




Studying the effect of changes in dew point temperature on extreme precipitation in the North West of Iran

Rostamian, M.¹  | Mirmousavi, S.H.²  | Raispour, K.³ 

1. **Corresponding Author**, Phd Student in Climatology, Department of Geography, Zanjan University, Zanjan, Iran. E-mail: mroostamian1394@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: hossein.mousavi047@gmail.com
3. Associate Professor, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: Raispour@znu.ac.ir

(Received: 24 Jul 2023, Revised: 21 Sep 2023, Accepted: 25 Oct 2023, Published online: 25 Oct 2023)

Abstract

In the present research, using the daily precipitation data of 479 meteorological and rain gauge stations in the north west of Iran, the relationship between the changes in the dew point temperature and the precipitation in this region was investigated. For this purpose, the Classification and Regression Trees method was used to determine the effective temperature class in the extreme precipitations and the geographical weighted regression was used to identify the significant areas. The results of this research showed that there is a direct and significant relationship between these two variables and with the increase in the dew point temperature, the intensity of the extreme precipitation also increases in the 90th, 95th and 99th percentiles. The results of the Classification and Regression Trees showed that different dew temperatures (low and high values) both play a role in the occurrence of extreme precipitation in the North West of Iran, but in very intense extreme precipitation (precipitation above the 99th percentile), the role of high dew temperatures is greater than low values. In addition to this, the analysis of the ratio of changes in dew point temperature (in degrees Celsius) and extreme precipitation (in percent) in the 90th percentile based on the final output of the regression model showed that with each degree increase in dew point temperature, 3.41% increases the intensity of extreme precipitation in In the north west of Iran, this value was estimated at 4.08% in the 95th percentile and 4.34% in the 99th percentile.

Keywords: Dew point temperature, Extreme precipitation, North West of Iran.

Cite this article: roostamian, M., Mirmousavi, S. H., & Raispour, K. (2023). Studying the effect of changes in dew point temperature on extreme precipitation in the North West of Iran. Journal of the Nivar, 47(122-123), 95-115. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.408545.1256>



مطالعه اثر تغییرات دمای نقطه شبنم بر بارش های فرین در منطقه شمال غرب ایران

مهناز رستمیان^۱ | سید حسین میرموسوی^۲ | کوهزاد ریسی پور^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: mrostamian1394@yahoo.com

۲. دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: hossein.mousavi047@gmail.com

۳. دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: Raispour@znu.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۳، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۰۸/۰۳)

چکیده

در پژوهش حاضر با استفاده از داده های بارش روزانه تعداد ۴۶۹ ایستگاه هواشناسی و باران سنجی منطقه شمال غرب ایران نسبت به بررسی رابطه میان تغییرات دمای نقطه شبنم با بارش های فرین در این منطقه اقدام شده است. برای این منظور از روش رگرسیون درخت تصمیم برای تعیین طبقه دماهایی موثر در بارش های فرین و رگرسیون موزون جغرافیایی برای شناسایی پهنه های معنی دار استفاده گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ارتباط مستقیم و معنی دار بالایی بین این دو متغیر وجود دارد و با افزایش دمای نقطه شبنم شدت رخداد بارش های فرین نیز در همه صدک ها (۹۰، ۹۵، ۹۹) افزایش پیدا می کند. نتایج حاصل از رگرسیون درخت تصمیم نشان داد دماهای شبنم مختلف (مقادیر پایین و بالا) تواما در رخداد بارش های فرین در منطقه شمال غرب ایران نقش دارند ولی در بارش های فرین خیلی شدید (بارش های بالای صدک ۹۹) نقش دماهای شبنم بالا بیشتر از مقادیر پایین بوده است. هم چنین بخش جنوب غربی منطقه مورد مطالعه، بالاترین درجه همبستگی را نسبت به سایر بخش ها دارا می باشد. این بخش منطبق بر پهنه هایی است که بیشترین رخداد بارش ها را در خود دارد. این موضوع نشان می دهد که بارش های فرین متاثر از دمای نقطه شبنم در مناطقی رخ می دهند که فراوانی بارش در آن مناطق بالا می باشد و احتمال رخداد سیلاب ناشی از این نوع بارش ها نیز در این بخش بیشتر از سایر بخش ها می باشد.

کلمات کلیدی: دمای نقطه شبنم، بارش های فرین، منطقه شمال غرب ایران.

۱. مقدمه

یکی از مهم ترین چالش هایی که امروزه کشورها با آن روبرو هستند اثر تغییرات اقلیمی بر روی پدیده های هواشناسی و هیدرولوژیکی است. چرا که این پدیده ها (نظیر سیل) از ابعاد مختلف فعالیت های انسانها را تحت تاثیر قرار می دهد و بعضا باعث بروز خسارات اقتصادی جدی بر آنها می شود. نتایج مطالعات هیات بین الدول تغییر اقلیم بر اساس مدل های حاصل از گزارش ششم نشان می دهد که فراوانی بارش های فرین از سال ۱۹۵۰ تا سال ۲۰۲۱ در سطح جهان بطور متوسط ۲۲ درصد افزایش پیدا کرده است و با ادامه روند گرمایش جهانی تا سال ۲۱۰۰ تا ۴۵ درصد احتمال افزایش آن پیش بینی شده است

(هیات بین الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۱). افزایش بارش های فرین در بسیاری از موارد منجر به بروز سیلاب های مخرب شده و خسارت های مالی و جانی زیادی را در بخش های مختلف جهان به مردم و دولتها تحمیل کرده است. بر اساس مطالعات سازمان هواشناسی جهانی خسارت های اقتصادی سیلاب های ناشی از بارش های فرین در سطح جهان از ۲/۲ میلیارد دلار در دهه ۱۹۷۹-۱۹۷۰ به ۴/۱ میلیارد دلار در دهه ۲۰۱۹-۲۰۱۰ افزایش پیدا نموده است. بر اساس این مطالعه قاره آسیا از نظر خسارت های جانی و اقتصادی بعد از آفریقا دومین جایگاه را در جهان دارد. در این قاره بیشترین خسارات ناشی از سیلاب در

استناد: رستمیان، مهناز؛ میرموسوی، سید حسین؛ و رئیس پور، کوهزاد. (۱۴۰۲). مطالعه اثر تغییرات دمای نقطه شبنم بر بارش های فرین در منطقه شمال غرب ایران، مجله نیوار،

DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.408545.1256>

نسبت به دمای هوا، در توجیه تغییرات بارش باشد (داریو و لولناردو، ۲۰۲۱؛ علی و میسر، ۲۰۱۸).

از نظر علمی رابطه بین دما و بارش بر اساس معادله کلایزیوس-کلاپیرون قابل بررسی است بر این مبنا که با افزایش هر یک درجه سلسیوس دمای هوا، حدوداً ۷ درصد به ظرفیت نگهداری رطوبت در جو افزوده می شود (سریداهارا و تاکمی، ۲۰۲۰). در صورتی که فشار بخار آب در جو نیز با همین نسبت بتواند افزایش پیدا کند این موضوع می تواند منجر به بارش های شدید شود (اوتار و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج پژوهش های مختلف است نشان می دهد هر چند با افزایش دما بارش های شدید نیز افزایش قابل توجهی داشته داده است ولی بصورت کلی تغییرات بارش کاملاً منطبق با تغییرات دما بر اساس معادله مذکور نیست (هرگل و بلک، ۲۰۱۵ و اسکیلیرز و همکاران، ۲۰۱۶). در برخی از مطالعات مقادیر تغییرات بارش شدید نسبت به این معادله بیشتر و در برخی دیگر کمتر می باشد (واسکو و همکاران، ۲۰۱۸ و ویب و پیوتروسکی، ۲۰۱۸). برای این منظور برخی از پژوهشگران با بررسی هایی که در ایستگاههای متعدد هواشناسی در سراسر جهان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که استفاده از دمای نقطه شبنم بجای دمای هوا برای بررسی اثر تغییرات دما بر رخداد بارش های شدید نتایج بهتری را ارائه می دهد به نحوی که مقادیر به دست آمده نسبت به مقادیر مطرح شده در معادله کلایزیوس-کلاپیرون بسیار نزدیک می باشد (علی و همکاران، ۲۰۱۸ و داریو و لولناردو، ۲۰۲۱). بوی و همکاران (۲۰۱۹) نیز معتقدند دمای سطح نمی تواند شاخص خوبی برای بررسی تغییرات رطوبت جو و در نتیجه بارش باشد چرا که تغییرات آن در مناطق مختلف تابع متغیرهای گوناگون بوده و اثرات مختلفی بر تغییرات رطوبت و بارش دارد که بصورت دقیق قابل سنجش نیست در حالی که دمای نقطه شبنم ضمن تاثیرگذاری نسبتاً همگن بر ظرفیت رطوبتی هوا، عامل تراکم را نیز تحت تاثیر قرار داده و بنابراین رفتار بارش را کنترل می کند. در زمینه رابطه تغییرات دما و تاثیر آن بر بارش مطالعات مختلفی در جهان انجام گرفته است از این قبیل پژوهش ها می توان به لیندرینک و میجگارد (۲۰۰۸) اشاره نمود که در مطالعات خود نشان دادند که در مناطق گرمسیری جهان تغییرات دمای نقطه شبنم بیشتر از

کشورهایی نظیر چین، هند، بنگلادش پاکستان و میانمار می باشد. به عنوان مثال در ۹۰۷ رخداد سیلاب کشور چین در دوره ۱۹۷۰-۲۰۱۹ تعداد ۹۰۶۲۴ مرگ و میر و ۵۹۸ میلیون دلار خسارت اقتصادی ثبت شده است. در بین کشورهای آسیایی ایران با ۶۱ میلیون دلار خسارت اقتصادی در طی ۵۰ سال اخیر در گروه کشورهای با ریسک متوسط طبقه بندی شده است (سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۲۳). منطقه شمال غرب ایران به دلیل قرارگیری در دامنه ارتفاعات مختلف و هم چنین قرارگیری در مسیر سامانه های بارانزای غربی، یکی از کانون های مهم بارشی کشور محسوب می شود. بخش قابل توجهی از این بارشها را بارش های فرین تشکیل می دهد. نتایج تعدادی از محققین نشان می دهد در سالهای اخیر روند بارش های فرین در این ناحیه افزایش پیدا کرده است (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۹ و مسعودیان و دارند، ۱۳۹۲). به عنوان نمونه می توان به بارش سنگین ۲۴ فروردین ۱۳۹۶ اشاره نمود که ۴۸ نفر کشته و ۳۰۰۰ میلیارد خسارت اقتصادی ایجاد نمود (حسینی صدر و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین ضرورت دارد اثر متغیرهای دمایی نظیر دمای نقطه شبنم در تغییرات بارش های فرین در این ناحیه مورد بررسی قرار گیرد.

