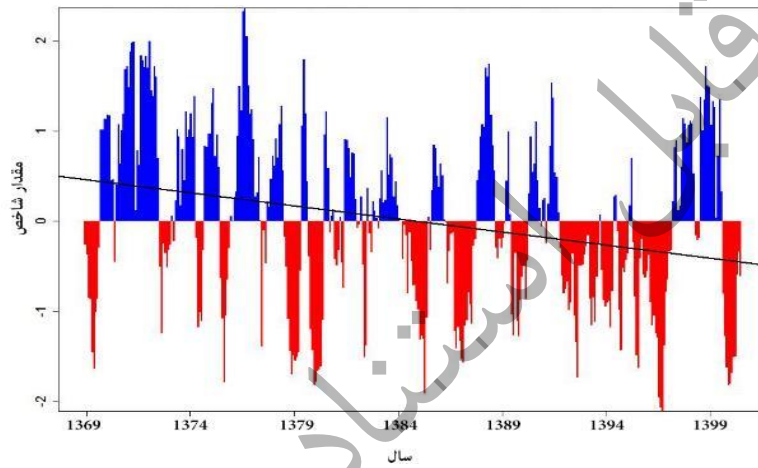
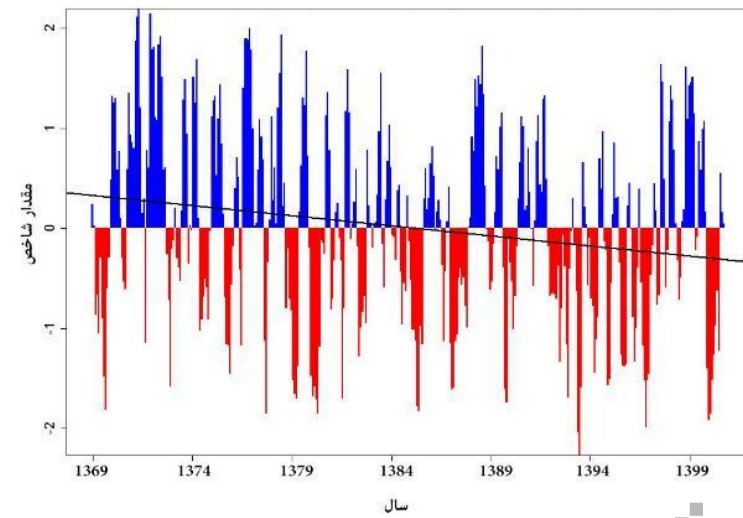


شکل ۳۲. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه سرخس با استفاده از شاخص SPEI

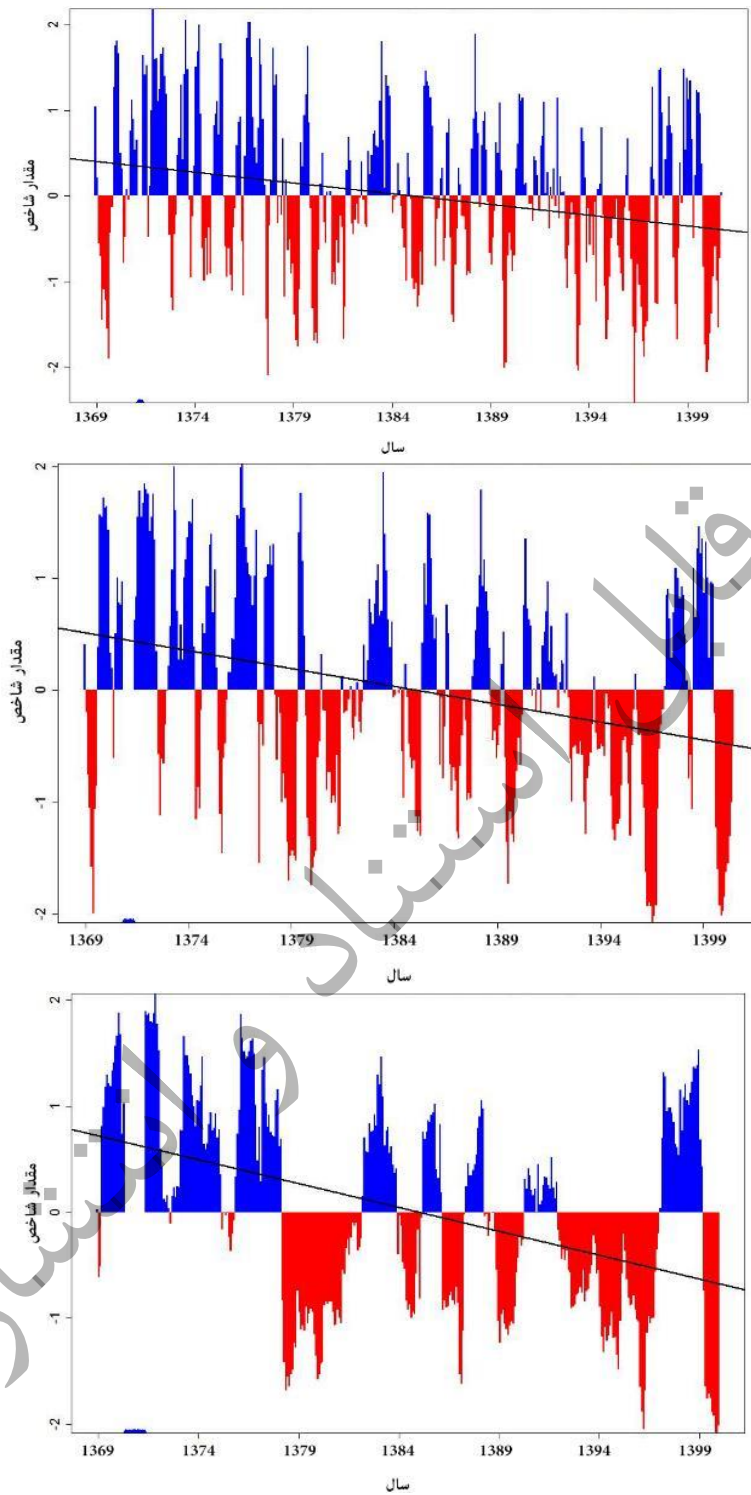




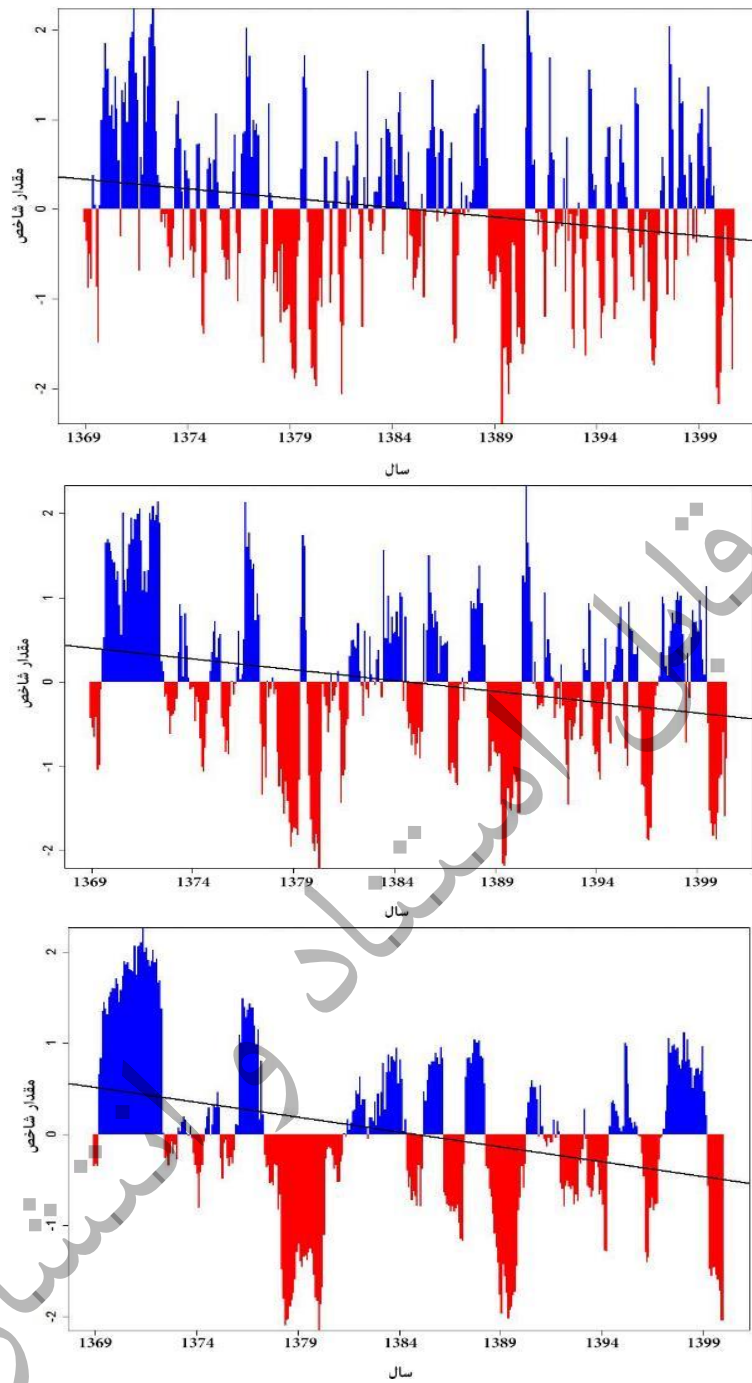
شکل ۳۳. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه فوچان با استفاده از شاخص SPEI



شکل ۳۴. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه کاشمر با استفاده از شاخص SPEI

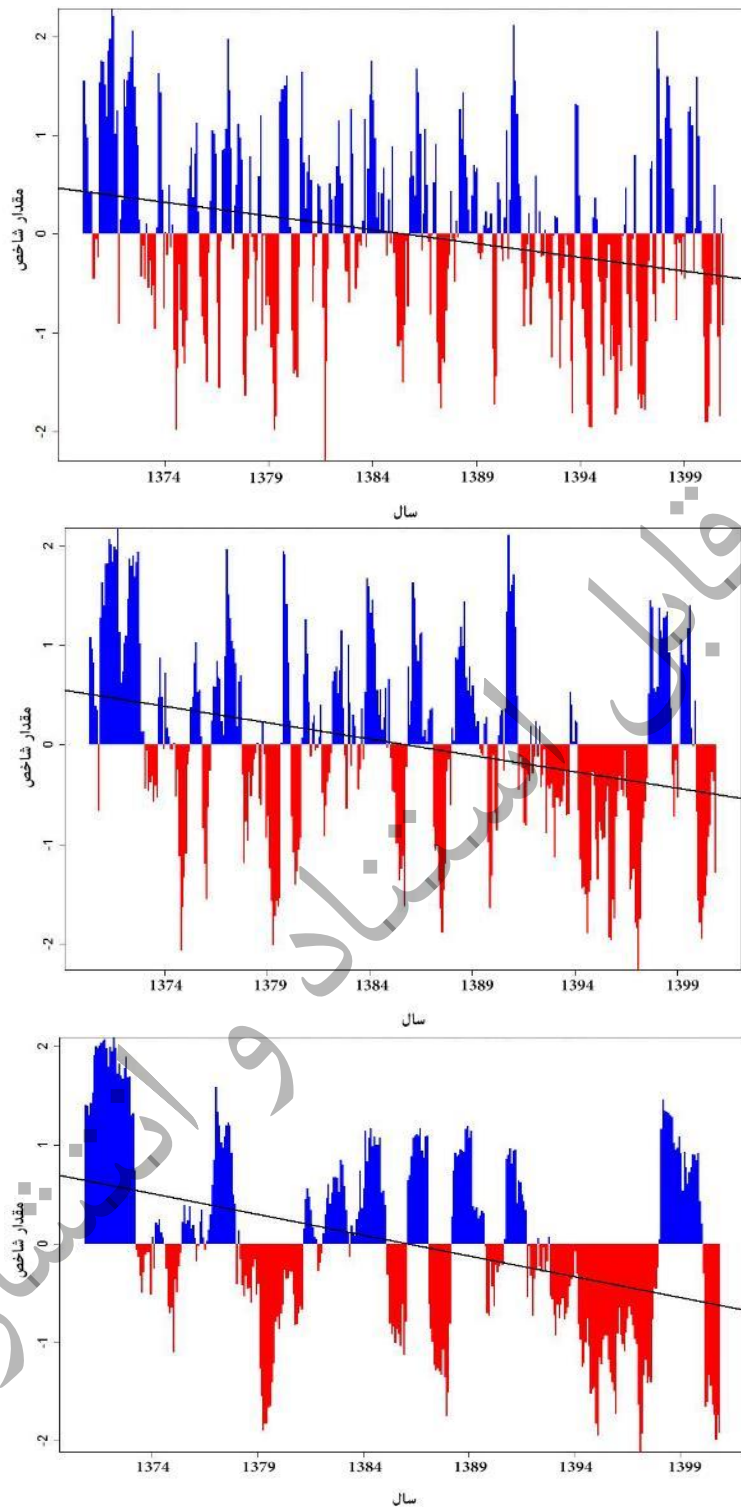


شکل ۳۵. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه گناباد با استفاده از شاخص SPEI



شکل ۳۶. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه مشهد با استفاده از شاخص SPEI





شکل ۳۷. خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی (به ترتیب از بالا به پایین) ایستگاه نیشابور با استفاده از شاخص SPEI

برای هر یک از ایستگاه‌های منتخب هواشناسی همدید، فراوانی رخدادهای خشکسالی بر اساس ماه محاسبه شد. فراوانی هر ماه به‌عنوان درصد سهم هر ماه در کل ماه‌های مورد بررسی در آن منطقه محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۲۷) ارائه شده است.

نتایج درصد ماه‌های خشک در طول دوره ۳۰ ساله مورد بررسی برای خشکسالی هواشناسی نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های گناباد، نیشابور، قوچان و سبزوار بیش از ۵۰ درصد از ماه‌های سال در دوره مورد بررسی خشک بوده‌اند. برای شاخص خشکسالی کشاورزی هفت ایستگاه گناباد، کاشمر، مشهد، نیشابور، قوچان، سبزوار و تربت‌حیدریه و برای خشکسالی هیدرولوژیکی پنج ایستگاه گناباد، مشهد، نیشابور، سبزوار و تربت‌حیدریه جزو ماه‌های خشک بوده‌اند. این مقادیر خشکسالی به‌روشنی نشان می‌دهد که خشکسالی ذات اقلیم مناطق خشک و نیمه‌خشکی همچون استان خراسان رضوی است و تنها راه برون‌رفت از بحران موجود خشکسالی در استان برنامه‌های مدیریت ریسک و سازگاری با خشکسالی در استان است.

بیش‌ترین آسیب‌پذیری خشکسالی در استان خراسان رضوی در مقیاس ایستگاهی مربوط به گناباد، نیشابور و سبزوار است. بطوریکه در تمامی فصول خشکسالی‌های شدید و با فراوانی بالاتر از ۵۰ درصد در این ایستگاه‌ها اتفاق افتاده است. تحت گرمایش کره زمین انتظار می‌رود که با افزایش دما خشکسالی‌ها نیز بیشتر و شدیدتر شوند. چنین خشکسالی‌هایی می‌تواند بقای مناطق زراعی بخصوص کشت دیم را تهدید کند. زیرا دمای بالا، تبخیر را تسریع نموده و منجر به کمبود آب می‌شود. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل‌ها (۴۰ تا ۴۲) و جدول (۲۷) شدت خشکسالی فصلی در سه دهه گذشته در استان خراسان رضوی افزایش یافته و مناطقی با شدت بالای خشکسالی به‌طور قابل توجهی گسترش یافته‌اند.

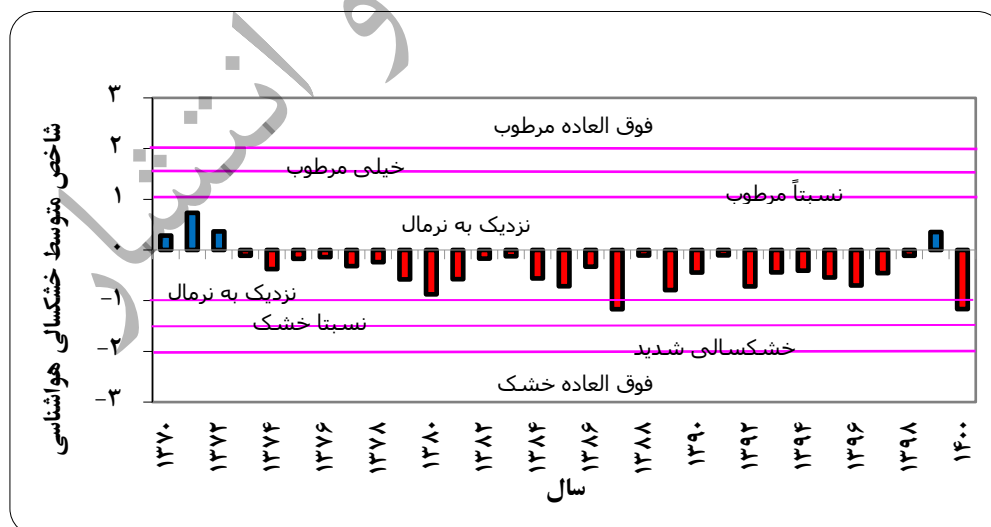
نتایج این مطالعه پیامدهای مهمی برای ارائه برنامه مدیریت ریسک خشکسالی در استان خراسان رضوی در شرایط تغییر اقلیم ارائه داده است. همان‌طور که در بخش‌های قبلی نیز بحث شد خشکسالی شدید بادوام بیشتر کمبود رطوبت خاک را تشدید کرده که بر این اساس فرایندهای مرتبط با تنش آبی در استان خراسان رضوی تشدید می‌شود. وقوع خشکسالی‌های مکرر بخصوص در مناطق جنوبی و شرقی استان خراسان رضوی باعث کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود که در نتیجه کاهش تولیدات کشاورزی را به همراه دارد. کاهش تولیدات کشاورزی و رشد روزافزون جمعیت ممکن است خطر جدی برای امنیت غذایی در مناطق تحت تأثیر خشکسالی را به همراه داشته باشد. نتایج این پژوهش بینش قابل توجهی در زمینه مدیریت منابع آب و به‌ویژه خشکسالی را در استان خراسان رضوی فراهم می‌کند.

جدول ۲۷. درصد ماه‌های خشک و مرطوب در ایستگاه‌های شاخص هواشناسی همدید

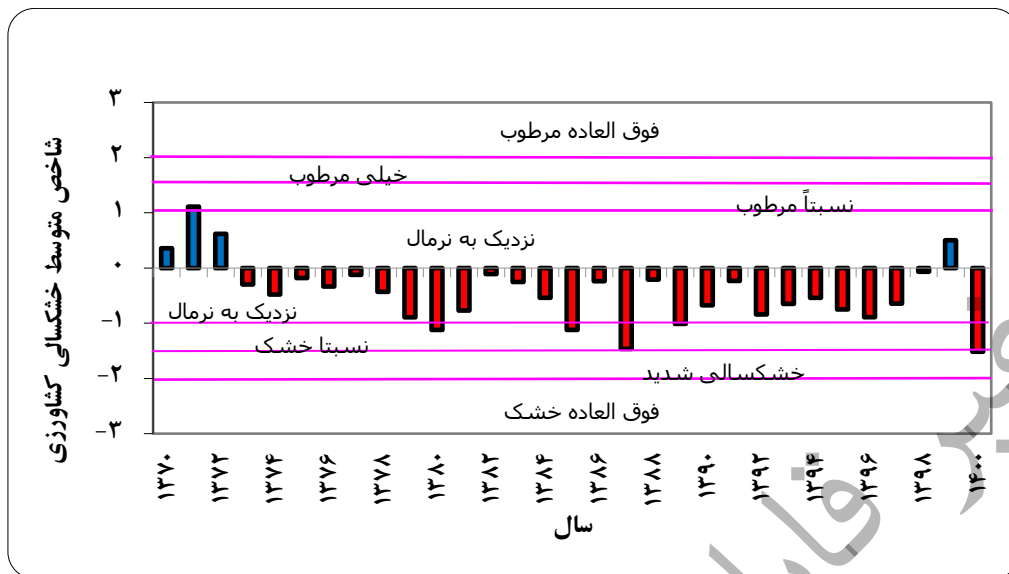
نام ایستگاه	خشکسالی هواشناسی		خشکسالی کشاورزی		خشکسالی هیدرولوژی	
	ماه خشک	ماه مرطوب	ماه خشک	ماه مرطوب	ماه خشک	ماه مرطوب
گناباد	۵۰/۵۳	۴۹/۴۷	۵۲/۲۷	۴۷/۷۳	۵۰/۷۰	۴۹/۳۰
کاشمر	۴۹/۴۶	۵۰/۵۴	۵۰/۶۵	۴۹/۳۵	۴۸/۸۰	۵۱/۲۰
مشهد	۴۹/۱۹	۵۰/۸۱	۵۱/۱۸	۴۸/۸۲	۵۰/۱۳	۴۹/۸۷

نام ایستگاه	خشکسالی هواشناسی		خشکسالی کشاورزی		خشکسالی هیدرولوژی	
	ماه خشک	ماه مرطوب	ماه خشک	ماه مرطوب	ماه خشک	ماه مرطوب
نیشابور	۵۰/۸۲	۴۹/۱۸	۵۰/۴۰	۴۹/۶۰	۵۰/۶۹	۴۹/۳۱
قوچان	۵۱/۰۶	۴۸/۹۴	۵۰/۳۹	۴۹/۶۱	۴۹/۳۲	۵۰/۶۸
سبزوار	۵۰/۲۶	۴۹/۷۴	۵۱/۷۱	۴۸/۲۹	۵۶/۰۳	۴۳/۹۷
سرخس	۴۸/۳۹	۵۱/۶۱	۴۸/۲۸	۵۱/۷۲	۴۶/۶۴	۵۳/۳۶
ترت حیدریه	۴۹/۴۶	۵۰/۵۴	۵۰/۳۹	۴۹/۶۱	۵۰/۶۷	۴۹/۳۳

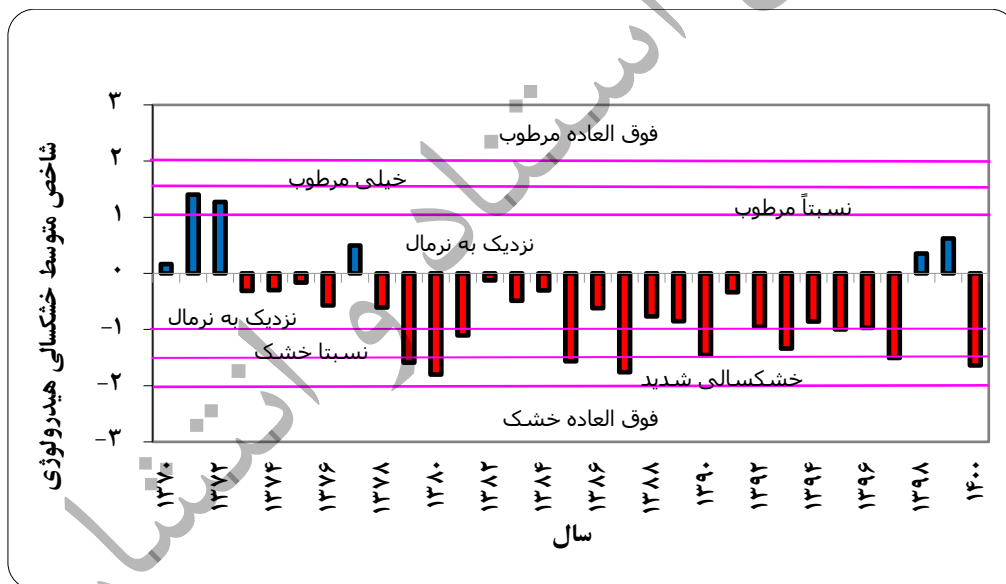
برای درک بهتر از وضعیت خشکسالی در متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی، شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی تهیه و در شکل‌های (۴۰ تا ۴۲) نشان داده شده است. همان‌طور که پیداست برای خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در ۸۷/۰۹ درصد از سال‌ها وضعیت استان در شرایط خشکسالی قرار دارد. به همین ترتیب برای خشکسالی هیدرولوژیکی نیز در ۸۰/۶۴ درصد از سال‌های مورد بررسی متوسط استان در شرایط خشکسالی قرار دارد. برای شاخص خشکسالی هواشناسی سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۴۰۰ در متوسط استان شرایط نسبتاً خشک حکم‌فرما بوده است. به همین ترتیب برای خشکسالی هواشناسی، سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۸۷، ۱۳۸۹، شرایط نسبتاً خشک و در سال ۱۴۰۰ شرایط خشکسالی شدید دیده می‌شود. شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی نشان داده است که سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ استان شرایط نسبتاً خشک و سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۸۷، ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰ استان دارای شرایط خشکسالی شدید بوده است. بدون در نظر گرفتن سال‌های پر بارش ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ استان خراسان رضوی در کل دهه ۸۰ خورشیدی دارای شرایط خشکسالی گسترده‌ای بوده است که در نمودار بارز آن خشکسالی فراگیر و شدید استان در سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ قابل مشاهده است.



شکل ۳۸. متوسط پهنه‌ای خشکسالی هواشناسی در استان خراسان رضوی (با شاخص SPEI)



شکل ۳۹. متوسط پهنه‌های خشکسالی کشاورزی در استان خراسان رضوی (با شاخص SPEI)



شکل ۴۰. متوسط پهنه‌های خشکسالی هیدرولوژیکی در استان خراسان رضوی (با شاخص SPEI)

شدت خشکسالی در استان خراسان رضوی با استفاده از شاخص پالمر واسنجی شده (SC-PDSI) در مقیاس فصلی و سالانه محاسبه و نتایج آن در نقشه‌های (۱۰۷ تا ۱۱۱) و درصد پهنه‌های شدت خشکسالی در جدول (۲۸) ارائه شده است. شاخص پالمر واسنجی شده (SC-PDSI) طرحی جامع‌تر از جنبه‌های مختلف خشکسالی شامل تداوم، شدت، فراوانی و وقوع توزیع مکانی آن فراهم می‌سازد.

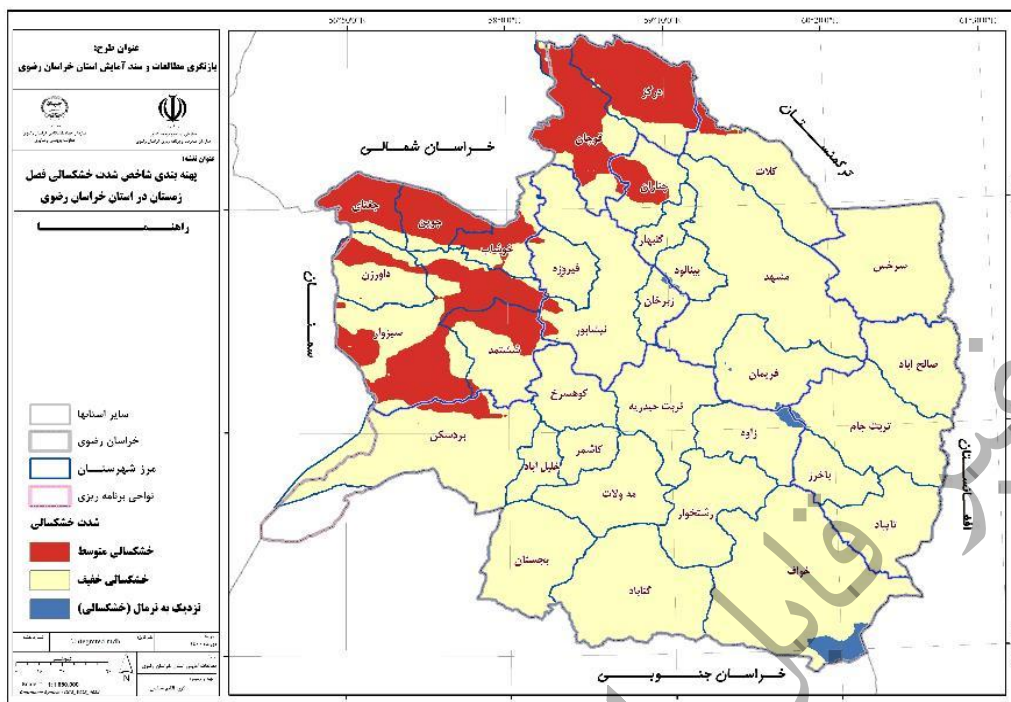


همان طور که در نقشه (۱۰۷) برای شدت خشکسالی فصل زمستان نیز دیده می‌شود؛ شرایط خشکسالی در سه دهه گذشته در این استان وضعیت مناسبی نداشته است. مناطق شمالی و شمال غربی و غربی استان خشکسالی را متوسط را در مقیاس شاخص پالمر واسنجی شده (SC-PDSI) برای استان نشان دادند. این مناطق در برگیرنده ۱۴/۷۲ درصد از مساحت استان خراسان رضوی است. خشکسالی خفیف بخش قابل توجهی از استان را با بیش از ۸۴ درصد به خود اختصاص داده است این شرایط نشان می‌دهد که شدت خشکسالی در استان خراسان رضوی در فصل زمستان که فصل پر بارشی نیز در استان است در شرایط مناسبی قرار ندارد. فصل بهار به جهت شدت خشکسالی بدترین وضعیت در طول سال در استان خراسان رضوی دارد. این ماه برای متوسط بلند ۳۰ ساله شدت خشکسالی در ۲۲/۱۷ درصد از استان در شرایط خشکسالی متوسط قرار دارد. به همین ترتیب نیز در ۷۷/۳۳ درصد از استان شرایط خشکسالی خفیف حکم فرا است. به جهت توزیع جغرافیایی شهرستان‌های جویین، جغتای، سبزوار، ششتمد، قوچان، چناران، کلات و درگز در فصل بهار دارای خشکسالی جدی هستند که نیازمند توجه ویژه به این مناطق است.

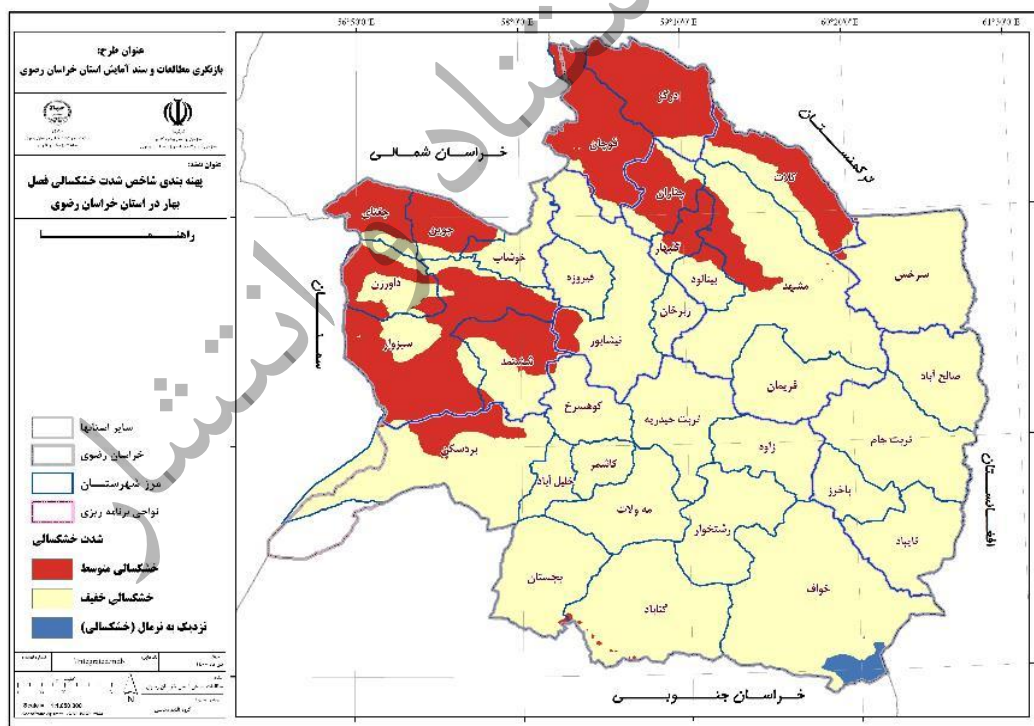
در فصل تابستان مناطقی با شدت خشکسالی متوسط در جغتای، درگز، قوچان، چناران، کلات و جویین دیده می‌شود. این وضعیت که در فصل زمستان نیز دیده شده است نشان می‌دهد شهرستان‌های نامبرده در استان خراسان رضوی دارای شدت خشکسالی زیادی هستند. همین مناطق در خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی نیز شرایط بحرانی را هم به جهت شدت و هم فراوانی نشان دادند. مناطقی با شدت خشکسالی متوسط در فصل تابستان ۷/۹۵ درصد و مناطقی با خشکسالی خفیف ۸۵/۳۲ درصد است. پاییز به جهت شدت خشکسالی در استان خراسان رضوی شرایط بهتری را نسبت به فصول دارا است. باین حال در درگز و قوچان همچنان شدت خشکسالی بیشتر از سایر مناطق است. مناطقی با شدت خشکسالی متوسط در فصل پاییز ۴۲/۶۰ درصد از کل مساحت استان است که نسبت به سایر فصول شرایط بهتری را دارد. در مقیاس سالانه شدت خشکسالی در استان خراسان رضوی در سه پهنه خشکسالی متوسط (۷/۸۳ درصد)، خشکسالی خفیف (۸۹/۲۳ درصد) و نزدیک به نرمال (خشکسالی) (۲/۹۴ درصد) قابل دسته بنده است. خشکسالی متوسط در مقیاس سالانه در جویین، جغتای، چناران، درگز و قوچان مشاهده می‌شود.

جدول ۲۸. درصد شدت خشکسالی در استان خراسان رضوی

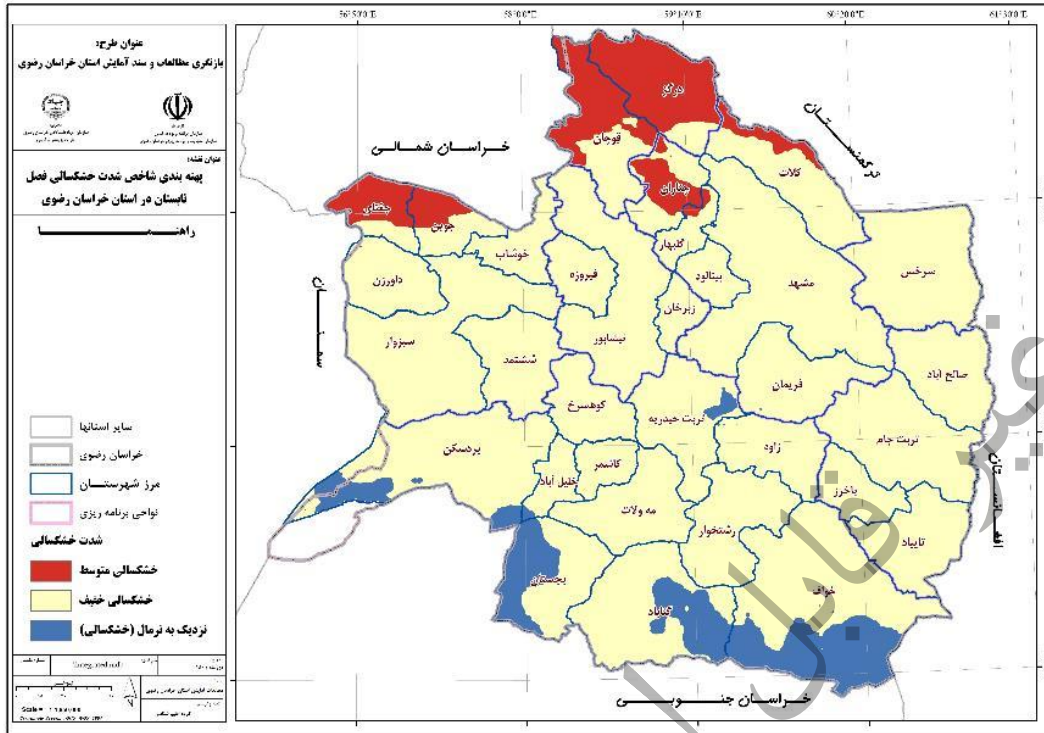
فصل/سال	شدت خشکسالی		
	خشکسالی متوسط	خشکسالی خفیف	نزدیک به نرمال (خشکسالی)
زمستان	۱۴/۷۲	۸۴/۵۸	۰/۷۰
تابستان	۷/۹۵	۸۵/۳۲	۶/۷۳
بهار	۲۲/۱۷	۷۷/۳۳	۰/۵۰
پاییز	۲/۵۷	۴۲/۶۰	۵۴/۸۳
سالانه	۷/۸۳	۸۹/۲۳	۲/۹۴



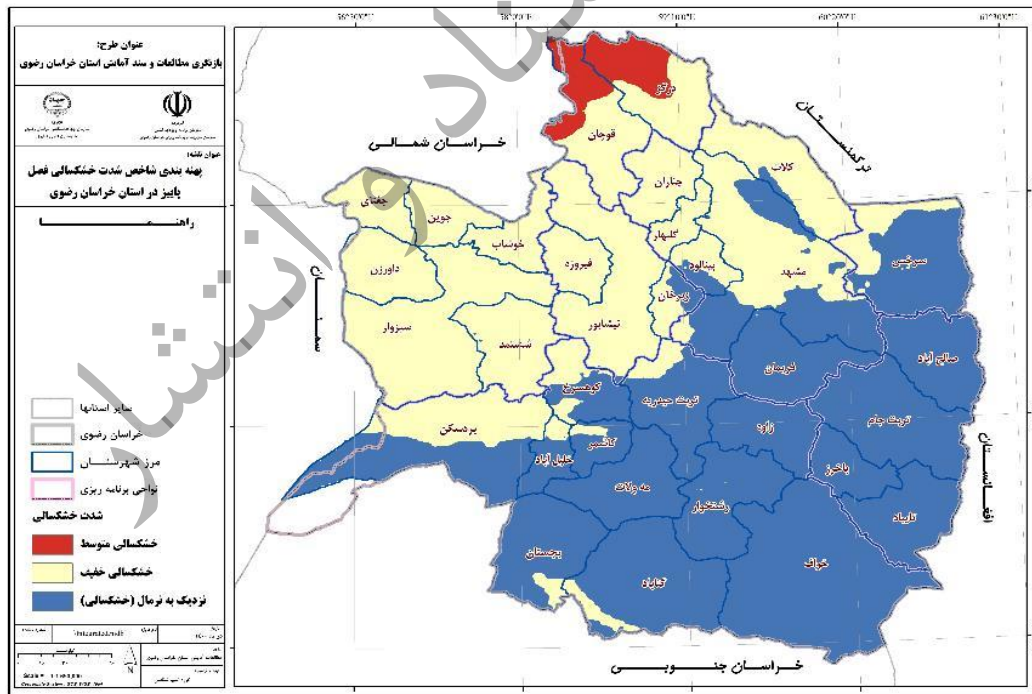
نقشه ۱۰۷. شدت خشکسالی فصل زمستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SC-PDSI)



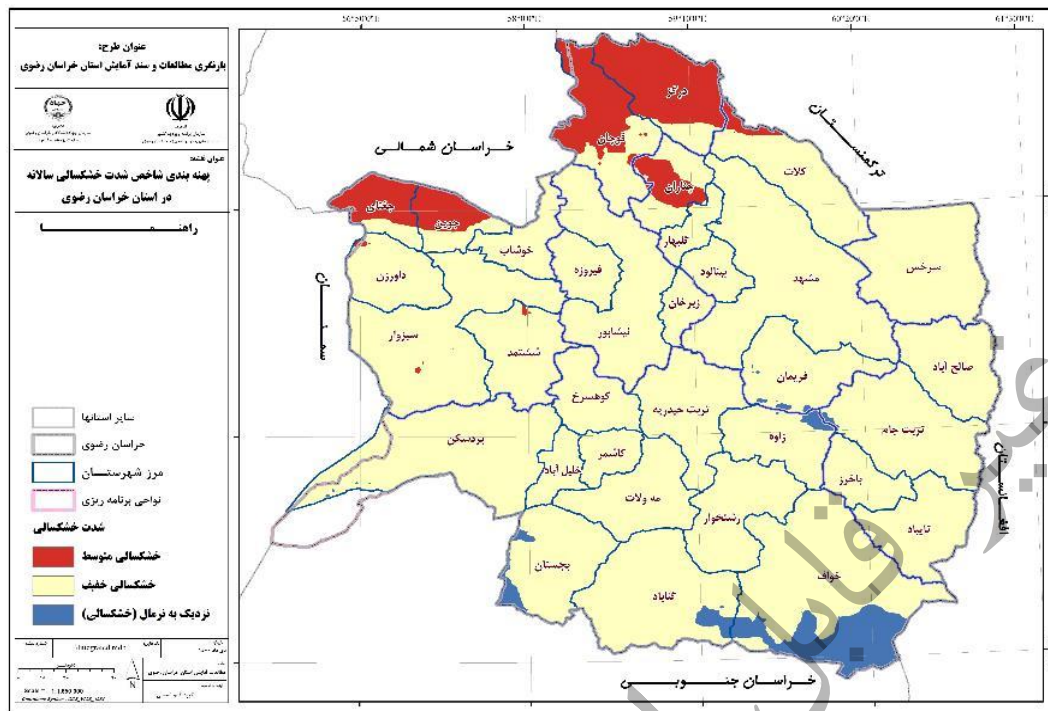
نقشه ۱۰۸. شدت خشکسالی فصل بهار در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SC-PDSI)



نقشه ۱۰۹. شدت خشکسالی فصل تابستان در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SC-PDSI)



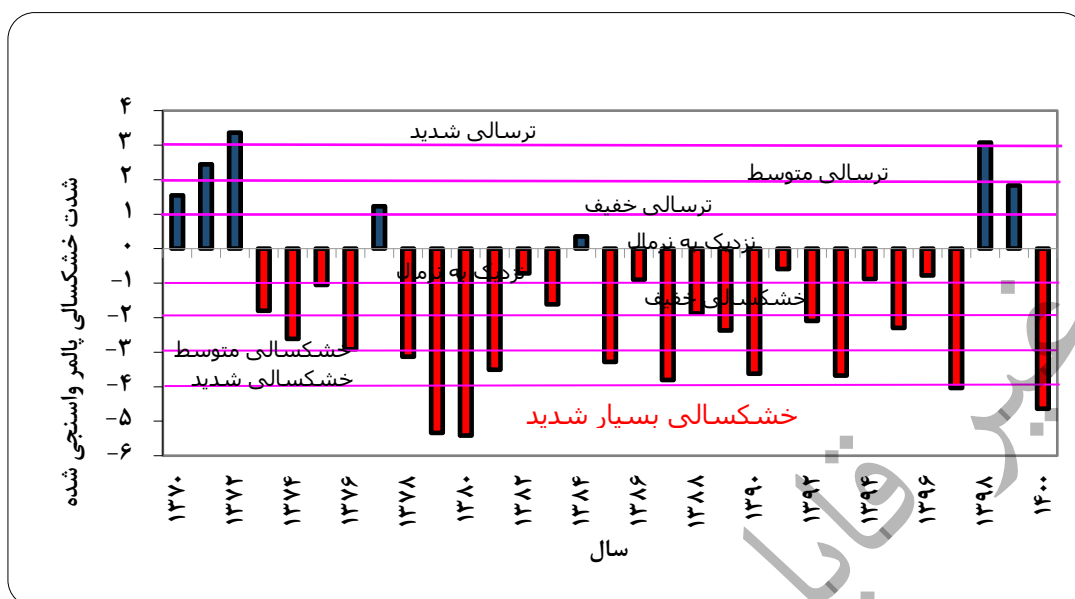
نقشه ۱۱۰. شدت خشکسالی فصل پاییز در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SC-PDSI)



نقشه ۱۱۱. شدت خشکسالی سالانه در استان خراسان رضوی (مبتنی بر شاخص SC-PDSI)

شدت خشکسالی برای متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی با استفاده از شاخص پالم و اسنجی شده (SC-PDSI) محاسبه و در شکل (۴۳) نشان داده شده است. همان‌طور که در این نمودار نیز دیده می‌شود سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۷۵، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۸ استان خراسان رضوی دارای خشکسالی خفیف بوده است. به همین ترتیب سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۷۶، ۱۳۸۹، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵ استان دارای شرایط خشکسالی متوسط بوده است. بالاترین شدت خشکسالی در مقیاس متوسط در استان خراسان رضوی مربوط به سال ۱۳۷۶ است که شاخص شدت خشکسالی به ۲/۹۱ رسیده است. خشکسالی شدید در شش سال ۱۳۷۸، ۱۳۸۱، ۱۳۸۵، ۱۳۸۷، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ دیده می‌شود. آخرین طبقه از خشکسالی برای شدت خشکسالی در مقیاس شاخص پالم و اسنجی شده (SC-PDSI) خشکسالی بسیار شدید است. این وضعیت از خشکسالی در چهار سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ که دو سال پیاپی بوده است. به همین ترتیب سال ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰ نیز همین شرایط خشکسالی بسیار شدید در استان خراسان رضوی دیده می‌شود. ترسالی با شدت مختلف تنها در ۵ سال دیده می‌شود. به‌طور کلی استان خراسان رضوی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ در شرایط خشکسالی سپری شده است. سال‌های ترسالی در متوسط استان پیوسته بوده بطوریکه سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۲ و ۱۳۹۸ تا اواسط ۱۳۹۹ استان دارای شرایط ترسالی بوده است. همان‌طور که دیده شد خشکسالی یک مسئله بسیار جدی در استان خراسان رضوی است و اگر برنامه مدونی و مشخصی برای آن وجود نداشته باشد استان خراسان رضوی در سال‌های پیشرو با مشکلات بسیاری در زمینه، کشاورزی، آب، محیط‌زیست، گردو خاک و ... مواجه خواهد شد.





