

## شبیه‌سازی دینامیکی تاثیر رشته‌کوه البرز بر ضخامت و عمق

### نفوذ نسیم‌دریا در سواحل جنوبی خزر

دریافت مقاله: ۹۴/۱۲/۲۲ پذیرش نهایی: ۹۵/۶/۱۹

صفحات: ۱۳۵-۱۵۲

مصطفی کریمی: استادیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران<sup>۱</sup>

Email: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

قاسم عزیزی: دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

Email: ghazizi@ut.ac.ir

علی اکبر شمسی‌پور: دانشیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

Email: shamsipr@ut.ac.ir

لیلا رضایی مهدی آبادی: دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

Email: L\_rezaee@ut.ac.ir

#### چکیده

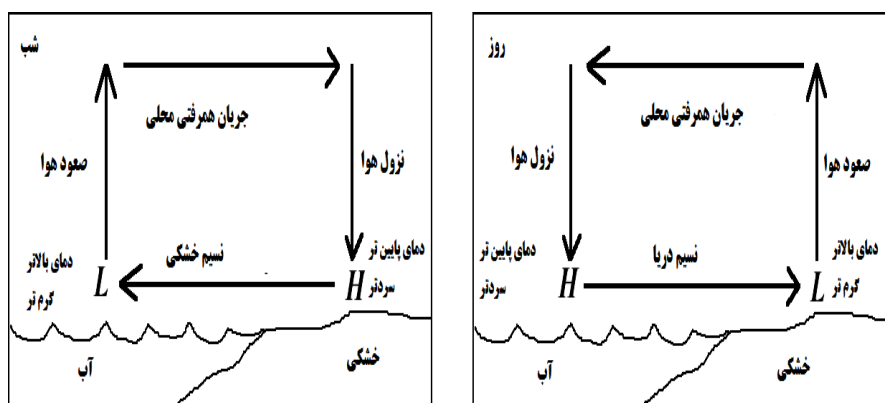
شبیه‌سازی نقش توپوگرافی در ویژگی‌های گردش نسیم دریا بویژه، ضخامت و عمق نفوذ آن در کرانه‌های جنوبی دریای خزر هدف مطالعه پیش‌رو است. جهت این امر از مدل اقلیمی مقیاس منطقه‌ای RegCM4 جفت شده با یک مدل دریاچه و داده‌های بازکاوی شده NCEP/NCAR جهت تعیین شرایط اولیه مدل استفاده گردید. مدل در دو حالت مرجع (وجود کوه) و شرایط حذف توپوگرافی برای زمان حداکثر فعالیت نسیم‌دریا در سواحل جنوبی دریای خزر (ماه جولای سال ۲۰۰۲) اجرا شد. خروجی مدل نشان داد در زمان حذف توپوگرافی عمق نفوذ نسیم‌دریا به‌طور چشمگیری تا موقعیت فعلی دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز (عرض  $35^{\circ}$  شمالی) افزایش پیدا کرده اما در مقابل جریان نسیم‌خشکی در منطقه تقریباً از بین رفته است، بیشینه افزایش سرعت و تغییر جهت باد به ترتیب در سواحل جنوب‌شرقی و البرز مرکزی مشاهده گردید. علاوه بر آن با توجه به برطرف شدن مانع ارتفاعات، ضخامت نسیم دریا در مناطق مختلف به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده که بیشترین میزان تغییرات در سواحل شرقی (طول  $53^{\circ}$  شرقی) بوده است.

کلیدواژگان: گردش جو، شبیه‌سازی، مدل ReGCM4، کرانه جنوبی دریای خزر، نسیم دریا

<sup>۱</sup>. نویسنده مسئول: تهران-خ وصال شیرازی- دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران

## مقدمه

مطالعه و پیش‌بینی نسیم‌دريا در مناطق ساحلی برای هواشناسان و اقلیم‌شناسان موضوعی اساسی می‌باشد. نسیم‌دريا واکنشی اقیانوسی - جوی و پدیده‌ای میان‌مقیاس است که به اختلاف دمایی سطح دریا و خشکی وابسته است و عموماً تحت شرایط آسمان صاف شکل می‌گیرد (بوورس<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴؛ سیمپسون<sup>۲</sup>، ۱۹۹۴؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱). نسیم دریا با جریان ساحل‌سوی سطحی آغاز می‌گردد این سلول با جریانات صعودی هوا بروی خشکی، جریان برگشتی در ترازهای بالاتر و جریانات و فرونشینی هوا در داخل دریا تداوم می‌یابد (شکل ۱). وقوع تابستانه نسیم‌دريا در منطقه خزری بیشتر است. این منطقه به لحاظ طبیعی شرایط متفاوتی دارد به‌نحوی که کوهستان البرز از یک‌سو و دریای خزر از سوی دیگر در شرایط اقلیمی آن تأثیرگذار است. از آن مهم‌تر شرایط همدیدی متفاوتی نیز منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در عملکرد نسیم‌دريا تأثیرگذار است. (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱). به همین دلیل پیش‌بینی و شناخت نسیم‌دريا در این منطقه مهم است.



شکل (۱). نمایش ساختار نسیم دریا - خشکی

میزان عمق، نفوذ و انرژی نسیم‌دريا وابسته به عوامل مختلفی از جمله: عرض جغرافیایی (اورلیک و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۸۸)، بادهای محلی (معصوم پور، ۱۳۸۹؛ میاو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۳؛ سوفیه باستین<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶) و دوری و نزدیکی ارتفاعات به دریا (شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۱) بوده و بالا آبی

