

## مطالعه موردی پخش آلاینده‌ها با استفاده از داده‌های برج هواشناسی بوشهر

محمد مرادی<sup>۱\*</sup>، عباس رنجبر سعادت‌آبادی<sup>۱</sup> و پرویز رضازاده<sup>۲</sup>

۱. دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

۲. مشاور پیش‌بینی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران

(دریافت: ۹۸/۷/۱۷، پذیرش نهایی: ۹۸/۱۱/۱)

### چکیده

این مقاله به پتانسیل آلاینده‌گی در بوشهر به کمک مدل پخش گاوس پرداخته است. در این پژوهش انحراف‌معیار قائم مدل به سبب نبود داده‌های سرعت اصطکاکی و طول مونیون-ابکوف، از روابط هاسکر-اسمیت، ارتفاع خیزش بلوم از روش بریگز و ارتفاع لایه آمیخته از روش هیفتر به دست آمد. برای تعیین کلاس‌های پایداری، از داده‌های تابش خورشیدی و گرادیان قائم دما و برای اجرای مدل، از داده‌های برج هواشناسی بوشهر در سال ۲۰۱۶ استفاده شده است.

نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که در موقعیت برج هواشناسی بوشهر در فصل زمستان، آلاینده‌های فرضی از شمال به سوی جنوب برج پخش می‌شود در حالی که نحوه پخش آنها در تابستان از شمال غرب به جنوب شرق و همچنین از جنوب به سوی شمال است. این تفاوت می‌تواند به سبب قوی بودن نسیم دریا به خشکی در تابستان و ضعیف بودن آن در زمستان باشد. قسمتی از آلاینده فرضی نیز به دلیل وجود مؤلفه جنوبی باد سالانه، به سوی شمال پخش می‌شود. در فصل‌های بهار و پاییز نیز نحوه پخش آلاینده‌ها متفاوت است. در فصل بهار که باد غالب در ارتفاع ۱۰۰ متری برج هواشناسی بوشهر شمال غربی است، آلاینده‌ها بیشتر به سوی جنوب شرق پخش می‌شوند در حالی که در فصل پاییز فراوانی باد شمالی بیشتر است و آلاینده‌های فرضی بیشتر به سوی جنوب پخش می‌شوند. همچنین بررسی روش‌های برآورد ضرایب مدل گوس نشان داد که روابط هاسکر-اسمیت با در نظر گرفتن طول زبری سطح برای منابع نقطه‌ای که فاقد داده‌های سرعت باد اصطکاکی و طول مونیون-ابکوف هستند، روش مناسبی است.

واژه‌های کلیدی: برج هواشناسی، مدل پخش گاوس، فرمول هاسکر-اسمیت، الگوریتم هیفتر.

### ۱. مقدمه

کرده‌اند. از جمله این گزارش‌ها می‌توان به گزارش فنی کیفیت هوا کاربن (۲۰۰۴)، سلسله گزارش‌های فنی معروف به USEPA (۱۹۷۷، ۱۹۸۵، ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰) و سوکی یاما و همکاران (۲۰۱۴) در گزارش بررسی روش‌های برآورد سرعت نهشت برای تحلیل ایمنی سایت‌های اتمی اشاره کرد. در این گزارش‌ها علاوه بر تحلیل مدل گاوس برای پخش و نهشت، شرایط هواشناسی برای اجرای مدل و محاسبه ضرایب مدل بررسی و تحلیل شده‌اند.

در ایران نیز مرادی و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از مدل ساده‌شده گاوس و به کارگیری داده‌های باد ۱۰ متری و استفاده از تابش خورشیدی و پوشش ابر برای تحلیل پایداری جوی، نحوه پخش آلاینده‌ها را برای چند ایستگاه هواشناسی تحلیل کردند. آنها برای

یکی از مشکلات پیچیده‌ای که همواره زندگی در کلان‌شهرها را تهدید می‌کند، پدیده آلودگی هوا و انتشار آلاینده‌های جوی است که در اثر فعالیت‌های بشری در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای در لایه مرزی ایجاد می‌شود. آلاینده‌های جوی در برخی شرایط هواشناختی در این شهرها انباشته می‌شود. سکون نسبی هوا، وارونگی شبانه دما، استقرار هوای سرد، پستی و بلندی، کوه و دره، چیدمان ساختمان‌های شهری و پایداری هوا از جمله عوامل محلی و هواشناختی هستند که در بیشتر رخدادهای حاد آلودگی هوا در جهان ثبت شده‌اند (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱). بسیاری از پژوهشگران برای بررسی نحوه پخش آلاینده‌های جوی در بلندمدت، از مدل پخش گوس استفاده کرده‌اند و تجربیات خود را در گزارش‌های علمی منتشر

WRF-HYSPLIT با تقریب بسیار مناسبی می‌تواند برای پیش‌بینی پاشش و محاسبات دز نیروگاه بوشهر مورد استفاده قرار گیرد.

هدف از این تحقیق، ارزیابی توانایی فرمول هاسکر-اسمیت در تعیین انحراف‌معیار قائم مدل گوس برای بررسی نحوه پخش آلاینده‌های فرضی در برج هواشناسی بوشهر واقع در نیروگاه بوشهر می‌باشد. استفاده از این روابط سبب می‌شود تا با به‌کارگیری داده‌های دیدبانی ایستگاه‌های هواشناسی، بتوان چگونگی پخش آلاینده‌های جوی را ارزیابی کرد.

