نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۲، بهار ۱۴۰۳

آشکارسازی ارتباط ساختار میکروفیزیکی ابرناکی در بارش‌های استان خوزستان با استفاده از محصولات ابر سنجنده MODIS

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۲/۲۹ **پذیرش نهایی**: ۱۴۰۱/۷/۲۰

صفحات: ۴۸۶-۴۷۱

دانش نصیری: دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
Email: daneshnassiri1351@gmail.com
رضا برنا: دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.[۱]
Email: rborna22@gmail.com
منیژه ظهوریان پردل: استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
Email: Manijeh2002@yahoo.com

چکیده

هدف این تحقیق آشکارسازی ارتباط ساختار میکروفیزیکی ابرناکی و توزیع مقدار بارش در سطح استان خوزستان می‌باشد. در این راستا ابتدا ۳ رخداد بارش فراگیر در سطح استان خوزستان انتخاب گردید و مقادیر بارش تجمعی ۲۴ ساعته آن‌ها اخذ گردید. رخداد بارش ۱۷ دسامبر ۲۰۰۶ به‌عنوان یک مورد بارش سنگین، ۲۵ مارس ۲۰۱۹ به‌عنوان یک مورد بارش متوسط و در نهایت ۲۷ اکتبر ۲۰۱۸ به‌عنوان یک مورد بارش سبک فراگیر انتخاب شد. فاکتورهای میکروفیزیکی ابرهای مولد این بارش‌ها از محصول ابر سنجنده MODIS (MOD06)، اخذ شد که شامل دما، فشار و ارتفاع قله ابر، ضخامت اپتیکال و نسبت ابرناکی بود. در نهایت با تولید یک ماتریس با ۶۴۰۰۰ کد اطلاعاتی ۱ کیلومتری و اجرای تحلیل همبستگی فضایی در سطح اطمینان ۰/۹۵، ارتباط بین ساختار میکروفیزیکی ابرناکی و مقادیر و توزیع فضایی بارش‌های منتخب آشکار گردید. نتایج بیانگر آن بود که در مورد مطالعاتی بارش سنگین و متوسط که میانگین فضایی بارش تجمعی ۲۴ ساعته در سطح استان به ترتیب برابر ۳۶ و ۱۲ میلی‌متر بود، یک ساختار ابرناکی کاملاً تکامل‌یافته با نسبت ابرناکی بیش از ۷۵ درصد و گسترش عمودی ۶ تا ۹ هزارمتری، با ضخامت نوری ۴۰ تا ۵۰، منجر به رخداد این بارش‌های فراگیر و قابل‌توجه در سطح استان شده است. درحالی‌که در مورد بارش سبک، یک گسست چشمگیر در گسترش افقی ابرناکی در سطح استان دیده‌شده و درصد ابرناکی به کمتر از ۱۰ درصد رسیده بود. علاوه بر آن فاکتورهای مربوط به گسترش عمودی ابرناکی نیز بسیار کمتر بود، به‌طوری‌که ارتفاع قله ابر در این بارش بین ۳ تا ۵ هزارمتر بوده است. نتایج این تحقیق نشان داد، در مورد بارش سنگین و متوسط همبستگی فضایی معنی‌داری در سطح اطمینان ۰/۹۵ بین فاکتورهای میکروفیزیکی ابرناکی MOD06 و مقادیر بارش ثبت‌شده دیده شد درحالی‌که در مورد بارش سبک هیچ همبستگی فضایی معنی‌داری مشاهده نگردید.

کلید واژگان: بارش فراگیر، محصول ابر، سنجنده MODIS، همبستگی فضایی، استان خوزستان.

[۱]. **نویسنده مسئول**: دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز گروه جغرافیا:۰۹۱۲۷۹۳۰۶۶۹

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

مقدمه

ابرها از مهم‌ترین عناصر آب‌وهوایی تأثیرگذار بر سامانه‌های اقلیمی کره زمین قلمداد می‌شوند که هم در بیلان انرژی سطح زمین نقش دارند و هم در رأس چرخه هیدرولوژیکی قرار می‌گیرند (ونجینگ[1] و همکاران،۲۰۱۴: ۳۷۷). ابرها با انعکاس، پخش و جذب تابش خورشید، مسدود کردن تابش موج‌بلند زمین و ایجاد اثر گلخانه‌ای و تولید بارش، نقش مهمی در سامانه اقلیم زمین ایفا می‌کنند (وارن[2] و همکاران، ۲۰۰۷: ۷۳۱). ابرناکی یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر بیلان تابشی زمین است که بخش مهمی از فرایندهای زوجی اتمسفری، خشکی و اقیانوس‌ها است که گردش اتمسفری را تنظیم می‌کنند (جانسون[3] و همکاران، ۲۰۱۵). امروزه در بستر رخداد گرمایش جهانی یا به عبارت کلی‌تر تغییر اقلیم، رخدادهای حدی از جمله بارش‌های سنگین منجر به سیل، امواج گرم و سرد، بادهای طوفانی روند افزایشی قابل‌توجهی به خود گرفته‌اند (هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم[4]، ۲۰۱۴). بارش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین متغیرهای اقلیمی دارای مقادیر عدم قطعیت بسیار بالایی در بین سایر متغیرهای اقلیمی است که در بستر این تغییر اقلیم جهانی میزان عدم قطعیت آن افزایش می‌یابد (مهتا[5] و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۵۳۹؛ هر[6] و همکاران، ۲۰۱۹ :۴۹۷۰؛ کری[7]،۲۰۱۱: ۱۶۷۹). حال در این راستا استفاده از متغیرهای کمکی[8] برای ارتقاء دقت پیش‌بینی‌های بارش که لازمه آن آشکارسازی ساختار ارتباطی بین بارش و مؤلفه تأثیرگذار در آن از جمله، شرایط اوروگرافیک، شرایط ابرناکی، موقعیت جغرافیایی، پوشش زمین، ساختار سینوپتیکی محلی و منطقه‌ای و جهانی، می‌باشد، بسیار حائز اهمیت است (فینگر[9] و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۹۴۲؛ بیان[10] و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۶). امروزه محصولات سنجش‌ازدوری سنجنده MODIS با طیف گسترده‌ای محصولات زمینی، اتمسفری و اقیانوسی و قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسب، امکان مطالعه بسیاری از متغیرهای محیطی را به‌صورت مناسبی فراهم کرده‌اند. محصول ابر سنجنده MODIS که در آن بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و نوری ابر در مقیاس روزانه با قدرت تفکیک فضایی ۱ و ۵ کیلومتری ارائه‌شده است، می‌تواند، در زمینه مطالعه دینامیک ابرها و ارتباط آن‌ها با توزیع زمانی مکانی بارش بسیار مفید فایده باشد (پونی[11]،۲۰۱۴: ۲۳۸). تحلیل ارتباط بین ویژگی‌های میکروفیزیکی و نوری، ابرهای مولد رخدادهای بارش، با توزیع زمانی و مکانی مقادیر بارش، می‌تواند تا حد قابل‌توجهی منجر به بهبود و ارتقاء برآوردهای مقادیر بارش در موقعیت‌های ایستگاهی سطح زمین شود و عدم قطعیت برآوردها را تا حد قابل‌توجهی کاهش دهد (پلانتیک[12] و همکاران،۲۰۱۷: ۵۱۴). محصول ابر سنجنده MODIS با توالی زمانی و قدرت تفکیک فضایی مناسبی که دارد، امکان مطالعه ویژگی‌های میکروفیزیکی

1. Wenjing
2. Warren
3. Johansson
۴. Independent Police Complaints Commission
5. Mehta
6. Her
7. Curry
8. Secondry Variable
9. Finger
10. Bain
11. Punay
12. Plantik