1. Bowers

2. Simpson

3. Orlic et al

4. Miao et al

5. Bastin

ساحلی می تواند پیشروی نسیم دریا و نفوذ جبهه نسیم دریا را به داخل خشکی تسهیل بخشد (بوروس، ۲۰۰۴). شکل خط ساحلی، فلات و رشته کوه ها (توپوگرافی منطقه) که در نزدیکی سواحل قرار دارند به مانند سدی جلوی نفوذ نسیم دریا را می گیرند و موقعیت همگرایی نسیم دریا به وضوح شکل و فرم کوه را دنبال می کند و نسیم دریا تقریباً بروی کوه های نزدیک ساحل مسدود شده و لبه هایش به بالای کوه های ساحلی می رسد (میاو و همکاران، ۲۰۰۳؛ زهو و اتکینسون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴؛ آزورین و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹؛ پاپاناستاسیو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۰؛ کوپین و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۲؛ معصوم پور، ۱۳۸۹). همچنین در فصول مختلف میزان عمق و نفوذ نسیم دریا متفاوت است که در فصل تابستان نسیم دریا عمیق تر و بیشتر به صورت افقی گسترش می یابد و گسترده تر از زمستان است (میلتن و نیکولاس<sup>۵</sup>، ۲۰۰۱؛ زهو و اتکینسون، ۲۰۰۴؛ میلر و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۳؛ بیدختی و مرادی، ۱۳۸۳: ۷؛ معصوم پور، ۱۳۸۹) در مناطق مختلف در ماه های مختلفی میزان عمق و نفوذ نسیم دریا بیشتر است که در سواحل جنوبی دریای خزر ماه جولای (معصوم پور، ۱۳۸۹) در سواحل شمالی خلیج فارس (بوشهر) ماه نوامبر (بیدختی و مرادی، ۱۳۸۳: ۷) و ماه مارس (شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۱)، در خط ساحلی جنوب نیویورک اوایل تابستان (ژوئن) (میلر و همکاران، ۲۰۰۳) میزان عمق و نفوذ نسیم دریا بیشتر است. با توجه به این عوامل حداکثر ارتفاع (عمق) نسیم دریا در سواحل جنوبی دریای خزر بین ۳۵۰ تا ۴۵۰ متر است (معصوم پور، ۱۳۸۹) و در سواحل شمالی خلیج فارس میانگین عمق و بعد افقی نسیم دریا به ترتیب ۳۵۰ متر و ۴۱ کیلومتر است (بیدختی و مرادی، ۱۳۸۳: ۷؛ مسعودیان، ۱۳۹۰) در سواحل جنوبی خلیج فارس میزان نفوذ نسیم دریا به حدود ۲۵۰ کیلومتر می رسد. (زهو و اتکینسون، ۲۰۰۴) در دره رون فرانسه نسیم دریا حدود ۱۵۰ کیلومتر به صورت افقی نفوذ می کند اما در زمان وزش باد میسترال بیش از ۴۰ کیلومتر نمی تواند نفوذ کند (باستین، ۲۰۰۶) در طول ساحل غربی هند در فصل موسمی حد قائم گردش نسیم دریا یک کیلومتر است و گردش افقی نسیم خشکی و نسیم دریا به ترتیب ۱۰۰ و ۷۵ کیلومتر است (رانی و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۰). اما بطور کلی می توان گفت که عمق متوسط نسیم دریا ۱۰۰۰ متر، بعد افقی آن ۱۰۰ کیلومتر و سرعت آن بین ۶ تا ۱۰ متر بر ثانیه می باشد.

<sup>1</sup>. M, Zhu & B. W. Atkinson

<sup>2</sup>. Azorin et al

<sup>3</sup>. Papanastasiou et al

<sup>4</sup>. Qian et al

<sup>5</sup>. Militello & Nicholas

<sup>6</sup>. Miller et al

<sup>7</sup>. Rani et al

همچنین عمق نسیم خشکی ۱۰۰ متر، بعد افقی آن ۷۰ کیلومتر و سرعت آن بین ۳ تا ۵ متر بر ثانیه می‌باشد (دالو و پیلکه<sup>۱</sup>، ۱۹۸۹).

نسیم دریا دارای مؤلفه‌های (SBS)<sup>۲</sup> گوناگونی است از جمله: گردش نسیم‌دریا، جریان گرانی نسیم‌دریا، جبهه نسیم دریا، لبه جلویی نسیم دریا، امواج کلوین - هلم هولتز و لایه‌مرزی همرفتی، (میلر و همکاران، ۲۰۰۳) که امواج کلوین - هلم هولتز تا زمانی که متزلزل و ناپایدار نشوند رشد می‌کنند و خط اغتشاش را ایجاد می‌کنند (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱) بنابراین در تعیین زمان و مکان جبهه نسیم‌دریا مؤثر است (رائو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰).

با استفاده از مدل‌های اقلیمی و آماری در زمینه‌های: بارش (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۶: ۵۵؛ بابائیان و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۵؛ مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲)، دما (کریمیان و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۶۷)، باد (معصوم‌پور، ۱۳۸۹؛ شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۹)، شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی (مشکواتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۱) مطالعات فراوانی انجام شده است. عزیزی و همکاران با استفاده از مدل TAPM<sup>۴</sup> به شبیه‌سازی عددی نسیم‌دریا پرداخته است که با استفاده از داده‌های ناشی از شبیه‌سازی و دیده‌بانی به این نتیجه رسیدند که بیشینه سرعت نسیم‌دریا در ساعتهای بین ۲ تا ۵ بعدازظهر اتفاق می‌افتد و این پدیده در ماه جولای تداوم بیشتری نسبت به ماه‌های دیگر دارد که حداکثر به ۹ ساعت در روز می‌رسد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱). طبق نتایج تحقیقات ذکر شده می‌توان گفت که عوامل محلی، منطقه-ایی و جوی بروی نسیم‌دریا تاثیر گذار بوده و باعث تشدید و تضعیف سیستم گردشی نسیم‌دریا می‌شوند. اما عوامل جغرافیایی ثابت همانند توپوگرافی با توجه به شرایط محل در میزان عمق و نفوذ نسیم‌دریا تاثیر مشخص تری دارند. همچنین در مناطق مختلف، بیشینه نسیم‌دریا در ماه‌های متفاوتی می‌وزد اما بطور کلی در فصل تابستان نسیم‌دریا عمیق‌تر و از گستره افقی بیشتری برخوردار است. با توجه به تاثیرگذاری شرایط جغرافیایی از جمله: توپوگرافی بروی پدیده‌ها و گردش جوی بخصوص در مقیاس محلی، در این مطالعه سعی شده اثرگذاری رشته-کوه البرز و تالش بروی ساختار، سازوکار و ویژگی‌های پدیده نسیم‌دریا در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از مدل اقلیمی مقیاس منطقه‌ایی RegCM4<sup>۵</sup> شبیه‌سازی شود.

1. Dalu & Pielke

2. Sea Breeze System

3. Rao et al

4. The Air Pollution Model

5. Regional climate modeling

## مواد و روش ها

یکی از متداول ترین روش ها برای ارزیابی اقلیم استفاده از مدل های گردش عمومی جو است. مدل های اقلیمی و آماری متعددی به منظور شناسایی نحوه برهمکنش هوا و دریا توسعه یافته اند تا علاوه بر درک رفتار جو در مقیاس محلی و منطقه ای، همچنین امکان ارائه پیش بینی های فصلی را نیز فراهم نمایند. از جمله این مدل ها می توان به TAPM، مدل اقلیمی مقیاس منطقه ایی RegCM و مدل اقلیمی پرسیس<sup>۱</sup> اشاره نمود. مدل اقلیمی مقیاس منطقه ایی RegCM از مدل های عددی مرکز بین المللی مطالعات فیزیک نظری عبدالسلام (ICTP)<sup>۲</sup> است که در سال های اخیر بعنوان ابزار توانمندی در مطالعات منطقه ایی اقلیم مورد توجه بسیاری از محققین علوم جو قرار گرفته است. مدل فوق قادر است فرآیندهای اقلیمی را با مقیاس های زمانی و مکانی مختلف شبیه سازی نماید. با توجه به این که مدل RegCM از یک هسته دینامیکی قوی برخوردار بوده است در عین حال قابلیت جفت شدن با مدل های متعددی چون مدل دریاچه، مدل غبار و مدل کاربری اراضی را داراست ( مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲).

