

## مطالعه‌ای مشاهداتی روی نسیم دریا در منطقه بوشهر

علی اکبر بیدختی<sup>۱</sup>، محمد مرادی<sup>۲</sup>

(تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۸۳/۱۰/۲۸)

یکی از پدیده‌های میان مقیاس جوی ویژه مناطق ساحلی، نسیم دریا-خشکی است که به سبب اختلاف در ظرفیت گرمایی ویژه خاک و آب پدید می‌آید. در این مطالعه با استفاده از داده‌های سودار ایستگاه بوشهر واقع در شمال خلیج فارس در برخی روزهای ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر سال ۲۰۰۲ و بکارگیری برخی مدل‌های تحلیلی، ویژگی‌های نسیم دریا-خشکی بوشهر مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته است. مشاهدات و محاسبات که با هم به خوبی هماهنگ می‌باشند نشان می‌دهند که میانگین عمق و بعد افقی نسیم دریا-خشکی در این بررسی به ترتیب ۳۵۰ متر و ۴۱ کیلومتر می‌باشد. همچنین مشاهدات نشان می‌دهند که در بیشتر روزهای این ماه‌ها نسیم دریا-خشکی رخ داده است به گونه‌ای که در ماه‌های سپتامبر، نوامبر و دسامبر ۷۰ درصد و در ماه اکتبر ۶۵ درصد داده‌های موجود معرف نسیم دریا-خشکی می‌باشند.

**کلمات کلیدی:** نسیم دریا، نسیم خشکی، خلیج فارس، بوشهر.

### چکیده

\*

\*

\*

### مقدمه

از آنجائی که نسیم دریا-خشکی<sup>۳</sup> سبب ایجاد جریانهای ساحلی، تلاطم و برهم زدن آبهای نزدیک ساحل، برهم زدن اختلاط قائم ترموکلاین<sup>۴</sup>، انتشار سریع آلاینده‌های آبهای ساحلی نزدیک بنادر بزرگ و شهرهای صنعتی و توزیع درست اکسیژن به انواع موجودات ریز کف

۱- موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

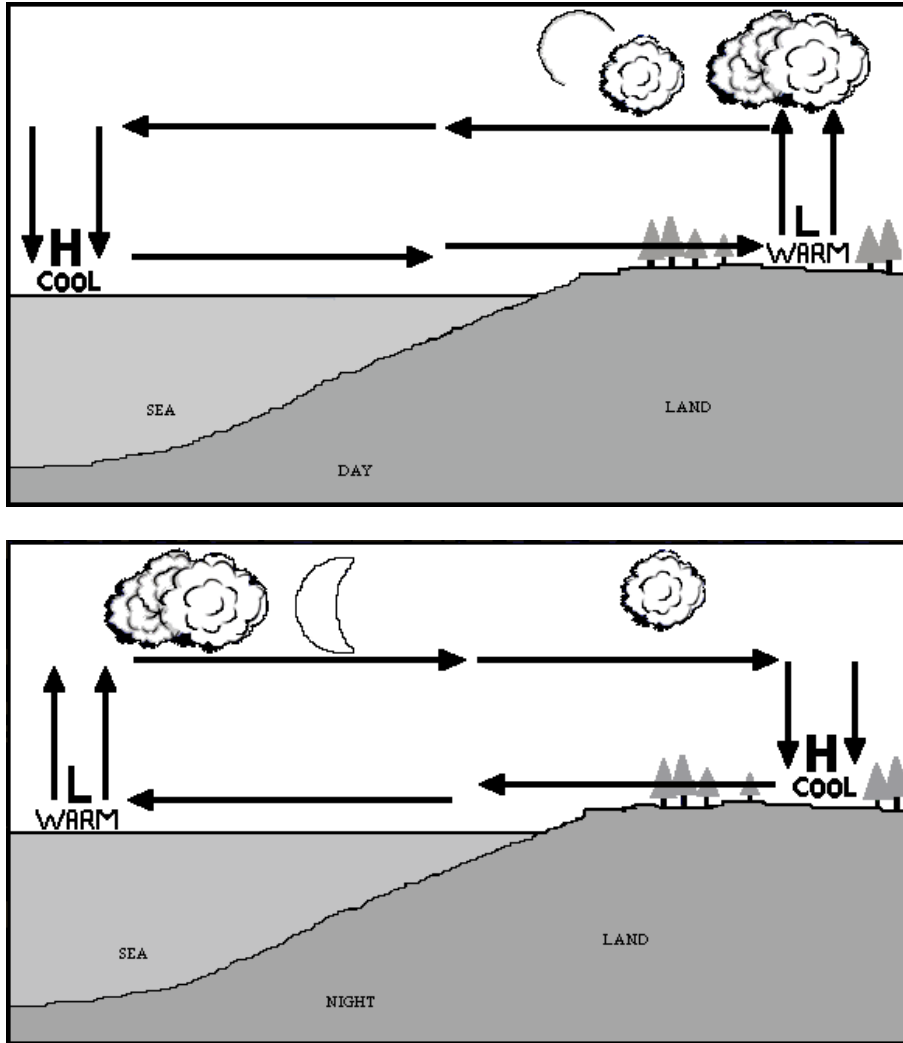
۲- سازمان هواشناسی کشور

3. Sea – Land Breeze

4. Thermocline

آبهای کم عمق نزدیک ساحل می‌شود، از این رو همواره مورد توجه پژوهشگران هواشناسی و آبشناسی قرار گرفته است. بیشتر پژوهشگران در سالهای قبل از ۱۹۳۰ با استفاده از داده‌های سطح زمین، قسمت زیرین گردش نسیم دریا-خشکی را بررسی کرده‌اند. در سالهای ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۰ با بکارگیری داده‌های ایستگاه‌های کاوش جو، قسمت زیرین گردش نسیم دریا-خشکی مورد مطالعه قرار گرفته است. در سالهای ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰ پژوهشگران زیادی برای این پدیده میان مقیاس مدل‌های تئوری پیشنهاد کردند، که از جمله آنها می‌توان به پنج مقاله مهم که پانزده سال بعد از جنگ جهانی دوم منتشر شد و در هر پنج مورد اثر دما و نیروهای اصطکاک و کوریولیس در محاسبه سرعت نسیم دریا-خشکی بکار گرفته شده بود، اشاره کرد [۹ و ۱۶]. از اواخر ۱۹۵۰ تاکنون بیشتر پژوهشگران سعی می‌کنند تا با بکارگیری روشهای عددی، بتوانند مدل عددی مناسبی را برای نسیم دریا-خشکی طراحی کنند، که از معروفترین آنها می‌توان به پریس (۱۹۵۵)، استوکی (۱۹۶۱ و ۱۹۶۲)، فیشر (۱۹۶۰ و ۱۹۶۱)، ماگانا (۱۹۶۵) اشاره کرد [۴، ۵، ۷، ۸، ۱۳ و ۱]. امروزه برای بررسی نسیم دریا-خشکی از داده‌های لیدار و سودار استفاده می‌کنند که نیمرخ قائم باد و دما را در ارتفاعات مختلف در فاصله زمانی مثلاً ۱۵ دقیقه به دست می‌دهد. در ایران به دلیل عدم دسترسی به این داده‌ها در مناطق ساحلی، کاری در مورد نسیم دریا-خشکی انجام نگرفته است. از این رو این اولین کار در بررسی نسیم دریا-خشکی در منطقه بوشهر می‌باشد. این پدیده میان مقیاس جوی ویژه مناطق ساحلی است و بیشتر در شرایط آرام جوی رخ می‌دهد و مدت وزش آن در ماههای مختلف سال متفاوت می‌باشد. به سبب اختلاف در ظرفیت گرمای ویژه خاک و آب، در طول روز، خشکی‌ها نسبت به دریاها انرژی بیشتری جذب می‌کنند و هوای مجاور سطح خشکی‌ها گرم و سبک می‌شود و به سوی ترازهای بالا صعود می‌کند. بنا براین در سطح خشکی‌ها یک همگرایی افقی بوجود می‌آید که با واگرایی<sup>۲</sup> در ترازهای بالاتر همراه می‌باشد. از این رو در روز در سطح زمین هوای خنک و مرطوب روی دریاها به سوی خشکی جریان می‌یابند و در ارتفاعات بالاتر هوای گرم و خشک روی خشکی‌ها به سوی دریا شارش می‌یابد و یک گردش بسته شکل می‌گیرد که نسیم دریا-خشکی نامیده می‌شود. معمولاً در شروع نسیم دریا-خشکی سرعت باد افزایش، دما کاهش و رطوبت افزایش می‌یابد [۱۲]. بدیهی است که در شب جهت گردش برعکس می‌شود و شارشها در سطح زمین از سوی خشکی به سمت دریا و در ارتفاعات بالا، از سوی دریا به سوی خشکی خواهد بود. این گردش به نسیم خشکی-دریا<sup>۳</sup> معروف است. شکل ۱ طرح ساده‌ای از نسیم دریا-خشکی (بالا) و نسیم خشکی-دریا (پائین) را نشان می‌دهد.

- 
1. Convergence
  2. Divergence
  3. Land-Sea Breeze



شکل ۱- شمای ساده‌ای از نسیم دریا - خشکی (بالا) و نسیم خشکی-دریا (پائین)

از دیدگاه هواشناسی، شرایط مناسب برای ایجاد نسیم دریا-خشکی هنگامی است که بادهای همدیدی ضعیف و دمای هوا بالا باشد. از این رو این پدیده در فصل گرم بیشتر رخ می‌دهد. به علاوه بادهای ضعیف در مقیاس بزرگ به همراه صاف بودن آسمان در شب، که سبب سرمایش تابشی زمین می‌شود، احتمال رخداد نسیم دریا-خشکی را افزایش می‌دهد. این شرایط

معمولا هنگامی رخ می‌دهد که یکک و اچرخند<sup>۱</sup> یا یکک پر فشار که با فرونشینی هوا همراهی دارد، در روی منطقه ساحلی قرار گیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که عبور سامانه‌ها و جبهه‌های جوی فعال سبب تضعیف و زوال نسیم دریا-خشکی می‌شوند. همچنین پایداری جو نیز در تغییر عمق گردش نسیم دریا-خشکی موثر است. هر چه پایداری جو کمتر باشد عمق گردش بیشتر خواهد بود. ویژگی‌های نسیم دریا-خشکی در مکانهای مختلف متفاوت است اما بطور کلی می‌توان گفت که متوسط عمق نسیم دریا-خشکی ۱۰۰۰ متر، بعد افقی آن ۱۰۰ کیلومتر و سرعت آن بین ۶ تا ۱۰ متر بر ثانیه می‌باشد. همچنین عمق نسیم خشکی-دریا ۱۰۰ متر، بعد افقی آن ۷۰ کیلومتر و سرعت آن بین ۳ تا ۵ متر بر ثانیه می‌باشد [۳].