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

و اپتیکال ابرها را که از باندهای مرئی و مادون‌قرمز بازیابی شده است، فراهم کرده است. ویژگی‌های میکروفیزیکی از قبیل شعاع مؤثر[۱](CER)، ضخامت اپتیکال ابرناکی[۲](COT)، دمای قله ابر[۳](CTT)، فشار قله ابر[۴](CTP)، ارتفاع قله ابر[۵](CTH)، فاز ابر[۶](برف یا مایع) و نسبت ابرناکی آسمان[۷](CF)، در محصول ابر سنجنده مادیس می‌توانند برای آشکارسازی الگو، نوع و توزیع زمانی مکانی بارش به کار گرفته شوند و دقت پیش‌بینی زمانی و مکانی بارش را ارتقاء دهند (بووم[۸] و همکاران،۲۰۱۲: ۱۱۵۱). تحقیقات متعددی نشان داده است که توزیع زمانی مکانی بارش ارتباط معنی‌داری با توزیع زمانی مکانی ابرها و ویژگی‌های ابرهای مولد بارش دارد (فیلیپاک و مایتوس[۹]، ۲۰۰۹: ۱۳۰۲ جزول[۱۰]، ۲۰۱۶: ۱۲۱). ابرهایی که تشکیل آن‌ها به عوامل و متغیرهای مختلف بستگی دارد عمدتاً میزان بارندگی در هر نقطه را کنترل می‌کنند. برخی تحقیقات در مقیاس جهانی نشان داده‌اند که ویژگی‌های میکروفیزیکی ابر (اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات، غلظت ذرات و محتوای آب مایع ابرها و باران) به‌طور مستقیم نوع و مقدار بارش را تعیین می‌کند (بومرونکلنگ[۱۱] و همکاران، ۲۰۰۹: ۷۸). همبستگی میزان پوشش ابر (CF) و عمق نوری ابر (COD) با کل بارندگی روزانه و شدت بارندگی نیز به ترتیب توسط (کتانی[۱۲] و همکاران،۲۰۰۹، هانا[۱۳] و همکاران،۲۰۰۸) نشان داده شده است. برخی تحقیقات نشان داده‌اند که مقدار تراکم ذرات در ابرها نقش قابل‌توجهی در میزان بارندگی دارد، برای مثال هویلینگ[۱۴] و همکاران ۲۰۱۱، نشان دادند که افزایش غلظت آئروسل در ابرها باعث کاهش کل بارش انباشته می‌شود. در مقیاس منطقه‌ای نیز تحقیقات متعددی سعی در آشکارسازی تأثیرگذاری ویژگی‌های ابرناکی بر توزیع زمانی مکانی ابرناکی کرده‌اند(کومار[۱۵]،۲۰۱۹: ۹۸ چاکرابورتی[۱۶]، ۲۰۱۳: ۱۱۱) در منطقه موسمی هندوستان و پاکستان این تحقیقات نشان داده‌اند که بارش‌های موسمی عمدتاً زمانی به‌صورت فراگیر در شبه‌جزیره هند شروع می‌شوند، که ساختار ابرناکی پیوسته و تکامل‌یافته‌ای تشکیل شود و ضخامت نوری و درصد پوشش ابرناکی در حالت بیشینه باشد(چاکرابورتی، ۲۰۱۳). چنین نتیجه‌ای در مطالعه سایر محققان که در مقیاس منطقه‌ای اقدام به بررسی ارتباط بین ویژگی‌های ابرناکی و توزیع زمانی مکانی بارش پرداخته‌اند، روی مناطق خاصی مانند کشورهای حاشیه خلیج‌فارس (کومار،۲۰۱۳)، استان فارس در ایران (حلیمی و همکاران،۲۰۱۷ و وظیفه دو ست و همکاران، ۱۳۹۴) نیز دیده شد. در این مطالعات مشاهده شد، در سنگین‌ترین بارش‌ها، بیشترین همبستگی بین ویژگی‌های میکروفیزیکی ابرناکی و

1. Cloud Effective Raduis(CER)
2. Cloud Optical Thikness(COT)
3. Cloud Top Temperature (CTT)
4. Cloud Top Pressure(CTP)
5. Cloud Top Height (CTH)
6. Cloud Phases
7. Cloud Fraction(CF)
8. Baum
9. Filipiak and Mietus,
10. Jaswal
11. Bumrungklang
12. Cattani
13. Hanna
14. Huiling
15. Kumar
16. Chakraborty

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

مقادیر بارش ثبت‌شده وجود دارد درحالی‌که در بارش‌های سبک همبستگی معنی‌دار نبود (حلیمی و همکاران،۲۰۱۷؛ نازاریان[1] و همکاران،۲۰۰۸؛ پن و همکاران،۲۰۲۱). برخی از محققان سعی کرده‌اند با بررسی ویژگی‌های میکروفیزیکی ابرهای سطح پایین مناطق اقیانوسی و نوع آئروسل‌های این ابرها، با استفاده از داده‌های باز تحلیل بارش، میزان و نوع بارش این ابرها را در مقیاس سیاره‌ای تحلیل کنند (پن۲ و همکاران،۲۰۲۱: ۱۴۶). استان خوزستان از استراتژیکی‌ترین استان‌های کشور بوده و قطب تولیدات کشاورزی کشور به‌حساب می‌آید اما درعین‌حال این استان از لحاظ مخاطرات محیطی و اقلیمی یکی از پرمخاطره‌ترین استان‌های کشور است. در این استان مخاطرات مرتبط با بارش و منابع آب به‌صورت دوقطبی عمل می‌کنند، ازیک‌طرف بارش‌های رگباری و بارش‌های سنگین در داخل استان یا حوضه بالادست استان می‌تواند، منجر به بالا آمدن سطح آب رودخانه‌ها و سرریز کردن سدهای استان و آب‌گرفتگی شهرها، روستاها، اراضی کشاورزی و مسکونی شود و از طرف دیگر، خشک‌سالی‌های مداوم می‌تواند به همان شدت باعث از بین رفتن کشاورزی و ایجاد گردوغبار شود. لذا مطالعه و تحلیل ارتباط بین رخدادهای بارش و شرایط ابرناکی، در سطح این استان می‌تواند گامی باشد برای تدقیق پیش‌بینی‌های بارش و شناسایی الگوهای ابرناکی مولد بارش‌های مخاطره‌آمیز. هدف اساسی این تحقیق آشکارسازی ارتباط بین ویژگی‌های میکروفیزیکی و اپتیکال ابرهای مولد سه رخداد بارش سنگین، متوسط و سبک در سطح استان خوزستان می‌باشد.