شکل ۴۱. متوسط پهنه‌ای شدت خشکسالی در استان خراسان رضوی (با شاخص SC-PDSI)

پیش‌نگری درصد ماه‌های کمتر از نرمال در شاخص بارش تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI)

در بخش پیشین این گزارش شاخص بارش تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI) مورد بررسی قرار گرفت و گفته شد که این شاخص یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های خشکسالی است. این شاخص از مثبت تا منفی در تغییر است که جزئیات آن در جدول (۲۶) آمده است. زمانی که شاخص از صفر کمتر می‌شود (یعنی منفی می‌شود) نشان‌دهنده کمبود بارش در سری زمانی است و زمانی که به -۱ می‌رسد خشکسالی شروع می‌شود. لذا این شاخص و مقادیر منفی آن بهترین نماینده برای کمبود بارش برای یک منطقه خواهد بود. برای همین منظور درصد ماه‌هایی که شاخص در آن کمتر از صفر شده است را مورد بررسی قرار داده تا بهتر بتوان نسبت به بررسی شرایط بارشی استان و خشکسالی بحث کرد. برای درک بهتر نقشه‌های ارائه شده در ادامه لازم است تا توضیح داده شود که در حقیقت فراوانی رخداد خشکسالی با یک آستانه بر اساس رابطه  $F = \frac{n}{N} \times 100$  محاسبه شده است. در این رابطه  $F$  فراوانی،  $n$  تعداد ماه‌ها با آستانه مشخص و  $N$  کل ماه‌ها است. همان‌طور که گفته شد افق پیش‌نگری‌ها بر اساس چشم‌انداز سند آمایش تا ۱۴۲۴ خورشیدی است که بر این اساس پیش‌بینی‌ها از ۱۴۰۲ انجام و ۲۷۶ ماه تا افق چشم‌انداز سند تا ۱۴۲۴ خواهیم داشت. درصد تغییرات ماه‌های کمتر از نرمال و خشکسالی در ادامه محاسبه و مورد بحث قرار گرفته است. ارائه درصد تغییرات، نماینده بهتری از میانگین خواهد بود؛ چرا که با میانگین‌گیری اعداد مثبت و منفی خشکسالی و سرشکن شدن عدد نهایی نمی‌توان نتیجه درستی در زمینه احتمال رخداد خشکسالی به دست آورد.

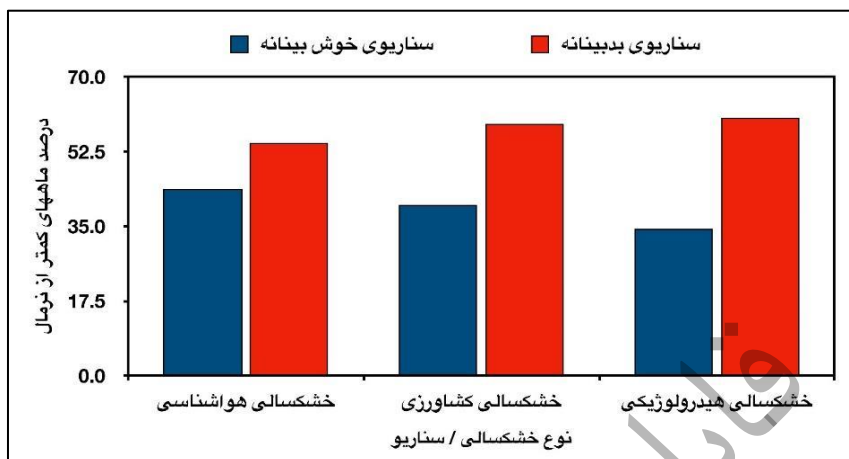
بر اساس نتایج سناریو خوش بینانه (SSP1-2.6) برای خشکسالی هواشناسی فراوانی رخداد ماه‌های کمتر از نرمال در استان خراسان رضوی طی دوره پیش‌نگری شده بین ۳۹/۹ درصد تا ۴۸/۳ درصد در تغییر خواهد بود. بیشینه مناطقی با فراوانی رخداد شاخص SPEI-1 کمتر از نرمال در مناطق غربی استان در داورزن، سبزوار، خوشاب، ششتمد، بردسکن، فیروزه و نیشابور دیده می‌شود. کمینه شاخص نیز در مناطق شمالی و جنوبی استان با حدود ۴۰ درصد قابل مشاهده است. این نتیجه نشان می‌دهد بر اساس نتایج سناریو خوش-بینانه نیمی از ماه‌های پیشرو تا افق ۱۴۲۴ دارای کمبود بارش خواهند بود. نتایج سناریو بدبینانه نیز نشان می‌دهد که شاخص در بخش‌های قابل توجهی از استان که مقدار آن منفی شده است بیش از نیمی از کل ماه‌های پیش‌نگری شده را در بر می‌گیرد. این شرایط هر چند که بر اساس یک پیش‌نگری بدبینانه است اما رخداد چنین شرایطی می‌تواند استان را درگیر بحران‌های آبی بسیار گسترده‌ای نماید. بیشینه شاخص در مناطق مرکزی استان و به خصوص در شهرستان تربت حیدریه دیده می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده از خشکسالی کشاورزی درصد فراوانی سال‌هایی که شاخص در آن کمتر از نرمال شده است بر اساس نتایج سناریو خوش بینانه (SSP1-2.6) بین ۳۶/۸ درصد تا ۴۳/۱ درصد در تغییر است و بیشینه این شاخص در مناطق غربی، مرکزی، شمال غربی و شرقی استان دیده می‌شود.

نتایج سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) نیز برای فراوانی ماه‌های کمتر از نرمال شاخص خشکسالی کشاورزی در استان خراسان رضوی شرایط بسیار نامناسبی را در آینده نشان می‌دهد. بطوریکه بررسی این سناریو تا افق ۱۴۲۴ نشان داده است که در مناطق مرکزی و غربی استان فراوانی ماه‌های کمتر از نرمال تا ۶۵/۹ درصد نیز می‌رسد که تهدید بسیار جدی برای کشاورزی و منابع آب در این مناطق است. کمینه شاخص نیز در مناطق شرقی و جنوبی شرقی استان با مقدار ۵۲ درصد قابل مشاهده است.

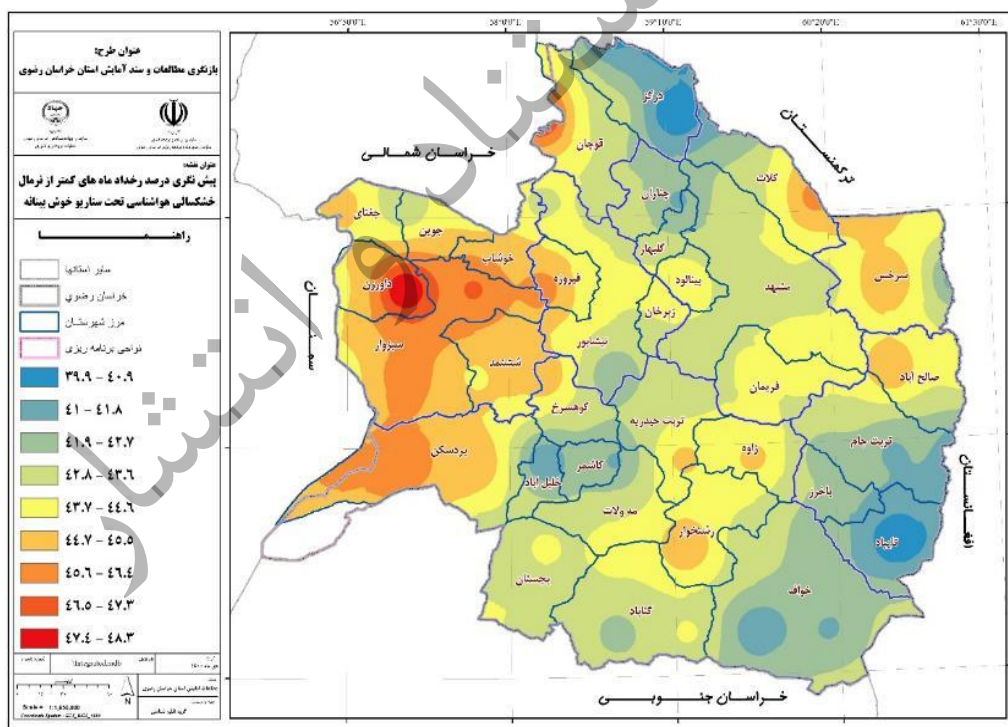
شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی که سومین شاخص از شاخص‌های خشکسالی است در نقشه‌های (۱۱۲ تا ۱۱۷) نشان داده شده است. بر اساس نتایج این شاخص مناطق جنوبی، شرقی و شمال شرقی استان تحت سناریو خوش بینانه (SSP1-2.6) عدد حداکثری ۴۲ درصد را نشان می‌دهد. کمینه شاخص نیز با ۲۴ درصد در مناطق غربی استان قابل مشاهده است. نتایج سناریو بدبینانه نتایج متفاوتی را به جهت توزیع جغرافیایی شاخص در استان خراسان رضوی برای فراوانی سال‌های کمتر از نرمال نشان داده است. این مقدار برای سناریو SSP5-8.5 بین ۴۸/۱ درصد تا ۶۸/۷ درصد در استان در تغییر است. بیشینه شاخص در مناطق غربی، شمالی و مرکزی استان دیده می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده تحت این سناریو نزدیک به دوسوم ماه‌های پیش‌نگری شده برای شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی در سطح استان خراسان رضوی منفی خواهد بود.

درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال برای شاخص‌های خشکسالی در متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن در شکل (۴۴) ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده در متوسط پهنه‌ای استان خشکسالی هواشناسی تحت سناریو خوش بینانه ۴۳/۶۵ درصد، خشکسالی کشاورزی ۴۳/۱۶ درصد و خشکسالی هیدرولوژیکی ۳۴/۳۵ درصد خواهد بود. به همین ترتیب بر اساس نتایج سناریو

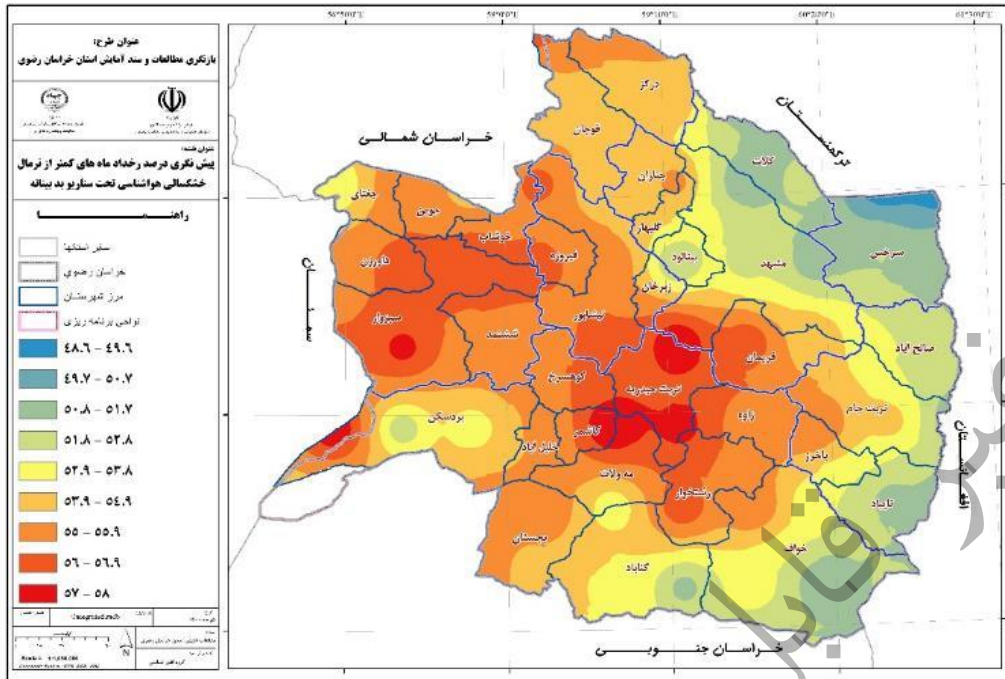
بدبینانه نیز درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال بر اساس شاخص خشکسالی هواشناسی ۵۴/۳۹ درصد، خشکسالی کشاورزی ۵۸/۹۳ درصد و خشکسالی هیدرولوژیکی ۶۰/۳۳ درصد خواهد بود.



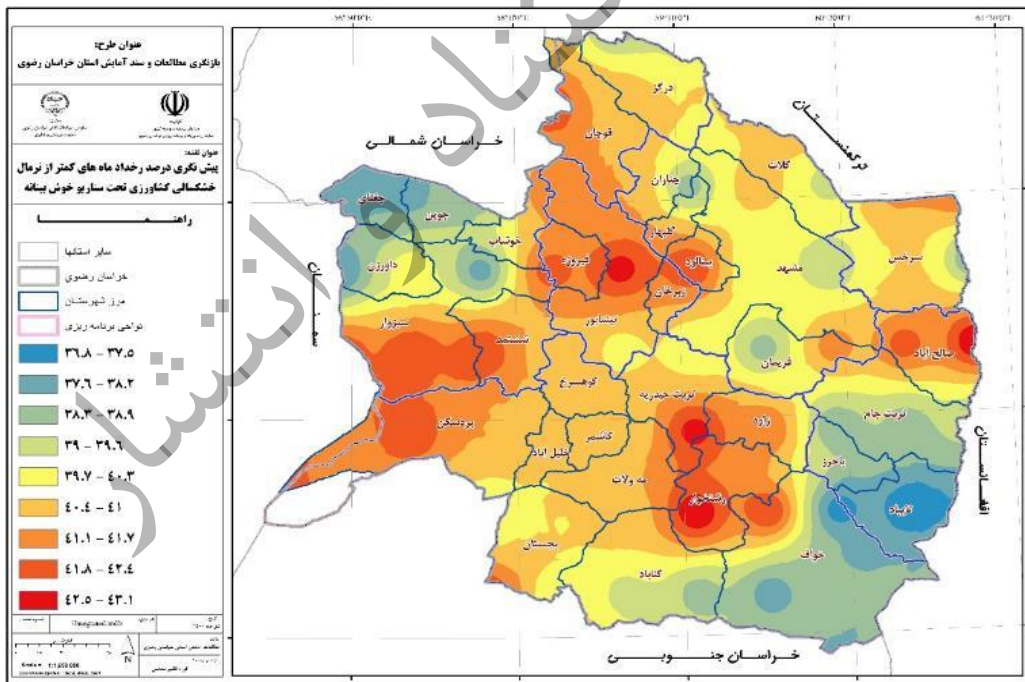
شکل ۴۲. پیش‌نگری درصد فراوانی کمتر از نرمال شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی در متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)



نقشه ۱۱۲. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو خوش‌بینانه شاخص خشکسالی هواشناسی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)

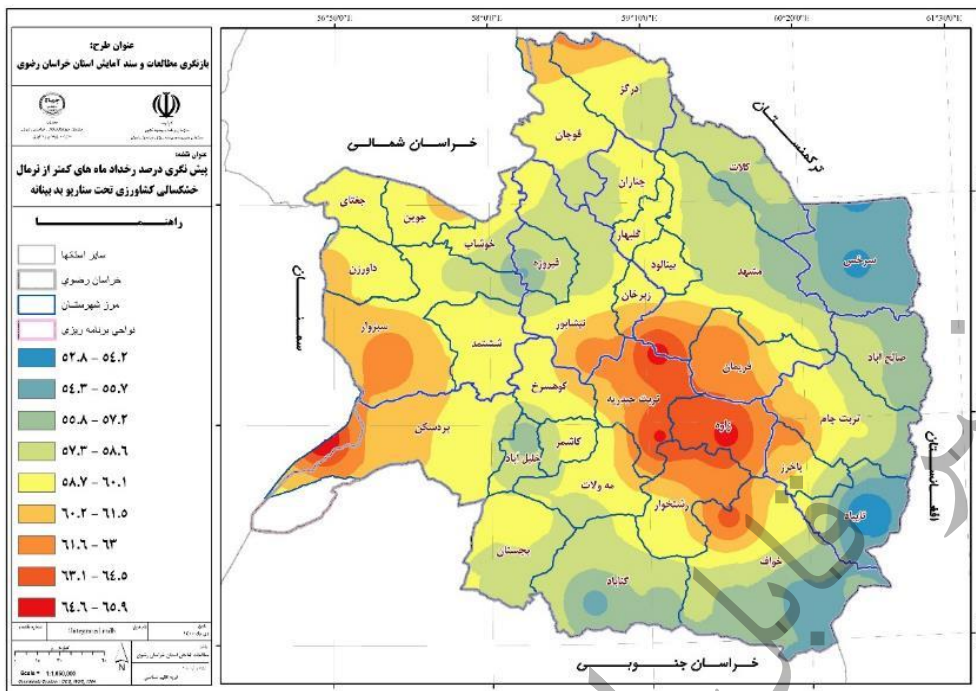


نقشه ۱۱۳. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی هواشناسی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)

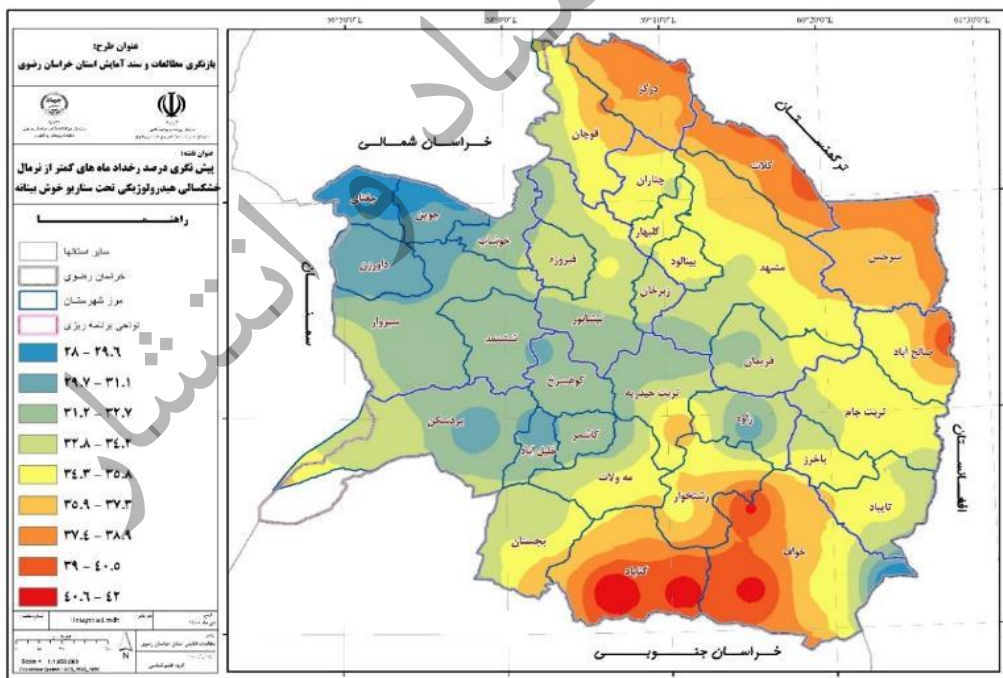


نقشه ۱۱۴. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو خوش بینانه شاخص خشکسالی کشاورزی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)

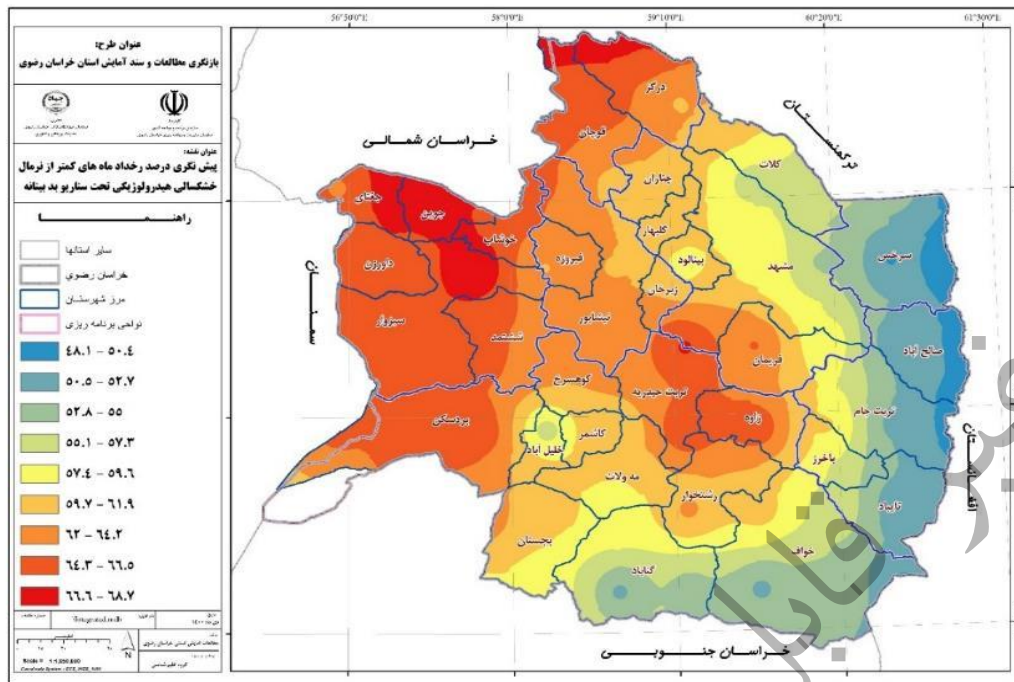




نقشه ۱۱۵. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو بدبينانه شاخص خشکسالی کشاورزی تا افق ۱۴۲۴ (يکا: درصد)



نقشه ۱۱۶. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو خوش‌بينانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تا افق ۱۴۲۴ (يکا: درصد)



نقشه ۱۱۷. درصد فراوانی سال‌های کمتر از نرمال تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)

#### پیش‌نگری درصد فراوانی رخداد خشکسالی در شاخص بارش تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI)

رخداد خشکسالی بر اساس تعریف شاخص SPEI به رخدادی گفته می‌شود که مقدار شاخص  $-1$  یا کمتر از آن شده باشد. بر همین اساس تعداد ماه‌هایی که شاخص در آن  $-1$  و کمتر شده است از کل سری زمانی برای برونداد مدل همادی (CMIP6-MME) تحت دو سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) و بدبینانه (SSP5-8.5) مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج آن در نقشه‌های (۱۱۹ تا ۱۲۳) ارائه شده است.

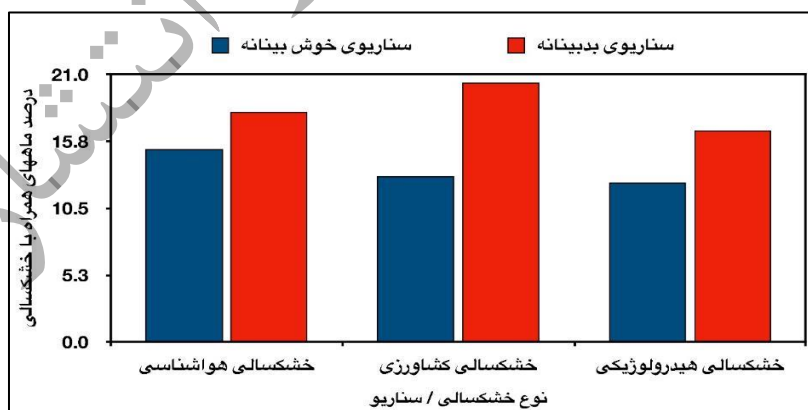
بر اساس نتایج سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) برای شاخص خشکسالی هواشناسی استان، فراوانی ماهانه رخداد خشکسالی حداقل ۱۲/۴ درصد و حداکثر ۱۸/۷ درصد خواهد بود. بیشینه شاخص در مناطق جنوبی و مرکزی استان دیده می‌شود. نتایج مربوط به رخداد خشکسالی برای شاخص خشکسالی هواشناسی در استان خراسان رضوی تحت سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) حداقل ۱۳/۵ درصد در مناطق جنوبی و شرقی استان و حداکثر ۲۵/۷ درصد در مناطق غربی و شمالی استان دیده می‌شود. این نتیجه به این معنا است که تحت شرایط بدبینانه حداقل یک‌چهارم ماه‌های پیشرو تا افق ۱۴۲۴ در استان خراسان رضوی شاهد رخداد خشکسالی خواهیم بود.

نتایج شاخص خشکسالی کشاورزی نیز الگوی تقریباً مشابهی را برای سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) نشان داده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده این شاخص حداکثر ۱۶ درصد رخداد خشکسالی را در مناطق جنوبی و شمالی استان نشان می‌دهد. نتایج مربوط به سناریو بدبینانه نیز نشان داد که رخداد خشکسالی برای مناطق

غربی استان بیشینه خواهد بود بطوریکه شاخص مقدار ۲۷/۴ درصدی را برای مناطق غربی استان نشان داده است. کمینه فراوانی رخداد خشکسالی نیز در مناطق شرقی و جنوب شرقی استان با مقدار ۱۴/۲ درصد دیده می شود. همان طور که برای شاخص خشکسالی هواشناسی نیز دیده شد مناطق غربی استان بیشینه درصد رخداد خشکسالی را دارا هستند. لذا شایسته است تا برنامه مدیریت خشکسالی در این مناطق به طور جدی مورد بررسی قرار گیرد.

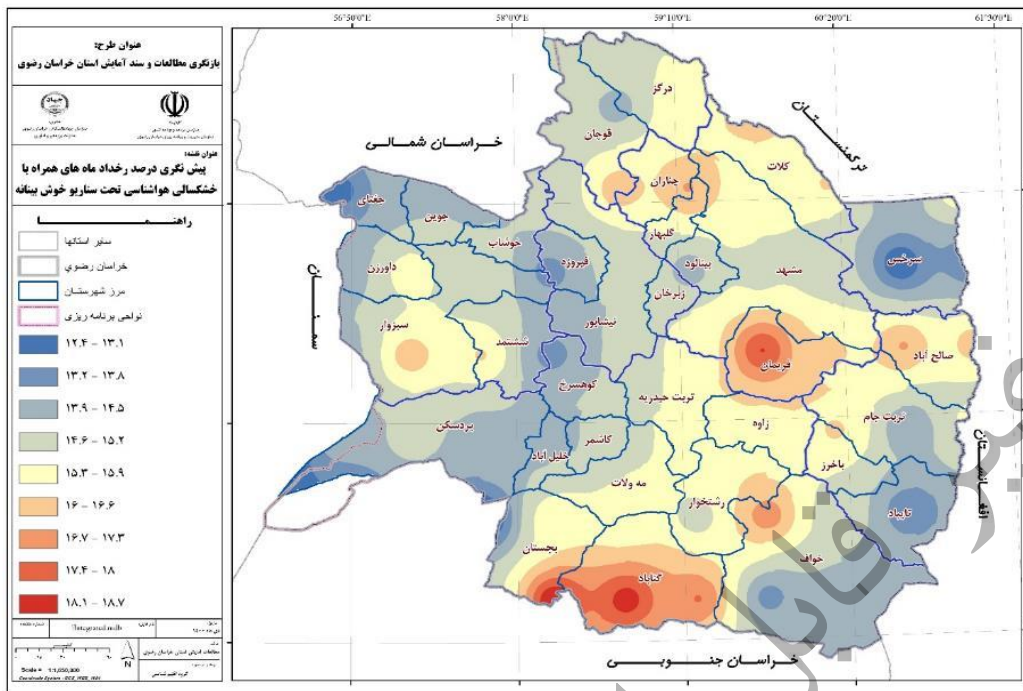
درصد فراوانی رخداد خشکسالی برای شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی نیز با دو سناریو خوش بینانه و بدبینانه در استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که بیشینه درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو خوش بینانه (SSP1-2.6) در مناطق شمالی و غربی استان با مقدار ۱۸/۱ درصد است. کمینه درصد فراوانی رخداد خشکسالی در مناطق شرقی و جنوب شرقی استان با مقدار شاخص ۶/۹۵ درصد به چشم می خورد. همان طور که برای دو شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی نیز دیده شد درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) در مناطق غربی و شمالی استان بیشینه است. بیشینه درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) برای شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی ۲۳/۵ درصد محاسبه شده است.

متوسط پهنه‌ای درصد فراوانی رخداد خشکسالی تا افق ۱۴۲۴ در شکل (۴۵) ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده درصد فراوانی رخداد خشکسالی برای هر دو سناریو خوش بینانه و بدبینانه در متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی بیش از ۱۲ درصد است. بیشینه درصد فراوانی رخداد خشکسالی برای شاخص خشکسالی کشاورزی تحت سناریو بدبینانه با ۲۰/۳۷ درصد محاسبه گردید. پس از آن نیز شاخص خشکسالی هواشناسی با مقدار ۱۸/۰۴ درصد و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی با مقدار ۱۶/۵۶ درصد قرار دارند. بر اساس نتایج به دست آمده رخداد خشکسالی یک مسئله جدی در استان خراسان رضوی است که نیازمند توجه ویژه در برنامه‌های آتی استان است.

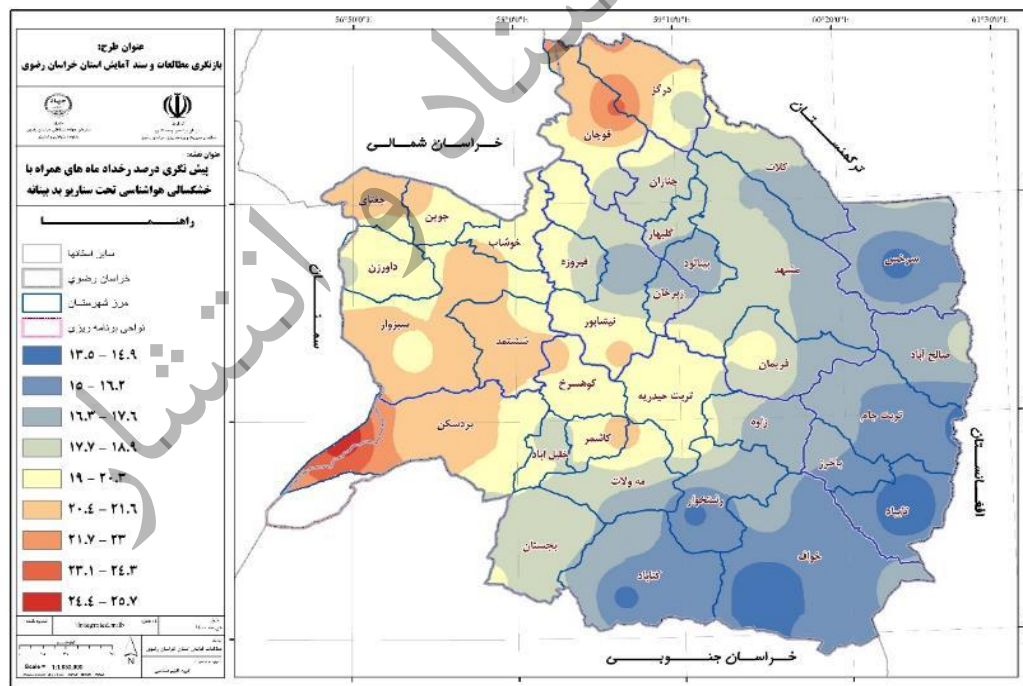


شکل ۴۳. پیش‌نگری درصد فراوانی رخداد خشکسالی شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی در متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)



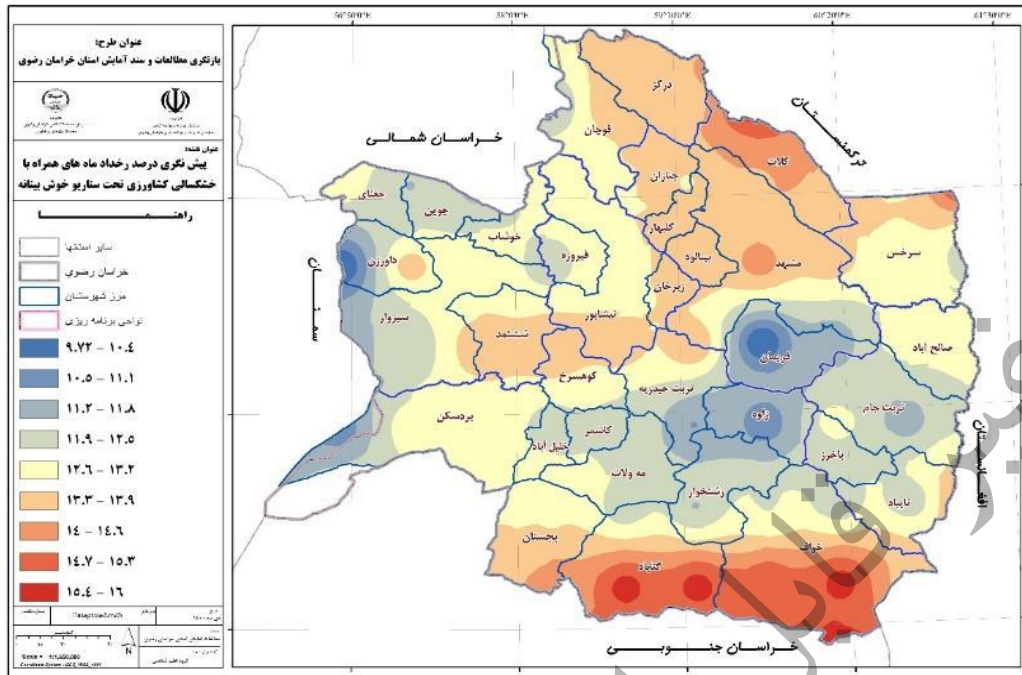


نقشه ۱۱۸. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو خوش بینانه شاخص خشکسالی هواشناسی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)

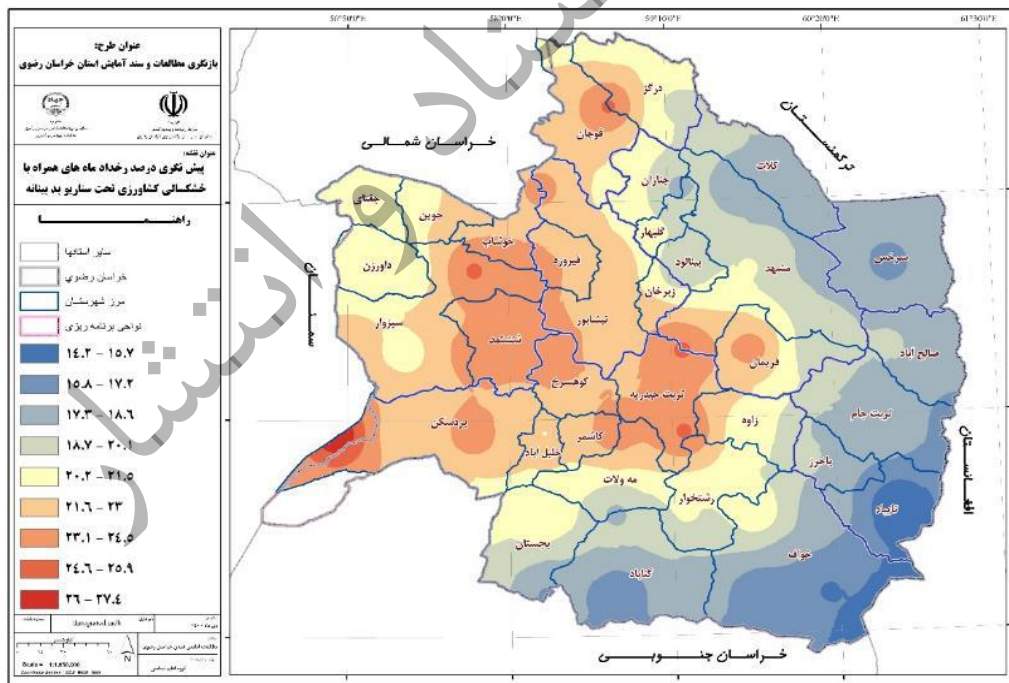


نقشه ۱۱۹. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو بد بینانه شاخص خشکسالی هواشناسی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)

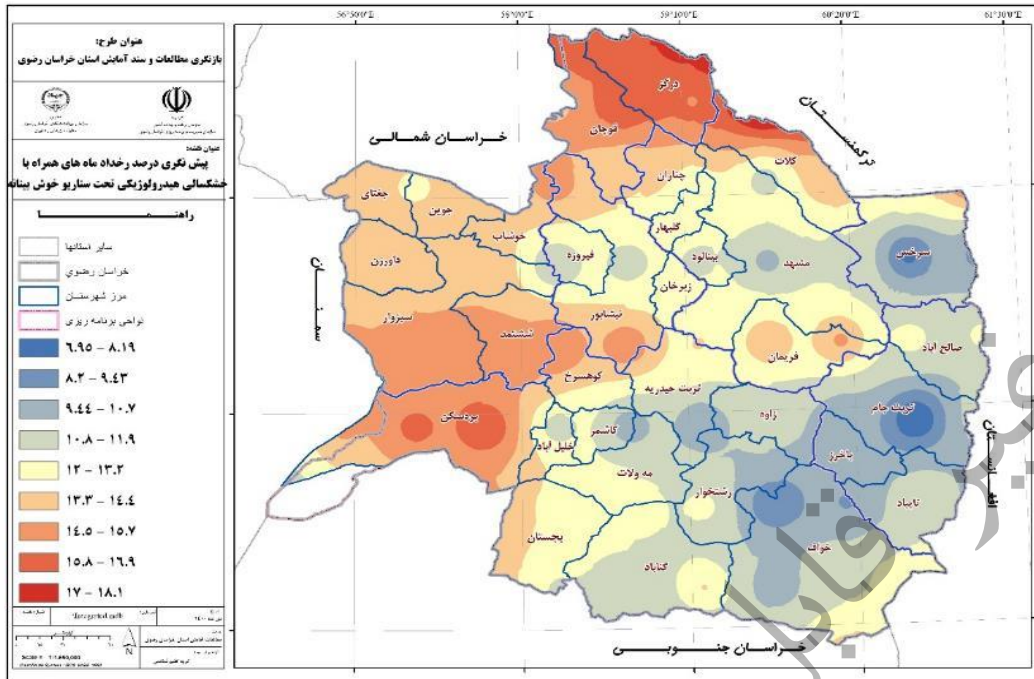




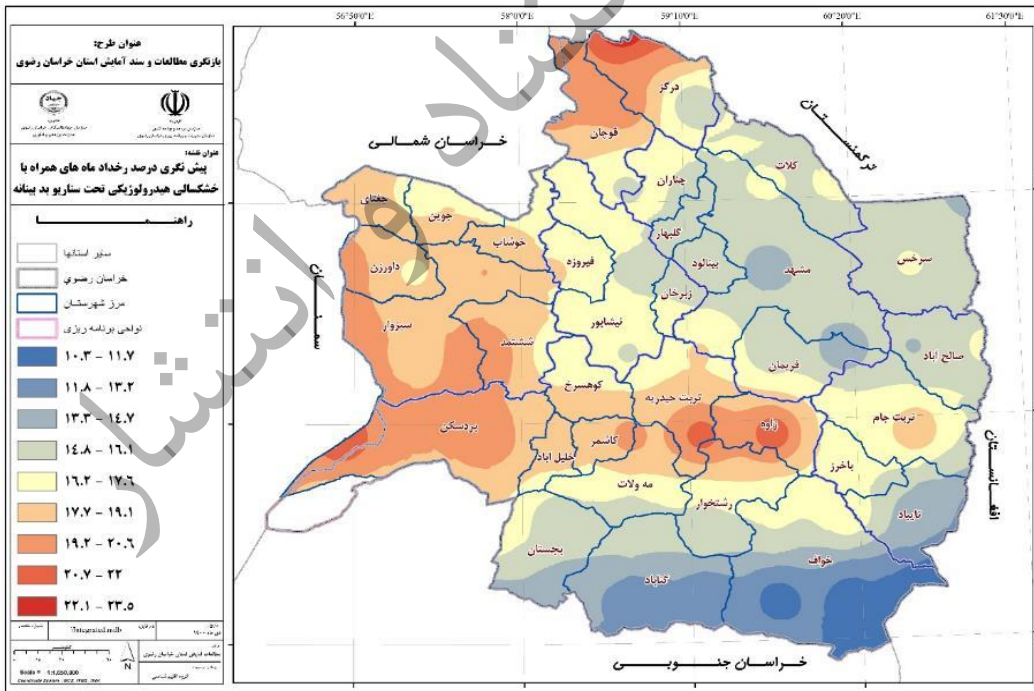
نقشه ۱۲۰. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو خوش‌بینانه شاخص خشکسالی کشاورزی تا افق ۱۴۲۴ (یکا):  
(درصد)



نقشه ۱۲۱. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی کشاورزی تا افق ۱۴۲۴ (یکا):  
(درصد)



نقشه ۱۲۲. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو خوش بینانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)

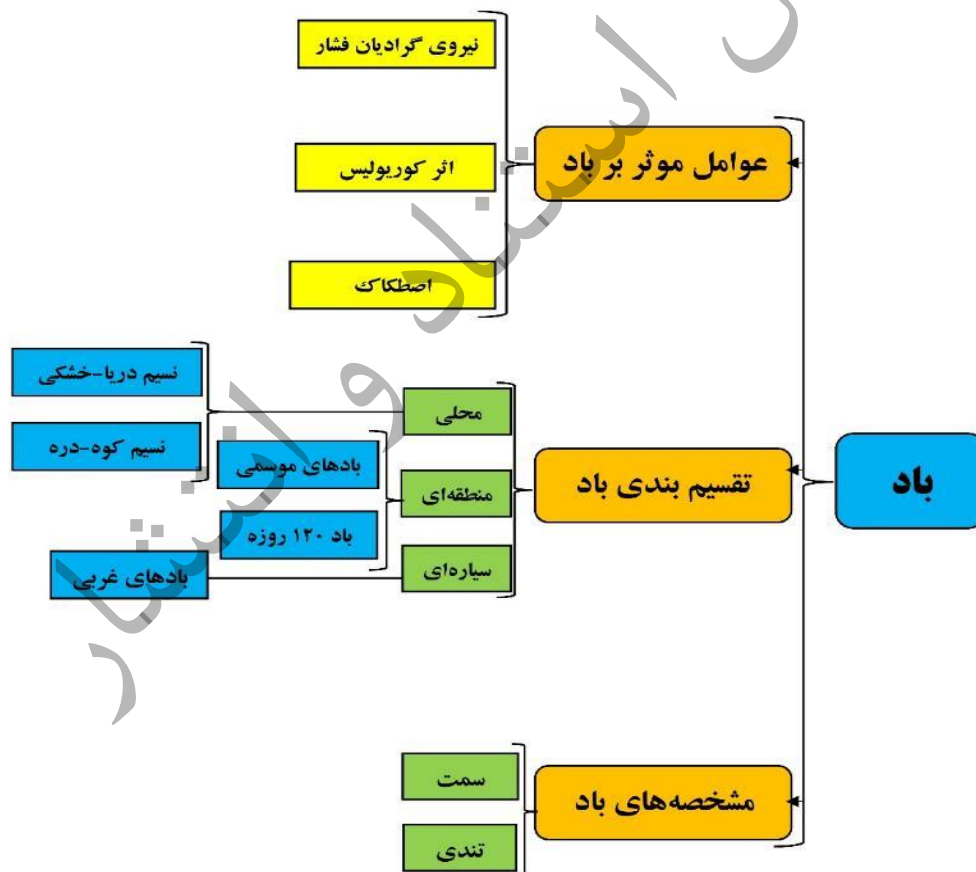


نقشه ۱۲۳. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو بد بینانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درصد)

## ۲-۵- تحلیل باد

### باد و سازوکار پیدایش آن

باد به جابجایی افقی هوا که تندی آن از یک متر بر ثانیه کمتر نباشد گفته می‌شود. عوامل مؤثر بر شکل‌گیری باد همان‌طور که در فلوجارت زیر نیز آمده است را می‌توان در سه دسته نیروی گرادیان فشار، اثر کوریولیس و اصطکاک تقسیم‌بندی کرد. نیروی گرادیان فشار عامل اصلی پیدایش و ایجاد حرکت هواست. تابش غیریکنواخت خورشید به سطح زمین باعث ایجاد کانون‌های سرد و گرم در سطح زمین شده، به دنبال آن فشار هوا در منطقه گرم کاهش و در منطقه سرد افزایش می‌یابد. این وضعیت سبب ایجاد اختلاف فشار بین مناطق گرم و سرد شده، شیب تغییرات فشار به وجود و در نهایت حرکت افقی هوا یا باد از مناطق پرفشار به سمت مناطق کم‌فشار انجام می‌گیرد. عملکرد دو عامل دیگر به محض شروع حرکت هوا سبب تغییر در سمت باد و کاهش تندی آن می‌گردد. اصطکاک به‌صورت عامل بازدارنده عمل کرده و علاوه بر کاهش تندی باد، سمت آن را هم تغییر می‌دهد. اثر کوریولیس بر حرکت هوا تنها به‌صورت تغییر سمت بوده و بر روی تندی باد تأثیری ندارد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۸).