به منظور دست یابی به هدف ذکر شده در بالا از دو نوع داده در این پژوهش استفاده شده است. داده های باد ایستگاه های همدید سواحل جنوبی دریای خزر (آستارا، انزلی، رشت، منجیل، رامسر، نوشهر، بابلسر، قائم شهر، گرگان و گنبد کاووس) و مناطق جنوبی رشته کوه البرز و غربی تالش (اردبیل، خلخال، زنجان، قزوین، کرج، تهران، آمل، سمنان و شاهرود) جهت مقایسه با نتایج شبیه سازی استفاده شده است. به دلیل طول نسبتا زیاد سواحل دریای خزر ایستگاه ها به شکلی انتخاب شدند که کل خط ساحلی را پوشش دهند. ( شکل ۲). داده های دیگر مورد استفاده مربوط به داده های مورد نیاز مدل اقلیمی منطقه ایی شامل داده های سطحی و همچنین داده های جوی از وبگاه داده مدل RegCM4 اخذ گردیده است. بعد از بررسی یک دوره زمانی ده ساله (۲۰۰۱-۲۰۱۰) به این شرط که در سال نمونه، منطقه از نظر بارشی و گردش جو، شرایط نرمالی دارا باشد، سال ۲۰۰۲ برای شبیه سازی انتخاب گردید. نتایج تحقیقات قبلی بیانگر این است که در ماه جولای متوسط شدت نسیم دریا در منطقه بیش از دیگر ماه ها است (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱، عزیزی و همکاران ۱۳۹۳: ۱۲۲) بنابر این ماه جولای بعنوان ماه نمونه انتخاب گردید. جهت نمایش و تحلیل نتایج، روزهای ۶ و ۲۷ جولای بعنوان دو روز نمونه که به ترتیب، روز اول سیستم گردش جوی مقیاس همدیدی مستقر بر شمال دریای خزر باعث تشدید و در روز دوم باعث تضعیف گردش نسیم دریا شده بود،

1. PRECIS

2. International center theoretical physics

انتخاب شدند. جهت پایداری دینامیکی تاریخ شروع شبیه سازی از یک ماه قبل از جولای انتخاب گردید. مشخصات تنظیمی مدل در جدول ۱ درج شده است.

جدول (۱). تنظیمات پارامترهای مدل برای انجام شبیه سازی

| توضیحات                                     | تنظیمات    | پارامتر |
|---------------------------------------------|------------|---------|
| تعداد نقاط شبکه در جهت Y                    | ۹۰         | Iy      |
| تعداد نقاط شبکه در جهت X                    | ۹۰         | Jx      |
| تعداد لایه ها در راستای Z (در راستای عمودی) | ۱۸         | Kz      |
| فاصله ی نقاط شبکه برحسب کیلومتر             | ۲۰         | Ds      |
| مرکز عرض جغرافیایی دامنه ی مدل برحسب درجه   | ۴۰         | Clat    |
| مرکز طول جغرافیایی دامنه ی مدل برحسب درجه   | ۵۰         | Clon    |
| تاریخ شروع شبیه سازی                        | ۲۰۰۲۰۶۰۱۰۰ | idate1  |
| تاریخ پایان شبیه سازی                       | ۲۰۰۲۰۸۰۱۰۰ | idate2  |

محدوده مورد مطالعه و شبیه سازی  $31^{\circ}$  تا  $48^{\circ}$  عرض شمالی و  $37^{\circ}$  تا  $62^{\circ}$  درجه طول شرقی بوده که در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این مطالعه در گام نخست شبیه سازی در شرایط مرجع (وجود کوه) انجام شد که با استفاده از داده های سطح زمین (SRF)<sup>۱</sup> رفتار باد، دما، بارش، رطوبت و ناپایداری مورد بررسی قرار گرفت. در گام بعد یک بار دیگر در شرایط حذف رشته کوه البرز شبیه سازی انجام و رفتار باد، دما، بارش، رطوبت و ناپایداری با شرایط مرجع مقایسه گردید.

برای انتخاب طرحواره مناسب از ۴ طرحواره موجود در مدل برای بارشهای همرفتی شامل: امانوئل<sup>۲</sup>، بتس میلر<sup>۳</sup>، گرل<sup>۴</sup> و کو<sup>۵</sup> (طرحواره گرل شامل دو مورد: آراکاوا – شوپرت<sup>۶</sup> و فریتیش – چاپل<sup>۷</sup>) در شرایط مرجع (وجود توپوگرافی) با پارامترهای یکسان برای طرحواره های مذکور

<sup>1</sup>. Sureface

<sup>2</sup>. Emanuel

<sup>3</sup>. Betts-Miller

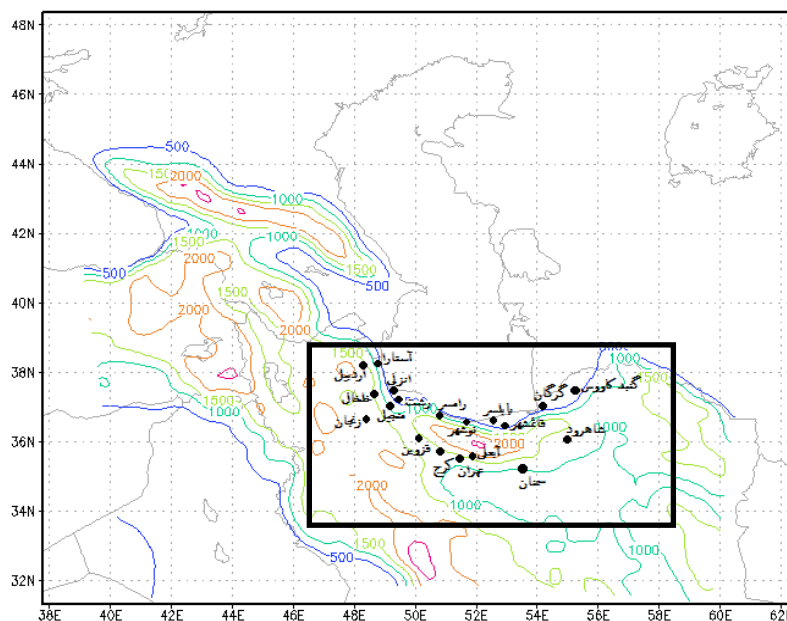
<sup>4</sup>. Grell

<sup>5</sup>. Kuo

<sup>6</sup>. Arakawa & Schubert

<sup>7</sup>. Fritsch & Chappell

اجرا و نتایج با استفاده از ارزیاب های آماری مانند: میانگین قدر مطلق تفاوتها (MAE)<sup>۱</sup> (رابطه ۱)، میانگین ریشه دوم جذر خطاها (RMSE)<sup>۲</sup> (رابطه ۲) و ضریب همبستگی پیرسون با داده های ایستگاهی ارزیابی گردید. در نهایت با توجه به نتایج ارزیاب ها طرحواره کو بعنوان طرحواره مناسب انتخاب گردید (جدول ۲).



