

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 تکامل یافته 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 قابل توجه در سطح استان شده است. درحالی‌که در مورد بارش سبک، یک گسست چشمگیر در گسترش افقی ابرناکی در سطح استان دیده شده 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 ثبت شده 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

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^۱ 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^۲ 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^۳ 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 قابل توجهی به خود گرفته‌اند (هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم^۴، 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^۵ و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۵۳۹؛ هر^۶ و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۹۷۰؛ کری^۷، ۲۰۱۱: ۱۶۷۹). حال در این راستا استفاده از متغیرهای کمکی^۸ 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^۹ و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۹۴۲؛ بیان^{۱۰} 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 ارائه شده است، می‌تواند، در زمینه مطالعه دینامیک ابرها و ارتباط آن‌ها با توزیع زمانی مکانی بارش بسیار مفید فایده باشد (پونی^{۱۱}، ۲۰۱۴: ۲۳۸). تحلیل ارتباط بین ویژگی‌های میکروفیزیکی و نوری، ابرهای مولد رخدادهای بارش، با توزیع زمانی و مکانی مقادیر بارش، می‌تواند تا حد قابل توجهی منجر به بهبود و ارتقاء برآوردهای مقادیر بارش در موقعیت‌های ایستگاهی سطح زمین شود و عدم قطعیت برآوردها را تا حد قابل توجهی کاهش دهد (پلانتیک^{۱۲} 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. Secondary Variable

9. Finger

10. Bain

11. Punay

12. Plantik

و اپتیکال ابرها را که از باندهای مرئی و مادون قرمز بازایی 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 جزو^{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 آئروسول 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 خلیج فارس (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. Bumrungrklang
12. Cattani
13. Hanna
14. Huiling
15. Kumar
16. Chakraborty

مقادیر بارش ثبت شده وجود دارد درحالی که در بارش های سبک همبستگی معنی دار نبود (حلیمی و همکاران، ۲۰۱۷؛ نازاریان^۱ و همکاران، ۲۰۰۸؛ پن و همکاران، ۲۰۲۱). برخی از محققان سعی کرده اند با بررسی ویژگی های میکروفیزیکی ابرهای سطح پایین مناطق اقیانوسی و نوع آئروسول های این ابرها، با استفاده از داده های باز تحلیل بارش، میزان و نوع بارش این ابرها را در مقیاس سیاره ای تحلیل کنند (پن و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۴۶). استان خوزستان از استراتژیکی ترین استان های کشور بوده و قطب تولیدات کشاورزی کشور به حساب می آید اما درعین حال این استان از لحاظ مخاطرات محیطی و اقلیمی یکی از پرمخاطره ترین استان های کشور است. در این استان مخاطرات مرتبط با بارش و منابع آب به صورت دوقطبی عمل می کنند، از یک طرف بارش های رگباری و بارش های سنگین در داخل استان یا حوضه بالادست استان می تواند، منجر به بالا آمدن سطح آب رودخانه ها و سرریز کردن سدهای استان و آب گرفتگی شهرها، روستاها، اراضی کشاورزی و مسکونی شود و از طرف دیگر، خشک سالی های مداوم می تواند به همان شدت باعث از بین رفتن کشاورزی و ایجاد گردوغبار شود. لذا مطالعه و تحلیل ارتباط بین رخداد های بارش و شرایط ابرناکی، در سطح این استان می تواند گامی باشد برای تدقیق پیش بینی های بارش و شناسایی الگوهای ابرناکی مولد بارش های مخاطره آمیز. هدف اساسی این تحقیق آشکارسازی ارتباط بین ویژگی های میکروفیزیکی و اپتیکال ابرهای مولد سه رخداد بارش سنگین، متوسط و سبک در سطح استان خوزستان می باشد.