شکل ۴۴. فلوجارت عوامل مؤثر بر باد، تقسیم‌بندی و مشخصه‌های آن

### وردایی شبانه‌روزی باد در سطح زمین

در نزدیکی دره‌ها، تپه‌ها و دریا تغییرات مشخصی در سمت و تندی باد سطح زمین در شبانه‌روز مشاهده می‌شود، این تغییرات را وردایی شبانه‌روزی باد در سطح زمین می‌نامند. در مناطقی که سطح زمین در روی خشکی نسبتاً یکنواخت می‌باشد غالباً وردایی زیادی در تندی باد در طول شبانه‌روز اتفاق می‌افتد. حداکثر تندی باد در ساعات ظهر تا عصر رخ می‌دهد، چرا که تکانه از سطوح بالاتر به سطح زمین توسط جریان‌های انتقالی منتقل می‌شود. در هنگام غروب آفتاب که دمای هوا رو به کاهش می‌رود جابجایی نیز کاهش یافته در نتیجه تندی باد هم کاهش می‌یابد و در ساعات نزدیک طلوع آفتاب تندی باد به حداقل خود در طول شبانه‌روز می‌رسد.

### تقسیم‌بندی باد

بادها با توجه به وسعت منطقه وزش آن‌ها به بادهای سیاره‌ای، منطقه‌ای و محلی تقسیم‌بندی می‌شوند که در فلوجارت مربوطه نیز نشان داده شده است.

بادهای سیاره‌ای بادهای هستند که بر اثر اختلاف فشار بین مناطق حاره‌ای و قطبی به وجود می‌آیند و گردش عمومی هوا را تشکیل می‌دهند. بادهای سیاره‌ای شامل بادهای بسامان (تجارتی) و شرقی در مناطق حاره و بادهای غربی در مناطق برون حاره می‌باشند. **بادهای آلیزه (تجارتی)**: این بادها در نیمکره‌های شمالی و جنوبی به ترتیب از شمال شرقی به جنوب غربی و از جنوب شرقی به شمال غربی در حال وزش هستند. این بادها در بین منطقه پرفشار جنب حاره و همگرایی میان حاره‌ای در بخش اعظمی از این مناطق در تمام طول سال می‌وزند و باثبات‌ترین بادهای کره زمین می‌باشند. در نیمکره جنوبی به علت مداومت فشار زیاد جنب حاره، بادهای تجارتی به‌طور منظم وزیده و طوقه‌ایی را تشکیل می‌دهند. از این‌رو تجارتی‌های سطحی در نیمکره شمالی حالات منظم‌تر و قوی‌تری دارند و وسعت نفوذ کمربند تجارتی‌ها در نیمکره شمالی در حدود ۲۵۰۰ کیلومتر و در نیمکره جنوبی در حدود ۳۰۰۰ کیلومتر است. در سطح فوقانی کمربند حاره در حدود ۱۰ کیلومتری از سطح زمین، بادهایی با جهت مخالف تجارتی‌ها می‌وزند، که آن‌ها را آنتی‌تریید (ضد تجارتی) می‌گویند.

**بادهای شرقی**: بادهایی که در سطح زمین از مرکز پرفشار قطبی به اطراف می‌وزند. به دلیل تابش عمودی خورشید در منطقه استوا و گرم شدن بیشتر هوا، جریان هوا در این منطقه حالت صعودی دارد که در نتیجه از اطراف، هوا به سمت استوا جریان می‌یابد. این جریان تحت تأثیر نیروی کوریولیس در هر نیمکره به سمت راست منحرف شده و حالت شرقی - غربی به خود می‌گیرد که آن را بادهای شرقی می‌گویند. تندی این جریانات در حدود ۱۳ تا ۱۷ کیلومتر بر ساعت است.

**بادهای غربی**: در گستره جهانی اغلب در عرض‌های میانه و بین حدود ۳۵ تا ۶۵ درجه عرض جغرافیایی و یا به عبارت دیگر از پرفشار جنب حاره به مناطق کم‌فشار جنب قطب شیوع دارند. این بادها از نظر جهت و استمرار دارای خصوصیات متغیرند در تندی و سمت آن‌ها جریانات موجی به‌ویژه چرخندهای سیار و



واچرخندهایی که در منطقه نفوذ این بادهای از غرب به شرق حرکت می‌کنند اثر عمده‌ای دارند، از این رو ممکن است بادهای مذکور ضمن وزش از غرب به شرق خصوصیات طوفانی هم داشته باشند. در زمستان‌های نیمکره شمالی توسعه واچرخندهای قاره‌ای و بعضاً حتی چرخندها از توسعه بارز بادهای غربی ممانعت به عمل آورده و بدین جهت بادهای مزبور به نحو بارزی بر روی اقیانوس‌ها توسعه می‌یابند، ولی چون در عرض‌های میانه نیمکره جنوبی، شرایط قاره‌ای تقریباً حاکمیتی ندارد، بادهای غربی هم تقریباً حالت کمربند جهانی به خود گرفته‌اند.

### رژیم بادهای منطقه‌ای

بادهای منطقه‌ای بادهای هستند که بر اثر اختلاف فشار منطقه‌ای به وجود می‌آیند، مانند بادهایی که در قلمرو چرخندها و واچرخندها می‌وزند. از جمله این بادهای موسمی و باد ۱۲۰ روزه سیستان در ایران اشاره کرد.

**بادهای موسمی:** کلمه موسم دارای ریشه عربی است و به معنی فصل است، در کل به بادهایی که در فصول متضاد سال با جهات مخالف می‌وزند موسمی گفته می‌شود. این بادهای در زمستان، به صورت جریان سردی از خشکی به دریا و در تابستان به صورت جریان هوای مرطوب و گرمی از دریا به خشکی می‌وزند. در تابستان‌ها، قاره آسیا گرم شده و به علت تشکیل کم‌فشارهای حرارتی گسترده در خلیج فارس و آسیای مرکز و دشت راجستان هند، از اقیانوس هند و آرام بادهایی به جهت این مراکز کشیده می‌شوند این شرایط هم‌زمان با استرالیا و توأم با تشکیل یک واچرخند در روی آن می‌باشد. که بادهای خروجی از آن، ضمن عبور از استوا با جهت جنوب غربی به جهت آسیا کشیده می‌شوند و موسمی‌های تابستانی در آسیا را به وجود می‌آورند.

### رژیم بادهای محلی

بادهای محلی بادهای هستند که بر اثر اختلاف فشار محلی به وجود می‌آیند. این بادهای منطقه کوچکی را در بر گرفته و معمولاً منحصر به لایه‌های بسیار پایین جو هستند. از جمله جریانات محلی در استان خراسان رضوی می‌توان به دیزباد اشاره کرد. دیزباد از توان بادی بالقوه‌ای برخوردار است و به علت عدم وجود ایستگاه هواشناسی در این ناحیه، اطلاعات دقیقی از آن در دسترس نیست. این منطقه در جنوب شرقی و جنوب شهرستان نیشابور در جنوب ارتفاعات بینالود واقع شده است ارتفاع این منطقه از شرق به غرب بین ۱۴۵۵ تا ۱۱۵۰ متر در نوسان است. توپوگرافی این منطقه و هم‌جواری آن با رشته‌کوه‌های بینالود در راستای شرق به غرب در سمت شمال و ارتفاعات منطقه فریمان و تربت‌حیدریه در جنوب، یک دالان طبیعی باد تحت تأثیر اختلاف فشار هوا را ایجاد نموده است. سمت باد در منطقه دیزباد شرقی - غربی است. دیزباد همانند بسیاری از متغیرهای اقلیمی دارای وردایی روزانه و فصلی است. تندی باد در منطقه دیزباد در حوالی نیمه‌شب کم شده و تا اوایل صبح ادامه دارد و در ساعات میانی روزی تندی باد در این منطقه به بیشینه سرعت خود می‌رسد.

## اندازه‌گیری باد

باد یک کمیت برداری است که دارای دو مشخصه سمت و تندی است که در شکل (۴۶) نیز ارائه شده است. سمت باد جهتی است که باد از آن سمت می‌وزد، مثلاً سمت جنوب غربی به این معنی است که باد از جنوبی غربی به سمت شمال شرقی در حال جریان است. سمت و تندی باد از طریق مشاهدات هواشناسی با استفاده از ابزار ویژه اندازه‌گیری می‌شود سمت باد همیشه توسط وسیله‌ای به نام بادنما اندازه‌گیری می‌شود. تندی باد در ایستگاه‌های هواشناسی توسط وسیله‌ای به نام بادسنج اندازه‌گیری می‌شود. در ایستگاه‌هایی که فاقد بادسنج می‌باشند تندی باد از طریق عکس‌العمل اشیای قابل انعطاف در مقابل باد است. باد توسط سمت و تندی برحسب میل در ساعت، نات، متر در ثانیه و یا نیروی بیوفورت توصیف یا روی نقشه‌های وضعیت هوا توسط نمودارهای خاصی ترسیم می‌شوند.

برای نشان دادن وضعیت متوسط باد در یک مکان خاص از گلباد (Wind Rose) استفاده می‌شود که در آن سمت و تندی باد نمایش داده می‌شود. سمت باد در هشت گروه تقسیم‌بندی می‌شود. که در ادامه گلبادهای باد میانگین و باد بیشینه برای هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی همدید نماینده ترسیم و ارائه گردید.

همانند گلباد که برای نمایش سمت و تندی باد ایجاد شده‌اند مقیاس‌های اندازه‌گیری بسیاری نیز برای تندی باد توسعه داده شده‌اند. مقیاس بیفورت (Beaufort) یک سامانه ۱۲ درجه دارد که شامل صفر نیز می‌شود. جدول (۲۹) مقیاس بیفورت را کامل ارائه کرده است. اهمیت ارائه جدول حاضر می‌تواند بینش صحیحی را به برنامه‌ریزان ارائه کند همچنین درک بهتری از سرعت باد نیز می‌توان با مشخصات باد دید.

جدول ۲۹. شدت و دیگر مشخصات باد در مقیاس بیفورت

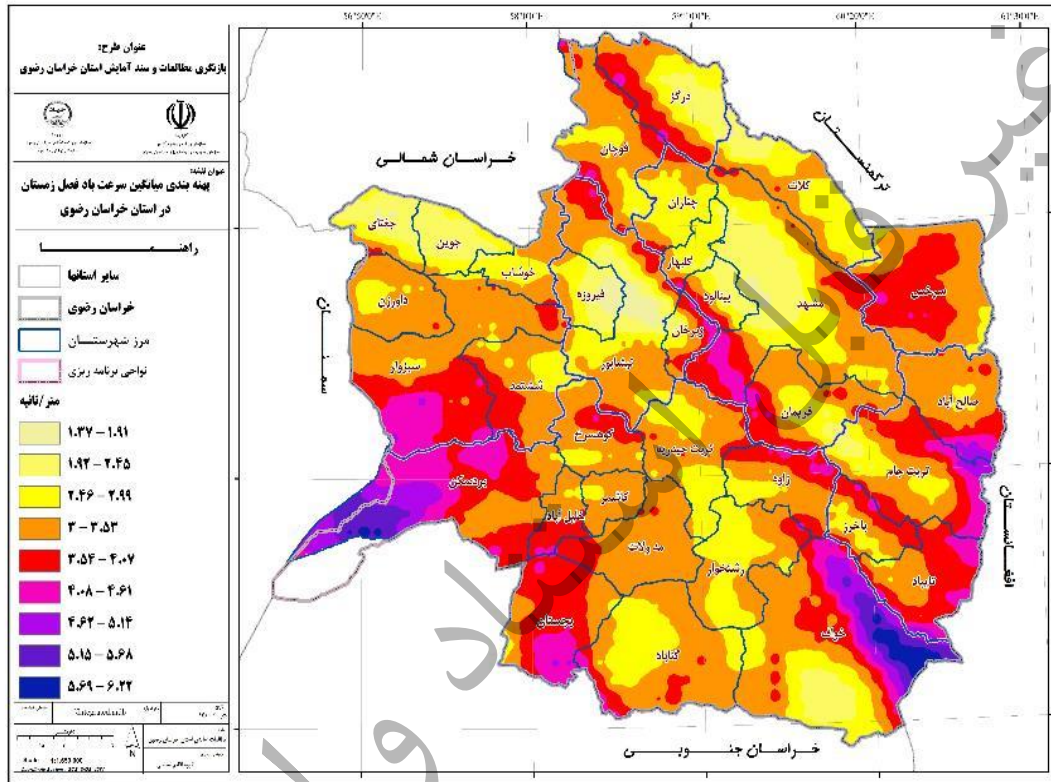
درجه بیفورت	نوع باد	بر حسب نات	کیلومتر بر ساعت	متر بر ثانیه	مشخصات باد
۰	آرام	<۱	<۱	۰	صعود قائم دود
۱	حرکت آرام هوا	۱-۳	۱-۵	۰/۲	جهت حرکت هوا با دود قابل تشخیص نیست.
۲	نسیم سبک	۴-۶	۶-۱۱	۰/۳-۱/۵	باد بر روی سر و صورت احساس می‌شود.
۳	نسیم ملایم	۷-۱۰	۱۲-۱۹	۱/۶-۳/۳	شاخه‌های کوچک و برگ درختان حرکت می‌کند.
۴	باد خفیف	۱۱-۱۶	۲۰-۲۸	۴/۵-۴/۳	گردوخاک بلند می‌شود و شاخه‌های درختان تکان می‌خورد.
۵	باد ملایم	۱۷-۲۱	۳۸-۲۹	۹/۷-۴/۵	درختان کوچک تکان می‌خورند.
۶	باد تند	۲۲-۲۷	۴۹-۳۹	۵/۵-۷/۹	شاخه‌های بزرگ تکان می‌خورد، سیم‌های تلگراف سوت می‌کشند.

درجه بیفورت	نوع باد	بر حسب نات	کیلومتر بر ساعت	متر بر ثانیه	مشخصات باد
۷	باد شدید	۲۸-۳۳	۵۰-۶۱	۱۰/۷-۸	تکان همه درختان، حرکت در خلاف جهت باد مشکل است.
۸	باد طوفانی	۳۴-۴۰	۶۲-۷۴	۱۳/۸-۱۰/۸	شاخه درختان می‌شکند، حرکت در خلاف جهت باد میسر نیست.
۹	طوفان	۴۱-۴۷	۷۵-۸۸	۱۷/۱-۱۳/۹	سفال پشت‌بام و لوله دودکش‌ها از جا کنده می‌شود.
۱۰	طوفان شدید	۴۸-۵۵	۸۹-۱۰۲	۱۷/۲-۲۰/۷	درختان از ریشه کنده می‌شوند، خسارت سنگینی به ساختمان‌ها وارد می‌شود.
۱۱	طوفان هوریکن وار	۵۶-۶۳	۱۰۳-۱۱۷	۲۸/۴-۲۰/۸	بندرت در خشکی به وجود می‌آید، خسارت در مقیاس وسیع رخ می‌دهد.
۱۲	هوریکن	≥/۶۴	≥/۱۱۸	۲۸/۴-۲۴/۵	آثار فاجعه‌آمیز دارد.

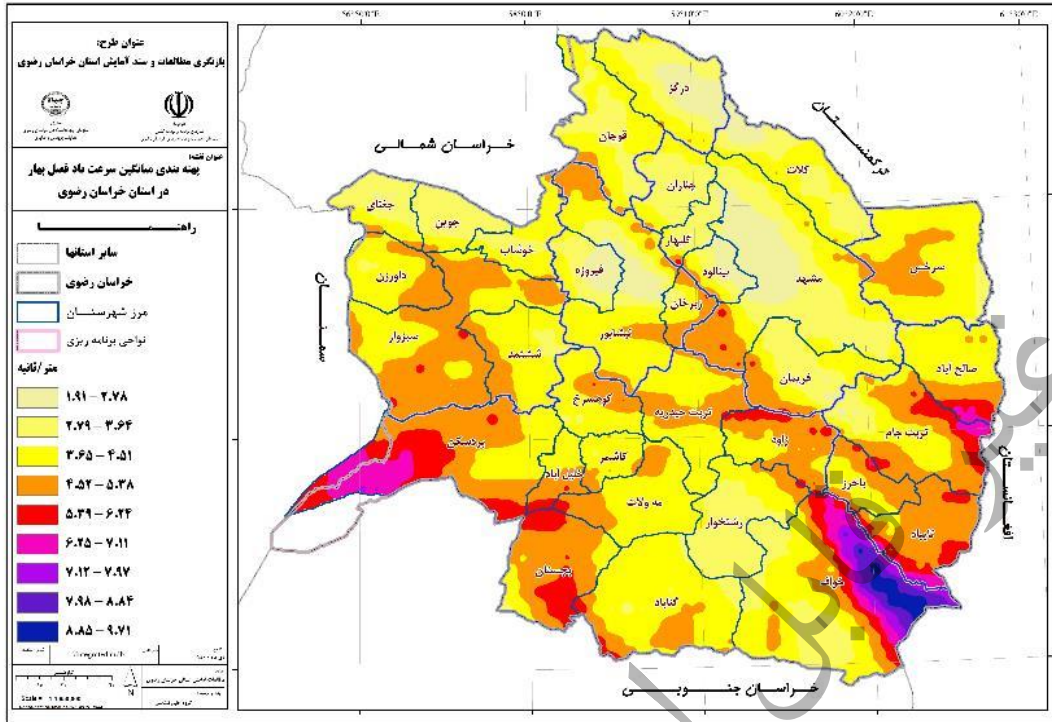
#### تغییرات زمانی-مکانی تندی باد در استان خراسان رضوی

تندی باد برای فصول مختلف سال و میانگین سالانه تهیه و در نقشه‌های (۱۲۴ تا ۱۲۸) ارائه شده است. به همین ترتیب گلباد میانگین تندی باد، گلباد بیشینه تندی باد و جداول میانگین و بیشینه تندی باد برای هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی همدید نماینده استان خراسان رضوی تهیه و ارائه شده است. بالاترین مقادیر میانگین ماهانه تندی باد در دوره ۱۴۰۰-۱۳۶۹ در خواف دیده می‌شود. میانگین تندی باد میانگین ماهانه در ماه تیر با ۸/۶ متر بر ثانیه بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، خواف به‌عنوان بزرگ‌ترین پتانسیل انرژی بادی در خراسان رضوی شناخته شده و نه تنها دارای بیشترین تندی باد، بلکه دارای مناطق روستایی بزرگ برای نصب مزارع بادی احتمالی است. در فصل زمستان بطوریکه در نقشه (۱۲۴) نشان داده شده است، بیشینه تندی باد با مقدار حداکثری ۶/۲۲ متر بر ثانیه در مناطق خواف و بردسکن و همچنین منطقه باریکی در مرز صالح‌آباد و تربت‌جام با کشور افغانستان مشاهده می‌گردد. کمینه تندی باد در مناطق شمالی و شمال غربی استان شامل شهرستان‌های جوین، جغتای، خوشاب، درگز، چناران، مشهد، فیروزه، و مناطق شمالی نیشابور و مناطق جنوبی کلات دیده می‌شود. در فصل بهار الگوی بیشینه تندی باد تقریباً مشابه الگوی زمستانه است و مناطق خواف و بردسکن بیشترین تندی باد را با مقدار ۹/۷۱ متر بر ثانیه نشان می‌دهند. قسمت اعظم استان در فصل بهار تندی باد کمتر از ۵ متر بر ثانیه را نشان می‌دهند. در فصل تابستان بیشینه تندی باد در استان خراسان رضوی دیده می‌شود. در این فصل بیشینه تندی باد در منطقه جنوبی شرقی استان متمرکز شده است. بطوریکه خواف با ۱۳/۵ متر بر ثانیه بیشینه تندی باد استان را تجربه می‌کند. مناطق شمالی استان همانند درگز، شمال مشهد و فیروزه کمینه تندی باد تابستان را دارا می‌باشند که پتانسیل کمی را برای تولید انرژی بادی دارند. توزیع جغرافیایی پهنه‌های تندی باد در فصل پاییز الگویی

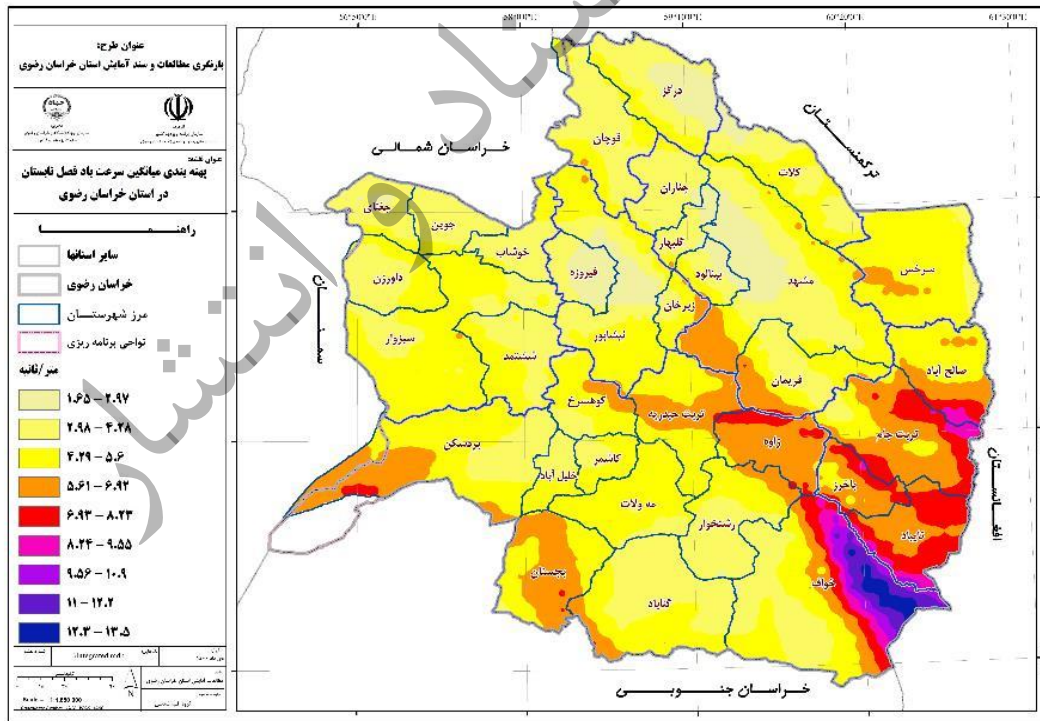
مشابه با فصل زمستان را نشان می‌دهد خوف، منطقه مرزی صالح‌آباد با افغانستان و بردسکن بیشینه تندی باد را با مقدار حداکثری ۶/۱ متر بر ثانیه نشان می‌دهند. میانگین تندی باد سالانه نیز در نقشه (۱۲۸) ارائه شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تندی باد در استان خراسان رضوی برای میانگین سالانه بین ۱/۵۹ متر بر ثانیه تا ۸/۸۸ متر بر ثانیه بر تغییر است. تندی باد در مناطق جنوب‌شرقی، جنوب غربی و باریکه‌ای در مناطق مرکزی استان بینالود تا باخرز بیشینه است.



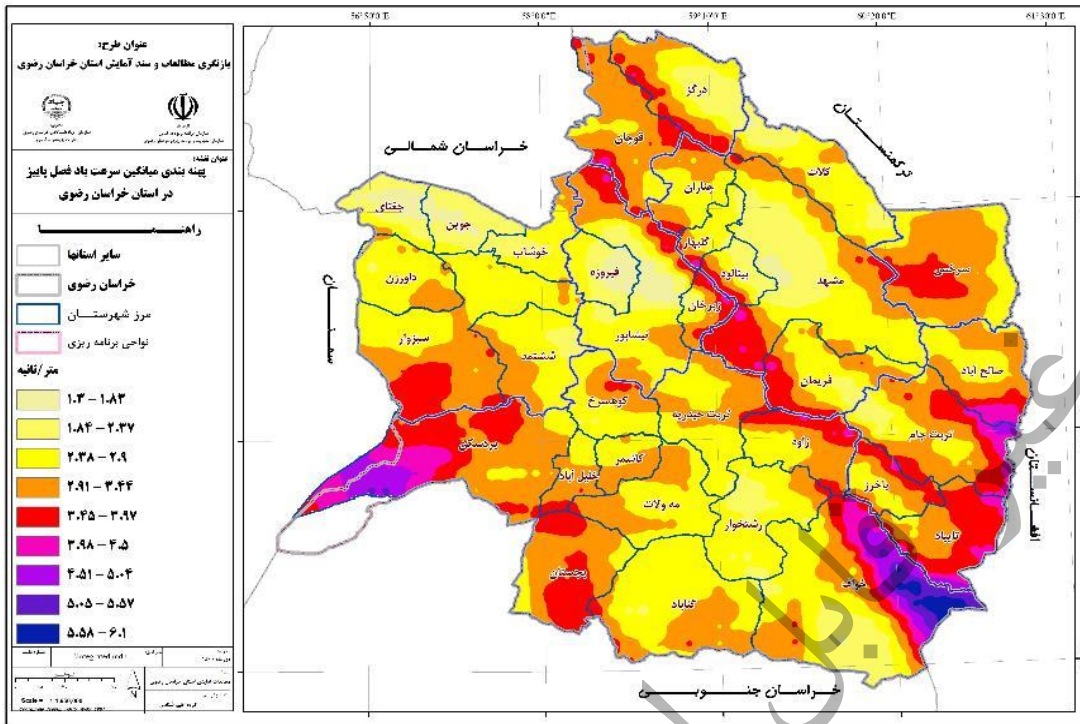




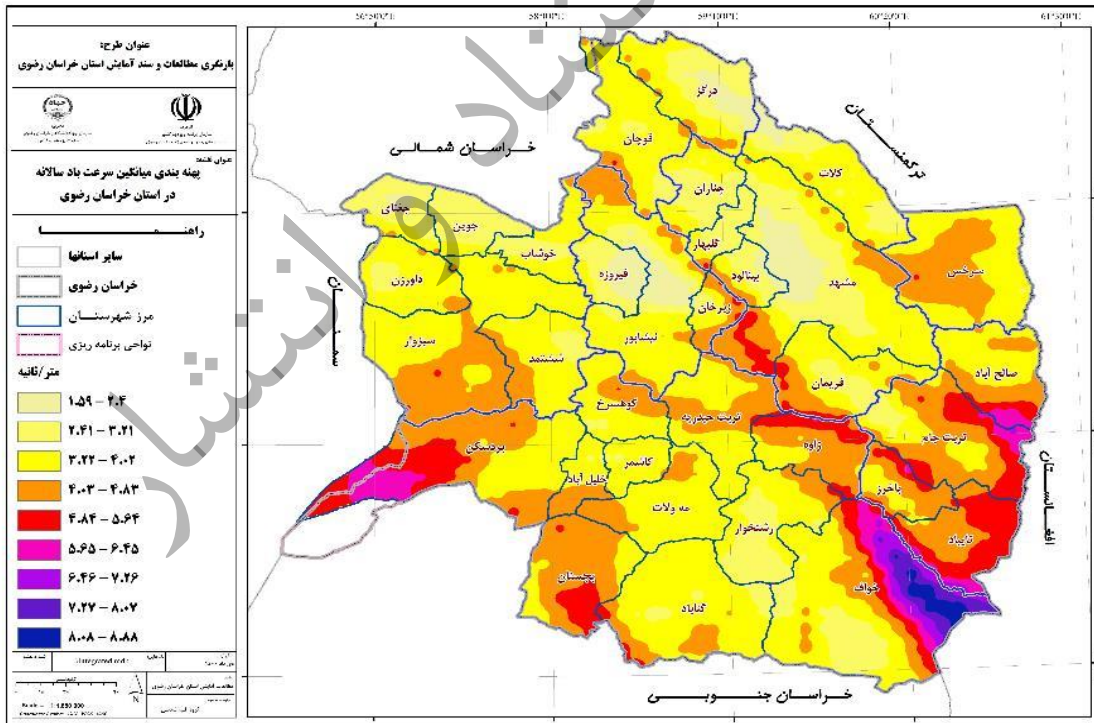
نقشه ۱۲۵. میانگین تندی باد فصل بهار در استان خراسان رضوی (یکا: متر بر ثانیه)



نقشه ۱۲۶. میانگین تندی باد فصل تابستان در استان خراسان رضوی (یکا: متر بر ثانیه)



نقشه ۱۲۷. میانگین تندی باد فصل پاییز در استان خراسان رضوی (یکا: متر بر ثانیه)



نقشه ۱۲۸. میانگین تندی باد میانگین سالانه در استان خراسان رضوی (یکا: متر بر ثانیه)

علاوه بر نقشه‌های پهنه‌بندی میانگین تندی باد فصلی و سالانه در استان، تندی میانگین و تندی بیشینه باد ماهانه و سالانه ایستگاه‌های هواشناسی همدید منتخب نیز جداول (۲۹ تا ۳۰) ارائه شده است. بطوریکه در جدول (۳۰) دیده می‌شود دو ایستگاه و تربت‌جام و خواف در دوره گرم سال از خرداد ماه تا شهریور ماه با تندی بیش از ۵ متر بر ثانیه نشان می‌دهند. بیشینه تندی باد نیز در مقیاس ماهانه و سالانه در جدول (۳۱) ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد بیشینه تندی باد به‌ویژه در ماه‌های تابستانه در ایستگاه‌های تربت حیدریه، تربت‌جام، خواف، سبزوار، سرخس، گناباد، مشهد و نیشابور به بیش از ۷ متر بر ثانیه می‌رسد. بیشینه تندی باد در مرداد ماه و ایستگاه خواف با ۱۳/۲ متر بر ثانیه به‌دست آمده است که نشان‌دهنده پتانسیل بسیار بالای این منطقه از استان خراسان رضوی برای تولید انرژی برق از باد است.

جدول ۳۰. میانگین تندی میانگین باد ماهانه در ایستگاه‌های نماینده هواشناسی همدید استان خراسان رضوی

ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
تربت حیدریه	۲/۶	۳/۰	۳/۴	۴/۲	۴/۱	۳/۰	۲/۴	۱/۸	۱/۴	۱/۴	۱/۷	۲/۳	۲/۶
تربت‌جام	۳/۵	۴/۱	۴/۹	۶/۲	۶/۴	۵/۲	۳/۶	۲/۹	۲/۳	۲/۶	۳/۱	۳/۳	۴/۰
خواف	۳/۷	۴/۵	۶/۴	۸/۶	۸/۵	۶/۷	۳/۹	۲/۹	۲/۷	۲/۸	۳/۳	۳/۷	۴/۹
سبزوار	۳/۴	۳/۸	۴/۲	۴/۷	۴/۳	۳/۹	۳/۳	۲/۷	۲/۲	۲/۱	۲/۶	۳/۲	۳/۴
سرخس	۲/۵	۲/۵	۳/۰	۳/۳	۳/۰	۲/۱	۱/۷	۱/۷	۱/۹	۲/۱	۲/۴	۲/۵	۲/۴
قوچان	۲/۹	۲/۸	۲/۷	۲/۹	۲/۸	۲/۵	۲/۳	۲/۱	۱/۷	۱/۵	۱/۸	۲/۵	۲/۴
کاشمر	۱/۹	۲/۲	۲/۲	۲/۵	۲/۰	۱/۵	۱/۳	۱/۱	۱/۰	۰/۹	۱/۳	۱/۷	۱/۶
گلمکان	۳/۴	۳/۵	۳/۶	۳/۷	۳/۴	۳/۲	۲/۹	۲/۵	۲/۷	۳/۲	۳/۳	۳/۵	۳/۲
گناباد	۲/۲	۲/۶	۳/۱	۳/۳	۲/۷	۲/۳	۱/۷	۱/۲	۱/۰	۱/۰	۱/۴	۱/۸	۲/۰
مشهد	۲/۸	۲/۹	۳/۱	۳/۴	۳/۳	۲/۸	۲/۴	۲/۰	۱/۸	۱/۸	۲/۲	۲/۶	۲/۶
نیشابور	۱/۷	۱/۹	۲/۱	۲/۲	۲/۱	۱/۷	۱/۲	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۱/۲	۱/۶	۱/۵

■ تندی باد بیش‌تر از ۵ متر بر ثانیه است.

جدول ۳۱. میانگین تندی بیشینه باد ماهانه در ایستگاه‌های نماینده هواشناسی همدید استان خراسان رضوی

ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
ترت حیدریه	۷/۶	۸/۴	۸/۶	۹/۱	۹/۱	۷/۵	۶/۷	۵/۶	۴/۹	۴/۵	۵/۴	۶/۹	۷/۱
ترت جام	۷/۵	۸/۱	۸/۷	۹/۹	۱۰/۰	۸/۵	۷/۰	۶/۲	۵/۶	۶/۰	۶/۸	۷/۲	۷/۶
خواف	۸/۶	۹/۰	۱۰/۷	۱۲/۵	۱۳/۲	۱۱/۵	۸/۷	۶/۷	۷/۰	۶/۴	۷/۲	۷/۹	۹/۲
سبزوار	۹/۰	۹/۷	۱۰/۰	۱۰/۰	۹/۶	۸/۹	۸/۲	۷/۲	۶/۴	۶/۰	۷/۰	۸/۲	۸/۴
سرخس	۶/۵	۶/۷	۷/۲	۷/۴	۷/۱	۵/۸	۵/۰	۴/۹	۵/۱	۵/۵	۶/۱	۶/۴	۶/۱
قوچان	۶/۵	۶/۴	۶/۴	۶/۸	۶/۸	۶/۲	۵/۴	۵/۰	۴/۵	۴/۱	۴/۶	۵/۸	۵/۷
کاشمر	۵/۲	۵/۷	۵/۳	۵/۵	۵/۱	۴/۴	۴/۱	۳/۵	۳/۳	۳/۲	۴/۰	۴/۸	۴/۵
گلمکان	۶/۵	۶/۶	۶/۷	۶/۶	۶/۴	۶/۱	۵/۵	۵/۰	۵/۳	۵/۹	۶/۲	۶/۴	۶/۱
گناباد	۶/۲	۶/۷	۷/۱	۷/۲	۶/۵	۵/۹	۴/۸	۳/۹	۳/۴	۳/۴	۴/۴	۵/۲	۵/۴
مشهد	۶/۵	۷/۰	۷/۶	۸/۱	۸/۰	۶/۸	۵/۷	۴/۶	۴/۴	۴/۴	۵/۳	۶/۱	۶/۲
نیشابور	۶/۲	۶/۸	۷/۶	۸/۱	۷/۸	۶/۷	۵/۲	۳/۹	۳/۵	۳/۴	۴/۳	۵/۶	۵/۸

■ تندی باد بیش‌تر از ۷ متر بر ثانیه است.

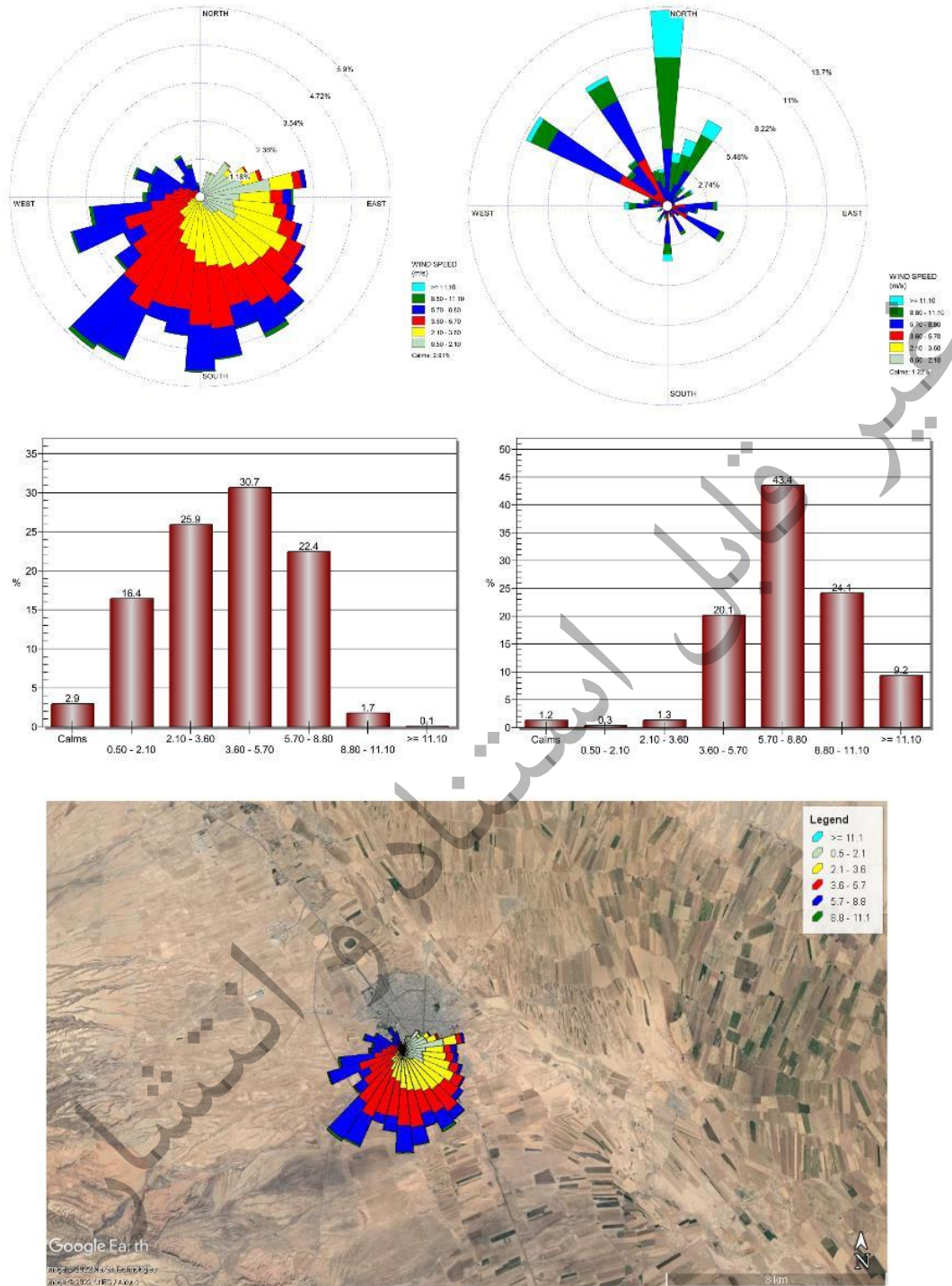
### تحلیل سمت و تندی بادهای استان خراسان رضوی با استفاده از نمودارهای گلباد

توربین‌های بادی به‌طور فزاینده‌ای در مناطق دریایی و خشکی برای استخراج انرژی بادی نصب می‌شوند. بسیاری از مطالعات امکان‌سنجی استفاده نیروی باد (به‌عنوان یک منبع انرژی تجدید پذیر) را برای مکان‌های مختلف در سراسر جهان بررسی کرده‌اند. به دلیل تغییرات زمانی-مکانی زیاد باد برای ارزیابی پتانسیل نیروی باد در هر منطقه، مطالعات اقلیمی موردنیاز است. همچنین، مطالعه پایداری، توزیع زمانی- مکانی و توجیه اقتصادی نیروی باد قبل از احداث مزارع بادی در هر منطقه ضروری است. از سوی دیگر، تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین بر فرآیندهای جوی و اقیانوسی مختلف تأثیر می‌گذارد که باید قبل از توسعه مزارع بادی در نظر گرفته شوند. تندی باد یک متغیر جوی مهم است که ممکن است تحت شرایط اقلیمی آینده تغییرات شدیدی را تجربه کند. بنابراین، توزیع زمانی- مکانی و تغییرپذیری آینده باد باید به‌طور کامل بررسی شوند. این امر قابلیت اطمینان تأمین انرژی را افزایش داده و به جوامع کمک می‌کند تا به توسعه پایدار دست یابند. تأثیر تغییر اقلیم بر سرعت باد در مناطق مختلف متفاوت است. به‌عنوان مثال، تغییر اقلیم ممکن است تندی باد را در یک منطقه افزایش دهد، درحالی‌که تأثیر آن ممکن است در منطقه دیگر معکوس باشد. بنابراین، تحلیل و پیش‌نگری منطقه‌ای تندی باد برای مطالعات انرژی بادی بسیار مهم است.

