

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره اول، بهار ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱۱۲

A.A Rasouli  
S. Jahanbakhsh  
A.R Ghasemi

علی اکبر رسولی، استاد گروه جغرافیای طبیعی - اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز

سعید جهانبخش، استاد گروه جغرافیای طبیعی - اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز

احمد رضا قاسمی، دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی - اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز

صص: ۲۳-۴۲

شماره مقاله: ۹۳۸

E-mail: ghasemi@tabrizu.ac.ir

پذیرش: ۹۲/۷/۱۳

وصول: ۹۲/۲/۵

## بررسی ارتباط بین پارامترهای مهم ابر و بارش روزانه در ایران

### چکیده

مطالعه پارامترهای آب و هوایی به علت نقشی که در مباحث تغییر اقلیم و بهبود کارایی مدل‌های اقلیمی و پیش‌بینی بارش دارند، از اهمیت ویژه‌ای در دنیا برخوردارند. در این میان، مطالعه ابرها به علت اینکه حد واسط بین سامانه‌های همدیدی و شرایط اقلیمی سطح زمین هستند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و هرگونه تغییر در پارامترهای آنها می‌تواند سرآغاز زنجیره‌ای از واکنش‌ها در دیگر عناصر آب و هوایی گردد. به دلیل این اهمیت، در این پژوهش ارتباط چهار پارامتر مهم ابر؛ یعنی دمای قله ابر<sup>۱</sup>، فشار قله ابر<sup>۲</sup>، عمق نوری ابر<sup>۳</sup> و مقدار ذرات آب و یخ ابر<sup>۴</sup> در محدوده کشور ایران با بارش روزانه مطالعه شد. برای این هدف از اطلاعات ایستگاه‌های همدید و سنجنده مودیس برای کل دوره موجود آن (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱) استفاده شد و با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی، غیرخطی و همچنین، مدل رگرسیون چند متغیره، ارتباط بین این پارامترها با بارش بررسی گردید.

در ابتدا با همپوشانی چند لایه اطلاعاتی بارش و ابر در محیط ArcGIS کشور به چهار پهنه مشترک بارش و ابر تقسیم گردید و این پهنه‌ها مبنای بررسی ارتباط بین بارش و پارامترهای ابر قرار گرفتند. نتایج نشان داد که دمای قله ابر بین ۲۰ تا ۳۹ درصد از تغییرات بارش در پهنه‌ها را تبیین نموده و یا به عبارت دیگر توضیح می‌دهند. این مقدار برای فشار قله ابر ۲۰ تا ۳۷ درصد، مقدار ذرات آب و یخ ابر ۲۱ تا ۳۱ درصد و عمق نوری ابر ۱۹ تا ۳۱ درصد به دست آمد. با اعمال مدل رگرسیون چند متغیره، نتایج نشان داد که در پهنه ۳ این چهار پارامتر ابر می‌توانند حدود ۵۰ درصد تغییرات بارش را پیش‌بینی کنند. این مقدار در پهنه ۲ حدود ۴۰ درصد و برای دو پهنه دیگر حدود ۳۰ درصد به دست آمد. برای حذف همخطی شدید و همچنین، رسیدن به متغیرهای اصلی، از روش رگرسیون گام به گام نیز استفاده شد که نتایج آن نشان داد در پهنه‌های ۱ و ۴ پارامتر مقدار آب و یخ ابر، در پهنه ۳ دمای قله و عمق نوری ابر و در پهنه ۲ فشار قله و مقدار آب و یخ ابر مؤثرترین پارامترهای مدل‌ها هستند.

**واژه‌های کلیدی:** پارامترهای ابر، بارش روزانه، ایران

## مقدمه

ابرها از دیرباز مورد توجه محققان آب و هواشناسی بوده‌اند، ولی به دلیل اینکه برخلاف دیگر عناصر و پدیده‌های آب و هوایی اندازه‌گیری و سنجش آنها بسیار مشکل است تا چند دهه قبل پژوهش‌های زیادی بر روی آنها انجام نگرفته بود. پس از ورود ماهواره‌ها به عرصه علم، به علت فراهم شدن اطلاعات فراوانی در مورد ابرها، مطالعه آنها برای بهبود کارایی مدل‌های اقلیمی مورد توجه قرار گرفت. ماهواره‌ها قادرند خصوصیات فیزیکی و اقلیمی ابرها مانند: ضخامت، توسعه افقی، محتوای آب، دما، فشار و اندازه قطره‌های آب را با دقت اندازه‌گیری کنند. این توانایی به باز شدن زمینه‌های تحقیقاتی جدیدی در مطالعه ابرها منجر شد و پژوهشگران زیادی تحقیقات خود را بر روی این زمینه متمرکز کردند.

هرگونه تغییر در اقلیم می‌تواند سرآغاز زنجیره‌ای از واکنش‌ها باشد که اثر آن به صورت مستقیم در فرآیندهای هیدرولوژیک ظاهر می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۶). بنابراین، مطالعه ابرها از این نظر حائز اهمیت است که آنها در راس چرخه آب قرار دارند و تغییرات آنها به ایجاد تغییر در مقدار زمانی و مکانی بسیاری از پارامترهای آب و هوایی بویژه بارش منجر خواهد شد. با جدی شدن بحث تغییر اقلیم در دنیا، مطالعه پارامترها و عناصر آب و هوایی به صورت گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفت. در این میان، ابرها و پارامترهای اقلیمی وابسته به آنها نیز به عنوان ورودی‌های مهم در مدل‌های پیش بینی اقلیم، مورد توجه قرار گرفتند (هک<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ فیلد<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ هونگ<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ لومن<sup>۸</sup>، ۲۰۱۰).

به یقین کشورهایی که از مطالعات به‌روز در زمینه آب و هوا عقب بمانند، در آینده نزدیک در مباحثی مانند: تامین منابع آب و امنیت غذایی با مشکلات زیادی مواجه خواهند شد. به همین دلیل، بسیاری از مطالعات انجام شده در دنیا در این زمینه؛ حتی جزو مطالعات راهبردی کشورهای پیشرفته محسوب می‌گردند (اسچلیسینگر<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۷).

با توجه به اهمیت ابرها در تغییرات آب و هوا، مطالعه و بررسی ارتباط پارامترهای آنها مانند: دما و فشار ابر، مقدار ذرات آب و یخ و ... با شرایط اقلیمی سطح زمین مورد توجه بسیاری از محققان در دنیاست. این پارامترها به‌عنوان شاخص‌های استاندارد مطالعه ابرها در دنیا ارائه شده‌اند. بررسی ارتباط پارامترهای یاد شده با بارش نقش قابل توجهی در بهبود مدل‌های بارش و همچنین، مدل‌های تغییر اقلیم دارد. بسیاری از پژوهشگران در دنیا به بررسی آنها پرداخته‌اند که برای نمونه به برخی از آنها اشاره می‌گردد:

آرکین و میسنر<sup>۱۰</sup> (۱۹۸۷) و آدلر و نیگری<sup>۱۱</sup> (۱۹۸۸) بیان کردند که مقدار بارش را می‌توان به‌وسیله داده‌های مرئی - مادون قرمز قله ابر<sup>۱۲</sup> برآورد نمود. زینگ<sup>۱۳</sup> (۱۹۹۹) ارتباط بین دمای قله ابر و محتوای بخار آب ابر را با بارش منطقه

-Hack  
-Field  
-Hong  
-Lohmann  
-Schlesinger  
-Arkin and Meisner  
-Adler and Negri  
-Cloud- Top Visible/Infrared (VIS/IR) data  
-Zeng

حاره مطالعه و الگوریتمی برای آن ارائه نمود. وی عنوان می کند که ارتباط بین این پارامترها می تواند به ارزیابی مدل-های بارش کمک کند.