روش تحقیق

معرفی محدوده مورد مطالعه

موقعیت مورد مطالعه این تحقیق استان خوزستان است که از لحاظ مخاطرات محیطی یکی از پرچالش ترین استان های کشور به شمار می رود. 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 پرآب ترین استان های کشور بوده و درعین حال از لحاظ منابع آب با مشکلات متعددی روبه رو است. این مشکلات هم در کیفیت و هم در کمیت منابع آب و به صورت سلسله مراتبی در عملکرد محصولات کشاورزی، صنایع و شبکه های انتقال انرژی، کیفیت هوای شهرها قابل ردیابی است؛ اما علاوه بر این چالش های گسترده در سطح استان، استان خوزستان یکی از پرضرفیت ترین استان های کشور از لحاظ کشاورزی به شمار می رود، به طوری که 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 پایین دست حوضه آبریز زاگرس است، رژیم های بارشی در پهنه زاگرس، تأثیر قابل توجهی در منابع آب سطحی این استان دارند. بخش های وسیعی از غرب و مرکز استان کم ارتفاع و هموار است و از لحاظ زهکشی منابع آب با محدودیت روبرو می باشد درحالی که بخش های شرقی و شمال شرق استان دارای توپوگرافی متنوعی بوده ارتفاع آن از ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر تناوب دارد شکل (۱).

1. Nazaryan

2. Pan



داده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

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 مورد استفاده

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

روش کار

در این تحقیق هدف اساسی آشکارسازی ارتباط بین ویژگی‌های میکروفیزیکی ساختار ابرهای مولد بارش و توزیع فضایی مقادیر بارش ثبت شده 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 مورد بررسی در همه ایستگاه‌های سینوپتیک سطح استان رخداد بارش ثبت شده باشد، به عنوان بارش فراگیر انتخاب شد. مقادیر بارش این ایستگاه‌ها با استفاده از مدل زمین‌آماری^۱ درون‌یاب کریجینگ معمولی^۲ با نیم‌تغییرنمای کروی^۳ با ابعاد یاخسته‌های 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 یاخسته‌های ۱*۱ کیلومتری استخراج گردید. در این حالت در سطح استان به ازای هر کدام از فاکتورهای مورد استفاده یک پایگاه اطلاعاتی با ۶۴۰۰۰ کد اطلاعاتی ۱ کیلومتری در سطح استان شامل مقادیر بارش ثبت شده ۲۴ ساعته و مقادیر ۵ فاکتورهای میکروفیزیکی CTP، CTH، CTT، 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 به عنوان یک مورد بارش سنگین انتخاب گردید، میانگین فضایی بارش در سطح استان به ۳۶ میلی‌متر در ۲۴