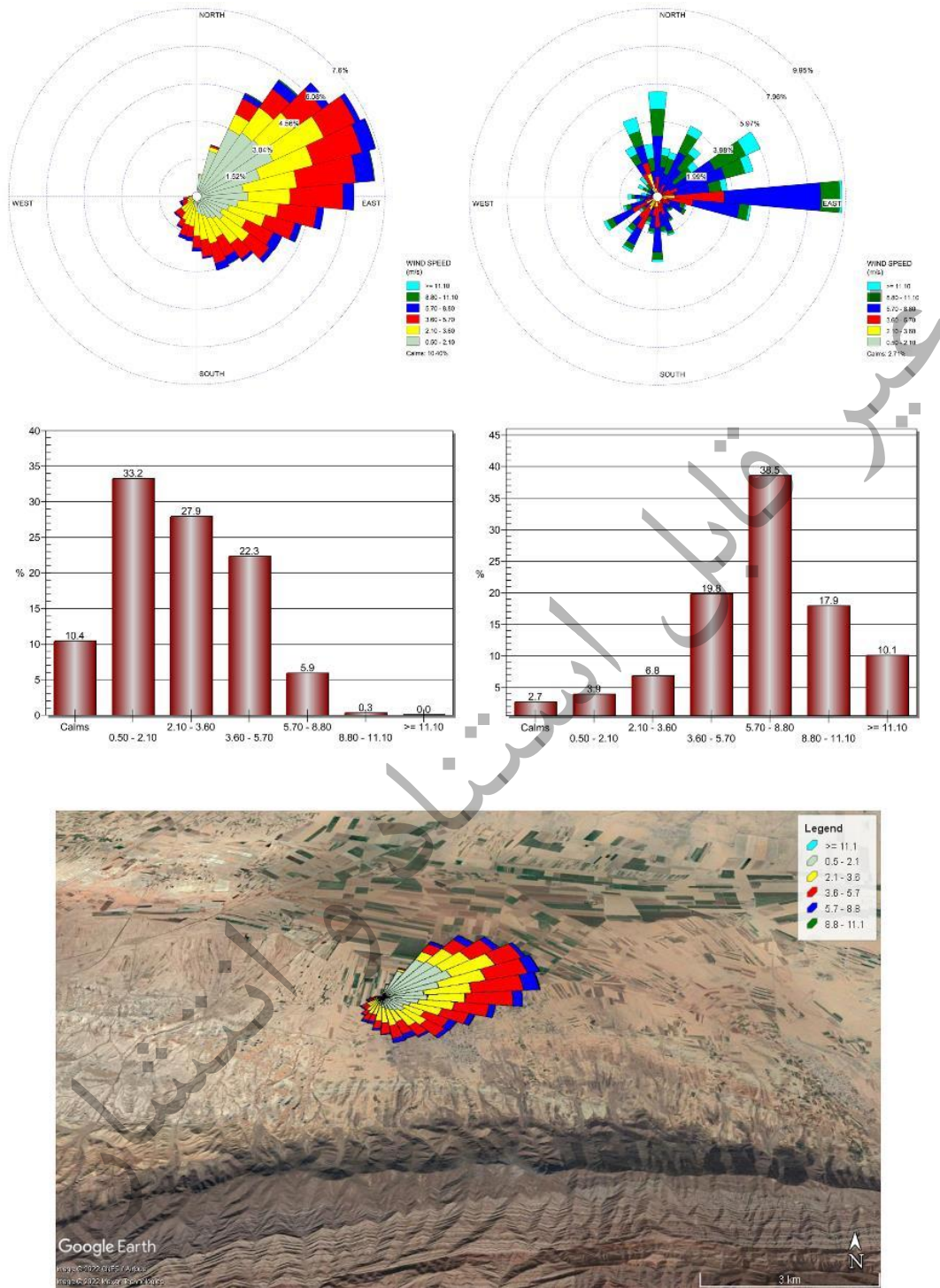


سمت باد نقش کلیدی در طراحی و چیدمان توربین‌های بادی دارد. توزیع سمت نیروی باد از اهمیت حیاتی برخوردار است زیرا یک تغییر جزئی در سمت باد می‌تواند به‌طور فراوانی بر بازدهی انرژی توربین بادی تأثیر بگذارد.

گلبادهای ۱۱ ایستگاه هواشناسی هم‌دید منتخب به همراه نمودار فراوانی طبقات باد در شکل‌های (۴۷) تا (۵۷) ارائه شده است. گلباد نمودار ساده و کارآمد برای نمایش سمت و تندی باد است. نتایج بررسی گلبادهای ترسیمی نشان می‌دهد که سمت غالب وزش باد در استان خراسان رضوی شرقی تا جنوب‌شرقی است که جزئیات مربوط به هر ایستگاه در شکل‌های مربوطه ارائه شده است. برای درک بهتر سمت وزش باد، گلباد ترسیمی در گوگل ارث نیز ارائه شده است تا به برنامه ریزان و مدیران استانی و شهری این امکان داده بشود تا درک بهتری نسبت به سمت و تندی باد داشته باشند. اصولاً انجام هر پروژه عمرانی اعم از پروژه‌های احداث کارخانه‌ها، آرامستان‌ها، گمربندهای سبز، دامداری‌ها و مرغداری‌ها نیاز به داشتن درک مناسبی از سمت و تندی باد غالب در آن منطقه دارد. همچنین فراوانی هر یکی از طبقات باد نیز در شکل‌های مربوطه ارائه شده است. از آنجایی که بیشینه تندی باد و سمت آن در تولید انرژی برق حائز اهمیت است علاوه بر میانگین تندی باد گلبادهای بیشینه تندی باد نیز ترسیم و در شکل‌های مربوطه ارائه شده است.

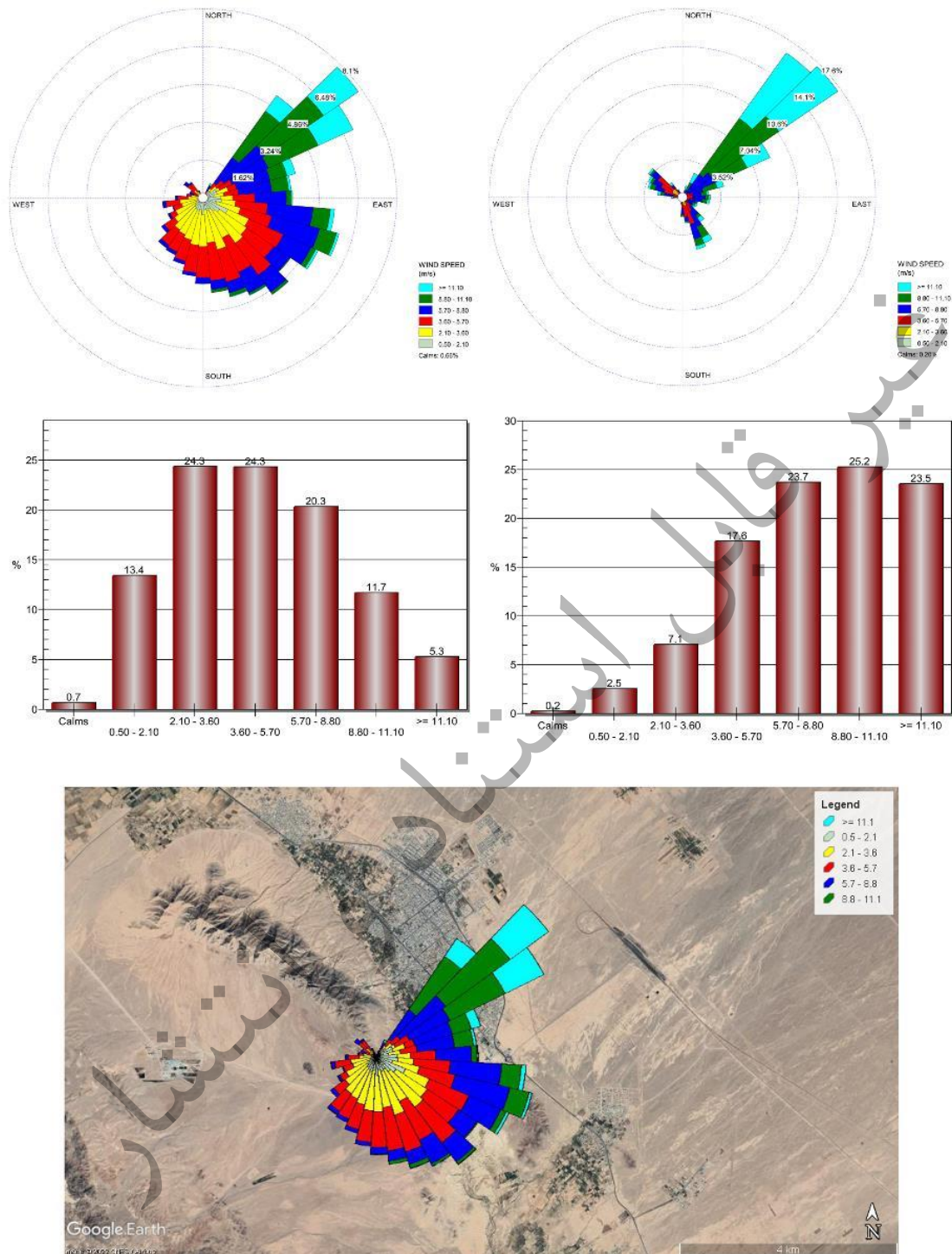


شکل ۴۵. ویژگی‌های باد در ایستگاه تربت‌جام؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گلباد میانگین باد بر روی شهر



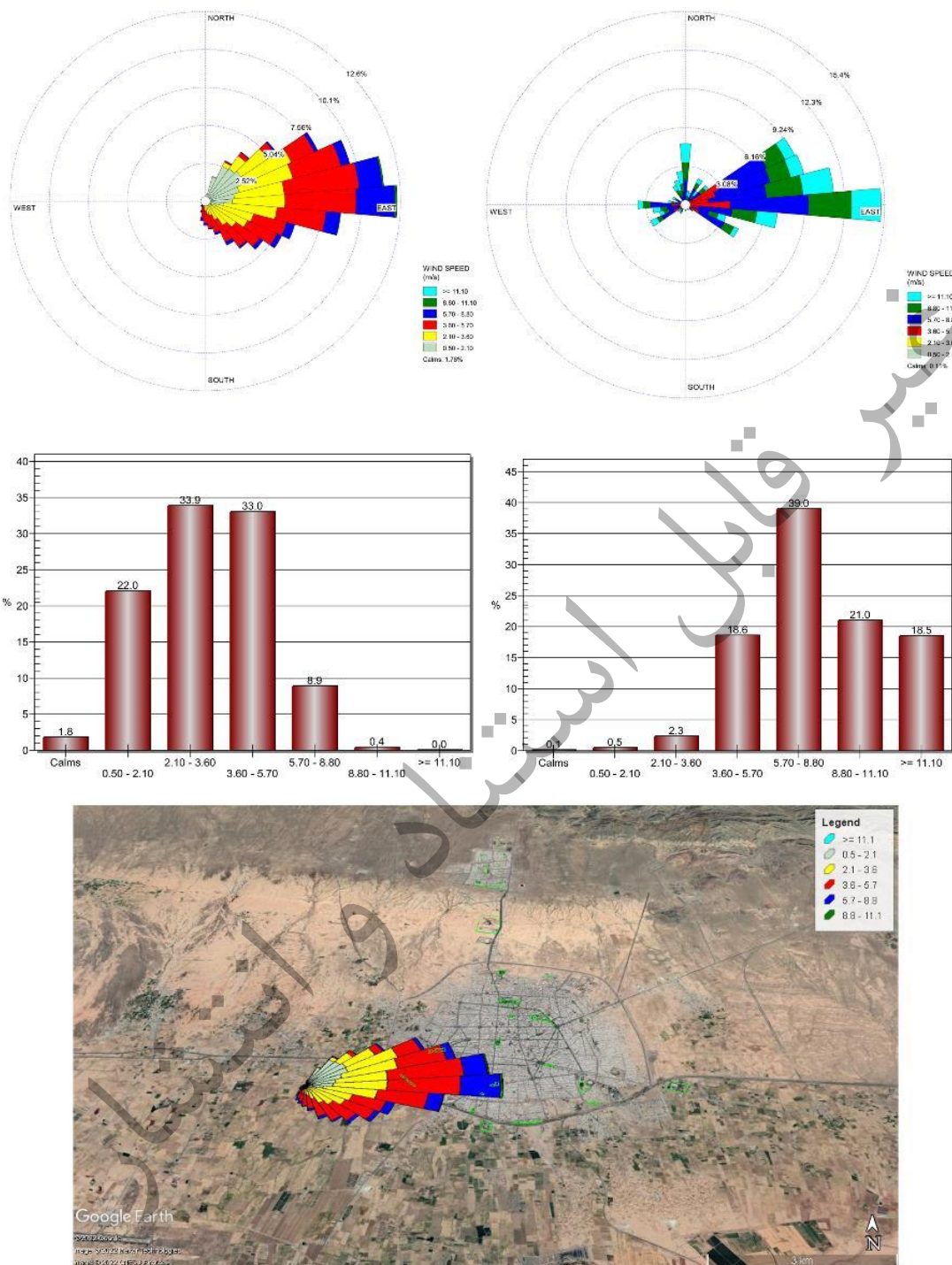
شکل ۴۶. ویژگی‌های باد در ایستگاه تربت حیدریه؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گلباد میانگین باد بر روی شهر



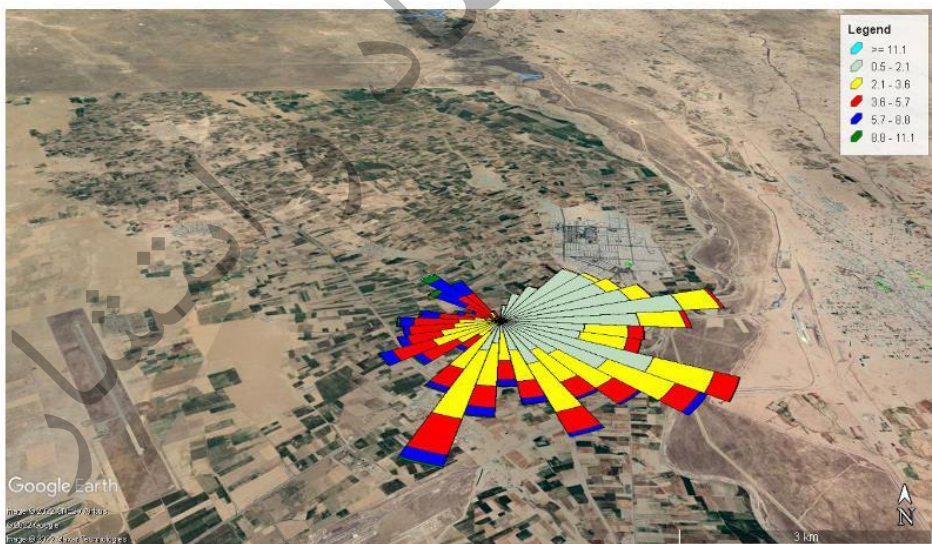
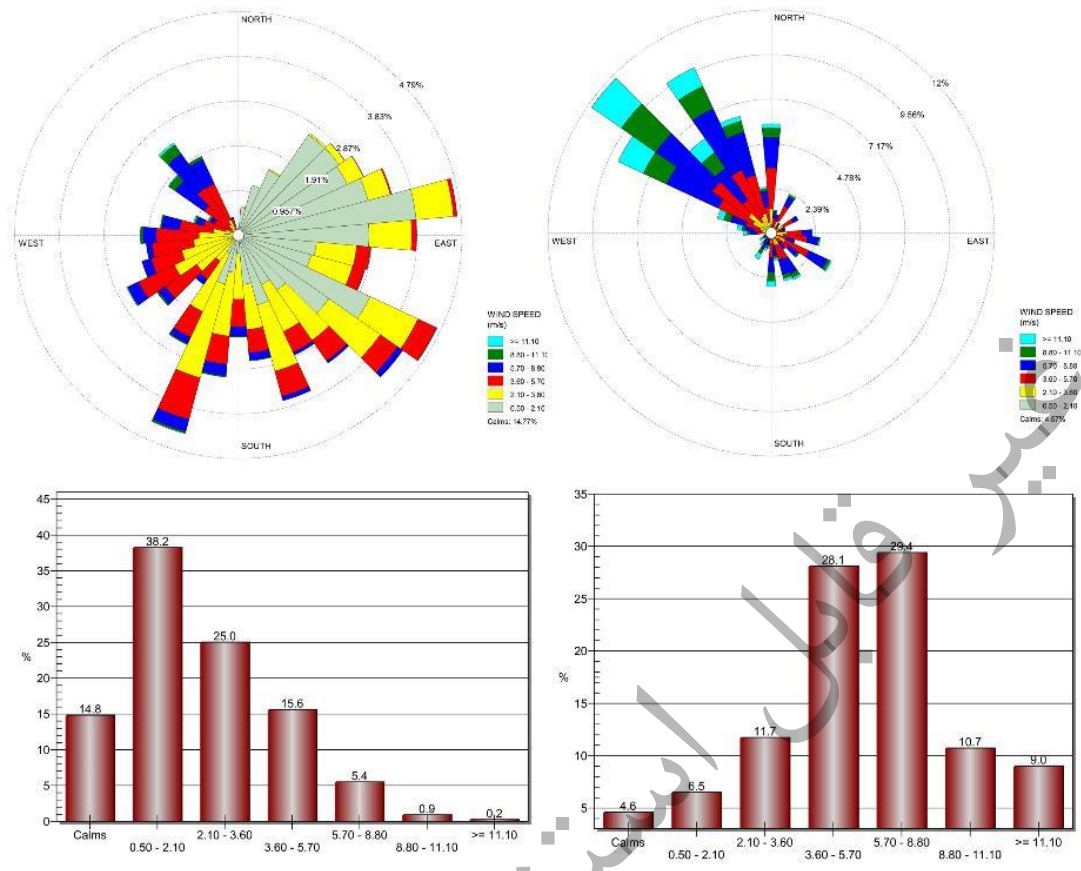


شکل ۴۷. ویژگی‌های باد در ایستگاه خوف؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گلاباد میانگین باد بر روی شهر



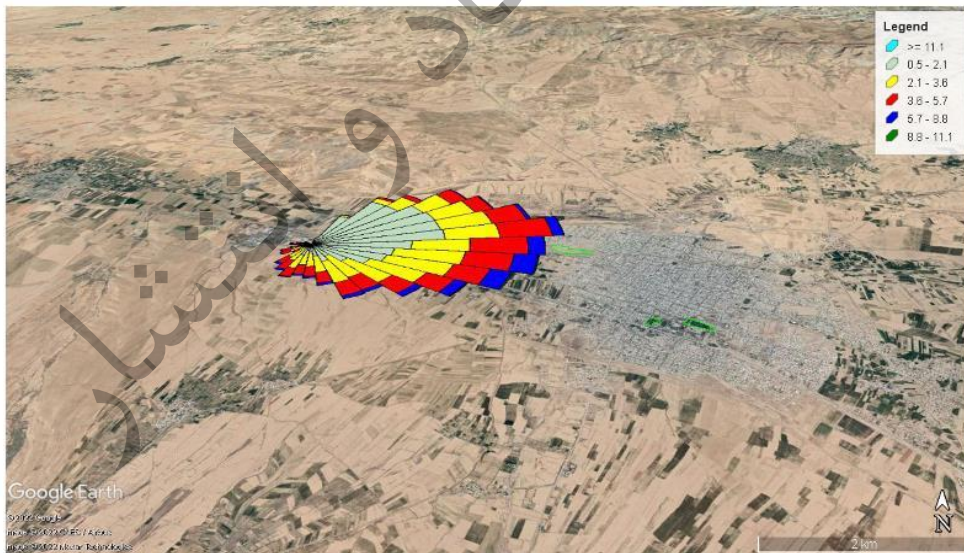
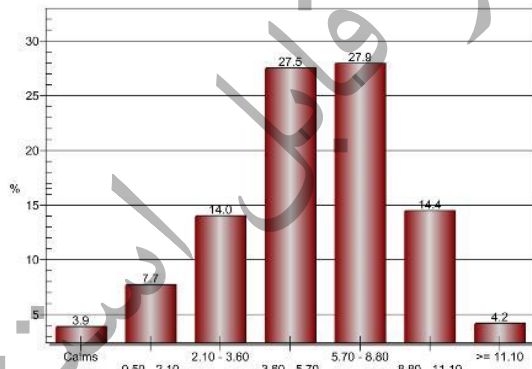
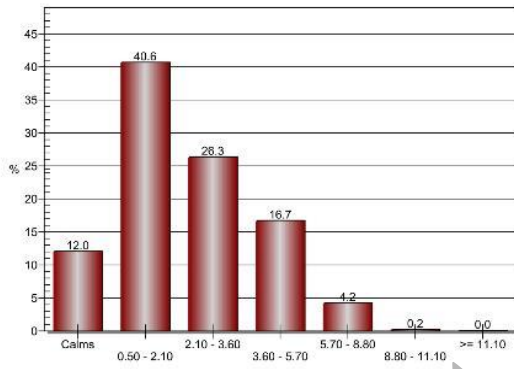
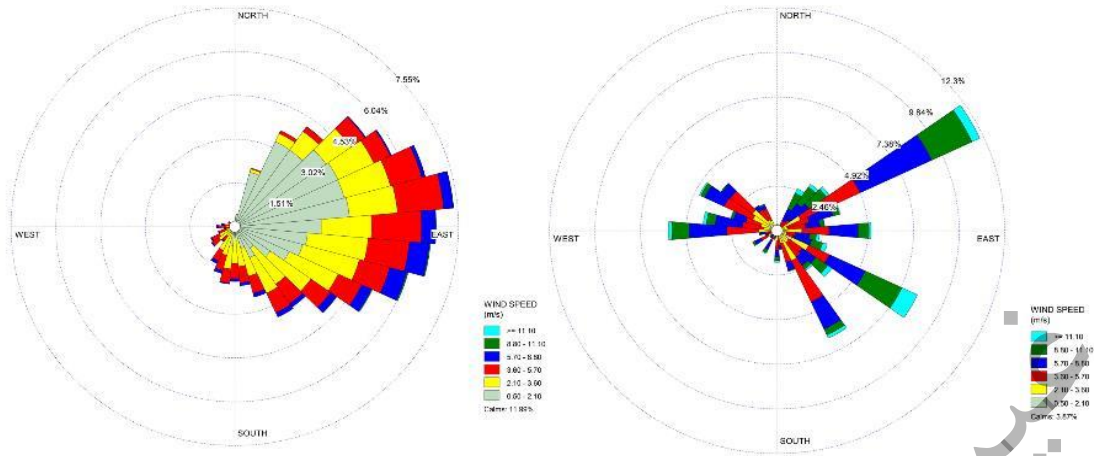


شکل ۴۸. ویژگی‌های باد در ایستگاه سبزوار؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گلباد میانگین باد بر روی شهر

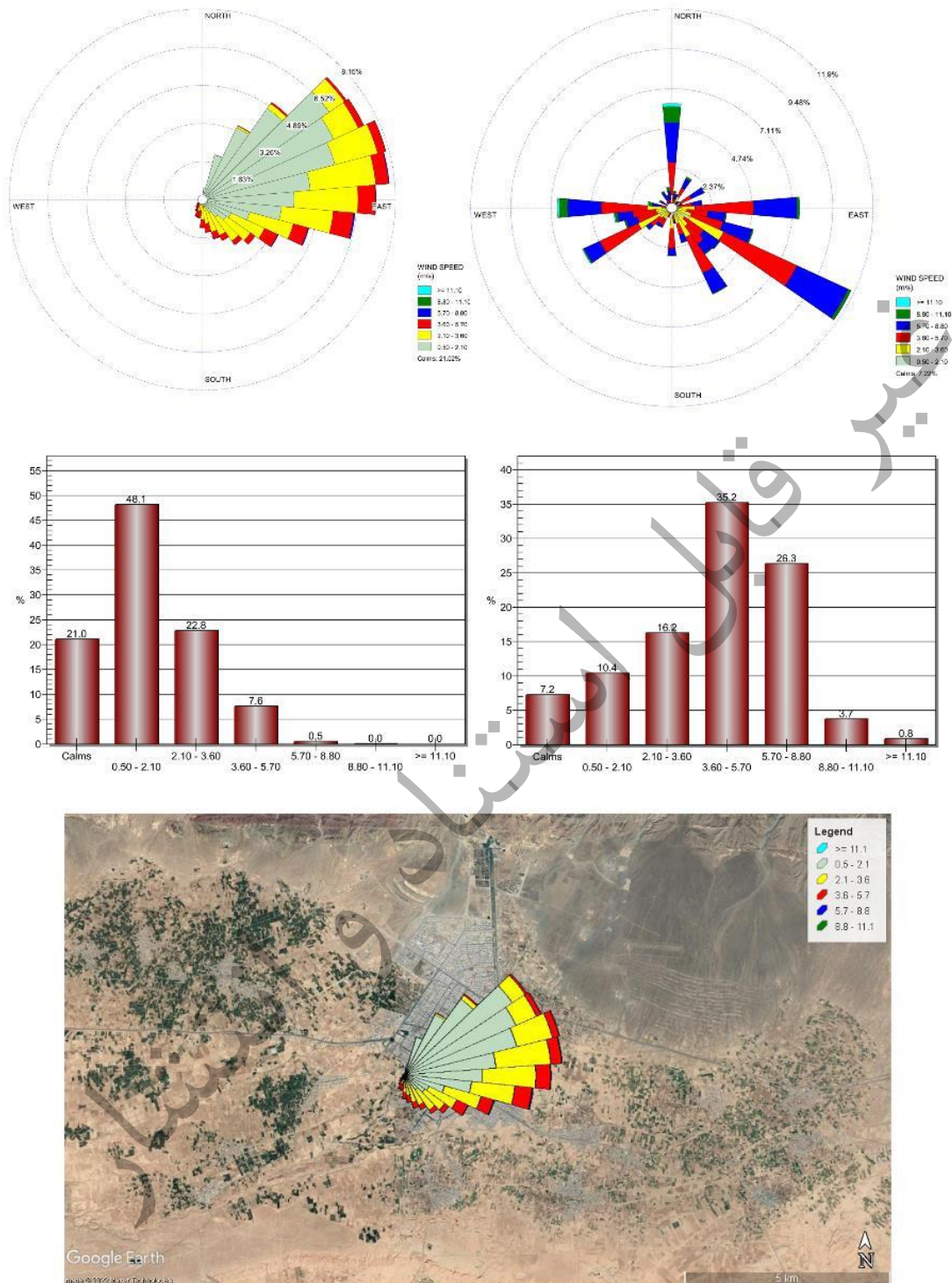


شکل ۴۹. ویژگی‌های باد در ایستگاه سرخس؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گلاباد میانگین باد بر روی شهر



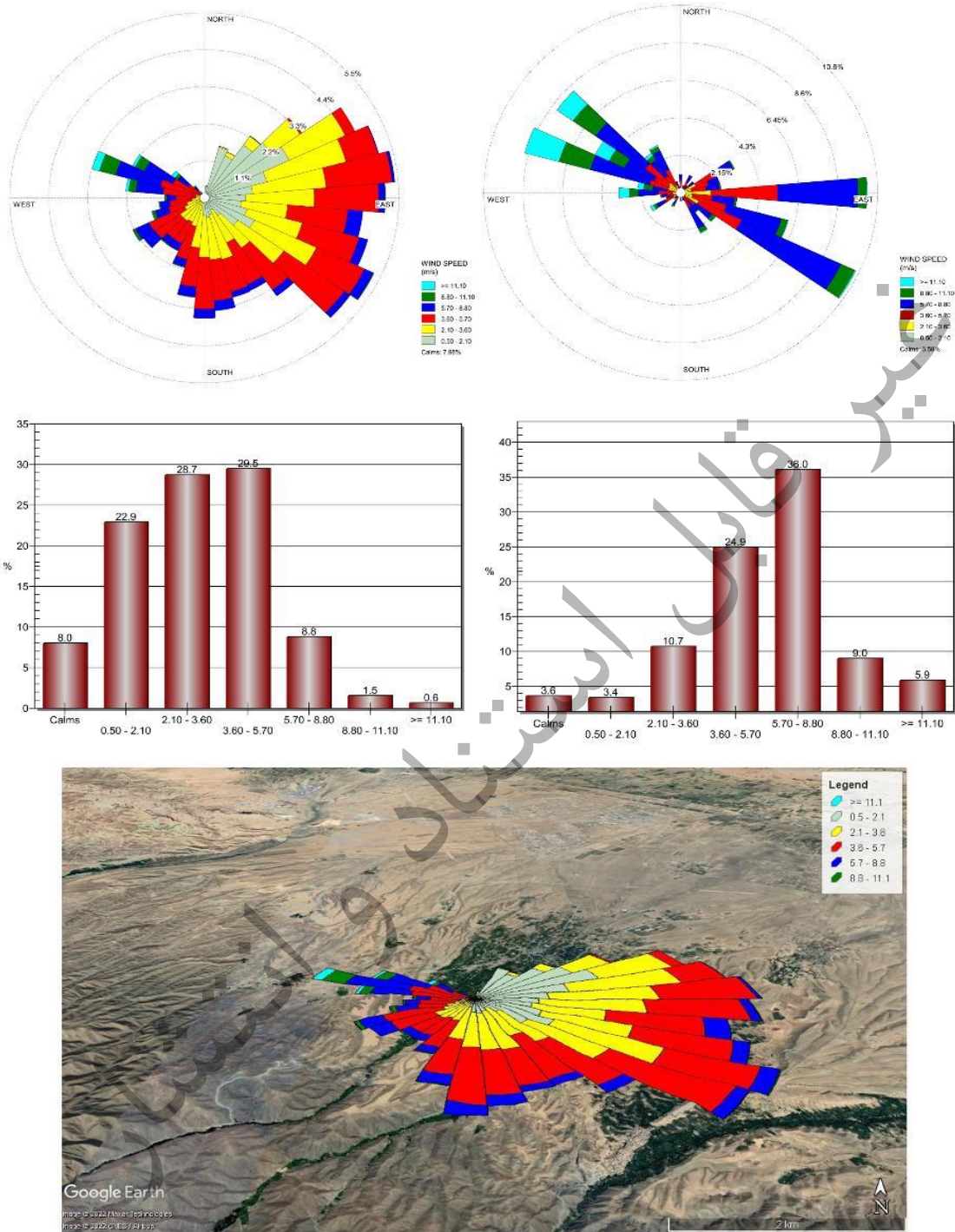


شکل ۵۰. ویژگی‌های باد در ایستگاه قوچان؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گلباد میانگین باد بر روی شهر

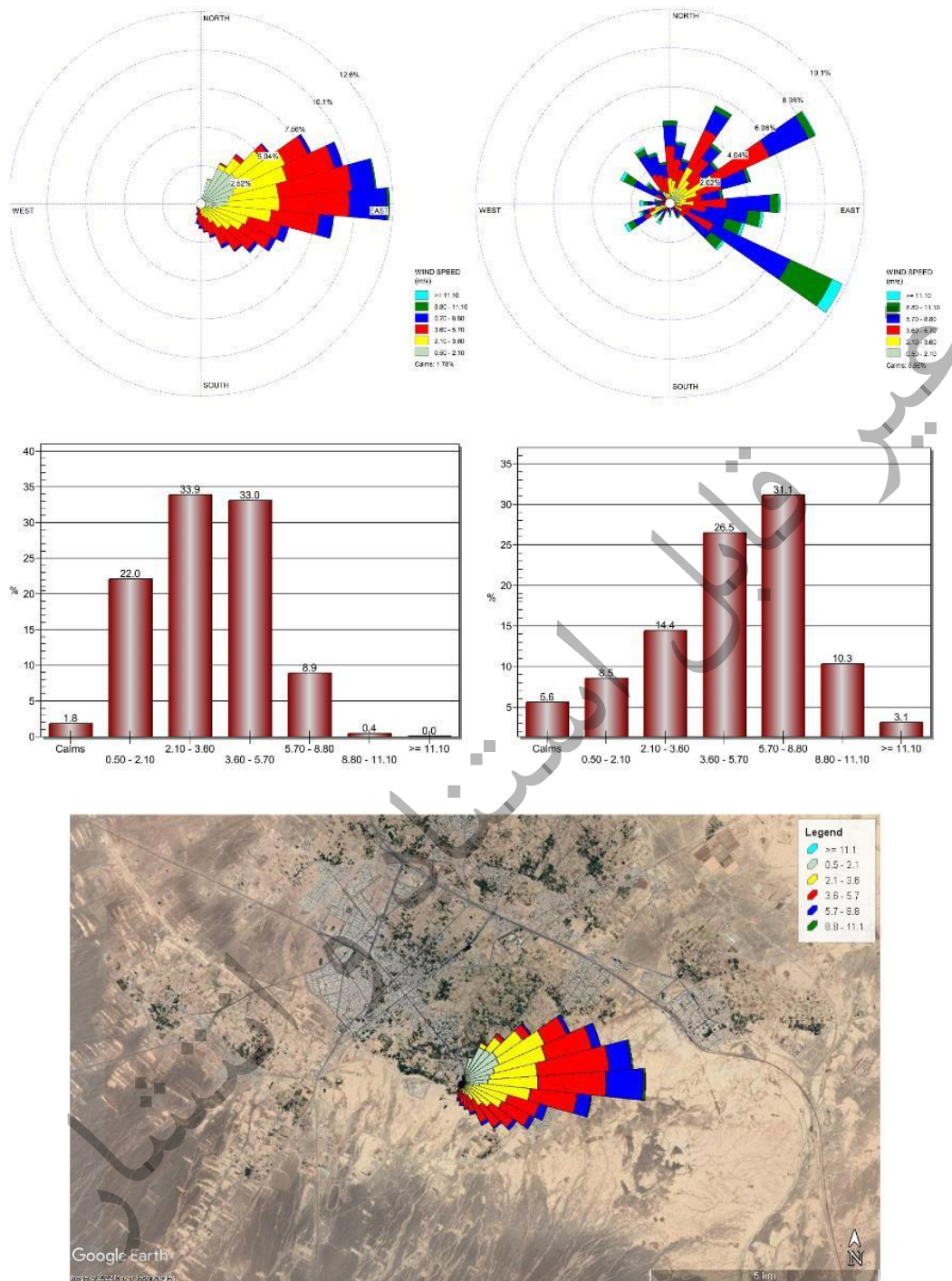


شکل ۵۱. ویژگی‌های باد در ایستگاه کاشمر؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گلاباد میانگین باد بر روی شهر



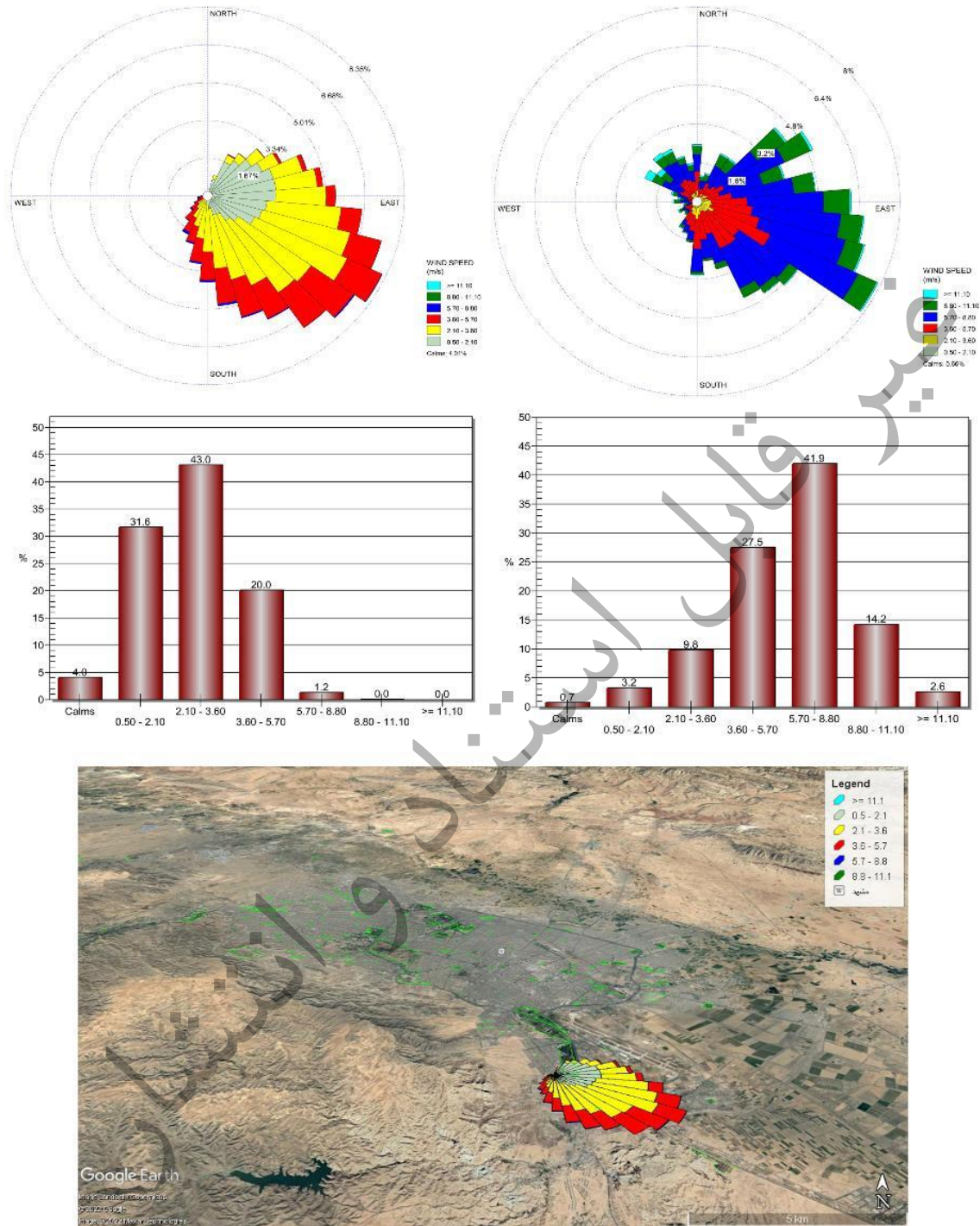


شکل ۵۲. ویژگی‌های باد در ایستگاه گل‌مکان؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گلباد میانگین باد بر روی شهر

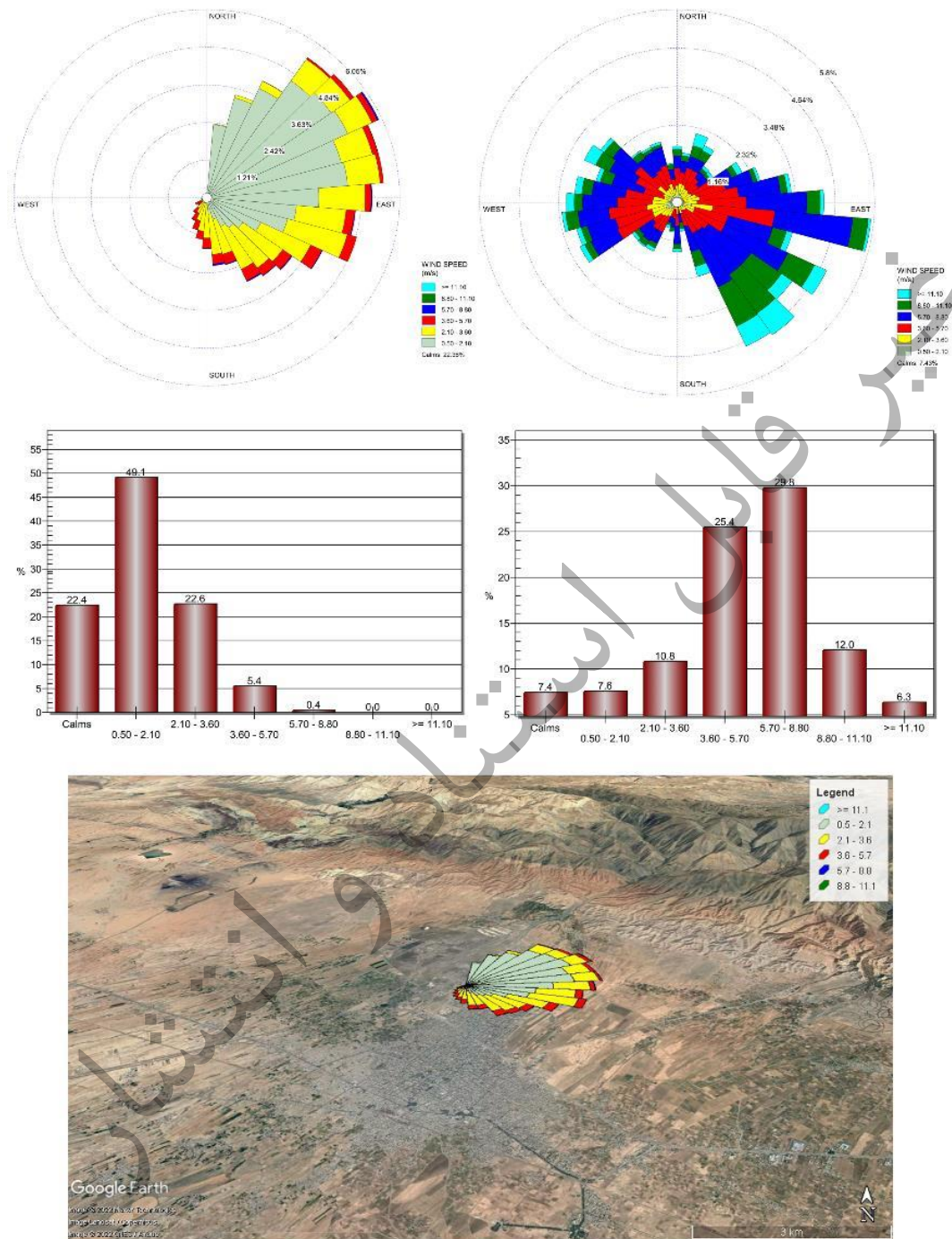


شکل ۵۳. ویژگی‌های باد در ایستگاه گناباد؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گناباد میانگین باد بر روی شهر





شکل ۵۴. ویژگی های باد در ایستگاه مشهد؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گلاباد میانگین باد بر روی شهر



شکل ۵۵. ویژگی‌های باد در ایستگاه نیشابور؛ ردیف بالا: سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه سمت و تندی باد؛ ردیف میانی سمت چپ و راست به ترتیب میانگین و بیشینه طبقات تندی باد و ردیف پایین موقعیت گلباد میانگین باد بر روی شهر



درصد تندی میانگین روزانه باد در ایستگاه‌های همدید منتخب در جدول (۳۲) ارائه شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود تمامی ایستگاه‌های منتخب استان دارای تندی باد غالب ۲/۱۰ تا ۳/۶۰ متر بر ثانیه را دارند. پس‌از این طبقه تندی باد، طبقات ۰/۵ تا ۲/۱۰ متر بر ثانیه و ۳/۶۰ تا ۵/۷۰ متر بر ثانیه تندی غالب باد را در استان خراسان رضوی را دارند. دو ایستگاه تربت‌جام و خواف با ۲۲/۴ و ۲۰/۳ درصد از طبقه ۵/۷۰ الی ۸/۸۰ متر بر ثانیه بیشینه درصد غالب بادهای استان را نشان می‌دهند. درصد طبقات تندی بیشینه باد در استان خراسان رضوی در جدول (۳۳) نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول نیز دیده می‌شود طبقات ۳/۶۰ تا ۵/۷۰ متر بر ثانیه و ۵/۷۰ تا ۸/۸۰ متر بر ثانیه غالب تندی باد بیشینه در استان خراسان رضوی هستند. بیش از یک‌پنجم بادهای سه ایستگاه تربت‌جام، خواف و سبزوار در طبقه ۸/۸۰ تا ۱۱/۱۰ متر بر ثانیه جای می‌گیرند. این سه منطقه در استان خراسان رضوی با توجه به تندی غالب باد پتانسیل بسیار زیادی را برای توسعه مزارع بادی دارا می‌باشند. در این میان ایستگاه خواف با ۲۳/۵ درصد از تندی باد غالب در طبقه بیش از ۱۱/۱۰ متر بر ثانیه منطقه استثنایی در کشور است که پتانسیل بسیار بالایی را برای توسعه نیروگاهی بادی توان ظرفیتی بالا دارد.