افزایش میانگین دما یکی از مهم ترین نمودهای تغییر اقلیم می باشد که در پژوهش مختلف های در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است و نتایج اکثر این مطالعات نشان داده است که میانگین دما در طی صد سال اخیر افزایش پیدا کرده است (کولینز و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از مهم ترین پدیده های هواشناسی که تحت تاثیر افزایش دما ویژگیهای رفتاری آن عوض شده است، بارش است (اینگرام، ۲۰۱۶). افزایش دما می تواند با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت جوی، منجر به افزایش شدت بارندگی شده و این موضوع باعث تغییرات در الگوهای بارندگی شود (آلن و اینگرام، ۲۰۰۲). از این رو، درک رابطه بین دما و بارندگی شدید نقش مهمی در شناسایی اثرات تغییرات آب و هوا بر بارندگی دارد. دمای نقطه شبنم یکی از مهم ترین عوامل در رسیدن بخار آب به نقطه تراکم و وقوع بارش است. به همین خاطر در سالهای اخیر بسیاری از پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که تغییرات این متغیر می تواند نقش موثرتری

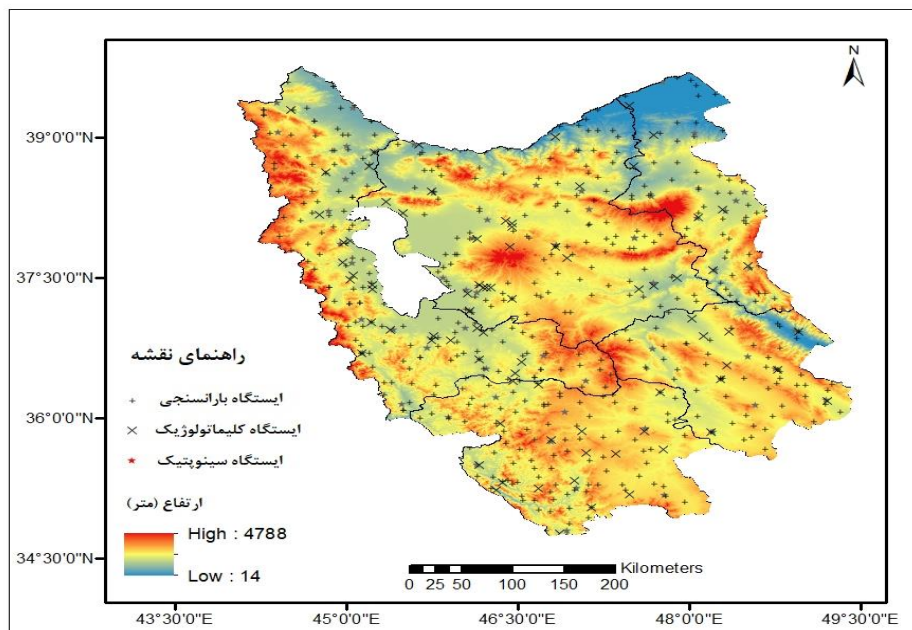
در استان اردبیل اشاره نمود. برخی دیگر از مطالعات با رویکرد واکاوی تغییرات زمانی و مکانی دمای نقطه شبنم انجام شده است در همین راستا منتظری و یقینی (۱۳۹۸) در ۱۶۲ ایستگاه هواشناسی کشور تغییرات زمانی و مکانی این پارامتر را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند دمای نقطه شبنم در دهه های اخیر روند کاهشی داشته و این موضوع نشانده خشک شدن تدریجی محتوی رطوبتی ایران است. مطالعات قرخانی و قهرمان (۱۳۸۹) نیز از همین نوع است. پژوهش های بسیار کمی در زمینه ارتباط دمای نقطه شبنم با متغیرهای اقلیمی انجام شده که در این زمینه می توان به ناظم السادات و همکاران (۱۳۸۰) اشاره نمود که در مطالعات خود به بررسی رابطه دمای نقطه شبنم روزانه و دمای کمینه روز بعد در منطقه جهرم فارس پرداختند و نتیجه گرفتند که با توجه به مقادیر دمای نقطه شبنم و رطوبت نسبی، می توان وقوع سرمازدگی را در حد مطلوبی پیش بینی نمود.

فراوانی رخداد بارش فرین در دهه های اخیر در ایران بویژه در نواحی کوهستانی نظیر شمال غرب ایران که به دلیل وجود شیب های زیاد، مستعد برای رخداد سیلاب می باشند افزایش معنی داری پیدا کرده است و این موضوع باعث شده است تا میزان خسارات جانی و مالی نیز در این مناطق بیشتر شود بنابراین ضرورت دارد تا تاثیر تغییرات دما بر ویژگی های بارشی در این مناطق مورد بررسی قرار گیرد و راهکارهای مناسب برای مدیریت صحیح بحران های ناشی از این قبیل رخدادها ارائه گردد. بر این اساس پژوهش حاضر در راستای پژوهش های جهانی با هدف بررسی ارتباط تغییرات دمای نقطه شبنم بر بارش فرین در منطقه شمال غرب ایران انجام گرفته است.

۲. داده ها و روش ها

داده های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده های بارش روزانه تعداد ۵۷ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک، ۵۹ ایستگاه هواشناسی کلیما تولوژیک، ۴۷ ایستگاه بارانسنجی وزارت نیرو و ۲۰۶ ایستگاه بارانسنجی سازمان هواشناسی می باشد که آمار آنها در دوره ۲۰۲۰-۱۹۸۰ از سازمان هواشناسی و وزارت نیرو اخذ و مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱).

دمای هوا با رخداد بارشهای فرین در رابطه است. نتایج مطالعات دانجینگ و همکاران (۲۰۱۹) در چین نیز حاکی از آن است که هر چند دقیقا تغییرات دما و اثر آن بر بارش به میزان تعیین شده در معادله کلازیوس-کلاپیرون در ایستگاههای مورد مطالعه در چین منطبق نیست با این وجود دمای نقطه شبنم همراه با نم ویژه در افزایش بارش های شدید در چین موثر بوده و با این متغیر ارتباط قوی و معنی داری دارد. پژوهش های زانگ و همکاران (۲۰۱۹) در تعداد زیادی از ایستگاههای شاخص در سراسر جهان نشان داد با افزایش هر درجه کلون دمای نقطه شبنم شدت بارش ها ۵/۶ درصد افزایش پیدا می کند در حالی که این میزان برای دمای هوا در هر درجه کلون ۳/۵ درصد است. بنابراین مقادیر دمای نقطه شبنم با معادله کلازیوس-کلاپیرون تطابق بهتری دارد و برای توجیه اثر تغییرات دما بر بارش های فرین مناسب تر است. در پژوهشی که اخیرا توسط اشنايدر و نجيب (۲۰۲۲) در ایالات متحده آمریکا انجام شد مشخص گردید تغییرات بارش شدید با دمای نقطه شبنم شدت در ارتباط است. ایشان اعلام کردند میزان افزایش بارش های فرین ناشی از تغییرات دمای نقطه شبنم در طی سال بسیار متغیر است. بیشترین میزان تغییرات در فصل تابستان و بعد پاییز رخ داده است. از مطالعات دیگر در این زمینه می توان به میدا و همکاران (۲۰۱۲) در نواحی حاره ای، مولنار و همکاران (۲۰۱۵) در سویس، علی و میشرا (۲۰۱۷) در هند، دروینسکی و همکاران (۲۰۱۸) در نواحی مدیترانه ای اشاره نمود. مروری بر مطالعات داخلی نشان می دهد که مطالعات بسیار محدودی در ارتباط با دمای نقطه شبنم انجام شده است که اکثرا این مطالعات در زمینه روشها و مدل های تخمین این پارامتر می باشد به عنوان نمونه می توان به مطالعه حسینی و همکاران (۱۴۰۱) اشاره نمود که با استفاده مدل های شبکه عصبی و رگرسیون تطبیقی چند متغیره نسبت به تخمین این پارامتر در ایستگاه هواشناسی خوی پرداخته اند و نهایتا به این نتیجه رسیدند که رگرسیون تطبیقی تخمین های بهتری را نسبت به مدل شبکه عصبی نشان می دهد. از این قبیل مطالعات می توان به تیموری و همکاران (۱۳۹۹) در استان سیستان و بلوچستان، پرویز (۱۴۰۰) در ایستگاه های رشت، یزد و ارومیه، اصولی و همکاران (۱۴۰۱)



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و ارتفاعی ایستگاههای مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

گرفت سپس موقعیت جغرافیایی ایستگاهها مورد بررسی قرار گرفت و از بین ایستگاههایی که از موقعیت جغرافیایی مشابهی برخوردار بودند با اولویت ایستگاههای سینوپتیک و سپس کلیماتولوژیک انتخاب و در پژوهش مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

ملاک هایی که در انتخاب ایستگاهها مورد نظر قرار گرفت به این صورت بود که ابتدا به منظور یکسان سازی طول دوره آماری، ایستگاههای که از سال ۱۹۸۰ به بعد دارای آمار بودند از سایر ایستگاهها تفکیک گردید و سپس کیفیت داده ها از نظر نقصان آماری و وجود داده های پرت مورد ارزیابی قرار گرفت و پردازش اولیه جهت بهبود کیفی و کمی روی داده ها انجام

جدول ۱. ایستگاههای مورد استفاده به تفکیک استان در منطقه شمال غرب ایران

مجموع ایستگاهها	ایستگاه بارن سنجی		ایستگاه کلیماتولوژیک	ایستگاه سینوپتیک	استان
	سازمان هواشناسی	وزارت نیرو			
۱۳۰	۵۴	۴۱	۱۶	۱۹	آذربایجان شرقی
۱۴۲	۶۲	۴۵	۱۸	۱۷	آذربایجان غربی
۳۸	۱۹	۱۱	۴	۴	اردبیل
۶۲	۲۶	۲۱	۷	۸	زنجان
۹۷	۴۵	۲۹	۱۴	۹	کردستان
۴۶۹	۲۰۶	۱۴۷	۵۹	۵۷	مجموع

منبع: نگارندگان

داده های شبکه ای بارش بر اساس روش های میانبایی مناسب اقدام گردید. برای این منظور آرایه ای به ابعاد ۱۴۶۱۰ سطر (زمان بر حسب روز) و ۴۶۹ (مکان، ایستگاه هواشناسی) تشکیل گردید. با توجه به پژوهش های متعددی که در زمینه استفاده از روشهای میانبایی برخی از اقلیم شناسان انجام داده اند روش

برخی از پژوهشگران داخلی معتقدند جهت مطالعه بهتر متغیرهای اقلیمی بهتر است داده های ایستگاهی را بر اساس روش های میانبایی به داده های شبکه ای تبدیل کرد (مسعودیان، ۱۳۸۴ و عساکره و رزمی، ۱۳۹۳). در پژوهش حاضر نیز جهت بررسی دقیق ارتباط بین تغییرات دمای نقطه شبنم و بارش نسبت به تهیه

تغییر فرمول برای صدک مذکور استفاده شده است. در پژوهش حاضر جهت شناسایی الگوهای حاکم بر روابط بین دمای نقطه شبنم بر بارش فرین از مدل رگرسیون درخت تصمیم گیری استفاده شده است. این مدل بر این اساس استوار است که مسائل پیچیده را می توان به زیرمسائل کوچک تر تقسیم و نتایج را ترکیب کرده و از این طریق راحت تر حل کرد. الگوریتم CART، به عنوان یکی از متداول ترین روش های درخت تصمیم گیری، اولین بار توسط توسط بریمن معرفی شد (بریمن، ۲۰۱۷). زمانی که خروجی های درخت به صورت اعداد حقیقی باشند به آن درخت رگرسیونی و زمانی که خروجی های درخت، به صورت گسسته باشند به آن درخت دسته بندی اطلاق می شود (میشل، ۱۹۷۷). شاخص های مختلفی برای تولید و ایجاد شاخه در درختان تصمیم گیری وجود دارد که در این پژوهش با اجرای متعدد مدل و بررسی میزان خطاها شاخص حداقل مربعات خطا (LST) مناسب تشخیص داده شد. معادله این شاخص به صورت زیر می باشد:

$$SS(t) = \sum_{i=1}^{N_t} (y_i(t) - \bar{y}(t))^2 \quad (4)$$

در معادله شماره ۴: $SS(t)$ به عنوان شاخصی برای ایجاد و تولید درخت تصمیم رگرسیونی، N_t تعداد رکوردها در گره برگ t ، $y_i(t)$ متغیر هدف (مقدار خروجی) در گره برگ t و $\bar{y}(t)$ میانگین مقادیر متغیر هدف برای کل گره ها می باشد. زمانی متغیر ورودی S مناسب ترین متغیر برای ایجاد شاخه در گره t می باشد که مقدار $Q(S,t)$ بیشینه شود:

$$Q(S,t) = SS(t) - SS(t_R) - SS(t_L) \quad (5)$$

در معادله فوق: $SS(t_L)$ میزان $SS(t)$ در شاخه سمت چپ و $SS(t_R)$ میزان $SS(t)$ در شاخه سمت راست گره هستند.

جهت محاسبه میزان تاثیر دمای نقطه شبنم بر بارش فرین و تخمین نرخ تغییرات هر کدام از این دو متغیر نسبت به هم، معادلات رگرسیونی مختلفی توسط پژوهشگران خارجی در نقاط مختلف جهان استفاده شده است. یکی از این معادلات که کارایی آن در مطالعات متعدد مورد تایید قرار گرفته است معادله

میانابایی کریجینگ را روشی بهینه برای میانابایی بارش در ایران معرفی نموده اند (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳ و عساکره، ۱۳۸۷). بر این اساس در پژوهش حاضر نیز با بررسی انواع روشهای میانابایی و آزمون آنها بر اساس میانگین کمترین مربعات خطا، روش میانابایی کریجینگ همگانی با مدل نیم پراش خطی برای تبدیل داده های ایستگاهی به شبکه ای انتخاب شد. جهت محاسبه نیم پراش خطی از معادله زیر استفاده شد (عساکره، ۱۳۸۷):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

در رابطه فوق: $\gamma(h)$: مقدار نیمه تغییرنا برای جفت نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند. $n(h)$: تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند. $z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه x و $z(x_i + h)$: مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد. جهت تعیین اندازه یاخته ها فاصله متوسط ایستگاهها بر اساس روش فاصله اقلیدسی بر مبنای معادله زیر محاسبه گردید:

$$D_{euc} = (\sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

جهت تعیین اندازه مناسب یاخته ها نیز یک چهارم متوسط فاصله ایستگاهها در نظر گرفته شد (مسعودیان، ۱۴۰۱). بر این اساس اندازه مناسب 3×3 هزار متر تشخیص و میانابایی بر روی داده ها انجام شد.