هاوز<sup>۱۴</sup> (۱۹۹۳) نشان داد که تاثیر ابرها بر روی تابش های خورشیدی (انعکاس این تابش ها) و زمینی (اثر گلخانه ای)، به برخی پارامترهای آنها مانند: ارتفاع، ضخامت، توسعه افقی، تغییرات افقی، محتوای آب، فاز (مایع و یخ) و اندازه قطره ها و کریستال ها بستگی دارد. همزیلد<sup>۱۵</sup> و همکاران (۲۰۰۳) مدلی برای بررسی ارتباط مقدار ذرات آب و یخ در ابر با عمق نوری ابر در طول موج مرئی ارائه نمودند.

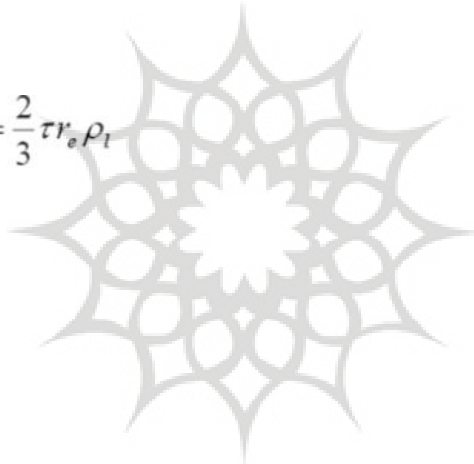
بیرترتن<sup>۱۶</sup> و همکاران (۲۰۰۴) ارتباط بین مقدار بارش مناطق حاره ای را برای یک دوره چهارساله با استفاده از تصاویر ماهواره ای SSM/I با مقدار ذرات آب موجود در ابر بررسی و یک مدل نمایی برای آن ارائه نمودند. آسکلسن<sup>۱۷</sup> (۲۰۰۷) در تحقیقی از دمای قله ابر استخراج شده از تصاویر ماهواره ای برای برآورد مقدار بارندگی و برف استفاده کرد. وی با اشاره به محدودیت و خطاهای استفاده از داده های ایستگاه های زمینی و رادار استفاده از تصاویر ماهواره ای را برای بهبود برآورد بارش ها توصیه می کند.

هانان<sup>۱۸</sup> و همکاران (۲۰۰۸) نقش دمای قله ابر را در بارش برف، باران و باران یخ زده برای شناخت بهتر از فرآیند میکروسکوپی آنها در ابر برای زمستان های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ بررسی کردند. آنها نشان دادند حداکثر بارش برف سبک زمانی است که دمای قله ابر نزدیک ۱۶- درجه سانتی گراد باشد. بیشینه بارش برف سنگین و باران نیز یکی در دمای قله ابر ۱۶- و دیگری بین ۳۵- تا ۵۰- درجه سانتیگراد اتفاق می افتد.

در ایران از بین پارامترهای ابر بیشتر آب قابل بارش مطالعه شده است. برای نمونه، نجفی (۱۳۸۳) با هدف محاسبه حداکثر بارش محتمل ایستگاه اصفهان در ماه اوت سال ۱۹۹۵، حداکثر آب قابل بارش ابر در این ایستگاه را محاسبه نمود و نشان داد که متوسط مقدار آب قابل بارش در این ایستگاه ۵/۲۳ میلی متر است. صادقی حسینی و همکاران (۱۳۸۴) در پژوهشی با محاسبه آب قابل بارش ابر به روش ترمودینامیکی از روی نمودارهای هواشناختی Skew-T و مقایسه آن با بارش اندازه گیری شده در ایستگاه های زمینی منطقه تهران، رابطه ای برای پیش بینی کمی بارش بر اساس آب قابل بارش ابر ارائه نمودند. پوریاقر و همکاران (۱۳۸۶) برای استخراج آب قابل بارش ابر در ایستگاه مهرآباد از باندهای فرورسرخ نزدیک تصاویر سنجنده مودیس استفاده کردند. آنها کل آب قابل بارش در مسیر سنجنده را با اجرای الگوریتم باند فرورسرخ نزدیک مودیس در شرایط مختلف جوی محاسبه نمودند و نشان دادند که باندهای ۱۸ و ۱۹ مودیس، برای استخراج آب قابل بارش در این ایستگاه مناسبند.

با توجه به اینکه پارامترهای دیگر ابر در کشور کمتر مطالعه شده اند، در این پژوهش سعی گردید ارتباط برخی از پارامترهای مهم مربوط به ابر مانند: دما و فشار قله ابر، عمق نوری ابر و مقدار ذرات آب و یخ ابر با مقدار بارش روزانه

$$WP = \frac{2}{3} \tau r_e \rho_t$$



پروپوزیشن کا علم انسانی و مطالعات فرہنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

همچنین، از مقادیر بارش استخراج شده از ماهواره TRMM نیز برای دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ استفاده شد. این ماهواره در سال ۱۹۹۷ به فضا پرتاب شد و دارای پنج سنجنده است که سه سنجنده آن مربوط به اندازه گیری بارش هستند (حاجی میر رحیمی، ۱۳۸۶).

برای انجام این تحقیق، ابتدا کشور به چند پهنه تقسیم گردید. با توجه به اینکه هدف این مطالعه بررسی ارتباط پارامترهای ابر با مقدار بارش روزانه در کل کشور بود، کشور بر اساس پهنه های مشترک بین مقدار پوشش ابر و بارش به چند منطقه تقسیم گردید. هدف از انجام این کار، به دست آوردن روزهای مشترک بارش در هر پهنه است. با توجه به اینکه الگوهای همدیدی و منابع تامین بارش در مناطق مختلف کشور متفاوت است، به دست آوردن روزهای مشترک همراه با بارش در کل کشور بسیار بعید است. با تقسیم کشور به چند پهنه، می توان روزهای مشترک همراه با بارش در هر پهنه را به دست آورد.

برای به دست آوردن پهنه های مشترک مقدار بارش و پوشش ابر، چندین لایه اطلاعاتی در نرم افزار ArcGIS همپوشانی<sup>۲۱</sup> شدند. در این فرآیند لایه های مقدار بارش ایستگاه های زمینی و بارش استخراج شده از ماهواره TRMM، مقدار پوشش ابر ایستگاه های همدید زمینی و مقدار پوشش ابر استخراج شده از تصاویر ماهواره مودیس استفاده شدند. پهنه های مقدار ابر که با روش خوشه بندی به دست آمده است (قاسمی، ۱۳۹۱) به همراه دیگر لایه ها اطلاعاتی به تصاویر رستری تبدیل و در محیط نرم افزار ArcGIS همپوشانی شدند. برای همپوشانی از روش "Weighted Sum" استفاده شد. این روش از روش های همپوشانی تصاویر رستری است که وزن داده شده به هر لایه به کل کلاس های آن لایه به-طور یکسان تعلق می گیرد. لایه ها در وزن داده شده ضرب شده، سپس با هم جمع می گردند. با توجه به اینکه هدف از این کار به دست آوردن پهنه های مشترک ابر و بارش بود، وزن لایه های بارش و ابر به صورت یکسان و هر کدام ۵۰ درصد داده شده است. وزن های داده شده بر روی هر پیکسل از تصاویر رستری ورودی با استفاده از رابطه ۳ اعمال و متغیر خروجی به صورت پهنه های تلفیق یافته از این لایه های ارائه می شود.

$$J = \sum_{i=1}^k S_i W_i \quad (3)$$

که در آن S ارزش لایه ها، W وزن هر لایه، k تعداد لایه ها و J ارزش نقشه خروجی است. برای به دست آوردن روزهای بارش در هر پهنه، در این تحقیق روزی که حداقل ۷۰ درصد ایستگاه های موجود در یک پهنه در آن روز بارش دریافت کرده باشند، روز بارش در نظر گرفته شد. این درصد در مطالعات مختلف متفاوت است؛ برای نمونه، کیوتل و پاویز<sup>۲۲</sup> (۱۹۹۸) این مقدار را ۵۰ درصد، ماهیراس<sup>۲۳</sup> و همکاران (۱۹۹۹) بین ۶۰ تا ۷۰ درصد، رسولی (۱۳۸۷ الف و ۲۰۰۴) حداقل ۴۰ درصد و تسویلی و زنگویل<sup>۲۴</sup> (۲۰۰۵) نیز این مقدار را حداقل ۲۰ درصد در نظر گرفته اند.

