



یوسف قویدل^۱

منوچهر فرج زاده^۲

سیامک احمدی^۳

منابع و دینامیسم انتقال رطوبت بارش‌های سنگین به سواحل ایران در جریان توفان گونو

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۰۲/۱۰

چکیده

در روزهای ۱۶ تا ۱۸ خرداد ۱۳۸۶ وقوع توفان حاره ای گونو موجب وقوع بارش‌های شدیدی در منطقه جنوب شرق ایران شد که متعاقب آن سیلاب عظیمی در منطقه جنوب شرق ایران به راه افتاد. با استفاده از داده‌های مختلف مربوط به رطوبت سطوح مختلف جو، منبع تامین رطوبت و کم و کیف آن در زمان وقوع بارش‌های ناشی از این توفان در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است. برای مطالعه جریان همگرایی رطوبت جو در زمان وقوع توفان گونو در استفاده از معادلات فیزیکی مربوط به جریان همگرایی رطوبت جو، نقشه‌های جریان همگرایی رطوبت جو در ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای ساعت‌های ۳:۳۰، ۹:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که بیش‌ترین همگرایی در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال صورت گرفته و ترازهای دیگر نقش کم‌تری در ایجاد بارش داشته‌اند. هم چنین نتایج نشان داد که منشأ رطوبتی بارش در روز ۱۶ خرداد در تراز ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال اقیانوس هند، خلیج عدن، دریای عرب و در سایر ترازها، دریای عرب و دریای عمان می‌باشند. در روز ۱۸ خرداد بیش‌ترین تأثیر رطوبتی مربوط به دریای عمان و سپس دریای عرب می‌باشد. با توجه به موقع سال و با در نظر گرفتن مسیر انتقال رطوبت از سمت دریاها، گرم به

E-mail: ghavidel@modares.ac.ir

۱- استادیار اقلیم شناسی گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی دانشگاه تربیت مدرس

سمت ایستگاه های جنوب شرق ایران و با در نظر گرفتن نقشه‌های بارش همرفتی می توان به این نکته مهم اشاره نمود که بارش سیل آسای ناشی از توفان گونو بر اثر عبور و حاکمیت یک توده هوای گرم و مرطوب و از طریق مکانیسم همرفت و همگرایی رطوبت به وقوع پیوسته است.

کلید واژه‌ها: رطوبت جوی، توفان حاره‌ای گونو، جریان همگرایی رطوبت، بارش همرفتی، منطقه جنوب شرق ایران.

مقدمه

سیکلون‌ها، توفان‌های شدید با منشأ حاره‌ای، با بادهای تقویت شونده‌ی بیشتر از ۶۴ نات (۷۴ مایل در ساعت یا ۱۱۹ کیلومتر در ساعت) هستند که بر روی مناطق گرم اقیانوس اطلس، اقیانوس آرام و اقیانوس هند تشکیل می شوند (آرنز، ۲۰۱۰: ۴۱۲). توفان‌های حاره‌ای که در مناطق مختلف دنیا نام‌های متفاوتی از قبیل هاریکن، تایفون و سیکلون و غیره دارند (تامپسون، ۱۳۸۲: ۲۴۵)، اثرات زیادی بر جوامع انسانی و طبیعی می‌گذارند. بارش سنگین، بادهای قوی و امواج توفانی که توسط این سیستم‌ها تولید می‌شوند، منجر به ایجاد خسارت‌های مالی و جانی زیادی می‌شوند. توفان‌های مناطق حاره، معمولاً بین ۵ تا ۲۰ درجه عرض جغرافیایی در طرفین استوا تشکیل می‌شود و نیز دو سوم این توفان‌ها بین ۱۰ تا ۲۰ درجه شکل می‌گیرد (محمدی، ۱۳۸۷: ۴۵). توفان‌های حاره‌ای بر روی آب‌های استوایی که باد آرام است، تشکیل می‌شود. در زمان رخداد این پدیده، الگوهای جوی کم فشار در سطح زمین شکل می‌گیرد و در منطقه‌ی ایجاد توفان، ناپایداری حاکم است. شرایط عمده وقوع چنین پدیده عبارتند از:

- ۱- در زمان شکل‌گیری این پدیده، دمای سطح آب باید حداقل ۲۶ درجه سانتی‌گراد باشد و این دما باید تا عمق ۴۵ متری تداوم داشته باشد.
 - ۲- در منطقه‌ی شکل‌گیری این توفان‌ها، باید ناپایداری جوی حاکم باشد؛ یعنی باید فرایندی حاکم باشد که حرکت صعودی هوا را تشدید کند.
 - ۳- شدت باد در سطح دریا در منطقه‌ی تشکیل توفان تا ارتفاع ۱۵ کیلومتری نباید زیاد باشد؛ یعنی باید جو آرامی در منطقه تشکیل توفان حاکم باشد.
 - ۴- در منطقه‌ی تشکیل توفان باید رطوبت بالایی در لایه‌ی عمیقی در داخل تروپوسفر در حال گسترش باشد و در منطقه‌ی وسیعی از تراز اقیانوس، دمای سطح آب ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر باشد (آرنز، ۲۰۱۰: ۴۱۴).
- توفان‌های حاره‌ای، در شمال اقیانوس هند بین ۵۵ تا ۹۰ درجه شرقی و ۵ تا ۲۰ درجه شمالی تشکیل و توسعه می‌یابد (وبستر و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۸۴۴). توفان حاره‌ای گونو که به عنوان قوی‌ترین توفان در منطقه‌ی دریای عرب

در طی سه دهه گذشته معرفی شده است (فریتز و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۰۲)، در خرداد ۱۳۸۶ (ژوئن ۲۰۰۷ میلادی) سواحل ایران را با سرعت ۱۱۰ کیلومتر در ساعت در نوردید. این توفان، یکم ژوئن ۲۰۰۷ میلادی در منطقه‌ای واقع در شمال اقیانوس هند تشکیل شد و پس از طی مسیری به دریای عمان رسید و ارتفاع امواج ناشی از آن به ۴ تا ۵/۵ متر رسید که باعث خالی شدن سواحل ایران از سکنه شد (خبرگزاری فارس). توفان در استان‌های سیستان و بلوچستان و هرمزگان ۲۳ کشته و بیش از ۲۲۵۰ میلیارد ریال بر جای گذاشته و برخی از روستاها را تا ۳۰ درصد تخریب کرده. هم چنین ۷۰ درصد از واحدهای مسکونی بندر جاسک بیش از ۳۰ درصد دچار تخریب شدند.

افزایش توفان‌های حاره‌ای در دو دهه آخر قرن بیستم و دهه اول قرن بیست و یکم (کلوتزباخ، ۲۰۰۶، ۱) و کثرت وقوع توفان‌های حاره‌ای (مانند توفان گونو و توفان فت در جنوب شرق ایران) می‌تواند نشانه‌ای از گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به شمار آید (هندرسون سلرز، ۱۹۹۸: ۱۹) و به خاطر اثرات شدید اقلیمی و اقتصادی-اجتماعی که دارند باید از دیدگاه‌های مختلف تحت بررسی قرار داده شوند.

در راستای مطالعه توفان حاره‌ای گونو مطالعات اندکی صورت گرفته است، مثلاً الرافی و حافظ (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر آنومالی‌های هواشناسی بر توفان گونو پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که وجود آنومالی بالاتر از نرمال (آنومالی مثبت) در ارتباط با آنومالی‌های مثبت و منفی مؤلفه‌های مداری و نصف النهاری باد بر روی دریای عرب، تأثیرگذارترین شرایط هواشناسی بر روی زایش و توسعه توفان گونو بوده است. کرشنا و راثو (۲۰۰۹، ۱۰۸) مطالعه‌ای را در مورد شدت توفان گونو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام داده‌اند. این مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان از افزایش دمای سطح آب قبل از تشدید قابل توجه توفان، در سمت راست مسیر توفان دارد که باعث افزایش قابل توجهی در شار گرمای نهان سطحی شده و منجر به تشدید توفان گردیده است. فریتز و همکاران (۲۰۱۰: ۱۰۲) به بررسی امواج ناشی از توفان گونو پرداخته و ارتفاع ناشی از توفان گونو را با ارتفاع امواج ناشی از سونامی ۲۰۰۴ اقیانوس هند مقایسه کرده‌اند.

با توجه به وقوع کم توفان حاره‌ای در ایران در زمینه مطالعه پدیده مذکور کار چندانی صورت نگرفته است. گلشنی و تائبی (۱۳۸۷، ۲۵) به شبیه سازی میدان باد ناشی از توفان گونو پرداخته‌اند. عزتیان (۱۳۸۸) با استفاده از شاخص‌های سینوپتیک به مطالعه توفان گونو پرداخته‌اند. دیباج‌نیا و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی امواج ناشی از توفان گونو پرداخته‌اند و بیان کرده‌اند که توفان حاره‌ای گونو شدیدترین توفان حاره‌ای رخ داده در دریای عرب بوده است. خسروی و پودینه (۱۳۸۹، ۵۳) به تحلیل تأثیرات اقلیمی توفان گونو بر جنوب شرق ایران پرداخته‌اند و نتیجه گرفته که محور پرفشارهای جنب حاره در سطوح پایین به سمت شرق و در سطوح فوقانی به سمت شمال عقب نشینی کرده و شرایط را برای روند همرفت شدید و بارش‌های سنگین در این نواحی آماده ساخته است. لشکری و

کیخسروی (۱۳۸۹، ۱) در مقاله‌ی ای به تحلیل سینوپتیکی توفان گونو و اثرات آن بر جنوب شرق ایران پرداخته که البته در این کار تحقیقی به مسایلی همانند تحلیل تاوایی، آب قابل بارش و همگرایی رطوبت اشاره‌ی نشده است. قویدل رحیمی (۱۳۹۰، ۱۰۱) بر اساس معادله شار همگرایی رطوبت میزان همگرایی و منبع رطوبت بارش ابرسنگین ناشی از توفان حاره‌ی ای فت را که در سال ۲۰۱۰ رخ داده بوده بررسی نموده و دریا‌های عرب و عمان را منبع اصلی بارش ذکر کرده است.

مرور تحقیقات انجام گرفته در خصوص توفان گونو نشان می‌دهد که تحقیق و تحلیل سینوپتیک بویژه از بعد کم و کیف و نقل و انتقالات رطوبتی در مورد این طوفان انجام نشده است. این مطالعه با هدف مطالعه و تحلیل کم و کیف و دینامیسم انتقال رطوبت در جریان توفان گونو انجام شده است.

مواد و روش‌ها

داده‌های جوی مورد استفاده در این پژوهش، عبارت از داده‌های بازتحلیلی مربوط به نم و یژه، نم نسبی، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، داده‌های آب قابل بارش و نرخ بارش همرفتی هستند که از وب سایت بخش علوم طبیعی لابراتوار تحقیقاتی سیستم زمین و مرکز ملی تحقیقات جوی-اقیانوسی واقع در مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی به آدرس (www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html) اخذ شده است. هم چنین داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک جنوب و جنوب شرق ایران از وب سایت سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیده اند.

به منظور تحلیل وضعیت رطوبت جوی از نقشه‌های همگرایی جریان رطوبت جو طی روزهای ۱۶، ۱۷ و ۱۸ خرداد و هم چنین نقشه‌های نم و یژه، نم نسبی، آب قابل بارش و نرخ بارش همرفتی استفاده شد. در این مطالعه بر اساس معادلات ساختاری دینامیک جو، اقدام به ترسیم نقشه‌های همگرایی جریان رطوبت جو در ترازهای مختلف جوی از ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال گردید. معادله فیزیکی همگرایی جریان رطوبتی جو به صورت خلاصه شده زیر قابل تعریف است:

$$MFC = -u(\partial q / \partial x) - V(\partial q / \partial y) - q((\partial u / \partial x) + (\partial v / \partial y)) \quad (۱) \text{ رابطه}$$

که در آن: جمله $-u(\partial q / \partial x) - V(\partial q / \partial y)$ معرف وزش افقی رطوبت ویژه جو و جمله $q((\partial u / \partial x) + (\partial v / \partial y))$ نشانگر همگرایی رطوبت ویژه جو بوده و حاصل ضرب رطوبت ویژه در همگرایی حجم جرم را بیان می‌کند (قویدل رحیمی، ۱۳۸۹، ۱۷۹).