در پژوهش حاضر به منظور استخراج روزهایی با بارش فرین از صدکهای ۹۰، ۹۵ و ۹۹ بر مبنای معادله زیر استفاده شده است (بین و سون، ۲۰۱۷):

(۳)

$$R90p_j = \sum_{W=1}^W RR_{wj} \quad \text{where } , RR_{wj} > RR_{wn}90$$

در معادله ۳: RR_{wj} مقدار بارش روزانه در روزهای بارانی (دست کم بارش یک میلی متر) در دوره j ام است و $RR_{wn}90$ صدک ۹۰ام بارش روزهای بارانی در دوره مبنای مورد مطالعه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) است. برای محاسبه صدک های ۹۵ و ۹۹ هم با

رگرسیون است که اخیراً توسط اشنایدر و نجیب (۲۰۲۲) در

ایالات متحده آمریکا استفاده شده است که در پژوهش حاضر نیز از روش مذکور استفاده شده است. معادله مدل رگرسیونی که برای تخمین رابطه بین داده های بارش فرین صدک مورد نظر با دمای نقطه شبنم استفاده شده است بصورت زیر می باشد:

$$\log(P_{99,95,90\text{-day},i,t}) = \alpha_0 + \alpha_1 T_{\text{dew},i,t} \quad (6)$$

جهت محاسبه مقدار تغییرات دمای نقطه شبنم و تاثیر آن بر مقدار بارش فرین (مثلاً هر درجه افزایش دمای نقطه شبنم چه مقدار باعث افزایش یا کاهش بارش فرین می شود) نیز از معادله زیر استفاده شده است:

(۷)

$$\begin{aligned} \text{scaling}(\%) &= 100\% \left(\exp \left\{ \log \left[\frac{P_{99,95,90\text{-day}} | (T_{\text{dew}} + \Delta T_{\text{dew}})}{P_{99,95,90\text{-day}} | T_{\text{dew}}} \right] \right\} - 1 \right) \\ &= 100\% [\exp(\alpha_1) - 1] \end{aligned}$$

در معادلات فوق $T_{\text{dew},i,t}$ دمای نقطه شبنم بارش مورد نظر $P_{99,95,90}$ بارش فرین صدک مورد نظر می باشد.

در نهایت جهت بررسی رابطه فضایی ارتباط تغییرات دمای نقطه شبنم با بارش فرین از رگرسیون موزون استفاده شده است. رگرسیون موزون برای برآورد پارامترهای هر نقطه از مشاهدات اطراف آن نقطه استفاده می شود که به مشاهدات نزدیک تر وزن بیشتر و به مشاهدات دورتر وزن کمتری داده می شود. رگرسیون موزون جغرافیایی از رابطه زیر محاسبه شده است (عساکره و همکاران):

$$Y = \beta_0 (u_i, v_i) + \sum_k \beta_k (u_i, v_i) X_{ik} + e_i \quad (8)$$

در فرمول فوق (u_i, v_i) مختصات نقطه نام در مکان می باشد. متغیرها از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\hat{\beta} (u_i, v_i) = (X^T W (u, v) X^{-1} X^T W (u, v) \quad (9)$$

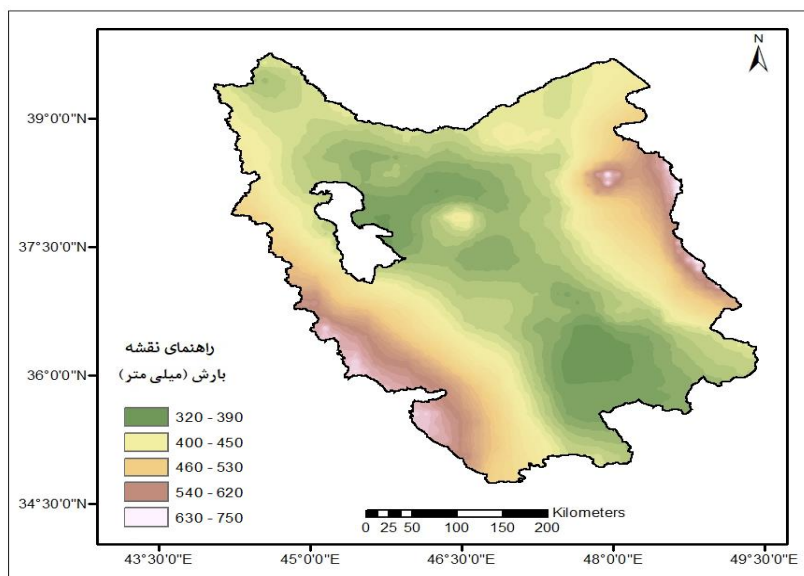
که در آن $\hat{\beta} (u, v)$ برآوردی از β و $W (u, v)$ ماتریس وزن ها می باشد.

۳. بحث و نتایج

بررسی توزیع مقادیر بارش در منطقه شمالغرب ایران نشان می دهد که دامنه تغییرات فضایی بارش در این ناحیه بسیار شدید است و مناطق جنوب غربی و بخش هایی از شرق این منطقه بیشترین میانگین سالانه بارش را به خود اختصاص داده اند. در بخش هایی از مناطق مرکزی میانگین بارش بسیار کم شده و در جنوب به کمترین میزان خود می رسد (شکل ۲). بررسی توزیع مقادیر بارندگی نشان می دهد که بیشترین مقادیر در دامنه بادگیر کوهستان های زاگرس قرار دارد که این موضوع نقش و اهمیت ارتفاعات در افزایش بارش در این منطقه را نشان می دهد ضمن اینکه نتایج برخی از پژوهش های داخلی نیز نشان داده است که وجود کوهستان های مرتفع نظیر زاگرس، سهند و سبلان نقش موثری در افزایش بارش در منطقه شمال غرب ایران دارد (عساکره و رزمی، ۱۳۹۷؛ رضیعی و عزیزی، ۱۳۸۶). از ویژگی های بارش منطقه شمالغرب بالا بودن ضریب تغییرات آن (۲۰/۹۵) می باشد (جدول ۲) که این موضوع حاکی از آن است که در کنار پهنه های بارشی زیاد نواحی با بارش کم نیز قرار گرفته است و در بارش منطقه عوامل مختلف مثل ارتفاع، قرارگیری در مسیر سامانه های جوی بارانزا نقش مهمی دارند که این موضوع در پژوهش های متعددی که در این رابطه انجام شده مورد توجه واقع شده است (عساکره و رزمی، ۱۳۹۰، جهانبخش اصل و ذولفقاری، ۱۳۸۰ و خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۵).

جدول ۲. ویژگی‌های آماری یاخته‌های بارشی در صدک‌های مختلف مجموع میانگین سالانه منطقه شمال غرب ایران طی دوره‌ی آماری (۱۹۸۰-۲۰۲۰)

سال	میانگین	درصد ضریب تغییرات	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
۲۰۲۰-۱۹۸۰	۴۳۵/۸۹	۲۰/۹۵	۹۱/۳۰	۱/۲۱	-۰/۶۴
صدک ۹۰	۹/۹۵	۱۸/۵۲	۳/۳۴	۰/۱۹	-۱/۱۶
صدک ۹۵	۲۲/۹۱	۱۶/۵۲	۳/۸۶	۱/۱۴	-۱/۱۲
صدک ۹۹	۴۸/۷۹	۱۲/۴۷	۵/۰۸	۰/۶۴	-۰/۴۱



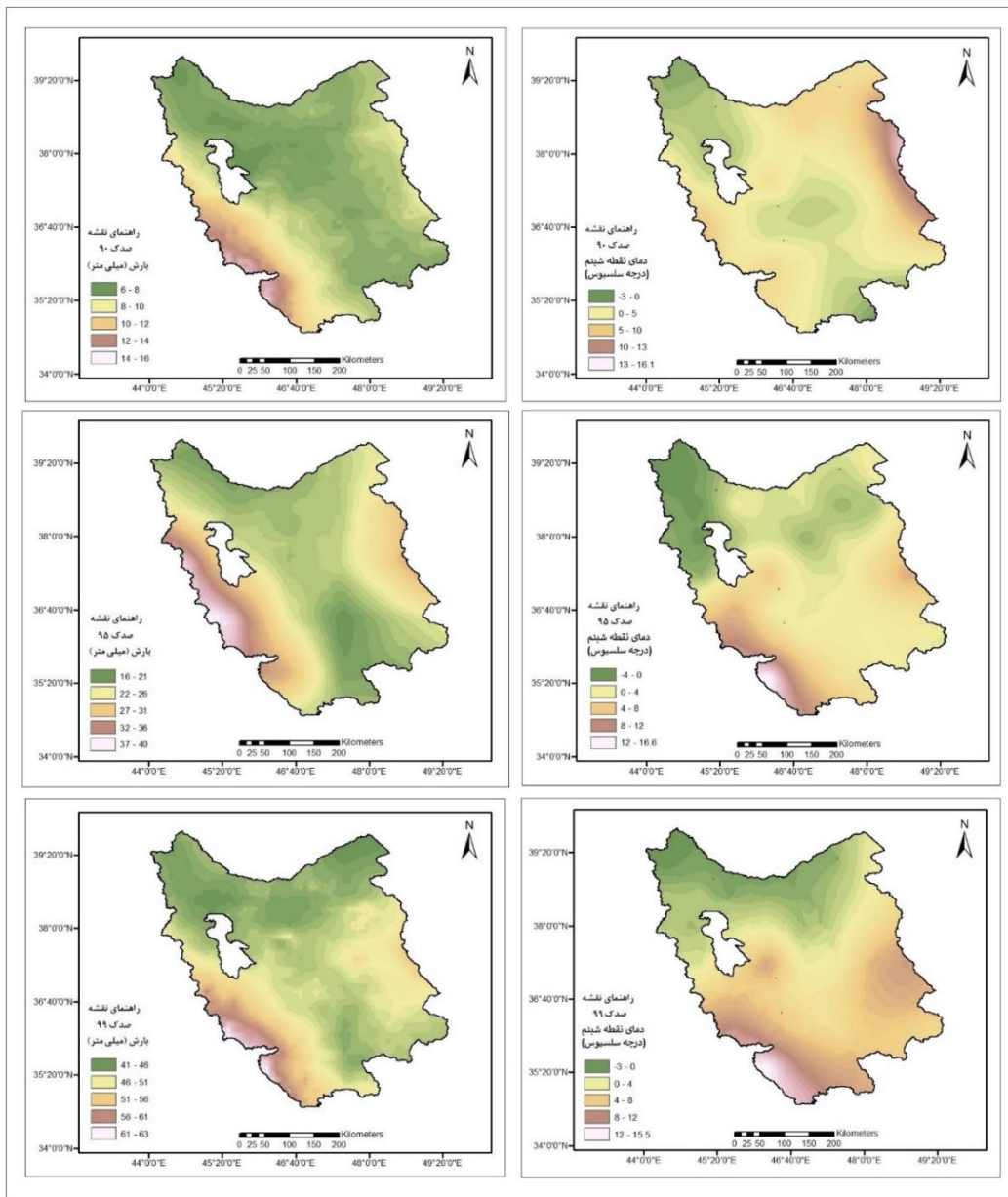
شکل ۲. نقشه و نمودار میانگین بارش سالانه منطقه مورد مطالعه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) (منبع: نگارندگان)