برای این منظور ابتدا داده‌های باد و دما در ارتفاع‌های مختلف و تابش خورشیدی که در برج ۱۰۰ متری هواشناسی بوشهر در روزهای مختلف دسامبر ۲۰۱۵ تا دسامبر ۲۰۱۶ ثبت شده است، بررسی شد و سپس با استفاده از روابط هاسکر-اسمیت، الگوریتم هیفتر و الگوریتم بریگز، به‌ترتیب ضرایب انحراف از معیار قائم، ارتفاع لایه آمیخته و ارتفاع خیزش پلوم به‌دست آمد. در ادامه مدل گاوس برای فصل‌های مختلف این دوره اجرا و نحوه پخش آلاینده‌های جوی در موقعیت برج هواشناسی بوشهر بررسی شد. استفاده از روابط هاسکر-اسمیت برای محاسبه انحراف از معیار قائم، به‌کارگیری الگوریتم هیفتر در محاسبه ارتفاع لایه آمیخته و به‌کارگیری داده‌های واقعی برج ۱۰۰ متری هواشناسی بوشهر از ویژگی‌های منحصر به‌فرد این پژوهش است.

## ۲. روش پژوهش

بسیاری از مدل‌های پخش آلاینده‌ها از مدل پراکنش گوس که یک مدل موازنه جرمی است، استفاده می‌کنند. در این مدل می‌توان یک منبع نقطه‌ای مانند دودکش را بررسی کرد تا غلظت ناشی از یک منبع نقطه‌ای در پایین‌دست محاسبه شود. در این حالت مبدأ مختصات بر پایه دودکش منطبق است و محور طول‌ها جهت وزش باد را نشان می‌دهد. دود حاوی مواد آلاینده

تعیین برخی پارامترهای مدل از داده‌های فرضی استفاده کردند و روش بریگز را برای محاسبه ضرایب مدل به‌کار گرفتند.

فیضی‌نژاد و خاموشی (۱۳۸۳)، بر اساس مدل گوسی پخش، پاشندگی شرایط کارکرد عادی نیروگاه بوشهر را بررسی کردند. این پژوهشگران با طراحی و توسعه یک بسته نرم‌افزاری، غلظت و نرخ نهشت آلودگی ره‌اشده از دودکش واحد یکم نیروگاه بوشهر را در حالت عادی کار و مناسب با شرایط جوی مختلف محاسبه کردند. نتایج این تحقیق توسط کارشناسان آژانس بین‌المللی انرژی اتمی مورد تأیید قرار گرفت.

کاوایی و همکاران (۱۳۹۶)، بر اساس حادثه هسته‌ای چرنوبیل، یک آزمایش فرضی در نیروگاه بوشهر را شبیه‌سازی کردند. در این تحقیق فرض شده است که ره‌اسازی هسته‌های پرتوزا در اول دی‌ماه ۱۳۹۳ رخ داده است. نتایج شبیه‌سازی در بازه زمانی یک ماهه نشان داد که مواد ره‌اشده از این حادثه شهرستان‌های تنگستان، دشتی، دیر، کنگان، جم و عسلویه را بیشتر از مناطق دیگر آلوده می‌کند و نهشت آلاینده‌های هسته‌ای در بخش ساحلی تنگستان بیشتر از مناطق دیگر است. آزمایش برای اول فروردین، اول تیر و اول مهرماه ۱۳۹۴ اجرا شد و نتایج نشان داد که پخش و انتقال مواد هسته‌ای ره‌اشده در جهت جنوب‌شرق نیروگاه می‌باشد.

فیضی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷) از جفت مدل WRF-HYSPLIT، برای نشان دادن توزیع الگوی پرتوگیری در اطراف واحد یکم نیروگاه بوشهر استفاده کردند. این پژوهشگران ابتدا مدل WRF با ترکیب‌های مختلف طرحواره‌های پارامترسازی فیزیکی، برای پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در منطقه بوشهر را به‌کار گرفتند و پس از ارزیابی نتایج آن، خروجی مدل WRF را به‌عنوان ورودی، برای مدل HYSPLIT در نظر گرفتند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل جفت‌شده

در این معادله  $\frac{\chi}{Q}$  فاکتور پخش نامیده می‌شود که در آن  $\chi$ ، غلظت بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب و  $Q$  آهنگ گسیل ماده بر حسب کیلوگرم بر ثانیه است. در معادله فوق،  $\sigma_z$  انحراف از معیار یا پارامتر پخش قائم به متر،  $H$  ارتفاع مؤثر منبع رها کننده بر حسب متر،  $h$  ارتفاع لایه آمیختگی به متر،  $U$  سرعت باد میانگین بر حسب متر بر ثانیه و  $N$  مقدار میانگین حاصل ضرب متوسط سرعت باد دسته‌بندی شده در فراوانی باد جهت‌های مختلف کلاس‌های ناپایداری است که به درصد بیان می‌شود. همچنین  $x$  فاصله (بر حسب متر) در جهت جریان باد را نشان می‌دهد. در این معادله اندیس‌های  $i$ ،  $j$  و  $k$  به ترتیب برای کلاس‌های شش‌گانه ناپایداری، دسته‌بندی نه‌گانه سرعت باد و دسته‌بندی شانزده‌گانه سمت باد استفاده شده است. در مدل پخش گاوس اثر انعکاس و وارونگی دما بر نحوه پخش آلاینده‌ها با یک سری همگرا به مدل اضافه می‌شود.  $n$  برای معرفی انعکاس‌های پلوم در بالای لایه وارونگی به کار برده می‌شود.