جدول ۳۲. درصد تندی میانگین روزانه باد در ایستگاه‌های همدید منتخب (طبقات باد بر حسب درصد و میانگین تندی باد روزانه بر حسب متر بر ثانیه است)

ایستگاه	باد آرام ۰/۵ >	۰/۵ -	۲/۱۰ -	۳/۶۰ -	۵/۷۰ -	۸/۸۰ -	۱۱/۱۰ -	میانگین تندی
تربت‌حیدریه	۱۰/۴	۳۳/۲	۲۷/۹	۲۲/۳	۵/۹	۰/۳	-	۲/۶۱
تربت‌جام	۲/۹	۱۶/۴	۲۵/۹	۳۰/۷	۲۲/۴	۱/۷	۰/۱	۲/۹۱
خواف	۰/۷	۱۳/۴	۲۴/۳	۲۴/۳	۲۰/۳	۱۱/۷	۵/۳	۵/۲۴
سبزوار	۱/۸	۲۲	۳۳/۹	۳۳	۸/۹	۰/۴	-	۳/۳۸
سرخس	۱۴/۸	۳۸/۲	۲۵	۱۵/۶	۵/۴	۰/۹	۰/۲	۲/۳۳
قوچان	۱۲	۴۰/۶	۲۶/۳	۱۶/۷	۴/۲	۰/۲	-	۲/۲۷
کاشمر	۲۱	۴۸/۱	۲۲/۸	۷/۶	۰/۵	-	-	۱/۵۶
گلمکان	۸	۲۲/۹	۲۸/۷	۲۹/۵	۸/۸	۱/۵	۰/۶	۳/۲۴
گناباد	۱/۸	۲۲	۳۳/۹	۳۳	۸/۹	۰/۴	-	۳/۳۸
مشهد	۴	۳۱/۶	۴۳	۲۰	۱/۲	-	-	۲/۵۸
نیشابور	۲۲/۴	۴۹/۱	۲۲/۶	۵/۴	۰/۴	-	-	۱/۴۷

بیش از یک‌پنجم (۲۰ درصد) تندی باد در یک طبقه مشخص قرار گرفته است.

جدول ۳۳. درصد تندی بیشینه روزانه باد در ایستگاه‌های شاخص همدید (طبقات باد بر حسب درصد و میانگین تندی بار روزانه بر حسب متر بر ثانیه است)

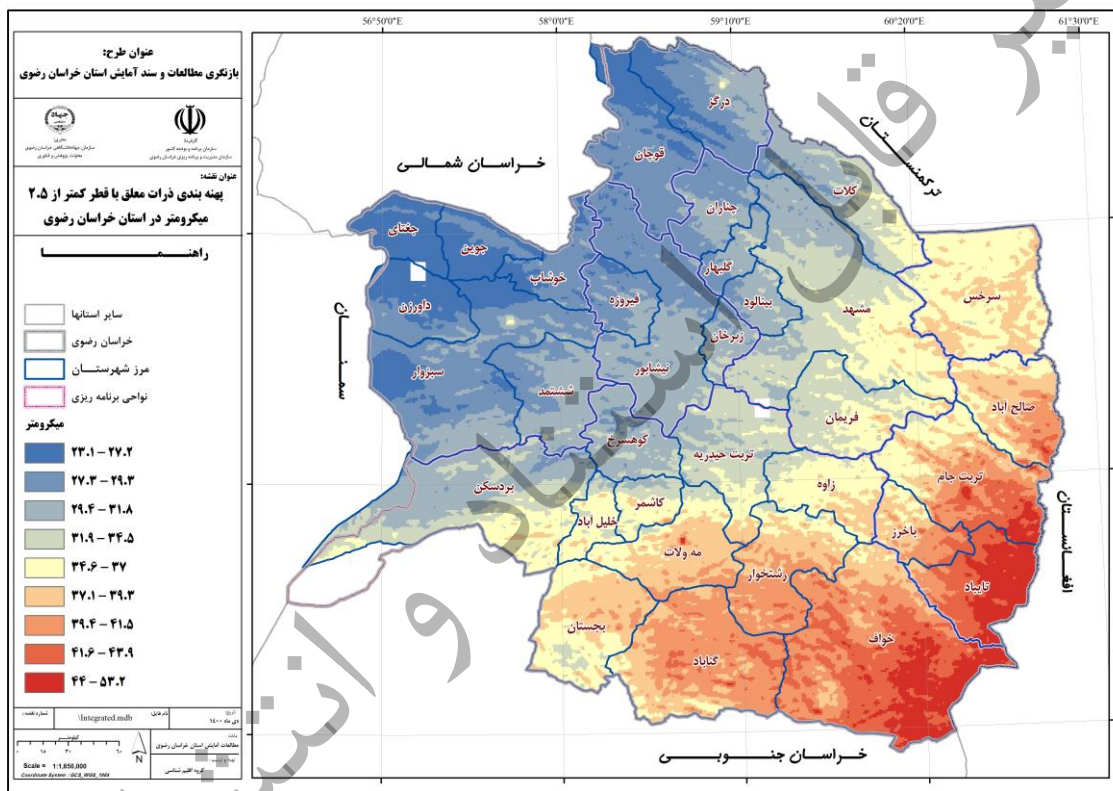
ایستگاه	باد آرام ۰/۵ >	- ۲/۱۰ ۰/۵	- ۳/۶۰ ۲/۱۰	- ۵/۷۰ ۳/۶۰	- ۸/۸۰ ۵/۷۰	- ۱۱/۱۰ ۸/۸۰	>= ۱۱/۱۰	میانگین تندی
تربت‌حیدریه	۲/۷	۳/۹	۶/۸	۱۹/۸	۳۸/۵	۱۷/۹	۱۰/۱	۷/۰۵
تربت‌جام	۱/۲	۰/۳	۱/۳	۲۰/۱	۴۳/۴	۲۴/۱	۹/۲	۷/۶۳
خواف	۰/۲	۲/۵	۷/۱	۱۷/۶	۲۳/۷	۲۵/۲	۲۳/۵	۹/۱۸
سبزوار	۰/۱	۰/۵	۲/۳	۱۸/۶	۳۹	۲۱	۱۸/۵	۸/۳۸
سرخس	۴/۶	۶/۵	۱۱/۷	۲۸/۱	۲۹/۴	۱۰/۷	۹	۶/۱۵
قوچان	۳/۹	۷/۷	۱۴	۲۷/۵	۲۷/۹	۱۴/۴	۴/۲	۵/۷۲
کاشمر	۷/۲	۱۰/۴	۱۶/۶	۳۵/۲	۲۶/۳	۳/۷	۰/۸	۴/۵۲
گلمکان	۳/۶	۳/۴	۱۰/۷	۲۴/۹	۳۶	۹	۵/۹	۶/۱۱
گناباد	۵/۶	۸/۵	۱۴/۴	۲۶/۵	۳۱/۱	۱۰/۳	۳/۱	۵/۴۰
مشهد	۰/۷	۳/۲	۹/۸	۲۷/۵	۴۱/۹	۱۴/۲	۲/۶	۶/۲۲
نیشابور	۷/۴	۷/۶	۱۰/۸	۲۵/۴	۲۹/۸	۱۲	۶/۳	۵/۷۷

بیش از یک پنجم (۲۰ درصد) تندی باد در یک طبقه مشخص قرار گرفته است.

بررسی تندی و سمت باد در استان خراسان رضوی نشان داده است که بیشینه تندی باد به‌ویژه در ماه‌های تابستان در ایستگاه‌های تربیت‌حیدریه، تربت‌جام، خواف، سبزوار، سرخس، گناباد، مشهد و نیشابور به بیش از ۷ متر بر ثانیه می‌رسد. بیشینه تندی باد در استان خراسان رضوی در مرداد ماه و ایستگاه خواف با ۱۳/۲ متر بر ثانیه به‌دست‌آمده است که نشان‌دهنده پتانسیل بسیار بالای این منطقه از استان خراسان رضوی برای تولید انرژی برق از باد است. اما باید توجه داشت که به دلیل خشکی زیاد منطقه این تندی زیاد از باد می‌توان طوفان‌های گردوخاک قابل‌توجهی را در سطح منطقه ایجاد کند. همچنین نتایج بررسی گلبادهای ترسیمی نشان داد که سمت غالب وزش باد در استان خراسان رضوی شرقی تا جنوب‌شرقی است. سمت غالب باد از این جهت می‌تواند دارای اهمیت باشد که پایداری وزش باد را نشان می‌دهد و الگوی تقریباً ثابت سالانه در ورزش و تندی باد یک ویژگی منحصر به فرد برای توسعه نیروگاه‌های بادی در استان خراسان رضوی است که باید مورد توجه ویژه برنامه‌ریزان کشوری در طرح‌های آتی مربوط به این استان قرار گیرد.

همان‌طور که در بخش‌های قبلی دیده شد و در پهنه‌های اقلیمی استان نیز مورد بحث قرار گرفت، مناطق جنوب، شرق و غرب استان دارای اقلیم غالب خشک است. این مناطق همان‌طور که در تحلیل باد نیز مورد بررسی قرار گرفته است غالباً دارای تندی باد بسیار زیادی هستند. بطوریکه تندی باد در این مناطق پتانسیل بسیار زیادی برای ایجاد طوفان‌های گردوخاک دارند. بررسی کدهای پدیده هوای حاضر به همراه داده‌های ماهواره‌ای (سنجنده‌های SeaWifs، MISR و MODIS) نشان داده است که مناطق جنوبی، جنوب‌شرقی و شرقی استان دارای ذرات معلق بسیار زیادی هستند. برای نمایش بهتر و همچنین ارائه تحلیل دقیق‌تر از

شکل‌گیری کانون‌های گردوخاک در استان، پهنه‌بندی ذرات معلق با قطر کمتر از  $2.5$  میکرومتر ( $PM_{2.5}$ ) در استان خراسان رضوی در نقشه (۱۲۹) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود بیشینه  $PM_{2.5}$  استان در بخش‌های جنوب و شرقی با مقدار  $53/2$  میکرومتر دیده می‌شود. با توجه نقشه (۱۲۹)  $PM_{2.5}$  استان خراسان رضوی دارای شیب تند افزایشی از شمال به جنوب است. بیشینه مقدار در شهرستان‌های تایباد، خواف و گناباد، تربت‌جام و صالح‌آباد دیده می‌شود. مقایسه این مناطق با نقشه‌های تندی باد و خشکسالی نشان از انطباق بالایی دارد. در مقابل کمینه مقدار  $PM_{2.5}$  در شهرستان‌های درگز، قوچان، جویین و جغتای دیده می‌شود.



نقشه ۱۲۹. ذرات معلق با قطر کمتر از  $2.5$  میکرومتر ( $PM_{2.5}$ ) در استان خراسان رضوی (۱۳۹۹-۱۳۸۰) مبتنی بر برون‌داد داده‌های ماهواره‌های سنجنده‌های  $SeaWifs$ ،  $MISR$  و  $MODIS$

### تغییرات ماهانه ساعات آفتابی در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان خراسان رضوی

تغییرات ماهانه ساعات آفتابی برای ده ایستگاه هواشناسی هم‌دید نماینده در استان خراسان رضوی برای سه دهه گذشته مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در جدول (۳۴) آمده است. همان‌طور که انتظار نیز می‌رفت بیشینه ساعات آفتابی در استان در دوره گرم سال و فصل تابستان است. بیشینه میانگین ساعات آفتابی

در استان در تیر ماه اتفاق می افتد. ساعات آفتابی ایستگاه‌های تربت جام، تربت حیدریه، سرخس، گناباد، مشهد و نیشابور در تیر ماه بین ۱۲/۱ تا ۱۲/۴ ساعت است. تربت جام، تربت حیدریه و مشهد در مرداد ماه نیز ۱۲ ساعت در روز آفتاب دارند. به طور کلی ساعات آفتابی از خرداد تا شهریور در تمامی مناطق استان بیش از ۱۰ ساعت است. کمینه ساعت آفتابی نیز در دی و بهمن اتفاق می افتد. ساعت آفتابی در استان از عرض جغرافیایی تبعیت می کند بطوریکه در تیر ماه که بیشینه ساعت آفتابی در استان اتفاق می افتد، قوچان ۱۱/۴ ساعت و تربت جام ۱۲/۴ ساعت آفتاب دارند. همان طور که مشخص است اختلاف یک ساعته بین شمال و جنوب استان برای ساعت آفتابی وجود دارد. چهار ماه از سال با ساعت آفتابی بیش از ۱۰ ساعت در استان خراسان رضوی فرصت بی نظیری را برای توسعه سامانه‌های فتوولتاییک ارائه می دهد که انتظار می رود در برنامه‌های آتی استان به این ویژگی‌های اقلیمی توجه ویژه‌ای شود. چرا که توسعه انرژی‌های پاک و ارزان ضمن درآمدزایی و ایجاد فرصت‌های اشتغال در سطح استان بخصوص مناطق کم تر برخوردار و روستایی می تواند از وابستگی کشور به سوخت‌های فسیلی نیز بکاهد.

جدول ۳۴. میانگین ساعت آفتابی ماهانه در ایستگاه‌های نماینده هواشناسی همدید استان خراسان رضوی

ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
تربت جام	۷/۱	۹/۲	۱۱/۶	۱۲/۴	۱۲/۲	۱۱/۲	۹/۵	۷/۲	۵/۶	۵/۶	۵/۸	۶/۰
تربت حیدریه	۷/۷	۹/۵	۱۱/۵	۱۲/۳	۱۲/۲	۱۱/۲	۹/۸	۷/۷	۶/۱	۶/۰	۶/۴	۶/۸
سبزوار	۷/۵	۹/۰	۱۱/۰	۱۱/۵	۱۱/۶	۱۰/۷	۹/۴	۷/۴	۵/۸	۵/۹	۶/۳	۶/۷
سرخس	۶/۶	۸/۸	۱۱/۳	۱۲/۱	۱۱/۹	۱۰/۹	۹/۰	۶/۵	۴/۶	۴/۵	۵/۰	۵/۵
قوچان	۶/۴	۸/۰	۱۰/۶	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۰/۳	۸/۷	۶/۴	۴/۹	۵/۰	۵/۳	۵/۵
کاشمر	۷/۶	۹/۴	۱۱/۲	۱۱/۹	۱۱/۸	۱۱/۰	۹/۵	۷/۷	۶/۲	۶/۱	۶/۴	۶/۸
گلمکان	۶/۷	۸/۴	۱۰/۸	۱۱/۶	۱۱/۷	۱۰/۷	۸/۹	۶/۶	۵/۲	۵/۵	۵/۶	۵/۷
گناباد	۷/۷	۹/۳	۱۱/۴	۱۲/۰	۱۱/۹	۱۱/۰	۹/۷	۷/۸	۶/۵	۶/۴	۶/۷	۶/۹
مشهد	۶/۶	۸/۴	۱۱/۰	۱۲/۱	۱۲/۰	۱۰/۹	۹/۰	۶/۵	۵/۰	۵/۰	۵/۴	۵/۴
نیشابور	۷/۲	۹/۱	۱۱/۱	۱۲/۰	۱۱/۹	۱۱/۰	۹/۴	۷/۳	۵/۷	۵/۶	۵/۸	۶/۲

#### - تحلیل اثرات باد، ذرات معلق و ابرناکی بر کاهش دید

برهمکنش متغیرهای اقلیمی نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌ها خواهد داشت. همان طور که مورد بحث نیز قرار گرفت، بخش‌های بزرگی از استان در مناطق جنوب، شرق، غرب و جنوب شرقی استان دارای اقلیم غالب خشک و بیابانی هستند. همچنین نشان داده شد که تندی باد نیز در مناطقی همچون، خواف، تربت جام، تایباد و سبزوار بسیار بیش تر از سایر مناطق استان است. خشکی اقلیم منطقه و هم‌زمانی آن با تندی بالای باد در صورت فرسایش بادی و وجود خاک‌های مستعد انتشار می تواند باعث کاهش شدید دید افقی در آن



منطقه شود. در سال‌های اخیر بخش‌های بزرگی از استان همانند خواف (مانند سنگ‌آهن سنگان) و سرخس برای معدن کوی انتخاب شده‌اند. تغییر در خاک این مناطق می‌تواند نقش پررنگی را در شکل‌گیری طوفان-های گردوخاک داشته باشد. همان‌طور که با داده‌های ماهواره‌ای نیز نشان داده شد سرخس، خواف، تربت‌جام، تربت‌حیدریه، گناباد، تایباد، باخرز و رشتخوار دارای ذرات معلق بالایی هستند. این مقدار زیاد از ذرات معلق جوی در این مناطق عمدتاً به دلیل خشکی، تندی بالای باد و همچنین تغییرات انسانی بخصوص در معدن-کاوی و تغییرات کاربری اراضی است. مقدار بالای ذرات معلق می‌تواند منجر به کاهش دید در این مناطق بخصوص در جاده‌های بین‌شهری شود که منجر به حوادث جاده‌ای خواهد شد. لذا ضرورت دارد در برنامه‌های آینده استان این امر موردتوجه مسئولین جهت کاهش پدیده بیابان‌زایی و همچنین دست‌کاری‌های انسانی همانند توسعه معادن باشد. مناطق شرقی، جنوبی و جنوب‌شرقی استان هر چند که دارای تندی بالای باد و خشکی زیادی هستند اما این مناطق دارای ابرناکی کمی هستند. در مقابل مناطق شمالی استان و به‌طور مشخص شهرستان‌های قوچان، درگز، کلات و چناران دارای ابرناکی بالایی به نسبت سایر مناطق استان هستند. با توجه کوهستانی بودن این مناطق مه پدیده غالب در جاده‌های کوهستانی این مناطق در طول سال است. ابرناکی بالای این مناطق نسبت به سایر مناطق استان دارای چشم‌انداز مناسب بارشی است. اما به دلیل کاهش قابل توجه دید مخصوصاً در جاده‌های کوهستانی می‌تواند خطرآفرین باشد. همچنین این مناطق به دلیل ابرناکی بالا پتانسیل پایینی را برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی به نسبت سایر مناطق استان دارند که باید در برنامه‌های مربوط به توسعه انرژی‌های نوین موردتوجه قرار گیرد.

#### - وضعیت انرژی بادی - خورشیدی

انرژی بادی-خورشیدی به‌عنوان جایگزینی مطمئن برای سوخت‌های فسیلی موردتوجه جامعه جهانی قرار گرفته است. برخی مناطق بادخیز ایران نیز با توجه به شرایط خاص اقلیمی، توانایی بالایی برای استفاده از انرژی بادی به‌منظور تولید انرژی برق دارند.

منابع فسیلی مانند نفت و گاز تجدید ناپذیر بوده و بالاخره به پایان می‌رسند، اما انرژی باد و خورشید به‌عنوان یک منبع انرژی پاک محسوب شده و هزینه تولید برق به‌وسیله آن کمتر از تولید برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی است که آلودگی زیست‌محیطی نیز نداشته و به‌تبع گاز گلخانه‌ای کمتری نیز تولید می‌کند. نخستین گام در ساخت مزارع بادی و نیروگاهی خورشیدی انجام مطالعات امکان‌سنجی است که هدف آن ارزیابی امکان‌پذیر بودن تأسیس یک نیروگاه بادی یا خورشیدی از لحاظ فنی، اقتصادی و زیرساخت‌های مورد نیاز در یک سایت مشخص با استفاده از توربین‌های بادی و یا صفحه‌های خورشیدی معین است. در این بخش از سند آمایش استان صرفاً مناطق را بر اساس میزان سرعت باد و ساعت آفتابی مورد بررسی قرار داده و مناطق معرفی شده تنها بر اساس تغییرات صرف این دو متغیر است و روشن است که امکان‌سنجی مزارع بادی و خورشیدی باید با متغیرهای بسیاری مورد بررسی قرار گیرد.

بررسی‌های منطقه‌ای نشان داد که انرژی بادی بسیار پایداری در مناطق شرقی، جنوبی، جنوب شرقی و غرب استان وجود دارد. به جهت برش شهرستانی می‌توان به شهرستان خواف و قسمت‌هایی از شهرستان‌های بردسکن، تربت‌جام، تایباد، فریمان، صالح‌آباد و سبزوار اشاره کرد. این مناطق پتانسیل بالایی را برای توسعه نیروگاه‌های بادی در استان دارند. به‌طور کلی منطقه جنوب شرقی خراسان رضوی بالاترین و متمایزترین تندی و انرژی باد را دارد که دارای توانمندی بالایی برای نصب توربین‌های بادی دارد.

انرژی خورشیدی بسیار پایدار در مناطق جنوبی و حتی مرکزی استان متمرکز است. بطوریکه می‌توان به شهرستان‌های تایباد، خواف، گناباد، فردوس، تربت‌جام، تربت‌حیدریه، خلیل‌آباد و بردسکن به‌عنوان بهترین مناطق جهت استفاده از انرژی خورشیدی در استان خراسان رضوی یاد کرد.

نسبت‌های مختلف انرژی بادی/خورشیدی بر پایداری انرژی هیبریدی باد-خورشید از طریق یک رابطه چند وجهی اثر می‌گذارد و به برنامه‌ریزان اجازه می‌دهد تا نقشه‌ای از نسبت‌های انرژی بادی/خورشیدی بهینه در سراسر استان خراسان رضوی تهیه نمایند. تا تنوع تولید انرژی هیبریدی باد-خورشید را به حداکثر رسانند. در نسبت بهینه انرژی بادی/خورشیدی، پایدارترین انرژی هیبریدی بادی-خورشیدی در جنوب، جنوب شرقی و غرب استان متمرکز است. این نتایج کاربردهای عملی مهمی دارد.

برای مثال یک منطقه با انرژی بادی-خورشیدی قوی در استان خراسان رضوی منطقه داورزن است. داورزن با برخورداری از اقلیم خشک بیابانی، ساعات آفتابی بالا و سرعت باد زیاد با دوره زمانی متوالی در طول سال، استعداد بالایی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی و بادی دارد که سرمایه‌گذاری در این حوزه نقش مؤثری در توسعه اقتصادی منطقه داورزن نیز خواهد داشت. شایان‌ذکر است که منطقه باد قوس داورزن همچون دیزباد بینالود، مستعد احداث نیروگاه‌های بادی و خورشیدی است که لازم است توجه ویژه‌ای به این منطقه از کشور شود.

الف) استفاده از انرژی بادی/خورشیدی بهینه برای نصب سامانه‌های انرژی هیبریدی ساده بادی/خورشیدی به‌صورت محلی.

ب) اولویت استقرار مزارع بادی در مقیاس بزرگ یا ایستگاه‌های فتوولتائیک خورشیدی متمرکز در مناطقی با پایداری انرژی هیبریدی بالا.

ج) تقویت همکاری‌های منطقه‌ای برای افزایش تنوع تولید انرژی هیبریدی بادی/خورشیدی و در نتیجه کاهش هزینه‌های عملیاتی.

به لطف انرژی زیاد باد در مناطق وسیع استان، بیشتر مناطق مناسب برای بهره‌برداری از نیروی باد در مناطقی بخصوص از استان خراسان رضوی واقع شده است که توضیح آن پیش‌تر آمده است. لازم به ذکر است که این مناطق کم‌جمعیت است که بر این اساس ترافیک و شبکه انتقال برق و همچنین سایر زیرساخت‌های اساسی توسعه نیافته است. این امر می‌تواند مانع از توسعه انرژی بادی شود و سرمایه‌گذاری بیشتری در این مناطق مورد نیاز است. شایان‌ذکر است که تا حد امکان باید جزئیات کاربری زمین و داده‌های مرتبط با ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی در ارزیابی پتانسیل انرژی باد گنجانده شود. درعین حال، لازم است مطالعات

بيشتری شامل فاصله مزرعه بادی تا شهرها، شبکه حمل و نقل و خطوط انتقال برای ارزیابی انرژی باد انجام شود که تأثیر قابل توجهی بر قابلیت بهره‌برداری از انرژی باد دارد.

## ۲-۲-۶- تحلیل پهنه‌های اقلیمی

طبقه‌بندی اقلیمی و شناخت مهم‌ترین عوامل و متغیرهای اثرگذار بر هر ناحیه یکی از راه‌های شناخت اقلیم آن منطقه است. اقلیم هر منطقه ترکیبی از مشخصه‌های جغرافیایی و متغیرهای اقلیمی آن ناحیه است و هنگام طبقه‌بندی اقلیمی باید تمامی این موارد در نظر گرفته شود. در امور برنامه‌ریزی و بخصوص برنامه‌ریزی‌های کلان لازم است تا جهت توسعه مراکز شهری و صنعتی، توسعه زمین‌های کشاورزی و برنامه‌ریزی محیط‌زیست و منابع طبیعی اطلاعات مربوط به پهنه‌های مختلف اقلیمی را به‌دقت استخراج و تحلیل کرد. فقدان اطلاعات پهنه‌های اقلیمی هرگونه برنامه‌ریزی کشاورزی و یا اقتصادی را با شکست مواجه می‌سازد و لازم است تا اطلاعات دقیقی از خرد اقلیم‌های هر منطقه داشت. برای این منظور در بخش انتهایی این گزارش به پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی با روش‌های معتبر و مرسوم جهانی پرداخته شده است که در ادامه به جزئیات مربوط به هر یک از این روش‌ها ارائه شده است.

### روش طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر (Köppen-Geiger)

از زمانی که کوپن روش طبقه‌بندی اقلیمی خود را ارائه داد تا سال ۲۰۰۰ تغییراتی به‌وسیله پژوهشگران مختلف برای بهبود این روش پیشنهاد گردید. به همین دلیل نسخه‌های مختلفی از روش کوپن وجود دارد که تا حدودی با یکدیگر متفاوت هستند. در این طرح پژوهشی از روش طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر استفاده شده است.

پنج اقلیم اصلی کوپن-گایگر با عنوان اقلیم بارانی استوایی (A)، اقلیم خشک (B)، اقلیم معتدل بارانی (C)، اقلیم جنگلی برفی (D) و اقلیم قطبی (E) بر اساس بارش و دمای سالانه تعیین شده و هر یک از آن‌ها بر اساس تغییرات فصلی بارش به مناطق اقلیمی کوچک‌تر تقسیم می‌شوند. این پنج اقلیم اولین حرف در طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر هستند. دومین حرف در این طبقه‌بندی که بر اساس بارش تعیین می‌شود، فصل بارش ایستگاه را تعیین می‌کند. بر این اساس S به معنای تابستان خشک، w به معنای زمستان خشک و f به معنای نبود فصل خشک یا اقلیم کاملاً مرطوب است (رضیعی، ۱۳۹۶). از این‌رو با توجه به جدول (۳۵) در روش طبقه‌بندی کوپن-گایگر دو حرف اول نقش اصلی را در تعریف مناطق اقلیمی دارند. حرف سوم نیز شرایط دمایی نوع اقلیم را بیان می‌کند که بر اساس آن هر اقلیم به زیرگروه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود. چگونگی تعیین سومین حرف از این طبقه‌بندی در جدول (۳۶) ارائه شده است. در این جدول T<sub>mon</sub> میانگین دمای ماهانه را نشان می‌دهد.

از پنج گروه اقلیمی کوپن-گایگر چهار گروه A، C، D و E تنها بر اساس معیار دما شناسایی می‌شوند. در حالیکه که برای تعیین گروه اقلیمی B از ترکیب مجموع بارش سالانه و میانگین دمای سالانه ایستگاه استفاده می‌شود. در جدول (۳۵) دمای سالانه با T<sub>ann</sub> و میانگین گرم‌ترین و سردترین ماه سال به ترتیب با T<sub>max</sub>

و  $T_{min}$  نمایش داده شده است. همچنین مجموع بارش سالانه و مجموع بارش خشک‌ترین ماه سال نیز به ترتیب با  $P_{ann}$  و  $P_{min}$  نشان داده شده‌اند. کمترین و بیش‌ترین بارش تابستانه و زمستانه نیز به ترتیب با  $P_{wmin}$ ،  $P_{wmax}$ ،  $P_{smin}$ ،  $P_{smax}$  و  $P_{th}$  نمایش داده شده‌اند. در جدول (۳۵) همچنین آستانه درجه خشکی است که از آن برای شناسایی مناطق خشک (B) استفاده می‌شود. رابطه زیر چگونگی تعیین این آستانه را نشان می‌دهد.

$$P_{th} \begin{cases} t(T_{ann}) \\ 2\{T_{ann}\} + 28 \\ 2\{T_{ann}\} + 14 \end{cases}$$

در رابطه بالا، ردیف اول نشان‌دهنده این است که اگر دوسوم بارش سالانه در زمستان ببارد، ردیف دوم اگر دوسوم بارش سالانه در تابستان ببارد و ردیف سوم اگر فصل تمرکز بارش مشخص نباشد را نشان می‌دهد.

جدول ۳۵. گروه‌های اصلی طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر، ویژگی‌ها و معیارهای شناسایی آن‌ها

نوع اقلیم	توضیح	معیار شناسایی
A	اقلیم استوایی	$T_{min} \geq +18\text{ C}^\circ$
Af	اقلیم استوایی جنگلی بسیار مرطوب	$P_{min} \geq 60\text{ mm}$
Am	اقلیم استوایی موسمی	$P_{ann} \geq 25(100 - P_{min})$
As	اقلیم استوایی ساوانا با تابستان‌های خشک	$P_{min} < 60\text{ mm in summer}$
Aw	اقلیم استوایی ساوانا با زمستان‌های خشک	$P_{min} < 60\text{ mm in winter}$
B	اقلیم‌های خشک	$P_{ann} < 10 P_{th}$
Bs	اقلیم استپ یا نیمه‌خشک	$P_{ann} > 5 P_{th}$
BW	اقلیم بیابانی	$P_{ann} \leq 5 P_{th}$
C	اقلیم‌های گرم معتدل	$-3\text{ C}^\circ < T_{min} < +18\text{ C}^\circ$
Cs	اقلیم گرم معتدل با تابستان خشک	$P_{smin} < P_{wmin}$ , $P_{wmax} > 3 P_{smin}$ and $P_{smin} < 40\text{ mm}$
Cw	اقلیم گرم معتدل با زمستان خشک	$P_{wmin} < P_{smin}$ and $P_{smax} > 10 P_{wmin}$
Cf	اقلیم گرم معتدل بسیار مرطوب	neither Cs nor Cw
D	اقلیم‌های برفی	$T_{min} \leq -3\text{ C}^\circ$
Ds	اقلیم برفی با تابستان‌های خشک	$P_{smin} < P_{wmin}$ , $P_{wmax} > 3 P_{smin}$ and $P_{smin} < 40\text{ mm}$
Dw	اقلیم برفی با زمستان‌های خشک	$P_{wmin} < P_{smin}$ and $P_{smax} > 10 P_{wmin}$
Df	اقلیم برفی بسیار مرطوب	neither DS nor Dw
E	اقلیم‌های قطبی	$T_{max} < +10\text{ C}^\circ$
ET	اقلیم تندرا	$0\text{ C}^\circ \leq T_{max} < +10\text{ C}^\circ$
EF	اقلیم یخبندان	$T_{max} < 0\text{ C}^\circ$



جدول ۳۶. چگونگی تعیین شرایط دمایی (سومین حرف) گروه‌های اقلیمی کوبن-گایگر

معیار شناسایی	ویژگی	نوع اقلیم
$T_{ann} \geq +18 C^{\circ}$	استپ/بیابان گرم	h
$T_{ann} < +18 C^{\circ}$	استپ/بیابان سرد	K
$T_{max} \geq +22 C^{\circ}$	تابستان بسیار گرم	a
اقلیمی که a نیست و حداقل ۴ ماه از سال دمای ماهانه آن بیش‌تر از ۱۰ درجه سلسیوس است.	تابستان گرم	b
اقلیمی که b نیست و دمای کمینه آن بزرگ‌تر از ۳۸- درجه سلسیوس است.	تابستان خنک و زمستان سرد	c
اقلیمی که c است ولی دمای کمینه آن برابر یا کمتر از ۳۸- درجه سلسیوس است.	قاره‌ای (بری)	d

## روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن (De Martonne)

روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن (De Martonne) روشی برای طبقه‌بندی اقلیم یک منطقه بر اساس دما و بارش سالانه است. این طبقه‌بندی بر مبنای شاخص خشکی (Aridity index) بنا نهاده شده است و در آن از دما و بارش برای تعیین نوع اقلیم استفاده می‌شود.

$$I_{DM} = \frac{P}{T_a + 10}$$

در این رابطه  $I_{DM}$  ضریب خشکی دومارتن، P مقدار بارش سالانه به میلی‌متر و T دمای هوا به درجه سلسیوس است.

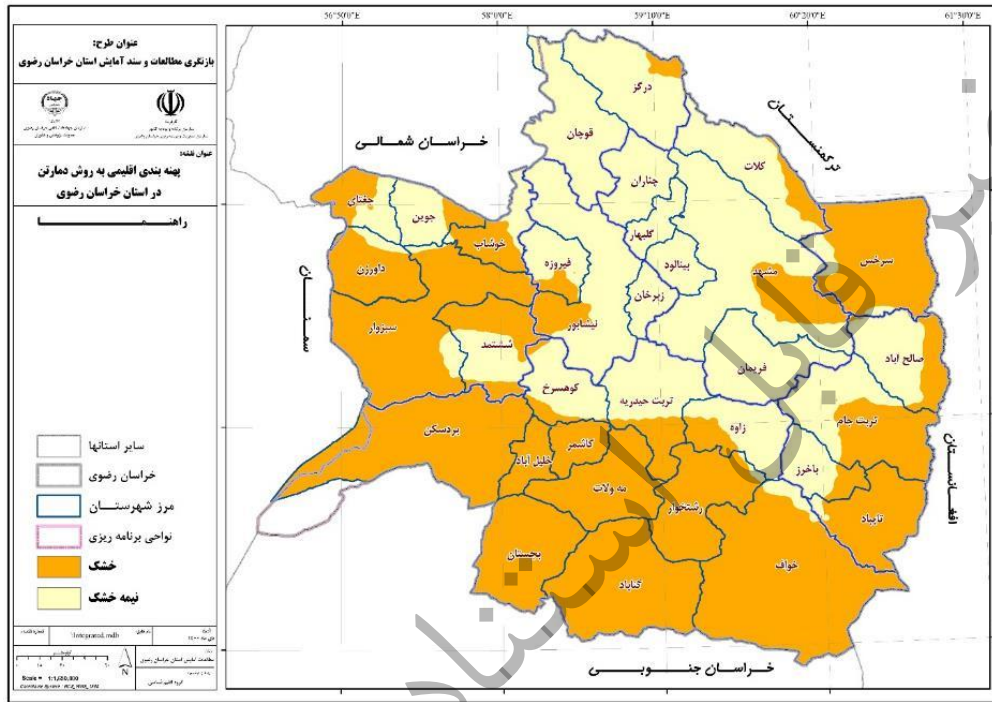
جدول ۳۷. نوع اقلیم بر اساس شاخص دومارتن

مقدار عددی دومارتن	اقلیم
$A < 10$	خشک
$10 < A < 19.9$	نیمه‌خشک
$20 < A < 23.9$	مدیترانه‌ای
$24 < A < 27.9$	نیمه مرطوب
$28 < A < 34.9$	مرطوب
$A > 35$	بسیار مرطوب

## - طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی بر اساس روش‌های دومارتن و کوبن-گایگر

نقشه (۱۳۰) پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی را برای مبنای روش دومارتن نشان می‌دهد. همان‌طور که گفته شد روش دومارتن بر اساس بارش و دما به ارائه پهنه‌های اقلیمی می‌پردازد. بطوریکه که در نقشه

(۱۲۸) و جدول (۳۸) دیده می‌شود اقلیم استان خراسان رضوی برای دوره ۳۰ ساله اخیر (۱۴۰۰-۱۳۷۰) در دو طبقه خشک و نیمه‌خشک جای می‌گیرد. بخش‌های شمالی و مرکزی استان که حدود ۴۳/۳۴ درصد از مساحت کل استان را در بر می‌گیرد در برگیرنده اقلیم نیمه‌خشک هستند. سایر مناطق استان که عمدتاً مناطق جنوبی را در بر می‌گیرند با مساحت ۵۶/۶۶ درصد جزو اقلیم خشک محسوب می‌شوند.



نقشه ۱۳۰. طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی با روش دومارتن

جدول ۳۸. درصد پهنه‌های اقلیمی دومارتن در استان خراسان رضوی

ردیف	نام پهنه	درصد
۱	خشک	۵۶/۶۶
۲	نیمه‌خشک	۴۳/۳۴

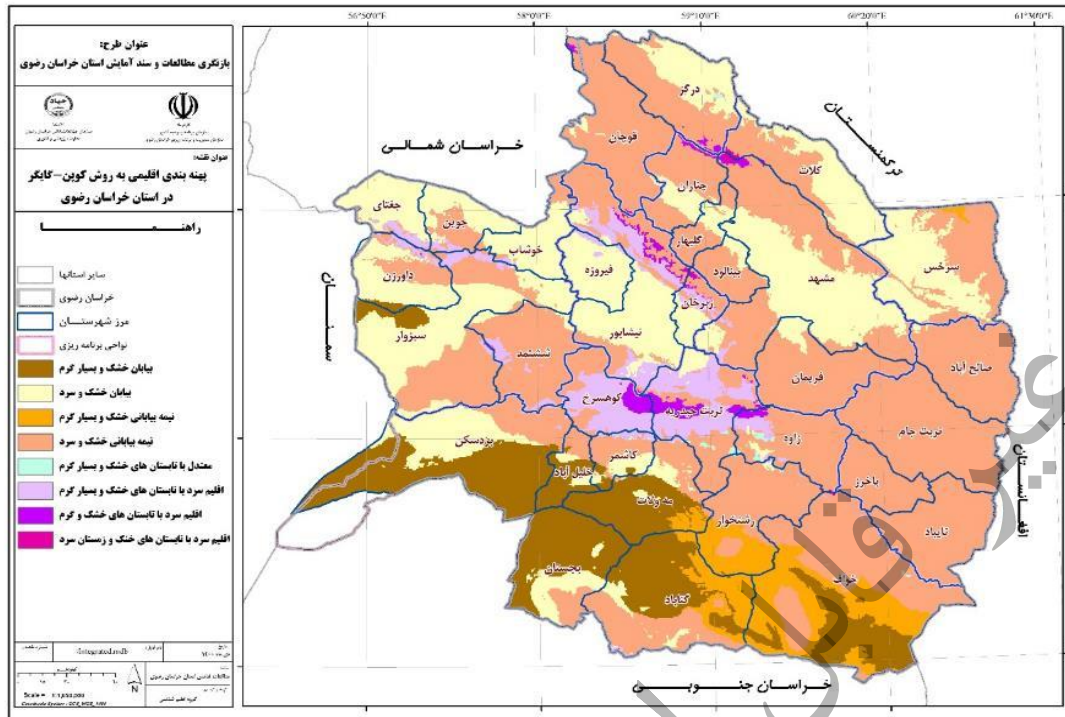
بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر، استان خراسان رضوی در هشت پهنه اقلیمی مختلف جای می‌گیرد. به نظر می‌رسد این طبقه‌بندی دقیق‌تر از طبقه‌بندی دومارتن است که تنها با بارش و دمای سالانه مشخص شده و استان را صرفاً به دو طبقه اقلیمی تقسیم می‌کند. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر بیش‌تر مساحت استان را پهنه **اقلیمی نیمه بیابانی خشک و سرد** با ۵۰/۴۰ درصد در بر گرفته است. دو پهنه **بیابان خشک و سرد** و **بیابان خشک و بسیار گرم** به ترتیب با ۲۶/۲۱ و ۱۲/۵۵ درصد دومین و سومین پهنه اقلیمی غالب استان به شمار می‌روند. مجموع این سه پهنه اقلیمی حدود ۹۰ درصد (۸۹/۱۶)

درصد) از کل مساحت را در بر می‌گیرد که بر این اساس استان خراسان رضوی دارای اقلیم غالب نیمه بیابانی و بیابانی است (نقشه ۱۳۱).