هرچه این درصد بیشتر باشد، نشان می‌دهد بخش بیشتری از منطقه، بارش دریافت کرده و نتایج حاصله نیز قابل اطمینان تر خواهند بود.

در مرحله آخر ارتباط بین مقدار بارش روزانه (در روزهای به دست آمده به عنوان روزهای مشترک بارش) با چهار پارامتر ابر ذکر شده (استخراج شده از تصاویر سنجنده مودیس) در هر پهنه با استفاده از مدل های رگرسیون خطی یا غیر خطی، مدل رگرسیون چند متغیره و گام به گام مدل سازی گردید. این مدل ها در بررسی داده های آب و هوایی کاربرد وسیعی دارند. بسیاری از محققان داخلی و خارجی از این روش ها استفاده نموده‌اند، مانند: عساکره، ۱۳۸۳؛ یاراحمدی و عزیزی، ۱۳۸۶؛ رحمانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ ایران نژاد و همکاران، ۱۳۸۸؛ کریجف<sup>۲۵</sup>، ۲۰۰۲؛ همسفیلد<sup>۲۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۳؛ قاسمی و خلیلی، ۲۰۰۸؛ استیفنس<sup>۲۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۸ و گوچیس<sup>۲۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۹. روابط مربوط به این مدل ها در بسیاری از مقالات و کتب ارائه شده است (فرشادفر، ۱۳۸۱؛ بازرگان لاری، ۱۳۸۵؛ جباری، ۱۳۸۵) که به منظور جلوگیری از افزایش حجم مقاله از ارائه آنها خودداری می‌شود.

### ارزیابی نتایج مدل ها

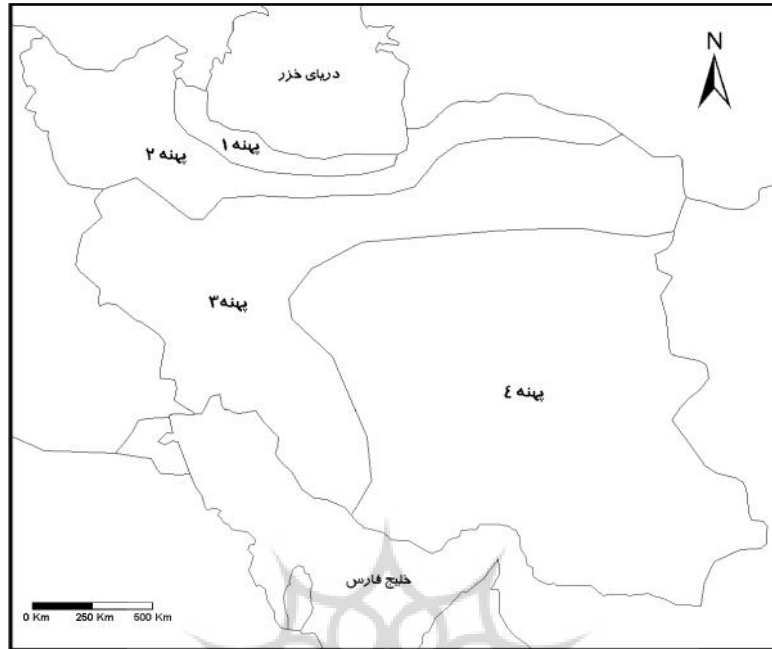
یک مدل در شرایطی می‌تواند ارتباط منطقی بین متغیرها ایجاد کند که علاوه بر بالا بودن ضریب تعیین ( $R^2$ ): ۱- باقیمانده های مدل (خطاها) دارای توزیع نرمال با میانگین خطای<sup>۲۹</sup> (MAE) صفر باشد؛ ۲- مانده ها دارای واریانس یکسان باشند و ۳- باقیمانده های مدل دو به دو ناهمبسته (مستقل) باشد (فرشادفر، ۱۳۸۱). برای بررسی نرمال بودن مانده ها، روش های متعدد آماری و گرافیکی وجود دارد. در این تحقیق نمودار احتمال باقیمانده های استاندارد مدل رسم و سازگاری و انطباق آن با یک خط مستقیم بررسی گردید. همچنین این انطباق با آزمون نکویی برازش اندرسون-دارلینگ نیز بررسی شد. هرچه نقاط به دست آمده بهتر بر روی یک خط منطبق گردند، داده ها به نرمال نزدیکتر خواهند بود. برای بررسی یکسان بودن واریانس مانده ها نیز از نمودار مانده ها در برابر مقادیر پیش بینی شده استفاده شد. اگر نقاط این نمودار از شکل خاصی تبعیت نکنند و در اطراف محور  $y=0$  پراکنده باشند، می‌توان نتیجه گرفت که واریانس مانده ها تقریباً یکسان هستند (بازرگان لاری، ۱۳۸۵). استقلال مانده ها نیز با استفاده از آزمون دوربین-واتسون بررسی شد. این آزمون از روش های شناخته شده برای بررسی استقلال باقیمانده های مدل است (فرشاد فر، ۱۳۸۱). مقدار ضریب دوربین-واتسون به وسیله مقادیر استخراج شده از جدول مربوطه، آزمون می‌گردد. تمامی آزمون های ذکر شده در محیط نرم افزارهای SPPS و MINITAB انجام گرفت.

### یافته های پژوهش

#### الف) پهنه های مشترک مقدار پوشش ابر و بارش

با همپوشانی لایه های اطلاعاتی بارش و مقدار پوشش ابر مطابق توضیحات بخش داده ها و روش ها، کشور به چهار

-Kryjov  
-Heymfield  
-Stephenson  
-Gochis  
29-Mean Absolute Error



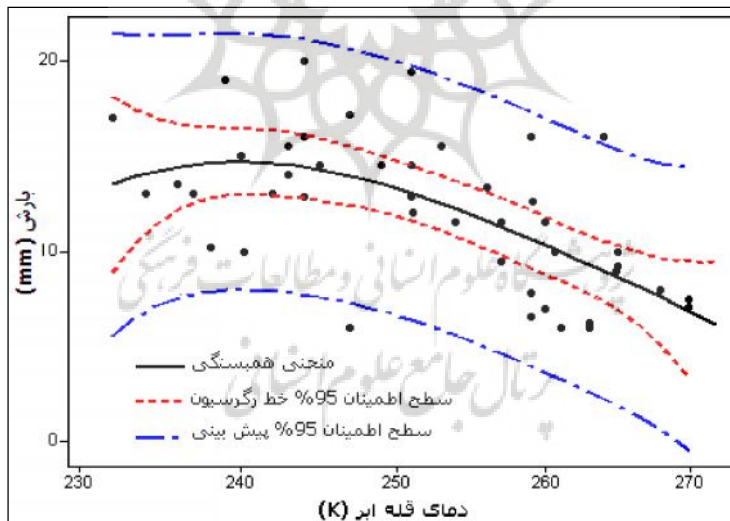
شعبه پژوهش‌های علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
 نشریات علمی  
 فصلنامه علمی پژوهشی  
 فصلنامه علمی پژوهشی  
 فصلنامه علمی پژوهشی