مدل فوق برای کلاس‌های مختلف پایداری که توسط پاسکوئیل (۱۹۶۱) مطرح و به وسیله ترنر تغییر یافت، قابل حل است. در روش پاسکوئیل که انتقال افقی آلاینده‌ها (کلاس‌های مختلف سرعت باد) و همچنین پخش قائم آلاینده‌ها (افزایش تلاطمی ارتفاع لایه آمیخته جو) را در نظر می‌گیرد، تابش خورشیدی، گرادیان قائم دما و سرعت باد در ارتفاع دودکش باید در دسترس باشد تا کلاس‌های پایداری برای روز و شب تعریف شود. در جدول ۱ شش کلاس پایداری بر اساس تابش، سرعت باد و گرادیان قائم دما به صورت کلاس‌های A (ناپایداری شدید)، B (ناپایداری متوسط)، C (ناپایداری خفیف)، D (پایداری خنثی)، E (پایداری ضعیف) و F (پایداری متوسط) تعریف شده است.

از دودکش صعود کرده و سپس در جهت باد حرکت می‌کند و در حین حرکت در جهات مختلف پخش می‌شود.

مدل‌های پخش در جو، بر اساس نوع معادلات به کار برده شده به دو دسته ساده و پیچیده تقسیم می‌شوند. در صورتی که توپوگرافی و کاربری زمین در منطقه پیچیده باشد، به کارگیری مدل‌های ساده دشوار است و باید از مدل‌های پیچیده‌تر استفاده کرد. در مناطقی که شرایط برای استفاده از مدل‌های پیچیده مناسب است، به سبب دشواری تولید داده‌های ورودی مدل، عملاً از این گونه مدل‌ها استفاده نمی‌شود. شرایط اولیه برخی مدل‌های پیچیده از برون‌داد مدل‌های پیش‌یابی جوی تأمین می‌شود و برخی دیگر سری‌های زمانی را به کار می‌برند. مدل گوسی از مدل‌های ساده‌ای است که برای برآورد چگونگی انتشار گازها و ذرات از چشمه‌های پهنه‌ای و نقطه‌ای کاربرد فراوانی دارد و به سادگی با رایانه معمولی اجرا می‌شود.

مدلی که در این پژوهش برای برآورد چگونگی پخش یک پلوم در راستای خط مرکزی و در ارتفاعی مشخص از دودکش استفاده می‌شود، مدل ساده گوسی است که بر اساس معادلات اصلی پخش گوس (ملکوئی و همکاران، ۱۳۹۵) بنا شده است. برای استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی به عنوان ورودی این مدل، برخی عبارت‌های آن ساده شده است. این مدل پس از ساده‌سازی به صورت زیر است (ترنر، ۱۹۷۹ و ۱۹۹۴).

$$\frac{\chi_j}{Q} = \frac{0.16}{\sqrt{2\pi}x} \sum_i \frac{1}{\sigma_{zi}} \sum_n \{\exp[-0.5(\frac{-H_j + 2nh_j}{\sigma_{zi}})^2]\} \sum_k \frac{N_{ijk}}{U_k} \quad (1)$$

جدول ۱. کلاس‌های پایداری پاسکوئیل بر اساس تابش، گرادیان قائم دما و باد (EPA, ۲۰۰۰).

زمان: روز				
سرعت باد (متر بر ثانیه)	تابش خورشیدی (وات بر متر مربع)			
	>۹۲۵	۹۲۵-۶۷۵	۶۷۵-۱۷۵	<۱۷۵
<۲	A	A	B	D
۲-۳	A	B	C	D
۳-۵	B	B	C	D
۵-۶	C	C	D	D
≥۶	C	D	D	D

زمان: شب		
سرعت باد (متر بر ثانیه)	گرادیان قائم دما (درجه سلسیوس)	
	< ۰	≥ ۰
< ۲/۰	E	F
۲/۰ - ۲/۵	D	E
≥ ۲/۵	D	D

## ۱-۲. برآورد ضرایب پخش قائم و افقی

برای محاسبه انحراف معیارهای قائم و افقی، روش‌های مختلفی وجود دارد که تابعی از کاربرد و نوع اطلاعات هواشناسی موجود است. ضرایب پخش افقی و قائم علاوه بر شرایط پایداری جو، به فاصله در پایین دست جریان و مناطق باز غیرشهری و شهری بستگی دارند. نخستین بار ترنر (۱۹۶۹) منحنی‌هایی برای برآورد این ضرایب مطرح کرد که بعدها به منحنی‌های پاسکوئیل-گیفورد (۱۹۷۴) معروف شد. این منحنی‌ها دوباره به وسیله ترنر (۱۹۹۴) و (۱۹۷۹) به روابط مناسبی برای برآورد انحراف معیار افقی و قائم تبدیل شد. از آنجایی که استفاده از این منحنی‌ها برای به دست آوردن مقادیر انحراف معیار مشکل است، از این رو مقادیر این منحنی‌ها با معادلات تجربی متناسب شدند. برای نمونه می‌توان به معادلات تجربی مارتین (۱۹۷۶)، بریگز (۱۹۷۲ و ۱۹۸۴) و زانتی (۱۹۹۰) اشاره کرد. چون اختلاف روش‌ها کم است و فراوانی استفاده از روش پاسکوئیل (۱۹۷۴) بیشتر از بقیه است، از این رو به توصیه USEPA (۱۹۹۵)، پژوهشگران بیشتر از روش پاسکوئیل-گیفورد استفاده می‌کنند. ضرایب انحراف معیار