هدف از این مطالعه بررسی و محاسبه برخی ویژگی‌های نسیم دریا-خشکی در منطقه بوشهر واقع در سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از داده‌های سودار این منطقه در برخی روزهای ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر سال ۲۰۰۲ می‌باشد. شایان ذکر است که تنها در این ماه‌ها داده‌های مناسب برای این بررسی در دسترس بوده است، از این رو به سبب کمبود داده‌ها به ویژه در ماه‌های گرم سال انتظار می‌رود که نتایج حاصل از این مطالعه در این ماه‌ها دستخوش تغییر شود.

### برخی مدل‌های تحلیلی نسیم دریا

بیشتر مدل‌های تحلیلی نسیم دریا-خشکی که توسط پژوهشگران برای تشریح ویژگی‌های این پدیده میان مقیاس هواشناسی بکار برده می‌شوند، بر پایه خطی کردن معادلات حرکت و انتگرال‌گیری حول گردش بسته نسیم دریا-خشکی استوارند. نخستین مدل ساده نسیم دریا-خشکی که از توازن دو نیروی گرادبان فشار و اصطکاک تشکیل شده بود، سرعت نسیم دریا-خشکی را در سطح زمین و ارتفاع ۱۵۰ متری از سطح زمین به ترتیب ۸ و ۰ متر بر ثانیه برآورد کرده بود [۱۱]. این مدل ساده نشان داد که تئوری می‌تواند تقریبهای اولیه خوبی را بدست دهد. مدل‌های بعدی که به تدریج پیچیده‌تر نیز می‌شدند، تقریبهای مناسبتری از سرعت نسیم دریا-خشکی به دست آوردند که از جمله آنها می‌توان به مدل هاوورتیز [۹] و اشمیدت [۱۶] اشاره کرد. فرض کنید که معادلات حرکت در راستای محور Xها و Zها به صورت زیر باشند:

$$\frac{du}{dt} + k_f u = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1)$$

1. Anticyclone

$$\frac{dw}{dt} + k_f w = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (۲)$$

که در آنها  $u$  و  $w$  مولفه‌های افقی و قائم بردار باد به ترتیب در راستای محور  $X$ ها و محور  $Z$ ها هستند.  $g$  شتاب ثقل،  $p$  فشار،  $\rho$  چگالی و  $k_f$  ثابتی است که به عبارتهای چگالی و نیروی اصطکاک وابسته است. با خطی کردن معادلات (۱) و (۲) و نیز ضرب معادله (۱) در  $dx$  و ضرب معادله (۲) در  $dz$  و انتگرالگیری از مجموع دو معادله بدست آمده در مسیر بسته‌ای که به صفحه  $X$  و  $Z$  محدود است، آهنگ تغییرات چرخش به دست می‌آید که با استفاده از معادله حالت و نیز جانشانی  $L \frac{dV}{dt}$  به جای  $\frac{dC}{dt}$  مدل نسیم دریا-خشکی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\frac{dV}{dt} + k_f V = \frac{R}{L} (T_a - T_b) \text{Ln} \left( \frac{P_0}{P_1} \right) \quad (۳)$$

که در آن  $V$  میانگین سرعت باد،  $L$  طول مسیر انتگرالگیری،  $P_0$  و  $P_1$  سطوح فشاری مرزهای پایین وبالا و  $T_a$  و  $T_b$  دمای هوا در روی خشکی و دریا می‌باشند. هاوروتیز از حل تحلیلی معادله (۳) و بکارگیری برخی ساده سازی‌ها سرعت متوسط نسیم دریا-خشکی را در شروع نسیم دریا محاسبه کرد:

$$V = A(k_f^2 + \Omega^2)^{-\frac{1}{2}} \cos(-\chi) \quad (۴)$$

که در آن  $\Omega$  سرعت زاویه‌ای زمین،  $A$  طرف دوم رابطه (۳) و  $\chi$  زاویه فاز به صورت زیر است:

$$\chi = \text{arctg} \left( \frac{\Omega}{k_f} \right) \quad (۵)$$

با بکارگیری برخی متغیرهای مشاهده شده، مقدار  $k_f$  در دامنه  $۲ \times ۱۰^{-۵}$  تا  $۸ \times ۱۰^{-۵}$  بر ثانیه محاسبه شد. با فرض اینکه  $P_0$  و  $P_1$  سطوح فشاری ۱۰۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال باشند و اختلاف دمای خشکی و آب ۵ درجه سلسیوس و بعد افقی ۲۰۰ کیلومتر می‌باشد، سرعت نسیم دریا در روی دریاچه تکراس ۸/۸ متر بر ثانیه بدست آمد [۱۰]. از آنجایی که نسیم دریا-خشکی نتیجه حاصل از گرم شدن سطح خشکی در طول ساعات آفتابی و گرم شدن هوای نزدیک سطح و صعود آن می‌باشد، از این رو بر اساس تبدیل بخشی از انرژی پتانسیل در دسترس به انرژی جنبشی و در نظر گرفتن نیروی کوریولیس می‌توان سرعت و بعد افقی نسیم دریا-خشکی را بدست آورد [۲]:

$$(۶)$$

$$V = (g' \frac{H}{2})^{0.5}$$

(۷)

$$L = g' \frac{H}{2fV}$$

که در آن  $H$  عمق لایه مرزی همرفتی و  $g'$  شتاب ثقل کاهش یافته است که به صورت زیر می‌باشد:

$$g' = g(-\frac{\delta\rho}{\rho}) = g(\frac{\delta\theta}{\theta}) \quad (۸)$$

$\theta$  و  $\rho$  به ترتیب دمای پتانسیل و چگالی هوا می‌باشند. برای  $f = 10^{-4} s^{-1}$ ،  $g' = 10^{-1} ms^{-2}$  و  $H = 1000$  m سرعت نسیم دریا-خشکی ۷ متر بر ثانیه و مقیاس طول یا بعد افقی ۷۰ کیلومتر بدست می‌آید. سرعت نسیم خشکی به ازای  $H = 500$  m به ۵ متر بر ثانیه و بعد افقی به ۳۰ کیلومتر می‌رسد.

### داده‌ها و روش کار

بوشهر در سواحل شمالی خلیج فارس در جنوب ایران دارای دو ایستگاه هواشناسی است که مشخصات جغرافیایی آنها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی بوشهر

مشخصات جغرافیایی	ایستگاه همدیدی بوشهر	ایستگاه دریایی بوشهر
طول	۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی	۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی
عرض	۲۸ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی	۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی
ارتفاع	۱۹/۶ متر	۸/۴ متر

داده‌های ایستگاه سودار بوشهر با موقعیت طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و ۲۸ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی در برخی روزهای ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر ۲۰۰۲ در این مطالعه بکار گرفته شده‌اند. بردار باد از سطح زمین تا ارتفاع ۱۵۵۰ متر به فاصله ۱۰۰ متر در ۱۶ ارتفاع مختلف با گام زمانی یک ساعته برای تشخیص برخی ویژگی‌های نسیم دریا-خشکی در بوشهر مورد استفاده قرار گرفته است. این داده‌ها ابتدا بوسیله چشم کنترل

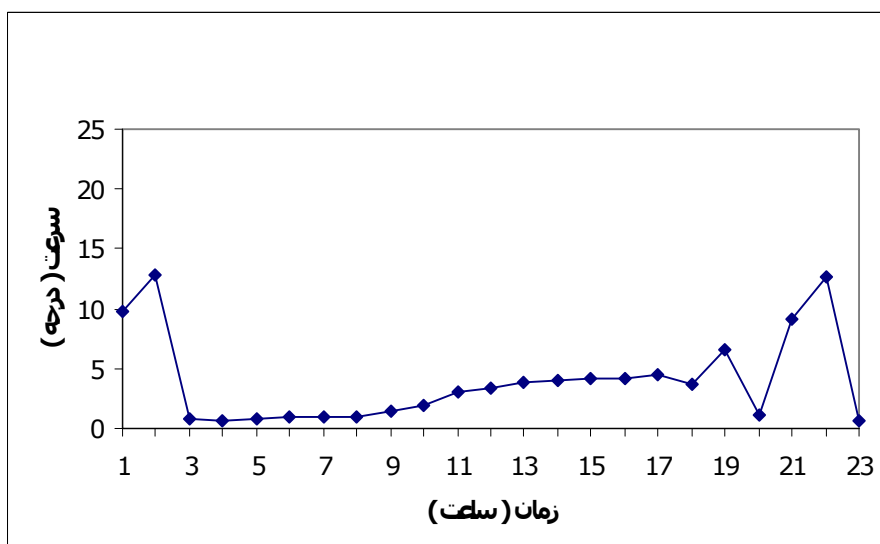
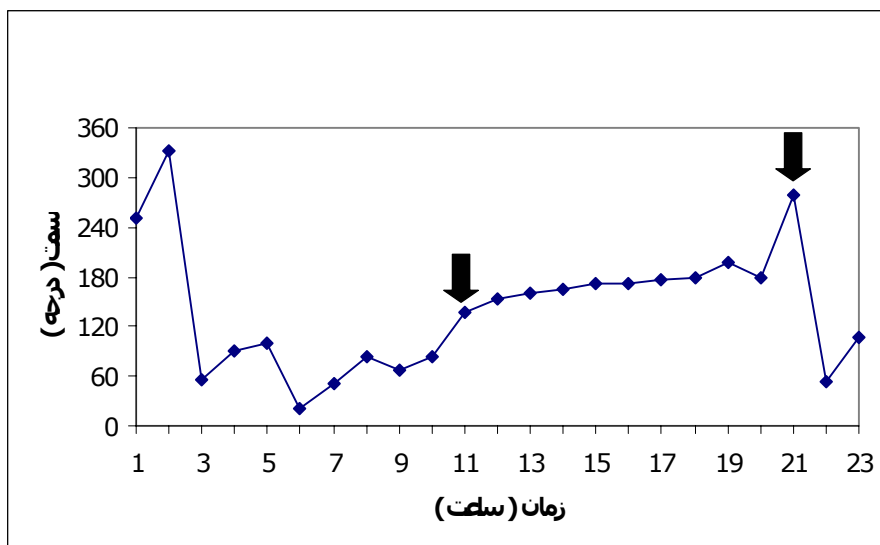
کیفی می شوند و سپس برای بررسی قسمت های زیرین و زیرین نسیم دریا- خشکی نیمرخ قائم باد بوسیله نرم افزارهای رایانه ای رسم می شود. با توجه به موقعیت ایستگاه بوشهر و تعریف نسیم دریا- خشکی، بادهای بین ۱۴۰ تا ۳۱۰ درجه در سطح زمین نسیم دریا- خشکی و بادهای بین ۳۱۵ تا ۱۳۵ درجه در سطح زمین نسیم خشکی- دریا می باشند. شایان ذکر است که در ارتفاعات بالا جهت بادها برعکس می شود.