شماره بهنه	CTT	CTP	COD	CWIP
۱	** - ۰/۳۶۲	* - ۰/۲۶۱	** ۰/۴۷۹	** ۰/۵۲۵
۲	** - ۰/۴۴۶	** - ۰/۴۴۶	* ۰/۳۴۷	** ۰/۵۲۱
۳	** - ۰/۵۸۳	** ۰/۵۶۴-	** ۰/۵۵۳	** ۰/۵۳۹
۴	* - ۰/۴۴۶	* - ۰/۴۳۹	* ۰/۴۲۶	* ۰/۴۶۳

همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، در همه پهنه‌ها بین بارش با دما و فشار قله ابر، رابطه غیر مستقیم (معکوس) و معنی‌دار و با عمق نوری ابر و مقدار ذرات آب و یخ ابر رابطه مستقیم و معنی‌دار وجود دارد. به عبارت دیگر، با کاهش دما و فشار قله ابر و افزایش مقدار عمق نوری و مقدار ذرات آب و یخ، مقدار بارش نیز در پهنه‌ها افزایش یافته است. با توجه به اینکه مقادیر همبستگی در پهنه ۳ بیشتر از دیگر پهنه‌هاست، مدل سازی ارتباط بین بارش و پارامترهای ابر در این پهنه به صورت کامل ارائه و نتایج پهنه‌های دیگر به صورت جدول ارائه می‌گردد.

شایان ذکر است جدول ۱ تنها به این منظور ارائه گردید که مشخص شود در کدام یک از پهنه‌ها احتمال به دست آوردن مدل‌های قویتر وجود دارد. بنابراین، این جدول تنها برای به دست آوردن یک دید کلی از مسأله است و تحلیل و تفسیرها بر روی مدل‌های اصلی برازش داده شده در قسمت‌های بعد انجام می‌گردد.

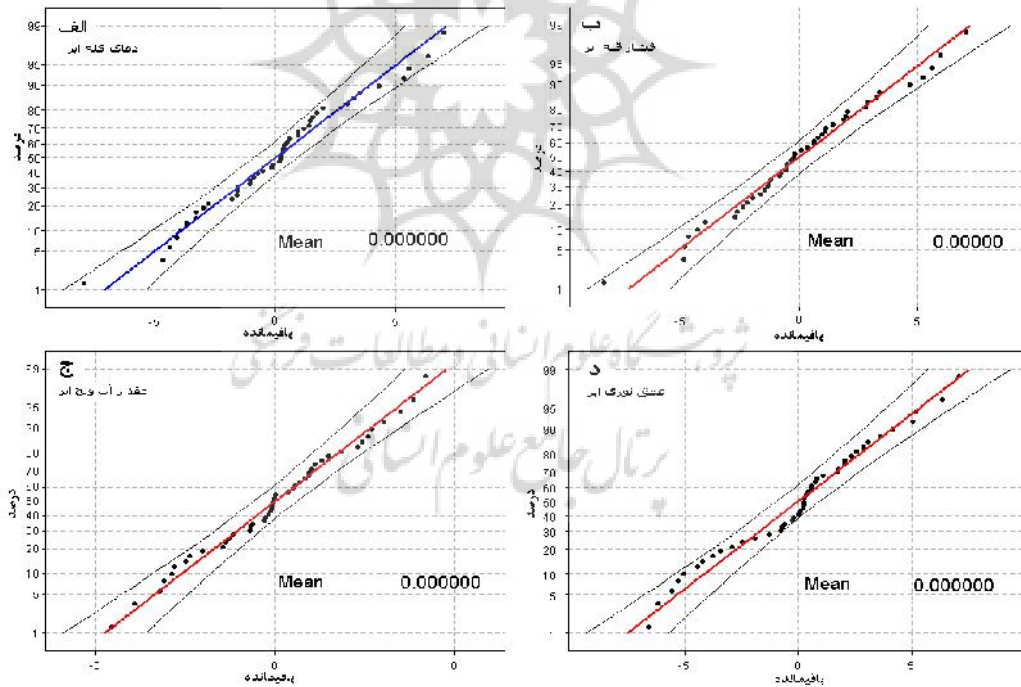
شکل ۲ ارتباط بین مقادیر بارش و دمای قله ابر را برای روزهای بارش در پهنه ۳ نشان می‌دهد. بهترین مدل برازش داده شده با بالاترین ضریب تعیین و کمترین خطا، یک مدل درجه سه است. ضریب تعیین برای این مدل ۰/۳۹ بوده (جدول ۲)؛ به عبارت دیگر ۳۹ درصد از تغییرات بارش در پهنه ۳ به وسیله تغییرات دمای قله ابر توجیه می‌گردد. مقدار ضریب F (آزمون معنی‌داری مدل) نیز معادل ۸/۴ به دست آمده که در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱ معنی‌دار است. بنابراین، می‌توان گفت که مدل رگرسیون برازش داده شده برای برآورد مقدار بارش بر اساس دمای قله ابر در پهنه شماره ۳ مناسب بوده است.

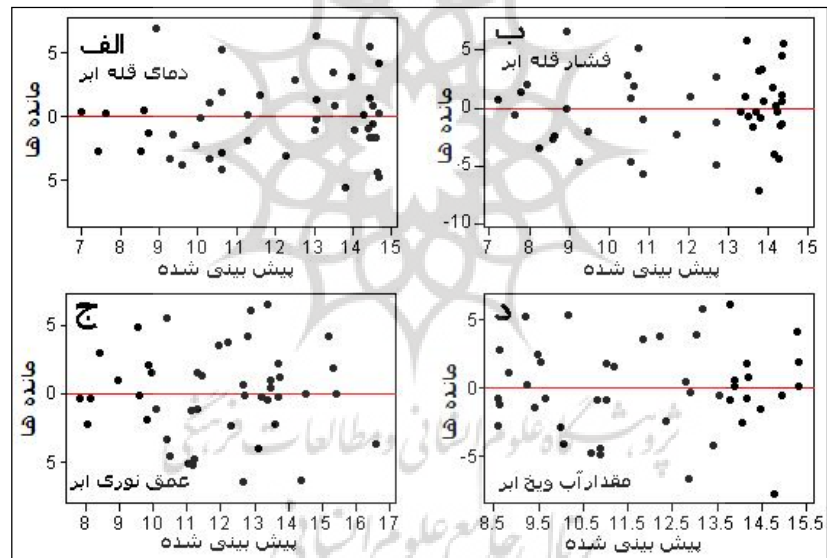


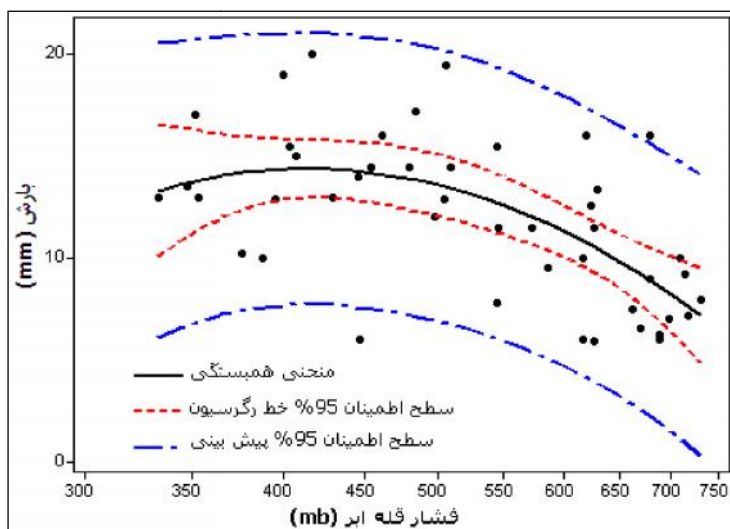
شکل ۲) ارتباط بین مقادیر بارش و دمای قله ابر برای روزهای بارش در پهنه ۳