افقی و قائم، از روش هاسکر-اسمیت با معادله‌های زیر تعریف شده‌اند (اسمیت، ۱۹۷۲ و هاسکر، ۱۹۷۳):

$$\sigma_z(z_0, x) = \begin{cases} G(x)F(z_0, x) & \text{if } G(x)F(z_0, x) < \sigma_z \max \\ \sigma_z \max & \text{if } G(x)F(z_0, x) \geq \sigma_z \max \end{cases} \quad (۲)$$

$$\sigma_y(x) = \frac{c_3 x}{\sqrt{1+0.0001x}} \quad (۳)$$

که در آن  $x$  فاصله و  $z_0$  طول زبری سطح بر حسب متر است و توابع  $G$  و  $F$  به صورت زیرند:

$$G(x) = \frac{a_1 x^{b_1}}{1+a_2 x^{b_2}} \quad (۴)$$

$$F(z_0, x) = \begin{cases} \ln[c_1 x^{d_1} \times (1.0 + c_2 x^{d_2})] & \text{if } z_0 \geq 0.1m \\ \ln[c_1 x^{d_1} / (1.0 + c_2 x^{d_2})] & \text{if } z_0 < 0.1m \end{cases} \quad (۵)$$

در معادله‌های فوق  $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, c_3, d_1, d_2$  ضرایب ثابتی هستند که در کلاس‌های مختلف پایداری و طول زبری سطوح مختلف مقادیر متفاوتی دارند. برای کلاس ناپایداری A مقادیر ثابت به صورت  $a_1 = 0.112$ ،  $a_2 = 0.000538$ ،  $b_1 = 1.06$ ،  $b_2 = 0.815$ ،  $c_1 = 2.72$  و  $c_3 = 0.22$

پژوهشگران برای محاسبه ارتفاع لایه آمیخته روابط متفاوتی ارائه کرده‌اند که تابعی از سرعت اصطکاکی، پارامتر کوریولیس و طول مونین-بوکف می‌باشد. چون داده‌های مناسب برای استفاده از این روابط در دسترس نبود، از این رو در محاسبه ارتفاع لایه آمیخته از روش هیفت (۱۹۸۰) استفاده شد. این روش بر اساس نیم‌رخ قائم دمای پتانسیلی در لایه وارونگی دما و شرایط زیر بنا شده است:

$$\frac{\delta\theta}{\delta z} > 0.005K m^{-1} \quad , \quad \theta_t - \theta_b > 2K \quad (7)$$

که در آن  $\theta$  دمای پتانسیلی و اندیس‌های  $t$  و  $b$  به ترتیب نشانگر سقف و کف لایه وارونگی هستند.

### ۳. اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

برج ۱۰۰ متری هواشناسی بوشهر در موقعیت پنجاهویک درجه طول جغرافیایی شرقی و بیست‌ونهم درجه عرض جغرافیایی شمالی در پانزده کیلومتری ایستگاه هواشناسی بوشهر ساحلی قرار دارد. این برج، سمت و سرعت باد در ارتفاع‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۱۰۰ متری، دما در ارتفاع‌های ۲، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۱۰۰ متری، نم نسبی در ارتفاع‌های ۲ و ۱۰۰ متری، فشار هوا و تابش خورشیدی را در روزهای مختلف سال ۲۰۱۶ با بازه زمانی ده دقیقه‌ای ثبت کرده است.

در این پژوهش، برای فصل زمستان ماه‌های دسامبر ۲۰۱۵ و ژانویه و فوریه سال ۲۰۱۶، برای بهار ماه‌های مارس، آوریل و می، برای تابستان ماه‌های جون، جولای و اگوست، برای پاییز ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر سال ۲۰۱۶ و برای سال ۲۰۱۶ نیز ماه‌های ژانویه تا دسامبر در نظر گرفته شده است. با شرایط ارائه شده در بندهای پیشین، مدل پخش گاوس، معادله (۱)، برای یک منبع نقطه‌ای فرضی در فضای باز غیر شهری، تنظیم و در محیط برنامه‌نویسی متلب کدنویسی شد. مراحل این تنظیم به صورت زیر است:

$d_2 = 0.0$ ،  $d_1 = 0.0$ ،  $c_2 = 0.0$  برای زبری سطح ۰/۱ متر، به صورت تعریف شده است. این مقادیر به عنوان ورودی به برنامه داده شد. در این پژوهش چون فاکتور پخش در روی خط مرکزی محاسبه شده است، لذا پس از ساده‌سازی معادله، جمله مربوط به انحراف معیار افقی از معادله مدل حذف شده است. بنابراین اگر چه عبارت  $\sigma_y(x)$  از معادله (۳) برآورد شده است ولی در محاسبات پخش منظور نشده است.