منطقه‌ی مورد مطالعه که تحت تأثیر توفان حاره‌ای گونو قرار گرفته و بارش‌های سیل‌آسایی در آن به وقوع پیوسته است، در جنوبی‌ترین قسمت ایران در استان‌های سیستان و بلوچستان و هرمزگان قرار دارد. توفان گونو واقع شده در روزهای ۱۶، ۱۷ و ۱۸ خرداد (برابر با ۶ تا ۸ ژوئن ۲۰۰۷ میلادی) در منطقه مذکور فعالیت داشته و ایجاد بارندگی نموده است. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و مقدار بارش آنها در جدول ۱ درج گردیده است.

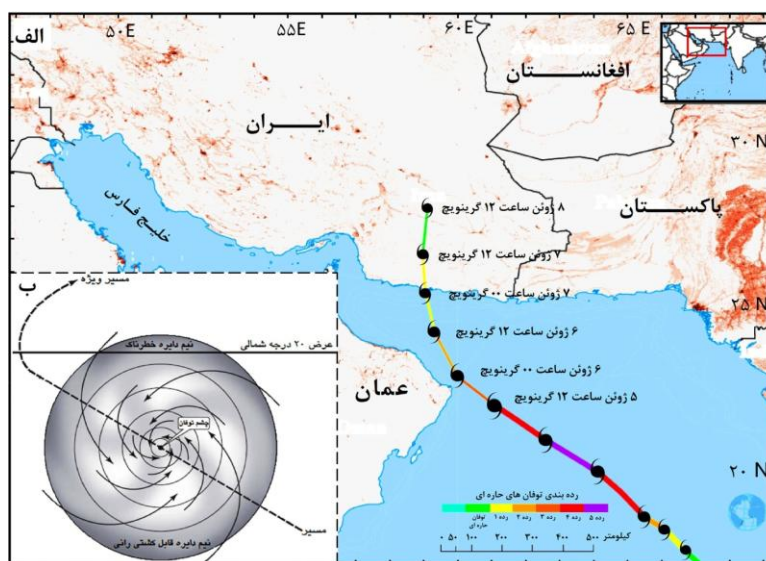
جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های تحت تأثیر توفان گونو و مقادیر بارش آنها به میلی‌متر

نام ایستگاه	موقع ریاضی ایستگاه		تاریخ وقوع بارش بر اثر توفان و میزان بارش به میلی‌متر		
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	۱۳۸۶/۳/۱۶	۱۳۸۶/۳/۱۷	۱۳۸۶/۳/۱۸
جاسک	۵۷:۴۶	۲۵:۳۸	۰	۶۲/۴	۹۲/۴
بندر عباس	۵۶:۲۲	۲۷:۱۳	۰	۱۱/۶	۰
میناب	۵۷:۰۵	۲۷:۰۶	۰	۰	۶/۲
کهنوج	۵۷:۴۲	۲۷:۵۸	۰	۰/۲	۷/۱
زاهدان	۶۰:۵۳	۲۹:۲۸	۰	۰	۱/۶
خاش	۶۱:۱۲	۲۸:۱۳	۰	۶/۸	۲۳/۸
سراوان	۶۲:۲۰	۲۷:۲۰	۰	۲/۳	۱۲/۵
ایرانشهر	۶۰:۴۲	۲۷:۱۲	۰	۱۵/۳	۸/۷
نیکشهر	۶۰:۱۲	۲۶:۱۴	۰	۱۱۱	۳۳
چابهار	۶۰:۳۷	۲۵:۱۷	۱۵/۸	۹۰/۵	۲/۳
مجموع بارش کل ایستگاه‌ها به میلی‌متر			۱۵/۸	۳۰۰/۱	۱۸۷/۶

نتایج

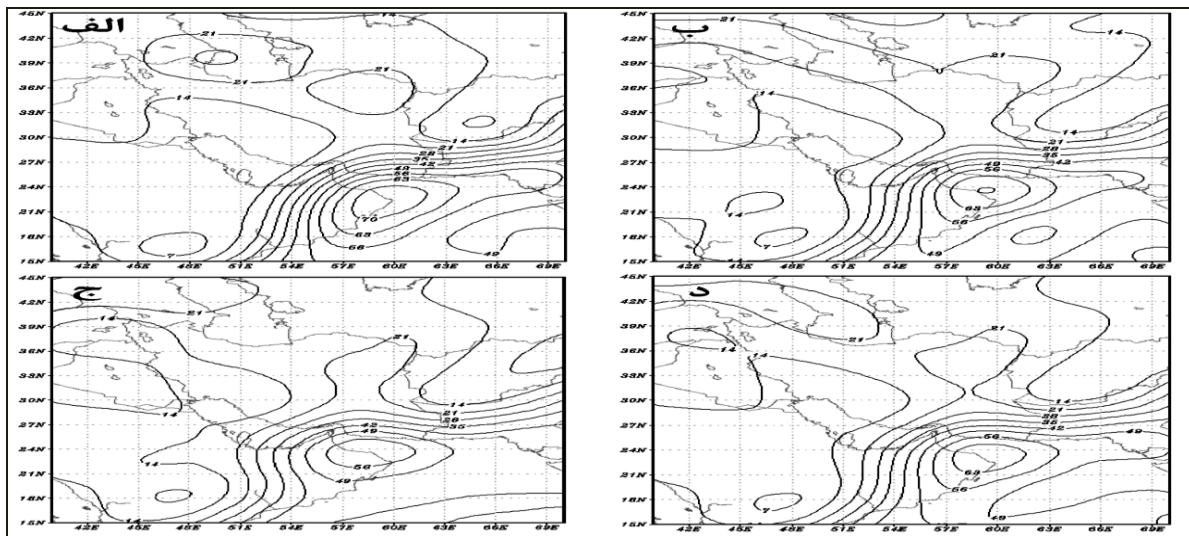
با توجه به جدول ۱ در روز ۱۶ خرداد تنها در ایستگاه چابهار بارش به وقوع پیوسته و سایر ایستگاه‌ها روز بدون بارشی را سپری کرده‌اند. در روز ۱۷ خرداد، بارش به حداکثر مقدار خود می‌رسد که مجموع بارش این روز به ۳۰۰/۱ میلی‌متر می‌رسد. بیش‌ترین بارش‌ها به ترتیب در ایستگاه‌های نیکشهر (۱۱۱ میلی‌متر)، چابهار (۹۰/۵ میلی‌متر) و بندر جاسک (۶۲/۴ میلی‌متر) رخ داده است. در روز پایانی توفان گونو یعنی ۱۸ خرداد، بیش‌ترین بارش در ایستگاه‌های جاسک (۹۲/۴ میلی‌متر) و سپس نیکشهر (۳۳ میلی‌متر) باریده است.

با توجه به همزمانی وقوع بارش سنگین و قرارگیری مرکز توفان بر روی سواحل جنوب شرقی ایران، نقشه‌های همگرایی جریان رطوبت جو مربوط به ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۱۶ تا ۱۸ خرداد ۱۳۸۶ برابر با ۶ تا ۸ ژوئن ۲۰۰۷ میلادی در ساعت‌های ۳:۳۰، ۹:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ به وقت محلی، ترسیم و تفسیر گردید. موقعیت توفان گونو در روزهای فوق نشان از قرار گرفتن قسمت نیم دایره خطرناک توفان بر روی سواحل جنوب شرق ایران دارد که ویژگی اصلی آن مخرب بودن و بارش‌های شدید همرفتی و غیر قابل کشتی‌رانی بودن است (شکل ۱).

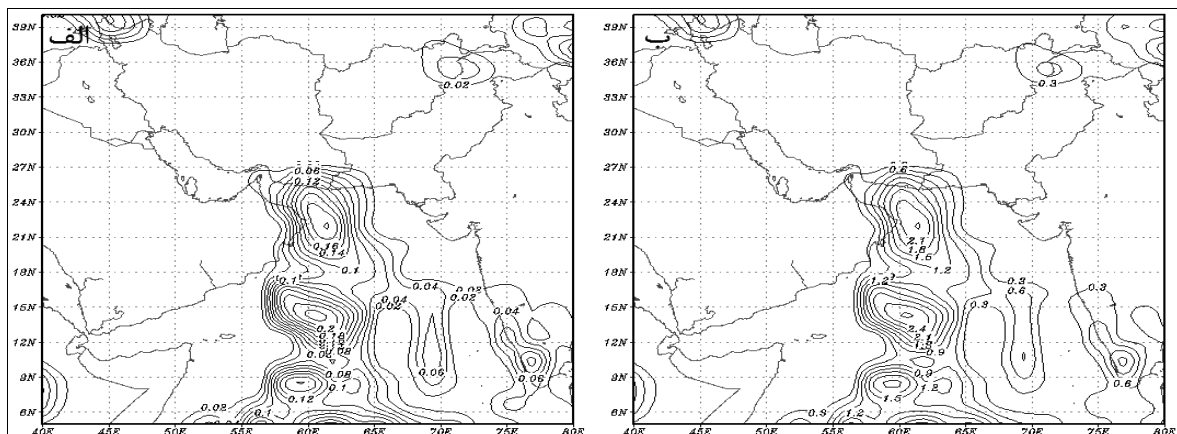


شکل ۱: الف) مسیر توفان حاره‌ای گونو (منبع: <http://reliefweb.int>) و ب) شمای کلی یک توفان حاره‌ای نمونه از دیدگاه مخاطرات جوی (آلابی، ۲۰۰۷: ۴۹۲).

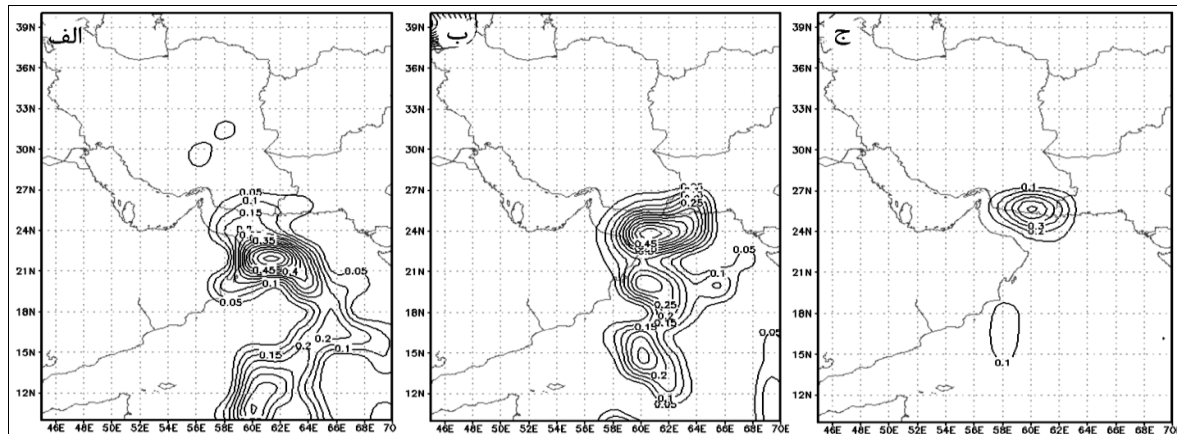
مقدار آب قابل بارش در ساعات مختلف وقوع توفان بر روی ایران به شکل قابل ملاحظه‌ای بالا رفته و بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آن در روی منطقه به ترتیب به ۷۰ و ۴۰ گرم بر کیلوگرم رسیده و منبع تغذیه بسیار سنگین ایستگاه‌های چابهار، نیک‌شهر و جاسک را فراهم ساخته است. هسته بیشینه آب قابل بارش به میزان ۵۰ گرم بر کیلوگرم در تمامی ساعت‌های وقوع توفان بر روی دریای عمان و دریای عرب قرار گرفته است (شکل ۲). مطابق شکل ۳، طی روزهای وقوع توفان گونو در ایران، بیشینه نرخ بارش همرفتی مجموع و میانگین، بر روی دریای عرب و دریای عمان قرار دارد که منطبق بر بیشینه آب قابل بارش و نیز دایره توفان است. طبق شکل ۴ نیز کم‌ترین نرخ بارش همرفتی سه روز وقوع توفان بر روی ایران مربوط به روز ۱۶ خرداد به میزان ۰/۱ گرم بر متر مربع بر ثانیه و بیش‌ترین آن، در روز ۱۸ خرداد (۰/۵ گرم بر متر مربع بر ثانیه) اتفاق افتاده است.