1. Geostatistic
2. Ordinary Kriging
3. Spherioid Semivariogram

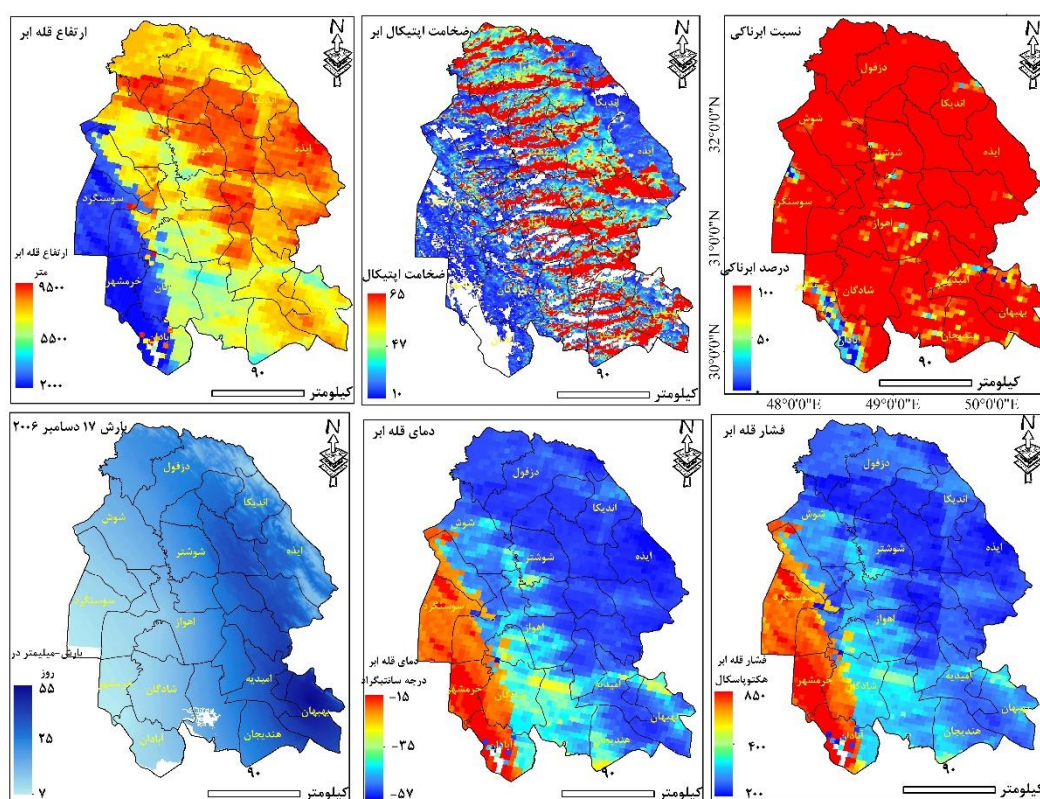
ساعت رسید. توزیع فضایی این رخداد بارشی در سطح استان از ضریب تغییرپذیری فضایی نسبتاً پایینی برخوردار بوده است (۳۵ درصد میانگین فضایی) به نحوی که در این رخداد بارشی ایستگاه مسجدسلیمان در بخش‌های شمال غرب استان مقادیر بیشینه بارش ۲۴ ساعته را که برابر ۵۵ میلی‌متر بود به خود اختصاص دادند در حالی که ایستگاه‌های 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 به گونه‌ای که پربارش‌ترین ایستگاه‌های سطح استان، ایستگاه مسجدسلیمان با ۲۲ میلی‌متر بارش بوده است در حالی که 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 به عنوان 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 به نحوی که 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

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

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 جنوب غرب استان پوشش ابرناکی کمینه بوده است، از لحاظ شاخص ضخامت اپتیکال ابرناکی، نیز نتایج بیانگر آن بود که در بخش‌های مرکزی، شمال غرب و جنوب شرق استان ضخامت توده ابر پوشش‌دهنده استان بیشینه بوده است در حالی که در بخش‌های جنوب غرب و بخش‌هایی از شمال شرق 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