کشیدگی در صدک ۹۹ نسبت به سایر صدکها کمتر می باشد و این موضوع حاکی از آن است که بارش های خیلی شدید در گستره مکانی محدودتری اتفاق می افتد (جدول ۲). بررسی آماری دمای نقطه شبنم حاکی از آن است که اکثر روزهای بارشی صدک های ۹۰، ۹۵ و ۹۹ دارای دمای نقطه شبنم نسبتا بالایی هستند و این موضوع نشان می دهد بارش های فرین منطقه شمال غرب عمدتا در دماهای نقطه شبنم بالا اتفاق می افتند. در این رابطه نتایج پژوهش های لندریک و میجگارد (۲۰۱۰) و واسکو و شارما (۲۰۱۵) نیز حاکی از تاثیر افزایش دمای نقطه شبنم در رخداد بارش های فرین است. بررسی نقشه های پراکنده گی رخداد بارش های فرین در منطقه شمال غرب نشان می دهد این نوع بارش ها با شدت های متفاوت در بخش های مختلف این منطقه در طی دوره مورد مطالعه اتفاق افتاده است. اما بارش های فرین خیلی شدید عمدتا در بخش های خاصی نظیر جنوب غرب منطقه در استان کردستان، بخش غربی استان

در پژوهش حاضر جهت بررسی اثر تغییرات دمای نقطه شبنم بر مقادیر بارش های منطقه شمالغرب از صدک های مختلف استفاده شده است. بر این اساس در طی دوره مورد مطالعه با مشخص نمودن کلیه یاخته ها در هر روز بارشی، یاخته در صدک مورد نظر جدا شده و ضمن ترسیم نقشه بارشی صدک مورد نظر، داده های هر یاخته تبدیل به عدد شد تا در تحلیل های رگرسیونی مورد استفاده قرار گیرد. در گام بعدی داده های نقطه شبنم برای یاخته های بارشی مورد نظر استخراج گردید و برای بررسی و تحلیل های بعدی تبدیل به نقشه گردید (شکل ۳). بررسی ویژگی های آماری بارش های هر سه صدک مورد مطالعه نشان می دهد که نسبت به میانگین کل بارش منطقه شمال غرب، بارش های فرین در هر سه صدک مورد مطالعه، ضریب تغییرات و انحراف معیار کم تری دارند این موضوع بیشتر مربوط به مشخص بودن آستانه های این نوع بارش ها می باشد که برخلاف کل بارش ها، از دامنه کم تری برخوردار است. میزان

منطقه رخداد بارش های فرین از شدت کم تری نسبت به بخش های جنوب غرب و شرق برخوردار است (شکل ۳).

آذربایجان غربی و بخش شرقی منطقه در جنوب استان اردبیل و شرق استان زنجان رخ داده است. در راستای شمال تا جنوب این



شکل ۳. نقشه بارش های فرین و دمای نقطه شبنم صدک های ۹۵، ۹۹ درصد منطقه مورد مطالعه (۱۹۸۰-۲۰۲۰)

در مناطقی رخ داده است که بالاترین مقادیر بارش های فرین را دارند و این موضوع نشان می دهد که بارش فرین بالا در این منطقه عمدتاً در دماهای نقطه شبنم بالا اتفاق می افتند (شکل ۳). شاید عامل بالا بودن میزان دمای نقطه شبنم در شرق منطقه شمال غرب ایران را بتوان به نزدیکی این بخش به دریای خزر و

بررسی نقشه های مربوط به دمای نقطه شبنم روزهای بارش فرین در صدک های مورد مطالعه نشان می دهد که در همه صدک ها بیشترین میزان دمای نقطه شبنم در بخش های شرقی و جنوب غربی بوده و کمترین مقادیر در نیمه شمالی منطقه قرار دارد. نکته قابل تامل این است که بیشترین پهنه ها با مقادیر نقطه شبنم بالا

بالا رفتن میزان رطوبت نسبی در این ناحیه ارتباط داد. در این رابطه نتایج مطالعات ورمتر و همکاران (۲۰۲۲) در نواحی ساحلی جنوبشرق ایالات متحده آمریکا نشان داد که نواحی نزدیک به منابع رطوبتی نظیر دریاها به دلیل بالا بودن رطوبت دارای دمای نقطه شبنم بیشتری نسبت به نواحی دیگر هستند. بالا بودن میزان دمای نقطه شبنم در جنوبغرب این منطقه هم می تواند مربوط به بالا بودن میزان رطوبت نسبی این منطقه در مقایسه با سایر بخش ها باشد چرا که این بخش در مسیر سامانه هایی قرار دارد که رطوبت دریای مدیترانه را با خود همراه می آورند.

در پژوهش حاضر به منظور بررسی رابطه بین دمای نقطه شبنم با بارش های فرین در منطقه شمال غرب ایران در گام نخست از مدل رگرسیون درختی استفاده شد. این مدل کارایی مناسبی در تعیین میزان اثرگذاری یک متغیر بر روی متغیر دیگر در مطالعات محیطی و اقلیمی دارد و استفاده از آن در آشکار سازی میزان اثر بخشی بخش های مختلف یک یا چند متغیر مستقل بر روی متغیر

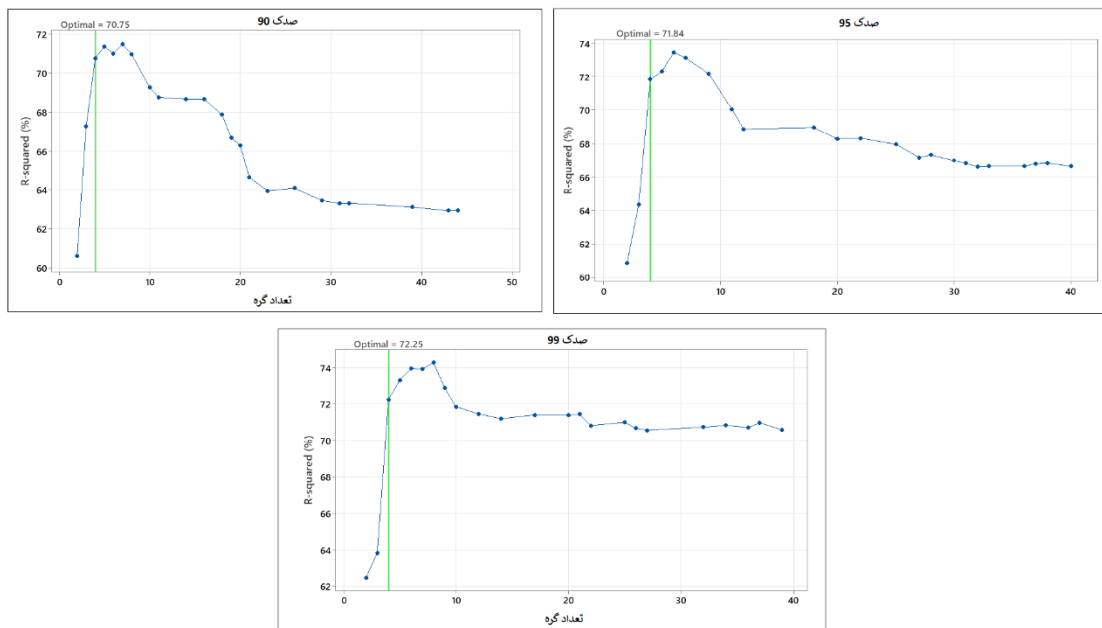
وابسته توسط پژوهشگران مختلف توصیه شده است (وروانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ مظفری و همکاران، ۱۳۹۳ و صمدیان فرد و پناهی، ۱۳۹۷). برای استفاده از این مدل بایستی ابتدا میزان کارایی مدل را مورد آزمون قرار گیرد تا از مناسب بودن این مدل برای داده های مورد استفاده اطمینان حاصل گردد (زارعی و همکاران، ۱۳۹۶). برای این منظور در پژوهش حاضر از پنج روش پر کاربرد و رایج استفاده گردید و نتایج آن بر روی هر سه صدک مورد بررسی، استخراج شد (جدول ۳). نتایج آزمون نیکویی برازش مدل رگرسیونی در صدک های مورد بررسی نشان داد که با توجه به همه آماره های مورد بررسی این مدل کارایی مناسبی برای بررسی رابطه بین تغییرات دمای نقطه شبنم بر روی بارش فرین در منطقه شمال غرب دارد. علی رغم تایید صحت کارایی مدل برای همه صدک های مورد مطالعه، صدک ۹۹ برازش بهتری را نسبت به سایر صدک ها نشان می دهد (جدول ۳).

جدول ۳. آزمون سنجش نکویی برازش مدل رگرسیون درختی برای رابطه بین دمای نقطه شبنم با بارش های فرین در صدک های ۹۵، ۹۰ و ۹۹

آماره سنجش	صدک ۹۰		صدک ۹۵		صدک ۹۹	
	ارزیابی	آموزش	ارزیابی	آموزش	ارزیابی	آموزش
٪ ضریب تعیین (R^2)	۷۰/۷۵	۷۱/۱۵	۷۱/۸۴	۷۲/۲۰	۷۲/۲۵	۷۲/۹۴
جذر مربعات خطا (RMSE)	۳/۶۱	۳/۳۴	۳/۱۱	۳/۰۳	۳/۲۸	۳/۱۲
میانگین مربعات خطا (MSE)	۱۸/۲۱	۱۷/۶۳	۱۰/۱۴	۹/۶۶	۷/۵۷	۷/۴۳
میانگین قدر مطلق انحراف (MAD)	۲/۳۳	۲/۲۱	۲/۴۲	۲/۲۴	۲/۱۶	۲/۰۸
میانگین درصد مطلق خطا (MAPE)	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲

صدک مشخص گردید در گره سوم بالاترین معنی داری برای این صدک ها وجود دارد و بر این اساس مدل رگرسیونی اجرا شد (شکل ۴).

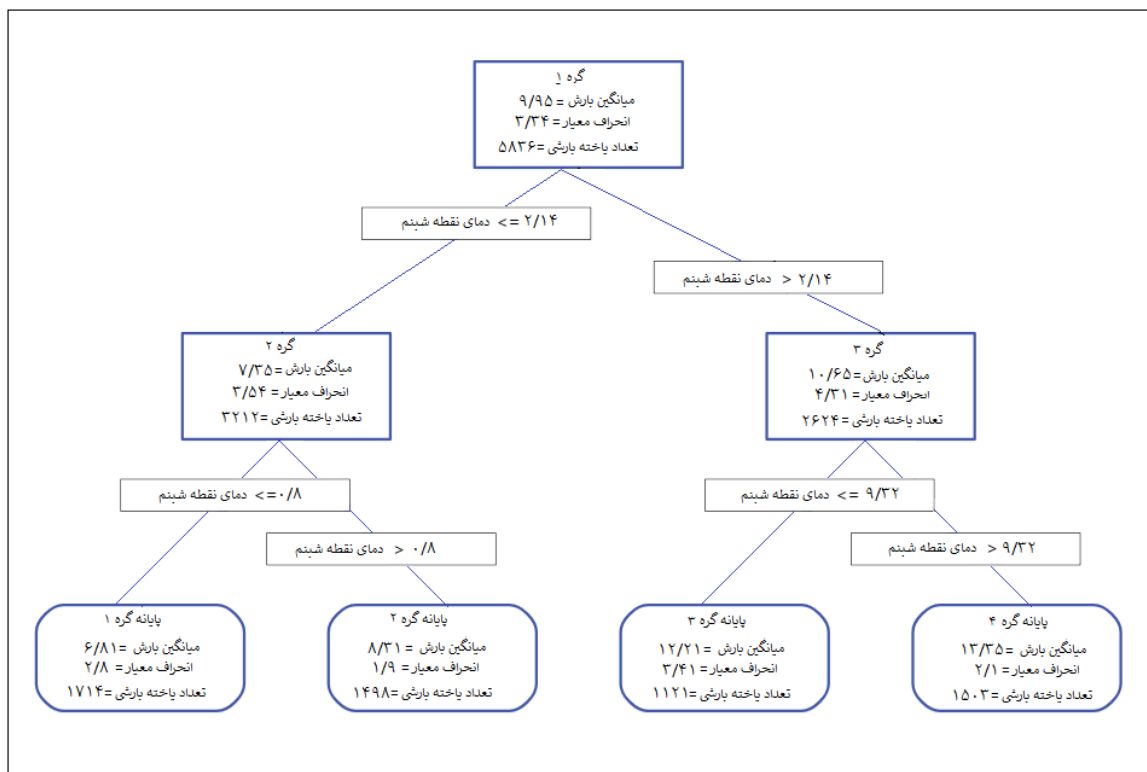
برای ایجاد ساختار درختی مناسب لازم است تا تعداد گره های بهینه برای پیاده سازی مدل را تعیین گردد. برای این منظور با اجرای متوالی مدل و بررسی خروجی های آن برای هر سه



شکل ۴. نمودار تعداد بهینه گره های درخت رگرسیونی رابطه دمای نقطه شبنم و بارش فرین در صدک های ۹۵،۹۰ و ۹۹

۹/۹۵ میلی متر دارای انحراف معیار ۳/۳۴ می باشد که نشان می دهد دامنه تغییرات بارش در این گروه نسبتاً زیاد می باشد. بررسی رابطه رگرسیونی بین دمای نقطه شبنم با یاخته های بارشی این صدک نشان می دهد اولین دمای تعیین کننده در رفتار بارش، آستانه دمایی ۲/۱۴ درجه سلسیوس است به نحوی که در گره دوم (دمای مساوی یا کمتر از این آستانه) تعداد ۳۲۱۲ یاخته با میانگین ۷/۳۵ میلی متر و در گره سوم با دمای نقطه شبنم بالاتر از این آستانه ۲۶۲۴ یاخته با میانگین بارش ۱۰/۶۵ میلی متر تراکم پیدا کرده است. بنابراین می توان چنین استنباط نمود که سهم دماهای نقطه شبنم بالا هر چند نسبت به دماهای نقطه شبنم پایین در شکل گیری بارش های فرین در منطقه شمال غرب دارای تعداد یاخته های بارشی کم تری هستند ولی وجود ۴۵ درصد از یاخته های بارش فرین در دماهای بالاتر از ۲/۱۴ درجه نشان دهنده نقش برجسته دماهای بالاتر از صفر در رخداد بارش های فرین در این منطقه است (شکل ۵).