### بررسی نتایج بدست آمده

برای شناخت ویژگی های نسیم دریا، داده های سمت و سرعت باد در ارتفاعهای مختلف در برخی روزهای سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر بررسی می شوند. با داده های موجود دیده می شود که در بیشتر روزهای این ماهها نسیم دریا- خشکی رخ داده است به گونه ای که در ماه های سپتامبر، نوامبر و دسامبر ۷۰ و در ماه اکتبر ۶۵ درصد داده های موجود معرف نسیم دریا- خشکی می باشند. در این بند به ذکر چند نمونه شاخص اکتفا می شود. شکل ۲ سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد را در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین در روز دوازدهم سپتامبر ۲۰۰۲ نشان می دهد.

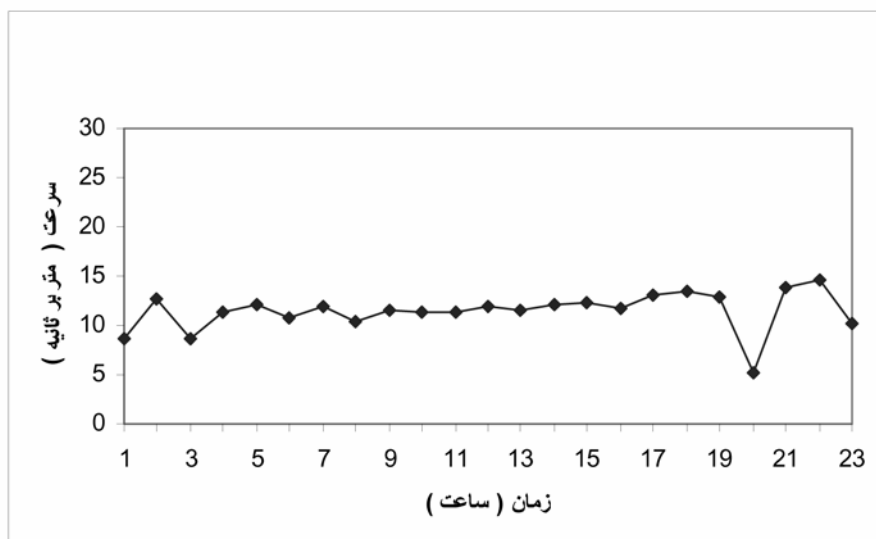
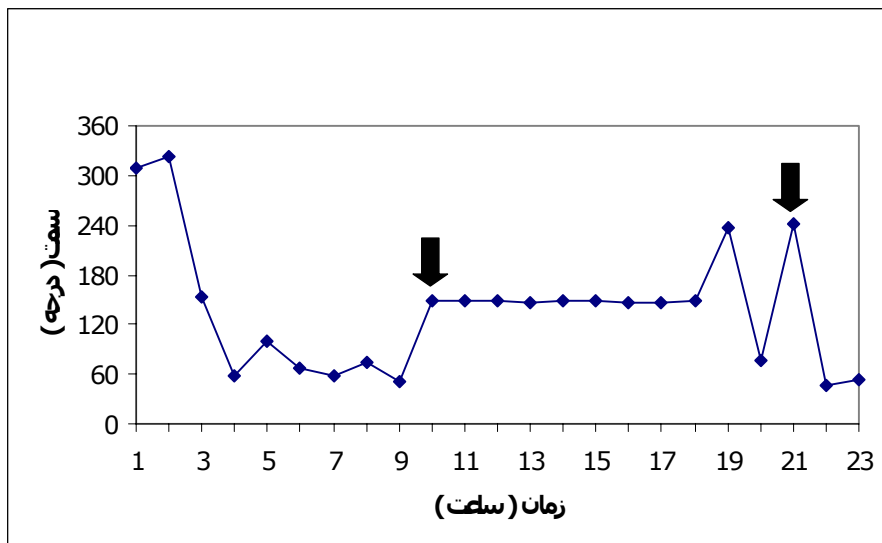
مشاهده می شود که نسیم دریا- خشکی در ساعت ۱۱۰۰ با جهت ۱۴۵ درجه آغاز می شود و تا ساعت ۲۱۰۰ ادامه می یابد. در این روز نسیم دریا- خشکی یازده ساعت طول می کشد و میانگین سمت و سرعت نسیم دریا- خشکی در این مدت به ترتیب ۱۸۰ درجه و  $4/3$  متر بر ثانیه می باشد. شکل های ۳ و ۴ نیز مشابه شکل ۲ سمت و سرعت باد را به ترتیب در ارتفاع ۵۵۰ و ۱۵۵۰ متری از سطح زمین نشان می دهند.

دیده می شود که در این ارتفاعها نیز نسیم دریا- خشکی با جهت ۱۴۵ درجه و سرعت ۱۱ متر بر ثانیه وجود دارد. آغاز و پایان نسیم دریا- خشکی در این دو ارتفاع در ساعت ۱۰۰۰ و ۱۹۰۰ می باشد. شکل های ۵، ۶ و ۷ نیمرخ قائم بردار باد را در ارتفاعها و ساعت های مختلف در این روز نشان می دهند. شکل ۵ شروع نسیم دریا- خشکی را در ساعت ۱۱۰۰ نشان می دهد. در شکل ۶ جهت برگشت نسیم دریا- خشکی در ارتفاع ۳۵۰ متری در ساعت ۲۰۰۰ با جهت ۷۰ درجه ای مشخص است. در شکل ۷ نیز جهت نسیم دریا- خشکی در ساعت ۱۵۰۰ از ساعت های ۰۶۰۰ و ۲۲۰۰ کاملاً متفاوت می باشد.

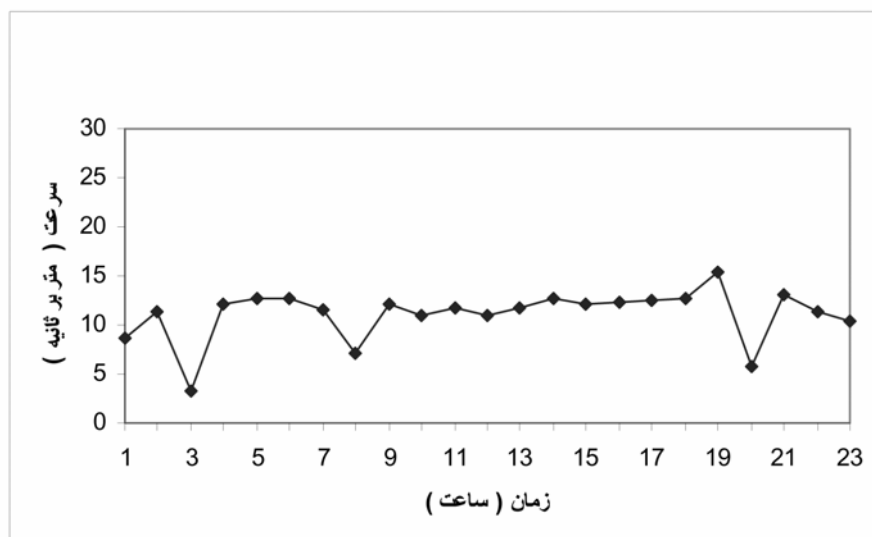
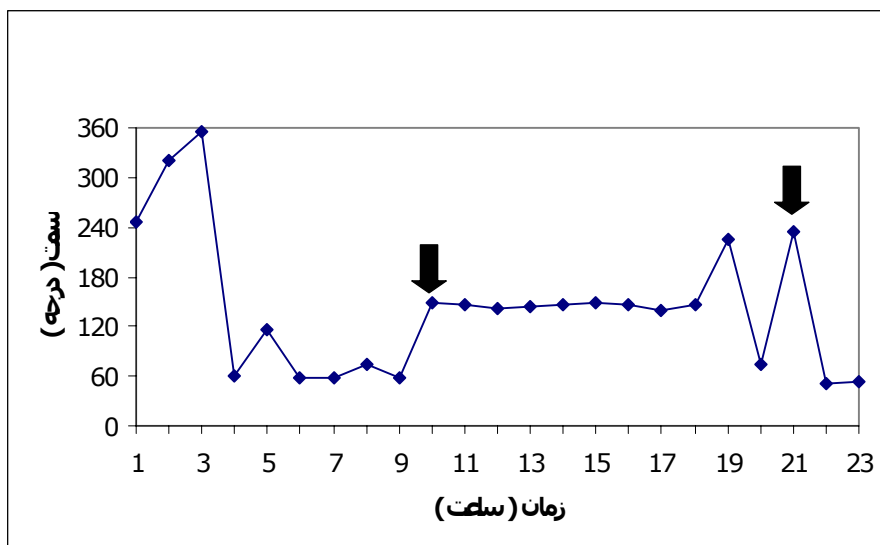