شکل (۲). محدوده مورد مطالعه (داخل کادر)، شرایط توپوگرافی مرجع و محدوده شبیه سازی شده

MAE:  $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |S_i - G_i|$  رابطه ۱

$$\text{RMSE: } \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - G_i)^2}$$

رابطه ۲

$S_i$  = مقدار برآورد شده

$G_i$  = مقدار اندازه گیری شده

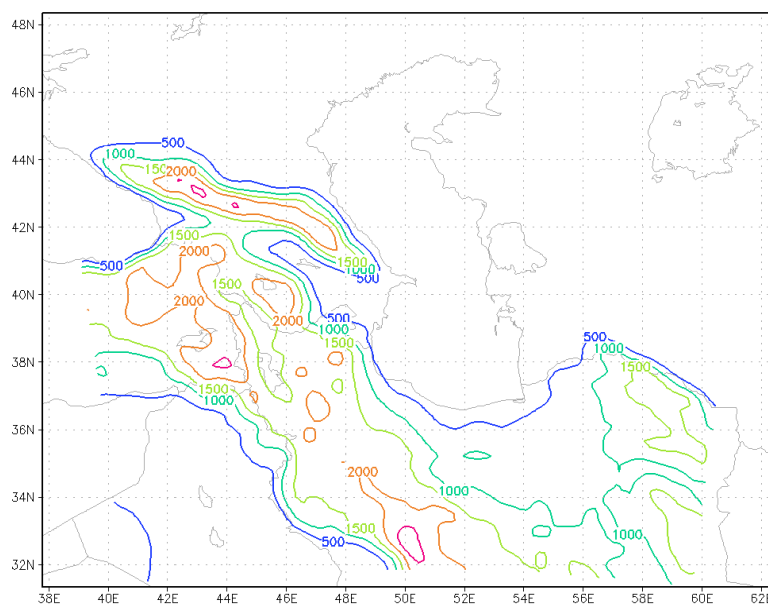
(حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۹)

<sup>1</sup>. Mean of error<sup>2</sup>. Mean absolute error

جدول (۲). نتایج ارزیابی طرحواره های بارش همرفتی در مدل

| طرحواره | RMES | MAE   |
|---------|------|-------|
| امانوئل | ۳,۵۸ | ۳,۰۱  |
| گرل ۱   | ۳,۶۴ | ۳,۰۵  |
| گرل ۲   | ۳,۵۱ | ۲,۹۹۵ |
| کو      | ۳,۵۰ | ۱,۵۹۵ |

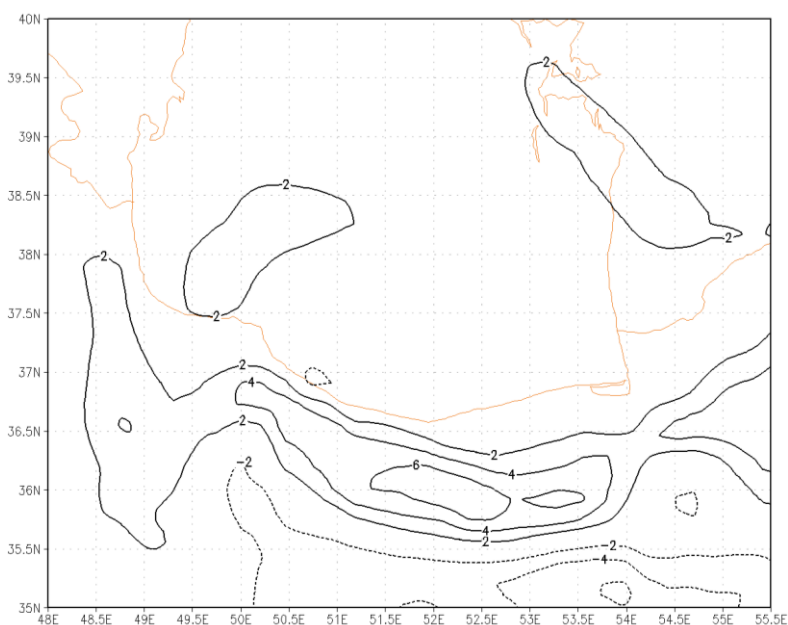
برای حذف ارتفاعات البرز سه رویکرد مدنظر قرار داشت: (۱) تبدیل تمام پستی و بلندی‌ها از سواحل جنوبی دریای خزر تا مناطق جنوبی و غربی رشته کوه البرز به ارتفاع سطح دریا آزاد (ارتفاع صفر)، (۲) دادن یک شیب ملایم به ارتفاعات بصورتی که ساحل با یک شیب ملایم افزایش پیدا کند تا به ارتفاعات مناطق جنوبی و غربی رشته کوه البرز برسد، (۳) گذاشتن ارتفاع مناطق جنوبی و غربی رشته کوه البرز بجای ارتفاع تمام پستی و بلندی‌ها تا سواحل جنوبی دریای خزر. در این مطالعه با توجه به سه روش ارزیاب برای حذف ارتفاعات روش دوم انتخاب گردیده است (شکل ۳).