روش تحقیق

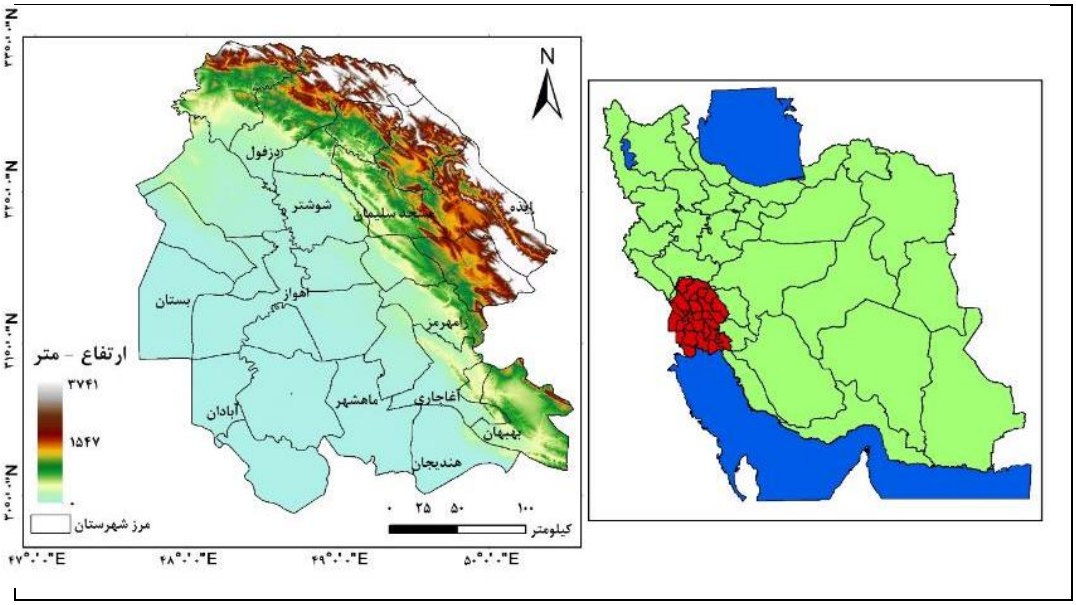
معرفی محدوده موردمطالعه

موقعیت موردمطالعه این تحقیق استان خوزستان است که از لحاظ مخاطرات محیطی یکی از پرچالش‌ترین استان‌های کشور به شمار می‌رود. این استان با مساحتی حدود ۶/۵ میلیون هکتار، حدود ۴ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. این استان یکی از پرآب‌ترین استان‌های کشور بوده و درعین‌حال از لحاظ منابع آب با مشکلات متعددی روبه‌رو است. این مشکلات هم در کیفیت و هم در کمیت منابع آب و به‌صورت سلسله مراتبی در عملکرد محصولات کشاورزی، صنایع و شبکه‌های انتقال انرژی، کیفیت هوای شهرها قابل‌ردیابی است؛ اما علاوه بر این چالش‌های گسترده در سطح استان، استان خوزستان یکی از پرظرفیت‌ترین استان‌های کشور از لحاظ کشاورزی به شمار می‌رود، به‌طوری‌که بر اساس گزارش وزارت جهاد کشاورزی، در طی ۵ سال اخیر استان خوزستان در زمینه حجم تولید محصولات کشاورزی (بین ۱۳ تا ۱۵ میلیون تن محصول زراعی باغی در سال)، رتبه نخست تولیدات محصولات کشاورزی را داشته است. با توجه به اینکه این استان در واقع بخش پایین‌دست حوضه آبریز زاگرس است، رژیم‌های بارشی در پهنه زاگرس، تأثیر قابل‌توجهی در منابع آب سطحی این استان دارند. بخش‌های وسیعی از غرب و مرکز استان کم ارتفاع و هموار است و از لحاظ زهکشی منابع آب با محدودیت روبرو می‌باشد درحالی‌که بخش‌های شرقی و شمال شرق استان دارای توپوگرافی متنوعی بوده ارتفاع آن از ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر تناوب دارد شکل (۱).

1. Nazaryan
2. Pan

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]



شکل (۱). موقعیت منطقه موردمطالعه

داده

داده‌های مورداستفاده در این تحقیق شامل محصول ابر سنجنده MODIS یعنی MOD06، است. این محصول، در واقع جز محصولات سطح ۲ این سنجنده با قدرت تفکیک فضایی ۱ و ۵ کیلومتر بوده و از مشتقات باندهای مرئی و مادون‌قرمز سنجنده MODIS است. زیرمجموعه این محصول، ۵ فاکتورمیکروفیزیکی ابر شامل، دمای قله ابر (CTT)، فشار قله ابر (CTP)، نسبت ابرناکی (CFR)، ضخامت اپتیکال ابر (COT) و ارتفاع قله ابر (CTH)، در این تحقیق مورداستفاده قرار گرفت. ارتفاع قله ابر با استفاده از مشاهدات رادیو سوند در این محصول اضافه شده است، دمای قله ابر نیز از باند مادون‌قرمز سنجنده بازیابی شده است. نسبت ابرناکی که در واقع درصد ابرناکی آسمان را برحسب درصد نشان می‌دهد و ضخامت نوری ابرناکی که در واقع میزان تراکم و میزان جذب و پخش پرتو مرئی سنجنده را توسط محتوای ابر نشان می‌دهد، از باندهای مرئی سنجنده MODIS بازیابی می‌شوند (پلانتیک و همکاران،۲۰۱۵: ۵۲۱). این داده‌ها از پایگاه جامع محصولات سنجش‌ازدوری سنجنده MODIS، (ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov) با فرمت HDF، دانلود شد و مراحل پس پردازش (Post-Processing) اخذ محصول MOD06 در این پایگاه شامل تعیین سیستم تصویر محلی نیز در همین پایگاه انجام شد. برای منطقه موردمطالعه سیستم تصویر Lambert Conformal Conin استاندارد سازمان نقشه‌برداری با دو مدار مرجع استفاده شد. دسته دوم داده‌های مورداستفاده داده‌های مربوط به ثبت بارش ایستگاهی ۳ رخداد بارش فراگیر در سطح استان خوزستان بود که در آن همه ایستگاه‌های سینوپتیک استان طی ۲۴ ساعت ثبت بارش داشتند. رخداد بارش ۲۵ مارس ۲۰۱۹، به‌عنوان یک رخداد بارش متوسط، رخداد بارش ۲۹ اکتبر ۲۰۱۸، به‌عنوان یک رخداد بارش سبک و رخداد بارش ۱۷ دسامبر ۲۰۰۶، به‌عنوان یک رخداد بارش سنگین در سطح استان خوزستان به‌عنوان روزهای مطالعاتی انتخاب شدند و مقادیر بارش ایستگاهی این ۳ روز به‌صورت مقادیر تجمعی بارش ۲۴

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

ساعته از سازمان هواشناسی کشور برای کل ایستگاه‌های سینوپتیک سطح استان اخذ و با استفاده از مدل‌های درون یاب GIS، تبدیل به نقشه توزیع فضایی بارش در سطح استان شد.

جدول (۱). داده‌های مورداستفاده

	نوع داده‌ها	واحد
محصول ابر سنجنده MOIDS MOD06	ضخامت اپتیکال ابر- COT	بدون بعد
	نسبت ابرناکی-CF	درصد
	فشار قله ابر-CTP	هکتوپاسکال
	دمای قله ابر-CTT	درجه کلوین
	ارتفاع قله ابر-CTH	متر
روزهای منتخب بارش فراگیر در سطح ا ستان	مورد بارش سبک: ۲۹ اکتبر ۲۰۱۸	میلی‌متر در ۲۴ ساعت
	مورد بارش متوسط: ۲۵ مارس ۲۰۱۹	میلی‌متر در ۲۴ ساعت
	مورد بارش سنگین: ۱۷ دسامبر ۲۰۰۶	میلی‌متر در ۲۴ ساعت

روش کار

در این تحقیق هدف اساسی آشکارسازی ارتباط بین ویژگی‌های میکروفیزیکی ساختار ابرهای مولد بارش و توزیع فضایی مقادیر بارش ثبت‌شده ۲۴ ساعته، در ۳ بارش فراگیر در سطح استان خوزستان بود. ۳ رخداد یا مورد بارش سبک، متوسط و سنگین که تاریخ این موردها در جدول (۱) ارائه شده است، با این شرط که طی ۲۴ ساعت موردبررسی در همه ایستگاه‌های سینوپتیک سطح استان رخداد بارش ثبت‌شده باشد، به‌عنوان بارش فراگیر انتخاب شد. مقادیر بارش این ایستگاه‌ها با استفاده از مدل زمین‌آماری[1] درون‌یاب کریجینگ معمولی[2] با نیم‌تغییرنمای کروی[3] با ابعاد یاخته‌های ۱*۱ کیلومتری تبدیل به نقشه پهنه‌بندی بارش در سطح استان گردید. از طرف دیگر داده‌های مربوط به فاکتورهای میکروفیزیکی ابرناکی در روزهای مقارن با این بارش‌ها از محصول MOD06 برای محدوده استان خوزستان با یاخته‌های ۱*۱ کیلومتری استخراج گردید. در این حالت در سطح استان به ازای هرکدام از فاکتورهای مورداستفاده یک پایگاه اطلاعاتی با ۶۴۰۰۰ کد اطلاعاتی ۱ کیلومتری در سطح استان شامل مقادیر بارش ثبت‌شده ۲۴ ساعته و مقادیر ۵ فاکتورهای میکروفیزیکی CTT، CTH، CTP، CF و COT، تشکیل گردید. در نهایت با استفاده از یک تحلیل همبستگی فضایی در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value =0.05)، محاسبه گردید.