شکل ۲- سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین در روز ۱۲-۰۹-۲۰۰۲. فلش‌ها ساعت آغاز و پایان نسیم دریا-خشکی را نشان می‌دهند



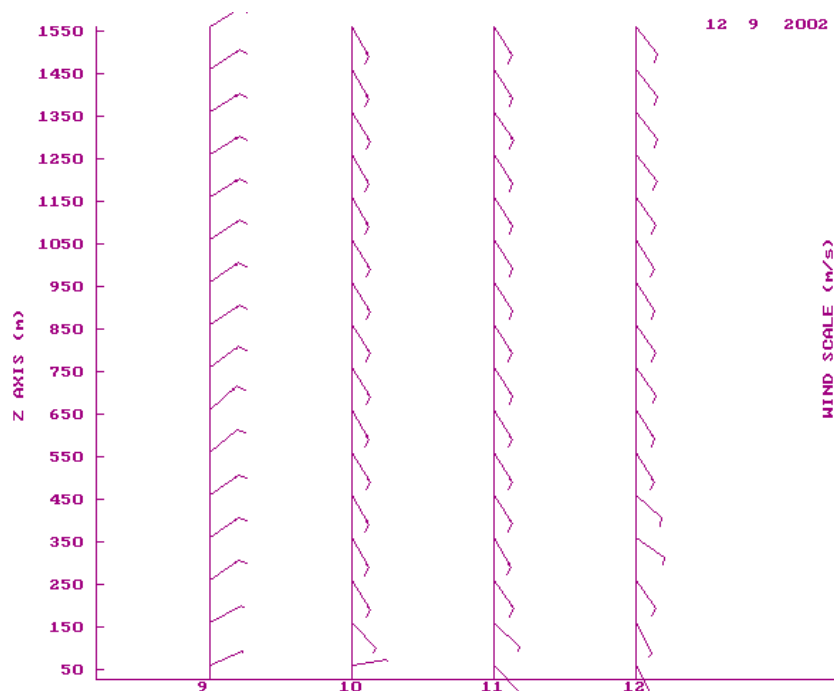


شکل ۳- سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد در ارتفاع ۵۵۰ متری از سطح زمین در روز ۱۲-۰۹-۲۰۰۲. فلش‌ها ساعت آغاز و پایان نسیم دریا-خشکی را نشان می‌دهند



شکل ۴- سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد در ارتفاع ۱۵۵۰ متری از سطح زمین در روز ۱۲-۰۹-۲۰۰۲. فلش‌ها ساعت آغاز و پایان نسیم دریا-خشکی را نشان می‌دهند

از حل معادله‌های (۶) و (۷) با در دست داشتن سرعت نسیم دریا-خشکی، عمق و بعد افقی این پدیده میان مقیاس در این روز به ترتیب ۳۷۰ متر و ۴۳ کیلومتر محاسبه می‌شوند. دیده می‌شود که عمق نسیم دریا-خشکی با مشاهده جهت برگشت این جریان مطابق است. این مراحل برای چند روز ماه سپتامبر ۲۰۰۲ انجام شده است که نتیجه حاصل در جدول ۲ آورده می‌شود. چون میانگین سمت و سرعت نسیم دریا-خشکی به ترتیب ۲۱۰ درجه و ۳/۸ متر بر ثانیه می‌باشد، از این رو میانگین عمق و بعد افقی این پدیده نیز به ترتیب ۲۸۹ متر و ۳۸ کیلومتر محاسبه می‌شود. به علاوه با افزایش سرعت نسیم دریا-خشکی عمق و بعد افقی آن نیز افزایش می‌یابد.

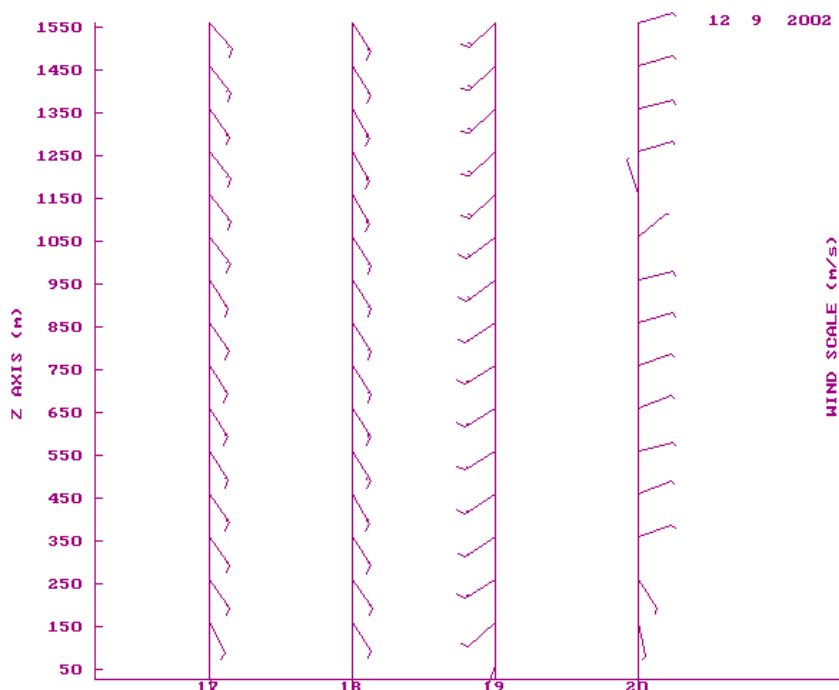


شکل ۵- بردار باد در ارتفاع‌های مختلف از سطح زمین از ساعت ۰۹:۰۰ تا ۱۲:۰۰ در روز ۱۲-۰۹-۲۰۰۲

از جدول ۲ دیده می‌شود که دامنه تغییرات عمق نسیم دریا-خشکی ۱۹۲ تا ۶۲۷ متر و بعد افقی آن در فاصله ۳۱ تا ۵۶ کیلومتر می‌باشد. نمونه دیگری از جهت برگشت جریان نسیم دریا-خشکی در روز چهاردهم ماه سپتامبر از ساعت ۱۹:۰۰ تا ۲۲:۰۰ در شکل ۸ نشان داده شده است.

جدول ۲- ویژگیهای نسیم دریا-خشکی در روزهای مختلف ماه سپتامبر سال ۲۰۰۲

تاریخ	ساعت شروع	ساعت خاتمه	مدت (ساعت)	سمت (درجه)	سرعت (متر بر ثانیه)	عمق (متر)	بعداقتی (کیلومتر)
یازدهم	۱۲	۲۲	۱۱	۱۸۰	۴/۸	۴۶۱	۴۸
دوازدهم	۱۱	۲۱	۱۱	۱۸۰	۴/۳	۳۷۰	۴۳
سیزدهم	۱۳	۲۱	۰۹	۱۹۰	۵/۶	۶۲۷	۵۶
چهاردهم	۱۱	۲۱	۱۱	۲۵۰	۳/۹	۳۰۴	۳۹
شانزدهم	۱۱	۲۳	۱۳	۲۳۰	۳/۳	۲۱۸	۳۳
هفدهم	۱۱	۲۳	۱۳	۲۵۰	۱/۳	۱۹۲	۳۱
هیجدهم	۱۰	۲۳	۱۴	۱۹۵	۳/۵	۲۴۵	۳۵
میانگین	-	-	۱۱/۷	۲۱۰	۳/۸	۲۸۹	۳۸



شکل ۶- بردار باد در ارتفاعهای مختلف از سطح زمین از ساعت ۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰ در روز ۱۲-۰۹-۲۰۰۲

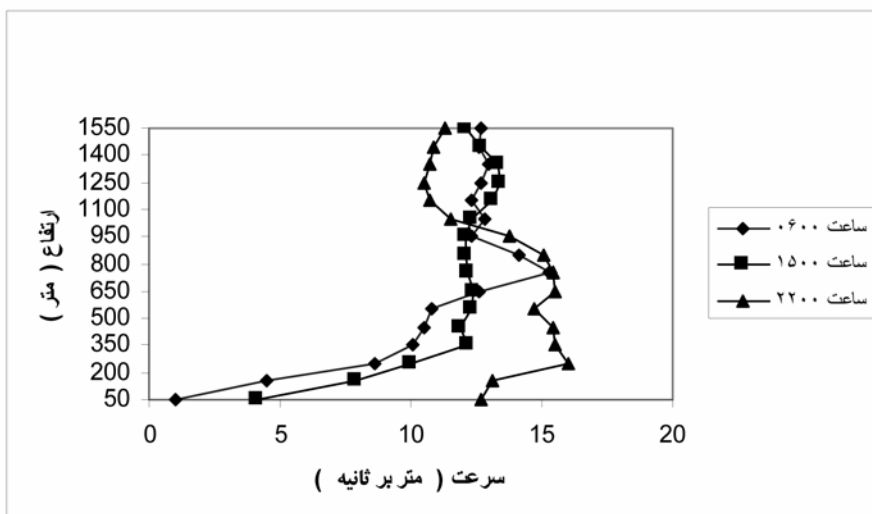
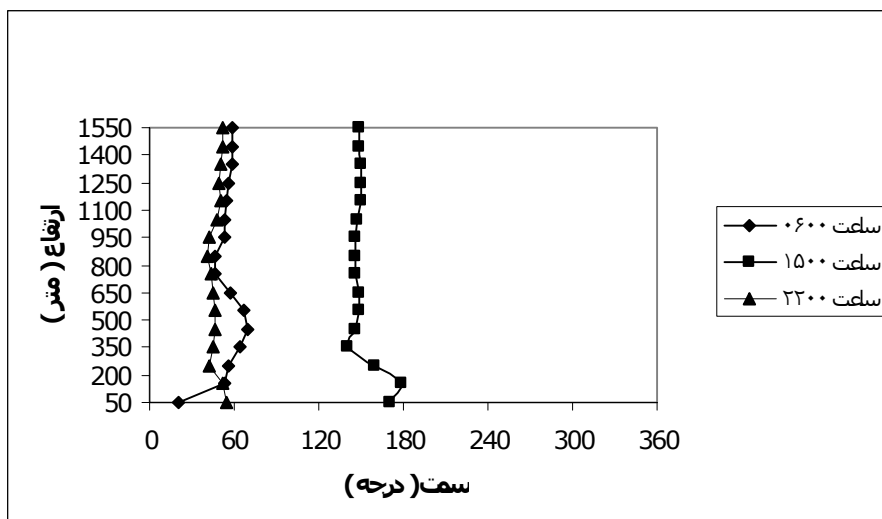
جهت برگشت در دو ارتفاع ۲۵۰ و ۳۵۰ متری از سطح زمین با سمتهای به ترتیب ۳۳۰ و ۴۵ درجه‌ای دیده می‌شود. شکل ۹ سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد را در ارتفاع ۵۰ متری از سطح