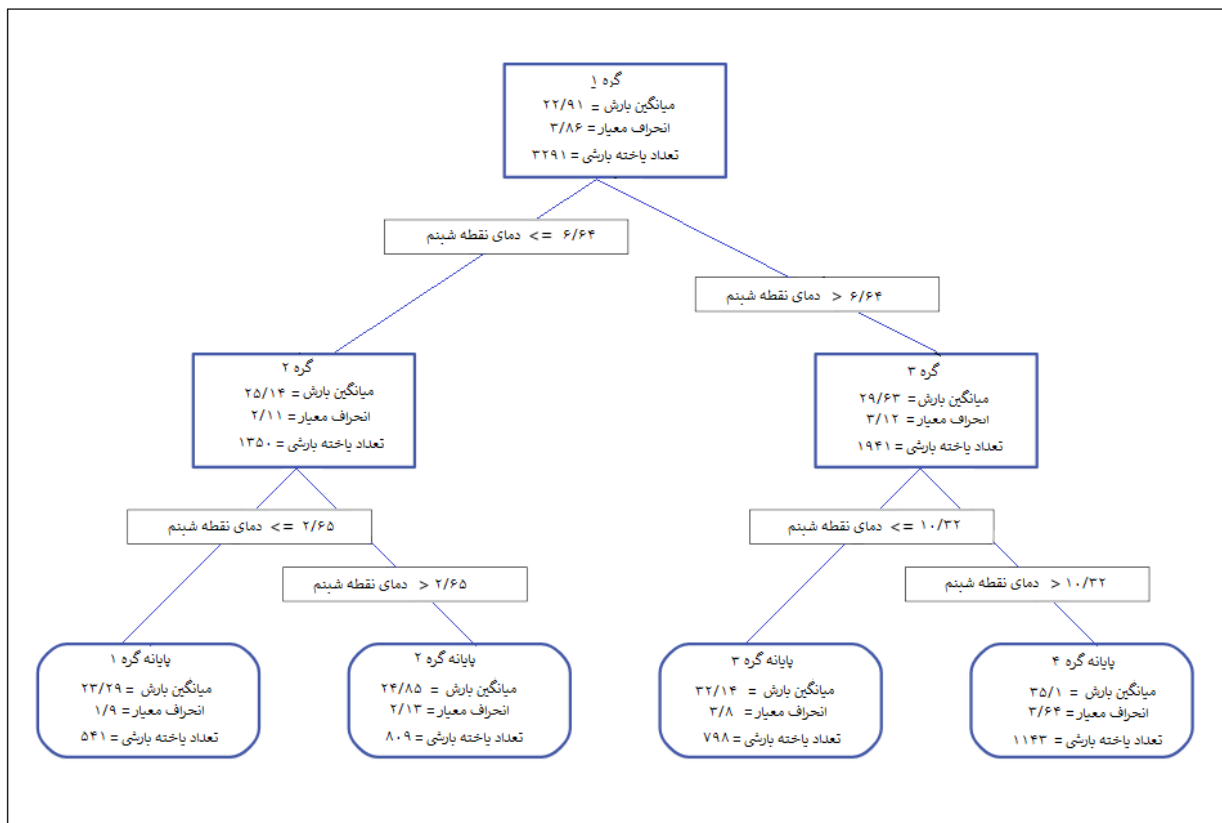
مهم ترین خروجی مدل رگرسیون درختی، نمودار درختی است. درخت طبقه بندی و رگرسیون (CART)، یک مدل پیش بینی کننده است که توضیح می دهد چگونه می توان مقادیر یک متغیر نتیجه را بر اساس مقادیر دیگر پیش بینی کرد. خروجی این مدل یک درخت تصمیم است که در آن هر شاخه از گره اصلی یک تقسیم در یک متغیر پیش بینی کننده است و هر گره انتهایی حاوی یک پیش بینی برای متغیر نتیجه است (اورلوسکی، و سنویراتنه، ۲۰۱۱). در پژوهش حاضر پس چندین بار اجرای مدل و ارزیابی خروجی های آن جهت انتخاب روش مناسب برای استخراج گره ها و ترسیم نمودار درختی، روش حداقل مربعات خطا روش مناسبی تشخیص داده شد و بر اساس آن نمودار درخت رگرسیونی هر سه صدک مورد مطالعه ترسیم گردید (شکل ۵-۷). بررسی نتایج حاصل از نمودار صدک ۹۰ نشان می دهد بارش های فرین این گروه بیشترین تعداد یاخته های بارشی را در طی دوره مورد مطالعه به خود اختصاص داده است (۵۸۳۶ یاخته). این صدک با میانگین بارش



شکل ۵. نمودار درخت رگرسیونی رابطه دمای نقطه شبنم و بارش فرین در صدک ۹۰ در منطقه شمال غرب ایران

شبنم بالاتر از میانگین سهم بیشتری در بارش های شدیدتر در منطقه شمال غرب داشته اند. در پایانه گره ها هم همین موضوع دقیقاً مشاهده می شود به نحوی که در پایانه اول گره ۲ (با آستانه دمایی کمتر از ۲/۶۵ درجه سلسیوس) با میانگین بارش ۲۳/۲۹ میلی متر تعداد یاخسته ها کمتر از نصف تعداد یاخسته های پایانه چهارم گره سوم (با آستانه دمایی بیشتر از ۱۰/۳۲ درجه سلسیوس) می باشد که میانگین بارش ۳۵/۱ میلی متر دارد (شکل ۶). از نتایج تحلیل رگرسیون درختی در این صدک نیز می توان چنین استنباط کرد که بارش های سنگین در منطقه شمال غرب ایران زمانی اتفاق می افتد که دمای نقطه شبنم بایستی از آستانه دمایی لازم (در این پژوهش ۱۰/۳۲ درجه سلسیوس) عبور کند و ظرفیت رطوبتی لازم برای این شدت از بارش ها فراهم شود (شکل ۶).

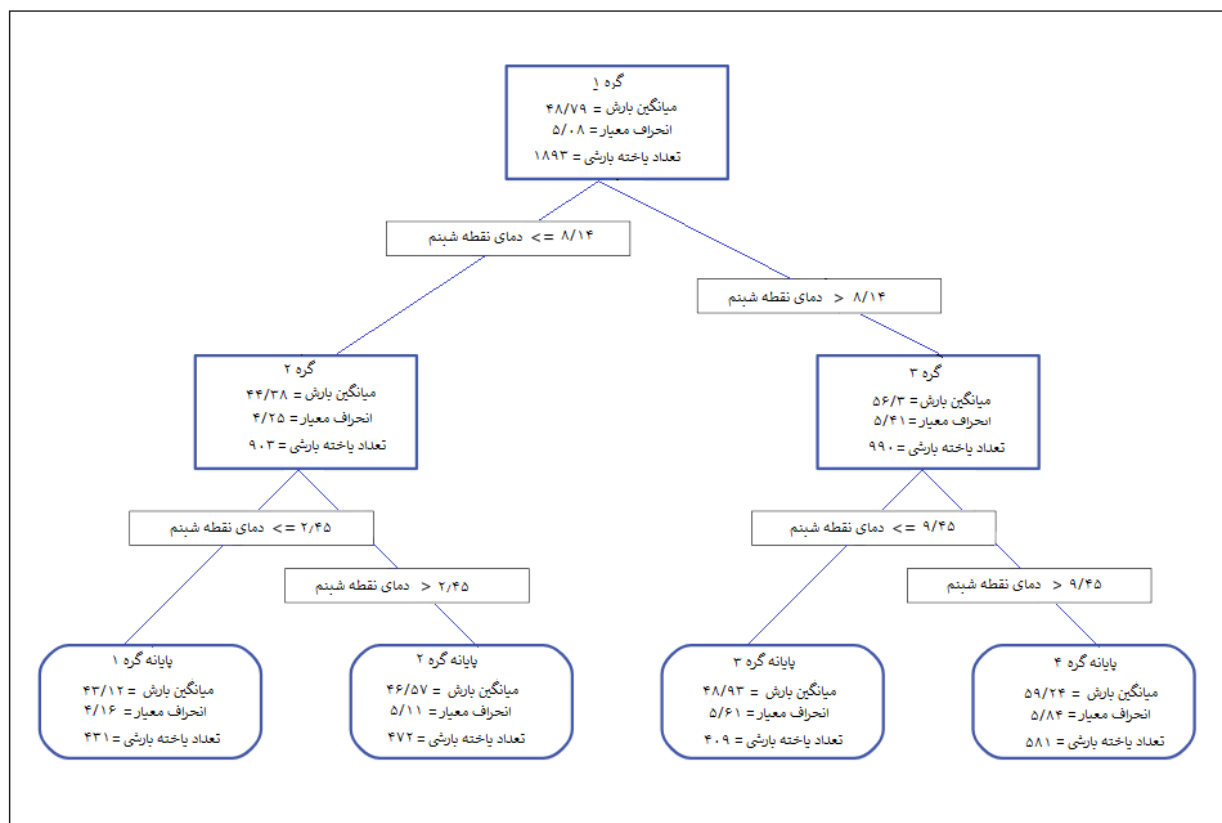
بررسی نتایج حاصل از نمودار درخت رگرسیونی رابطه بین دمای نقطه شبنم با بارش های فرین صدک ۹۵ در منطقه شمالغرب نشان می دهد که در این صدک بارش با میانگین ۲۲/۹۱ میلی متر و انحراف معیار ۳/۸۶ تعداد ۳۲۹۱ یاخسته بارشی را در این دوره مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. مقایسه این صدک با صدک ۹۰ نشان از کاهش قابل ملاحظه (۴۴ درصد) یاخسته های بارشی نسبت به آن می باشد. در صدک ۹۵ تاثیرگذارترین آستانه دمایی در گره اول دمایی ۶/۶۴ درجه سلسیوس می باشد که در گره دوم در دماهای کمتر از این آستانه با میانگین ۲۵/۱۴ میلی متر بارش تعداد یاخسته های بارشی ۱۳۵۰ می باشد در حالی که در بالاتر از این آستانه دمایی با میانگین بارش ۲۹/۶۳ میلی متر تعداد یاخسته ها ۱۹۴۱ می باشد که این موضوع نشان می دهد که بارش های فرین شدیدتر دماهای نقطه



شکل ۶. نمودار درخت رگرسیونی رابطه دمای نقطه شبنم و بارش فرین در صدک ۹۵ در منطقه شمال غرب ایران

که نشان می دهد رفتار بارش فرین در این صدک تابع دو الگوی مشخص است. الگوی اول تاثیر گذاری دمای نقطه شبنم پایین (۲/۴۵) درجه سلسیوس) بر روی مقادیر بارش کمتر از میانگین صدک مورد نظر و الگوی دوم تاثیر گذاری دمای نقطه شبنم بالا (۹/۴۵) درجه سلسیوس) بر روی مقادیر بارش بالاتر از میانگین (بارش های خیلی شدید) می باشد (شکل ۷). از این موضوع می توان چنین استنباط نمود که بارش های فرین سنگین هر چند ممکن است به لحاظ زمان وقوع در ماههای مختلف سال احتمال رخداد داشته باشند ولی با توجه به بالا بودن دمای نقطه شبنم الگوی دوم چنین به نظر می رسد که عموماً زمانی اتفاق می افتند که شرایط دمایی لازم فراهم باشد بنابراین می توان چنین استنباط نمود که در کنار تاثیر گذاری سامانه های کم فشار بارنزا وجود همرفت شدید در مناطق کوهستانی منطقه مورد مطالعه برای رخداد بارش های خیلی شدید صدک ۹۹ لازم می باشد.