ضرب دوربین- واتسون	p-value اندرسون-دارلینگ	p-value F	F	میانگین خطاها	ضرب تعیین	مدل	پارامتر
۲/۲	۰/۶۱۳	**۰/۰۰۰	۸/۴	۰/۰۰۰	۰/۳۹	لگاریتمی درجه ۳	CTT
۲/۲	۰/۵۰۶	**۰/۰۰۰	۱۲/۰	۰/۰۰۰	۰/۳۷۰	لگاریتمی درجه ۲	CTP
۲/۱	۰/۴۷۵	**۰/۰۰۲	۶/۱	۰/۰۰۰	۰/۳۱۰	درجه ۳	CWIP
۲/۱	۰/۷۳۳	**۰/۰۰۰	۱۸/۹	۰/۰۰۰	۰/۳۱۰	خطی	COD





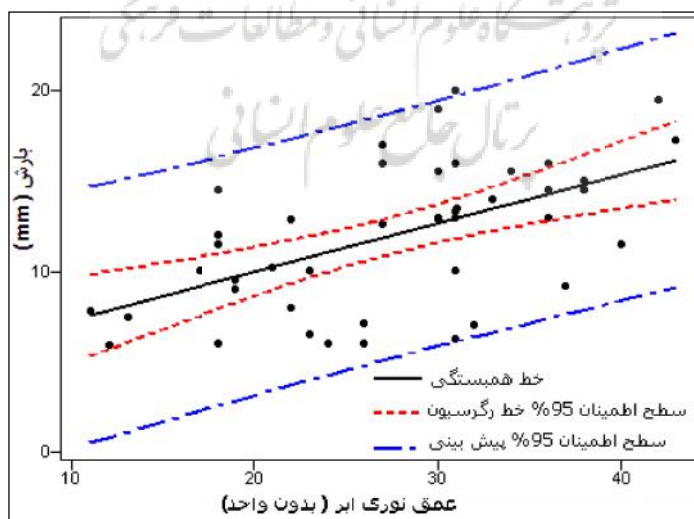


شکل ۵) ارتباط بین مقادیر بارش و فشار قله ابر برای روزهای بارش در پهنه ۳

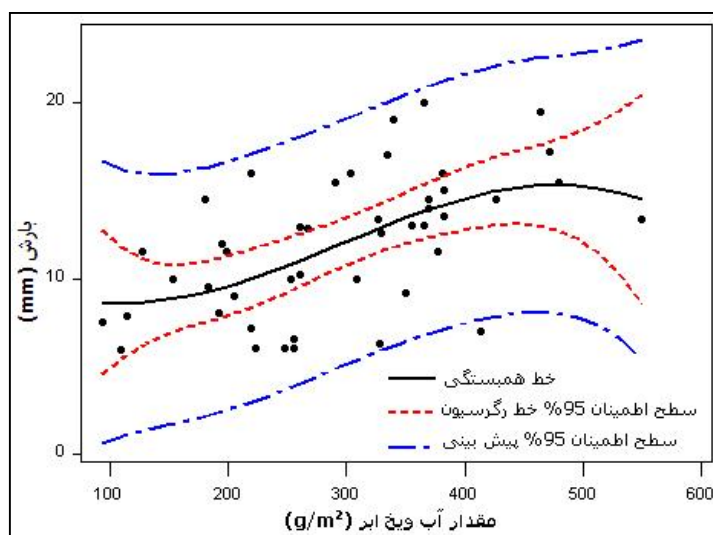
بهترین مدل بیان کننده ارتباط بین مقدار بارش با عمق نوری ابر (شکل ۶) یک مدل خطی و با مقدار ذرات آب و یخ (شکل ۷) یک مدل درجه ۳ به دست آمد. این دو پارامتر هر کدام حدود ۳۱ درصد از تغییرات بارش در پهنه ۳ را توجیه می کنند (جدول ۲). نتایج ارزیابی مدل نیز مطابق جدول ۲ و شکل های ۳ و ۴ چ و د مناسب و تایید کننده کارایی مدل-های برازش داده شده بر متغیرهاست. دو مدل برازش داده شده برای عمق نوری ابر و مقدار ذرات آب و یخ ابر به ترتیب مطابق روابط ۶ و ۷ هستند.

$$P = 4.63 + 0.267 \text{ COD} \quad (6)$$

$$P = 10.8 - 0.04 \text{ CWP} + 0.0002 \text{ CWP}^2 - \text{CWP}^3 \quad (7)$$



شکل ۶) ارتباط بین مقادیر بارش و عمق نوری ابر برای روزهای بارش در پهنه ۳



بهترین مدل ها برای روزهای بارش مشترک در فصل زمستان به دست آمد که شرایط مربوط به مانده های مدل در آن صدق می کند. مدل های به دست آمده برای چهار پارامتر ابر مطابق زیر هستند:

۸) برای دمای قله ابر  $P = 544.697 - 220.907 \log(\text{CTT})$

۹) برای فشار قله ابر  $P = 91.0181 - 28.1265 \log(\text{CTP})$

۱۰) برای عمق نوری  $P = 52.8052 - 78.3770 \log(\text{COD}) + 34.4019 \log(\text{COD})^{**2}$

۱۱) برای مقدار آب و یخ ابر

$P = -96.1053 + 159.619 \log(\text{CWP}) - 82.8780 \log(\text{CWP})^{**2} + 14.5172 \log(\text{CWP})^{**3}$

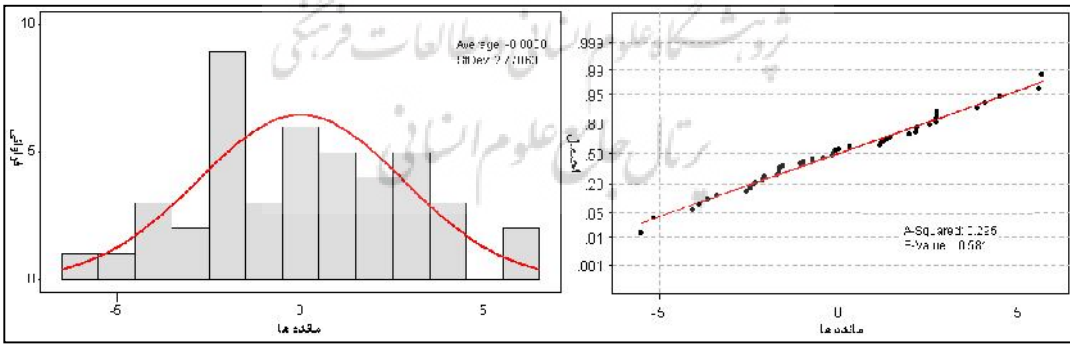
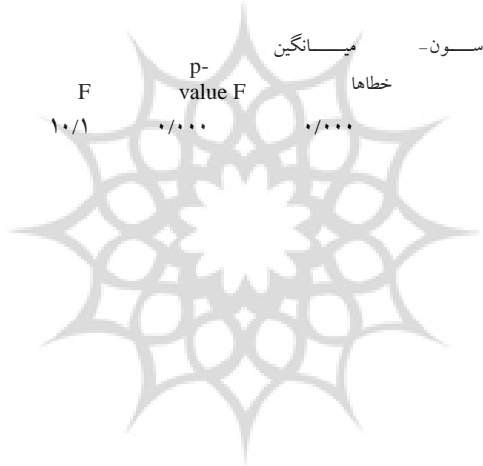
جدول ۳) بهترین مدل های به دست آمده برای پهنه های ۱، ۲ و ۴ به همراه نتایج آزمون های آماری