نتایج

در این تحقیق اقدام به بررسی وضعیت ابرناکی در سطح استان خوزستان در ۳ مورد بارش ۲۴ ساعته گردید. ویژگی‌های آماری این رخدادهای بارشی در جدول (۲) ارائه شده است. در مورد بارش ۱۷ دسامبر ۲۰۰۶ که به‌عنوان یک مورد بارش سنگین انتخاب گردید، میانگین فضایی بارش در سطح استان به ۳۶ میلی‌متر در ۲۴

1. Geostatistic
2. Oridnary Kriging
3. Spheroind Semivariogram

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

ساعت رسید. توزیع فضایی این رخداد بارشی در سطح استان از ضریب تغییرپذیری فضایی نسبتاً پایینی برخوردار بوده است (۳۵ درصد میانگین فضایی) به‌نحوی‌که در این رخداد بارشی ایستگاه مسجدسلیمان در بخش‌های شمال‌غرب استان مقادیر بیشینه بارش ۲۴ ساعته را که برابر ۵۵ میلی‌متر بود به خود اختصاص دادند درحالی‌که ایستگاه‌های اهواز و آبادان میزان بارش به کمتر از ۱۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت رسیده است. در رخداد بارش ۲۵ مارس ۲۰۱۹، میانگین فضایی بارش در سطح استان خوزستان برابر ۱۱ میلی‌متر در ۲۴ ساعت بوده است. توزیع فضایی بارش در سطح استان در این رخداد بارشی ۹۰ درصد تغییرپذیری فضایی داشته است به‌گونه‌ای که پربارش‌ترین ایستگاه‌های سطح استان، ایستگاه مسجدسلیمان با ۲۲ میلی‌متر بارش بوده است درحالی‌که ایستگاه آبادان و اهواز در این رخداد بارشی به حدود ۵ میلی‌متر در ۲۴ ساعت رسیده است. در نهایت در رخداد بارش ۲۹ اکتبر ۲۰۱۸ که به‌عنوان یک رخداد بارش سبک انتخاب شد، میانگین فضایی بارش در سطح استان خوزستان در این مورد بارشی حدود ۴ میلی‌متر در ۲۴ ساعت بود، اما از لحاظ توزیع فضایی، توزیع این بارش در سطح استان بسیار ناهمگون بود به‌نحوی‌که ضریب تغییرپذیری فضایی این رخداد بارشی در سطح استان به ۱۶۰ درصد میانگین فضایی رسیده است. در این مورد بارشی، پربارش‌ترین ایستگاه‌های سطح استان، ایستگاه‌های اهواز و آبادان با حدود ۷ میلی‌متر بارش و کم‌بارش‌ترین ایستگاه‌های استان نیز ایستگاه‌های بهبهان و ایذه با کمتر از ۱ میلی‌متر بارش بوده است.

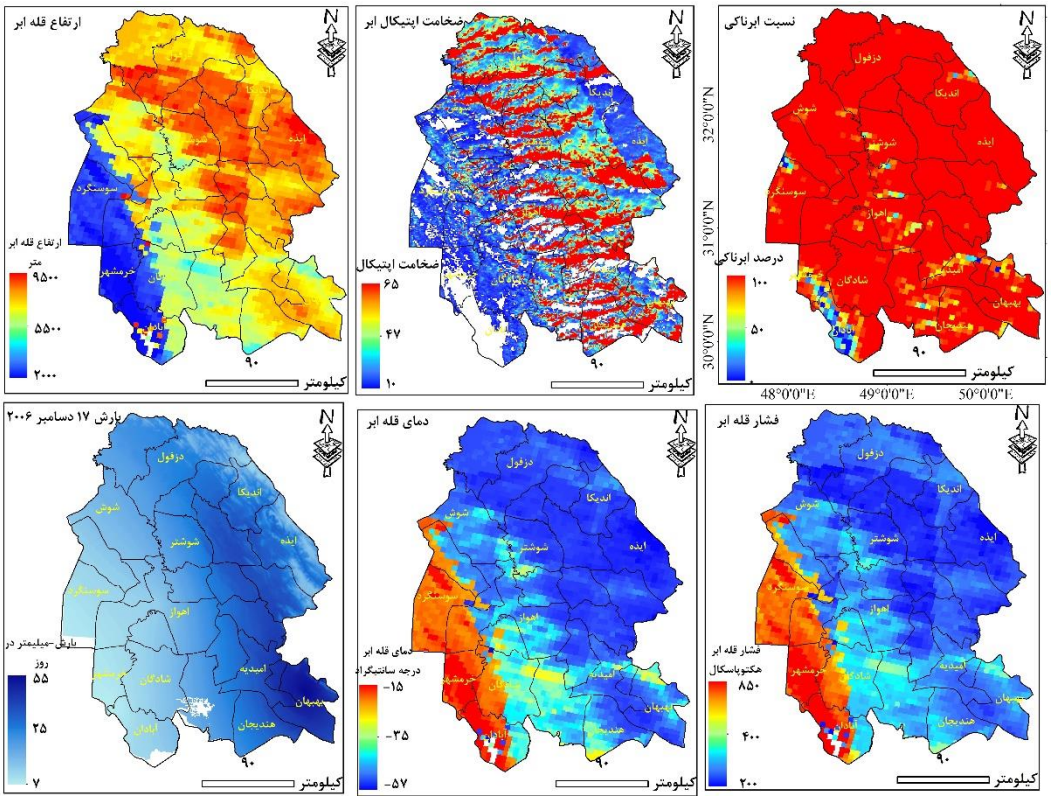
جدول (۲). ویژگی‌های آمار توصیفی ۳ کیس بارش فراگیر منتخب در سطح استان خوزستان

رخدادهای بارش	مورد بارش سبک	مورد بارش متوسط	مورد بارش سنگین
	۲۹ اکتبر ۲۰۱۸	۲۵ مارس ۲۰۱۹	۱۷ دسامبر ۲۰۰۶
میانگین فضایی بارش- میلی‌متر در ۲۴ ساعت	۴	۱۲	۳۶
ضریب تغییرپذیری فضایی بارش ۲۴ ساعته در سطح استان- درصد	۱۶۰	۹۰	۳۵
پربارش‌ترین ایستگاه‌ها	اهواز و آبادان	ایذه، مسجدسلیمان	مسجدسلیمان
کم‌بارش‌ترین ایستگاه‌ها	بهبهان و ایذه	اهواز و آبادان	اهواز و آبادان

برای آشکارسازی ارتباط بین ساختارهای میکروفیزیکی ابرهای مولد این بارش‌ها، از محصول ابر سنجنده MODIS تحت عنوان MOD06، برای ۳ تاریخ مذکور استفاده شد. در شکل (۲)، توزیع فضایی پارامترهای پنج‌گانه محصول ابر سنجنده MODIS برای مورد بارش سنگین ۱۷ دسامبر ۲۰۰۶، ارائه شده است. از لحاظ شاخص نسبت ابرناکی آسمان نتایج نشان می‌دهد که در این روز تقریباً بخش غالب پهنه استان خوزستان از پوشش ۱۰۰ درصدی ابرناکی برخوردار بوده است و تنها در بخش‌های جنوب‌غرب استان پوشش ابرناکی کمینه بوده است، از لحاظ شاخص ضخامت اپتیکال ابرناکی، نیز نتایج بیانگر آن بود که در بخش‌های مرکزی، شمال‌غرب و جنوب‌شرق استان ضخامت توده ابر پوشش‌دهنده استان بیشینه بوده است درحالی‌که در بخش‌های جنوب غرب و بخش‌هایی از شمال‌شرق استان ضخامت ابرناکی به حداقل رسیده است، در این مورد بارشی، فاکتور ضخامت اپتیکال ابرناکی بین ۱۰ تا ۶۵ واحد بدون بعد، بوده است. ارتفاع قله ابر در این رخداد بارشی بین ۲۰۰۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

تا ۹۵۰۰ متر بوده است. بالاترین ارتفاع قله ابر در بخش‌های مرکزی و شمال‌غرب استان دیده می‌شود درحالی‌که در بخش‌های جنوب‌غرب و غرب استان ارتفاع قله ابر در حالت کمینه قرار داشته است، الگوی توزیع فضایی دما و فشار قله ابر نیز مشابه بوده است، در بخش وسیعی از استان به‌ویژه در بخش‌های مرکزی و شمال‌غرب استان فشار قله ابر حدود ۲۵۰ میلی بار بوده است درحالی‌که در بخش‌های غربی استان، فشار قله ابر حدود ۸۵۰ میلی بار بوده است. دمای قله ابر در سطح استان، بین ۱۵- درجه سانتی‌گراد در بخش‌های غربی استان تا ۵۷- درجه سانتی‌گراد در بخش‌های مرکزی و شمال و جنوب‌شرق استان متفاوت بوده است.