### ۲-۲. برآورد ارتفاع خیزش پلوم

بیشتر روش‌های تحلیلی برای برآورد چگالی خروجی از منابع نقطه‌ای، یک منبع مجازی را در نظر می‌گیرند. ارتفاع مؤثر منبع مجازی، از مجموع ارتفاع فیزیکی دودکش ( $h_s$ ) و ارتفاع خیزش پلوم ( $\delta h$ ) به دست می‌آید:

$$H = h_s + \delta h \quad (6)$$

روش‌های زیادی برای محاسبه ارتفاع خیزش پلوم وجود دارد که تابع شرایط فیزیکی دودکش، شرایط جوی و ماهیت فیزیکی و شیمیایی خروجی است. در روش بریگز برای تخمین ارتفاع خیزش پلوم، ابتدا فراسنج‌های شار شناوری و شار تکانه محاسبه می‌شود تا معلوم شود که خیزش پلوم در اثر کدام عامل ایجاد شده است. در ادامه برای محاسبه ارتفاع خیزش پلوم در کلاس‌های ناپایداری و خنثی، از اختلاف دمای محیط و مقطعی و برای کلاس‌های پایداری از پارامتر پایداری ایستایی استفاده می‌شود. این روش به سبب استفاده از فراسنج‌های شار شناوری و شار تکانه توسط محققین پیشنهاد شده است (بریگز، ۱۹۸۴).

### ۲-۳. برآورد ارتفاع لایه آمیخته

آلاینده‌ها در لایه‌های زیرین جو، عمدتاً در اثر اختلاط همرفتی و تلاطم پخش می‌شود بنابراین ارتفاع لایه آمیخته یکی از عناصر مؤثر در پخش آلاینده‌های جوی است.

$$U_{100} = U_{40} \left( \frac{100}{40} \right)^\alpha \quad (۸)$$

#### ۴- بحث

بررسی میدان باد در ارتفاع ۱۰۰ متری برج هواشناسی بوشهر نشان می‌دهد که در بهار فراوانی باد شمال‌غربی ۱۹/۵ درصد، شمال-شمال‌غربی ۱۵/۱ درصد، شمالی ۱۱/۴ درصد و فراوانی باد شمال-شمال‌شرقی ۱۰/۴ درصد است. در تابستان فراوانی باد شمال-شمال‌غربی ۱۵/۶ درصد و فراوانی باد شمال‌غربی ۱۵/۳ درصد است. در پاییز فراوانی باد شمالی ۱۷/۴ درصد، شمال‌غربی ۱۴/۵ درصد، شمال-شمال‌غربی ۱۴/۵ درصد و فراوانی باد شمال-شمال‌شرقی ۱۲/۳ درصد است. در زمستان فراوانی باد شمالی ۳۱/۶ درصد، شمال-شمال‌غربی ۱۷/۲ درصد و فراوانی باد شمال-شمال‌شرقی ۱۵/۶ درصد است. در سال ۲۰۱۶، فراوانی باد شمالی ۱۸/۳ درصد، شمال-شمال‌غربی ۱۵/۴ درصد، شمال‌غربی ۱۳/۳ درصد و فراوانی باد شمال-شمال‌شرقی ۱۱/۰ درصد است. خلاصه این مقادیر در جدول ۴ آورده شده است. این شرایط به صورت گلباد فصلی و سالانه در شکل ۱ آورده شده است. در ادامه ضریب نرمال‌شده کلاس‌های ناپایداری محاسبه شد. بررسی این مقادیر نشان داد که ۲۴ درصد مقادیر ضریب نرمال‌شده در کلاس‌های ناپایداری، ۴۵ درصد در کلاس خنثی و ۳۱ درصد در کلاس‌های پایداری قرار گرفته است. پس از محاسبه کلاس‌های پایداری شش‌گانه بر اساس تابش خورشیدی و گرادیان قائم دما و تحلیل فراوانی این کلاس‌ها دیده شد که بیشترین فراوانی به کلاس ناپایداری متوسط و کمترین فراوانی به کلاس ناپایداری خیلی شدید مربوط می‌شود. همچنین دیده می‌شود که در سال ۲۰۱۶، فراوانی کلاس‌های ناپایداری، ۴۵/۰ درصد، کلاس خنثی ۲۳/۶ درصد و فراوانی کلاس‌های پایداری ۲۱/۴ درصد است.

۱- به‌دست آوردن مقادیر میانگین روزانه، ماهانه و سالانه میدان باد ارتفاع‌های ۱۰ تا ۱۰۰ متری برج هواشناسی بوشهر در روزهای مختلف سال ۲۰۱۶ و دسامبر ۲۰۱۵.

۲- محاسبه میانگین حاصل‌ضرب سرعت باد متوسط دسته‌بندی‌شده در ضریب نرمال‌شده کلاس‌های ناپایداری.

۳- تعیین طول زبری سطح بر اساس جهت‌های شانزده‌گانه باد.

۴- محاسبه گرادیان قائم دما با به‌کارگیری داده‌های تابش خورشیدی و دما در ترازهای مختلف برج هواشناسی.

۵- محاسبه کلاس‌های پایداری روزانه و شبانه (جدول ۱) با استفاده از گرادیان قائم دما و سرعت باد.