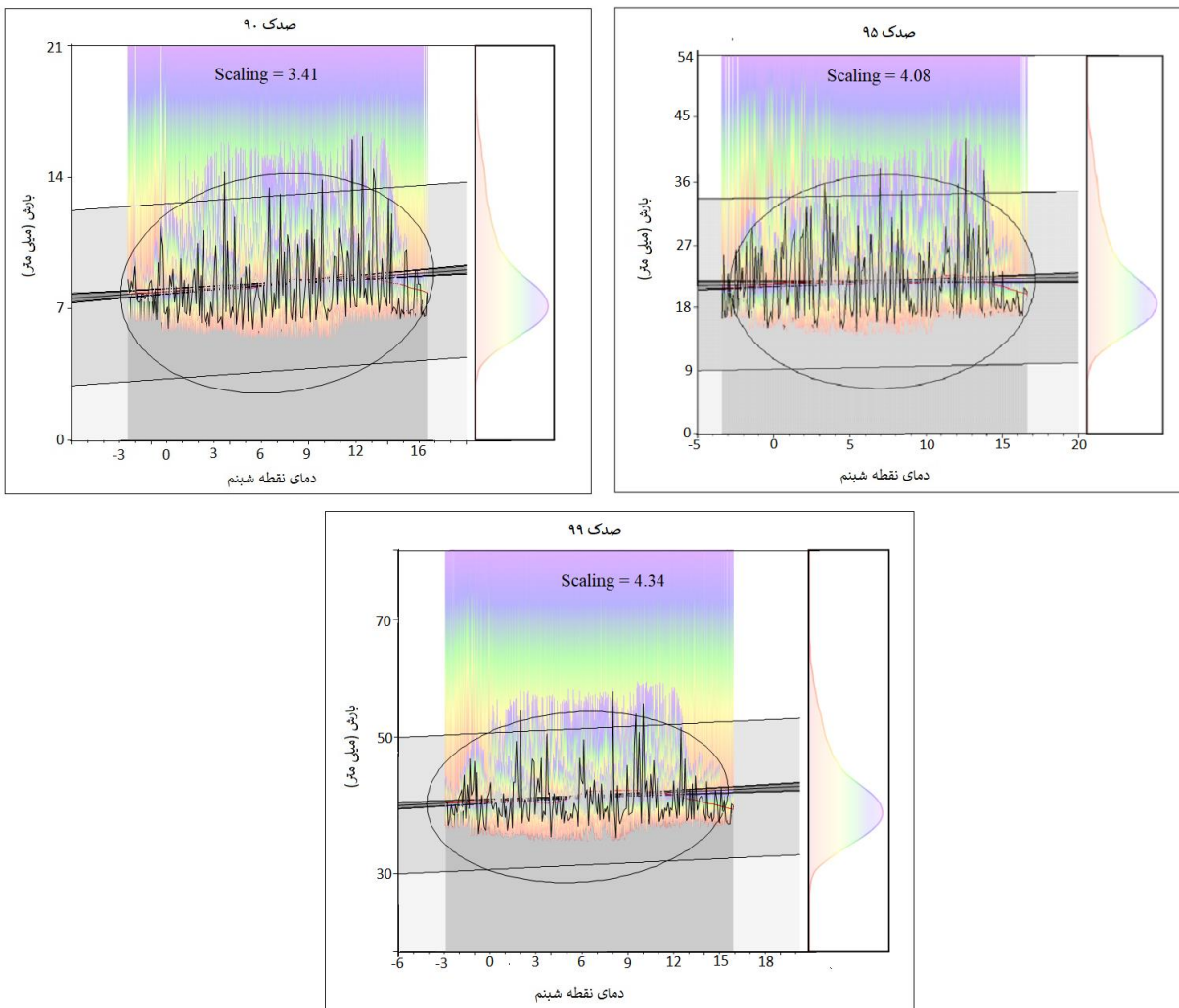
خروجی حاصل از مدل رگرسیون درختی در زمینه بررسی رابطه دمای نقطه شبنم با بارش های فرین صدک ۹۹ (بارش های خیلی شدید) نشان داد که میزان یاخسته های بارشی در این صدک بسیار کمتر از دو صدک قبلی است و این صدک با میانگین بارش ۴۸/۷۹ میلی متر با انحراف معیار ۵/۰۸ تعداد ۱۸۹۳ یاخسته بارشی را به خود اختصاص داده است. بالا بودن میزان انحراف معیار در این صدک نشاندهنده این است که میزان بارش تغییر پذیری نسبتاً بالاتری دارد و عمدتاً در مقادیر کمتر از میانگین تمرکز پیدا نموده است. آستانه دمایی تاثیر گذار در این صدک بر اساس نمودار درختی در گره دوم و سوم ۸/۱۴ درجه سلسیوس است. در گره دوم دمای کمتر از این آستانه، میانگین بارش ۴۴/۳۸ میلی متر، نتیجه فوق را مبنی بر تمرکز عمده مقادیر در کمتر از میانگین را تایید می کند (تعداد ۹۰۳ یاخسته بارشی). در پایانه اول و دوم این گره آستانه دمای تاثیر گذار ۲/۴۵ تعیین شده است



شکل ۷. نمودار درخت رگرسیونی رابطه دمای نقطه شبنم و بارش فرین در صدک ۹۹ در منطقه شمال غرب ایران

داد که صدک ۹۰ با میزان ضریب تعیین $۷۰/۲۶$ درصد، صدک ۹۵ با ضریب تعیین $۷۱/۱۴$ درصد و صدک ۹۹ با بیشترین میزان ضریب تعیین ($۷۲/۵۲$ درصد) نشان دهنده رابطه موثر و معنی دار تغییرات دمای نقطه شبنم بر بارش های فرین منطقه شمال غرب ایران هستند. بنابراین در هر سه صدک مورد مطالعه ارتباط قوی و معنی دار بین متغیر مستقل و وابسته وجود دارد بر این اساس برای همه صدک ها پیش بینی انجام گردید (جدول ۴).

در پژوهش حاضر به منظور پیش بینی نسبت بین تغییرات دمای نقطه شبنم و میزان تاثیر آن بر بارش های فرین از معادله رگرسیونی که اشنایدر و نجیب (۲۰۲۲) در مطالعات خود استفاده نموده اند بهره گرفته شده است (معادله ۶ و ۷). با بکار گیری این معادله بر روی داده های بارش فرین هر سه صدک مورد مطالعه الگوی تغییرات بارش فرین نسبت به تغییرات دمای نقطه شبنم شناسایی گردید (شکل ۸). بررسی این الگوها نشان



شکل ۸. نمودار مدل رگرسیونی رابطه دمای نقطه شبنم و بارش فرین در صدک های ۹۵،۹۰ و ۹۹

نقطه شبنم بالاتر امکان وقوع بیشتری دارند به نحوی که در صدک ۹۰ در دمای ۳- درجه سلسیوس میزان بارش ۶/۱۲ میلی متر و در دمای ۳/۱۶ درجه، بارشی با شدت ۲۱/۱۶ میلی متر پیش بینی شده است. مقایسه این مقادیر و هم چنین مقادیر صدک های ۹۵ و ۹۹ نیز چنین نتیجه ای را تایید می کند (جدول ۲).

بررسی مقادیر پیش بینی مقادیر دمای نقطه شبنم موثر در میزان بارش فرین در هر سه صدک نشان می دهد که میزان بارش با شیب نسبتا ملایمی با افزایش دمای نقطه شبنم افزایش پیدا می کند و از بررسی مقادیر هر دو متغیر می توان چنین استنباط نمود که بارش های فرین خیلی شدید در هر سه صدک در دماهای

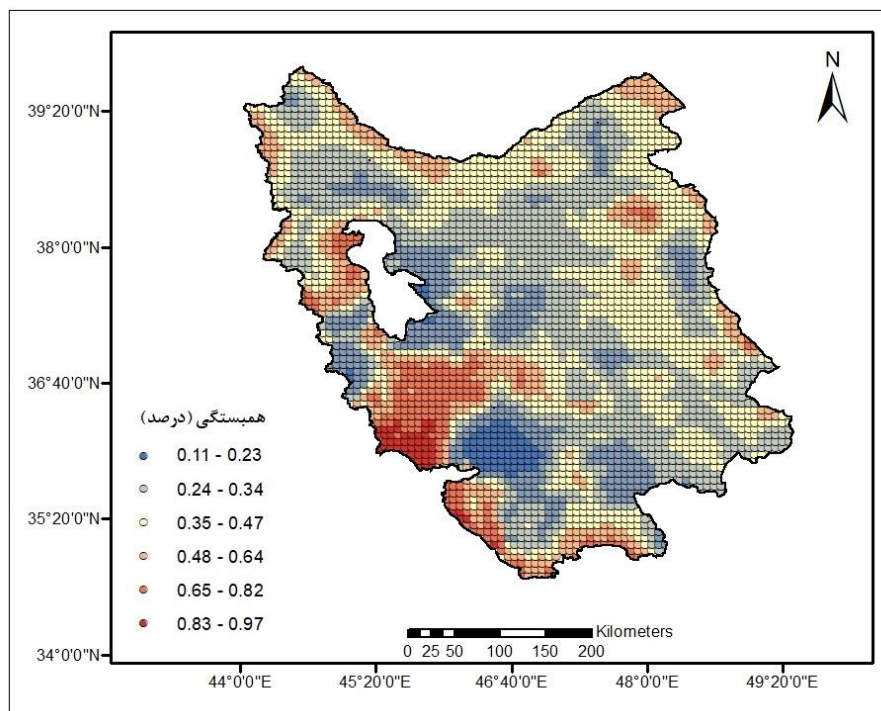
جدول ۴. مقادیر پیش بینی دمای نقطه شبنم و بارش در صدک های ۹۵،۹۰ و ۹۹ بر اساس معادله رگرسیونی

مقادیر پیش بینی صدک ۹۰		مقادیر پیش بینی صدک ۹۵		مقادیر پیش بینی صدک ۹۹	
دمای نقطه شبنم	بارش	دمای نقطه شبنم	بارش	دمای نقطه شبنم	بارش
-۳	۶/۱۲	-۴/۲	۱۶/۲۵	-۳/۲	۴۱/۶۲
-۲/۳	۶/۸۸	-۱/۲	۱۷/۳۹	-۲/۷	۴۱/۸۱
-۱/۸	۷/۰۹	۱/۲	۱۷/۹۱	۰/۵	۴۲/۵۱
-۱/۱	۷/۵۷	۲/۴	۱۸/۷۴	۱/۳	۴۳/۱۹
-۰/۶	۸/۱۹	۳/۱	۱۹/۲۲	۱/۸	۴۳/۹۸
۰	۸/۰۸	۳/۷	۱۹/۸۱	۲/۴	۴۴/۲۶

۰/۴	۸/۶۴	۴/۶	۲۰/۶۲	۳/۶	۴۵/۱۰
۱/۲	۹/۱۴	۵/۰۸	۲۱/۸۷	۴/۲	۴۵/۸۶
۱/۷	۹/۸۲	۵/۴	۲۲/۶۴	۴/۸	۴۶/۱۴
۲/۳	۹/۹۳	۶/۸	۲۳/۱۸	۵/۴	۴۷/۲۸
۲/۹	۱۰/۳۴	۷/۱	۲۴/۷۳	۵/۹	۴۸/۱۱
۳/۶	۱۰/۷۹	۸/۳	۲۵/۱۲	۶/۴	۴۸/۷۹
۳/۹	۱۱/۶۳	۸/۶	۲۶/۴۰	۷/۶	۴۹/۱۲
۴/۳	۱۱/۵۱	۹/۷	۲۷/۸۴	۷/۹	۵۰/۲۶
۴/۹	۱۱/۸۹	۱۰/۱	۲۹/۱۳	۸/۵	۵۱/۲۴
۵/۴	۱۲/۲۸	۱۰/۵	۳۰/۴۲	۸/۴	۵۲/۱۵
۶/۱	۱۲/۷۱	۱۱/۳	۳۱/۱۱	۹/۶	۵۳/۲۵
۶/۷	۱۳/۱۵	۱۱/۶	۳۲/۶۷	۹/۵	۵۴/۴۲
۷/۲	۱۳/۷۱	۱۲/۱	۳۳/۸۴	۱۰/۴	۵۵/۴۱
۷/۷	۱۴/۲۳	۱۲/۴	۳۴/۱۹	۱۱/۵	۵۶/۸۰
۸/۱	۱۴/۹۷	۱۲/۸	۳۶/۱۸	۱۱/۶	۵۷/۳۴
۸/۶	۱۵/۰۹	۱۳/۰۶	۳۷/۱۳	۱۱/۸	۵۸/۲۸
۸/۹	۱۵/۴۰	۱۳/۵	۳۸/۴۶	۱۲/۹	۵۹/۱۶
۹/۳	۱۵/۸۱	۱۴/۳	۳۸/۱۴	۱۳/۷	۶۱/۴۸
۹/۸	۱۶/۰۵	۱۵/۲	۳۹/۲۸	۱۴/۹	۶۲/۴۱
۱۶/۳	۱۶/۲۱	۱۶/۶	۴۰/۵۱	۱۵/۵	۶۳/۶۲

با توجه به اینکه تمامی بررسی ها در این پژوهش نشان داد که تغییرات دمای نقطه شبنم بر بارش فرین رابطه مستقیم و معنی داری دارد فلذا به منظور بررسی معنی داری توزیع فضایی ارتباط این دو متغیر در منطقه شمال غرب از روش رگرسیون موزون جغرافیایی برای صدک ۹۹ (به عنوان بالاترین میزان همبستگی در بین صدک) استفاده شد و نتیجه نهایی آن جهت نمایش بهتر تغییرات بصورت نقشه ترسیم گردید (شکل ۹).