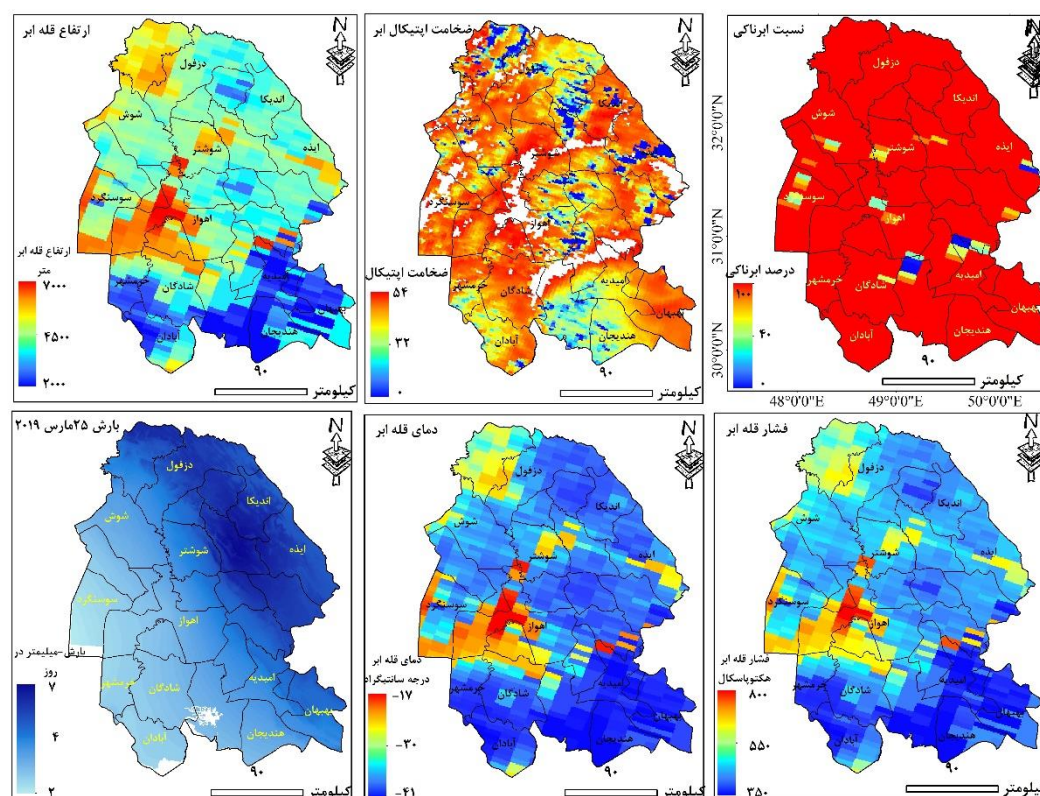
تا ۹۵۰۰ متر بوده است. بالاترین ارتفاع قله ابر در بخش‌های مرکزی و شمال غرب استان دیده می‌شود درحالی‌که در بخش‌های جنوب غرب و غرب استان ارتفاع قله ابر در حالت کمینه قرار داشته است، الگوی توزیع فضایی دما و فشار قله ابر نیز مشابه بوده است، در بخش وسیعی از استان به‌ویژه در بخش‌های مرکزی و شمال غرب استان فشار 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 جنوب شرق 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 به‌طور کلی ضخامت اپتیکال ابر در این روز نسبت به مورد بارش سنگین کاهش داشته و بین ۰ تا ۵۴ واحد بدون بعد بوده است. علاوه بر 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

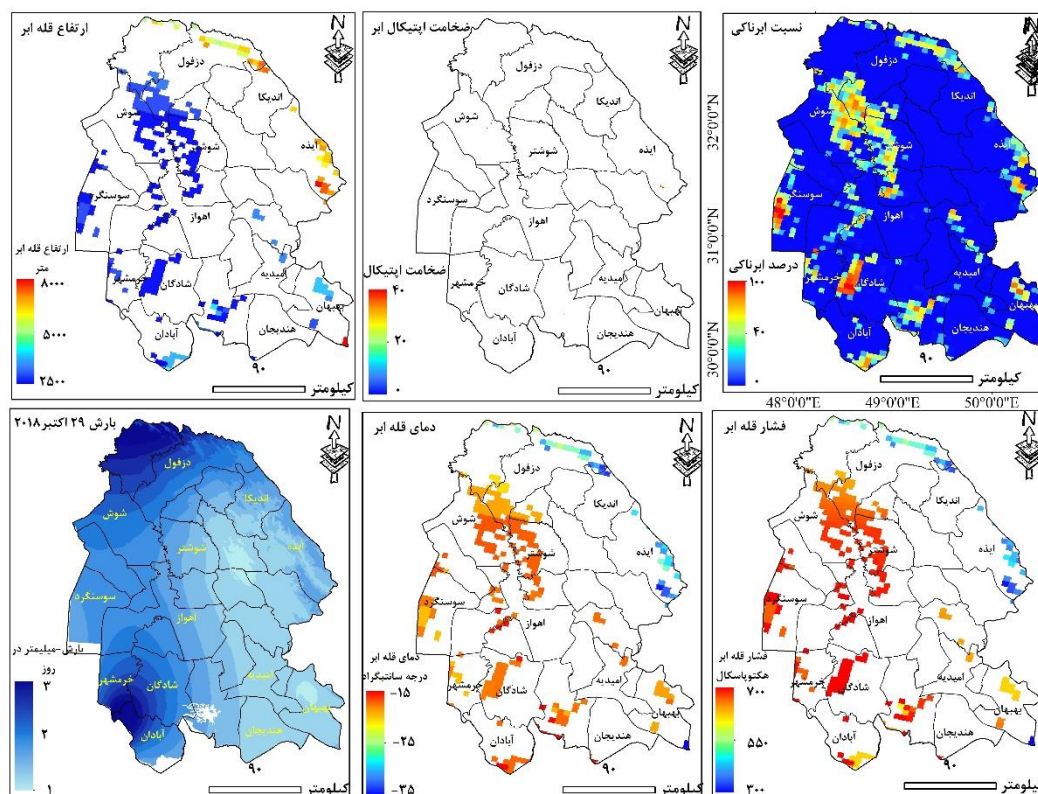
۲۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متر بوده است. بالاترین ارتفاع قله ابر در بخش‌های مرکزی و جنوب غرب استان دیده می‌شود در حالی که در بخش‌های جنوب و جنوب شرق ارتفاع قله ابر در حالت کمینه قرار داشته است، الگوی توزیع فضایی دما و فشار قله ابر نیز مشابه بوده است، در بخش وسیعی از استان به‌ویژه در بخش‌های مرکزی و شمال غرب استان فشار قله ابر حدود ۳۵۰ میلی بار بوده است در حالی که 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