شکل ۲: نقشه میانگین روزانه آب قابل بارش طی روزهای ۱۶، ۱۷ و ۱۸ خرداد: الف) ۱۶ خرداد، ب) ۱۷ خرداد، ج) ۱۸ خرداد و د) میانگین سه روز ۱۶، ۱۷ و ۱۸ خرداد.



شکل ۳: نقشه نرخ بارش همرفتی (گرم بر متر مربع بر ثانیه): الف) میانگین روزهای ۱۶ تا ۱۸ خرداد، ب) مجموع روزهای ۱۶ تا ۱۸ خرداد

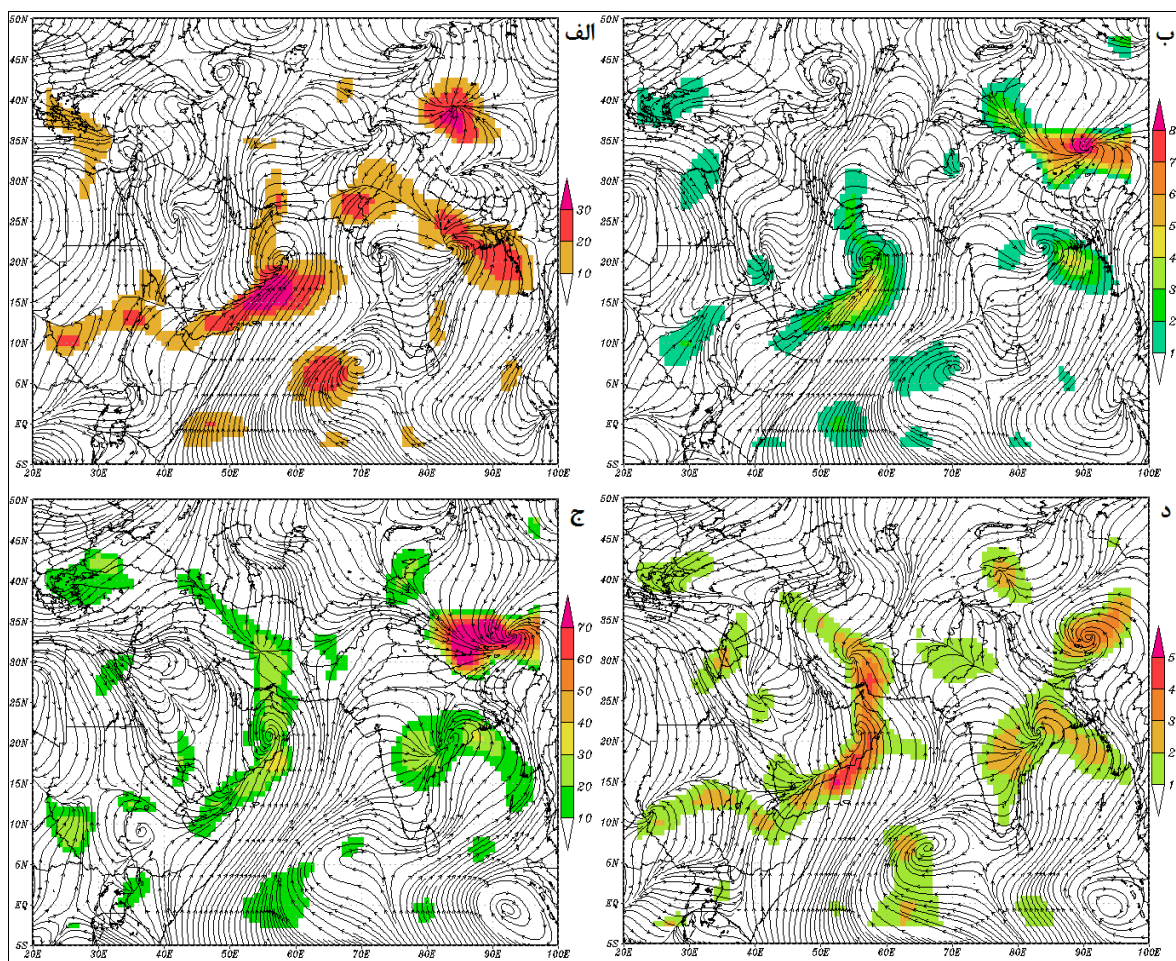


شکل ۴: نقشه نرخ بارش همرفتی (گرم بر متر مربع بر ثانیه)- الف: ساعت ۲۱:۳۰ روز ۱۶ خرداد، ب: ساعت ۹:۳۰ روز ۱۷ خرداد و ج: ۹:۳۰

روز ۱۸ خرداد

همگرایی رطوبت جو در روز ۱۶ خرداد

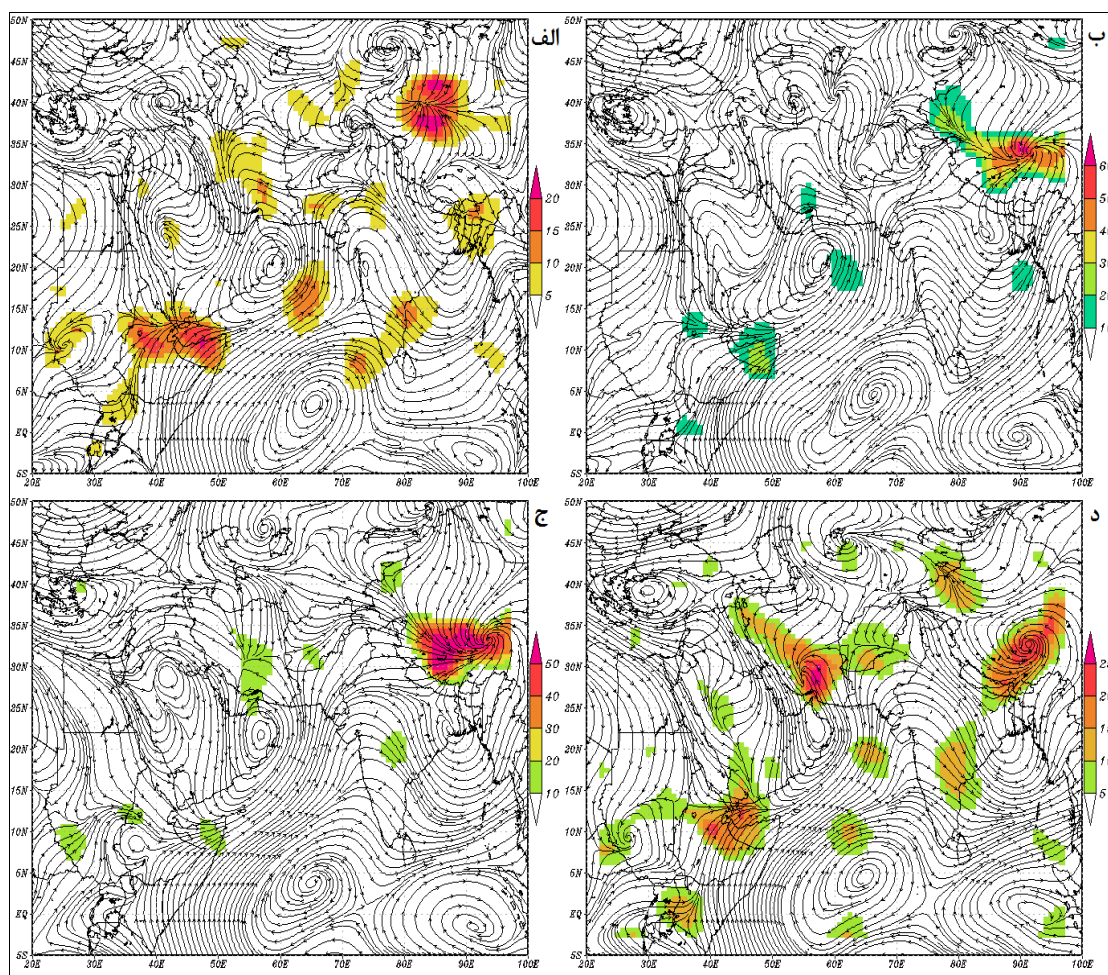
استقرار مرکز توفان گونو در روز ۱۶ خرداد و الگوی توزیع همگرایی جریان رطوبتی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال که برای ساعات مختلف در شکل ۵ نشان داده شده اند، بیانگر استقرار هسته‌های رطوبتی در نیم‌دایره جنوبی توفان است. هسته‌های رطوبتی به موازات نوار ساحلی شبه جزیره عربستان از خلیج عدن تا دریای عرب در ساعت-های ۳:۳۰ و ۹:۳۰ امتداد یافته که منطبق بر مرز همگرایی بادهای شمالی و جنوب‌غربی است. زبان‌های این هسته با عبور از روی خشکی شبه جزیره عربستان به سواحل شمالی خلیج فارس رسیده است. در ساعت‌های ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ این هسته‌های رطوبتی، گسترش یافته و بر روی سیستان و بلوچستان، نواحی داخلی ایران و نیز به موازات رشته‌کوه زاگرس تا آذربایجان کشیده شده است. در تمامی ساعت‌های این روز مسیر وزش رطوبت در امتداد ساحل شبه جزیره عربستان از خلیج عدن شروع شده و با عبور از دریای عرب و دریای عمان به سواحل جنوبی ایران می‌رسد.



شکل ۵: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۶ خرداد ۱۳۸۶ (گرم بر کیلوگرم بر ثانیه): الف) ۳:۳۰ ب) ۹:۳۰

ج) ۱۵:۳۰ د) ۲۱:۳۰

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۳:۳۰ همگرایی ضعیف ۱۰ گرم بر کیلوگرم بر ثانیه، تمامی مناطق داخلی ایران را تحت پوشش قرار داده و منحنی ۱۵ گرمی آن بر روی قسمت های کوچکی از نواحی داخلی ایران قرار دارد. نقشه همگرایی رطوبت در ساعت ۹:۳۰ دقیقه بیانگر افزایش میزان همگرایی رطوبت در بخش های شمالی تنگه هرمز می باشد که فقط بر بخش کوچکی از این منطقه گسترده شده است. همگرا شدن جریانات شمالی و شمال غربی با جریان ناشی از توفان گونو در مناطق داخلی ایران منجر به گسترش هسته رطوبتی ساعت قبل به مناطق شمالی تر شده و مناطق بیشتری را تحت پوشش قرار می دهد. در ساعت ۲۱:۳۰ هم بر میزان رطوبت و هم بر گستردگی مناطق تحت پوشش هسته رطوبتی افزوده شده و تمامی مناطق داخلی ایران تا آذربایجان را پوشانده است (شکل ۶).