زمین در تاریخ هشتم اکتبر ۲۰۰۲ نشان می‌دهد. دیده می‌شود که نسیم دریا-خشکی در ساعت ۱۱۰۰ با جهت ۲۷۰ درجه آغاز می‌شود و تا ساعت ۲۱۰۰ ادامه می‌یابد. در این روز نسیم دریا-خشکی یازده ساعت طول می‌کشد و میانگین سمت و سرعت نسیم دریا-خشکی در این مدت به ترتیب ۲۶۰ درجه و ۳/۱ متر بر ثانیه می‌باشد. شکل ۱۰ نیز نمایه قائم باد را در ساعتهای ۱۳۰۰، ۱۸۰۰ و ۲۳۰۰ این روز نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود که در ساعت ۱۸۰۰ نسیم دریا-خشکی بین ۲۷۰ تا ۲۴۰ درجه در ارتفاعات مختلف رخ داده است. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نیز مشابه شکل ۹ سمت و سرعت باد را به ترتیب در ارتفاع ۵۵۰ و ۱۵۵۰ متری از سطح زمین در این روز نشان می‌دهند. دیده می‌شود که در این ارتفاع‌ها نیز نسیم دریا-خشکی با جهت ۲۴۰ درجه و سرعت ۱۲ متر بر ثانیه وجود دارد. آغاز و پایان نسیم دریا-خشکی در این دو ارتفاع در ساعت ۱۴۰۰ و ۲۰۰۰ می‌باشد. عمق و بعد افقی این پدیده در این روز به ترتیب ۱۹۲ متر و ۳۱ کیلومتر محاسبه می‌شوند.

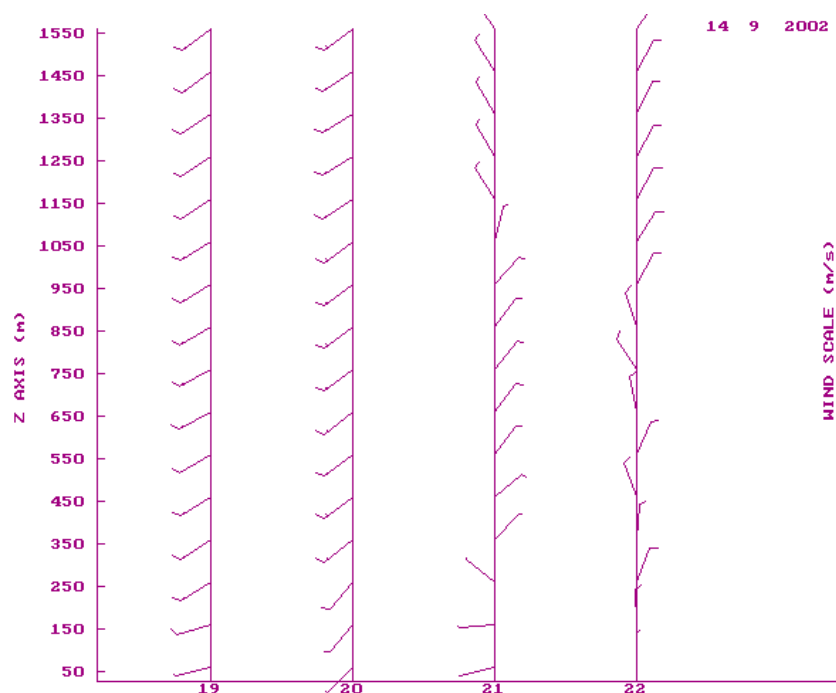
جدول ۳ مشخصات نسیم دریا-خشکی را در برخی روزهای این ماه نشان می‌دهد. از جدول ۳ دیده می‌شود که دامنه تغییرات عمق نسیم دریا-خشکی ۹۷ تا ۲۷۴ متر و بعد افقی آن در فاصله ۲۲ تا ۳۷ کیلومتر می‌باشد. میانگین عمق و بعد افقی نسیم دریا-خشکی به ترتیب در این چند روز ۲۰۵ متر و ۳۲ کیلومتر می‌باشد که به سبب ضعیف بودن سرعت باد در این روزها در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین این مقادیر نیز ضعیف هستند. شکل ۱۳ نمونه‌ای دیگر از برگشت نسیم دریا-خشکی را در ساعت ۱۲۰۰ در ارتفاع ۳۵۰ متری نشان می‌دهد. از مقایسه عمق نسیم دریا-خشکی برای روز هشتم اکتبر و جهت برگشت جریان، دیده می‌شود که بعد از ارتفاع ۲۵۰ متری که سمت باد ۲۷۰ درجه است، نسیم خشکی-دریا در ارتفاعات بالاتر صورت می‌گیرد.

جدول ۳- ویژگیهای نسیم دریا-خشکی در روزهای مختلف ماه اکتبر سال ۲۰۰۲

تاریخ	ساعت شروع	ساعت خاتمه	مدت (ساعت)	سمت (درجه)	سرعت (متر بر ثانیه)	عمق (متر)	بعد افقی (کیلومتر)
دوم	۱۳	۲۱	۰۹	۲۴۵	۳/۳	۲۱۸	۳۳
سوم	۱۱	۲۱	۱۱	۲۴۰	۳/۶	۲۶۰	۳۶
هشتم	۱۱	۲۱	۱۱	۲۶۰	۳/۱	۱۹۲	۳۱
دوازدهم	۱۲	۲۱	۱۰	۲۵۵	۳/۷	۲۷۴	۳۷
بیست و هشتم	۱۱	۱۹	۰۹	۲۵۰	۲/۲	۰۹۷	۲۲
میانگین	-	-	۱۰	۲۵۰	۳/۲	۲۰۵	۳۲

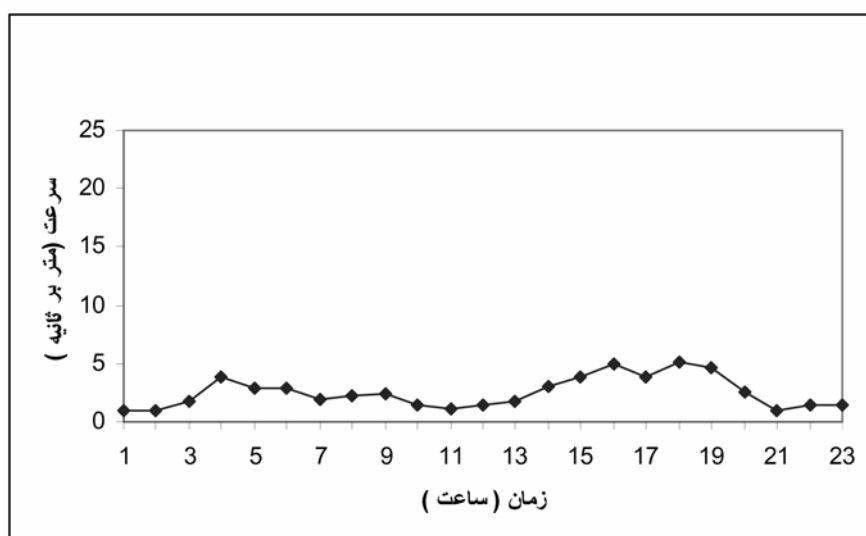
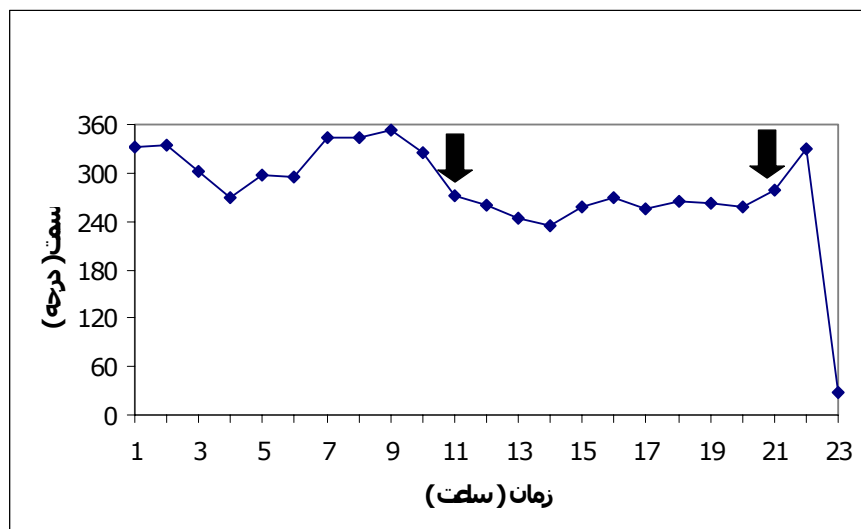