شکل (۳). توپوگرافی منطقه در شرایط غیرمرجع

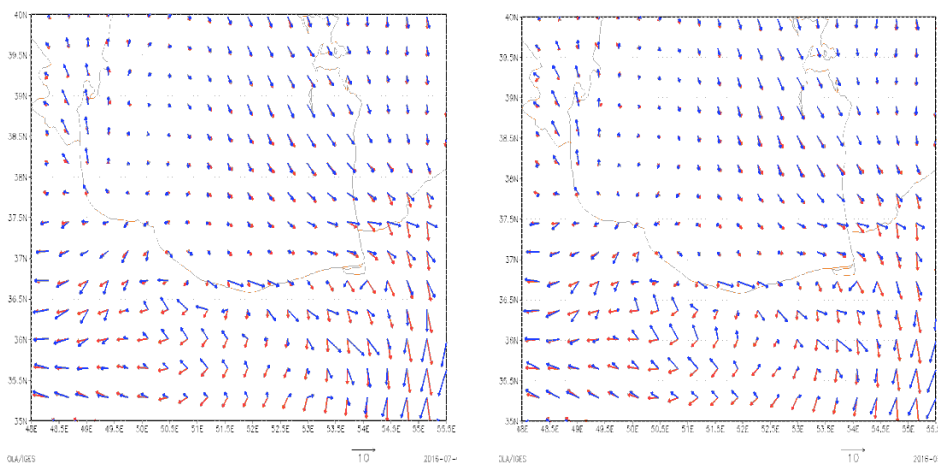
### یافته‌ها و بحث

به منظور مطالعه نقش ارتفاعات البرز در سازوکار نسیم دریای ناحیه خزری پارامترهای دما، رطوبت و باد حاصل از دو شرایط مرجع و غیرمرجع (حذف توپوگرافی) بررسی شده است. شکل ۴ تفاوت ماهانه دما حاصل از تفاضل گیری بین شرایط مرجع و غیرمرجع را نشان می‌دهد. در این شکل همخوانی دما و ارتفاع در محدوده مورد مطالعه به خوبی قابل مشاهده است. مناطقی که به دلیل ارتفاع زیاد دمای کمی دارند بعد از اجرای شبیه سازی در شرایط حذف توپوگرافی دما افزایش یافته است. در البرز مرکزی افزایش دما به دلیل ارتفاع بالاتر این منطقه نسبت به دیگر نقاط کوهستانی، بیشتر می باشد. اما مناطق جنوبی رشته کوه البرز به دلیل حفظ ارتفاع و از بین رفتن مانع کوهستانی برای وزش بادهای شمالی در شرایط غیرمرجع کاهش دما داشته است. تنها سواحل جنوبی دریای خزر به دلیل عدم تغییر ارتفاع شرایط دمایی تقریباً مشابه شرایط فعلی است و تغییراتی در دمای منطقه مشاهده نمی‌شود.



شکل (۴). تفاوت ماهانه دما سطح زمین به درجه سانتی گراد حاصل از تفاضل گیری بین شرایط حذف توپوگرافی و شرایط مرجع در ساعت GMT+۲

شکل ۵ و ۶ شرایط وزش باد در دو شرایط مرجع و غیر مرجع را در ساعت ۱۲ و ۰۰ GMT در منطقه نشان می‌دهد. در اثر حذف ارتفاعات و کاهش تاثیر ارتفاعات بروی جریان باد، شدت و جهت باد بطور محسوسی بروی کل منطقه تغییر پیدا کرده است. بیشینه افزایش سرعت باد در سواحل شرقی و تغییر جهت باد در ناحیه مرکزی مشاهده گردیده است. ارتفاعات به مانند سدی جلوی نفوذ نسیم دریا را گرفته و باعث تقویت نسیم خشکی و تضعیف نسیم دریا می‌شود، هر چه میزان ارتفاع بیشتر باشد، باعث تقویت و تضعیف بیشتر نسیم خشکی و نسیم دریا می‌شود. با حذف توپوگرافی به دلیل کاهش اثر ارتفاعات بروی منطقه میزان نفوذ نسیم دریا به شدت افزایش یافته است. همانگونه که از شکل ۵ و ۶ قابل استنباط است نسیم خشکی بخاطر برطرف شدن اثر ارتفاعات بسیار تضعیف و جای خود را به نسیم دریا داده است.



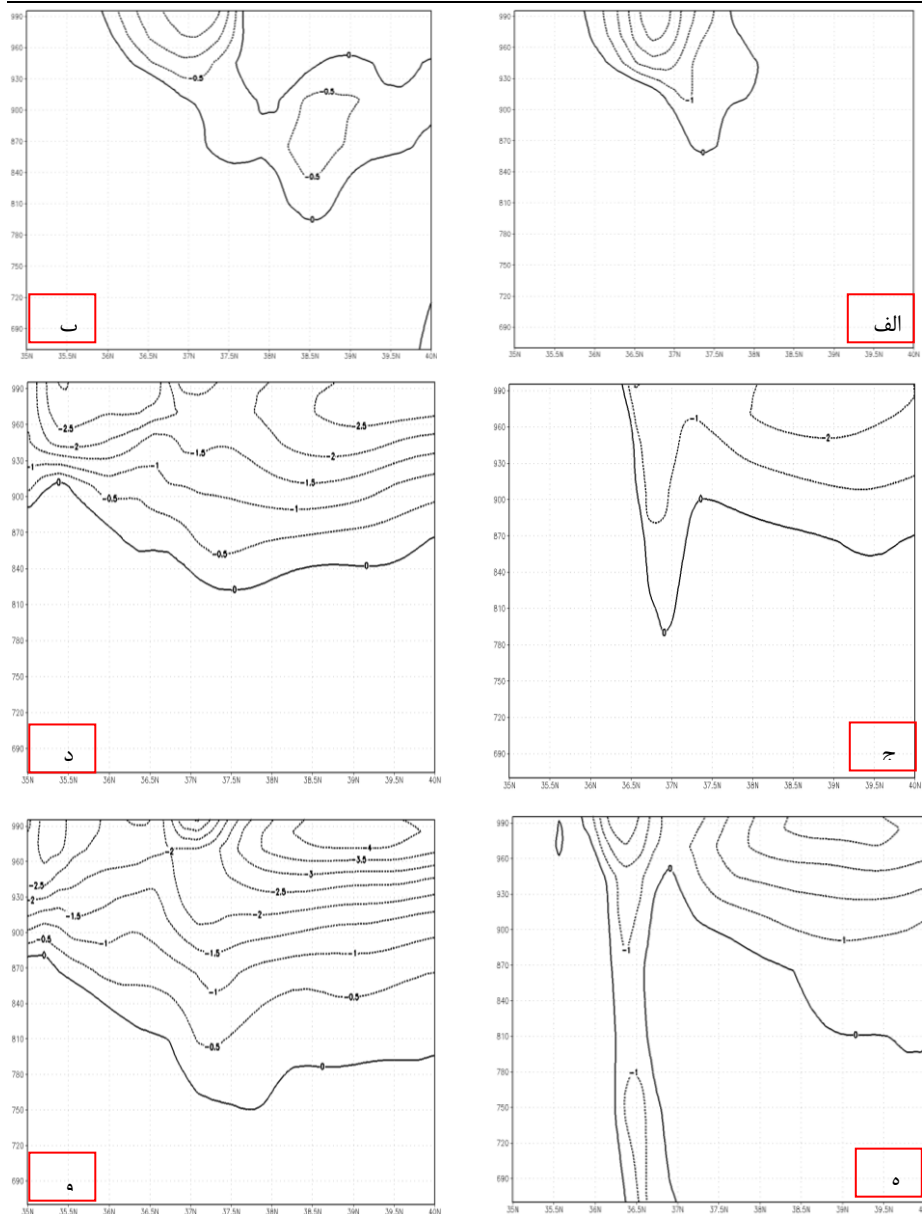
شکل (۶). نقشه ماهانه بردار باد سطح زمین در ساعت ۰۰ GMT، شرایط مرجع (خطوط آبی) و شرایط حاصل از حذف توپوگرافی (خطوط قرمز)