بررسی نسبت تغییرات دمای نقطه شبنم (به درجه سلسیوس) و بارش فرین (به درصد) در صدک بر مبنای خروجی نهایی مدل رگرسیونی نشان می دهد که در صدک ۹۰ در هر یک درجه افزایش دمای نقطه شبنم ۳/۴۱ درصد به شدت بارش فرین در منطقه شمال غرب ایران افزوده می شود این مقدار در صدک ۹۵ در هر یک درجه ۴/۰۸ درصد و در صدک ۹۹ به میزان ۴/۳۴ درصد تخمین زده شده است.



شکل ۹. نقشه رگرسیون موزون جغرافیایی رابطه فضایی بین دمای نقطه شبنم با بارش فرین در صدک ۹۹

کلاپیرون مشخص شده است. بر اساس این معادله با افزایش یک درجه سلسیوس دمای هوا به میزان ۷ درصد به ظرفیت رطوبتی هوا اضافه می شود و در صورتی که منابع تامین رطوبت (نظیر دریاها و دریاچه ها) فراهم باشد این امر می تواند سبب تولید بارش های شدید در آن مناطق شود (آلن و سوند، ۲۰۰۸). نتایج پژوهش های اخیر در زمینه مقایسه تاثیر دمای هوا با دمای نقطه شبنم نشان داد که دمای نقطه شبنم رابطه قوی تری نسبت به دمای هوا در ارتباط با رخداد بارش های فرین دارد و بررسی تغییرات آن با بارش های فرین می تواند نتایج دقیق تری را نسبت به دمای سطح ارایه دهد (علی و همکاران، ۲۰۱۸ و داریو و لوناردو، ۲۰۲۱). منطقه شمال غرب ایران یکی از نواحی مهم اقلیمی ایران از نظر رطوبت و بارش می باشد. وجود ارتفاعات متعدد در این منطقه و ورود سامانه های جوی بارانزا در زمانهای مختلف سال از سمت غرب و جنوب غرب موجب شده است که نه تنها بارش نسبتاً خوبی در این ناحیه رخ دهد بلکه با فراهم شدن شرایط زمینه رخداد بارش های فرین و سنگین نیز ایجاد می شود (کیانی و همکاران، ۱۳۹۹ و خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج مطالعات اخیر تعدادی از پژوهشگران داخلی نشان داد که در اثر افزایش میانگین دما منطقه شمال غرب ایران در اثر تغییرات اقلیمی شدت بارش های فرین در سال های

بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون موزون جغرافیایی بر روی داده های بارش فرین صدک ۹۹ و دمای نقطه شبنم نشان می دهد که بخش جنوب غربی منطقه شمال غرب ایران بالاترین درجه همبستگی را (۰/۹۷ تا ۰/۸۳) دارا می باشد این بخش دقیقاً منطبق با مناطقی است که بیشترین بارش های این منطقه را دارد و این نشان می دهد که بارش های فرین متاثر از دمای نقطه شبنم در مناطقی رخ می دهند که فراوانی بارش در آن مناطق بالا می باشد. علاوه بر این ناحیه در بخشهایی از غرب و شمال شرق و شرق این منطقه نیز از همبستگی بالایی برخوردار می باشند.

۴. نتیجه گیری

پژوهش های متعدد نشان می دهد که تغییر اقلیم موجب شده است تا هم فراوانی و هم شدت بارش های فرین در بخش های مختلف جهان افزایش پیدا کند (مدسون و همکاران، ۲۰۱۴، دروینسکی و همکاران، ۲۰۱۸ و هوارث و همکاران، ۲۰۱۹) اما شدت و گستره این تغییرات به عوامل متعددی همچون ویژگی های جغرافیایی، ساختار ژئومورفولوژیکی، سامانه های گردشی جو و ... آن مناطق بستگی دارد (آگل و همکاران، ۲۰۲۰). رابطه بین افزایش دما و تاثیر آن بر افزایش بارش های فرین در مطالعات مختلف در سطح جهان بر اساس معادله کلازیوس-

سیل بند و کانال های انحرافی، آسیب ها و خسارات این مناطق را در مقابل این رخداد به حداقل رساند. در کنار مدیریت خسارات ناشی از رخداد های بارش فرین استفاده صحیح و مدیریت شده از آب فراونی که هنگام بروز این نوع بارش ها حاصل می شود می تواند مشکلات کمبود منابع آب در این مناطق را در شرایط بروز بحران های آبی برطرف نماید. برای این منظور پیشنهاد می شود با شناسایی مناطق مستعد برای بروز سیلاب و احداث سیل بند ها و سدهای مخزنی مناسب، نسبت به جمع آوری آب ناشی از بارش های فرین در مناطق مذکور اقدام گردد و با این راهکار ضمن ایمن سازی مناطق آسیب پذیر در مقابل این پدیده می توان نسبت به مدیریت صحیح منابع آب ناشی از بارش های فرین را نیز اقدام نمود. پژوهش حاضر این ضرورت را نشان داد که موضوع تغییر رفتار متغیرهای اقلیمی در طول زمان باید جدی گرفته شود و تدابیر لازم جهت جلوگیری از پیامدهای منفی آن در نظر گرفته شود. بدیهی است که تجربه کشورهای موفق دنیا در این زمینه نشان داده است اقدامات پیشگیرانه در مدیریت رخداد های طبیعی موثرتر از اقدامات انجام یافته پس از بروز حادثه می باشد.

۵. منابع

۱. اکبری، م و نودهی، و. (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل روند بارش سالانه و تابستانه استان گلستان، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۵(۱۷)، صفحات ۱۵۰-۱۴۱.
۲. اصولی شجاعی، م.، میکائیلی، ف و صمدیان فرد، س. (۱۴۰۱). ارزیابی توانایی مدل های گرادیان تقویتی و جنگل تصادفی بهینه شده در تخمین دمای نقطه شبنم روزانه، محیط زیست و مهندسی آب، ۸(۳)، صفحات ۶۶۸-۶۵۴.
۳. پرویز، ل. (۱۴۰۰). رهیافت ترکیب وزنی مدل ها با روش های عکس واریانس و رگرسیون حداقل مربعات در تخمین دمای نقطه شبنم، نیوار، ۱۱۲، صفحات ۱۵۰-۱۳۷.
۴. تیموری، م.، قائمی، ع.، عزیزیان، غ و هاشمی منفرد، س. آ. (۱۳۹۹). ارزیابی تاثیر روش های پیش پردازش کننده در عملکرد تکنیک های محاسبات نرم در تخمین دمای نقطه

اخیر افزایش پیدا کرده است (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۹ و مسعودیان و دارند، ۱۳۹۲). با عنایت به موارد مذکور در پژوهش حاضر رابطه بین دمای نقطه شبنم و بارش در صدک های ۹۰، ۹۵ و ۹۹ مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که ارتباط مستقیم و معنی دار بالایی بین این دو متغیر وجود دارد و با افزایش دمای نقطه شبنم شدت رخداد بارش های فرین نیز در همه صدک ها افزایش پیدا می کند. نتایج حاصل از رگرسیون درخت تصمیم نشان داد دماهای شبنم مختلف (مقادیر پایین و بالا) تواما در رخداد بارش های فرین در منطقه شمال غرب ایران نقش دارند ولی در بارش های فرین خیلی شدید (بارش های بالای صدک ۹۹) نقش دماهای شبنم بالا بیشتر از مقادیر پایین است. این نتایج همسو با نتایج سان و همکاران (۲۰۲۰) و ایوانکیک و ساو (۲۰۱۶) می باشد. علاوه بر این بررسی نسبت تغییرات دمای نقطه شبنم (به درجه سلسیوس) و بارش فرین (به درصد) در صدک بر مبنای خروجی نهایی مدل رگرسیونی نشان می دهد که در هر یک درجه افزایش دمای نقطه شبنم ۳/۴۱ درصد به شدت بارش فرین در این منطقه افزوده می شود این مقدار در صدک ۹۵ در هر یک درجه ۴/۰۸ درصد و در صدک ۹۹ به میزان ۴/۳۴ درصد تخمین زده شده است. این نتایج در مطالعات اشنايدر و نجیب (۲۰۲۲) ۵/۵ درصد، وسترا و همکاران (۲۰۱۳) ۵/۵ تا ۶ درصد تخمین زده شده است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در طی چهار دهه اخیر با افزایش میانگین دمای نقطه شبنم در منطقه شمال غرب ایران، فراوانی رخداد بارش های فرین و سنگین نیز افزایش پیدا کرده است و بدیهی است که با ادامه روند افزایش میانگین دما به دلیل گرمایش جهانی اقلیم، این روند در دهه های آتی تشدید خواهد شد فلذا به منظور مدیریت صحیح تبعات ناشی از آن در ابعاد مختلف بایستی اقدامات مناسبی انجام پذیرد. یکی از مهم ترین راهکارها در این زمینه شناسایی مناطق پرخطر برای بروز سیلاب می باشد از جمله مناطق مسکونی و صنعتی که در دامنه پر شیب کوهستانها و در مسیر سیلاب ها قرار دارند که در این زمینه شهرهای بزرگی همچون تبریز در هنگام بروز سیلاب های قبلی نشان دادند که آسیب پذیری بالایی دارند. فلذا پیشنهاد می شود با شناسایی این مناطق پرخطر و اجرای طرح های مناسب نظیر