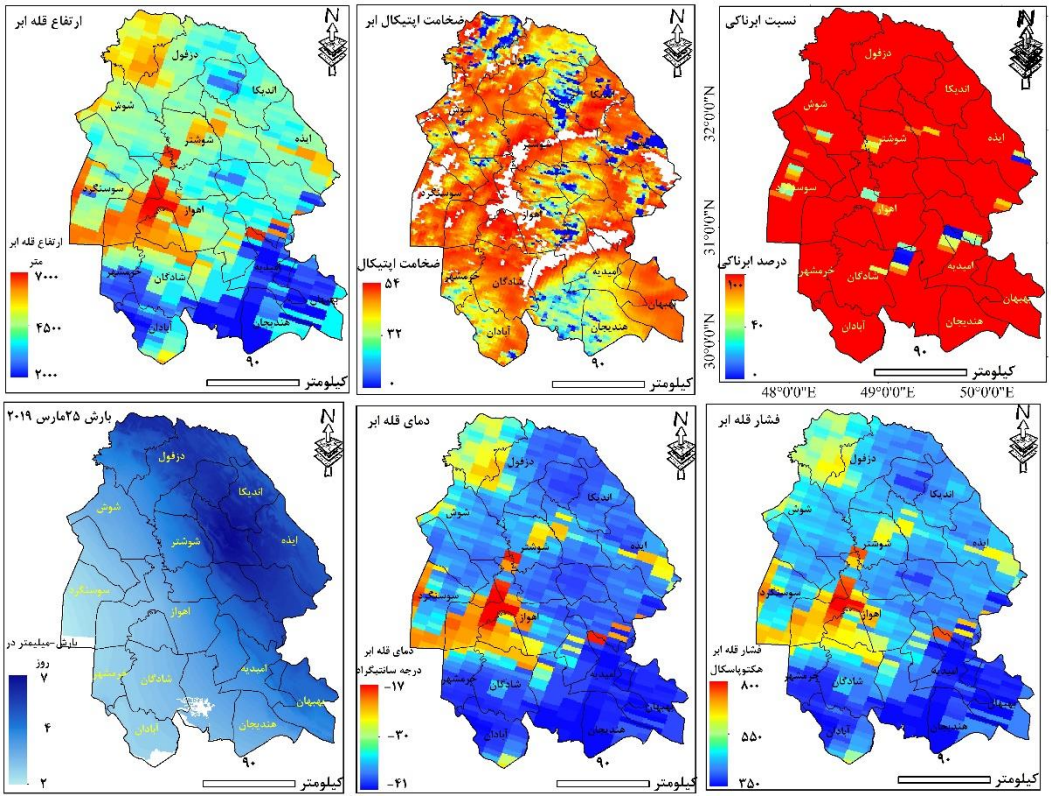


شکل (۲). پارامترهای ساختار میکروفیزیکی ابرهای مولد بارش متوسط ۱۷ دسامبر ۲۰۰۶ در سطح استان خوزستان (مستخرج از محصول MOD06 سنجنده MODIS)-کیس بارش سنگین

در مورد بارش ۲۵ مارس ۲۰۱۹ که به‌عنوان یک مورد بارش متوسط انتخاب شد، نیز تحلیل ویژگی‌های میکروفیزیکی ابرهای مولد این بارش نشان داد که از لحاظ شاخص نسبت ابرناکی آسمان در این روز تقریباً بخش غالب پهنه استان خوزستان از پوشش ۱۰۰ درصدی ابرناکی برخوردار بوده است. از لحاظ شاخص ضخامت اپتیکال ابرناکی، نیز نتایج بیانگر آن بود که به‌طورکلی ضخامت اپتیکال ابر در این روز نسبت به مورد بارش سنگین کاهش داشته و بین ۰ تا ۵۴ واحد بدون بعد بوده است. علاوه آن توزیع فضایی این شاخص در سطح استان در این بارش نسبت به بارش سنگین ۱۷ دسامبر ۲۰۰۶، نسبتاً پراکنده‌تر بوده است. ارتفاع قله ابر در این رخداد بارشی بین

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

۲۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متر بوده است. بالاترین ارتفاع قله ابر در بخش‌های مرکزی و جنوب‌غرب استان دیده می‌شود درحالی‌که در بخش‌های جنوب و جنوب‌شرق ارتفاع قله ابر در حالت کمینه قرار داشته است، الگوی توزیع فضایی دما و فشار قله ابر نیز مشابه بوده است، در بخش وسیعی از استان به‌ویژه در بخش‌های مرکزی و شمال‌غرب استان فشار قله ابر حدود ۳۵۰ میلی بار بوده است درحالی‌که در بخش‌های مرکزی استان، فشار قله ابر حدود ۸۵۰ میلی بار بوده است. دمای قله ابر در سطح استان، بین ۱۷- درجه سانتی‌گراد در بخش‌های غربی استان تا ۴۱- درجه سانتی‌گراد در بخش‌های مرکزی استان متفاوت بوده است شکل (۳).

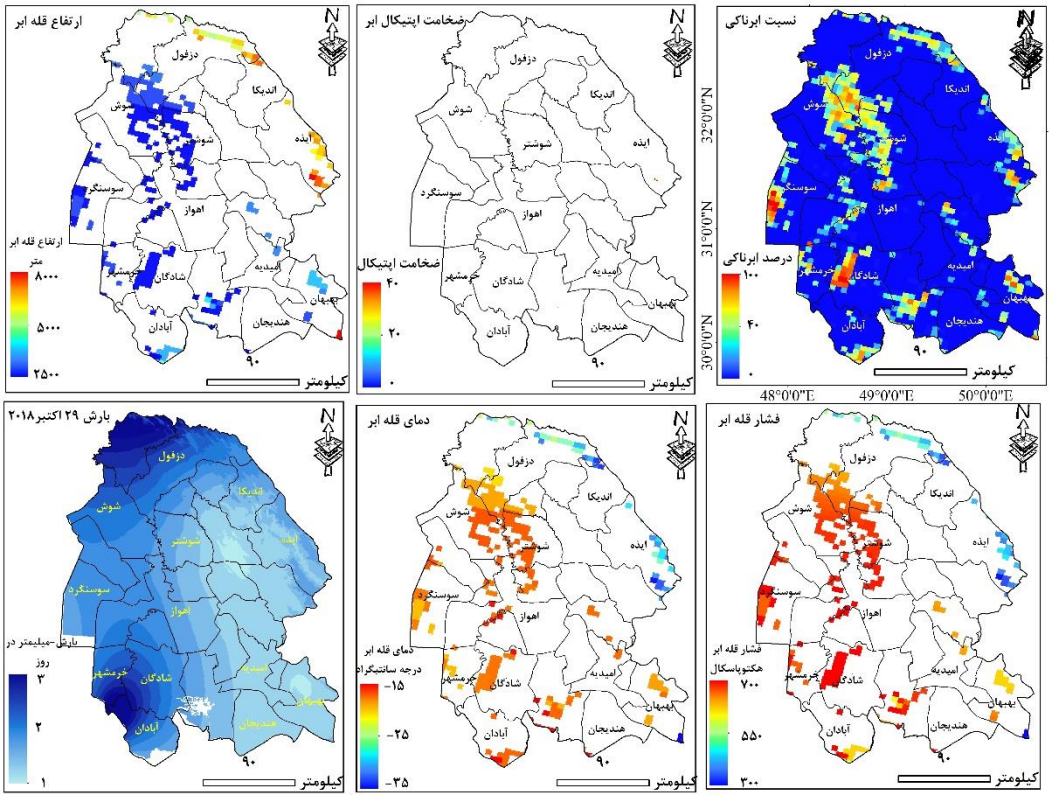


شکل (۳). پارامترهای ساختار میکروفیزیکی ابرهای مولد بارش متوسط ۲۵ مارس ۲۰۱۹ در سطح استان خوزستان (مستخرج از محصول MOD06 سنجنده MODIS)-مورد بارش متوسط

در نهایت در مورد بارش ۲۹ اکتبر ۲۰۱۸ که به‌عنوان یک مورد بارش سبک انتخاب شده است، یک ناهمگونی غالب در توزیع فضایی فاکتورهای میکروفیزیکی ابرناکی در سطح استان دیده می‌شود. نسبت ابرناکی در بخش زیادی از سطح استان بسیار پایین و نزدیک به صفر بوده است، تنها در بخش‌های محدودی از نواحی مرکزی نزدیک به غرب و بخش‌های شمال‌شرق استان، نسبت ابرناکی به حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد می‌رسد. از لحاظ شاخص ضخامت اپتیکال ابرناکی نیز به‌طورکلی در این رخداد بارشی، در سطح استان میزان ثبت این شاخص در سنجنده تقریباً صفر بوده است و در این رخداد بارشی این شاخص نمودی نداشته است. از لحاظ ارتفاع قله ابر نیز تنها ابرهای کم ارتفاعی در بخش‌های غربی و جنوبی استان دیده می‌شود که ارتفاع قله آن‌ها کمتر از ۳۰۰۰ متر بوده

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

است. دو فاکتور فشار و دمای قله ابر نیز در این رخداد بارشی از ناپیوستگی فضایی گسترده در سطح استان برخوردارند شکل (۴).