۶- برآورد انحراف معیار قائم بر اساس معادله‌های هاسکر-اسمیت و طول زبری سطح تا فاصله ده کیلومتری از منبع.

۷- به‌دست آوردن ارتفاع خیزش پلوم بر اساس کارنمای بریگز و استفاده از قطر داخلی دودکش، سرعت گاز خروجی و دمای آن مطابق مقادیر فرضی ارائه‌شده در جدول ۲ در کلاس‌های مختلف پایداری.

۸- برآورد میانگین طول لایه آمیخته در کلاس‌های شش‌گانه پایداری بر اساس شرایط ذکرشده در رابطه (۷) و استفاده از داده‌های جو بالای ایستگاه کویت (نزدیک‌ترین ایستگاه جو بالا به برج هواشناسی بوشهر با دارا بودن داده‌های بلندمدت) در دوره آماری ۲۰۱۷-۲۰۰۰. این مقادیر که به‌عنوان ورودی به برنامه داده می‌شود، در جدول ۳ آورده شده است.

۹- تعیین ضریب توانی آلفا از رابطه (۸) با در نظر گرفتن سرعت باد در ارتفاع‌های ۴۰ و ۱۰۰ متری برج هواشناسی بوشهر و برآورد سرعت باد در ارتفاع مؤثر دودکش،  $U_H$

جدول ۲. ضرایب ثابت ورودی کارنمای بریگز.

ارتفاع فیزیکی منبع (متر)	قطر داخلی منبع (متر)	سرعت گازهای خروجی (متر بر ثانیه)	دمای گازهای خروجی (کلوین)	میانگین دمای محیط (کلوین)
۱۰۰	۴/۶	۷/۶	۴۰۵	۳۰۰

جدول ۳. میانگین ارتفاع لایه آمیخته (متر) بر اساس داده‌های ایستگاه جو بالای کویت در دوره آماری ۲۰۱۷-۲۰۰۰.

F	E	D	C	B	A	کلاس‌های پایداری پاسکونیل-گیفورد
۲۴۲	۲۷۴	۱۲۲۵	۱۲۸۴	۱۳۶۷	۱۳۸۴	ارتفاع لایه آمیخته (متر)

جدول ۴. فراوانی باد در فصل‌های مختلف در ارتفاع ۱۰۰ متری برج بوشهر در سال ۲۰۱۶.

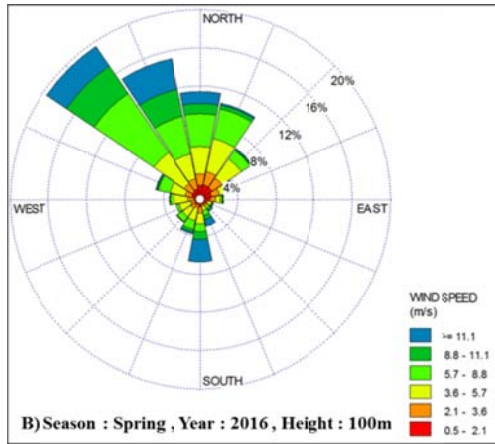
فصل	باد مؤثر					
	جهت	فراوانی (درصد)	جهت	فراوانی (درصد)	جهت	فراوانی (درصد)
بهار	شمال غربی	۱۹/۵	شمال-شمال غربی	۱۵/۱	شمالی	۱۱/۴
تابستان	شمال-شمال غربی	۱۵/۶	شمال غربی	۱۵/۳	-	-
پاییز	شمالی	۱۷/۴	شمال غربی	۱۴/۵	شمال-شمال غربی	۱۴/۵
زمستان	شمالی	۳۱/۶	شمال-شمال غربی	۱۷/۲	شمال-شمال شرقی	۱۵/۶
سالانه	شمالی	۱۸/۳	شمال-شمال غربی	۱۵/۴	شمال غربی	۱۳/۳

را برای کلاس‌های مختلف پایداری نشان می‌دهد. دیده می‌شود که این کمیت تابع فاصله از منبع است. با افزایش فاصله، این مقدار در کلاس‌های مختلف پایداری تغییر می‌کند. در فاصله حدود ده کیلومتری، کمترین مقدار تغییرات به کلاس پایداری متوسط و بیشترین مقدار آن به کلاس ناپایداری خیلی شدید اختصاص دارد.

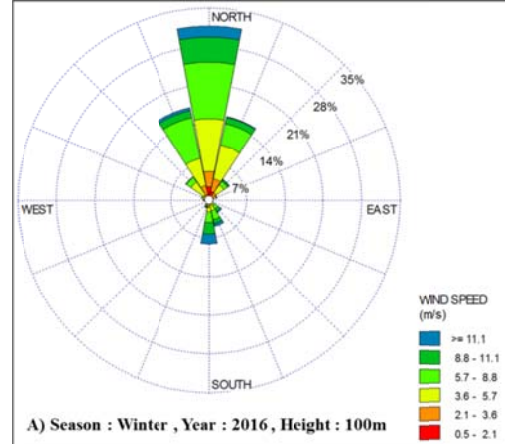
شکل ۴ مقادیر انحراف معیار قائم با روش هاسکر-اسمیت در یک کلاس طول زبری برای کلاس‌های مختلف پایداری را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که برای باد شمالی با در نظر گرفتن طول زبری بیشتر (برای خشکی)، انحراف معیار قائم مقادیر بیشتری نسبت به باد جنوبی دارد که در آن طول زبری سطح کمتری در نظر گرفته شده است. این کمیت نیز مانند انحراف معیار افقی با افزایش فاصله در کلاس‌های مختلف پایداری تغییر می‌کند. در هر دو شکل دیده می‌شود که در فاصله حدود ده کیلومتری، کمترین مقدار تغییرات به کلاس پایداری متوسط و بیشترین مقدار آن به کلاس ناپایداری خیلی شدید اختصاص دارد.