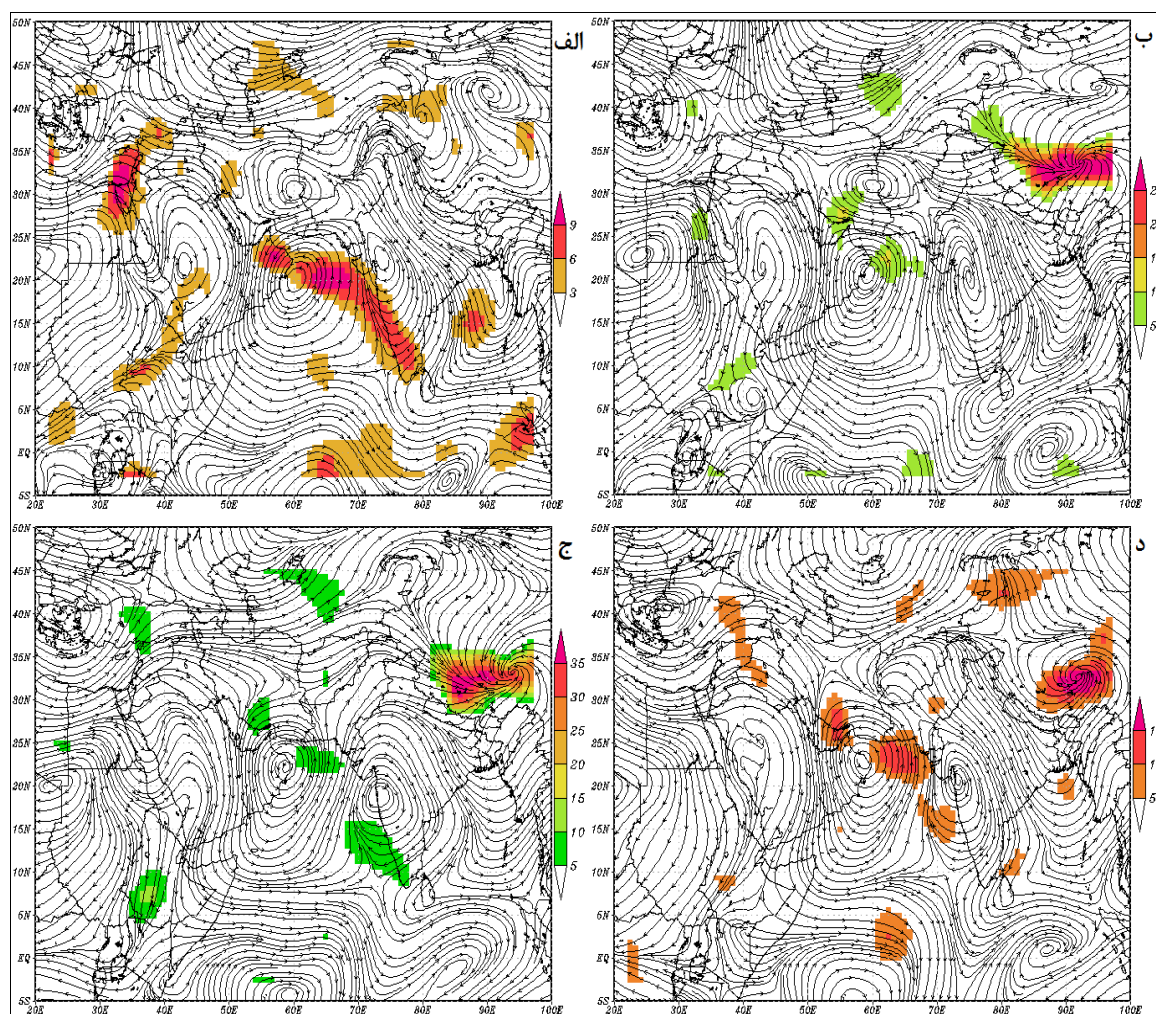


شکل ۶: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۱۶ خرداد ۱۳۸۶ (گرم بر کیلوگرم بر ثانیه): الف) ۳:۳۰ ب) ۹:۳۰

ج) ۱۵:۳۰ د) ۲۱:۳۰

با توجه به نقشه های مندرج در شکل ۷، در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۳:۳۰ دقیقه در مرز همگرایی جریانات سیکلونی و آنتی سیکلونی در سواحل غربی هندوستان همگرایی رطوبت با کشیدگی جنوب شرق-شمال غرب

صورت گرفته که امتداد این هسته با عبور از دریای عرب با هسته مرکزی ۱۲ گرم بر کیلوگرم بر ثانیه، در نیمه شمالی دایره توفان به روی عمان با هسته مجزای ۱۲ گرمی دیگری رسیده است. این دو هسته رطوبتی در ساعت ۹:۳۰ به طور کامل از هم مجزا شده و به سمت شمال غرب جابجا شده و تا سواحل شمال خلیج فارس رسیده و هم چنین بر تراکم رطوبت آن افزوده شده است. در ساعت ۱۵:۳۰ از مقدار رطوبت و گستردگی هسته‌های رطوبتی کاسته شده اما بدون جابجایی مانده‌اند. در آخرین مشاهده این روز بدون جابجایی در مکان استقرار هسته‌های رطوبتی، بر ابعاد آن و نیز میزان رطوبت آن افزوده شده و تا ساحل چابهار گسترش یافته است.

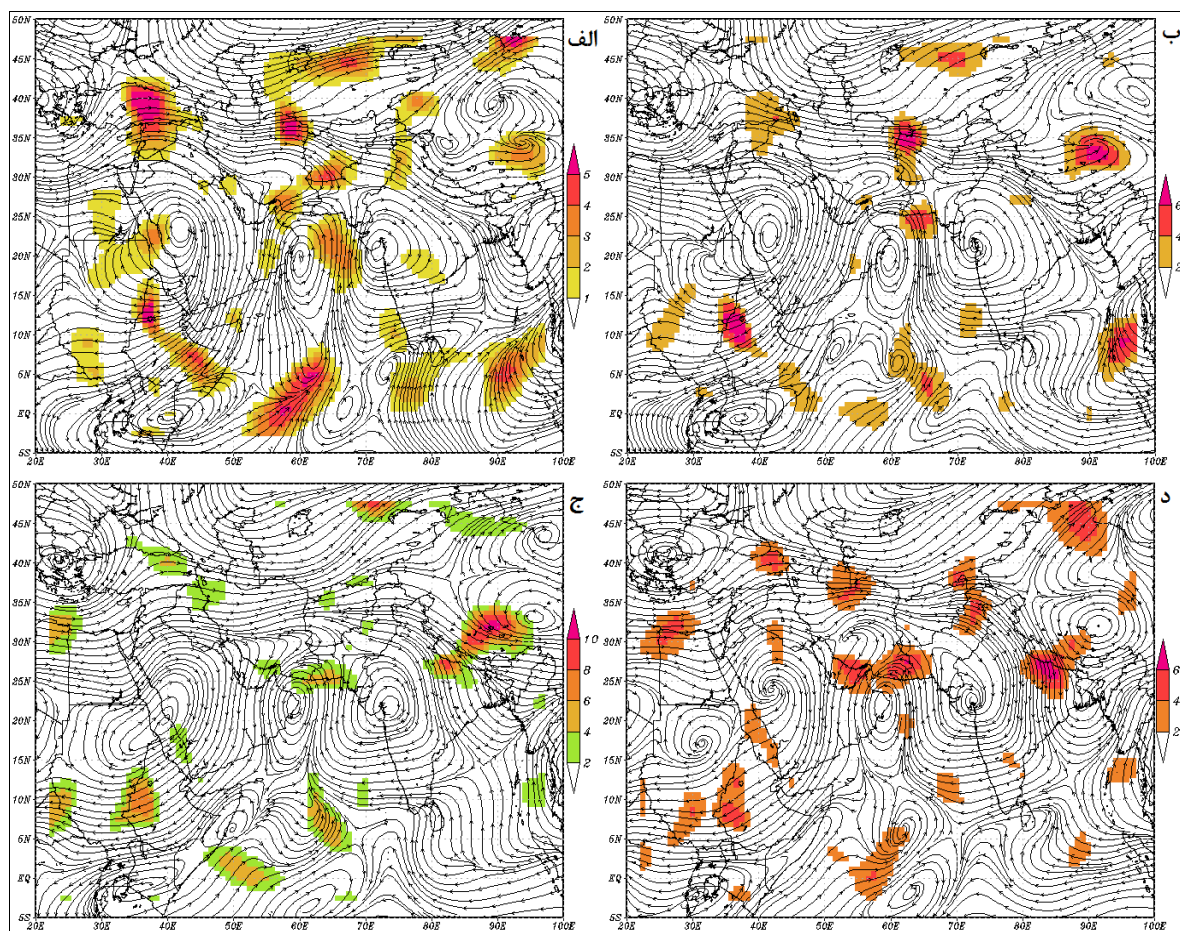


شکل ۷: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۶ خرداد ۱۳۸۶ (گرم بر کیلوگرم بر ثانیه): الف) ۳:۳۰ ب) ۹:۳۰

ج) ۱۵:۳۰ د) ۲۱:۳۰

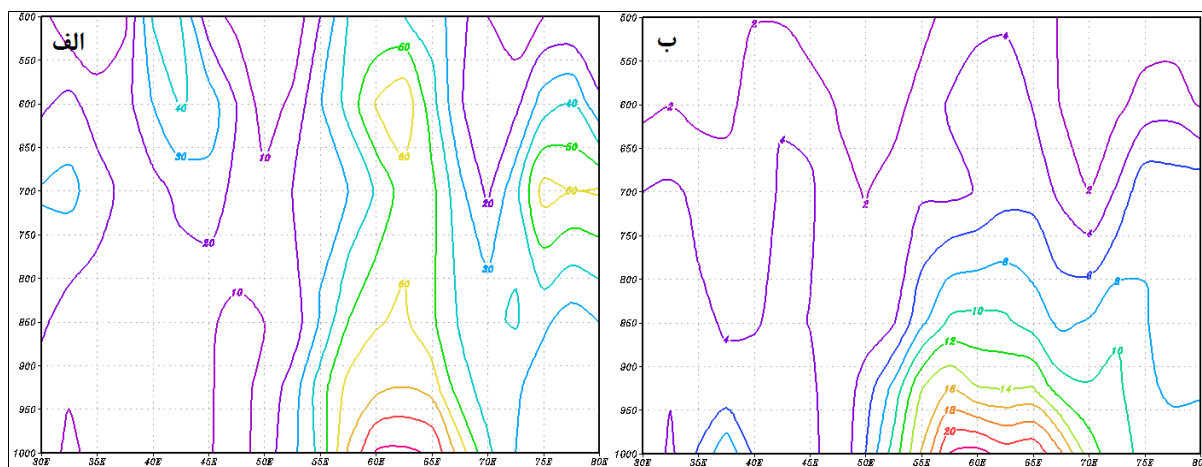
با توجه به نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸) در ساعت ۳:۳۰ در مرز همگرایی سیکلون گونو با جریانات آنتی‌سیکلونی واقع در شرق، غرب و شمال توفان، هسته‌های رطوبتی بر روی دریای عرب، سواحل شمالی دریای عمان تا تنگه هرمز و نیز بر روی خشکی‌های داخلی عمان تشکیل شده است. در ساعت بعد هسته رطوبتی روی

دریای عرب تقویت شده و با جابجایی به سمت شمال بر روی سواحل چابهار مستقر شده است. این وضعیت در ساعت ۱۵:۳۰ نیز ادامه دارد؛ در این ساعت هسته کوچک تر روی سواحل شمالی خلیج فارس نیز گسترده تر شده و در ساعت ۲۱:۳۰ با هسته روی سیستان و بلوچستان ادغام شده و تمام مناطق سیستان و بلوچستان، هرمزگان، دریای عمان و نیز نیمه شرقی خلیج فارس را تحت پوشش قرار می دهد. در تمامی ساعت های این روز منبع تأمین رطوبت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دریای عرب و دریای عمان است. با توجه به استقرار مرکز توفان گونو در هر روز، ترسیم نمودار هوف مولر، تغییرات نم نسبی و نم ویژه را نشان می دهد. شکل ۹ تغییرات نم نسبی و نم ویژه را در عرض ۲۵ درجه روز ۱۶ خرداد نشان می دهد. همان طور که شکل نشان می دهد در این ساعت در طول ۵۵ تا ۶۵ درجه میزان نم نسبی و نم ویژه شروع به گسترش نموده، اما گسترش عمودی آن تا تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال می باشد. بیش ترین میزان نم نسبی ۹۰ درصد و نم ویژه در تراز دریا و در طول جغرافیایی ۶۰ درجه منطبق بر ایستگاه چابهار است که بیانگر نقش دو مؤلفه فوق در ایجاد بارش ۱۵/۸ میلی متری این ایستگاه می باشد.