شکل ۷- نیم رخ سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد در ارتفاعهای مختلف از سطح زمین در ساعتهای ۰۶:۰۰، ۱۵:۰۰ و ۲۲:۰۰ روز ۱۲-۰۹-۲۰۰۲



شکل ۸- بردار باد در ارتفاع‌های مختلف از سطح زمین از ساعت ۱۹۰۰ تا ۲۲۰۰ در روز ۱۴-۰۹-۲۰۰۲

جدول‌های ۴ و ۵ نیز مشابه قبل برخی ویژگی‌های نسیم دریا-خشکی را برای برخی روزهای ماه‌های، به ترتیب نوامبر و دسامبر نشان می‌دهند. از جدول ۴ دیده می‌شود که دامنه تغییرات عمق نسیم دریا-خشکی ۳۰۴ تا ۸۷۱ متر و بعد افقی آن در فاصله ۳۹ تا ۶۶ کیلومتر می‌باشد. میانگین عمق و بعد افقی نسیم دریا-خشکی به ترتیب در این چند روز ۵۰۰ متر و ۵۰ کیلومتر می‌باشند که به سبب قوی بودن سرعت باد در این روزها مقادیر آنها بالا می‌باشد. جدول ۵ نیز نشان می‌دهد که دامنه تغییرات عمق نسیم دریا-خشکی ۶۵ تا ۷۶۹ متر و بعد افقی آن در فاصله ۱۸ تا ۶۲ کیلومتر می‌باشد. میانگین عمق و بعد افقی نسیم دریا-خشکی به ترتیب در این چند روز ۴۰۵ متر و ۴۵ کیلومتر می‌باشند که با در دست داشتن میانگین سمت و سرعت نسیم دریا-خشکی به ترتیب به مقدار ۲۷۵ درجه و ۴/۵ متر بر ثانیه محاسبه شده است. از بررسی جداول ذکر شده دیده می‌شود که در ماه سپتامبر مدت وزش نسیم دریا-خشکی بیشتر و در ماه نوامبر کمتر می‌باشد.



شکل ۹- سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین در روز ۰۸-۱۰-۲۰۰۲. فلش‌ها ساعت آغاز و پایان نسیم دریا-خشکی را نشان می‌دهند

همچنین چون سرعت وزش نسیم دریا-خشکی در ماه اکتبر کم و در ماه نوامبر بیشتر است، از این رو عمق و بعد افقی نسیم دریا-خشکی در ماه اکتبر کمتر و در ماه نوامبر بیشتر می‌باشد.



جدول ۴- ویژگیهای نسیم دریا-خشکی در روزهای مختلف ماه نوامبر سال ۲۰۰۲

تاریخ	ساعت شروع	ساعت خاتمه	مدت (ساعت)	سمت (درجه)	سرعت (متر بر ثانیه)	عمق (متر)	بعد افقی (کیلومتر)
چهارم	۱۲	۲۱	۱۰	۲۵۰	۶/۶	۸۷۱	۶۶
دهم	۱۲	۲۲	۱۱	۲۶۵	۴/۳	۳۷۰	۴۳
شانزدهم	۱۳	۲۰	۰۸	۲۹۰	۵/۹	۶۹۶	۵۹
هفدهم	۱۴	۱۸	۰۵	۲۸۵	۳/۹	۳۰۴	۳۹
بیستم	۱۵	۱۹	۰۵	۱۶۵	۴/۴	۳۸۷	۴۴
میانگین	-	-	۷/۸	۲۵۰	۵/۰	۵۰۰	۵۰

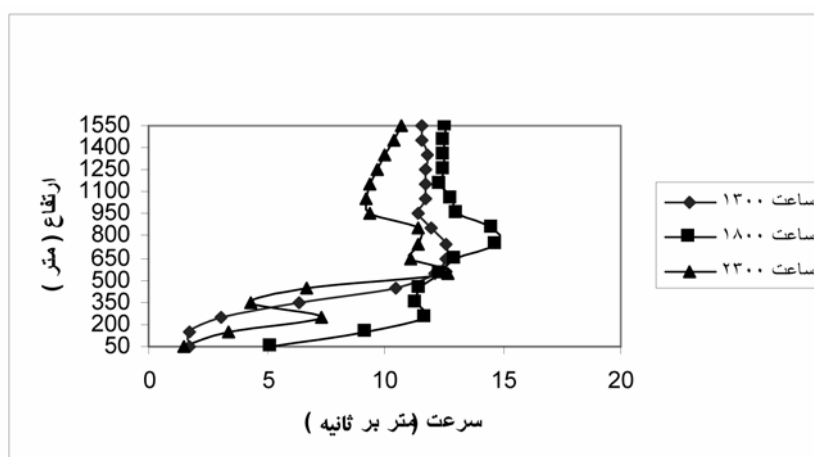
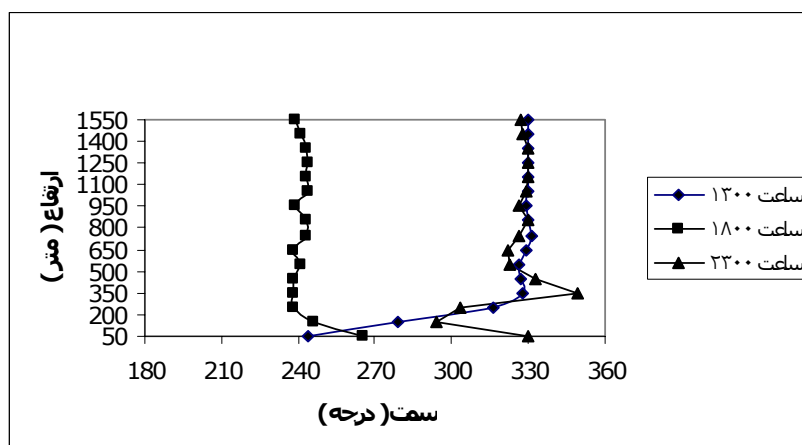
به علاوه می‌توان میانگین سمت، سرعت، عمق و بعد افقی نسیم دریا-خشکی را در این مطالعه برای این چهار ماه به ترتیب به صورت ۲۴۵ درجه، ۴/۱ متر بر ثانیه، ۳۵۰ متر و ۴۱ کیلومتر در نظر گرفت. شکل ۱۴ سمت و سرعت باد را در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین در تاریخ هفدهم دسامبر ۲۰۰۲ نشان می‌دهد.

جدول ۵- ویژگیهای نسیم دریا-خشکی در روزهای مختلف ماه دسامبر سال ۲۰۰۲

تاریخ	ساعت شروع	ساعت خاتمه	مدت (ساعت)	سمت (درجه)	سرعت (متر بر ثانیه)	عمق (متر)	بعد افقی (کیلومتر)
نوزدهم	۱۲	۲۱	۱۰	۲۸۰	۴/۴	۳۸۷	۴۴
بیستم	۱۳	۲۰	۰۸	۲۵۵	۱/۸	۶۵	۱۸
بیست و پنجم	۱۱	۲۳	۱۳	۲۸۵	۴/۹	۴۸۰	۴۹
بیست و هفتم	۱۶	۱۹	۰۴	۲۸۰	۶/۲	۷۶۹	۶۲
بیست و هشتم	۱۳	۲۲	۱۰	۲۸۰	۵/۱	۵۲۰	۵۱
میانگین	-	-	۰۹	۲۷۵	۴/۵	۴۰۵	۴۵

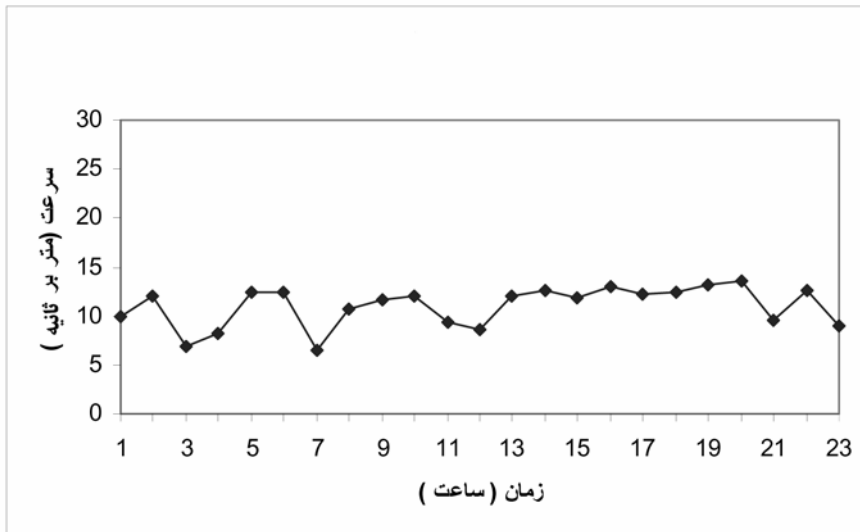
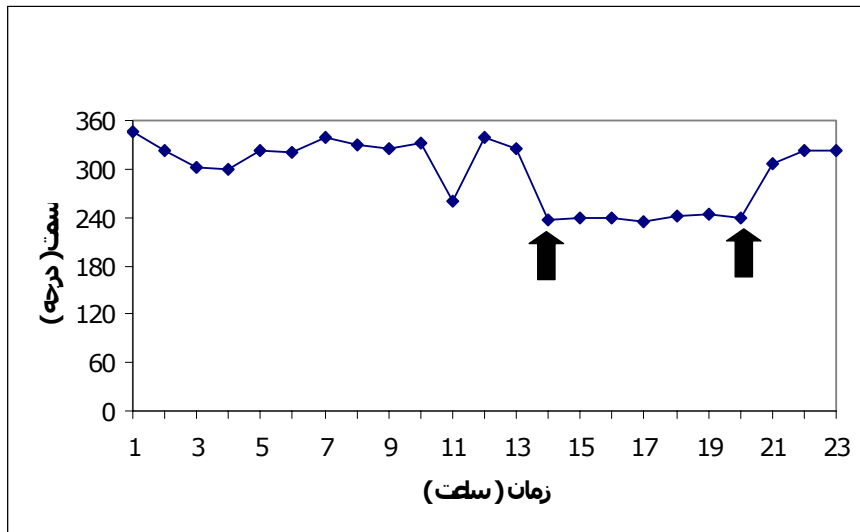
دیده می‌شود که نسیم دریا-خشکی در این روز به سبب شرایط همدیدی حاکم بر منطقه وجود ندارد در این روز، ناوه تراز میانی جو به سوی عرضهای جنوبی گسترش می‌یابد و همراه با جریانهای جنوبی ترازهای زیرین، به سوی شرق حرکت می‌کند. از این رو منطقه بوشهر، تحت تاثیر این سامانه قرار می‌گیرد به طوری که در ساعت ۱۲:۰۰ این روز که معمولاً مطابق با شروع نسیم دریا-خشکی است، ناوه ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به این منطقه امتداد می‌یابد.