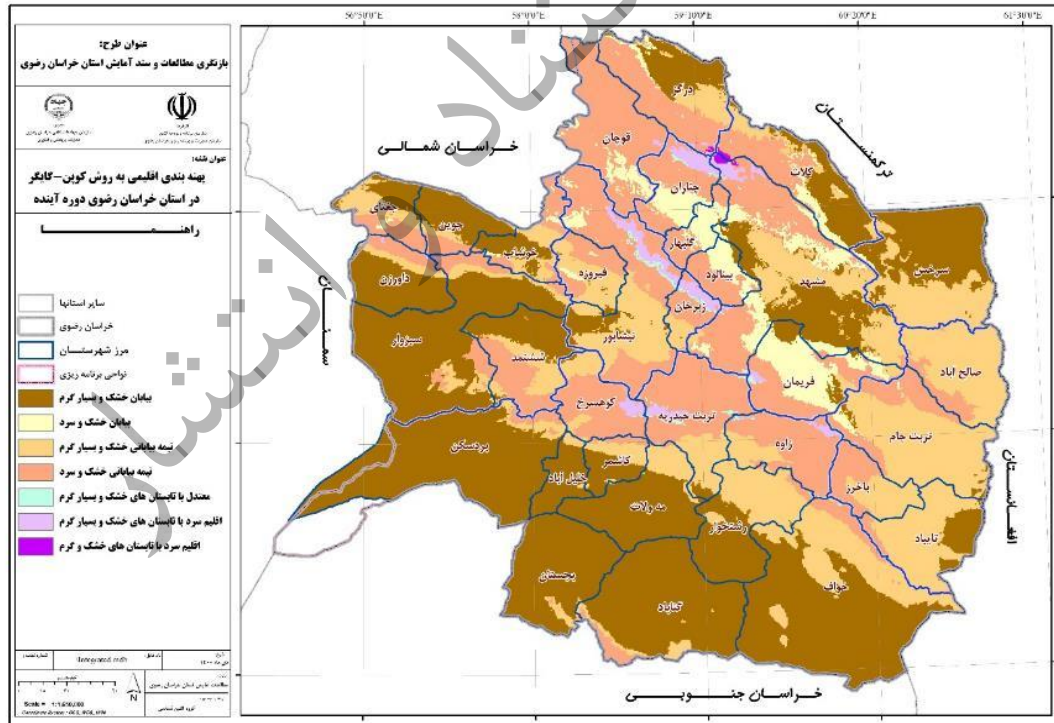
پهنه‌بندی اقلیمی به روش کوپن-گایگر برای افق سه دهه آینده تغییرات بسیاری را در اقلیم استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. بر این اساس مناطقی با اقلیم نیمه بیابانی خشک و سرد در آینده کاهش ۲۴/۴۸ درصدی و طبقه اقلیمی بیابان خشک و بسیار گرم افزایش ۲۹/۷۸ درصدی دارد. به همین ترتیب اقلیم نیمه بیابانی خشک و بسیار گرم نیز افزایش ۲۰/۱۷ درصدی را در افق آینده نشان می‌دهد. این تغییرات در بخش‌های جنوبی، غربی و همچنین قسمت‌هایی از شرق و شمال استان مشهود است. اقلیم سرد با تابستان‌های خنک و زمستان سرد هر چند که در دوره فعلی نیز کمتر از ۰/۱ درصد از استان را در بر گرفته است، اما همین اقلیم جزئی نیز در آینده از بین خواهد رفت. بر این اساس می‌توان ادعان داشت که اقلیم استان خراسان رضوی در آینده گرم‌تر و خشک‌تر خواهد شد که می‌بایستی برنامه‌های توسعه استان بخصوص در پهنه‌های اقلیمی که دارای تغییرات گسترده‌ای هستند مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرند (نقشه ۱۳۲).

جدول ۳۹. وسعت پهنه‌های اقلیمی کوپن در دوره فعلی (۱۴۰۰-۱۳۷۰) و آینده (۱۴۲۴-۱۴۰۲) برحسب درصد

ردیف	نام پهنه اقلیمی	درصد در دوره فعلی	درصد در دوره آینده
۱	بیابان خشک و بسیار گرم	۱۲/۵۵	۴۲/۳۳
۲	بیابان خشک و سرد	۲۶/۲۱	۵/۰۹
۳	نیمه بیابانی خشک و بسیار گرم	۴/۷۰	۲۴/۸۷
۴	نیمه بیابانی خشک و سرد	۵۰/۴۰	۲۵/۹۲
۵	معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم	۰/۱۵	۰/۳۲
۶	اقلیم سرد با تابستان‌های خشک و بسیار گرم	۴/۸۷	۱/۳۷
۷	اقلیم سرد با تابستان‌های خشک و گرم	۱/۰۳	۰/۱۰
۸	اقلیم سرد با تابستان‌های خنک و زمستان سرد	۰/۰۹	از بین می‌رود



نقشه ۱۳۱. طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی با روش کوپن گایگر در دوره فعلی



نقشه ۱۳۲. طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی با روش کوپن گایگر در دوره آینده



## ۲-۶-۱- پیش‌نگری دما و بارش دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت دو سناریو خوش‌بینانه و

## بدبینانه

استان خراسان رضوی با دو کشور افغانستان و ترکمنستان مرز مشترک دارد. افغانستان از نظر طبیعی و اقلیمی سرزمین افراط و تفریط است. از یک سو کوه‌های بسیار مرتفع در مرکز و شمال این کشور که با یک باریکه کوهستانی به فلات مرتفع تبت متصل می‌شود و زمستان‌های بسیار سرد همراه با بارش برف سنگین را تجربه می‌کند و از سوی دیگر سرزمین‌های پست و خشک مناطق جنوبی به ویژه جنوب‌غربی در مرز با ایران که بارش ناچیز در طول سال و تابستان‌های گرم و سوزان دارد. در نقطه مقابل کشور ترکمنستان سرزمینی پست در شمال ایران است که به جز ارتفاعات جنوبی آن (کپه داغ) در مرز با کشور ایران و افغانستان که سرچشمه رودهای مهم آن همچون تجن، آمودریا و اترک است، بیش از هشتاد درصد مساحت این کشور را بیابان قره قوم تشکیل می‌دهد. این کشور از نظر اقلیمی خشک با بارش کم و تابستان‌های بسیار گرم و سوزان است.

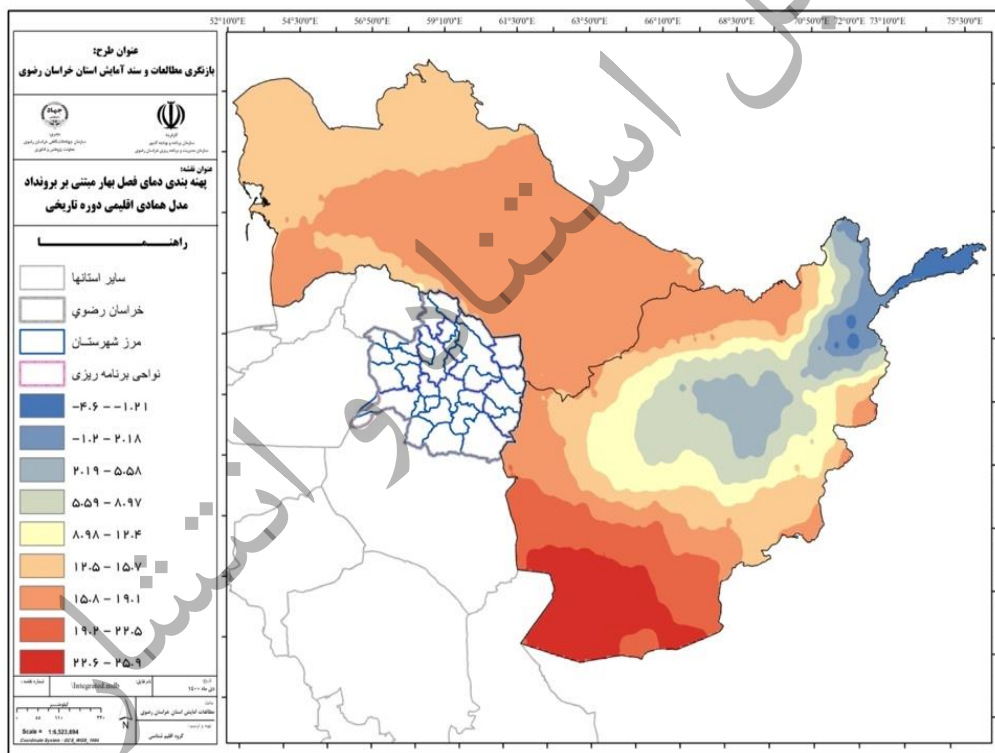
پیامدهای تغییر اقلیم در این دو کشور و چشم‌انداز آینده اقلیم این دو کشور به ویژه بر دو متغیر اساسی دما و بارش می‌تواند بر روی بخش‌های مختلف استان خراسان رضوی اثر بگذارد که بنا به اهمیت موضوع در این بخش به پیش‌نگری وضعیت دما و بارش این دو کشور تحت دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه پرداخته می‌شود. یافته‌های این بخش ممکن است بر روی منابع آب، کشاورزی، گرد و خاک، مهاجرت، امنیت و مسائل مرزی استان خراسان رضوی در آینده تاثیرگذار باشد.

در این بخش بارش و دمای دو کشور افغانستان و ترکمنستان در دوره تاریخی (وضع موجود) و تا افق ۱۴۲۴ (افق سند آمایش) بررسی می‌شود. داده و روش مورد استفاده در این بخش همان داده و روشی است که برای استان خراسان رضوی مورد استفاده قرار گرفته و پیش‌تر توضیح داده شده است.

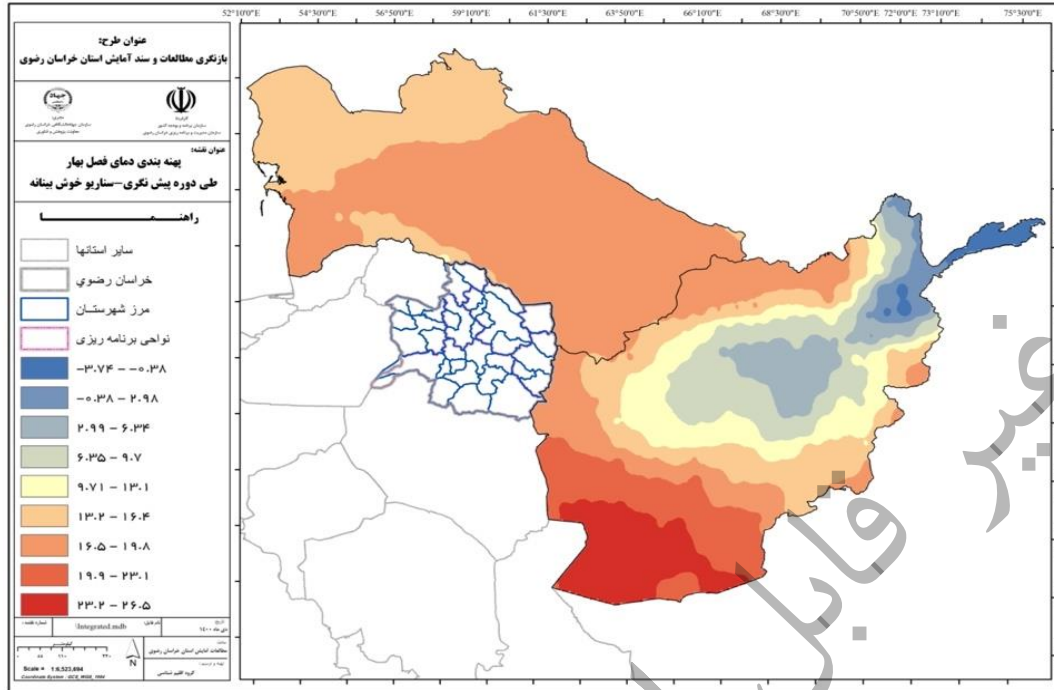
بررسی میانگین دمای فصل بهار در دوره تاریخی در کشور افغانستان نشان می‌دهد که توزیع فضایی متغیر دما در این کشور به شدت از وضعیت توپوگرافی آن پیروی می‌کند (نقشه ۱۳۳). به طوریکه کمینه دمای میانگین با  $-4.6$  درجه سلسیوس در باریکه‌ای از شمال شرق افغانستان که منطقه‌ای کوهستانی و جزئی از فلات تبت به حساب می‌آید مشاهده می‌شود. بیشینه دمای میانگین این کشور نیز در دوره تاریخی با  $25.9$  درجه سلسیوس در منطقه نیمه‌بیابانی جنوبی آن واقع است. بر اساس سناریوی خوش‌بینانه الگوی میانگین دمای فصل بهار در این کشور تا افق ۱۴۲۴ تغییرات چندانی نخواهد کرد اما کمینه دمای میانگین بیش از  $0.8$  درجه سلسیوس و بیشینه دمای میانگین در حدود  $0.6$  درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت (شکل ۱۸۹). در سناریوی بدبینانه افزایش دمای میانگین بر روی این کشور بسیار بارزتر است. به طوریکه در افق ۱۴۲۴ دمای میانگین در منطقه کوهستانی شمال شرق این کشور به  $-3$  درجه سلسیوس می‌رسد که نسبت به وضع موجود (دوره تاریخی)  $1.6$  درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت (نقشه ۱۳۴).

پیش‌نگری دما برای کشور ترکمنستان نیز حاکی از افزایش دما در این کشور تا افق ۲۰۲۴ است. به طوریکه دمای بیشینه این کشور در مناطق شرقی در فصل بهار بر اساس سناریوی خوش‌بینانه تا ۰.۷ درجه سلسیوس و بر اساس سناریوی بدبینانه تا ۱.۲ سلسیوس افزایش خواهد یافت (نقشه ۱۳۵).

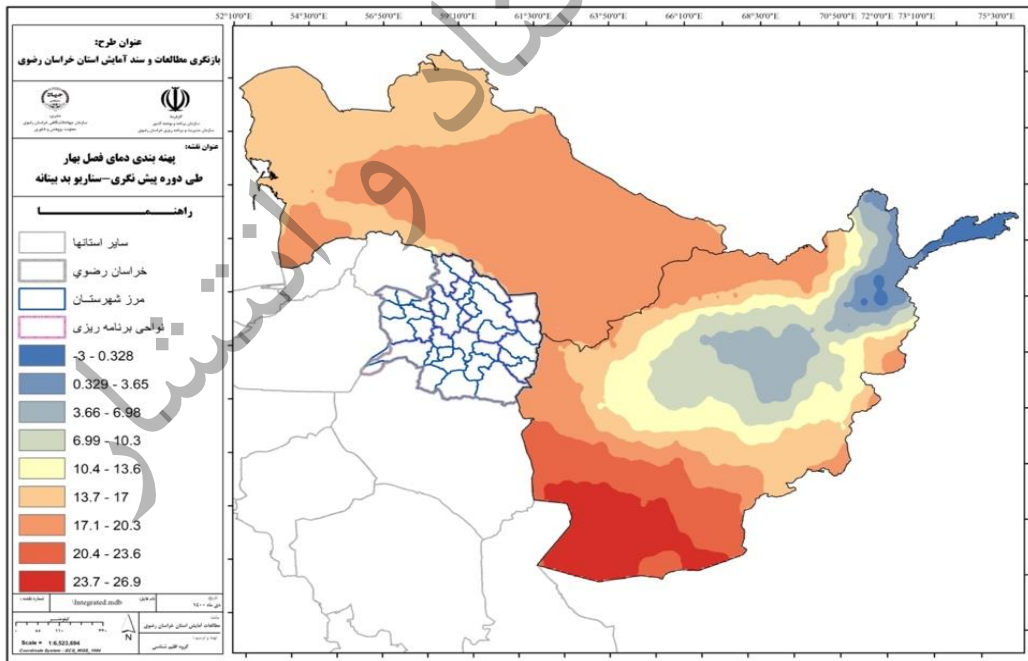
پیش‌نگری دمای فصل تابستان برای کشور افغانستان نشان‌دهنده افزایش زیاد دمای این کشور در این فصل تا افق این طرح (۱۴۲۴ خورشیدی) است. به‌طوریکه بیشینه میانگین دمای این کشور در افق ۱۴۲۴ بر اساس سناریوی خوش‌بینانه تا ۰.۶ درجه و بر اساس سناریوی بدبینانه تا ۱.۲ درجه سلسیوس در مناطق جنوب غربی این کشور افزایش خواهد یافت. کمینه دماهای میانگین تابستانه این کشور که همانند فصل بهار بر مناطق مرتفع این کشور منطبق است نیز به طور متوسط بین ۱ تا ۱.۵ درجه در سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه نسبت به دوره تاریخی افزایش خواهد یافت. پیش‌نگری دمای این فصل برای کشور ترکمنستان الگویی مشابه با بهار را نشان می‌دهد. در مناطق شرقی این کشور بیشینه‌های میانگین دما ملاحظه می‌گردد که بر اساس هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ سراسر افزایشی است (نقشه های ۱۳۷ و ۱۳۸).



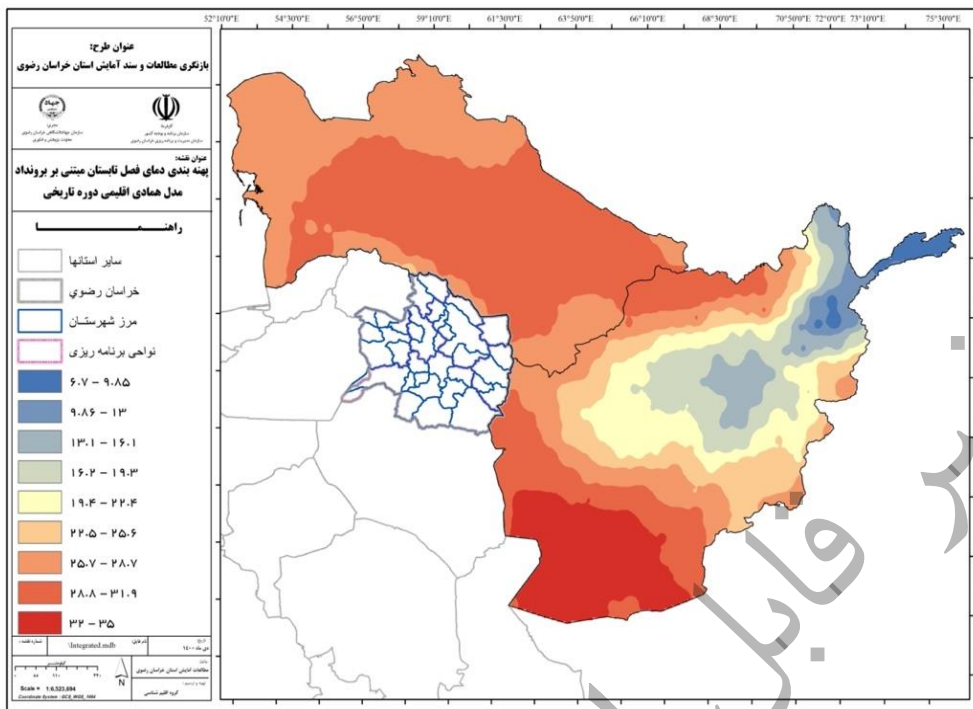
نقشه ۱۳۳. دوره تاریخی دمای فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: درجه سلسیوس)



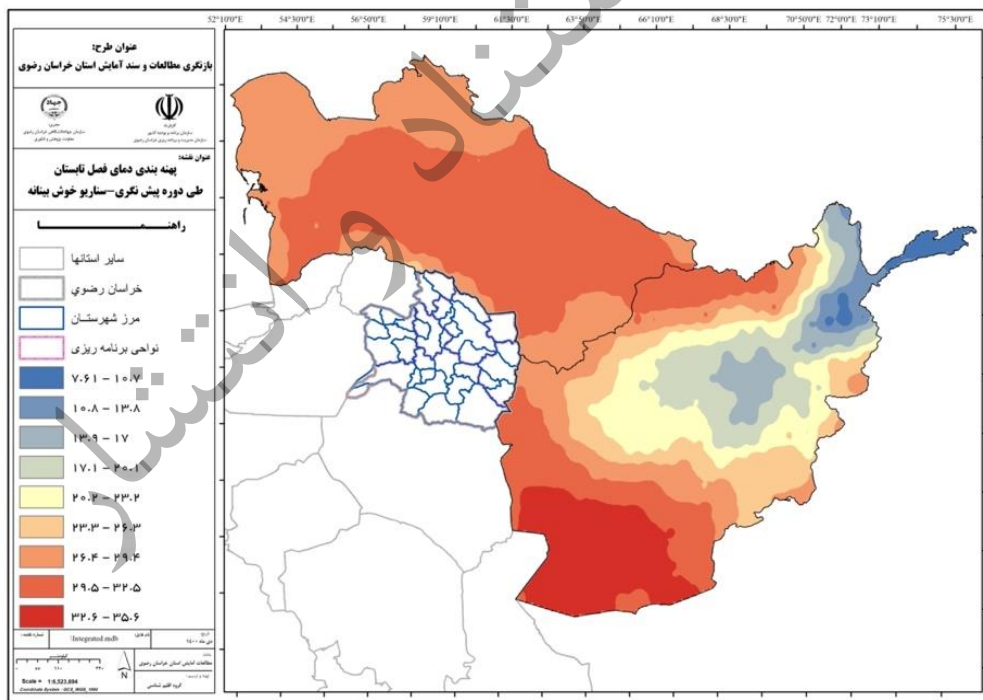
نقشه ۱۳۴. پیش‌نگری دمای فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوش بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۱۳۵. پیش‌نگری دمای فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بد بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)

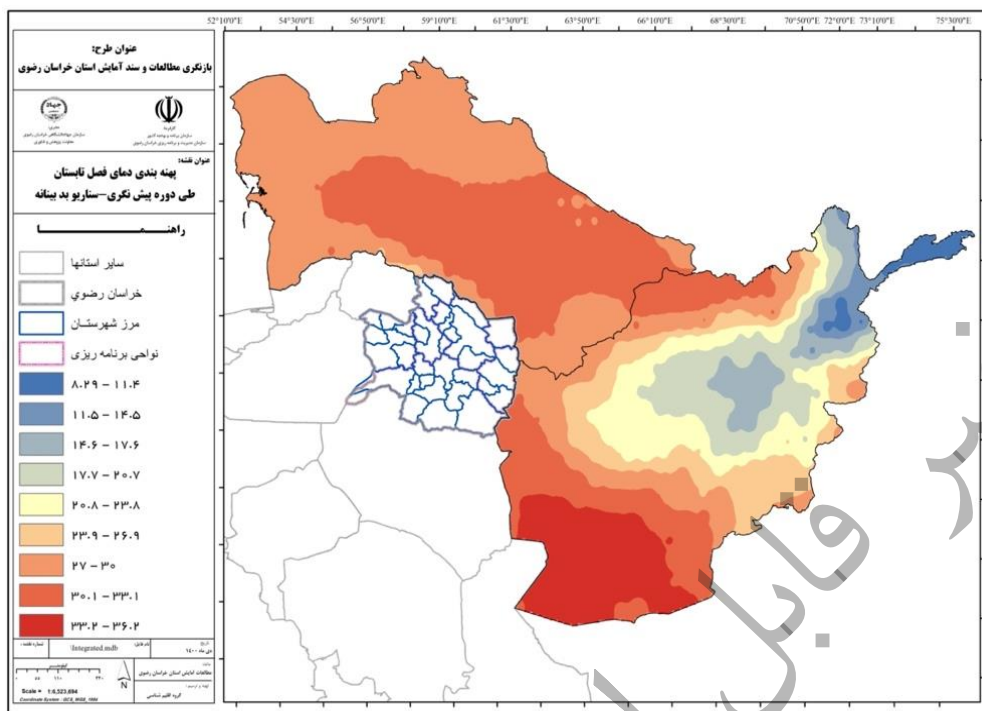


نقشه ۱۳۶. دوره تاریخی دمای فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۱۳۷. پیش‌نگری دمای فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوش بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)



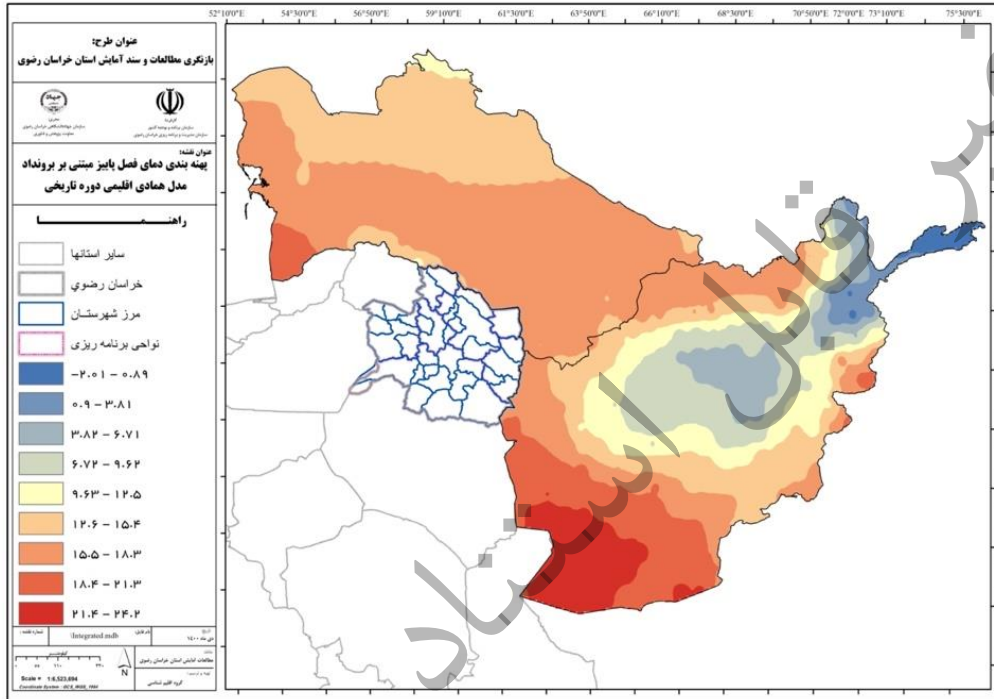


نقشه ۱۳۸. پیش‌نگری دمای فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)

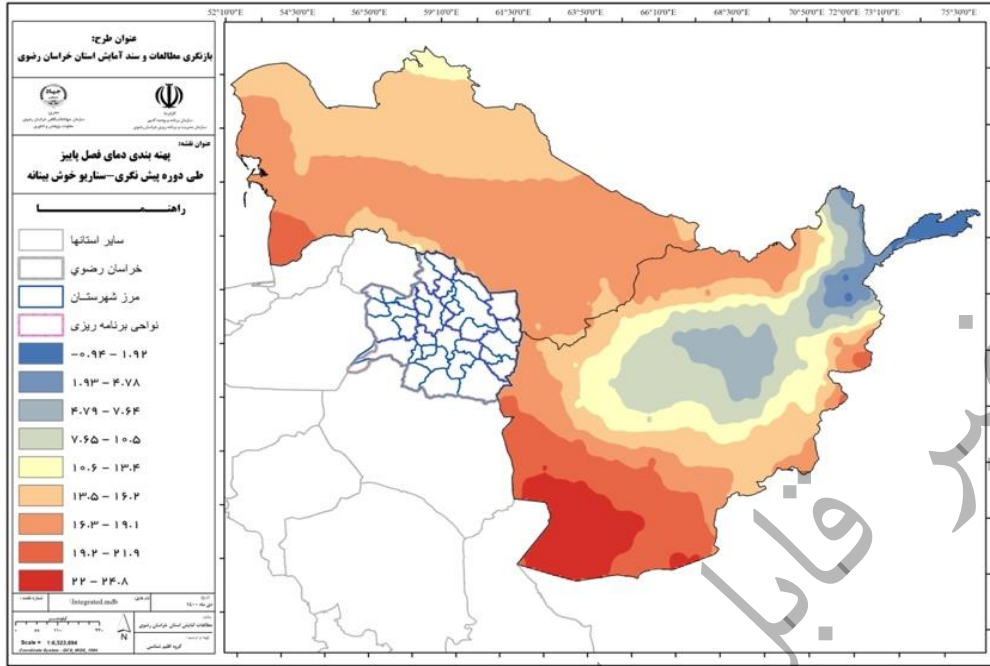
بررسی پیش‌نگری دما در دو فصل پاییز و زمستان در دو کشور افغانستان و ترکمنستان که قسمت بیشتر بارش‌های خود را در فصل سرد سال دریافت می‌کنند بسیار حائز اهمیت است. میانگین دما در فصل پاییز در هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه در سراسر افغانستان افزایشی است. همانند دو فصل بهار و تابستان بیشترین افزایش دما در این کشور بر روی پهنه‌های کوهستانی شمال شرق این کشور است که نسبت به دوره تاریخی به ترتیب ۱.۰۷ درجه سلسیوس و ۱.۲۶ درجه سلسیوس بر اساس سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه در افق ۱۴۲۴ افزایش خواهد یافت (نقشه‌های ۱۴۰ و ۱۴۱). به همین ترتیب بیشینه‌های میانگین دمای این کشور که بر نواحی خشک جنوب غربی این کشور منطبق است بر اساس سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه به ترتیب ۰.۶ و ۱.۱ درجه سلسیوس تا افق ۱۴۲۴ افزایش خواهد یافت. پیش‌نگری میانگین دمای پاییزه بر روی کشور ترکمنستان نشان می‌دهد که بخش‌های جنوب غربی این کشور که منطبق با مرز ایران و دریای مازندران است بیشترین دماهای پاییزه را تجربه می‌کنند. به طوری که این مناطق در افق ۱۴۲۴ بیش از ۱ درجه سلسیوس افزایش دما را تجربه خواهند نمود (نقشه‌های ۱۴۲ و ۱۴۳).

پیش‌نگری میانگین دما در فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان حاکی از افزایش دما در سراسر پهنه‌های این دو کشور تا افق ۱۴۲۴ است. بر اساس سناریوی خوش‌بینانه میانگین کمینه دمای میانگین که بر ارتفاعات این کشور منطبق است تا ۱.۵ درجه سلسیوس و بیشینه دمای میانگین در مناطق

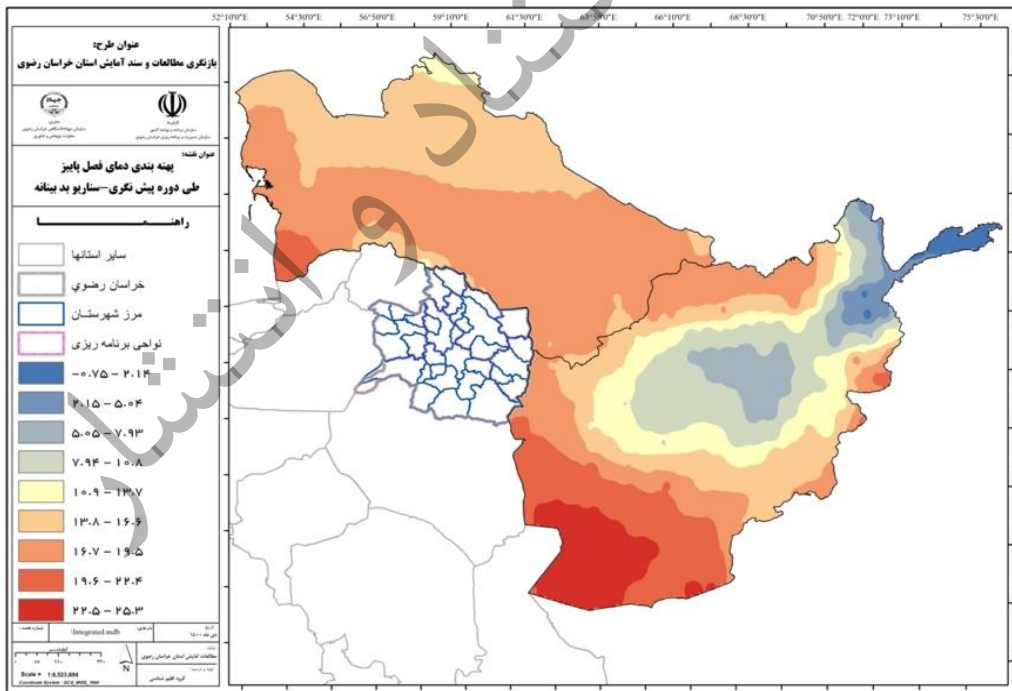
جنوب غربی این کشور تا ۱ درجه افزایش می‌یابد. این افزایش دما در سناریوی بدبینانه خیلی بیشتر است. به‌طوریکه کمینه میانگین دما تا ۱.۲ درجه و بیشینه میانگین دما تا ۱.۴ درجه سلسیوس در سناریوی بدبینانه افزایش خواهد یافت. پیش‌نگری میانگین دمای زمستانه برای کشور ترکمنستان نیز همین روال را نشان می‌دهد. در هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه میانگین دما بر روی این کشور در فصل زمستان افزایشی است و بیشینه افزایش دما در گوشه جنوبی غربی این کشور منطبق با مرز ایران و دریای مازندران است.



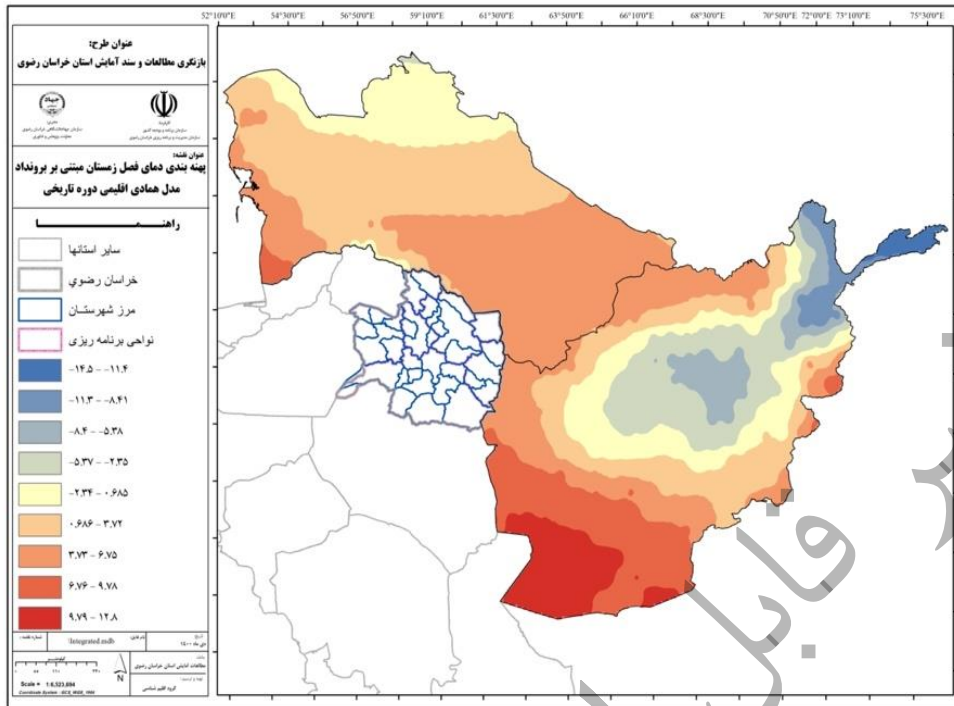
نقشه ۱۳۹. دوره تاریخی دمای فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: درجه سلسیوس)



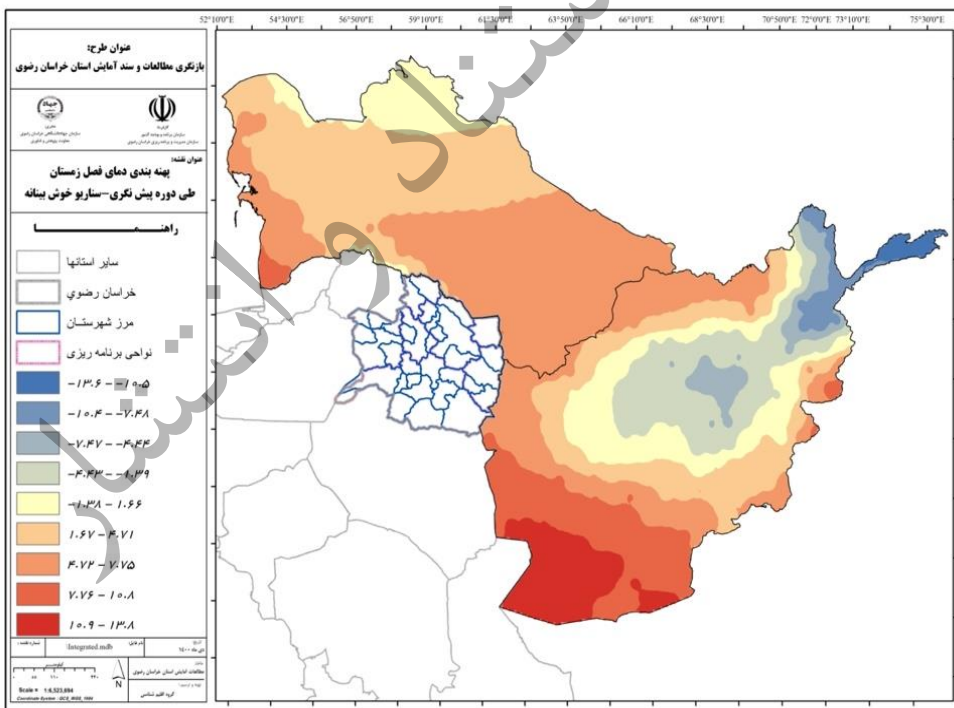
نقشه ۱۴۰. پیش‌نگری دمای فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوش‌بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۱۴۱. پیش‌نگری دمای فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)

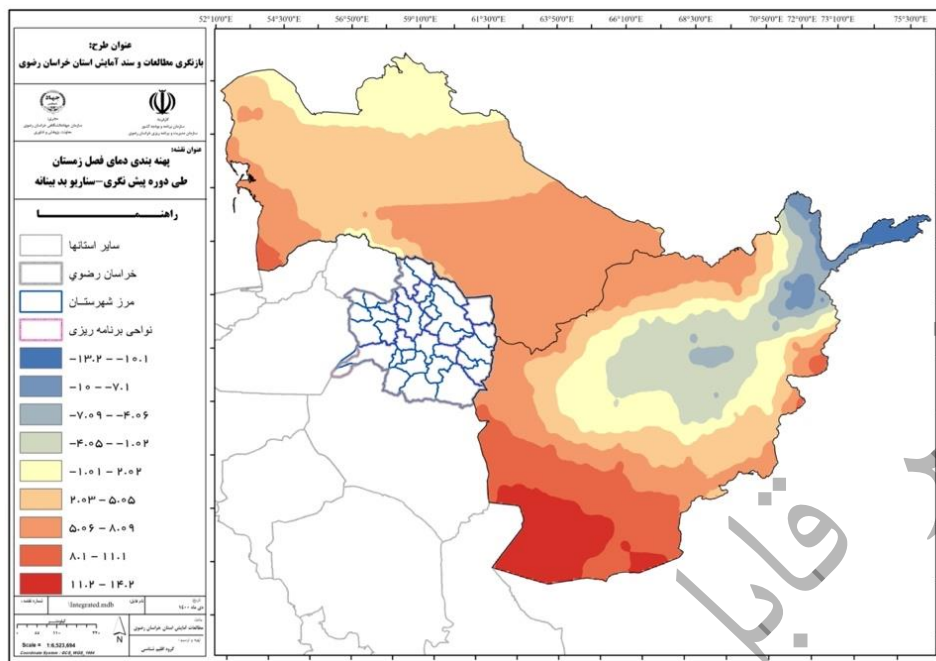


نقشه ۱۴۲. دوره تاریخی دمای فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: درجه سلسیوس)



نقشه ۱۴۳. پیش نگری دمای فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوش بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)





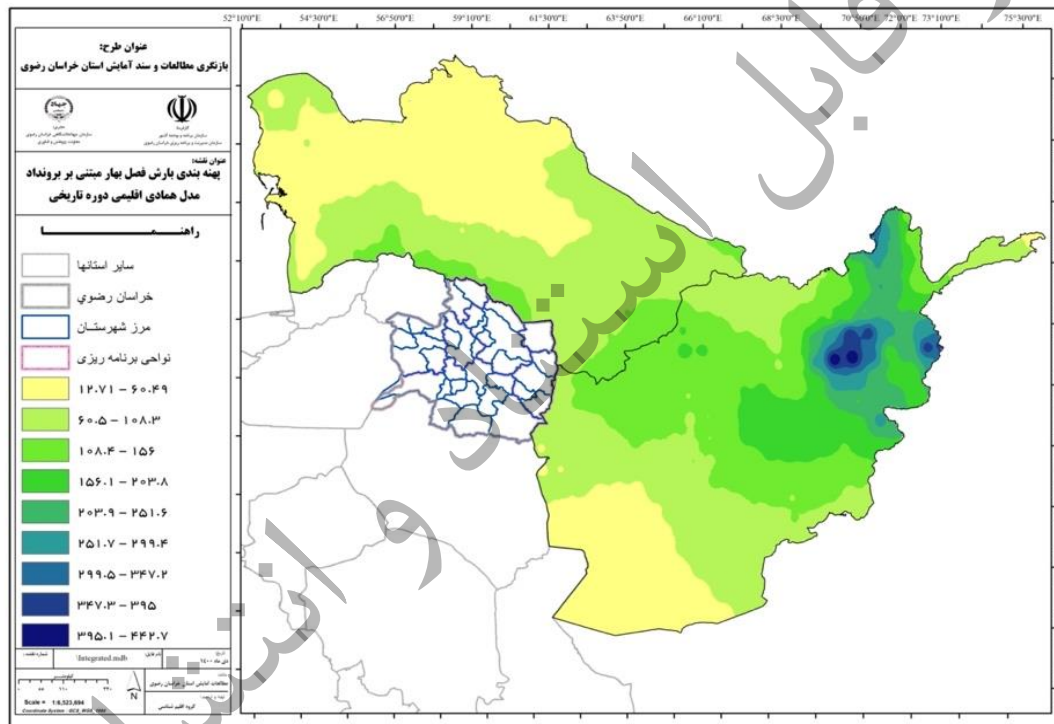
نقشه ۱۴۴. پیش‌نگری دمای فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: درجه سلسیوس)

به طوریکه بررسی شد در هر چهار فصل و در هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه میانگین‌های دما بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تا افق ۱۴۲۴ افزایش می‌یابد. افزایش دما در دوره سرد به ویژه در مناطق کوهستانی کشور افغانستان سبب ذوب سریعتر برف و از دست رفتن منابع آب شیرین می‌شود. از طرف دیگر افزایش دما تبخیر از سطح را افزایش داده ضمن کاهش سریع منابع آب سطحی سبب خشکی شدید خاک بویژه در مناطق خشک جنوب افغانستان و بیابان قره قوم کشور ترکمنستان می‌شود. خاک خشک‌تر سبب افزایش رخدادهای گردوخاک و امواج گرمایی از یک سو و خشکسالی‌های شدیدتر و طولانی‌تر از طرف دیگر می‌شود. مسائل انسانی متعاقب این رخدادهای از جمله مهاجرت و مسائل امنیتی در مرزهای کشور و همچنین کاهش آب ورودی از این کشورها چالش‌هایی را برای کشور ایران به دنبال خواهد داشت.