- شبنم، نشریه هواشناسی و علوم جو، ۳(۲)، صفحات ۱۸۷-۱۷۵.
۵. جهانبخش اصل، س و ذوالفقاری، ح. (۱۳۸۰). بررسی الگوهای سینوپتیک بارش های روزانه در غرب ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۶۳، صفحات ۲۵۸-۲۳۴.
۶. جهانبخش اصل، س.، ساری صراف، ب.، عساکره، ح و شیر محمدی، س. (۱۳۹۹). واکاوی تغییرات زمانی مکانی بارش های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال های ۲۰۱۶-۱۹۶۵، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم شماره ۱: صفحات ۱۰۶-۸۹.
۷. حسینی صدر، ع.، محمدی، غ ح.، عبدالعلی زاده، ف و خجسته غلامی، و. (۱۳۹۸). تحلیل سازوکار همدیدی بارش سنگین خسارت بار در شمال غرب ایران مطالعه موردی: ۱۴ آوریل ۲۰۱۷، نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۳(۷۰)، صفحات ۱۰۰-۷۹.
۸. حسینی، س. ف.، بهمنش، ج.، رضوردی نژاد، و و خانمحمدی، ن. (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد مدل های هوشمند در تخمین دمای نقطه شبنم با استفاده از پارامترهای هواشناسی، نشریه دانش آب و خاک، ۱۱، صفحات ۱۱۴-۱۰۳.
۹. خورشید دوست، ع. م.، مفیدی، ع.، رسولی، ع. ا و آزر، ک. (۱۳۹۵). تحلیل همدیدی سازوکار وقوع بارش های سنگین بهاره در شمال غرب ایران، مخاطرات محیط طبیعی، ۵(۸)، صفحات ۸۲-۵۳.
۱۰. رضی، ط و عزیز، ق. (۱۳۸۶). منطقه بندی رژیم بارشی غرب ایران با استفاده از روش تحلیل مولفه های اصلی و خوشه بندی، تحقیقات منابع آب ایران، سال، شماره ۲، صفحات ۶۵-۶۲.
۱۱. زرعی، م. م.، دستورانی، م. ت.، مصداقی، م و عشقی زاده، م. (۱۳۹۶). بررسی کارایی روش های مختلف هوش مصنوعی و روش آماری در برآورد میزان رواناب (مطالعه موردی: حوزه شهید نوری کاخک گناباد)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۶، صفحات ۲۱-۱۱.
۱۲. صمدیان فرد، س و پناهی، س. (۱۳۹۷). برآورد تبخیر-تعرق مرجع روزانه با استفاده از روشهای داده کاوی رگرسیون بردار پشتیبان و مدل درختی، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۸، صفحات ۱۶۷-۱۵۷.
۱۳. قره خانی، ا و قهرمان، ن. (۱۳۸۹). بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه رطوبت نسبی و نقطه شبنم در چند نمونه اقلیمی در ایران، آب و خاک، ۲۴(۴)، صفحات ۶۴۶-۶۳۶.
۱۴. عساکره، ح. (۱۳۸۷). کاربرد روش کریجینگ در میانابی بارش مطالعه موردی میانابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین. جغرافیا و توسعه، ۱۲، صفحات ۲۴-۲۵.
۱۵. عساکره، ح و رزمی قلندری، ر. (۱۳۹۳). توزیع زمانی و رژیم بارش در شمال غرب ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۲۹، صفحات ۱۶۰-۱۴۵.
۱۶. عساکره ح و رزمی قلندری، ر. (۱۳۹۷). مدل سازی فضایی بارش تابستانه شمال غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۵۰، صفحات ۱۷۹-۱۸۵.
۱۷. عساکره، ح، و رزمی، ر. (۱۳۹۰). اقلیم شناسی بارش شمال غرب ایران. جغرافیا و توسعه، ۹(پیاپی ۲۵)، صفحات ۱۳۷-۱۵۸.
۱۸. عساکره، ح.، بارزمان، س و شاهبایی کوتنایی، ع. (۱۳۹۸). واکاوی الگوی مکانی بارش های بهاره شمال غرب ایران با روش های تحلیل فضایی، جغرافیا و برنامه ریزی، ۷۴، صفحات ۱۶۴-۱۵۳.
۱۹. کیانی، م.، لشکری، ح.، ساری صراف، ب.، عساکره، ح و هوشنگ، ق. (۱۳۹۹). تحلیل همدیدی رخداد فرینهای بارشی زمستان در غرب ایران، پژوهشهای دانش زمین، سال یازدهم، شماره ۴۳، صفحات ۲۴۴-۲۲۳.
۲۰. منتظری، م و یقینی، ز. (۱۳۹۸). واکاوی تغییرات زمانی دمای نقطه شبنم در ایران. دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی، ۱، صفحات ۳۹-۲۱.
۲۱. مسعودیان، س. ا. (۱۳۹۸). شناسایی رژیم های بارش ایران به روش تحلیل خوشه ای. پژوهش های جغرافیایی، ۵۲، صفحات ۶۱-۴۷.

۳۳. Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J., 2017. Classification and regression trees, Routledge. 368 pages.
۳۴. Collins, M., Stocker, T., Qin, D., Plattner, M., Tignor, S., Allen, K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M., 2013. Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1-108.
۳۵. Dario, P., & Leonardo, V. N., 2021. Exploring the linkage between dew point temperature and precipitation extremes: A multi-time-scale analysis on a semi-arid Mediterranean region, Atmospheric Research, 254, pp. 1045-1061.
۳۶. Danqing, H., Peiwen, Y., Xiucheng, X., Jian, Z., Xiaowen, T., Anning, H., & Jing, C., 2019. The tri-pole relation among daily mean temperature, atmospheric moisture and precipitation intensity over China, Global and Planetary Change, 179, pp. 1-9.
۳۷. Drobinski, P., Silva, N.D., & Panthou, G., 2018. Scaling precipitation extremes with temperature in the Mediterranean: Past climate assessment and projection in anthropogenic scenarios, Climate Dyn, 51, PP. 1237-1257.
۳۸. Hegerl, G., & Black, e., 2015. Challenges in quantifying changes in the global water cycle, Bull. Amer. Meteor. Soc, 96, PP. 1097-1115.
۳۹. Howarth, M. E., Thorncroft, C. D., & Bosart, L. F., 2019. Changes in extreme precipitation in the northeast States: 1979-2014, J. Hydrometeor, 20, PP. 673-689.
۴۰. Hong, Y., & Ying, S., 2018. Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in 2017 based on ETCCDI indices, Advances in Climate Change Research, 9, Issue 4, PP. 218-226
۴۱. Ingram, W., 2016. Extreme precipitation: increases all round, Nat. Clim. Change, 6(5), PP. 443-444.
۴۲. IPCC., 2021. Chapter 11: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Sixth Assessment Report, pp. 1-254.
۴۳. Ivancic, T. J., & Shaw, S. B., 2016. A U.S.-based analysis of the ability of the Clausius-Clapeyron relationship to explain changes in
۲۲. مسعودیان، س. ا.، رعیت پیشه، ف و کیخسروی کیانی، م. ص. (۱۳۹۳). معرفی و مقایسه پایگاه داده بارشی TRMM3B43 و پایگاه داده بارش اسفزاری، مجله ژئوفیزیک ایران، ۴، صفحات ۳۱-۱۵.
۲۳. مسعودیان، س. ا. (۱۴۰۱). پایگاه داده شبکه‌ای بارش ایران (اسفزاری نسخه سه)، نشریه جغرافیا و توسعه، ۶۹، صفحات ۱۲۷-۱۰۷.
۲۴. مسعودیان، س. ا و دارند، م. (۱۳۹۲). شناسایی و بررسی تغییرات نمایه های بارش فرین ایران طی دهه های اخیر. جغرافیا و توسعه ناحیه ای، ۱۱(۱)، صفحات ۲۵۷-۲۳۹.
۲۵. مظفری، غ.، شفیع، ش و تقی زاده، ز. (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی مدل درخت تصمیم رگرسیونی در پیش‌بینی خشکسالی نمونه موردی: ایستگاه سینوپتیک سنندج، مخاطرات محیط طبیعی، ۴(۶)، صفحات ۱۹-۱.
۲۶. وروانی، ه.، منتظر، ع. ا و رحیمی خوب، ع. (۱۳۹۱). توسعه و کاربرد مدل رگرسیون درختی پیش‌بینی جریان برگشتی روزانه شبکه های آبیاری، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱، صفحات ۴۵-۳۱.
27. Agel, L., Barlow, M., Polonia, J., & Coe., 2020. Simulation of northeast U.S. extreme precipitation and its associated circulation by CMIP5 models. J. Climate, 33, pp. 9817-9834.
28. Allan, R. P., & Soden, B. J., 2008. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. Science, 321, pp. 1481-1484.
29. Allen, M. R., & Ingram, W. J., 2002. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. Nature, 419, pp. 224-232.
30. Ali, H., Fowler, H. J., & Mishra, V., 2018. Global observational evidence of strong linkage between dew point temperature and precipitation extremes. Geophys. Res. Lett, 45, pp. 320-30.
31. Ali, H., & Mishra, V., 2017. Contrasting response of rainfall extremes to increase in surface air and dew point temperatures at urban locations in India. Sci. Rep, 7, pp. 1-15.
32. Bui, A., Johnson, F., & Wasko, C., 2019. The relationship of atmospheric air temperature and dew point temperature to extreme rainfall. Environmental. Research Letters, 14, pp. 1-9.

- amplifying at less than the Clausius-Clapeyron rate, *Sci Rep*, 6, pp. 1-9.
55. Steinschneider, S., & Najibi, N., 2022. Observed and Projected Scaling of Daily Extreme Precipitation with Dew Point Temperature at Annual and Seasonal Scales across the Northeastern United States, *Journal of Hydrometeorology*, 3, pp. 403-419.
 56. Sun, Q., Zwiers, F., Zhang, X., & Li, G., 2020. A comparison of intra-annual and long-term trend scaling of extreme precipitation with temperature in a large-ensemble regional climate simulation, *J. Climate*, 33, pp. 9233–9245.
 57. Sridhara, N., & Takemi, T., 2020. Clausius-Clapeyron Scaling of Extremely Heavy Precipitations: Case Studies of the July 2017 and July 2018 Heavy Rainfall Events over Japan, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 98 (6), pp.1147-1162.
 58. Wasko, C., & Sharma, A., 2015. Steeper temporal distribution of rain intensity at higher temperatures within Australian storms, *Nat. Geosci*, 8, pp. 527–9.
 59. Wasko, C., Lu, W. T., & Mehrotra, R., 2018. Relationship of extreme precipitation, dry-bulb temperature, and dew point temperature across Australia, *Environ. Res. Lett*, 13, pp. 1-8.
 60. Westra, S., Alexander, L. V., & Zwiers, F. W., 2013. Global increasing trends in annual maximum daily precipitation, *J. Climate*, 26, pp. 3904–3918.
 61. Wermter, J., Noble, S., & Brian, V., 2022. Impacts of the Thermal Gradient on Inland Advecting Sea Breezes in the Southeastern United States, *Atmosphere*, 13, pp. 1-13.
 62. Wibig, J., & Piotrowski, P., 2018. Impact of the air temperature and atmospheric circulation on extreme precipitation in Poland, *Int. J. Climatol*, 38, pp. 4533–4549.
 63. World Meteorological Organization (WMO), 2021. *WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019)*, No. 1267, pp. 1–90.
 64. Zhang, W., Villarini, G., & Wehner, M., 2019. Contrasting the responses of extreme precipitation to changes in surface air and dew point temperatures, *Climatic Change*, 154, pp. 1-15.
 - extreme rainfall with changing temperature, *J. Geophys. Res. Atmos*, 121, PP. 3066–3078.
 44. Lenderink, G., & Meijgaard, E.V., 2010. Linking increases in hourly precipitation extremes to atmospheric temperature and moisture changes, *Environ. Res. Lett*, 5, PP.1-9.
 45. Lenderink, G., & Meijgaard, E.V., 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes, *Nat. Geosci*, 1, PP. 511–514.
 46. Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M., & Kjeldsen, T. R., 2014. Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe, *J. Hydrol*, 519, PP. 3634–3650.
 47. Maeda, E., Utsumi, N., & Oki, T., 2012. Decreasing precipitation extremes at higher temperatures in tropical regions, *Nat Hazards*, 64, PP. 935–941.
 48. Molnar, P., Fatichi, S., Gaál, L., Szolgay, J., & Burlando, P., 2015. Storm type effects on super Clausius-Clapeyron scaling of intense rainstorm properties with air temperature, *Hydrol Earth Syst Sci*, 19(4), PP. 1753–1766.
 49. Mitchell, T. M., 1997. *Machine learning*. 1997, Burr Ridge, IL: McGraw Hill, 45(37), PP. 870-877.
 50. Orłowsky, B., & Seneviratne, S., 2011. Investigating spatial climate relations using CARTs: An application to persistent hot days in a multimodel ensemble, *Journal of Geophysical Research*, 116, PP. 1-16.
 51. Ottar, T., Egle, S., Kristiina, R., & Toomas, T., 2023. The intensification of short-duration rainfall extremes due to climate change need for a frequent update of intensity duration–frequency curves, *Climate services*, 30, pp. 1-10.
 52. Park, I., & Min, S., 2017. Role of convective precipitation in the relationship between sub daily extreme precipitation and temperature, *J. Clim*, 30, pp. 9527–37.
 53. Skliris, N., Zika, J., & Nurser, G., 2016. Global water cycle amplifying at less than the Clausius-Clapeyron rate, *Sci Rep*, 6, pp. 1-9 .
 54. Skliris, N., Zika, J. D., Nurser, G., Josey, S. A., & Marsh, R., 2016. Global water cycle