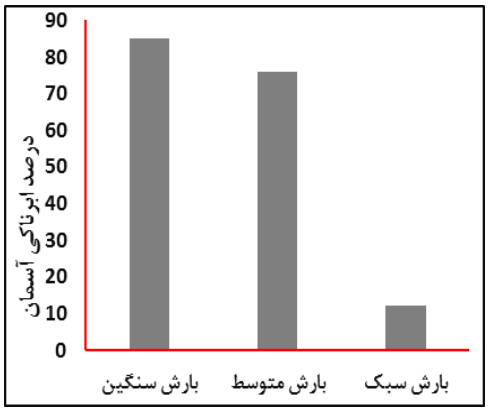


شکل (۴). پارامترهای ساختار میکروفیزیکی ابرهای مولد بارش متوسط ۲۹ اکتبر ۲۰۱۸ در سطح استان خوزستان (مستخرج از محصول MOD06 سنجنده MODIS)-مورد بارش سبک

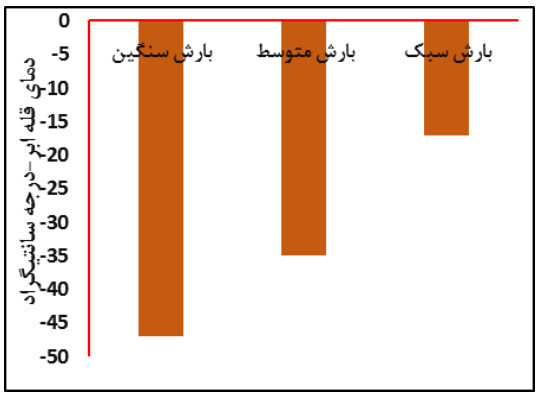
میانگین فضایی فاکتورهای پنج‌گانه ساختار میکروفیزیکی ابرهای مولد ۳ بارش موردمطالعه، در سطح استان خوزستان که با استفاده از تعداد ۶۴۰۰۰ گرید کد با ابعاد ۱*۱ کیلومتری به دست آمد نشان می‌دهد که در رخداد بارش سنگین (۱۷ دسامبر ۲۰۰۶) ارتفاع قله ابر و ضخامت اپتیکال ابرناکی به‌صورت قابل‌توجهی بالاتر از رخداد بارش متوسط (۲۵ مارس ۲۰۱۹) بوده است و از طرف دیگر دمای قله ابر و فشار قله ابر نیز به‌صورت قابل‌توجهی پایین‌تر از رخداد بارش متوسط بوده است اما از لحاظ درصد ابرناکی آسمان تفاوت قابل‌توجهی بین دو رخداد بارش سنگین و متوسط دیده نمی‌شود اما هر دو رخداد بارش سنگین و متوسط از لحاظ فاکتورهای میکروفیزیکی ابرناکی به‌صورت معنی‌داری از رخداد بارش سبک (۲۹ اکتبر ۲۰۱۸) متمایز بوده‌اند شکل (۵).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

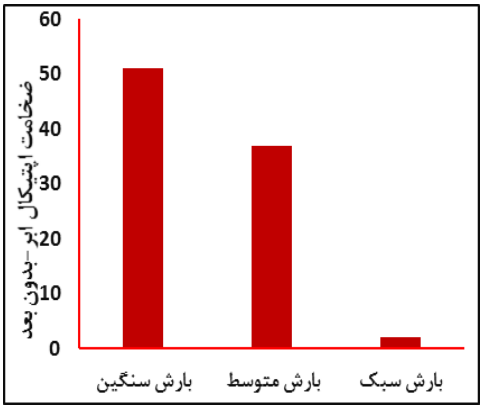
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]



درصد ابرناکی آسمان



دمای قله ابر (درجه سانتی‌گراد)



ضخامت اپتیکال ابرناکی (بدون بعد)



فشار قله ابر (هکتوپاسکال)



ارتفاع قله ابر (متر از سطح زمین محلی)

شکل (۵). میانگین فضایی فاکتورهای پنج‌گانه ساختار میکروفیزیکی ابرهای مولد بارش‌های موردمطالعه در سطح استان خوزستان مستخرج از محصول MOD06 سنجنده MODIS (میانگین بر اساس تعداد ۶۴۰۰۰ گرید کد ۱*۱ کیلومتری به‌دست‌آمده است)

تحلیل ماتریس همبستگی فضایی بین توزیع فضایی مقادیر بارش‌های تجمعی ۲۴ ساعته در ۳ رخداد بارش منتخب و فاکتورهای پنج‌گانه میکروفیزیکی ابرهای مولد همان بارش‌ها (مستخرج از محصول MOD06 سنجنده

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

MODIS) بر اساس تعداد ۶۴۰۰۰ گرید کد اطلاعاتی ۱*۱ کیلومتری سطح استان در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value=0.05) بیانگر آن بود که در رخداد بارشی ۱۷ دسامبر ۲۰۰۶، که به‌عنوان یک مورد بارش سنگین فراگیر در سطح استان خوزستان موردبررسی قرار گرفت، همبستگی معنی‌داری بین مقدار و توزیع فضایی مقادیر بارش تجمعی ۲۴ ساعته در سطح استان با فاکتورهای پنج‌گانه ابرناکی برقرار بوده است که این همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۹ (P_value = 0.01) معنی‌دار بوده است. دو فاکتور دمای قله ابر و فشار قله ابر ارتباط معکوس معنی‌داری با توزیع فضایی و مقادیر بارش داشته است. این ارتباط معکوس بیانگر آن است که در بخش‌هایی از استان که دما و فشار قله ابر پایین‌تر بوده است میزان بارش ثبت‌شده در هر دو مورد منتخب به‌صورت معنی‌داری بالاتر بوده است، از طرف دیگر ارتباط مستقیم بین ارتفاع قله ابر و بارش نیز همین مسئله را تأیید کرده است. همبستگی مستقیم معنی‌دار بین ارتفاع قله ابر و توزیع فضایی مقادیر بارش در مورد بارش سنگین و متوسط به ترتیب برابر ۰/۵۹ و ۰/۶۱ بوده است که در سطح اطمینان ۰/۹۹ معنی‌دار بوده است. این الگوی همبستگی فضایی بین سه فاکتور دما، فشار و ارتفاع قله ابر بیانگر آن است ابرهایی که دارای گسترش عمودی مناسب‌تری بوده و به‌خوبی تکامل پیدا کرده‌اند بارش قابل‌توجهی ایجاد کرده‌اند. از طرف دیگر ضخامت اپتیکال ابر که به‌نوعی گویای تراکم و محتوای رطوبتی ابر است، در هر دو مورد بارش سنگین و متوسط ارتباط مستقیم معنی‌داری با مقادیر بارش ثبت‌شده در سطح ۶۴۰۰۰ گرید کد ۱ کیلومتری ارائه کرده است که در دو مورد بارش سنگین و متوسط به ترتیب برابر ۰/۴۷ و ۰/۳۹ بوده است که هر دوی این همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۹ (P_value=0.05) معنی‌دار بوده است. نسبت ابرناکی که بیانگر درصد پوشش ابر آسمان است، نیز در هر دو مورد بارش سنگین و متوسط همبستگی مستقیم و معنی‌داری با توزیع فضایی و مقدار بارش در سطح استان ارائه کرده است؛ اما در مورد بارش سبک یعنی بارش ۲۹ اکتبر ۲۰۱۸، نتایج ماتریس همبستگی فضایی بیانگر آن بود که در این بارش اگرچه یک بارش فراگیر بود و به‌طور متوسط در سطح استان طی این رخداد بارشی ۴ میلی‌متر بارش در ۲۴ ساعت ثبت‌شده بود، اما فاکتورهای میکروفیزیکی ابرناکی همبستگی فضایی معنی‌داری با توزیع فضایی مقادیر بارش در سطح استان در این بارش نشان ندادند جدول (۳).