شکل (۵). نقشه ماهانه بردار باد سطح زمین در ساعت ۱۲ GMT، شرایط مرجع (خطوط آبی) و شرایط حاصل از حذف توپوگرافی (خطوط قرمز)

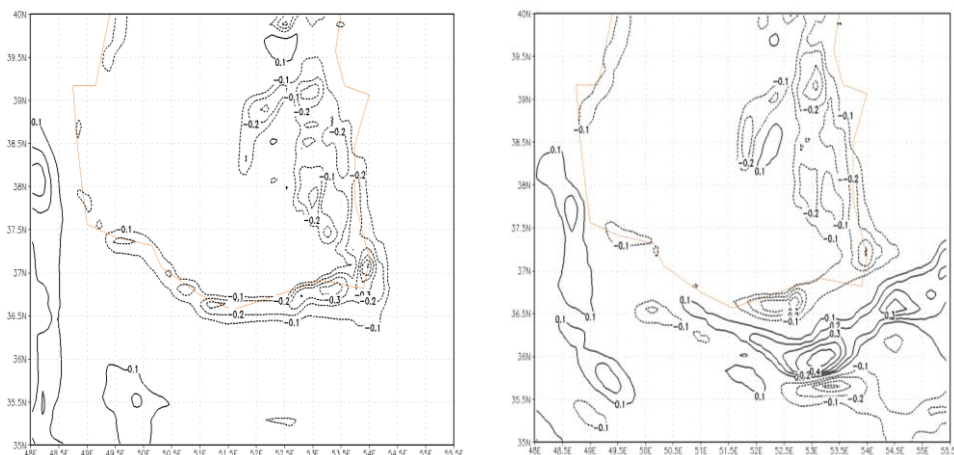
شکل ۷ تغییرات ضخامت نسیم دریا مربوط به مناطق بندر انزلی - رشت ( $49/5^{\circ}$ )، نوشهر ( $51/5^{\circ}$ ) و ساری ( $53^{\circ}$ ) در شرایط مرجع و غیر مرجع را نشان می‌دهد که در هر سه منطقه بعد از حذف توپوگرافی میزان نفوذ باد شمالی (نسیم دریا) به داخل خشکی با ارتفاع بیشتری میسر شده است. میزان شدت نسیم دریا بعد از حذف توپوگرافی در مناطق انزلی - رشت و ساری افزایش چشمگیری داشته است در مقابل در منطقه نوشهر کاهش شدت نسیم دریا را در زمان حذف توپوگرافی را نمایش می‌دهد. طبق تحقیقات قبلی میزان ارتفاع نسیم دریا در سواحل جنوبی دریای خزر بین ۳۵۰ تا ۴۵۰ متر برآورد شده است (معصوم پور، ۱۳۸۹). به منظور

بررسی تغییر ضخامت نسیم دریا در نیمرخ قائم مؤلفه نصف النهاری باد در دو شرایط حذف توپوگرافی و شرایط مرجع با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج حاکی از این است که ضخامت و ارتفاع نسیم دریا در شرایط مرجع برای منطقه نوشهر تا سطح فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال می- باشد که با حذف ارتفاعات میزان ضخامت نسیم دریا به میزان کمی افزایش پیدا کرده و به ۸۲۰ هکتوپاسکال رسیده است. در مناطق انزلی-رشت و ساری در شرایط مرجع ارتفاع و ضخامت نسیم دریا به ترتیب برابر با ۸۶۰ و ۸۱۰ هکتوپاسکال می-باشد که در زمان حذف توپوگرافی در این دو منطقه به ترتیب به ۸۰۰ و ۷۵۰ هکتوپاسکال ارتقا یافته است.

به منظور بررسی نقش ارتفاعات در وزش رطوبت بوسیله جریانات بویژه نسیم دریا، میانگین ماهانه فرارفت رطوبت در دو حالت وجود و عدم ارتفاعات محاسبه و ترسیم شده است (شکل ۸). این شکل نشان می-دهد در شرایط مرجع، توپوگرافی مسیر جریان باد و به تبع آن انتقال رطوبت را سد کرده، اما پس از اجرای شرایط غیرمرجع و حذف توپوگرافی به دلیل برطرف شدن مانع توپوگرافی، باد نفوذ و پیشروی بیشتری داشته که این باعث کاهش رطوبت به شکل کمربند پیوسته ایی در کرانه جنوبی دریای خزر شده است. در این میان میزان کاهش رطوبت در سواحل شرقی به دلیل تاثیرپذیری بیشتر از حذف توپوگرافی چشمگیرتر از سواحل غربی است. در میزان رطوبت مناطق جنوبی رشته کوه البرز تغییری مشاهده نمی-شود و رطوبت در راستای مناطق جنوب غربی انتقال پیدا کرده است.

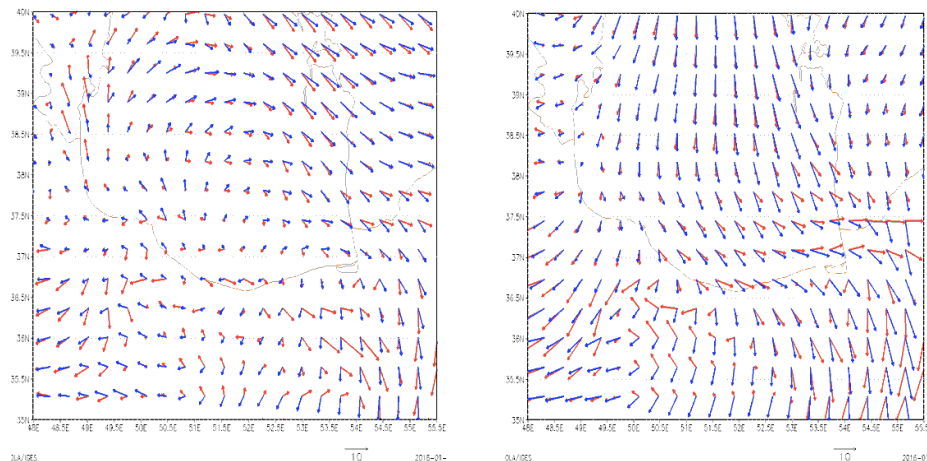


شکل (۷). نیمرخ قائم مؤلفه نصف‌النهاری باد در شرایط مرجع انزلی-رشت (الف)، در شرایط غیر مرجع انزلی-رشت (ب)، در شرایط مرجع نوشهر (ج)، در شرایط غیرمرجع نوشهر (د)، در شرایط مرجع ساری (ه)، در شرایط غیرمرجع ساری (و).