ضریب دوربین-واتسون	P-value اندرسون-دارلینگ	P-value F	F	درصد ضریب تعیین	بهترین مدل برازش داده شده	پارامتر	پهنه
۱/۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۳/۶	۱۴	$P=401.4-160.4 \log(\text{CTT})$	CTT	۱
۱/۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۷/۳	۸	$P=83.5-24.7 \log(\text{CTP})$	CTP	
۱/۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۲۸/۳	۲۵	$P=-19.6+13.9 \log(\text{CWP})$	CWIP	
۱/۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۱۸/۸	۱۸	$P=-8.5+15.9 \log(\text{COD})$	COD	
۱/۸	۰/۱۰	۰/۰۰۱	۶/۴	۳۱	$P=-1051798+1324281\log(\text{CTT})-5557\log(\text{CTT})^2+77724\log(\text{CTT})^3$	CTT	۲
۱/۸	۰/۴۵	۰/۰۰۱	۶/۹	۳۳	$P=-14378.1+16384\log(\text{CTP})-6207 \log(\text{CTP})^2+782.3 \log(\text{CTP})^3$	CTP	
۱/۸	۰/۳۴	۰/۰۰۱	۶/۵	۳۱	$P=-316.7+435.6 \log(\text{CWP})-195.3 \log(\text{CWP})^2+29.2 \log(\text{CWP})^3$	CWIP	
۱/۵	۰/۲۰	۰/۰۱۶	۶/۳	۱۲	$P= 4.87 + 0.09\text{COD}$	COD	
۲/۳	۰/۲۴۸	۰/۰۲۰	۱/۲	۲۰	$P= 248.1- 99.8 \log(\text{CTT})$	CTT	۴
۲/۳	۰/۱۲۵	۰/۰۲۲	۶/۰	۲۰	$P= 58.9- 18.7 \log(\text{CTP})$	CTP	
۲/۱	۰/۰۳	۰/۰۱۸	۶/۴	۲۱	$P= -18.1+ 11.1 \log(\text{CWP})$	CWIP	
۲/۱	۰/۱۰	۰/۰۲۷	۵/۴	۱۹	$P= 2.38+ 0.237 \text{COD}$	COD	

\* معنی دار در سطح ۰/۰۵ \*\* معنی دار در سطح ۰/۰۱

مقدار حد بحرانی دوربین-واتسون در سطح معنی داری ۹۹ درصد برای پهنه ۱- ۱/۵، پهنه ۲- ۱/۴ و پهنه ۴- ۱/۳

ضرب دورین- واتسون	ضرب تعیین	ضرب همبستگی	ضرب دورین- واتسون	ضرب تعیین	ضرب همبستگی
۲/۲	۰/۵۴۶	۰/۷۰۹	۲/۲	۰/۵۴۶	۰/۷۰۹



بر همین اساس، برای پهنه های دیگر نیز مدل های رگرسیون چند متغیره زیر به دست آمد (جدول ۵) که کارایی آنها برای برآورد مقدار بارش در هر پهنه نیز بر اساس نتایج آزمون های ارائه شده در جدول ۵ مورد تایید است. البته، فرض نرمال بودن مانده ها در پهنه شماره ۱ تایید نشد. در این پهنه بهترین مدل برای فصل زمستان به دست آمد که مطابق رابطه ۱۳ است. در این مدل ضریب تعیین ۵۹/۲ درصد، مقدار p-value آزمون اندرسون-دارلینگ ۰/۷۰ و ضریب دوربین-واتسون نیز معادل ۱/۸۳ به دست آمد که نشان دهنده کارایی مناسب و بالای مدل هستند. قابل ذکر است که نرمال بودن مانده ها در تمامی مدل های ارائه شده در مقاله، با روش ناپارامتری K.S نیز بررسی گردید که نتایج حاصله، نتایج آزمون اندرسون-دارلینگ را تایید کردند.

$$P = 73.8 - 0.303 \text{ CTT} + 0.0163 \text{ CTP} + 0.001 \text{ COD} + 0.0188 \text{ CWIP} \quad (13)$$

جدول ۵) مدل های به دست آمده برای پهنه های ۱، ۲ و ۴ به همراه نتایج آزمون های آماری

پهنه	مدل رگرسیون چند متغیره	درصد ضریب تعیین	F	p-value F	p-value اندرسون-دارلینگ	ضریب دوربین-واتسون
۱	$P=30.4 - 0.0977 \text{ CTT} + 0.00457 \text{ CTP} - 0.0181 \text{ COD} + 0.0194 \text{ CWIP}$	۲۸	۸/۱۹	**۰/۰۰۰	۰/۰۰	۱/۶
۲	$P= - 30.5 + 0.19 \text{ CTT} - 0.03 \text{ CTP} + 0.0439 \text{ COD} + 0.00917 \text{ CWIP}$	۳۹/۲	۶/۹۳	**۰/۰۰۰	۰/۴۶۳	۱/۷
۴	$P= 29.8 - 0.094 \text{ CTT} - 0.0035 \text{ CTP} + 0.144 \text{ COD} + 0.0032 \text{ CWIP}$	۲۹	۲/۲۴	*۰/۰۹	۰/۲۵۲	۲/۲

\* معنی دار در سطح ۰/۰۵ \*\* معنی دار در سطح ۰/۰۱

مقدار حد بحرانی در سطح معنی داری ۹۹ درصد برای پهنه ۱- ۱/۶۱، پهنه ۲- ۱/۵۴ و پهنه ۴- ۱/۵۱

### مدل رگرسیون گام به گام

برای اطمینان از عدم همخطی شدید در مدل ها، آزمون تورم واریانس انجام گردید. نتایج این آزمون نشان داد که برای برخی متغیرها، مقدار تورم واریانس بیشتر از ۱۰ است که موجب تاثیر نامطلوب بر روی ضریب تعیین مدل ها می گردد. یکی از روش های حذف همخطی، حذف متغیرهای مستقلی است که دارای همبستگی درونی بالا هستند (فرشادفر، ۱۳۸۱). برای این منظور و همچنین برای رسیدن به متغیرهای اصلی و تأثیرگذار در مدل های رگرسیون چند متغیره، از روش رگرسیون گام به گام استفاده شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

با استفاده از این روش برای پهنه شماره ۳ دو متغیر دمای قله ابر و عمق نوری ابر وارد مدل می شوند. در این حالت، مقدار ضریب تعیین نسبت به حالت رگرسیون چند متغیره از ۵۰ به ۴۷ درصد کاهش می یابد. به عبارت دیگر، ورود دو متغیر حذف شده؛ یعنی فشار قله و مقدار آب و یخ ابر تنها ۳ درصد مقدار ضریب تعیین را افزایش می دهد. متغیر فشار قله ابر به علت همبستگی بالا (۰/۹۷) با دمای قله ابر و مقدار آب و یخ ابر به علت همبستگی بالا (۰/۹۰) با عمق نوری ابر توسط روش گام به گام حذف شده اند. البته، همبستگی این متغیرها از لحاظ فیزیکی نیز قابل توجیه است. زیر دما با فشار و تغییرات عمق نوری با تغییرات مقدار آب و یخ ابر دارای رابطه ساختاری هستند و به نوعی منعکس کننده

یکدیگرند، زیرا کاهش فشار قله ابر به معنی افزایش ارتفاع ابر است که این افزایش ارتفاع از سطح زمین در تروپوسفر همراه با کاهش دماست. عمق نوری ابر نیز بیان‌کننده مقدار تضعیف نور در هنگام عبور از عمق ابر بر اثر جذب و پراکنش به وسیله ذرات آب و یخ ابر است. به عبارت دیگر، هرچه عمق نوری ابر بیشتر باشد، به معنی وجود مقدار بیشتر ذرات آب و یخ در ابر است.