جدول (۳). ماتریس همبستگی فضایی بین توزیع فضایی مقادیر بارش‌های تجمعی ۲۴ ساعته در سه رخداد بارش منتخب و فاکتورهای پنج‌گانه میکروفیزیکی ابرهای مولد بارش (مستخرج از محصول MOD06 سنجنده MODIS) بر اساس تعداد ۶۴۰۰۰ گرید کد اطلاعاتی ۱*۱ کیلومتری سطح استان در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value=0.05)

رخدادهای منتخب بارش‌های فراگیر سطح استان	آماره‌های همبستگی فضایی	نسبت ابرناکی	ارتفاع قله ابر	دمای قله ابر	فشار قله ابر	ضخامت اپتیکال ابر
کیس بارش سنگین- ۱۷ دسامبر ۲۰۰۶	R	۰,۷۲	۰,۵۹	-۰,۶۳	-۰,۶۵	۰,۴۷
	Sig	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
کیس بارش متوسط- ۲۵ مارس ۲۰۱۹	R	۰,۶۹	۰,۶۱	-۰,۵۱	-۰,۵۵	۰,۳۹
	Sig	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
کیس بارش سبک- ۲۹ اکتبر ۲۰۱۸	R	۰,۰۱	۰,۰۰۶	۰,۰۰۲	۰,۰۰۲	۰,۰۰
	Sig	۰,۲۵	۰,۴	۰,۳۵	۰,۳۵	۰,۷

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

نتیجه‌گیری

استان خوزستان یکی از پرظرفیت‌ترین استان‌های کشور از لحاظ تولید محصولات کشاورزی است به‌طوری‌که طی ۵ سال اخیر به‌صورت مستمر از لحاظ حجم تولید محصولات کشاورزی (اعم از زراعی و باغی) استان خوزستان سالانه با تولید ۱۳ تا ۱۵ میلیون تن محصول زراعی و باغی رتبه اول تولیدات کشاورزی را در سطح کشور داشته است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۷)؛ اما این استان با این ظرفیت عظیم کشاورزی، یکی از پرچالش‌ترین استان‌های کشور از لحاظ مخاطرات محیطی و اقلیمی می‌باشد. در این استان مخاطرات مرتبط با بارش و منابع آب به‌صورت دوقطبی عمل می‌کنند، ازیک‌طرف بارش‌های رگباری و بارش‌های سنگین در داخل استان یا حوضه بالادست استان می‌تواند، منجر به بالا آمدن سطح آب رودخانه‌ها و سرریز کردن سدهای استان و آب‌گرفتگی شهرها، روستاها، اراضی کشاورزی و مسکونی شود و از طرف دیگر، خشک‌سالی‌های مداوم می‌تواند به همان شدت باعث از بین رفتن کشاورزی و ایجاد گردوغبار شود. بارش یکی از عناصر حیاتی اقلیم است که همواره همراه با مقادیر عدم قطعیت زمانی مکانی بالایی بوده که دلیل آن درگیر بودن متغیر متعددی از قبیل ساختار موقعیتی، توپوگرافی، پوشش زمین، الگوهای سینوپتیکی، ساختار و ویژگی‌های ابرهای مولد بارش و ... در ایجاد بارش است. با شفاف‌سازی ارتباط زمانی مکانی بارش با هرکدام از این متغیرهای کمکی و آشکارسازی میزان اهمیت هرکدام از آن‌ها می‌توان مدل‌های چندمتغیره دقیقی برای مدل‌سازی و برآورد زمانی و مکانی بارش توسعه داد. در این تحقیق روی ساختار و ویژگی‌های فیزیکال و اپتیکال ابرناکی و ارتباط آن با بارش در استان خوزستان با استفاده از محصول ابر سنجنده MODIS تأکید شده است. بررسی سه رخداد بارش فراگیر ۲۴ ساعته در سطح استان و تحلیل ارتباط آن با ویژگی‌های میکروفیزیکی ابرهای مولد همان بارش‌ها که از محصول MOD06 سنجنده مادیس به دست آمد بیانگر آن بود که در دو بارش فراگیر سنگین و متوسط که در آن‌ها میانگین فضایی بارش تجمعی ۲۴ ساعته به ترتیب به ۳۶ و ۱۲ میلی‌متر در ۲۴ ساعت رسیده بود، یک ساختار ابرناکی با پوشش ابر (شاخص CF) ۸۰ تا ۱۰۰ درصدی در سطح استان خوزستان مشاهده شد به‌طوری‌که همبستگی فضایی بین درصد پوشش ابر و توزیع فضایی مقادیر بارش در دو مورد بارش سنگین و متوسط به ترتیب به ۰/۷۲ و ۰/۶۹ رسیده بود که در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار بوده‌اند. نقش پوشش تکامل‌یافته ابرناکی در بارش‌های موسمی هند و پاکستان، بسیار حائز اهمیت است. تحقیقات سرنگی[1] و همکاران (۲۰۱۷) و چاکرابورتی (۲۰۱۳)، نشان داد که در موسمی‌ها زمانی بارش فراگیر و قابل‌توجه در سراسر منطقه موسمی شکل می‌گیرد که نسبت ابرناکی در سطح منطقه به بیش از ۷۰ درصد رسیده باشد. فاکتور ضخامت ابر (COT) که در محصول MOD06 از باندهای مرئی سنجنده MODIS بازیابی شده است که به‌نوعی بیانگر تراکم آئروسل‌ها و محتوای رطوبت ابر است، نقش اساسی در مقادیر بارش ثبت‌شده دارد. برخی از تحقیقات نشان داده‌اند که ابرهای با ضخامت بالا، در شکل‌گیری بارش‌های سنگین نقش کلیدی دارند درحالی‌که در بارش‌های سبک این فاکتور نقش اساسی ایفا نمی‌کند (چوباری[2]،۲۰۱۷). در این تحقیق دیده شد که فاکتور ضخامت اپتیکال ابرناکی در دو بارش سنگین و متوسط به‌طور متوسط ۴۰ تا ۶۰ واحد بدون بعد بود و همبستگی فضایی بین ۴۰ تا ۵۰ درصدی بین این شاخص میکروفیزیکی و مقادیر بارش

[1]. Sarangi
[2]. Choobari

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

تجمعی ۲۴ ساعته در سطح استان برقرار بود؛ اما در این تحقیق نیز مشاهده گردید که فاکتور ضخامت اپتیکال ابرناکی در بارش‌های سبک نقش اساسی ایفا نکرده است؛ اما در کنار این شاخص‌های مربوط به گسترش افقی و ساختار تراکم و محتوای ابر، گسترش عمودی ابرناکی که در محصول ابر MOD06، با سه فاکتور دمای قله ابر، ارتفاع قله ابر و فشار قله ابر بررسی شده است، نیز در دو مورد بارشی سنگین و متوسط بررسی‌شده در این تحقیق همبستگی فضایی معنی‌داری با مقادیر و توزیع فضایی بارش در سطح استان نشان داد. این ارتباط بیانگر آن بود که در موردهای بارش سنگین و متوسط، گسترش عمودی ابرها بین ۷ تا ۹ هزار متر، بوده است، درحالی‌که در مورد بارش سبک که میانگین بارش در سطح استان کمتر از ۴ میلی‌متر در ۲۴ ساعت بود، ارتفاع قله ابر به‌ندرت به ۵۰۰۰ متر می‌رسید. نتیجه مشابهی در کار حلیمی و همکاران (۲۰۱۷) که ارتباط بین فاکتورهای میکروفیزیکی ابرناکی در ارتباط بارش‌های استان فارس را بررسی کرده بودند نیز دیده شد. در هر صورت، نتیجه کلی این تحقیق مؤید این نکته است که ساختار نوری و فیزیکی ابرناکی تنها در رخدادهای بارش سنگین و فراگیر می‌توانند به‌عنوان برآوردگرهای عمده و دقیق عمل کنند و در رخدادهای بارش سبک و غیرفراگیر، ارتباط معنی‌داری با مقادیر بارش ثبت‌شده نشان ندادند. بارش یکی به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین عناصر اقلیمی به‌صورت ذاتی دارای عدم قطعیت زمانی و مکانی قابل‌توجهی است که در دهه‌های اخیر به‌واسطه پدیده گرمایش جهانی، این میزان عدم قطعیت روند افزایشی پیدا کرده است. مطالعه ویژگی‌های ابرهای مولد بارش سنگین و بررسی توزیع زمانی و مکانی ابرناکی و ارتباط آن با توزیع زمانی و مکانی و ویژگی‌های بارش، می‌تواند تا حد قابل‌توجهی، از میزان عدم قطعیت پیش‌بینی‌های مربوط به بارش بکاهد. در این تحقیق دیده شد که در بارش سنگین که به‌طور متوسط در سطح استان خوزستان ۳۶ میلی‌متر در ۲۴ ساعت بارش ثبت‌شده بود، یک ساختار تکامل‌یافته ابرناکی با پوشش ۸۰ درصدی در سطح استان و گسترش عمودی قابل‌توجه، وجود داشت درحالی‌که در بارش سبک که میانگین بارش در سطح استان به کمتر از ۴ میلی‌متر در ۲۴ ساعت رسیده بود، یک گسست گسترده فضایی در پوشش ابرناکی استان و نیز در گسترش عمودی ابرهای مولد این بارش دیده شد.