شکل (۸). میزان ماهانه فرارفت رطوبت در شرایط مرجع (الف) و در شرایط غیر مرجع (ب) در ساعت GMT ۱۲. اعداد مثبت (خطوط ممتد) نشان دهنده تجمع رطوبت و اعداد منفی (خطوط نقطه چین) نشان دهنده برداشت رطوبت می باشد.

شکل ۹ و ۱۰ وضعیت ماهانه بردار باد را برای ساعت GMT ۱۲ روزهای ۶ و ۲۷ برای اختلاف شرایط حذف توپوگرافی با شرایط مرجع را نشان می دهد. با توجه به وضعیت قرارگیری سامانه های فشاری در روز ۶ و ۲۷ جولای به ترتیب به دلیل وجود سیستم پرفشاری در شمال دریای خزر باعث تشدید و وجود واگرایی جریان بر روی دریای خزر باعث تضعیف نسیم دریا شده است. در زمان حذف توپوگرافی میزان نفوذ نسیم دریا به داخل خشکی با شدت بیشتری همراه شده است. اثر حذف ارتفاعات بروی نسیم دریا و خشکی ۶ جولای به دلیل تشدید نسیم دریا در این روز بیشتر از ۲۷ جولای می باشد. در روز ۶ جولای بعد از اجرای شرایط غیر مرجع نسیم خشکی بطور کامل از بین رفته است و نسیم دریا با شدت زیادی به سمت مناطق جنوبی جریان یافته است اما در روز ۲۷ جولای به دلیل وجود سامانه پرفشار بروی مناطق جنوبی دریای خزر و تضعیف نسیم دریا، در شرایط غیر مرجع شدت نسیم دریا افزایش قابل توجهی نداشته است و در بعضی از مناطق نسیم خشکی به چشم می خورد. در تمام منطقه جهت باد به شدت تغییر پیدا کرده است، بیشترین میزان تغییرات جهت باد در ناحیه مرکزی مشاهده می شود (شکل ۹ و ۱۰).



شکل (۹). نقشه بردار باد سطح زمین در ساعت ۱۲ GMT روز ۶ جولای ۲۰۰۲، شرایط مرجع (خطوط قرمز) و شرایط حاصل از حذف توپوگرافی (خطوط آبی)

شکل (۱۰). نقشه بردار باد سطح زمین در ساعت ۱۲ GMT روز ۲۷ جولای ۲۰۰۲، شرایط مرجع (خطوط قرمز) و شرایط حاصل از حذف توپوگرافی (خطوط آبی)

در سواحل شرقی دریای خزر با حذف توپوگرافی بر شدت سرعت باد و به تبعیت از آن بر میزان نفوذ نسیم دریا افزوده می شود، بنابراین بیشترین میزان انتقال رطوبت نیز از این مناطق می باشد.

### نتیجه گیری

جهت بررسی تاثیر عوامل جغرافیای محل در سازوکار و شرایط گردش نسیم دریا از مدل اقلیم منطقه ای RegCM.4 بهره گرفته شد. داده های مورد استفاده شامل: داده های ایستگاه های همدید و داده های شبکه بندی شده دوباره تحلیل مورد نیاز برای شبیه سازی در مدل اقلیمی شامل: داده های سطحی و همچنین داده های جوی بود. به این منظور شبیه سازی سیستم گردشی نسیم دریا در دو شرایط مرجع (وجود توپوگرافی) و غیرمرجع (حذف توپوگرافی) انجام پذیرفت. نتایج پژوهش نشان داد در صورت حذف توپوگرافی در مناطق مرتفع به دلیل کاهش ارتفاع، افزایش دما و در مناطق جنوبی رشته کوه البرز، کاهش چشمگیر دما خودنمایی می کند. در عین حال، برخلاف انتظار در حاشیه سواحل جنوبی دریای خزر تفاوت محسوسی قابل مشاهده نمی باشد. طبق نتایج تحقیقات قبلی در دیگر مناطق ارتفاعات به میزان قابل توجهی بر میزان نفوذ و شدت نسیم دریا اثرگذار بوده و باعث تضعیف نسیم دریا و تقویت نسیم خشکی می شوند. نتایج نشان داد با حذف توپوگرافی نسیم دریا تا مناطق جنوبی رشته کوه البرز (۳۵ شمالی) پیشروی

(بین ۱۰۰ تا ۱۶۰ کیلومتر) کرده و نسیم خشکی در منطقه از بین رفته است، در این رابطه بیشینه افزایش سرعت در سواحل شرقی و بیشترین تغییر جهت باد در ناحیه مرکزی مشاهده گردید. با توجه به اینکه نسیم دریا رطوبت دریا را منتقل می کند در زمان وجود توپوگرافی رطوبت با برخورد به ارتفاعات مسدود می شود اما در شرایط غیر مرجع رطوبت به شکل کمر بند پیوسته ای در سواحل جنوبی دریای خزر کاهش یافته که در این میان کاهش رطوبت سواحل شرقی چشمگیرتر از سواحل غربی بوده است.

در زمان حذف ارتفاعات البرز به دلیل برطرف شدن مانع ارتفاعات، ضخامت نسیم دریا در مناطق مختلف به طور قابل ملاحظه ای افزایش پیدا کرده است. اما در منطقه نوشهر (طول  $51^{\circ}51'$ ) به میزان اندکی با افزایش ضخامت نسیم دریا مواجه هستیم.

نسیم دریا گردش جوی محلی است که از شرایط جغرافیای محل و همچنین گردش های منطقه ای تاثیر می پذیرد. با تغییر در شرایط جغرافیایی محل (توپوگرافی)، سازوکار نسیم دریا در منطقه خزری منتج به تشدید نسیم دریا و تضعیف نسیم خشکی گردید. علاوه بر آن رشته ارتفاعات البرز و تالش باعث محدود شدن نسیم دریا در این منطقه شده است. در صورت نبود این ارتفاعات عمق نفوذ نسیم دریا در منطقه بیشتر و به تبع آن شرایط دمایی و رطوبتی حاصل از آن در گستره بیشتری نفوذ می یابد. نتایج این تحقیق موید این است که تغییر در شرایط محل می تواند در شرایط اقلیمی منطقه تغییر ایجاد کند. پیشنهاد می شود تحقیق مشابهی در زمینه تغییرات پوشش سطح زمین، تغییر کاربری و رشد عمودی شهرها در این منطقه به هدف بررسی تاثیر آنها بر گردش جو در مقیاس محلی و خرد اقلیم انجام پذیرد.