شکل ۸: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۶ خرداد ۱۳۸۶ (گرم بر کیلوگرم بر ثانیه): الف) ۳:۳۰ ب) ۹:۳۰

ج) ۲۱:۳۰ د) ۳:۳۰

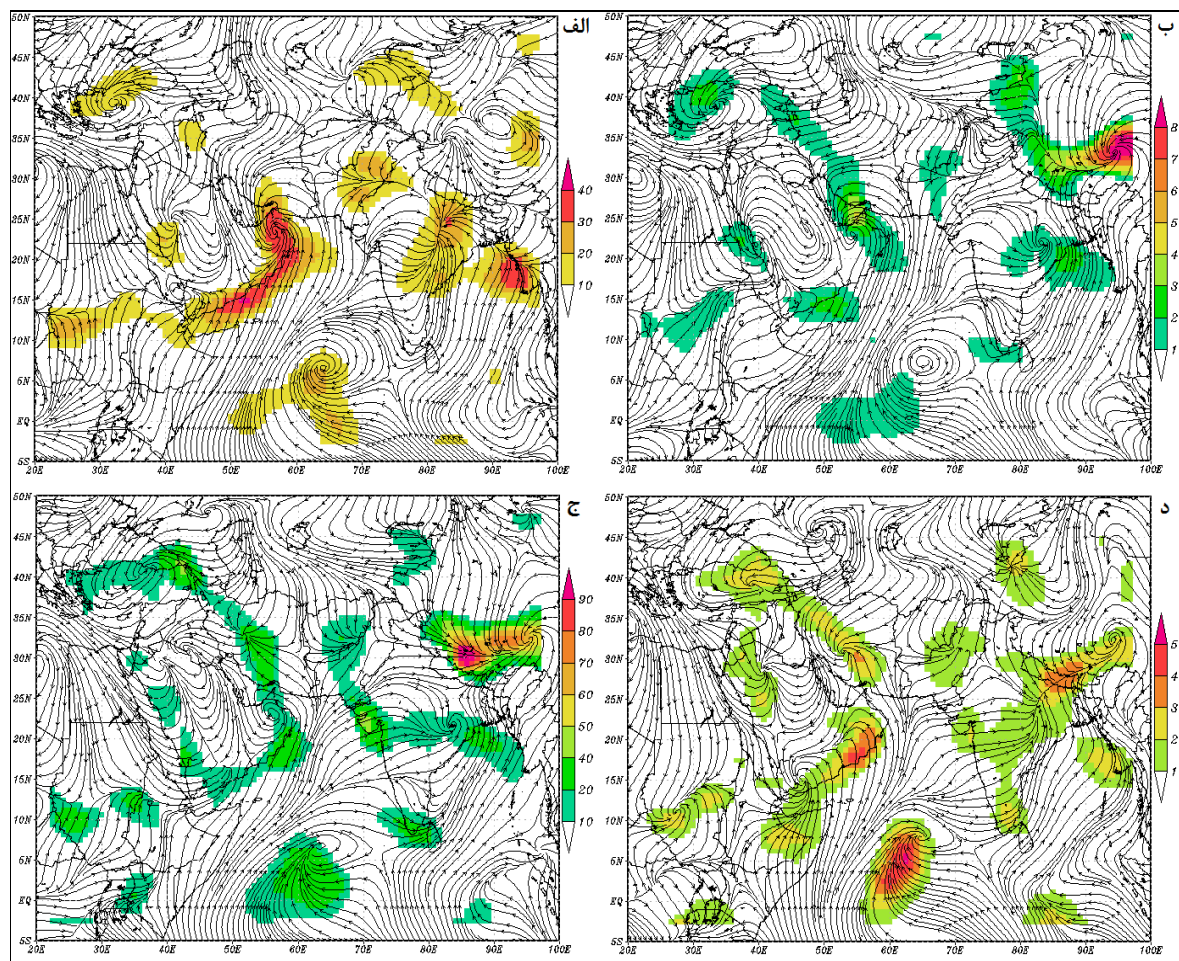


شکل ۹: نمودار هاف‌مولر نم نسبی (الف) و نم ویژه (ب) برای ساعت ۲۱:۳۰ روز ۱۶ خرداد در عرض ۲۵ درجه

همگرایی رطوبت جو در روز ۱۷ خرداد

بررسی نقشه‌های همگرایی رطوبت در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۷ خرداد ماه نشان داد که در محدوده استقرار توفان گونو در ایران شدیدترین همگرایی در چهار مشاهده اتفاق افتاده است (شکل ۱۰). در ساعت ۳:۳۰ دقیقه یک همگرایی شدید (۴۰ گرم بر کیلوگرم بر ثانیه) در امتداد شبه‌جزیره عربستان از خلیج عدن شروع شده و تا تنگه هرمز ادامه دارد و منحنی هم ارزش ۲۰ گرم بر کیلوگرم بر ثانیه بر روی سواحل جنوبی ایران قرار گرفته است. هم چنین جهت وزش رطوبتی نشانگر انتقال رطوبت هسته همگرایی فوق به روی جنوب-شرق ایران در یک مسیر چرخندی می باشد.

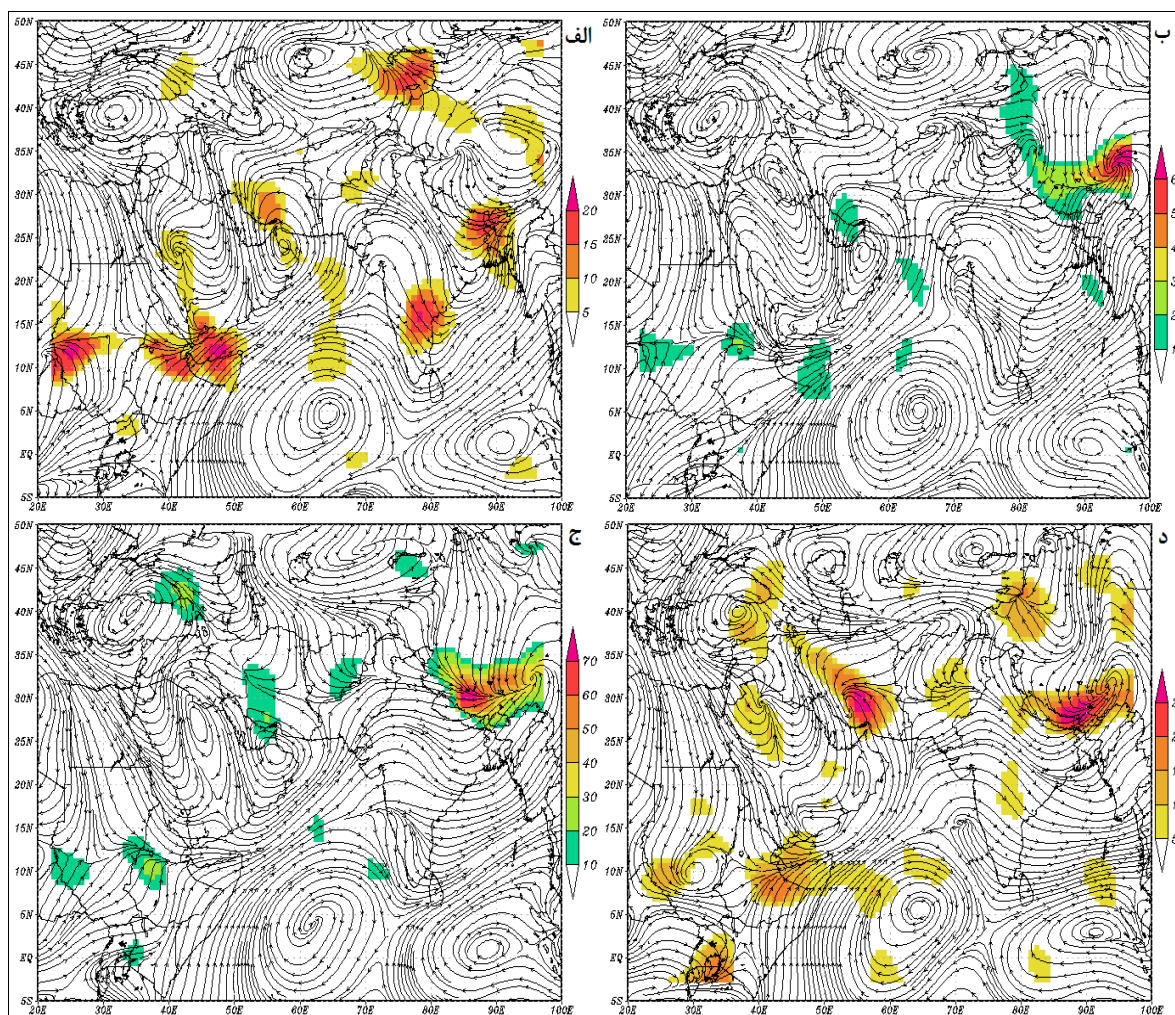
در ساعت ۹:۳۰ هسته جریان همگرایی رطوبت به میزان ۵۰ گرم بر کیلوگرم بر ثانیه بر روی قسمت‌های جنوبی خلیج فارس قرار گرفته است. منحنی ۲۰ گرمی به صورت شمال غربی-جنوب شرقی در امتداد کوه‌های زاگرس از ترکیه شروع شده و تا سواحل جنوب شرقی عمان ادامه دارد. در همین حال هسته‌های دیگری بر روی خلیج عدن و منطقه هم‌رایی دریای سرخ تشکیل شده که بر روی بارش‌های ایران بی تأثیر بوده است. نقشه‌ی همگرایی جریان رطوبت در ساعت ۱۵:۳۰ نشان می‌دهد که هسته ساعت قبل به دو هسته‌ی مجزا روی ایران مرکزی و جنوب شرق عمان تفکیک شده اما هم چنان منحنی ۲۰ گرم با اندک جابجایی به طرف شرق در شمال و به طرف غرب در جنوب بر روی ایران در امتداد زاگرس گسترش دارد.



شکل ۱۰: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۷ خرداد (گرم بر کیلوگرم بر ثانیه) (الف: ۱۳۸۶: ۳:۳۰ ب)

(ج ۹:۳۰ د ۱۵:۳۰) ۲۱:۳۰

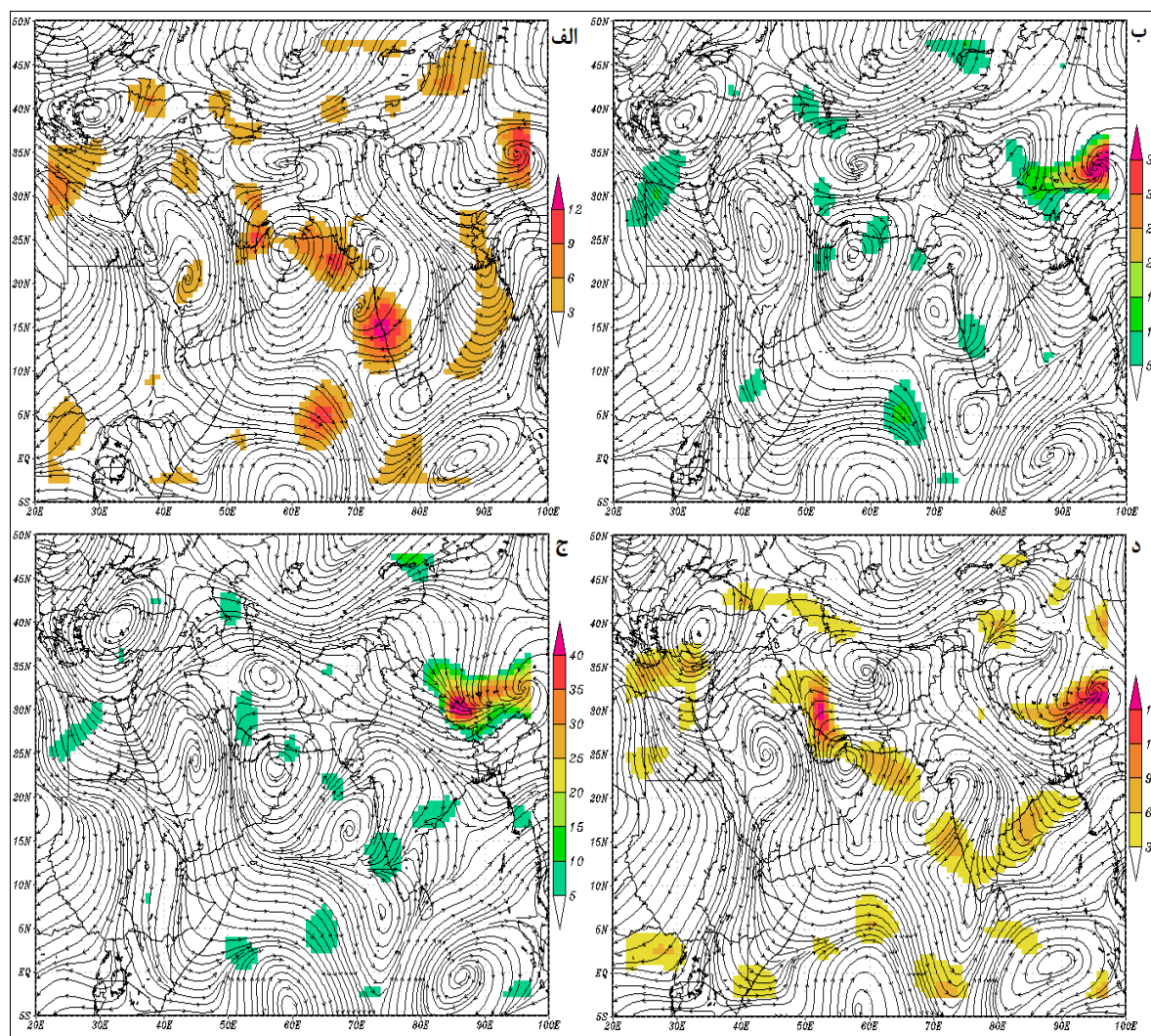
بریده شدن هسته‌های همگرایی ساعت پیشین و عوض شدن جهت وزش جریان‌های همگرایی در ساعت ۲۱:۳۰ نشان می‌دهد که در این ساعت منبع رطوبت بارش‌ها، بخش کوچکی از دریای عرب و دریای عمان می‌باشد. با توجه به شکل ۱۱ الگوی وزش جریان رطوبت تراز ۸۵۰ به تبع ترازهای زیرین خود در ساعات ۳:۳۰، ۹:۳۰ و ۱۵:۳۰ با اندک تغییری نشان دهنده وزش رطوبتی از روی دریای عرب بر روی جنوب شرق کشور بوده ولی تمرکز هسته همگرایی رطوبتی بر روی خلیج فارس و مناطق شمالی آن است. در ساعت ۲۱:۳۰ الگوی وزش رطوبتی تغییر یافته و باعث جابجایی تمرکز رطوبت بر روی قسمت‌های بیشتری از ایران شده است.