منابع

وظیفه‌دوست مجید، فیاض نیما، عراقی‌نژاد شهاب. (۱۳۹۴)، **بررسی امکان کاربرد تولیدات سطح برف مودیس در شرایط ابری با استفاده از ترکیب آن با تصاویر مایکرویو**، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۵ (۳۷) :۷۱-۸۸.

Bai, H., Cheng, G., Minghuai W., Zhibo Z., & Tristan L., (2017), **Estimating precipitation susceptibility in warm marine clouds using multi-sensor aerosol and cloud products from A-Train satellites,** Atmospheric Chemistry and Physics Discussions,**18(3):** 1-36. 10.5194/acp-2017-887

Baum, B., Menzel W. P., Frey, R.. Tobin, D,. Holz, R., Ackerman, S.,(2012), **MODIS Cloud Top Property Refinements for Collection 6**, Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 51**: 1145-1163, doi: 10.1175/JAMC-D-11-0203.1

Bumrungklang, P. S.,(2009), **An Analysis of Seasonal Thunderstorm Cloud Distribution and Its Relation to Rainfall in Thaland using remotly sen data, Suranaree** J.Sci. Technol., **5(1):** 71-86.

Curry,JA., Webster, PJ., (2011), **Climate science and the uncertainty monster**, Bull Am Meteorol Soc,**92(12):**1667–1682. https://doi.org/10.1175/2011BAMS3139.1

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

Choobari A., Gharaylou M., (2017), **Aerosol impacts on radiative and microphysical properties of clouds and precipitation formation**, Atmospheric Research, **185(1)**:43-64
Filipiak, J., Mietus, M.,(2009), **Spatial and temporal variability of cloudiness in Poland, 1971-2000**, Int. J. Climatol, **29**: 1294-1311. DOI:10.1002/joc.1777
Finger, D., Vis, M., Huss, M. & Seibert, J., (2015),**The value of multiple data set calibration versus model complexity for improving the performance of hydrological models in mountain catchments,** Water Resour Res, **51(4):** 1939–1958, DOI: 10.1002/2014WR015712
Halimi M., Rezaei M., Mohammadi Ch. & Farajzadeh M.,(2017), **Association between cloudiness and rainfall over Fars province in Iran**, Russian Meteorology and Hydrology, **42**: 671–676, https://doi.org/10.3103/S1068373917100077
Her, Y., Yoo, SH., Cho, J. , Hwang S., Jeong J. & Seong C.,(2019), **Uncertainty in hydrological analysis of climate change: multi-parameter vs. multi-GCM ensemble predictions.** Sci Rep, 9, 4974 https://doi.org/10.1038/s41598-019-41334-7
Huiling, Y., Hui, X., Yan-Chao, H., (2011), **A numerical study of aerosol effects on cloud microphysical processes of hailstorm clouds**, Atmospheric Research, **102(4):** 432–443. 10.1016/j.atmosres.2011.09.007.
Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC.,(2014), **Climate change 2014: a synthesis report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/. Accessed 19 January 2017
Jaswal, A K.,(2017), **Variability Changes in Cloud Cover Over India During 1951–2010. In Observed ClimateVariability and Change over the Indian Region** (pp. 107-127). Springer Singapore, 2017
Johansson, E., Devasthale, A., L'Ecuyer, T., Ekman, A. M., Tjernström, M., (2015), **The vertical structure of cloud radiative heating over the Indian subcontinent during summer monsoon**. Atmospheric Chemistry and Physics, **15 (20):** 11557-11570. https://doi.org/10.5194/acp-15-11557-2015
Kumar, K.N., Suzuki, K., (2019), **Assessment of seasonal cloud properties in the United Arab Emirates and adjoining regions from geostationary satellite data. Remote Sens.** Environ. , **228**: 90–104. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.024
Mehta, L., Srivastava, S., Adam, H.N. Bose A.S., Ghosh U., Kumar V.,(2019), **Climate change and uncertainty from 'above' and 'below': perspectives from India**. Reg Environ Change ,**19:** 1533–1547. https://doi.org/10.1007/s10113-019-01479-7
Mourad, L., Ameur, S., Jean, B., Testud, J., Bachir, H., Hameg, S., Fethi, O., Yacine, M.,(2013),**Identification of raining clouds using a method based on optical and microphysical cloud properties from Meteosat second generation daytime and nighttime data**, Applied Water Science, **3**:1-11 10.1007/s13201-013-0079-0.
Nazaryan, H.,McCormick, M.P., Menzel, W.P.,(2008), **Global characterization of cirrus clouds using CALIPSO data**, J. Geophys. Res. Atmos,**113:** 1–12. https://doi.org/10.1029/2007JD009481
Norris, J. R., (2000), **What can cloud observations tell us about climate variability?** Space Science Reviews, **94(1-2)**: 375-380. https://doi.org/10.1023/A:1026704314326
Pan, B., Liu, D. , Kuma,r K., Wang, M., & LathaDevi, N.,(2021), **Global distribution of maritime low clouds with an emphasis on different aerosol types and**

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]

meteorological parameters inferred from multi-satellite and reanalysis data during 2007–2016, Atmospheric Environment, **246(1):** https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118082.

Platnick, S., Meyer, K., King, M. D., Wind, G., Amarasinghe, N., Marchant, B., Arnold, G. T., Zhang, Z., Hubanks, P. A., Holz, R. E., Yang, P., Ridgway, W. L., & Riedi, J.,(2017), **The MODIS cloud optical and microphysical products: Collection 6 updates and examples from Terra and Aqua. IEEE Trans**. Geosci. Remote Sens, **55:** 502-525, doi:10.1109/TGRS.2016.2610522.

Punay, J., Perez, G.J.P., (2014), **Evaluation of MODIS Cloud Product-derived rainfall estimates.** 35th Asian Conference on Remote Sensing 2014, ACRS 2014: Sensing for Reintegration of Societies.

Naira S., Resmi, E.A., Kulkarni G., Malap N., Patade S., Thara V., (2015), **Thermodynamical and cloud microphysical response during the transition from southwest to northeast monsoon**. Atmospheric Research, **166(1):** 182-194. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.06.018

Stephens, G., (2005), **Cloud feedbacks in the climate system: a critical review**. J. Climate, **18**: 237–273. DOI: https://doi.org/10.1175/JCLI-3243.1

Sarangi Ch., Tripathi S., KanawadeV., Koren I., and Sivanand D.,(2017), **Investigation of the aerosol–cloud–rainfall association over the Indian summer monsoon region**, Atmos. Chem. Phys., **17(1**): 5185–5204 doi:10.5194/acp-17-5185-2017

Chakraborty S., Maitra, A., (2013), **Interrelation between microphysical and optical properties of cloud and rainfall in the Indian region**. Indian Journal of Radio & Space Physics, **42**:105-112. http://hdl.handle.net/123456789/17096

Warren, S. G., Eastman, R. M., & Hahn, C. J., (2007), **A survey of changes in cloud cover and cloud tpes over land from surface observations, 1971-96**. Journal of Climate, **20(4):** 717-738. DOI: https://doi.org/10.1175/JCLI4031.1

Wenjing, Z., Ning, Z., & Jianning, S., (2014), **Spatiotemporal Variations of Cloud Amount over the Yangtze River Delta, China.** Journal of Meteorological Research, **28(3**): 371-380. DOI:10.1007/s13351-014-3064-0

Yi Wang, X. S.,(2010), **Microphysical and radiative effects of ice clouds on responses of rainfall to the largescale forcing during pre-summer heavy rainfall over southern China.** Atmospheric Research, **97(1-2):** 35-46. DOI 10.1016/j.atmosres.2010.03.005

Zeng, X.,(1999), **The Relationship among Precipitation, Cloud-Top Temperature, and Precipitable Water over the Tropics**. journal of climate, **12:** 2503-2514. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2503:TRAPCT>2.0.CO;2.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.471]