به سبب کاهش حجم شکل‌های شرایط همدیدی حاکم بر منطقه در هنگام رخداد نسیم دریا- خشکی نشان داده نشده است. در روز نوزدهم دسامبر ۲۰۰۲ کم فشار بریده<sup>۱</sup> روی دریای مدیترانه سبب ارسال امواج کژفشار<sup>۲</sup> می‌شود که به تناوب از نیمه شمالی ایران عبور می‌کنند و منطقه بوشهر در این روز تحت تاثیر پشته ارتفاع ترازهای زیرین جو قرار گرفته است.



شکل ۱۰- نیم رخ سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد در ارتفاع‌های مختلف از سطح زمین در ساعت‌های ۱۳۰۰، ۱۸۰۰ و ۲۳۰۰ روز ۱۲-۱۰-۲۰۰۲

1. Cut-Off Low
2. Baroclinic Waves



شکل ۱۱- سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد در ارتفاع ۵۵۰ متری از سطح زمین در روز ۰۸-۱۰-۲۰۰۲. فلش‌ها ساعت آغاز و پایان نسیم دریا-خشکی را نشان می‌دهند

با در نظر گرفتن عمق و بعد افقی نسیم دریا-خشکی در بوشهر و بکارگیری معادله‌های (۴) و (۵) و نیز استفاده از برخی ثابتها مانند  $\Omega = 7.3 \times 10^{-5} s^{-1}$ ،  $T_a - T_b = 3^\circ C$  و همچنین بکارگیری برخی کمیت‌های میانگین ایستگاه بوشهر که در جدول ۶ آورده شده‌اند، سرعت نسیم

دریا-خشکی در این ایستگاه برای  $K_f$  های مختلف بدست می آید [۱]، که در جدول ۷ نشان داده می شوند.

جدول ۶- برخی کمیتهای میانگین ماهانه ایستگاه بوشهر

ماه	$T_0(^{\circ}C)$	$P_0(HPa)$	$P_1(HPa)$	$A(10^{-3}ms^{-2})$
سپتامبر	۳۰۴	۱۰۰۵	۹۶۴	۰/۸۳۶
اکتبر	۳۰۱	۱۰۱۲	۹۸۹	۰/۶۲۸
نوامبر	۲۹۳	۱۰۱۷	۹۵۹	۱/۰۰۰
دسامبر	۲۹۰	۱۰۱۹	۹۷۱	۰/۹۱۸

جدول ۷- محاسبه سرعت نسیم دریا-خشکی (متر بر ثانیه) در ایستگاه بوشهر برای  $K_f$  های مختلف

ماه	$K_f = 2 \times 10^{-5} s^{-1}$	$K_f = 3 \times 10^{-5} s^{-1}$	$K_f = 4 \times 10^{-5} s^{-1}$	$K_f = 5 \times 10^{-5} s^{-1}$
سپتامبر	۲/۹	۴/۰	۴/۸	۵/۳
اکتبر	۲/۲	۳/۰	۳/۶	۴/۰
نوامبر	۳/۵	۴/۹	۵/۸	۶/۵
دسامبر	۳/۲	۴/۴	۵/۳	۵/۹

در این جدول  $P_1$  ارتفاع فشاری برگشت نسیم دریا-خشکی از معادله فشارسنجی به صورت:

$$P_1 = P_0 \exp\left(-\frac{gH}{R_d \bar{T}}\right) \quad (9)$$

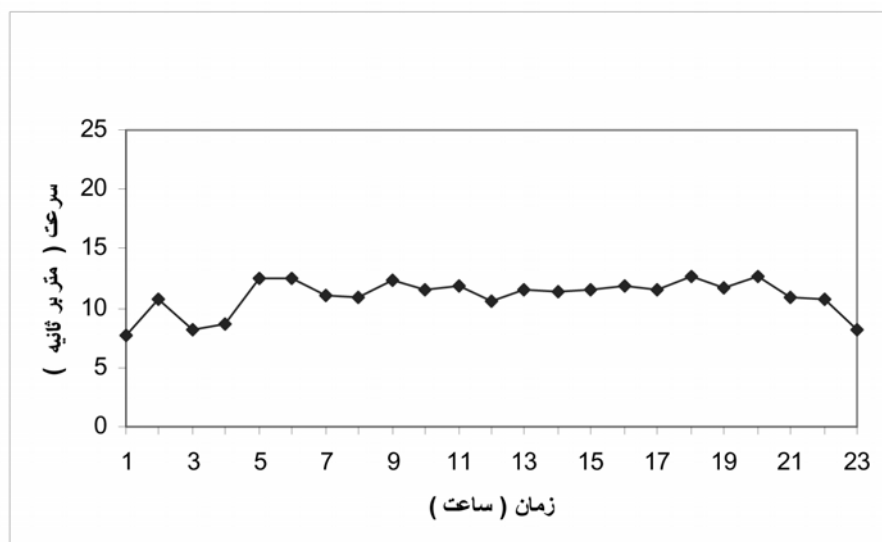
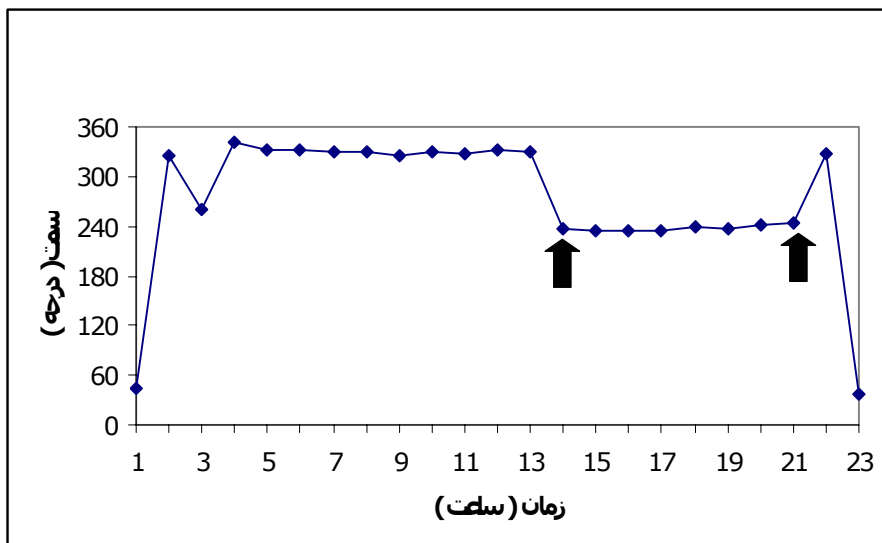
بدست می آید، که در آن  $\bar{T}$  میانگین دمای لایه و  $H$  عمق نسیم دریا می باشد.  $T_1$  نیز که دمای تراز فشاری  $P_1$  است و در محاسبه میانگین دمای لایه بکاربرده می شود، از رابطه زیر بدست می آید:

$$T_1 = T_0 + \gamma H \quad (10)$$

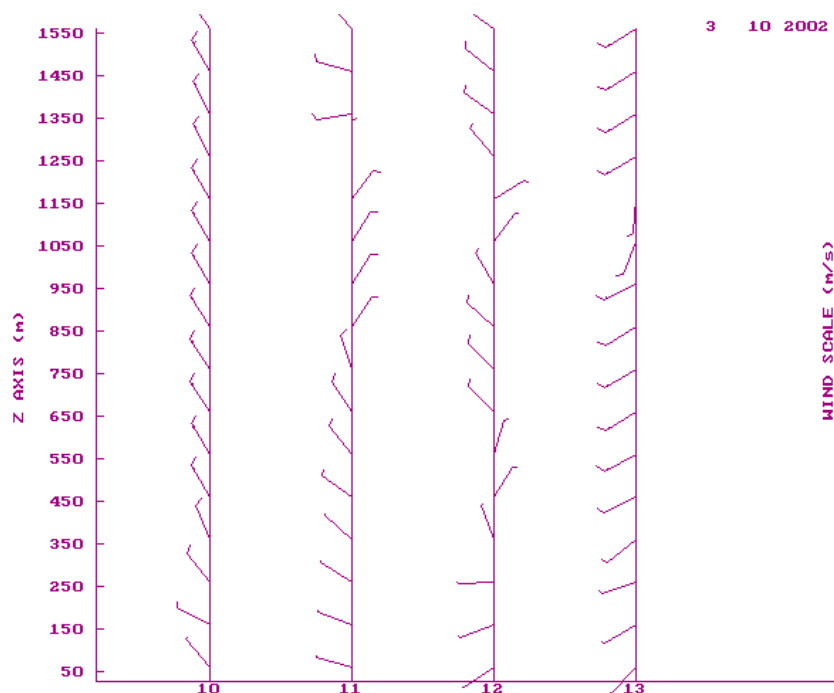
$\gamma = -0.0065 K m^{-1}$  آهنگ کاهش دمای محیط و  $A$  طرف دوم رابطه (۳) می باشند.