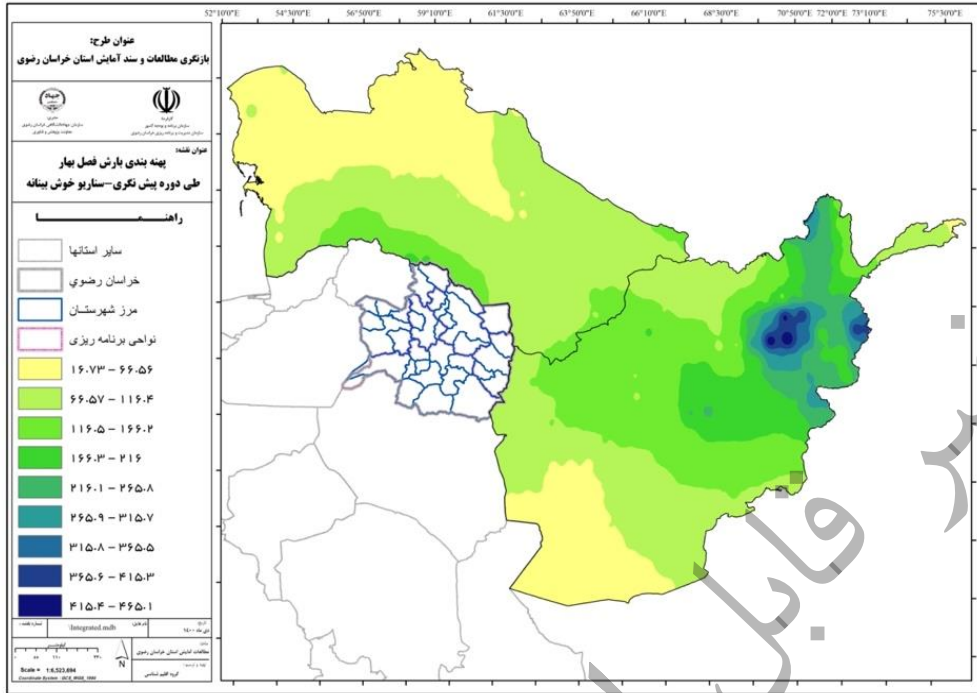
در یک نگاه کلی به نقشه‌های تاریخی و پیش‌نگری بارش فصلی در دو کشور افغانستان و ترکمنستان هسته‌های بیشینه بارش این دو کشور عمدتاً بر روی مناطق مرتفع کوهستانی در شمال‌غرب افغانستان و جنوب ترکمنستان منطبق هستند. نکته قابل توجه در نقشه‌های پیش‌نگری بارش بر روی این کشور آن است که بر اساس سناریوی خوش‌بینانه در تمامی فصول بارش بر روی افغانستان افزایشی و بر اساس سناریوی بدبینانه به جز فصل پاییز که افزایش بارش را نشان می‌دهد در سایر فصول اعم از بهار، تابستان و زمستان کاهش می‌یابد. البته شایان ذکر است که افزایش بارش به دلیل افزایش دما از یکسو و شدت یافتن بارش از

سوی دیگر دورنمای مناسبی نخواهد داشت، چرا که شدت یافتن بارش روزانه و افزایش روزهای همراه با بارش سنگین منجر به رخداد سیلاب‌های گسترده‌تری در آینده خواهد شد.

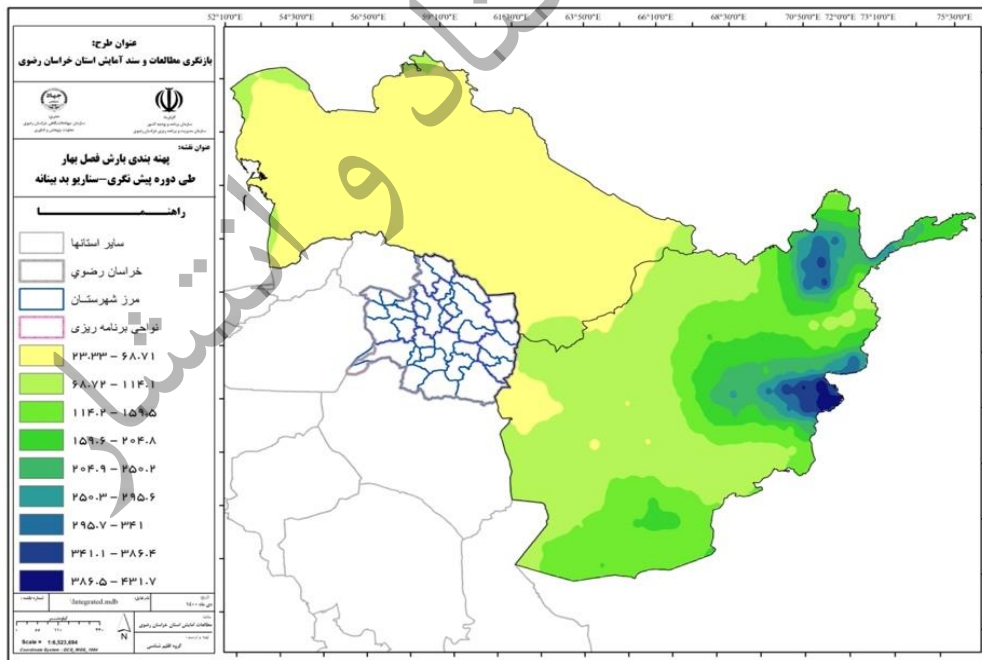
فصل بهار یکی از فصول پر باران در هر دو کشور افغانستان و ترکمنستان به شمار می‌رود. پیش‌نگری بارش برای این فصل نشانگر افزایش بارش در سناریوی خوش‌بینانه و کاهش بارش بر اساس سناریوی بدبینانه بر روی هر دو کشور می‌باشد. به طوریکه بیشینه بارش افغانستان در فصل بهار بر اساس سناریوی خوش‌بینانه تا ۲۲.۴ میلی‌متر و بر اساس سناریوی بدبینانه تا میلی‌متر در افق ۱۴۲۴ کاهش می‌یابد. همچنین بارش ترکمنستان نیز از بیشینه حدود ۲۰۰ میلی‌متر در کوه‌های کپه‌داغ در جنوب این کشور تا ۲۶۵ میلی‌متر در سناریوی خوش‌بینانه افزایش و بین ۲۳ تا ۶۸ میلی‌متر در سناریوی بدبینانه کاهش خواهد یافت (نقشه‌های ۱۴۵ و ۱۴۷).



نقشه ۱۴۵. دوره تاریخی بارش فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (بکا: میلی‌متر)

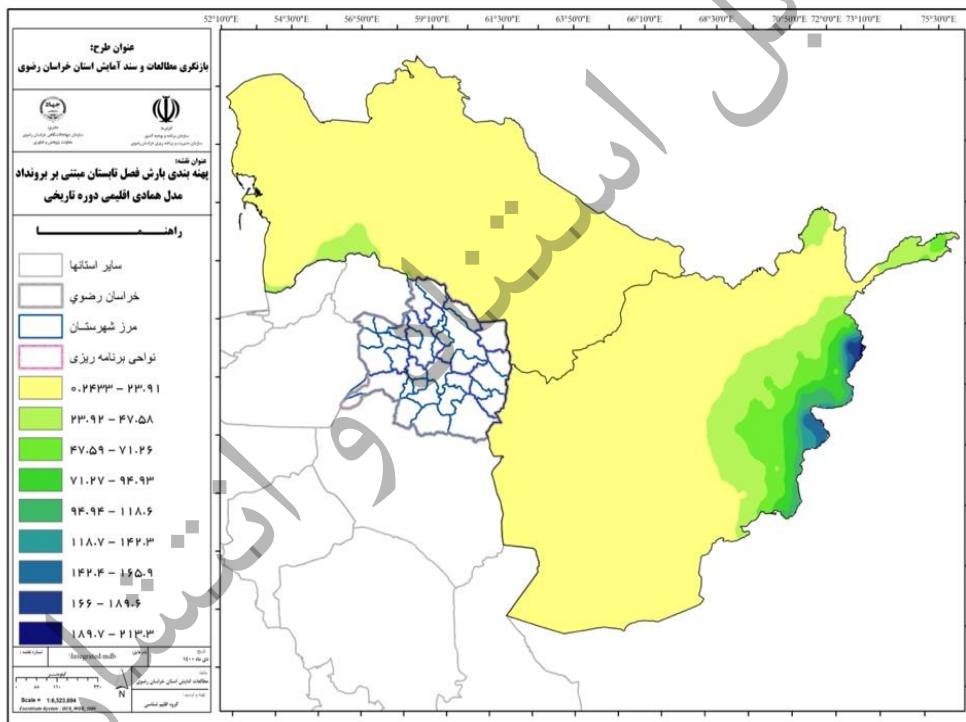


نقشه ۱۴۶. پیش‌نگری بارش فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوش بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)



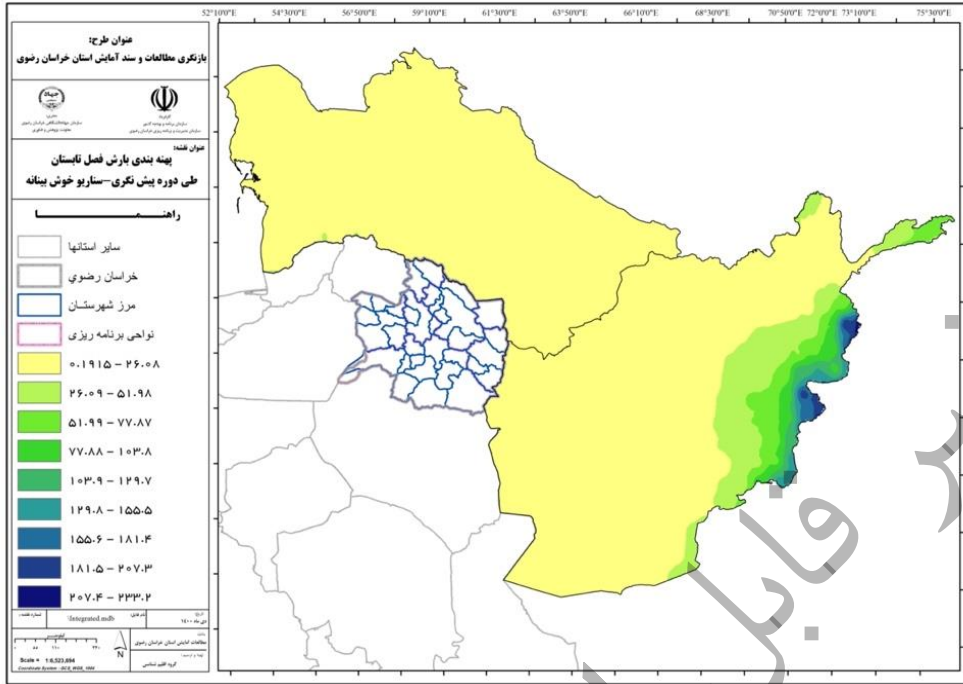
نقشه ۱۴۷. پیش‌نگری بارش فصل بهار بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بد بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)

فصل تابستان به طور کلی فصل کم بارش در دو کشور افغانستان و ترکمنستان به شمار می‌رود. با این وجود مناطق محدودی در جنوب شرقی افغانستان در مجاورت با مرز پاکستان بارش‌های موسمی را تجربه می‌کند که مقدار آن نیز نسبتاً قابل ملاحظه می‌باشد. پیش‌نگری بارش تابستانه بر روی این دو کشور نشان می‌دهد که بارش تابستانه نیز همانند بهار بر اساس سناریوی خوش‌بینانه افزایشی و بر اساس سناریوی بدبینانه کاهش‌ی است. پیش‌نگری بارش افغانستان در فصل تابستان نشان می‌دهد که در منطقه پرباران جنوب شرق این کشور بر اساس سناریوی خوش‌بینانه بارش تا حدود ۲۰ میلی‌متر افزایش و بر اساس سناریوی بدبینانه تا ۱۷.۶ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. سایر مناطق این کشور از بارش تابستانه چندان بر خوردار نیستند. پیش‌نگری بارش تابستانه در کشور ترکمنستان شرایط متفاوتی را نشان می‌دهد. این کشور که در فصل تابستان بارش‌های ناچیزی را در نوار جنوبی خود بر روی رشته کوهها دریافت می‌کند بر اساس سناریوی خوش‌بینانه افزایش ناچیز و بر اساس سناریوی بدبینانه افزایش قابل توجهی از بارش را به ویژه در مناطق غربی خود تجربه خواهد نمود (نقشه های ۱۴۸ و ۱۵۰).

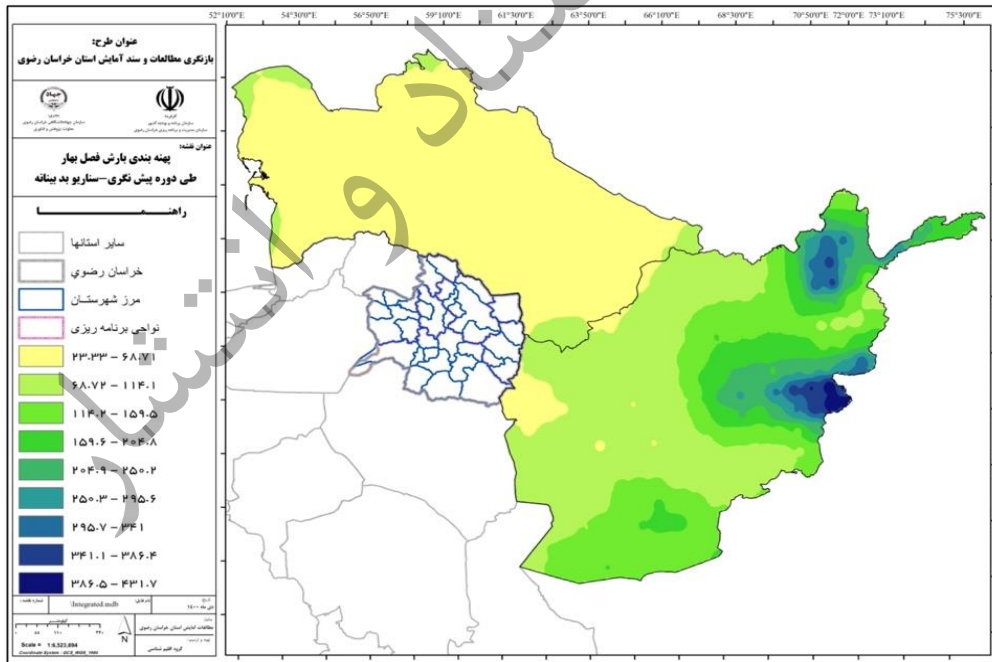


نقشه ۱۴۸. دوره تاریخی بارش فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکجا: میلی‌متر)





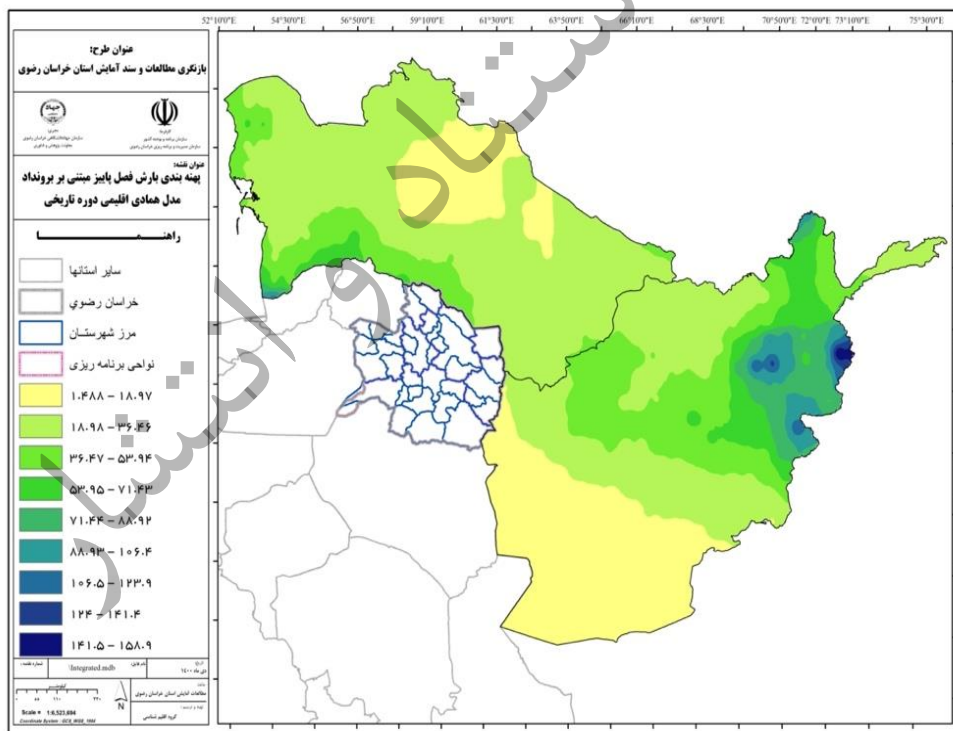
نقشه ۱۴۹. پیش نگری بارش فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوش بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی متر)



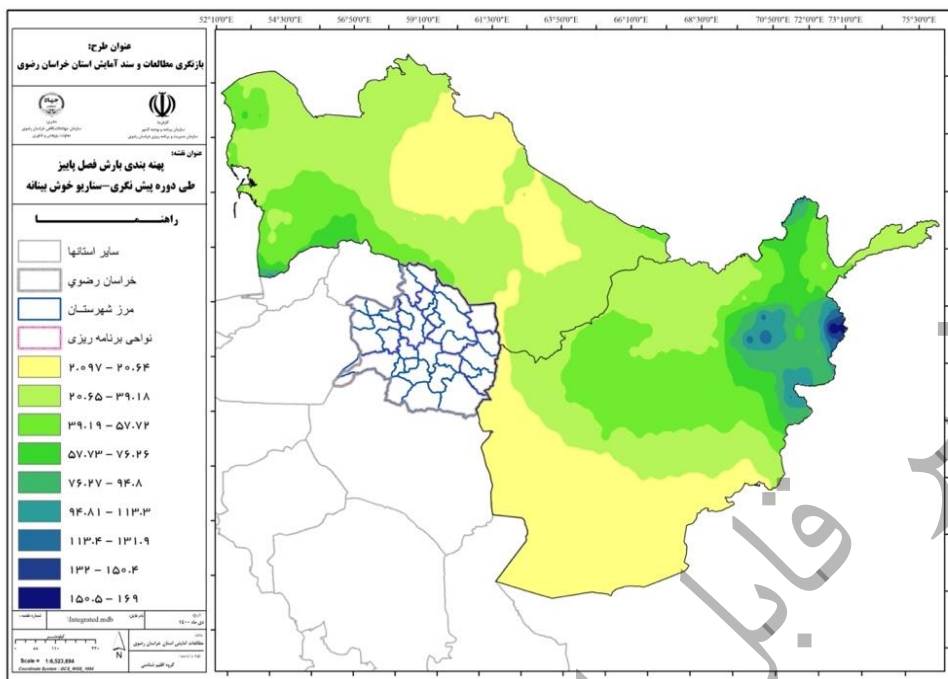
نقشه ۱۵۰. پیش نگری بارش فصل تابستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بد بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی متر)

فصل پاییز یکی از فصول پر باران در هر دو کشور افغانستان و ترکمنستان به شمار می‌رود. بیشینه هسته بارشی در این دو کشور بر روی ارتفاعات هندوکوش در کشور افغانستان و جنوب غربی ترکمنستان در مرز ایران و دریای مازندران منطبق است. پیش‌نگری بارش فصل پاییز نشان می‌دهد که این فصل از سال تنها فصلی است که چه در سناریوی خوش‌بینانه و چه بدبینانه بارش پاییزه در افغانستان افزایش خواهد یافت. به‌طوریکه بر اساس سناریوی خوش‌بینانه بارش این کشور تا حدود ۱۰ میلی‌متر و تا ۳۹ میلی‌متر در سناریوی بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ افزایش خواهد یافت. در این فصل بر روی ترکمنستان بر اساس هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه بارش کاهشی است. بیشترین کاهش بارش بر اساس سناریوی بدبینانه است که بر اساس نقشه ۱۵۲ مساحت قابل توجهی از ترکمنستان با کاهش بارش‌های پاییزه تا افق ۱۴۲۴ مواجه خواهد شد (نقشه‌های ۱۵۲ و ۱۵۳).

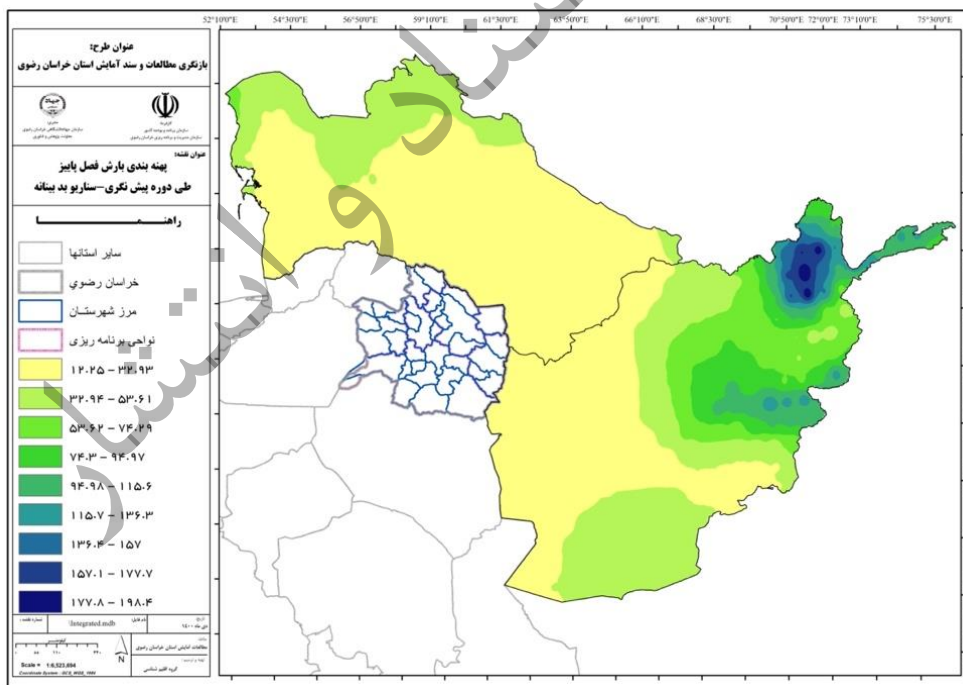
در فصل زمستان هسته‌های بیشینه بارش در افغانستان بر روی کوهستان‌های مرتفع این کشور منطبق است. پیش‌نگری بارش زمستانه نشان می‌دهد که بر اساس سناریوی خوش‌بینانه بارش‌ها افزایش می‌یابد. به طوری که بارش در هسته بیشینه بارشی منطبق بر کوهستان‌های مرتفع این کشور تا سال ۱۴۲۴ به مقدار ۲۱ میلی‌متر افزایش می‌یابد. در مقابل بر اساس سناریوی بدبینانه بارش این کشور تا حدود ۷۰ میلی‌متر در مناطق پر باران این کشور کاهش خواهد یافت (نقشه‌های ۱۵۵ و ۱۵۶).



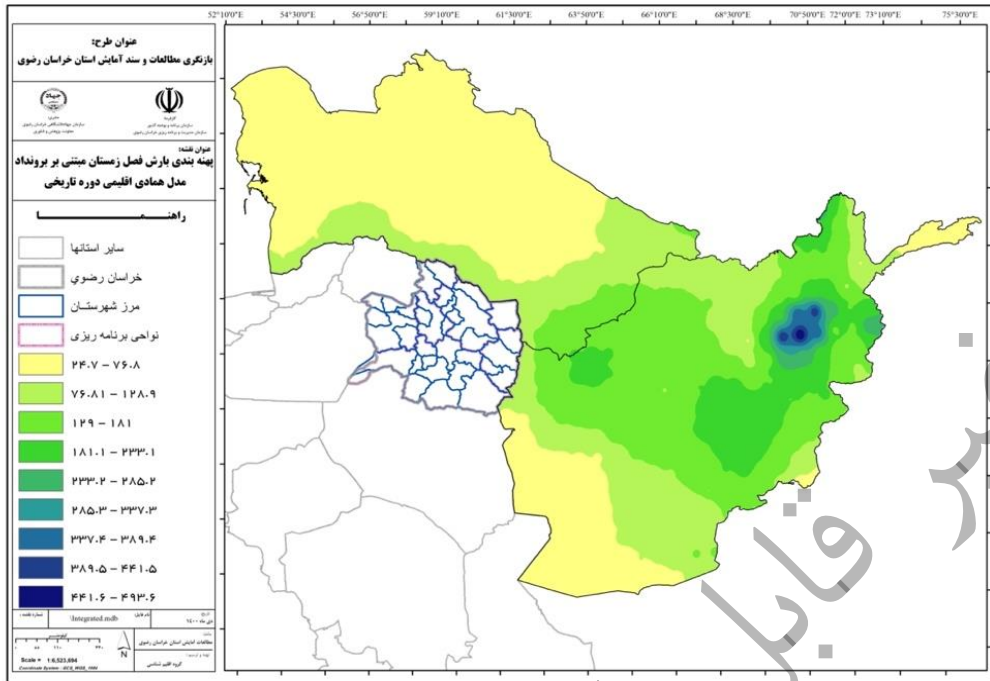
نقشه ۱۵۱. دوره تاریخی بارش فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: میلی‌متر)



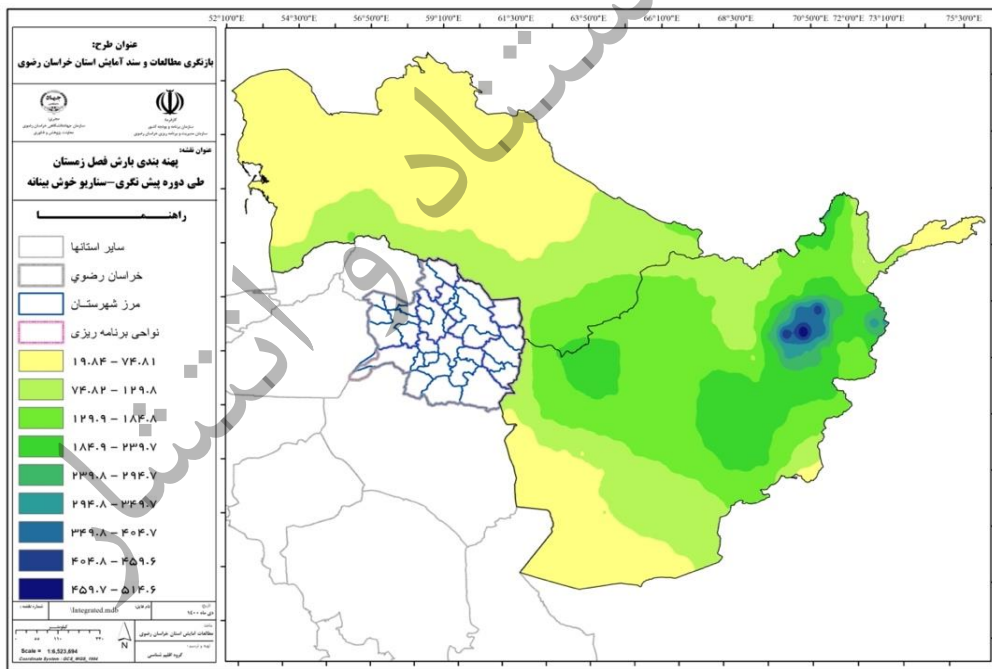
نقشه ۱۵۲. پیش‌نگری بارش فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوش‌بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)



نقشه ۱۵۳. پیش‌نگری بارش فصل پاییز بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)

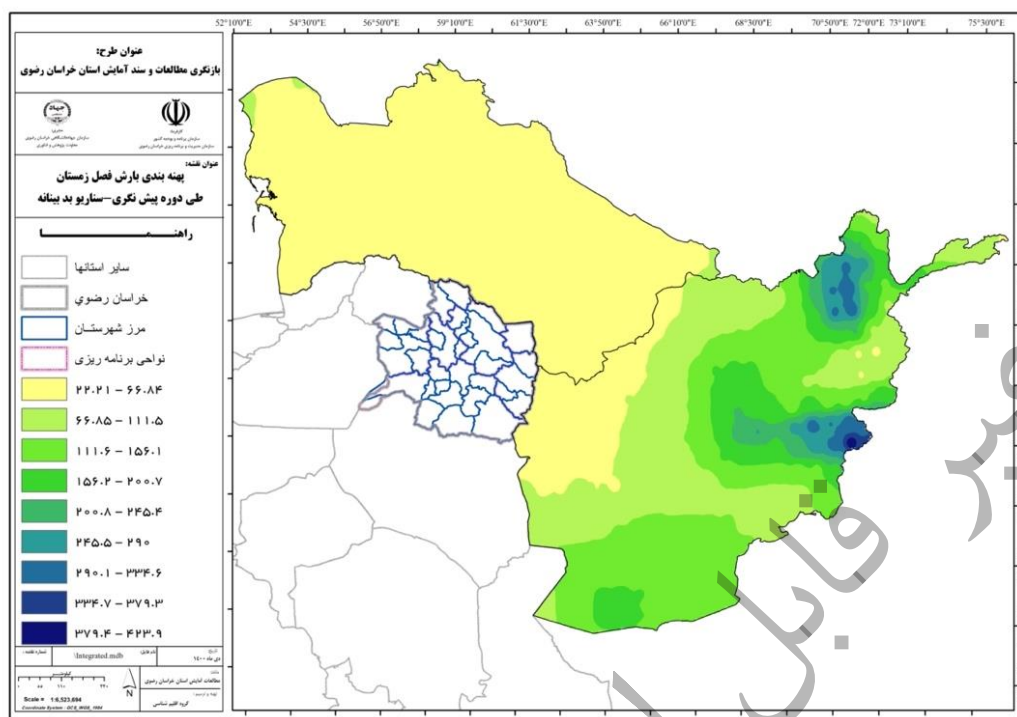


نقشه ۱۵۴. دوره تاریخی بارش فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان (یکا: میلی‌متر)



نقشه ۱۵۵. پیش‌نگری بارش فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو خوش‌بینانه تا افق ۱۴۲۴ (یکا: میلی‌متر)





نقشه ۱۵۶. پیش‌نگری بارش فصل زمستان بر روی دو کشور افغانستان و ترکمنستان تحت سناریو بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ (یککا: میلی‌متر)

## ۲-۷- جمع‌بندی

برنامه‌ریزی فضایی و آمایش سرزمین با یک سناریوی فوق‌العاده دشوار برای آینده در واقعیت کنونی مواجه است. صنعتی شدن، پیشرفت فناوری و شهرنشینی نامحدود به‌طور مستقیم و در برخی از مواقع به شکل غیرمستقیم منجر به تغییر اقلیم در مقیاس جهانی شده‌اند. این تغییرات در سطوح مختلف نقش تعیین‌کننده‌ای را در برنامه‌ریزی‌ها داشته‌اند. بطوریکه در سال‌های اخیر که گرمایش جهانی تغییرات گسترده‌ای را در اقلیم جهانی رقم‌زده است، مشکلات عدیده‌ای همانند افزایش بارش‌های سیل‌آسا، افزایش شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌ها و امواج گرمایی را در پی داشته است. استان خراسان رضوی هم همانند سایر بخش‌های ایران و جهان تحت تأثیر پیامدهای شدید تغییر اقلیم قرار گرفته است. بطوریکه سیلاب‌های گسترده، خشکسالی‌های فراگیر و گردوخاک‌ها به همراه امواج گرمایی شدید امروزه به‌عنوان بخشی از اقلیم استان خراسان رضوی شده‌اند. لذا ضرورت دارد که در هر برنامه‌ریزی که برای استان انجام می‌شود اقلیم و تغییر آن در اولویت تمام برنامه‌ها قرار گیرد.

این بخش از سند مطالعات و آمایش استان خراسان رضوی بر اقلیم استان متمرکز شده است. مطالعات اقلیم در دو بخش بررسی وضعیت فعلی اقلیم و پیش‌نگری آن تا افق ۱۴۲۴ انجام شده است. پیش‌نگری آینده از وضعیت اقلیم به برنامه‌ریز این امکان را می‌دهد تا ترتیبات برنامه‌ریزی آمایش سرزمین را در مقیاس محلی

برای جلوگیری از عواقب احتمالی تغییر اقلیم بکار گیرند و برنامه‌های سازگاری متناسب با این شرایط را اجرایی نماید. افزایش میانگین دمای سالانه هوا و همچنین تغییر در میانگین بارش سالانه، به همراه خشکسالی‌های شدید همراه با سایر بی‌هنجاری‌های اقلیمی منجر به شکل‌گیری طوفان‌های گردوخاک، سیل، بارش‌های سنگین و خیلی سنگین و امواج گرمایی شدید که می‌تواند منجر به آتش‌سوزی در پهنه‌های رویشی شود، استان خراسان رضوی را تهدید می‌کنند. پیامدهای تغییر اقلیم در استان خراسان رضوی در چشم‌اندازی نه‌چندان دور منجر به ایجاد خسارات و هزینه‌های هنگفت خواهد شد.

از زمان سند قبلی آمایش استان خراسان رضوی، پیشرفت‌های خوبی هم در بخش داده‌های در دسترس و هم در بخش روش‌های تحلیل وضع موجود و پیش‌نگری اقلیم آینده حاصل شده است. نتیجه این پیشرفت‌ها از یک‌طرف منجر به درک بهتر وضع موجود اقلیم استان و شناسایی پتانسیل‌ها و محدودیت‌های آن از نظر اقلیمی و از طرف دیگر پیش‌نگری شرایط اقلیمی استان در دهه‌های آینده تا افق ۱۴۲۴ شده است. بررسی متغیرهای اقلیمی استان خراسان رضوی نشان داد که بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های معرف همدید با طول دوره آماری ۳۰ ساله در استان خراسان رضوی گرم‌ترین ماه در استان تیر و سردترین ماه دی است.

برای دستیابی به اهداف تعیین شده در سند آمایش استان خراسان رضوی از روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است که جزئیات هر یک در بخش‌های پیشین گزارش مفصل ارائه شده است. مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده در این گزارش عبارتند از: ۱- شاخص شدت خشکسالی پالمر واسنجی شده (SC-PSI)؛ ۲- شاخص‌های بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)؛ ۳- شاخص روزهای خشک متوالی (CDD) و روزهای مرطوب متوالی (CWD)؛ ۴- نمایش تندی و سمت باد و گلباد؛ ۵- روش من-کندال تصحیح شده MMK؛ ۶- روش ناپارامتریک سنس Sen's Slope Estimator؛ ۷- طبقه بندی اقلیمی استان خراسان رضوی با روش‌های کوپن گایگر و دومارتن؛ ۸- شاخص رطوبت خاک (SM)؛ ۹- دمای سطح زمین روز و شب با داده‌های سنجنده MODIS؛ ۹- تولید مدل همادی با روش IWM.

کمینه دمای سالانه در استان منطبق بر ارتفاعات رشته‌کوه‌های کپه داغ- هزار مسجد و آلا داغ- بینالود است. دما در متوسط پهنه استان خراسان رضوی در تمامی فصول و میانگین سالانه روند افزایشی دارد. بطوریکه در فصل زمستان دما در متوسط کل استان خراسان رضوی ۱/۰۸ درجه سلسیوس در دهه، در فصل بهار ۰/۹۷ درجه سلسیوس در دهه، فصل تابستان ۰/۶۵ درجه سلسیوس در دهه، فصل پاییز ۰/۰۴ درجه سلسیوس در دهه و در میانگین سالانه ۰/۶۷ درجه سلسیوس به ازای هر دهه افزایش داشته است.

این روند افزایشی در دوره پیش‌نگری تا افق ۱۴۲۴ نیز دیده می‌شود. بطوریکه دما بر اساس سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه نسبت به دوره تاریخی مورد بررسی در تمامی فصول حداقل ۲ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت. بیشینه روند افزایشی دما نیز مربوط به فصل تابستان برای سناریوی بدبینانه خواهد بود که میانگین دما بیش از ۳ درجه سلسیوس نسبت به دوره تاریخی افزایش خواهد داشت. میانگین سالانه روزهای یخبندان در استان خراسان رضوی بین ۳۰/۵۳ روز تا ۹۰/۳۷ روز در ایستگاه‌های سرخس و قوچان در نوسان است. مناطق کوهستانی و شمالی استان همانند قوچان و نیشابور بالاترین روزهای یخبندان سالانه را به خود

اختصاص داده‌اند. نتایج بررسی مربوط به روند روزهای یخبندان نیز نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر روند کاهش قابل توجهی داشته است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های اقلیمی استان، میانگین بارش خراسان رضوی در مقیاس سالانه ۲۴۹/۸ میلی‌متر است. اوج بارش‌های استان در فصل زمستان دیده می‌شود که بیش از ۵۱ درصد کل بارش سالانه استان را شامل می‌شود. پس از فصل زمستان، بهار با ۲۶ درصد، پاییز ۲۰ درصد و تابستان کمتر از ۲ درصد (۱/۶۶ درصد) از مجموع بارش سالانه استان را شامل می‌شوند. بررسی متوسط روند پهنه‌ای بارش در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که بارش در مقیاس سالانه ۱۸/۳۸ میلی‌متر به ازای هر دهه کاهش داشته است. به همین ترتیب بارش در فصل زمستان ۱۲/۴۴ میلی‌متر در دهه، در فصل بهار ۳/۴۰ میلی‌متر در دهه، در فصل تابستان ۰/۶۵ میلی‌متر در دهه و در نهایت در فصل پاییز ۲/۱۴ میلی‌متر در دهه کاهش نشان می‌دهد که تهدیدی بسیار جدی برای منابع آب و کشاورزی در استان خراسان رضوی است. این کاهش بارش و افزایش دما که پیش‌تر نیز گفته شد بر شدت، مدت و فراوانی خشکسالی در استان خراسان رضوی تأثیر جدی گذاشته است.

بررسی تغییرات بارش تا افق ۱۴۲۴ نیز نشان می‌دهد که بارش در تمامی فصول و سناریوها روند کاهش خواهد داشت. بیشینه روند کاهش بارش در آینده مربوط به فصل پاییز است. بطوریکه بر اساس سناریو خوش‌بینانه بارش حدود ۱۴ درصد و بر اساس نتایج سناریو بدبینانه نزدیک به ۲۳ درصد کاهش خواهد داشت. در فصل زمستان نیز که اصلی‌ترین فصل بارشی استان است، بارش به ترتیب تحت سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه تا افق ۱۴۲۴ نسبت به دوره تاریخی کاهش ۸/۶۴ و ۱۷/۳۲ درصدی را نشان داده است.

کاهش بارش و بالا رفتن دما و افزایش تبخیر-تعرق متعاقب این دو سبب شده است که استان خراسان رضوی خشکسالی‌های شدیدی را در طی دهه‌های اخیر تجربه نماید. خشکسالی یکی از مهم‌ترین تهدیدهای اقلیمی در استان خراسان رضوی است. خشکسالی شدید سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ از آن جمله است که باعث خسارات زیاد بر بخش‌های مختلف در استان شد. بررسی شاخص‌های خشکسالی در استان خراسان رضوی نشان داد که بیش‌ترین آسیب‌پذیری خشکسالی در استان مربوط به مناطق غربی و سپس جنوب‌شرقی است. تحت گرمایش جهانی نیز خشکسالی با شدت بالاتر و تداوم بیشتری در سطح استان اتفاق می‌افتد. چنین خشکسالی می‌تواند بقای مناطق زراعی دیم بخصوص در غرب استان را به‌شدت تهدید کند. زیرا دمای بالا، تبخیر را تسریع کرده و منجر به کمبود آب می‌شود. شدت خشکسالی فصلی در سه دهه گذشته در استان خراسان رضوی افزایش یافته است و مناطقی با شدت بالای خشکسالی به‌طور قابل توجهی گسترش یافته‌اند. به‌طور کلی نتایج زیر برای خشکسالی‌های استان خراسان رضوی قابل‌ذکر است.

- پاسخ خشکسالی به گرمایش جهانی به‌شدت به منطقه، فصل و شاخص‌های در نظر گرفته‌شده بستگی دارد.
- خشکسالی در استان به کاهش رطوبت خاک و به‌تبع آن کاهش رواناب می‌انجامد.
- وسعت مکانی خشکسالی در اکثر مناطق استان افزایش یافته است.