شکل ۱۱: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۱۷ خرداد ۱۳۸۶ (گرم بر کیلوگرم بر ثانیه): الف) ۳:۳۰ ب) ۹:۳۰

ج) ۱۵:۳۰ د) ۲۱:۳۰

جریان باد و مسیر وزش رطوبت در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۲) موجب تشکیل هسته‌های همگرایی رطوبت مؤثر بر بارش سنگین در تمامی مشاهدات شده که با شدت و ضعف این الگوها قابل مشاهده می‌باشد. در تمامی مشاهدات تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، مسیر وزش رطوبت از الگوی یکسانی پیروی می‌کند و با عبور از روی بخش‌های میانی و غربی دریای عرب و دریای عمان موجب همگرایی جریان رطوبت بر روی سواحل شمالی دریای عمان گردیده است.

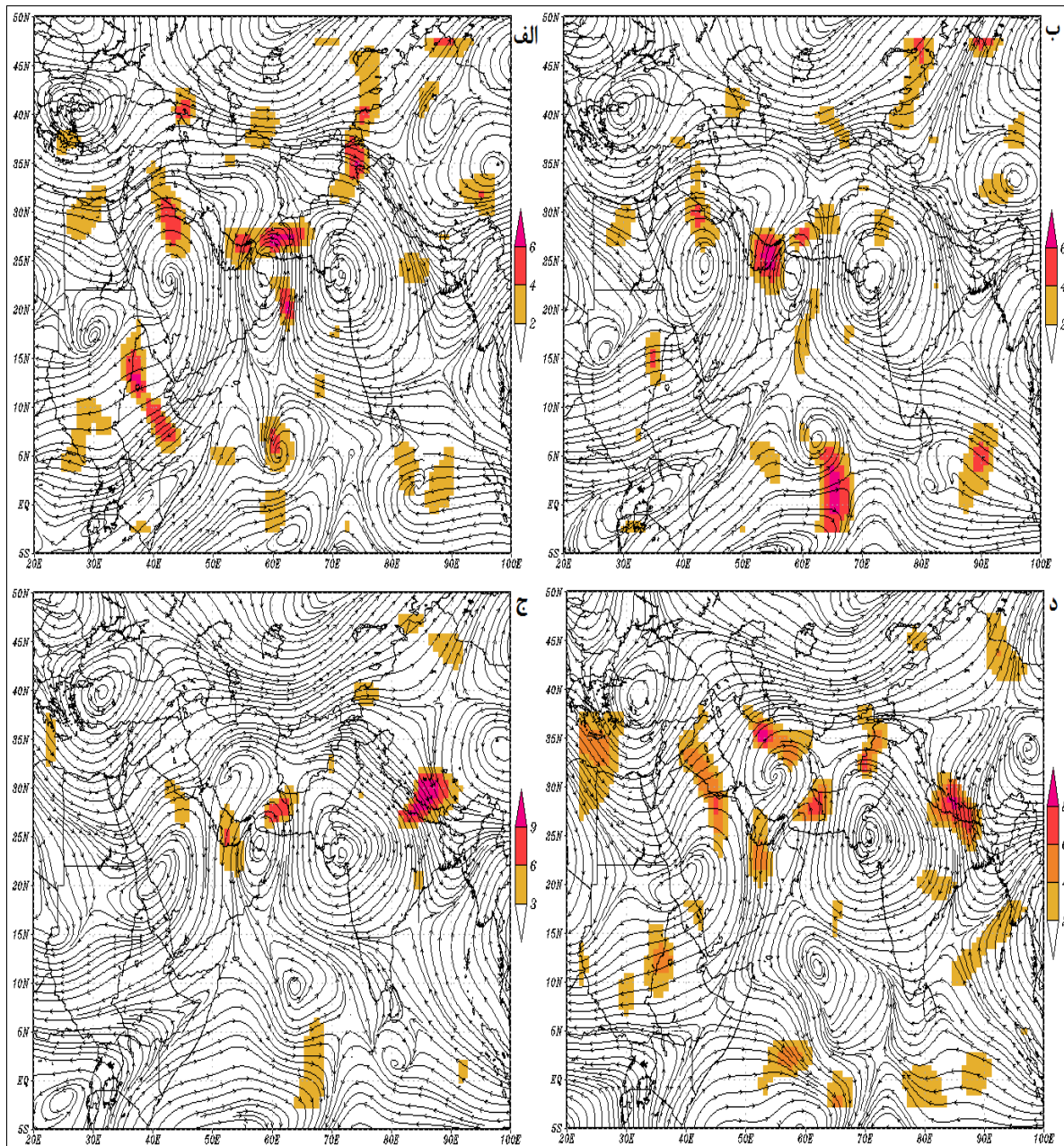


شکل ۱۲: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۷ خرداد ۱۳۸۶ (گرم بر کیلوگرم بر ثانیه): الف) ۳:۳۰ ب) ۹:۳۰

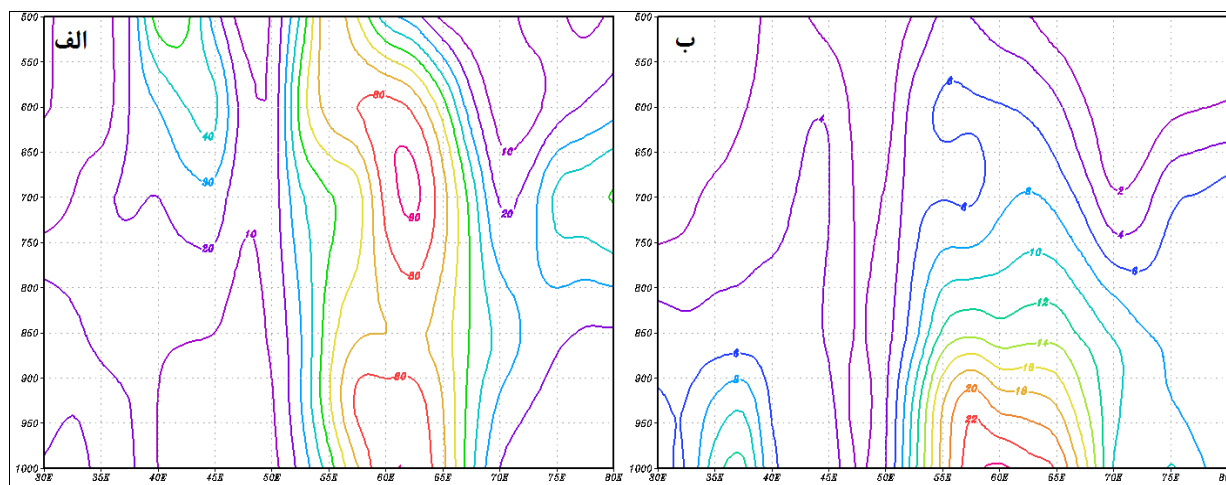
ج) ۱۵:۳۰ د) ۲۱:۳۰

بر اساس نقشه های همگرایی رطوبت جو در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مندرج در شکل ۱۳، انتقال رطوبت از روی دریای عمان و دریای عرب در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال طی یک جریان چرخندی و تشکیل هسته های همگرایی رطوبتی بر روی نوار ساحلی جنوب ایران در ساعات مختلف انجام گرفته است. شدت و ضعف همگرایی جریان رطوبت در ساعات مختلف دیده می شود که بیشترین شدت همگرایی مربوط به ساعت ۳:۳۰ می باشد. بالا رفتن درصد نم نسبی و مقدار نم ویژه در ترازهای مختلف جوی در ساعت ۱۵:۳۰ روز ۱۷ خرداد، در عرض ۲۵ درجه شمالی در شکل ۱۴ نشان داده شده است. با توجه به نمودارهای هوف مولر، بیشترین میزان تأثیر مربوط به ترازهای

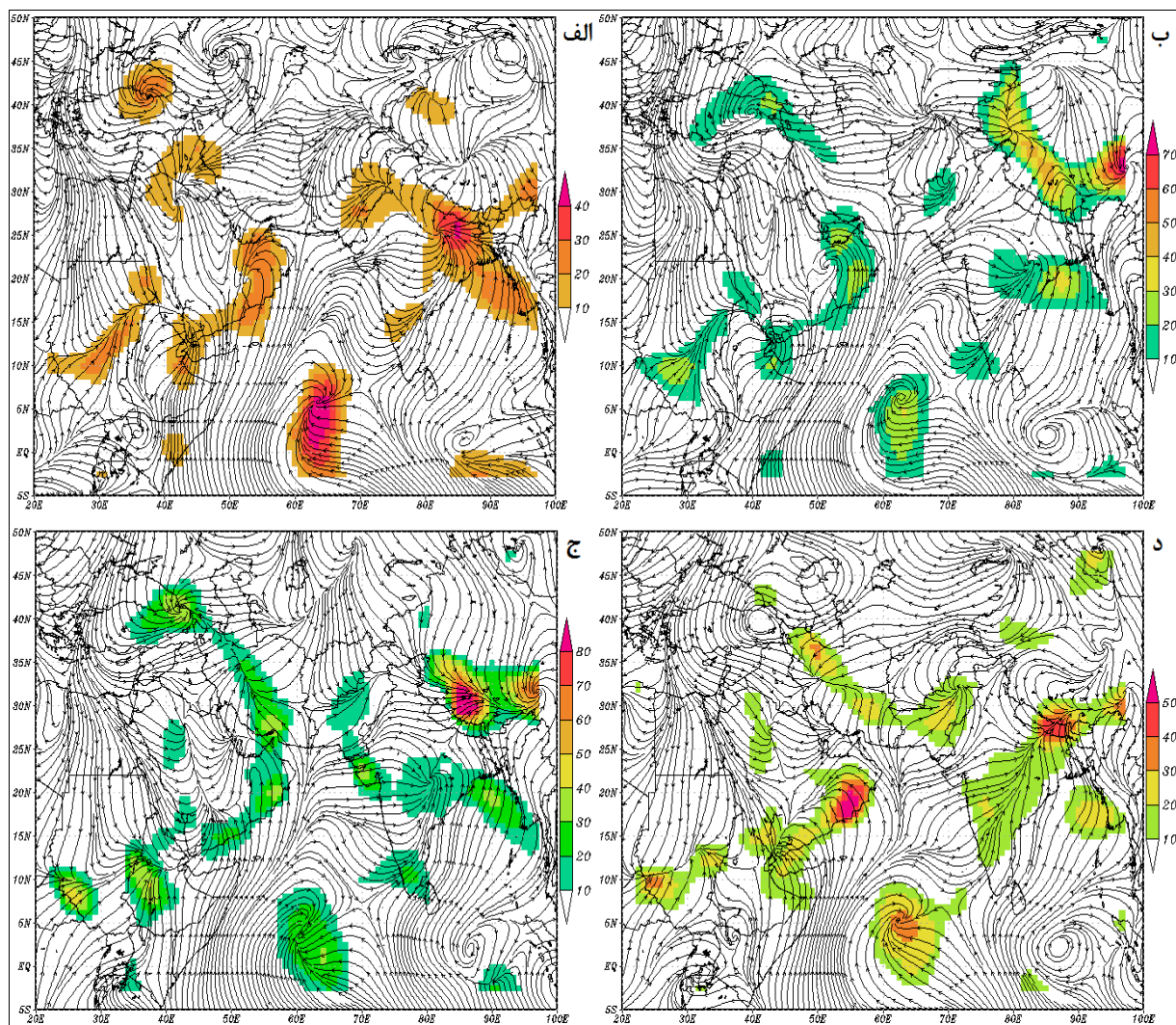
کمتر از ۸۵۰ هکتوپاسکال، سپس ۷۰۰ تا ۶۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. از لحاظ گسترش افقی توفان گونو در این ساعت، بین ۵۲ تا ۶۳ درجه گسترده شده است (شکل ۱۴).