تحلیل گام به گام برای پهنه ۲، دو متغیر فشار قله ابر و مقدار آب و یخ ابر را به مدل وارد کرد که مقدار ضریب تعیین معادل ۳۴ درصد به دست آمد. این مقدار ۵ درصد از حالتی که تمام متغیرها وارد مدل شوند، کمتر است. در پهنه های شماره ۴ تنها متغیر مقدار آب و یخ ابر وارد مدل شده است که ضریب تعیین آن ۲۱ درصد است، ولی در حالت باقیمانده های مدل نرمال نیستند. بنابراین، نمی توان این مدل را پذیرفت، در حالی که با ورود کل متغیرها، باقیمانده ها نرمال و ضریب تعیین نیز بیشتر است. در پهنه شماره ۱ نیز مانند پهنه شماره ۴ تنها متغیر مقدار آب و یخ ابر وارد مدل شده با ضریب تعیین ۵۳ درصد، در حالی که با ورود تمام متغیرها در این پهنه با حفظ شرایط آماری مناسب برای باقیمانده های مدل، مقدار ضریب تعیین به ۵۹/۲ درصد افزایش می یابد. در این پهنه برای هیچ یک از متغیرها مقدار ضریب تورم واریانس بیشتر از ۵ نیست. به عبارت دیگر، در این پهنه مقدار همخطی شدید نیست و می توان ضریب تعیین رگرسیون چند متغیره را نیز پذیرفت.

جدول ۶) مشخصات مدل های رگرسیون گام به گام برای پهنه ها به همراه نتایج آزمون های آماری

پهنه	متغیر های ورودی به مدل	درصد ضریب تعیین	F	p-value F	p-value اندرسون-دارلینگ	ضریب دورین-واتسون
۱	CWIP	۵۳	۴۸/۴	۰/۰۰۰ **	۰/۶۴۸	۲/۰۱
۲	CWIP و CTP	۳۴	۱۱/۵	۰/۰۰۰ **	۰/۱۰۶	۱/۶۳
۳	COD و CTT	۴۷	۱۸/۳	۰/۰۰۰ **	۰/۷۹۹	۲/۲۴
۴	CWIP	۲۱	۶/۸	۰/۰۲۰ *	۰/۰۰۴	۲/۱۳

\* معنی دار در سطح ۰/۰۵ \* \* معنی دار در سطح ۰/۰۱

### نتیجه گیری

مطالعه پارامترهای آب و هوایی به علت نقشی که در مباحث تغییر اقلیم و مدل های اقلیمی و پیش بینی بارش دارند، از اهمیت ویژه ای در دنیا برخوردارند. در این میان، ابرها و پارامترهای مربوط به آنها به عنوان یک پدیده پیچیده آب و هوایی در سال های اخیر بیشتر مورد توجه محققان در دنیا قرار گرفته اند.



به دلیل این اهمیت، در این پژوهش ارتباط چهار پارامتر مهم ابر؛ یعنی دما و فشار قله ابر، عمق نوری ابر و مقدار ذرات آب و یخ ابر در محدوده کشور ایران با بارش مطالعه شد. برای این هدف، علاوه بر اطلاعات ایستگاه های همدید زمینی از اطلاعات سنجنده مودیس نیز استفاده شد و با استفاده از مدل های رگرسیون خطی، غیر خطی و همچنین، مدل رگرسیون چند متغیره ارتباط بین این پارامترها بررسی گردید.

نتایج نشان داد که چهار پارامتر ابر مورد مطالعه می توانند بخش قابل قبولی از تغییرات بارش را در بخش های مختلف کشور تشریح کنند. در بین این پارامترها بیشترین تاثیر مربوط به دمای قله ابر است که ۲۰ تا ۳۹ درصد تغییرات بارش کشور را توضیح می دهد. این مسأله نشان می دهد که در بین عوامل مؤثر در شکل گیری بارش، فرایند تراکم بخار آب بیشترین نقش را دارد. البته، کاهش دما تا حد معینی می تواند به افزایش بارش منجر گردد و پس از آن کاهش دما نمی تواند به افزایش بارش منجر گردد که دلیل آن کاهش سرعت فرآیند تراکم به علت کاهش محتوای بخار آب ابر پس از مدتی بارش است. با کاهش فرایند تراکم که فرایندی گرمناست، ناپایداری و حرکات همرفتی درون ابر و بنابراین، رشد عمودی و توسعه آن به سطوح بالاتر جو کاهش می یابد که خود موجب متوقف شدن کاهش دمای ابر می گردد.

در بین چهار پهنه مورد مطالعه در کشور، نتایج به دست آمده در پهنه های ۲ و ۳ که شامل مناطق زاگرس، البرز و کوهپایه های آنها هستند، قویتر از مناطق دیگر است. دلیل آن می تواند قرار گرفتن این مناطق در مسیر اصلی سیکلون های مهاجر و توده های اصلی هوای ورودی به کشور باشد. به عبارت دیگر، این مناطق بیشتر از مناطق دیگر کشور تحت تاثیر توده های هوای متنوع و متفاوت از نظر خصوصیات ابرها قرار دارند.

نتایج این تحقیق نشان داد که هرچند توانایی پارامترها ابر برای برآورد بارش در مناطق مختلف کشور یکسان نیست، اما این پارامترها می توانند نقش تعیین کننده ای در برآورد مقدار بارش و افزایش کارایی مدل های اقلیمی در کشور داشته باشند. به عبارت دیگر، اقلیم سطحی کشور تا حد زیادی متأثر از پارامترهای ابر است. بنابراین، این پارامترها را می توان به عنوان شاخص های مؤثر در مطالعه تغییرات پارامترهای آب و هوایی کشور به کار برد.

## منابع

- ۱- ایران نژاد، پرویز؛ احمدی گیوی، فرهنگ و محمدنژاد، علیرضا. (۱۳۸۸). «اثر مراکز چرخندزای مدیترانه بر بارش سالانه ایران در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲»، *مجله ژئوفیزیک ایران*، ش ۱، صص ۹۱-۱۰۵.
- ۲- بازرگان لاری، عبدالرضا. (۱۳۸۵). *رگرسیون خطی کاربردی*، انتشارات دانشگاه شیراز. ۳۳۱ صفحه.
- ۳- پورباقر، س.، م. ر. مباحثی و م. فرج زاده. (۱۳۸۶). «امکان سنجی استفاده از داده های رادیو ساوند و تصاویر ماهواره ای MODIS در برآورد آب قابل بارش کلی»، *همایش ژئوماتیک تهران*، سازمان نقشه برداری کشور، ۱۸۱۹ صفحه.
- ۴- جباری، ایرج. (۱۳۸۵). *روش های آماری در علوم محیطی و جغرافیا*، تهران: انتشارات دانشگاه رازی، ۳۰۳ صفحه.