روش‌های مختلفی برای محاسبه انحراف معیار افقی و قائم وجود دارند که در محاسبه هر کدام تقریب‌های مختلفی به کار برده شده است. این روش‌ها در محاسبه انحراف معیار افقی در همه کلاس‌ها، تفاوت زیادی با هم ندارند ولی در محاسبه انحراف معیار قائم تفاوت‌هایی وجود دارد. در این پژوهش این روش‌ها با هم مقایسه نمی‌شود تا برتری یکی بر دیگری تعیین شود. ولی برای معرفی روش هاسکر-اسمیت، فقط این روش با بقیه روش‌ها به طور کیفی مقایسه می‌شود. شکل ۲ انحراف معیار قائم در کلاس‌های مختلف ناپایداری و پایداری که با روش‌های مختلف برآورد شده است را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که اختلاف روش هاسکر اسمیت در همه کلاس‌ها نسبت به دیگر روش‌ها معنی‌دار است. روش هاسکر-اسمیت در کلاس خیلی ناپایدار مشابه روش بریگز است و با فاصله از منبع آلاینده، مقدار آن به نرمی افزایش می‌یابد. در این روش مقادیر در کلاس‌های پایداری نیز بیش از دیگر روش‌ها است.

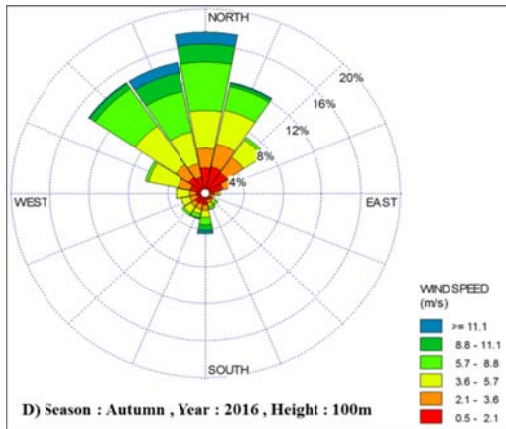
شکل ۳ مقادیر انحراف معیار افقی با روش هاسکر-اسمیت



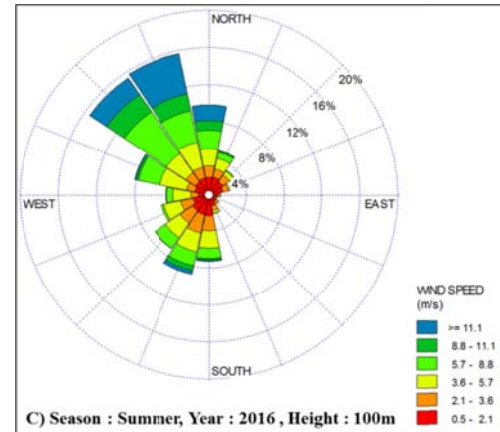
(ب)



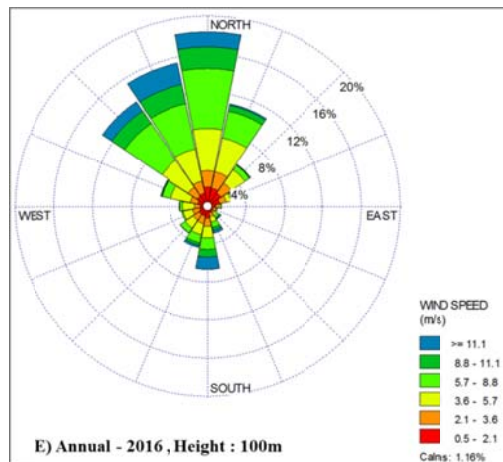
(الف)



(د)