## منابع و مآخذ

۱. بیدختی، علی اکبر و محمد مرادی (۱۳۸۳). مطالعه ای مشاهداتی روی نسیم دریا در منطقه نوشهر، بهار و تابستان ۱۳۸۴، صص ۳۱-۷.
۲. بابائیان، ایمان؛ کریمیان، مریم و راحله مدیریان (۱۳۸۶). شبیه سازی بارش ماههای سرد سالهای ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، پاییز و زمستان ۱۳۸۶، صص ۷۲-۵۵.
۳. بابائیان، ایمان؛ مدیریان، راحله؛ کریمیان، مریم و شراره ملبوسی (۱۳۹۰). بررسی توانمندسازی مدل اقلیمی PRECIS در شبیه سازی بارش های منطقه ایی در ایران، پژوهش های جغرافیای طبیعی، مقاله ۸، دوره ۴۳، شماره ۷۷، زمستان ۱۳۹۰، صص ۱۴۰-۱۲۵.

۴. حجازی‌زاده، زهرا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیاییان، پرویز؛ کریمی، مصطفی و سمیه رفعتی (۱۳۹۱). ارزیابی بارش ماهواره‌ای 43B3 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون یابی کریجینگ، انجمن سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۱، صص ۶۴ - ۴۹.
۵. شمس‌پور، علی‌اکبر؛ نجیب‌زاده، فهیمه و زهرا زارعی چقابلیکی (۱۳۹۲). مدل‌سازی عددی و شبیه‌سازی بادهای روی حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲، صص ۱۳۵-۱۱۹.
۶. شمس‌پور، علی‌اکبر، سمیه زارع و رضا رئیسی (۱۳۹۱). سازوکار شکل‌گیری نسیم دریا در سواحل شمالی خلیج فارس، هشتمین همایش ملی خلیج فارس، کیش، اردیبهشت ۱۳۹۱، صص ۱۱-۱۲.
۷. عزیزی، قاسم؛ معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ رنجبر، عباس و پیمان زوار رضا (۱۳۸۹). شبیه‌سازی عددی نسیم دریا در سواحل جنوبی دریای خزر بر مبنای مشخصه‌های اقلیمی، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال اول، شماره اول و دوم، بهار و تابستان ۱۳۸۹، صص ۳۸ - ۲۱.
۸. عزیزی، قاسم؛ معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ خوش‌اخلاق، فرامرز و رنجبر، عباس (۱۳۹۳). تأثیر شارش‌های همدید بر روی نسیم دریا در سواحل جنوبی دریای خزر، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال هفتم، شماره ۶۲، ۱۴۰-۱۲۱.
۹. کریمی‌ان، مریم؛ بابائیان، ایمان و راحله مدیریان (۱۳۸۹). بررسی توانمندی مدل اقلیمی RegCM.3 در مدل‌سازی بارش و دمای استان خراسان مطالعه موردی زمستانهای دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰، تحقیقات جغرافیایی، تابستان ۱۳۸۹، شماره ۹۷، صص ۱۸۶ - ۱۶۷.
۱۰. مشکواتی، امیرحسین؛ کردجزی، محمد و ایمان بابائیان (۱۳۸۹). بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۶، شماره ۱۹، زمستان ۱۳۸۹، صص ۹۶-۸۱.
۱۱. معصوم‌پور سماکوش، جعفر (۱۳۸۹). مکانیسم شکل‌گیری نسیم دریا در سواحل جنوبی دریای خزر رساله دکتری به راهنمایی قاسم عزیزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۱۲. مفیدی، عباس؛ کارخانه، میثم و آذر زرین (۱۳۹۲). شبیه‌سازی نقش دریای خزر در وقوع بارش‌های منطقه ایی با استفاده از مدل اقلیمی مقیاس منطقه ایی RegCM4 پیوند خورده با مدل دریاچه، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ۱۳ اردیبهشت و ۱ خرداد ۱۳۹۲.

Azarin-Molina, Cesar, Bernadette H. Connell, Rafael Baena-Calatrava, (2009). *Sea-Breeze Convergence Zones from AVHRR over the Iberian Mediterranean Area and the Isle of Mallorca*, Spain. J. Appl. Meteor. Climatol. 48, 2069-2085.

Bastin, Sophie, and Coauthors, (2006). *On the Interaction between Sea Breeze and Summer Mistral at the Exit of the Rhône Valley*. Mon. Wea. Rev., 134, 1647–1668.

Bowers, L., (2004). *The Effect of Sea Surface Temperature on Sea Breeze Dynamics along the Coast of New Jersey*, thesis, State University of New Jersey.

Dalu, G. A., and R. A. Pielke, (1989). *An analytical study of the sea breeze*. J. Atmos. Sci., 46, 1815–1825.

Papanastasiou, D. K., Melas, D., Lissaridis, I., (2010). *Study of wind field under sea breeze conditions; an application of WRF model*, Atmospheric Research – ATMOS RES, vol. 98, no. 1, pp. 102–117.

Miao, J. F., L. J. M. Kroon, J. Vila-Guerau de Arellano, A. A. M. Holtslag, (2003). *Impacts of topography and land degradation on the sea breeze over eastern Spain*, Meteorol Atmos Phys, 84, 157–170.

Miller, S. T. K., Keim, B. D., Talbot, R. W., and Mao, H., (2003). *Sea breeze: Structure, forecasting, and impacts*, Rev. Geophys, 41(3), 1–31, doi: 10.1029/2003RG000124.

Miller, Samuel T. K., Barry D. Keim, (2003). *Synoptic-Scale Controls on the Sea Breeze of the Central New England Coast*. Wea. Forecasting, 18, 236–248.

Militello, Adele, Nicholas C. Kraus, (2001). *Generation of Harmonics by Sea Breeze in Nontidal Water Bodies*. J. Phys. Oceanogr., 31, 1639–1647.

ZHU, M., B. W. Atkinson, (2004). *Observed and Modelled Climatology of the Land-Sea Breeze Circulation over the Persian Gulf*, INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY Int. J. Climatol. 24: 883–905.

Orlić, M., B. Penzar, I. Penzar, (1988). *Adriatic Sea and Land Breezes, Clockwise Versus Anticlockwise Rotation*. J. Appl. Meteor., 27, 675–679.

Rani SI, Ramachandran R, Subrahmanyam DB, Alappattu DP, Kunhikrishnan P (2010). *Characterization of sea/land breeze circulation along the west coast of Indian sub-continent during pre-monsoon season*. Atmos Res 95:367–378.

Rao, P. Anil, Henry E. Fuelberg, (2000). *An Investigation of Convection behind the Cape Canaveral Sea-Breeze Front*. Mon. Wea. Rev., 128, 3437–3458.

Roger A. Pielke, (1974). *Three-Dimensional Numerical Model of the Sea Breezes Over South Florida*, Monthly weather Review, 115-139

Qian, Tingting, Craig C. Epifanio, Fuqing Zhang, (2012). *Topographic Effects on the Tropical Land and Sea Breeze*. J. Atmos. Sci., 69, 130–149.

Simpson, J. E., (1994). *Sea breeze and local wind*, Cambridge university press, UK, 234 pp.