- ۵- حاجی میر رحیمی، محمود. (۱۳۸۶). *ارزیابی تطبیقی مقادیر بارش نظاره شده توسط سنجنده های ماهواره ای و رادار هواشناسی*، پایان نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه تبریز، ۱۴۰ صفحه.
- ۶- رحمانی، الهام؛ خلیلی، علی و لیاقت، عبدالمجید. (۱۳۸۷). «بررسی کمی تاثیر خشکسالی بر عملکرد محصول جو در آذربایجان شرقی به روش رگرسیونی چند متغیره»، *فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ش ۴۲، صص ۲۵-۳۶.
- ۷- رسولی، علی اکبر. (۱۳۸۷ الف). «توزیع مکانی باران های رعد و برقی منطقه سیدنی استرالیا»، *دومین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم*، سازمان هواشناسی کشور، ۱۳ و ۱۴ آبان. ۲۹۱-۳۱۰.
- ۸- \_\_\_\_\_ . (۱۳۸۷ ب). *مبانی سنجش از دور کاربردی با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره ای*، انتشارات دانشگاه تبریز، ۷۷۷ صفحه.
- ۹- صادقی حسینی، سیدعلیرضا؛ حجام، سهراب و تفنگ ساز، پوریا. (۱۳۸۴). «ارتباط آب قابل بارش ابر و بارندگی دیدبانی شده در منطقه تهران»، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ش ۲، صص ۱۳-۲۱.
- ۱۰- صادقی حسینی، علیرضا و رضائیان، مهتاب. (۱۳۸۵). «بررسی تعدادی از شاخص های ناپایداری و پتانسیل بارورسازی ابرهای همرفتی منطقه اصفهان»، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ش ۲، صص ۸۳-۹۸.
- ۱۱- عساکره، حسین. (۱۳۸۳). «مدل سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی - مطالعه موردی بارش سالانه استان اصفهان»، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ش ۷۴، صص ۲۱۳-۲۳۱.
- ۱۲- علیزاده، امین. (۱۳۸۶). *اصول هیدرولوژی کاربردی*، انتشارات دانشگاه امام رضا، ۸۰۷ صفحه.
- ۱۳- فرشاد فر، عزت الله. (۱۳۸۱). *اصول و روش های آماری*. انتشارات دانشگاه رازی. ۷۳۳ صفحه.
- ۱۴- قاسمی، احمد رضا. (۱۳۹۱). *مدل سازی تغییرات زمانی و مکانی پوشش ابری، با تاکید بر روزه های بارش در ایران*، رساله دکتری رشته جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم شناسی. دانشگاه تبریز.
- ۱۵- نجفی، درعلی. (۱۳۸۳). «محاسبه آماری حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته و حداکثر آب قابل بارش ایستگاه اصفهان»، *دومین کنفرانس دانشجویی منابع آب و خاک دانشگاه شیراز*، ۳۷۰ صفحه.
- ۱۶- یاراحمدی، داریوش، عزیزی، قاسم. (۱۳۸۶). «تحلیل چند متغیره ارتباط میزان بارش فصلی ایران و شاخص های اقلیمی»، *فصلنامه پژوهش های جغرافیایی*، ش ۶۲، صص ۱۶۱-۱۷۴.
- 17- Adler, R.F. and A.J. Negri. (1988). A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl. Meteor.*, 27, 30-51.
- 18- Arkin, P.A. and B.N. Meisner. (1987). The relationship between large- scale convective rainfall and cold cloud over the Western Hemisphere during 1982-1984. *Mon. Wea. Rev.*, 115: 51-74.

- 19- Askelson, M. (2007). On the use of satellite cloud top pressure data in the estimation of snowfall occurrence and precipitation rates. 23rd Conference on IIPS.
- 20- Bretherton, H.S., E.P. Matthew and E.B. Larissa. (2004). Relationships between Water Vapor Path and Precipitation over the Tropical Oceans. *J. Climate*. 17:1517-1528.
- 21- Bumrungrklang, P., S. Dasananda and D. Sukawat. (2009). An Analysis of Seasonal Thunderstorm Cloud Distribution and Its Relation to Rainfall in Thailand using remotely sensed data. *Suranaree J. Sci. Technol.* 17: 71-86
- 22- Field, P.R., A. Gettelman, R.B. Neale, R. Wood, P.J. Rasch. (2008). Midlatitude cyclone compositing to constrain climate model behavior using satellite observations. *J. Climate*, 21: 5887-5903.
- 23- Ghasemi, A.R., D. Khalili. (2008). The Effect of the North Sea-Caspian Pattern on Winter Temperatures in Iran. *Theor. Appl. Climatol*, 92: 59-74.
- 24- Gochis, D. J., S.W. Nesbitt., W. Yu. and S.F. Williams. (2009). Comparison of gauge-corrected versus non-gauge corrected satellite-based quantitative precipitation estimates during the 2004 NAME enhanced observing period. *Atmosfera*. 22: ISSN 0187-6236.
- 25- Hack, J.J., M. Caron, S.G., Yeager, K. Oleson, M. Holland, J. Truesdale, P. Rasch. (2006). Simulation of the global hydrological cycle in the CCSM Community Atmosphere Model version3 (CAM3): Mean features. *J. of Climate*, 19: 2199-2221.
- 26- Hanna, W., D.M. Schultz and A.R. Irving. (2008). Cloud-Top Temperatures for Precipitating Winter Clouds. *J of Appl. Meteorolo. and Climatolo.* 47: 351-359.
- 27- Heymsfield, A.J., S. Matrosov and B. Baum. (2003). Ice Water Path-Optical Depth Relationships for Cirrus and Deep Stratiform Ice Cloud Layers. *J of Appl. Meteorolo.* 42: 1369-1389.
- 28- Heymsfield, A.J., S. Matrosov, B. Baum. (2003). Ice Water Path-Optical Depth Relationships for Cirrus and Deep Stratiform Ice Cloud Layers. *J. of Appl. Meteorolo* 42: 1396-1390
- 29- Hong, G., Yang, p., Bryan, A., B. Andrew, J. Heymsfield, K. Xu. (2009). Parameterization of Shortwave and Longwave Radiative Properties of Ice Clouds for Use in Climate Models. *J. of Climate*, 22: 6287-6312.
- 30- Houze, R. A. (1993). *Cloud Dynamics*. Academic Press, 573 pp.
- 31- Kryjov, V.N. (2002). Relationships between Northern Russia Monthly, Seasonal, and Annual Air Temperatures and Winter Zonal Circulation Indices. *Meteorology and Hydrology*. Moscow 105554.
- 32- Kutiel, H. and S. Paz. (1998). Sea Level Pressure Departures in the Mediterranean and their Relationship with Monthly Rainfall Conditions in Israel. *Theor. Appl. Climatol.* 60: 93-109.
- 33- Lohmann, U. 2010. Applications and needs of clouds & aerosols in GCMs. Berlin. pp 20.
- 34- Maheras, P., E.Xoplaki., H.Kutiel. (1999). Wet and dry monthly anomalies across the mediterranean basin and their relationship with circulation, 1860-1990. *Theor. Appl. Climatol.* 64: 189-199.
- 35- Menzel, W.P., R.A. Frey, H. Zhang, D.P. Wylie, C. Moeller, R. Holz, B. Maddux, B. Baum, K. Strabala, and L. Gumley. 2008. MODIS Global Cloud-Top Pressure and Amount Estimation: Algorithm Description and Results. *Journal of applied meteorology and climatology*. 47:1175-1198.
- 36- Rasouli, A. A. (2004). Temporal and spatial study of thunderstorm rainfall in the greater Sydney region. *International Conference on Storms*. Australia. 272-281.
- 37- Schlesinger, M. E., H. S. Khashgi, J. Smith, F. C. Chesnaye, J. M. Reilly, T. Wilson, and C. Kolstad. (2007). *Human-Induced Climate Change*. Cambridge University Press. 426 pp.
- 38- Stephenson, T.S., A.A. Chen, M.A. Taylor. (2008). Toward the development of prediction models for the primary Caribbean dry season. *Theor. Appl. Climatol.* 92: 87-101.

- 39- Tsvieli. Y., A. Zangvil. (2005). Synoptic climatological analysis of wet and dry red sea troughs over Israel. Int. J. Climatol. 25: 1997-2015.
- 40- Zeng, X. 1999. The Relationship among Precipitation, Cloud-Top Temperature and Perceptible Water over the Tropics. J. Climate. 12: 2503-2514.