شکل ۱۳: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۷ خرداد ۱۳۸۶: الف) ۳:۳۰ ب) ۹:۳۰ ج) ۱۵:۳۰ د) ۲۱:۳۰



شکل ۱۴: نمودار هافمولر نم نسبی (الف) و نم ویژه (ب) برای ساعت ۱۵:۳۰ روز ۱۷ خرداد در عرض ۲۵ درجه

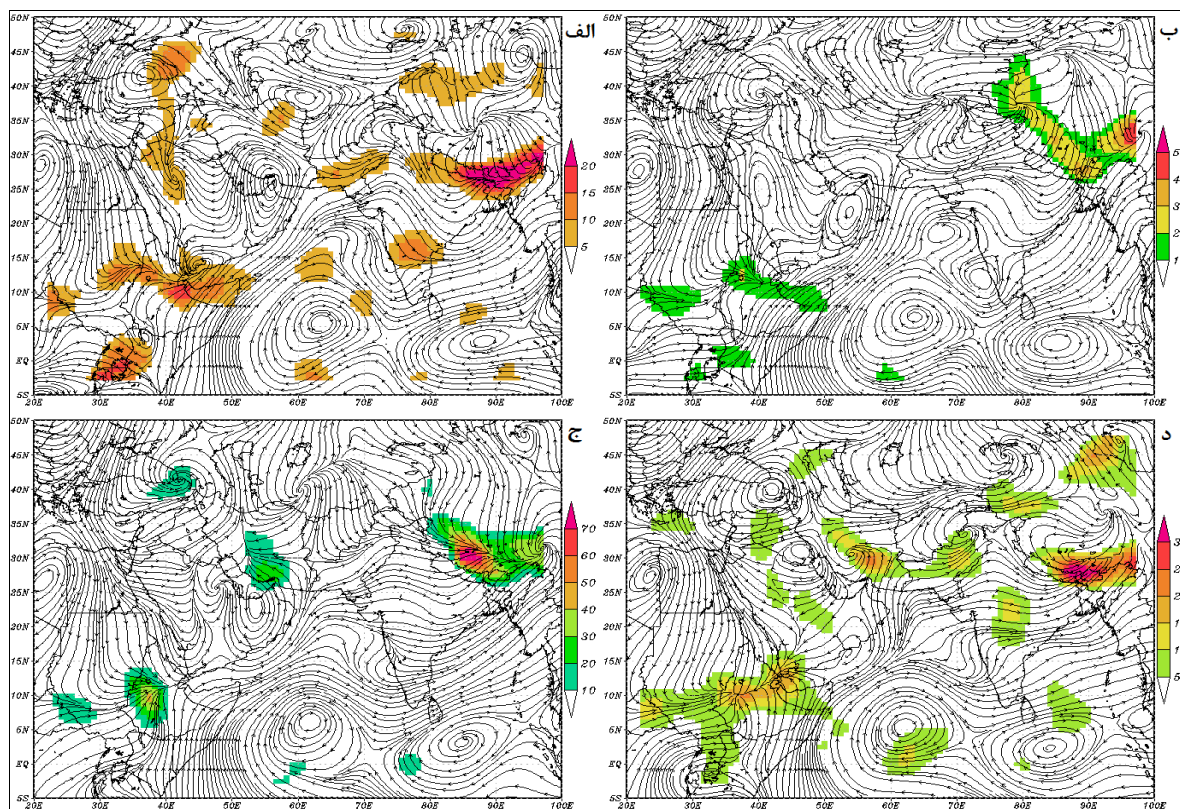


شکل ۱۵: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۱۰۰۰هکتوپاسکال در روز ۱۸ خرداد: (الف) ۱۳:۳۰، (ب) ۳:۳۰، (ج) ۹:۳۰، (د) ۲۱:۳۰

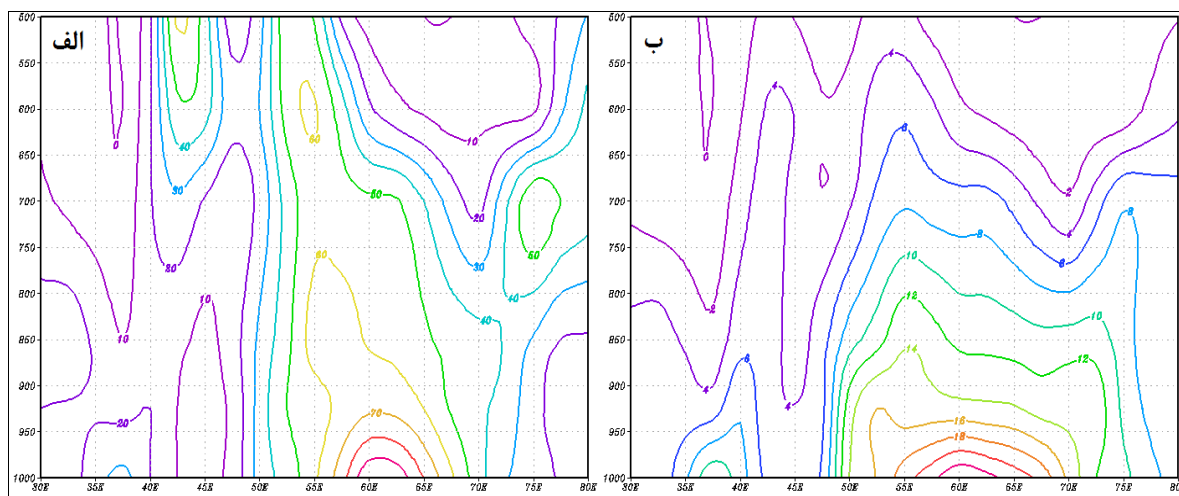
همگرایی رطوبت جو در روز ۱۸ خرداد

در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در دو مشاهده ۳:۳۰ و ۹:۳۰ بر روی منطقه همگرایی رطوبت صورت نگرفته، اما در مشاهده سوم این روز، هسته‌های رطوبتی در قسمت‌های غربی منطقه مورد مطالعه تشکیل شده و در مشاهده چهارم به شرق و شمال منطقه جابجا شده و البته از میزان رطوبت آن نیز کاسته شده و از ۴۰ گرم بر کیلوگرم بر ثانیه بر متر مربع به ۳۰ گرم بر کیلوگرم بر ثانیه رسیده است (شکل ۱۵).

الگوهای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشابه سطوح زیرین خود عمل می‌کند و علی‌رغم وزش سیکلونی رطوبت در این تراز در ساعت‌های ۳:۳۰ و ۹:۳۰ هیچ گونه همگرایی رطوبت بر روی منطقه صورت نگرفته است (شکل ۱۶). در ساعت ۱۵:۳۰ یک هسته ۴۰ گرم بر کیلوگرم بر ثانیه بر روی مناطق شمال تنگه هرمز شکل گرفته که منحنی ۳۰ گرمی آن بر روی قسمت‌های غربی منطقه گسترده شده است. این همگرایی رطوبت حاصل تغییر الگوی وزش و همگرا شدن جریان بادهای شمال شرق، بادهای روی دریای عمان و نیز بادهای جنوب غرب روی خلیج فارس است. در این ساعت منشأ رطوبتی بارش‌ها دریای عمان، دریای عرب و خلیج فارس می‌باشند. در ساعت ۲۱:۳۰ از مقدار رطوبت آن کاسته شده و به سمت شمال و غرب جابجا شده و منحنی ۵ گرمی آن اکثر قسمت‌های شمال منطقه را تحت پوشش قرار می‌دهد (شکل ۱۷).

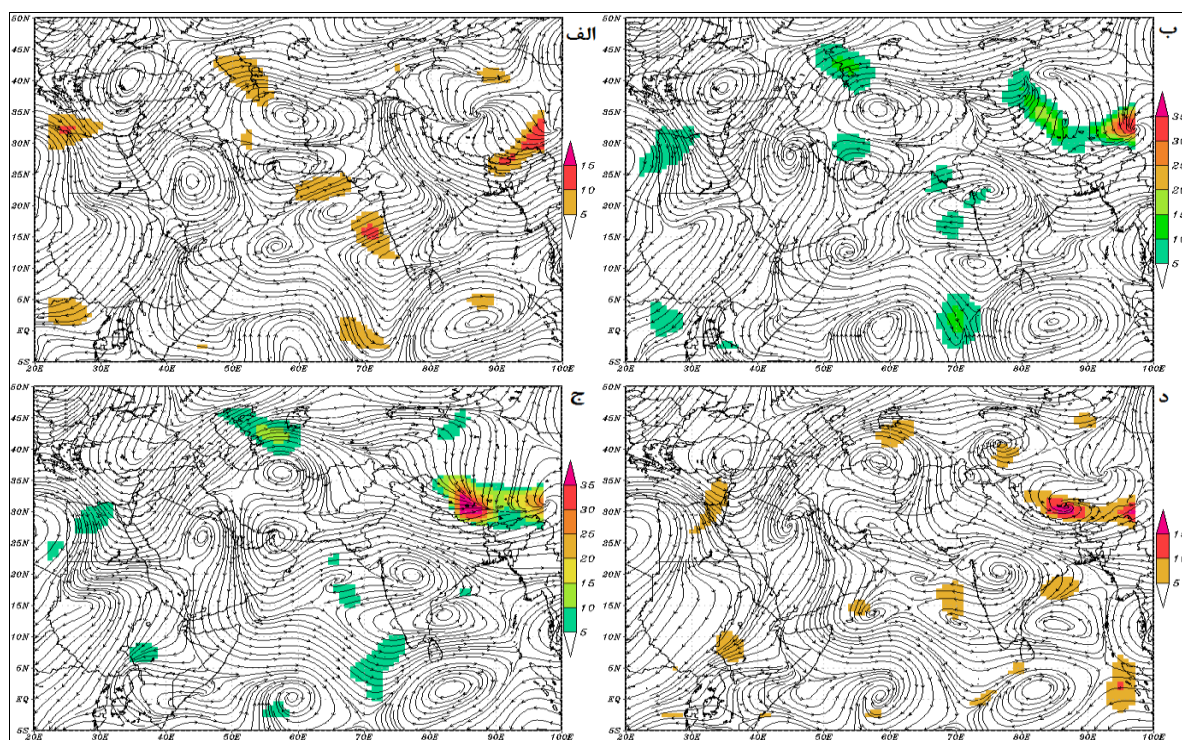


شکل ۱۶: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۱۸ خرداد (الف: ۳:۳۰ ب) ۹:۳۰ ج) ۱۵:۳۰ د) ۲۱:۳۰

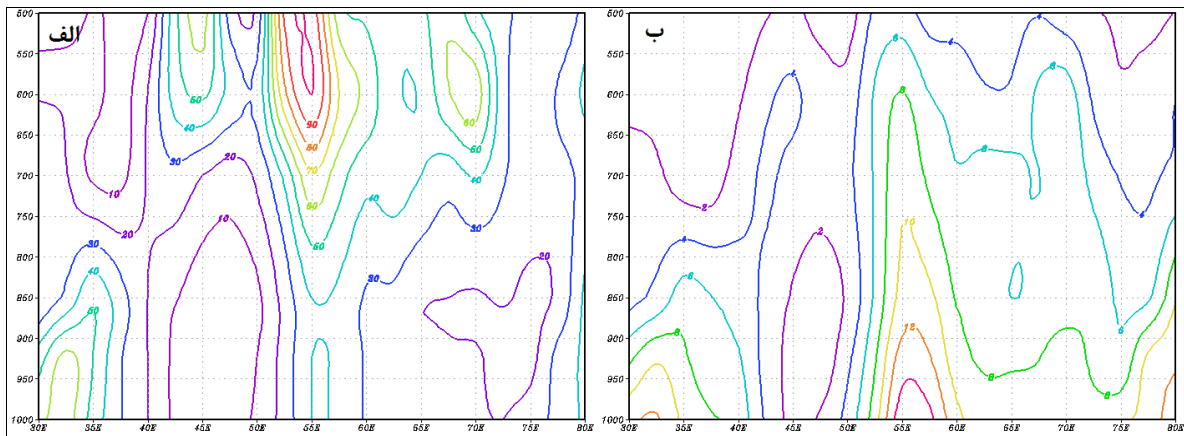


شکل ۱۷: نمودار هافمولر نم نسبی (الف) و نم ویژه (ب) برای ساعت ۲۱:۳۰ روز ۱۸ خرداد در عرض ۲۵ درجه