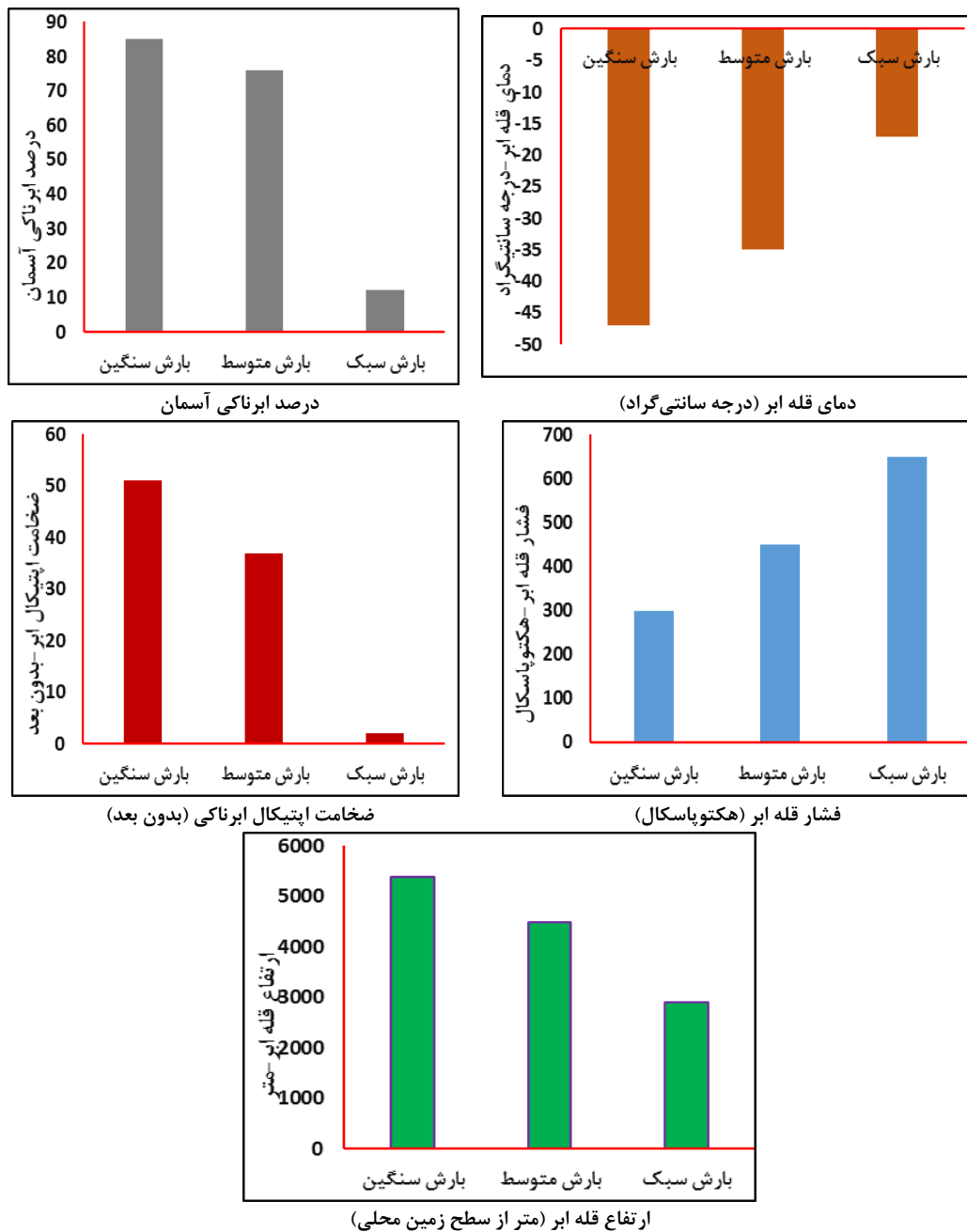
در نهایت در مورد بارش ۲۹ اکتبر ۲۰۱۸ که به‌عنوان یک مورد بارش سبک انتخاب شده است، یک ناهمگونی غالب در توزیع فضایی فاکتورهای میکروفیزیکی ابرناکی در سطح استان دیده می‌شود. نسبت ابرناکی در بخش زیادی از سطح استان بسیار پایین و نزدیک به صفر بوده است، تنها در بخش‌های محدودی از نواحی مرکزی نزدیک به غرب و بخش‌های شمال شرق استان، نسبت ابرناکی به حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد می‌رسد. از لحاظ شاخص ضخامت اپتیکال ابرناکی نیز به‌طور کلی 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