- حتی با وجود تفاوت در شاخص‌های خشکسالی و فصول، روند افزایشی خشکسالی همراه با گرم شدن هوا در استان مشهود است.
  - برای اکثر مناطق استان، فصلی بودن فراوانی خشکسالی مشهود است و خشکسالی‌های شدید با احتمال زیاد بین ماه‌های خرداد تا شهریور در مناطق مرکزی، جنوب غربی و شرقی رخ می‌دهند. بررسی پیش‌نگری‌ها حاکی از تداوم این رخداد در طی دهه‌های آتی است. پیش‌نگری‌ها نشان می‌دهد که تا افق ۱۴۲۴، درصد ماه‌های همراه با خشکسالی تا حداقل ۱۰ درصد در استان افزایش خواهد یافت که پیامدهای نگران‌کننده‌ای را از جهت منابع آب و کشاورزی و سایر بخش‌ها به همراه دارد.
- تندی باد به‌عنوان یک متغیر بسیار مهم که نقش تعیین‌کننده‌ای را در تبخیر-تعرق، گردوخاک و همچنین تولید انرژی برق دارد مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که بالاترین مقادیر میانگین ماهانه تندی باد در دوره ۱۴۰۰-۱۳۶۹ در خواف دیده می‌شود. میانگین تندی باد ماهانه در تیر ماه با ۸/۶ متر بر ثانیه بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. همچنین بررسی متغیر بیشینه تندی باد به‌ویژه در ماه‌های تابستان در ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، تربت‌جام، خواف، سبزوار، سرخس، گناباد، مشهد و نیشابور به بیش از ۷ متر بر ثانیه می‌رسد. بیشینه تندی باد در مرداد ماه و ایستگاه خواف با ۱۳/۲ متر بر ثانیه به‌دست‌آمده است. بر اساس نتایج، خواف به‌عنوان بزرگ‌ترین پتانسیل انرژی بادی در خراسان رضوی شناخته‌شده و نه تنها دارای بیشترین تندی باد، بلکه دارای مناطق روستایی بزرگ برای نصب مزارع بادی احتمالی است.
- به‌طور کلی از بین متغیرهای اقلیمی دو متغیر باد و ساعات آفتابی به‌عنوان دو متغیر کلیدی برای تولید انرژی پاک محسوب می‌شوند. نتایج بررسی این دو متغیر نشان داد که انرژی باد بسیار پایداری در مناطق جنوبی، جنوب‌شرقی و غرب استان وجود دارد. درحالی‌که انرژی خورشیدی بسیار پایدار در مناطق جنوبی و حتی مرکزی استان متمرکز است. پایدارترین انرژی هیبریدی بادی-خورشیدی در جنوب، جنوب‌شرقی و غرب استان متمرکز است.
- بررسی تغییرات گردوخاک نیز نشان داد که گردوخاک‌های استان خراسان رضوی تحت تأثیر چشمه‌های فرامرزی بخصوص از کشور ترکمنستان و چشمه‌های داخلی (سرخس) است. بیشینه مقدار گردوخاک نیز در سرخس مشاهده می‌شود که انتظار می‌رود با توجه به کاهش بارش و افزایش قابل توجه خشکسالی‌ها در سطح استان این چشمه گردوخاک و یا چشمه‌های احتمالاتی دیگر در سال‌های آتی تشدید شوند.
- از آنجایی که هر طرحی در نهایت باید به ارائه فرصت‌ها و تهدیدهای پیشرو جهت ارائه راهبردهای برنامه‌ریزی بپردازد در این بخش نیز تهدیدها و فرصت‌های اقلیمی استان خراسان رضوی به شکل خلاصه ارائه شده است.
- سمت و تندی باد (شدت زیاد باد در بیشتر مناطق):** بررسی سمت و تندی باد در استان نشان می‌دهد که استان خراسان رضوی دارای فرصت‌های بسیار زیادی بخصوص در مناطق جنوب‌شرقی استان است که می‌توان از این فرصت‌ها برای تولید انرژی‌های پاک استفاده نمود.



**تنوع پهنه‌های اقلیمی:** همان‌طور که در بررسی‌های مربوط به تنوع پهنه‌های اقلیمی استان با روش کوپن-گایگر دیده شده است، استان خراسان رضوی دارای تنوع زیادی در مناطق اقلیمی است، این تنوع بالا می‌تواند در مباحث مرتبط با گردشگری مورد توجه بسیاری قرار گیرد.

**درصد پوشش ابر (مقدار پایین پوشش ابر) و تعداد روزهای آفتابی در طول سال (زیاد بودن ساعات آفتابی):** با توجه به پایین بودن درصد پوشش ابر و فراوانی زیاد روزهای آفتابی در سطح استان خراسان رضوی می‌توان از این فرصت بخصوص در مناطق مرکزی، جنوبی و شرقی استان برای توسعه سامانه‌های فتوولتایک اقدام کرد.

**روند امواج سرمای (روند کاهش):** روند کاهش امواج سرمای نیز فرصتی قابل توجه را برای مصرف کمتر انرژی برای گرمایش ساختمان‌ها فراهم می‌کند، هر چند که افزایش دما می‌تواند تهدیداتی را نیز در برخی موارد به همراه داشته باشد.

**روزهای خشک متوالی (تعداد زیاد در طول سال):** روزهای خشک متوالی همان‌طور که تعریف شده است به روزهایی گفته می‌شود که بارش نداشته و یا مجموع بارش روزانه آن کمتر از یک میلی‌متر باشد. این شاخص نشان‌دهنده روزهای بارانی استان و دوره‌های متوالی فاقد بارش است. بررسی‌ها نشان داده است که در بخش‌های قابل توجهی از استان خراسان رضوی بخصوص در مناطق مرکزی، جنوبی، شرقی و غربی استان، روزهای خشک متوالی عموماً بیش‌تر از یک روز در سال هستند که این امر برای مسائل مرتبط با آب، کشاورزی و محیط‌زیست بسیار مورد توجه است. برای مثال افزایش یا کاهش روزهای خشک متوالی از جنبه آبیاری محصولات کشاورزی می‌تواند در دو بخش آب و کشاورزی بسیار حائز اهمیت باشد.

**تعداد روزهای همراه با گردوخاک (روند افزایشی):** در سال‌های اخیر بخصوص در یک دهه گذشته فراوانی روزهای همراه با گردوخاک در استان خراسان رضوی بخصوص در مناطق شرقی استان در سرخس روند افزایشی قابل توجهی پیدا کرده است. بخشی از این روند افزایشی در نتیجه چشمه‌های گردوخاک فرامرزی در ایران است و بخشی دیگر نیز مربوط به چشمه‌های داخلی است که نیازمند برنامه‌ریزی دقیق در این زمینه برای استان است. این برنامه ریزی به طور خلاصه شامل شناسایی دقیق چشمه‌های گردوخاک، شناسایی منابع گردوخاک، بررسی اثرات آن بر محیط و جنبه‌های مختلف زندگی موجودات زنده و تعیین روش‌های کنترل آن می‌باشد.

**میزان تبخیر در استان (زیاد بودن):** مقدار بالای تبخیر در استان خراسان رضوی برای پهنه‌های آبی همچون استخرهای ذخیره آب کشاورزی، استخر پرورش ماهی، سدها و همچنین کانال‌های روباز انتقال آب یک تهدید بزرگ است. لذا انتظار می‌رود در هر برنامه‌ریزی در استان به این امر توجه ویژه‌ای شود.

**فراوانی رخداد خشکسالی (روند افزایشی):** خشکسالی در استان خراسان رضوی طی سال‌های اخیر روند افزایشی قابل توجهی داشته است که نمود بارز آن خشکسالی فراگیر بهار ۱۴۰۰ در استان بوده است. مناطق غربی استان به جهت تداوم و شدت، بیشینه رخدادهای خشکسالی استان را نشان می‌دهند.

شدت بارش روزانه و روزهای همراه با بارش سنگین (روند افزایشی): یکی از بارزترین مشخصه‌های تغییر اقلیم بر هم خوردن نظم الگوهای مکانی و زمانی بارش است. بطوریکه در سال‌های اخیر با گرم‌تر شدن جو بر شدت بارش‌ها نیز افزوده شده است و شاهد بارش‌های سیل آسیا در بسیاری از مناطق استان هستیم. در بیش‌تر موارد بارش‌هایی که باید در یک فصل ببارد در یک روز و یا حتی در کمتر از یک ساعت در یک منطقه می‌بارد که خسارات جبران‌ناپذیری را برای آن منطقه ایجاد می‌نماید.

**ذرات معلق جوی (روند افزایشی):** ذرات معلق جوی به‌عنوان یک تهدید جدی برای سلامتی انسان تلقی می‌شوند. به‌طور کلی ذرات معلق جوی در بخش‌های بزرگی از استان خراسان رضوی بخصوص در مناطق شرقی و جنوبی استان دارای مقدار قابل‌توجهی است که بیش‌تر این موارد در نتیجه فعالیت‌های انسانی همانند معدن‌کاوی، کارخانه‌های شن و ماسه، تغییر مسیر رودها و سدسازی در بالادست حوضه است.

**امواج گرمایی (روند افزایشی) و روزها و شب‌های گرم (روند افزایشی):** امواج گرمایی و روزها و شب‌های گرم به‌عنوان یک نمود آشکار از تغییر اقلیم است که در استان خراسان رضوی نیز همگام با بخش‌های بزرگی از کشور و جهان این شاخص‌ها روند افزایشی داشته‌اند. افزایش قابل‌توجه در این شاخص‌ها برای مباحثی همچون سرمایه‌ش محیط در دوره سرد سال و همچنین تنش‌هایی گرمایی یک تهدید جدی است.

به‌عنوان بخشی از اقدامات حامی محیط‌زیست که به مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم کمک می‌کند، یافته‌های بخش اقلیم استان خراسان رضوی که بررسی شده است، شامل نیاز به‌صرفه‌جویی در انرژی و به دست آوردن آن از منابع جایگزین از منابع انرژی تجدید پذیر باد و خورشید است. بررسی‌های منطقه‌ای نشان داد که انرژی بادی بسیار پایداری در شهرستان خواف و قسمت‌هایی از شهرستان‌های بردسکن، تربت‌جام، تایباد، فریمان، صالح‌آباد و سبزوار وجود دارد. این مناطق پتانسیل بالایی را برای توسعه نیروگاه‌های بادی در استان دارند. به همین ترتیب انرژی خورشیدی بسیار پایدار در شهرستان‌های تایباد، خواف، گناباد، تربت‌جام، تربت‌حیدریه، خلیل‌آباد و بردسکن شناسایی شده که به‌عنوان بهترین مناطق جهت استفاده از انرژی خورشیدی در استان خراسان رضوی هستند. در راستای صرفه‌جویی انرژی، توسعه حمل‌ونقل پایدار، استفاده از تجهیزات گرمایشی و سرمایه‌گذاری کارآمد و با انتشار کم‌گازهای گلخانه‌ای برای استان خراسان رضوی توصیه می‌شود. البته لازم به ذکر است که کاهش گازهای گلخانه‌ای گرچه هدفی ارزشمند است، اما نمی‌تواند راهگشای مسائل استان باشد و نیازمند توجهات بین‌المللی است. بر اساس آمارهای جهانی انتشار، ایران با انتشار ۵۶۷/۱ میلیون تن دی‌اکسید کربن در سال ۲۰۱۷، هشتمین تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای در جهان است. انتشار CO<sub>2</sub> در ایران بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶، سالانه حدود ۵ درصد افزایش یافته است (آمار کامل از پایگاه <https://worldpopulationreview.com> قابل دریافت است). سوزاندن گاز طبیعی و نفت دو عامل اصلی انتشار کربن در ایران هستند. ایران دارای ذخایر عظیم نفت و گاز است. با این حال، پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر قابل توجهی همانند انرژی خورشیدی و انرژی باد در جنوب‌شرق همانند دیزباد و تایباد در خراسان رضوی وجود دارد. با این حال استان خراسان رضوی که به‌عنوان یکی از قطب‌های گردشگری، صنایع و

کشاورزی در ایران است باید کاهش گازهای گلخانه‌ای را به عنوان یکی از مسائل مهم در سال‌های آتی به شکل گام به گام مورد توجه قرار دهد.

مطالعات علمی انجام‌شده در طی سالیان متمادی نشان می‌دهد که هم توسعه اجتماعی و هم توسعه اقتصادی بسیاری از کشورها توسط پیامدهای تغییر اقلیم تهدید شده است. اسناد علمی ارائه شده توسط هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC) که تاکنون شش گزارش از سال ۱۹۹۰ منتشر کرده است، نشان داد که پیامدهای عدم توجه به تغییر اقلیم به‌طور فزاینده‌ای محیط زندگی انسان را بی‌ثبات می‌کند. آگاهی از این پیامدها برای تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌های سازگاری حیاتی است.

بر اساس یافته‌های اصلی این مطالعه، پیشنهادهایی برای تعدیل انتشار گازهای گلخانه‌ای و سازگاری با پیامدهای تغییر اقلیم در استان خراسان رضوی ارائه می‌شود. لازم است تا در تمامی برنامه‌های آتی استان تغییر اقلیم مورد توجه ویژه قرار گیرد. برای حصول از اطمینان برنامه‌ها لازم است تا پنج محور سیاست، مشارکت عمومی، اجرای برنامه، اراده سیاسی و نظارت بر برنامه‌های استان با تأکید بر لزوم ارائه پیوست تغییر اقلیم در کلیه طرح‌های استانی مورد توجه برنامه‌ریزان قرار گیرد. در مرحله نخست، سیاست اجرای برنامه‌ریزی آمایش فضایی و سازگاری با تغییر اقلیم امری حیاتی است. در این راستا دینفغان مربوطه همانند بخش‌های آب، کشاورزی، محیط‌زیست و منابع طبیعی باید خط‌مشی روشنی در مورد برنامه‌های مرتبط با مسائل زیست‌محیطی تدوین کنند. دوم، مشارکت جامعه در تصمیم‌گیری بسیار مهم است. سوم، برنامه‌ریزی آمایش فضایی و سازگاری با تغییر اقلیم باید از ابتدا به‌روشنی تعریف شود؛ زیرا در ابتدا تصور می‌شد که هیچ ارتباطی بین این دو وجود ندارد، اما مطالعات بسیاری به‌روشنی نشان داده‌اند که برای سازگاری با تغییر اقلیم باید برنامه‌ریزی فضایی نوآورانه در نظر گرفته شود. چهارم، اراده سیاسی انگیزه‌ای است که اقدام سیاسی را ایجاد می‌کند، این اقدام می‌تواند از یک مسیر توسعه حمایت کند. چرا که بسیار مهم است که در هر مرحله از توسعه از پشتوانه نیروی سیاسی برخوردار باشد. پنجم، فرآیند انطباق فضایی بدون مرحله نظارت کامل نمی‌شود. نظارت کمک می‌کند تا ابتکاراتی را که اهداف مورد نظر را برآورده می‌کنند و آن‌هایی که مطابق با اهداف مورد نظر عمل نمی‌کنند، مشخص شود، در نتیجه می‌توان بر حسب نوع بحران یا مخاطره، شرایط را مدیریت کرد.

هر نوع برنامه‌ی آمایشی نیازمند در نظر داشتن ملاحظات اقلیمی استان و به‌ویژه تغییر اقلیم و چشم‌انداز آینده استان از نظر پیش‌بینی فصلی و بین سالانه و پیش‌نگری‌های بلندمدت اقلیمی است. بنابراین آشکارسازی تغییر اقلیم آینده در استان خراسان رضوی یک ضرورت مهم به شمار می‌رود که باید نسبت به انجام آن همت گماشته شود. پس از آشکارسازی، اقدامات شامل دو راهبرد یا سیاست کلی است که در سطح جهانی نیز دنبال می‌شود. اول راهبردهای مبتنی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای که هم‌راستا با سیاست‌های کلان کشور در این زمینه پیش برود. گام دوم و بسیار مهم مسئله سازگاری با تغییر اقلیم است. سازگاری جنبه منطقه‌ای و محلی داشته و بنابراین استان خراسان رضوی نیز باید بر سازگاری‌های بومی خود با تغییر اقلیم تکیه نماید. بر این اساس با توجه به یافته‌های بخش اقلیم در سند حاضر لزوم توجه به تدوین و تهیه سه

برنامه استانی شامل: برنامه جامع مدیریت ریسک اقلیمی استان خراسان رضوی، برنامه عملیاتی اقدام تغییر اقلیم استان خراسان رضوی و برنامه سازگاری با تغییر اقلیم استان خراسان رضوی اساسی است.

مدیریت ریسک اقلیمی (CRM<sup>۱</sup>) رویکردی سازمان‌یافته از ترکیب رخدادها، روندها، پیش‌بینی‌ها و پیش‌نگری‌های اقلیمی در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با توسعه برای به حداقل رساندن منافع و به حداقل رساندن آسیب‌ها یا زیان‌های احتمالی است. هدف اصلی مدیریت ریسک اقلیمی، مدیریت ریسک در کل زنجیره خطر است. محورهای اصلی که در مدیریت ریسک اقلیمی که باید مورد توجه قرار گیرند در پنج دسته قابل بررسی هستند، که لازم است در برنامه‌های آتی استان خراسان رضوی نیز این محورها مورد توجه قرار گیرند. این پنج دسته عبارتند از: ۱- تقویت گفتگو و افزایش آگاهی در مورد رویکردهای جامع مدیریت ریسک اقلیمی و ضرر و زیان. برای مثال: از طریق برنامه‌هایی که به توسعه ظرفیت و تسهیل گفت‌وگو منجر می‌شود. این برنامه‌ها با مشارکت نهادهای مربوطه در سطوح ملی و پایین‌تر ارائه می‌شوند؛ ۲- بهبود رویکردها و روش‌های موجود برای ارزیابی ریسک مرتبط با اقلیم بر اساس روش‌های موجود در زمینه سازگاری با تغییر اقلیم و مدیریت ریسک بلافاصله (همانند ارزیابی ریسک و نیازسنجی پس از رخداد مخاطره آمیز)؛ ۳- حمایت از رویکرد جامع و انطباقی که جوامع، مقامات محلی و اقدامات ملی را به هم پیوند بزند؛ ۴- شناسایی شکاف‌ها و بسط مجموعه اقدامات موثر مدیریت ریسک اقلیمی برای مقابله با خطرات و ۵- ارائه شیوه‌های مناسب برای فعالیت‌ها و پروژه‌ها (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۱ب).

سازگاری شامل راهبردهایی برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم یا کاهش خطرات پیش‌بینی شده و یا قرار گرفتن در معرض آسیب‌پذیری‌های مرتبط با اقلیم است. سازگاری می‌تواند در پاسخ به شرایط محلی و نیازهای ذینفعان، انعطاف‌پذیر باشد. با توجه به عدم قطعیت‌های اقلیمی و اجتماعی-اقتصادی این اقدامات می‌تواند به تعهد بلندمدت راهبردهای انطباقی نیاز داشته باشد (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۱ب). در نهایت برنامه اقدام اقلیمی بر اساس شرایط موجود و پیش‌نگری‌های اقلیمی که بر بستر یک تفکر سیستمی بنا نهاده شده است می‌تواند بکارگیری شود.

از آنجایی که اقلیم و تغییرات آن زیربنای عملکردها و خدمات ضروری برای بسیاری از بخش‌ها است، توجه بیشتری به این بخش مورد نیاز است. در اینجا ما یک چارچوب مفهومی ایجاد کرده‌ایم که سامانه محیط زیست-کشاورزی-تجارت-انسانی و اجزای کلیدی آن را جدا می‌کند. همچنین برهمکنش‌ها پیچیده اقلیم را با هر یک از آن بخش‌ها آشکار می‌کند و نقش اقلیم و تغییرات آن را برجسته می‌کند. این فرآیند مؤلفه‌هایی اثرگذار را شناسایی کرده و به درک بهتر برهمکنش‌ها، مبادلات و هم‌افزایی با سایر بخش‌ها منجر شده است. بسیاری از اهداف توسعه پایدار (SDGs<sup>۲</sup>)، از جمله امنیت غذایی، آب، حفاظت حیات در خشکی و آب تحت تأثیر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم هستند. محرک‌های مستقیم اصلی تأثیر گذار در محیط زیست در حال حاضر تغییر کاربری زمین، بهره‌برداری بیش از حد از گونه‌ها، گونه‌های مهاجم و آلودگی آب، خشکی و هوا

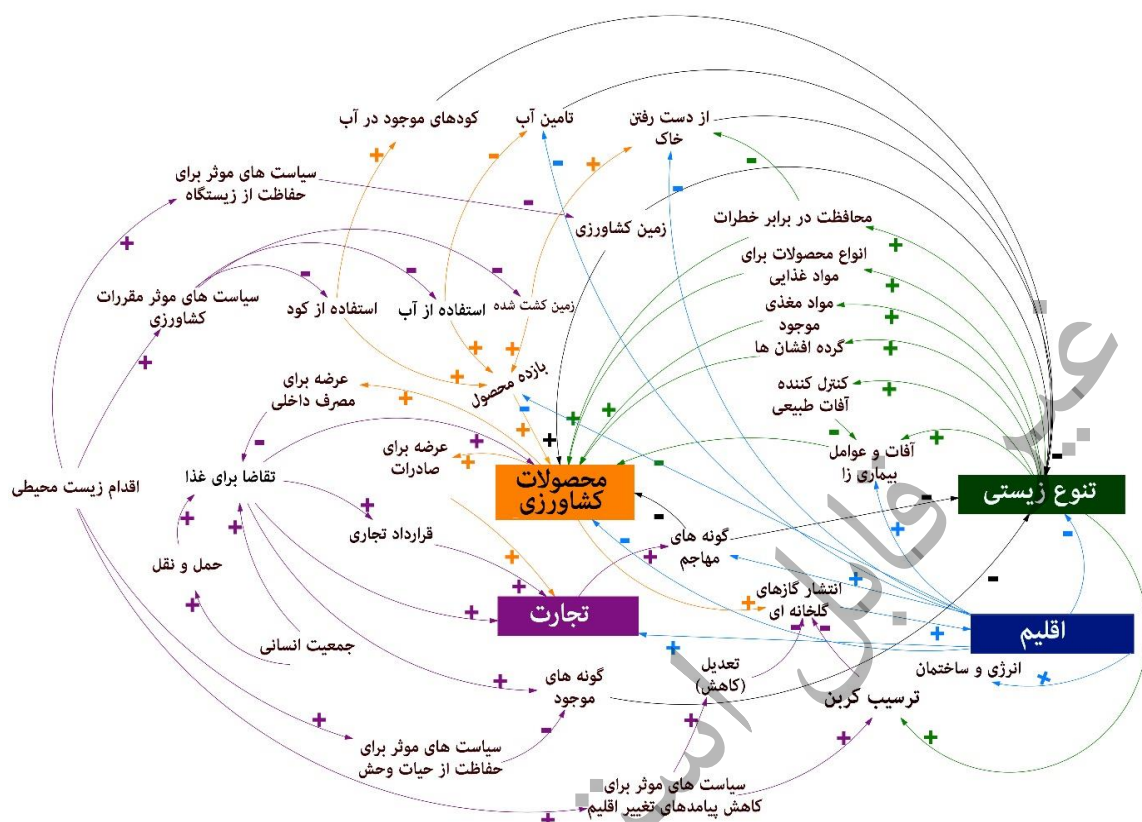
1 Climate Risk Management (CRM)

2 Sustainable Development Goals (SDGs)



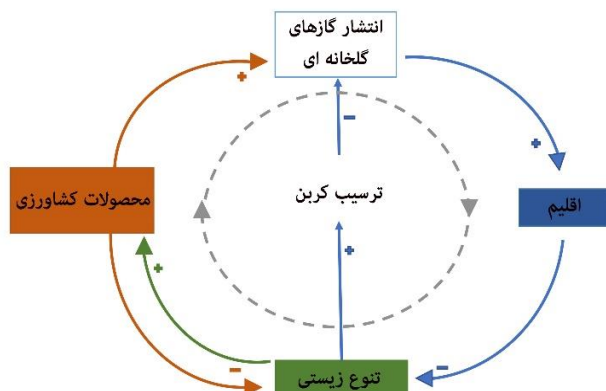
هستند. این دستکاری گسترده بشر در کره زمین عواقب جبران ناپذیری بسیاری را به همراه داشته است. تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسان که پیش‌بینی می‌شود محرک اصلی از بین رفتن تنوع زیستی در آینده نزدیک باشد یکی از جدی‌ترین تهدیدهای پیش رو بشر در هر نوع و سطحی از برنامه ریزی است. برای تسهیل در نظر گرفتن برهمکنش‌ها، مبادلات و هم‌افزایی بین اقلیم با سایر بخش‌های مرتبط با سند آمایش سرزمین یک رویکرد سیستمی برای ارائه چارچوب مفهومی مجموعه پیچیده و متقابل متغیرهایی که با هم ترکیب می‌شوند، لازم است. برای همین منظور توصیه‌های سیاستی و کاربردی مرتبط با اقلیم در شکل (۵۸) ارائه شده است.

برای درک بهتر تغییر اقلیم باید آن را به عنوان یک سامانه در نظر گرفت. اقلیم و تغییرات آن تأثیرات مهمی بر عوامل درون این سامانه دارد، که باعث ایجاد برهمکنش‌ها و همچنین تأثیرپذیری از آن‌ها می‌شود. فلش‌ها ارتباط بین متغیرها را نشان می‌دهند. فلش مثبت (+) نشان دهنده یک اثر کلی مثبت و فلش منفی (-) یک اثر کلی منفی است. رنگ‌ها، متغیرهایی هستند که تحت تأثیر تنوع زیستی (سبز) و کشاورزی (نارنجی) قرار دارند. اقلیم و تغییر اقلیم (آبی)؛ تجارت، سیاست و سایر محرک‌های انسانی (بنفش) و محرک‌های تغییر تنوع زیستی (سیاه) هستند.



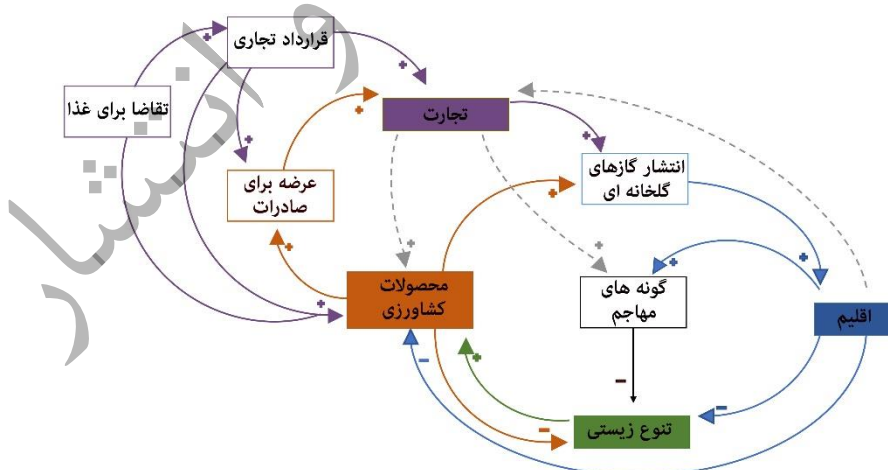
شکل ۵۶. چارچوب مفهومی ارتباط اقلیم با بخش‌های اثرگذار محیط زیست-کشاورزی-آب-تجارت-انرژی-ساختمان و انسان به منظور بکارگیری در برنامه‌های کاربردی و ارائه توصیه‌های سیاستی

تغییر اقلیم می‌تواند کشاورزی را مستقیماً تحت تأثیر قرار دهد. این تغییر می‌تواند از طریق تغییر در عوامل غیرزیستی مناسب برای رشد محصولات کشاورزی یا از طریق تغییر در فراوانی و شدت رخدادهای فرین اقلیمی (همانند بارش‌های سنگین، امواج گرمایی و سرمای، خشکسالی و بسیاری دیگر) صورت پذیرد. با این حال، تغییر اقلیم همچنین می‌تواند کشاورزی را به طور غیرمستقیم از طریق تأثیرات مرتبط بر تنوع زیستی تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، درک حلقه بازخورد بین تغییر اقلیم، کشاورزی، و تنوع زیستی (که با خطوط تیره خاکستری نشان داده شده است) برای دستیابی به اهداف امنیت غذایی و تنوع زیستی آینده کلیدی خواهد بود. اگرچه تغییر اقلیم ممکن است اثرات مثبتی برای کشاورزی داشته باشد، اما عموماً تصور می‌شود که این فقط در کوتاه مدت باشد و بیشتر تأثیرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی منفی است. فلش‌ها ارتباط بین متغیرها را نشان می‌دهند که هر فلش مثبت (+) نشان دهنده یک اثر کلی مثبت و فلش‌های منفی (-) یک اثر کلی منفی است. رنگ‌ها متغیرها را نشان می‌دهند. تنوع زیستی (سبز)، تولید کشاورزی (نارنجی) و اقلیم (آبی) هستند.



شکل ۵۷. برهمکنش اقلیم و تغییرات آن با کشاورزی و تنوع زیستی

فارغ از تأثیر مستقیم عرضه و تقاضا مرتبط با تجارت، تجارت محصولات غذایی می‌تواند به طور غیرمستقیم بر تنوع زیستی از طریق مسیرهای مختلف، از جمله تغییر در تولید کشاورزی، تغییر در انتشار گازهای گلخانه‌ای و گسترش گونه‌های مهاجم تأثیر بگذارد. بنابراین مدل مفهومی فوق را می‌توان به سامانه محیط زیست-کشاورزی-تجارت توسعه داد. تغییر اقلیم در یک نگاه خوش بینانه ممکن است تأثیرات مثبتی بر تولید مواد غذایی و تنوع زیستی در کوتاه مدت داشته باشد، اما به طور کلی انتظار می‌رود این تأثیر به ویژه در مقیاس‌های طولانی مدت بیشتر منفی باشد. فلش‌ها ارتباط بین متغیرها را نشان می‌دهند که هر فلش مثبت (+) نشان دهنده یک اثر کلی مثبت و فلش‌های منفی (-) یک اثر منفی کلی است. رنگ‌ها متغیرها را نشان می‌دهند. تنوع زیستی (سبز)، تولید کشاورزی (نارنجی)، اقلیم (آبی) و فعالیت‌های انسانی از جمله تجارت و سیاست (بنفش) همچنین محرک‌های تغییر تنوع زیستی (سیاه) هستند.



شکل ۵۸. برهمکنش اقلیم و تغییرات آن با کشاورزی، تنوع زیستی و تجارت

به احتمال زیاد درک پیچیدگی سامانه اقلیم و برهمکنش آن با سایر بخش‌ها به طور کامل غیرممکن خواهد بود. با این حال، ایجاد یک چارچوب مفهومی با استفاده از رویکرد سیستمی که پیش‌تر ارائه شد، عناصر کلیدی سیستم را قادر ساخته که نقش مهم تنوع زیستی، کشاورزی و آب را که تاکنون به خوبی در ارتباط با تغییر اقلیم مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند، برجسته کند. نکته مهم این است که با استفاده از این چارچوب در کنار گزارش اقلیم استان خراسان رضوی که پیش‌تر ارائه شد، می‌توانیم برخی از شکاف‌های سیاستی و کاربردی را برجسته‌تر کنیم. در این بخش، چهار توصیه سیاست محور و کاربردی را برای اقدامات آتی مرتبط با سند آمایش اقلیمی استان ارائه می‌نماییم.

**توصیه سیاستی ۱: گنجاندن محیط زیست در مطالعات کلان مقیاس در ارتباط با گرمایش جهانی و تغییر**

#### اقلیم

برنامه‌های تنوع زیستی به گونه ای تنظیم شوند که بتوان تاثیر واقعی کشاورزی بر محیط زیست را با در نظر گرفتن اقلیم و تغییرات آن ارزیابی کرد و پیامدهای آن را در نظر گرفت. این رویکردها و توسعه آتی آنها مستلزم همکاری در بین رشته‌ها برای بهره‌گیری از مجموعه داده‌ها، روش‌ها و رویکردهای مختلف مورد نیاز است.

**توصیه سیاستی ۲: بهبود در دسترسی و پوشش داده‌ها**

عدم دسترسی به داده‌های به روز و دسترسی محدود به داده‌هایی با کیفیت بالا برای مناطقی با پوشش جغرافیایی وسیع همانند استان خراسان رضوی مانع اصلی برای درک آمایش سرزمین است. مطالعاتی که در سطح آمایش هستند می‌توانند از طرق مختلفی، مانند عدم دسترسی به‌هنگام به داده‌های هواشناسی، داده‌های رادار، داده‌های مصرف و برداشت آب، پوشش طبقه بندی برای داده‌های تنوع زیستی و بسیاری دیگر به چالش کشیده شوند. این محدودیت‌ها به این معنی است که عناصر و پیوندهای خاصی از سامانه بهم پیوسته اقلیم، محیط زیست، کشاورزی و آب مورد مطالعه قرار نمی‌گیرند.

**توصیه سیاستی ۳: برهمکنش بخش‌های آب، انرژی و منابع طبیعی با تغییر اقلیم و بازخوردهای آن**

پیامدهای تغییر اقلیم بر کشاورزی و تنوع زیستی امروزه بر همگان آشکار شده است. با این حال، تحقیقات بیشتری در مورد بازخوردهای حاصل از پیامد تغییر اقلیم بر بخش‌هایی همانند آب و انرژی مورد نیاز است. استفاده از رویکرد سیستمی، همانطور که در اینجا نشان داده شده است، می‌تواند در شناسایی مراحل کلیدی درگیر (همانند کشاورزی و محیط زیست) و در نتیجه بازخوردهایی که باید در نظر گرفته شوند، مفید باشد. از آنجایی که پیامدهای تغییر اقلیم در آینده بیشتر خواهد شد، درک نقش این بازخوردها برای درک خطرات امنیت انرژی و آب ضروری خواهد بود.



#### توصیه سیاستی ۴: رویکردهای بین رشته‌ای را باید تشویق و فعال کرد

ابزارها و روش‌های مختلفی برای پاسخگویی به سؤالات مربوط به زیرمجموعه‌های مرتبط با اقلیم وجود دارد. برای درک بهتر و کامل‌تر پیچیدگی سامانه طبیعی و انسانی که برنامه ریزی بر بستر آن انجام می‌شود، یک رویکرد مشترک بین رشته‌ای ضروری است. این به این دلیل است که در حال حاضر هیچ رویکرد واحدی وجود ندارد که بتواند روش‌های هر حوزه تحقیقاتی را یکپارچه کند، بنابراین یک چالش بزرگ، تعیین مناسب‌ترین روش‌هایی است که می‌توان در حین درک مفروضات و محدودیت‌های آن رشته یا بخش با یکدیگر ترکیب کرد. بر این اساس، در دسترس بودن داده‌های تنوع زیستی، کشاورزی، منابع طبیعی، داده‌های مرتبط با بخش‌های خدمات، انرژی، سکونتگاه و آب برای گنجاندن آن‌ها در مطالعات کلان امری ضروری است. با توجه به یافته‌های اخیر راهبردهای زیر برای بخش‌های مختلف در سطح استان خراسان رضوی پیشنهاد می‌گردد:

#### بخش کشاورزی

- تهیه، تنظیم و به‌روزرسانی برنامه تقویم کشت تحت شرایط تغییر اقلیم
- توجه به شیوع آفات مقاوم به دما و افزایش گونه‌های جانوری خسارت‌زا به محصولات کشاورزی
- توسعه کشاورزی کم آب بر و سازگار با دمای بالا و رطوبت پایین
- کاهش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی آب بر
- توجه به پیش‌بینی‌های دهه‌ای و پیش‌نگری در توسعه بخش‌های زراعی، باغبانی، دام‌پروری و شیلات

#### بخش آب

- ارتقای آگاهی بخشی عمومی در زمینه چشم‌انداز وضعیت آب استان
- ارتقای دانش فنی و فناوری‌های متناسب با مصرف بهینه آب در بخش‌های مسکونی، صنعتی و کشاورزی
- مدیریت پایدار منابع تأمین آب استان و تدوین برنامه چشم‌انداز تقاضای آب استان با توجه به تغییر اقلیم
- توسعه همکاری‌های ملی و بین‌المللی در زمینه تأمین آب و انتقال تجارب در زمینه سازگاری با کم‌آبی

#### بخش صنعت

- توسعه صنایع کم آب بر در استان
- استفاده از انرژی‌های پاک در تأمین انرژی صنایع

- توجه به افزایش میانگین دما در دهه‌های آتی در ایجاد صنایع جدید همانند نیروگاه‌های تولید

برق

### بخش خدمات عمومی

- برنامه‌هایی جهت افزایش آگاهی عمومی نسبت به تغییر اقلیم و روش‌های سازگاری با آن
- حمایت از ساخت‌وساز سبز
- استفاده از وسایل نقلیه برقی
- بهبود بهره‌برداری انرژی در ساختمان‌های مسکونی
- بهسازی ساختمان‌های مسکونی و اداری و نصب فناوری‌های کارآمد در مصرف انرژی
- ارتقای نظام سلامت و تدوین برنامه‌های اقدام پزشکی در زمان رخداد‌های فرین اقلیمی همانند امواج گرمایی

برای درک بهتر از هر یک مباحث ارائه شده در این بخش جهت استفاده در سایر بخش‌های مرتبط با آمایش سرزمین در جدول زیر مهم‌ترین نقشه‌های تولید شده جهت استفاده و تلفیق در سایر بخش‌های ارائه شده است.

ردیف	عنوان نقشه یا جدول	صفحه گزارش	مورد استفاده برای بخش
۱	جدول ۸. مجموع تبخیر ماهانه و نسبت تبخیر به بارش سالانه	۱۲	آب، کشاورزی، صنعت
۲	جدول ۹. میانگین دمای ماهانه	۲۵	آب، کشاورزی، صنعت، انرژی
۳	جدول ۱۱. فرین‌های دمایی ایستگاه‌های شاخص هواشناسی همدید	۶۱	آب، کشاورزی، صنعت، انرژی
۴	جدول ۲۴. فرین‌های بارشی ایستگاه‌های شاخص هواشناسی همدید	۱۰۸	آب، کشاورزی
۵	جدول ۲۷. درصد ماه‌های خشک و مرطوب در ایستگاه‌های شاخص هواشناسی همدید	۱۵۰	آب، کشاورزی
۶	جدول ۳۰. میانگین تندی میانگین باد ماهانه در ایستگاه‌های نماینده هواشناسی همدید	۱۸۰	انرژی
۷	جدول ۳۱. میانگین تندی بیشینه باد ماهانه در ایستگاه‌های نماینده هواشناسی همدید	۱۸۱	انرژی
۸	جدول ۳۲. درصد تندی میانگین روزانه باد در ایستگاه‌های همدید	۱۹۴	انرژی
۹	جدول ۳۴. میانگین ساعت آفتابی ماهانه در ایستگاه‌های نماینده هواشناسی همدید	۱۹۷	انرژی
۱۰	جدول ۳۸. درصد پهنه‌های اقلیمی دومارتن در استان خراسان رضوی	۲۰۴	گردشگری، کشاورزی
۱۱	جدول ۳۹. وسعت پهنه‌های اقلیمی کوپن در دوره فعلی (۱۴۰۰-۱۳۷۰) و آینده (۱۴۰۲-۱۴۲۴) برحسب درصد	۲۰۵	گردشگری، کشاورزی

ردیف	عنوان نقشه یا جدول	صفحه گزارش	مورد استفاده برای بخش
۱۲	نقشه ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶. میانگین دمای فصول بهار، تابستان، پاییز، زمستان و سالانه در استان خراسان رضوی	۲۷-۲۵	آب، کشاورزی
۱۳	شکل ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴. روند متوسط پهنه‌ای دمای بهار، تابستان، پاییز، زمستان و میانگین استان خراسان رضوی	۳۰-۲۸	آب، کشاورزی
۱۴	نقشه ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱. روند دمای بهار، تابستان، پاییز، زمستان و سالانه در استان خراسان رضوی	۳۱-۳۳	آب، کشاورزی
۱۵	شکل ۱۵. بی‌هنجاری دمای فصلی در متوسط پهنه ای استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴	۶۱	آب، کشاورزی، صنعت، انرژی
۱۶	نقشه ۶۱. مجموع بارش سالانه در استان خراسان رضوی	۷۳	آب، کشاورزی
۱۷	شکل ۲۸. پیش‌نگری بارش فصلی در متوسط پهنه‌ای استان خراسان رضوی تا افق ۱۴۲۴	۹۵	آب، کشاورزی
۱۸	نقشه ۹۷. خشکسالی کشاورزی فصل زمستان در استان خراسان رضوی	۱۱۴	آب، کشاورزی، جمعیت
۱۹	نقشه ۱۰۶. خشکسالی هیدرولوژیکی سالانه در استان خراسان رضوی	۱۱۸	آب، کشاورزی، جمعیت
۲۰	نقشه ۱۱۱. شدت خشکسالی سالانه در استان خراسان رضوی	۱۳۵	آب، کشاورزی، جمعیت
۲۱	نقشه ۱۲۰. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو خوش‌بینانه شاخص خشکسالی کشاورزی تا افق ۱۴۲۴	۱۴۵	آب، کشاورزی، جمعیت
۲۲	نقشه ۱۲۱. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی کشاورزی تا افق ۱۴۲۴	۱۴۵	آب، کشاورزی، جمعیت
۲۳	نقشه ۱۲۲. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو خوش‌بینانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تا افق ۱۴۲۴	۱۴۶	آب، کشاورزی، جمعیت
۲۴	نقشه ۱۲۳. درصد فراوانی رخداد خشکسالی تحت سناریو بدبینانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تا افق ۱۴۲۴	۱۴۶	آب، کشاورزی، جمعیت
۲۵	نقشه ۱۲۸. میانگین تندی باد میانگین سالانه در استان خراسان رضوی	۱۵۵	انرژی
۲۶	نقشه ۱۳۱. طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی با روش کوپن گایگر در دوره فعلی	۱۸۰	گردشگری، کشاورزی
۲۷	نقشه ۱۳۲. طبقه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی با روش کوپن گایگر در دوره آینده	۱۸۰	گردشگری، کشاورزی

## منابع

۱. رضیعی، طیب. (۱۳۹۶). منطقه اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سده بیستم. فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۲)، ۴۱۹-۴۳۹.
۲. زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۹). پیش‌نگری چشم‌انداز بلندمدت دمای آینده ایران مبتنی بر برون‌داد پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP۶). فیزیک زمین و فضا، ۴۶(۳)، ۵۸۳-۶۰۲.
۳. زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). پیش‌نگری دوره‌های خشک و مرطوب متوالی در ایران مبتنی بر برون‌داد همادی مدل‌های تصحیح‌شده اریبی CMIP۶. فیزیک زمین و فضا، ۴۷(۳)، ۵۶۱-۵۷۸.
۴. زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۱). مدیریت ریسک اقلیمی (CRM) و ضرورت تدوین و اجرای برنامه های سازگاری ملی (NAPS). آب و توسعه پایدار، ۹(۱)، ۸۵-۹۴.
۵. زرین، آذر؛ صالح‌آبادی، نرگس؛ مفیدی، عباس؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۱). بررسی فصلی گرد و خاک در شمال شرق ایران و شبیه‌سازی عددی رخدادهای گرد و خاک فرین با مدل WRF-CHEM. فیزیک زمین و فضا، ۴۸(۲)، ۴۴۰-۴۲۱.
۶. کاویانی، محمدرضا؛ علیجانی، بهلول (۱۳۸۸). مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، ۵۸۲ صفحه. تهران.
۷. مفیدی؛ عباس (۱۳۸۳). اقلیم شناسی سینوپتیکی بارش های سیل زا با منشأ منطقه دریای سرخ در خاورمیانه، تحقیقات جغرافیایی، ۱۹ (۴)، ۷۱-۹۳.
۸. مفیدی؛ عباس، جعفری، سجاد (۱۳۹۰). بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲ (۵)، ۴۵-۱۷.
9. Dai, A. (2011). Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D12).
10. Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45-65.
11. IPCC (2012). Summary for policymakers in: Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge and New York, NY, pp. 3–21.
12. IPCC (2014). Summary for policymakers in: Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability part A: Global and sectoral aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge.
13. IPCC (2021). Summary for policymakers Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press (2021).
14. Raveh-Rubin, S., & Wernli, H. (2016). Large-scale wind and precipitation extremes in the Mediterranean: dynamical aspects of five selected cyclone events. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 142(701), 3097-3114.
15. Raveh-Rubin, S., & Wernli, H. (2016). Large-scale wind and precipitation extremes in the Mediterranean: dynamical aspects of five selected cyclone events. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 142(701), 3097-3114.



16. Vicente-Serrano, S. M., & Beguería, S. (2016). Comment on ‘Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI)’ by James H. Stagge et al. *International Journal of Climatology*, 36(4), 2120-2131.

عبدالغفور  
فایز استناد و انتشار