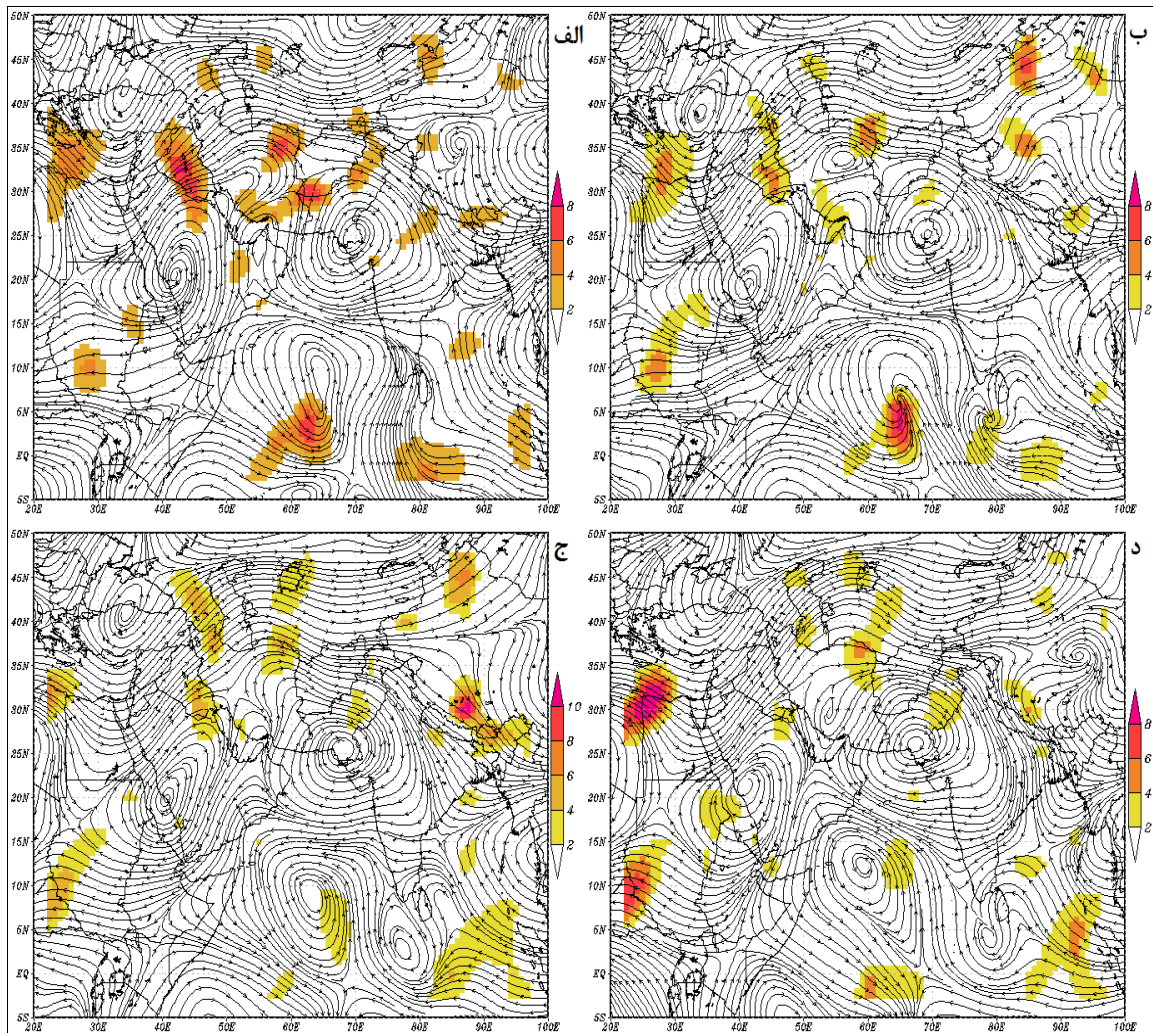
در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در دو مشاهده ۳:۳۰ و ۹:۳۰ یک هسته همگرایی ۱۰ گرمی در مناطق شمال خلیج فارس تشکیل شده و در مشاهده دیگر همگرایی رخ نداده است (شکل ۱۸). در ساعت ۳:۳۰ تراز ۵۰۰ یک هسته ضعیف ۴ گرمی بر روی قسمت‌هایی از منطقه شکل گرفته، اما در سایر مشاهدات در سطح منطقه جریان رطوبتی واگرا شده است (شکل ۱۹).



شکل ۱۸: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۸ خرداد (الف: ۱۳۸۶: الف) ۳:۳۰ (ب) ۹:۳۰ (ج) ۱۵:۳۰ (د) ۲۱:۳۰



شکل ۱۹: نمودار هافمولر نم نسبی (الف) و نم ویژه (ب) برای ساعت ۲۱:۳۰ روز ۱۸ خرداد در عرض ۳۰ درجه



شکل ۲۰: نقشه جریان همگرایی رطوبت جو در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۸ خرداد (الف: ۱۳:۳۰، ب: ۳:۳۰، ج: ۹:۳۰، د: ۱۵:۳۰، ۲۱:۳۰)

شکل های ۱۷ و ۱۹ نشان دهنده نقش دریای عمان در تأمین رطوبت مورد نیاز بارش های این روز است به طوری که در عرض ۲۵ درجه ترازهای پایین جو مقادیر بیشتری از نم ویژه و نم نسبی را دارا می باشد و در عرض ۳۰ درجه ترازهای فوقانی نقش بیشتری در بارش ها دارند.

بحث و نتیجه گیری

این مطالعه به بررسی کم و کیف رطوبت جوی بویژه نقش جریان همگرایی رطوبت در جریان توفان گونو که منجر به وقوع بارش های همرفتی شد، پرداخته است. شکل گیری هسته های رطوبت از بارزترین ملزومات بارش های سنگین بوده و بدون تشکیل هسته های مذکور وقوع بارش های سنگین نامحتمل است. بررسی و تحلیل نقشه های همگرایی جریان رطوبت طی روزهای بارش بر روی جنوب شرق ایران نشان داد که در روز ۱۶ خرداد به لحاظ زمانی قوی ترین و نزدیک ترین همگرایی رطوبت بر روی منطقه، در ساعت ۲۱:۳۰ دقیقه صورت گرفته و در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال مسیر وزش رطوبت از اقیانوس هند، خلیج عدن، دریای عرب و دریای عمان بوده و در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال منبع تأمین رطوبت، دریای عرب و دریای عمان بوده است. در روز ۱۷ خرداد که شدیدترین بارش همرفتی به میزان ۳۰/۱ میلی متر بر منطقه باریده است، همگرایی رطوبت بر روی منطقه نیز شدیدتر شده و منطقه بیش تری را تحت پوشش قرار می دهد. تمرکز هسته های همگرایی رطوبت بر روی منطقه مورد مطالعه در ترازهای ۷۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال بوده و در ترازهای پایین تر، هسته های همگرایی رطوبت در مناطق مجاور شکل گرفته و انتقال رطوبت به وسیله وزش افقی از هسته های مذکور صورت گرفته است. وزش رطوبت در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال از روی اقیانوس هند، دریای عرب و دریای عمان بوده و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مسیر وزش رطوبت خلیج عدن را نیز در بر می گیرد. در دو تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال دریای عرب و دریای عمان منشاء تزریق رطوبت به داخل هسته های رطوبتی بر روی منطقه بارش بوده است. روز ۱۸ خرداد به عنوان دومین روز پربارش (با رقم ۱۸۷/۶ میلی متر) در جریان توفان حاره ای گونو بیانگر تأثیر بیش تر دریای عمان بر روی ایجاد بارش های این روز بوده و در ترازهای مختلف مسیر اصلی وزش رطوبت تنها از روی دریای عمان عبور کرده است. هم چنین بیش ترین تمرکز زمانی همگرایی رطوبت جوی در ساعات ۳:۳۰ و ۹:۳۰ بوده و در ساعت ۱۵:۳۰ و ۲۱:۳۰ الگوی جریان همگرایی رطوبت و انتقال رطوبتی تغییر یافته و واگرایی رطوبتی در منطقه اتفاق افتاده است. با توجه به نحوه نقل و انتقال رطوبت موجد بارش های سنگین منجر به سیل در جنوب شرق ایران در روزهای ۱۶ تا ۱۸ خرداد و نقشه های ترسیم شده معلوم گردید که همگرایی رطوبت در اکثر ترازهای جوی بویژه ترازهای نزدیک تر به سطح زمین باعث ایجاد زمینه مناسب برای مکانیسم همرفت شده و بارش های همرفتی شدید رگباری تولید کرده که اوج این بارش ها در روز ۱۷ خرداد برابر با ۷ ژوئن ۲۰۰۷ بوده است.

منابع

- تامپسون، راسل (۱۳۸۲)، «*فرایندها و سیستم‌های جوی*» (ترجمه حسین محمدی)، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- خسروی، محمود، پودینه، محمد رضا (۱۳۸۹)، «تحلیلی بر تأثیرات اقلیمی سیکلون حارهای گونو (خرداد ۱۳۸۶) بر جنوب شرق ایران»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۷۲، صص ۷۲-۵۳.
- عزتیان، ویکتوریا (۱۳۸۸)، «تحلیل طوفان سیکلونی گونو با استفاده از شاخص‌های سینوپتیک»، *مجموعه مقالات سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران*، صص ۳۶۲-۳۵۸.
- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۹)، «نگاشت و تحلیل سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم افزار گاردس»، تهران، انتشارات سها دانش.
- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰)، «نگاشت و تحلیل همگرایی جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از توفان حاره ای فت در سواحل چابهار»، *برنامه ریزی و آمایش فضا*، شماره ۷۰، صص ۱۱۸-۱۰۱.
- گلشنی، علی اصغر؛ تائبی، سهیلا (۱۳۸۷)، «مدل سازی عددی توفان حاره ای گنو و امواج ناشی از آن در دریای عمان»، *مجله مهندسی دریا*، شماره ۴، صص ۳۴-۲۵.
- محمدی، حسین (۱۳۸۷)، «*مخاطرات جوی*»، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم (۱۳۸۹)، «تحلیل سینوپتیکی توفان گونو و اثرات آن بر جنوب شرق ایران»، *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، شماره ۳۹، صص ۲۰-۱.
- Allaby, M, (2007), "*Encyclopedia of Weather And Climate*", Facts On File, Inc.
- Dibajnia, M, M, Soltanpour; R., Nairn, M. R., (2010), "*Cyclone Gonu: The Most Intense Tropical Cyclone on Record in the Arabian Sea*", In. Charabi., y (ed.), *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*, Springer.pp.108-129.
- El Rafy, M., Hafez, y., (2008), "Anomalies in meteorological fields over northern Asia and its impact on hurricane Gonu", *28th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, American Meteorological Society.
- Fritz, H.M., Blount, C.D., Albusaidi, F. B., (2010), "Cyclone Gonu storm surge in Oman", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86, 102-106.
- Henderson, A., (1998), "Tropical cyclones and global climate change: a Post-IPCC assessment", *Bull Am Meteorol Soc*, 79:19-38.

- Klotzbach, P, J., (2006), “Trends in global tropical cyclone activity over the past twenty years (1986–2005)”, *Geophysical Research Letters*, 33: 1-4.
- Krishna, K.M, S.R, Rao., S.R., (2009), “Study of the intensity of super cyclonic storm GONU using satellite observations”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 11: 108–113.
- Webster, P.J., Holland, G.J., Curry, J.A., Chang, H.R., (2005). “Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment”, *Science*, 309 (5742): 1844–1846.