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 مورد مطالعه، 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 ابرناکی به صورت قابل توجهی بالاتر از رخداد بارش متوسط (۲۵ مارس ۲۰۱۹) بوده است و از طرف دیگر دمای قله ابر و فشار قله ابر نیز به صورت قابل توجهی پایین‌تر از رخداد بارش متوسط بوده است اما از لحاظ درصد ابرناکی آسمان تفاوت قابل توجهی بین دو رخداد بارش سنگین و متوسط دیده نمی‌شود اما هر دو رخداد بارش سنگین و متوسط از لحاظ فاکتورهای میکروفیزیکی ابرناکی به صورت معنی‌داری از رخداد بارش سبک (۲۹ اکتبر ۲۰۱۸) متمایز بوده‌اند شکل (۵).



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

(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 مورد بررسی 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	۰,۰۴	۰,۳۵	۰,۳۵	۰,۰۷

نتیجه‌گیری

استان خوزستان یکی از پر ظرفیت‌ترین 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، از یک‌طرف 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 هر کدام از این متغیرهای کمکی و آشکارسازی میزان اهمیت هر کدام 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^۱ 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 آئروسول‌ها 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^۲، 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

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 بررسی شده 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 برآوردهای 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 مایکروویو**، 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
- Bumrungrklang, P. S., (2009), **An Analysis of Seasonal Thunderstorm Cloud Distribution and Its Relation to Rainfall in Thailand using remotely sen data**, Suranaree J.Sci. Technol., **5(1)**: 71-86.
- Curry, J.A., Webster, P.J., (2011), **Climate science and the uncertainty monster**, Bull Am Meteorol Soc, **92(12)**: 1667-1682. <https://doi.org/10.1175/2011BAMS3139.1>

- 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, S.H., 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 Climate Variability 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., Ameer, 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. , Kumar K., Wang, M., & Latha Devi, N.,(2021), **Global distribution of maritime low clouds with an emphasis on different aerosol types and**

- 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., Kanawade V., 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 types 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](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2503:TRAPCT>2.0.CO;2).