از مقایسه سرعتهای محاسبه شده و مشاهده شده نسیم دریا-خشکی دیده می شود که به ازای  $K_f = 3 \times 10^{-5} s^{-1}$  سرعتهای بدست آمده به واقعیت نزدیک تر می باشند. مشاهدات نشان می دهند که سرعت نسیم دریا-خشکی در ماه سپتامبر بین ۶-۱ متر بر ثانیه، در ماه اکتبر بین ۴-۲

متر بر ثانیه، در ماه نوامبر بین ۴-۷ متر بر ثانیه و در ماه دسامبر بین ۲-۶ متر بر ثانیه بوده است. این وضعیت در ردیف کارهای انجام شده در مناطق مختلف دیگر جای می‌گیرد [۱۴ و ۶].



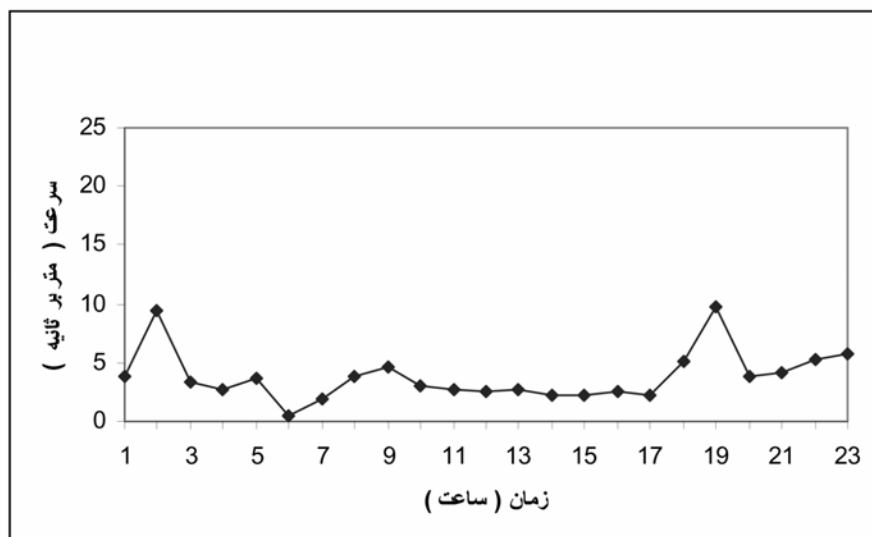
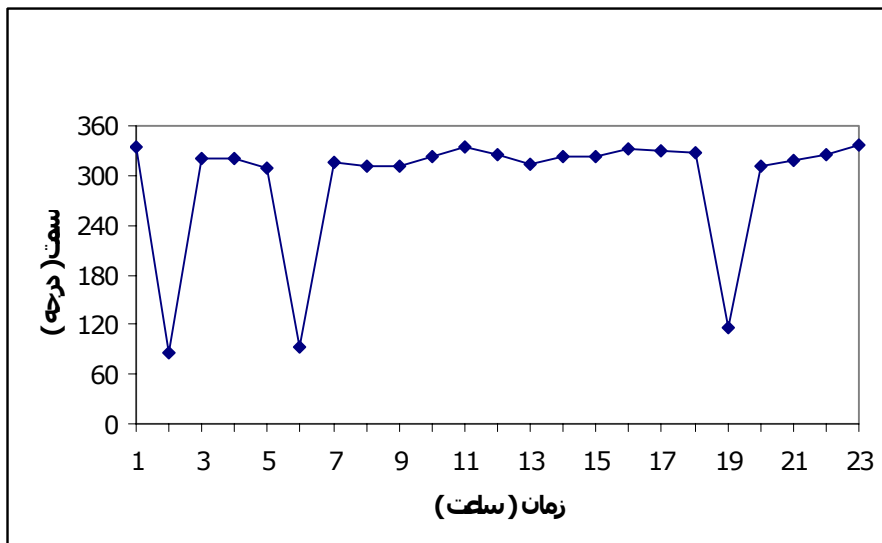
شکل ۱۲- سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد در ارتفاع ۱۵۵۰ متری از سطح زمین در روز ۰۸-۱۰-۲۰۰۲. فلش‌ها ساعت آغاز و پایان نسیم دریا-خشکی را نشان می‌دهند



شکل ۱۳- بردار باد در ارتفاعهای مختلف از سطح زمین از ساعت ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ در روز ۲۰۰۲-۱۰-۰۳

### نتیجه گیری

در این بخش بر پایه مبانی ارائه شده در بخش های پیشین، علاوه بر ارائه جداول فوق الذکر، برداشتهای زیر نیز به عنوان نتیجه حاصل از این مطالعه موردی بیان می شوند. مشاهدات داده های موجود نشان می دهند که در ماه های سپتامبر، نوامبر و دسامبر در ۷۰ و در ماه اکتبر در ۶۵ درصد موارد نسیم دریا-خشکی رخ داده است. مشاهدات نشان می دهند که میانگین سرعت نسیم دریا-خشکی در بوشهر در ماه های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر به ترتیب ۳/۸، ۳/۲، ۵/۰ و ۴/۵ متر بر ثانیه می باشند و میانگین سرعت نسیم دریا-خشکی در این بررسی ۴/۱ متر بر ثانیه است. نسیم دریا-خشکی بیشتر در جهت جنوب غربی و غربی رخ می دهد اگرچه در منطقه مورد مطالعه بادهای جنوب شرقی، جنوبی، جنوب غربی و غربی نیز نسیم دریا-خشکی می باشند.



شکل ۱۴- سمت (بالا) و سرعت (پائین) باد در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین در روز ۱۷-۱۲-۲۰۰۲

عمق نسیم دریا-خشکی در بوشهر در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر به ترتیب ۲۰۵، ۵۰۰ و ۴۰۵ متر می‌باشند که کمترین مقدار در ماه اکتبر و بیشترین مقدار در ماه نوامبر رخ

داده است. میانگین عمق نسیم دریا-خشکی در این بررسی ۳۵۰ متر است. بعد افقی نسیم دریا-خشکی در بوشهر در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر به ترتیب ۳۸، ۳۲، ۵۰ و ۴۵ کیلومتر می‌باشند که کمترین مقدار در ماه اکتبر و بیشترین مقدار در ماه نوامبر رخ داده است. میانگین بعد افقی نسیم دریا-خشکی در این بررسی ۴۱ کیلومتر است. با افزایش سرعت نسیم دریا-خشکی، عمق و بعد افقی آن نیز افزایش می‌یابد. از مقایسه سرعت‌های محاسبه شده و مشاهده شده نسیم دریا-خشکی دیده می‌شود که به ازای  $K_f = 3 \times 10^{-5} s^{-1}$  سرعت‌های بدست آمده با مشاهدات منطبق‌اند از این رو این مقدار برای  $K_f$  در بوشهر بهینه می‌باشد. محاسبه عمق نسیم دریا-خشکی با مشاهده جهت برگشت این جریان منطبق است.

### پیشنهاد

چون در این بررسی فقط از داده‌های در دسترس استفاده شده است، از این رو به سبب نبود داده‌های مربوط به ماه‌های گرم سال انتظار می‌رود که عمق و بعد افقی نسیم دریا و نیز سرعت آن دستخوش تغییر شود بنابراین پیشنهاد می‌شود در صورت دسترسی به داده‌های سودار در منطقه بوشهر این کار برای فصل گرم نیز انجام و نتایج با نتیجه این مقاله مقایسه شود.

### تشکر و قدردانی

از مرکز پیش بینی سازمان هواشناسی و هواشناسی استان بوشهر به سبب حمایت‌های لازم تشکر می‌شود.

### منابع

1. Atkinson, B.W., 1989, Meso Scale Atmospheric Circulations, Academic Press.
2. Dalu, G.A. and Pielke, R.A., 1989, An Analytical Study of the Sea Breeze, J.Atmos.Sci., 49,1815-1825.
3. Dalu, G.A., and Pielke, R.A., 1990, An Analytical Study of the Frictional Response of Coastal Currents and Upwelling to Wind Stress; J.Geophys. Res, 95,1523-1536.
4. Estoque, M.A., 1961, A Theoretical Investigation of the Sea Breeze, Q.J.R.Met. Soc., 87,136-146.
5. Estoque, M.A., 1962, The Sea-Breeze as a Function of the Prevailing Situation, J.atmos.Sci.,19,244-250.



6. Enger, L. and B., Grisogono, 1998, The Response of Bora-Type Flow to Sea Surface Temperature, *Quart.J.Roy.Meteor.Soc.*,124,1227-1244.
7. Fisher, E.L., 1960, An Observational Study of the Sea Breeze, *J.Met.*17,645-660.
8. Fisher, E.L., 1961a, A Theoretical Study of the Sea Breeze, *J.Met.*18,216-233.
9. Haurwitz, B., 1947, Comments on the Sea-Breeze Circulation, *J.Met.*,4,1-8.
10. Hsu, S.A., 1970, Costal Air Circulation System, Observations and Empirical Model, *Mon.Weath.Rev.*,98,487-509.
11. Jeffreys, H., 1922, On the Dynamics of Wind, *Quart.J.Roy.Meteor.Soc.*,48,29-47.
12. Krishna Moorthy, K., Krishna Murthy, B.V. and Prabha R.nair, 1993, Sea-Breeze Front Effects on Boundary Layer Aerosols at a Tropical Coastal Station, *J.of Appl.Meteo*, 32,1196-1205.
13. Magata, M., 1965, A Study of the Sea Breeze by the Numerical Experiment, *Pap. Met. Geophys.*, 16,23-36.
14. Melas, D., Lavagnini, A. and Anna. M Sempreviva, 2000, An Investigation of the Boundary Layer Dynamics of Sardinia Island under Sea-Breeze Conditions, *J.Appl.Meteo.*,39,516-524.
15. Pearce, R.P., 1955, The Calculation of a Sea Breeze Circulation in Term of the Differential Heating Across the Coast line, *Q.J.R.Met.Soc.*, 81,351-381.
16. Schmidt, F., H., 1947, An Elementary Theory of the Land and Sea Breeze Circulation, *J.Met.*,4,9-15.