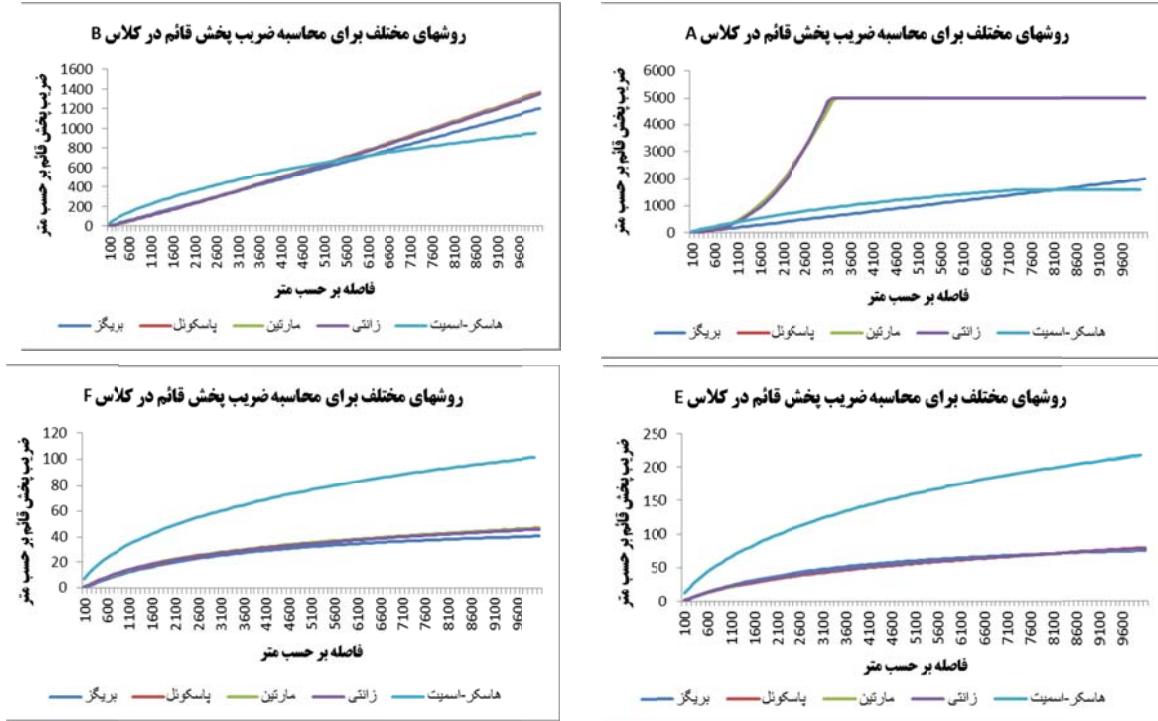
(ج)



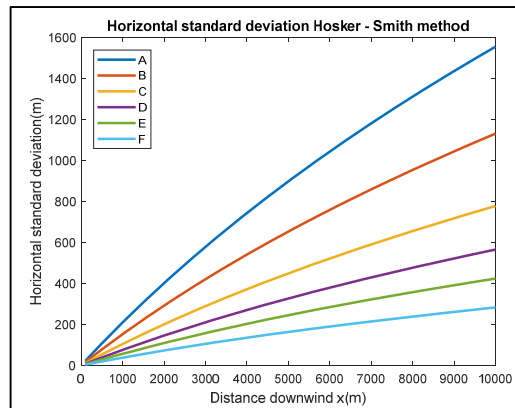
(ه)

شکل ۱. گلباد فصلی و سالانه برج هواشناسی بوشهر در ارتفاع ۱۰۰ متری در سال ۲۰۱۶. (الف) زمستان، (ب) بهار، (ج) تابستان، (د) پاییز و (ه) سالانه.

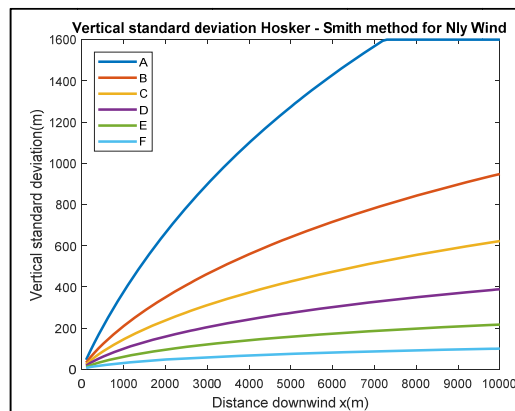




شکل ۲. روش‌های مختلف برآورد انحراف قائم در کلاس‌های مختلف پایداری.



شکل ۳. مقادیر انحراف معیار افقی (متر) بر اساس روابط هاسکر-اسمیت برای کلاس‌های مختلف پایداری.

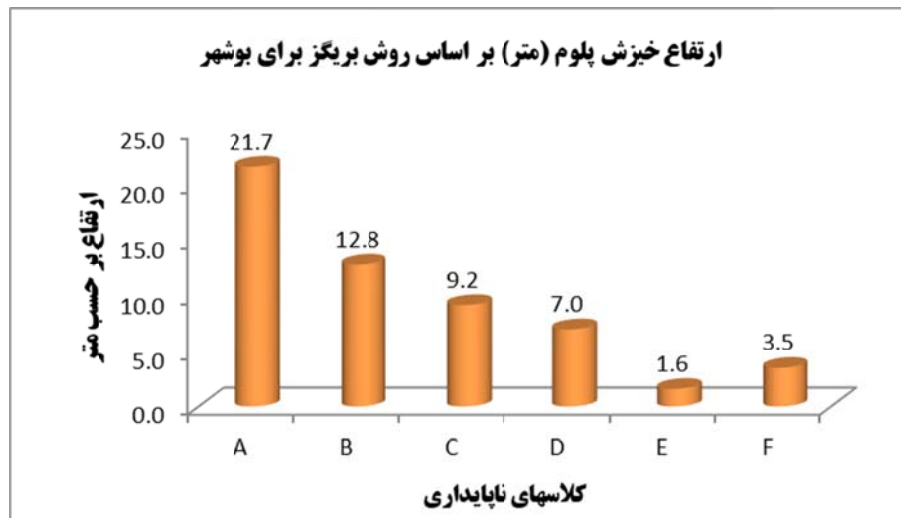


شکل ۴. مقادیر انحراف معیار قائم (متر) برای باد با جهت شمالی، بر اساس روابط هاسکر-اسمیت برای کلاس‌های مختلف پایداری.

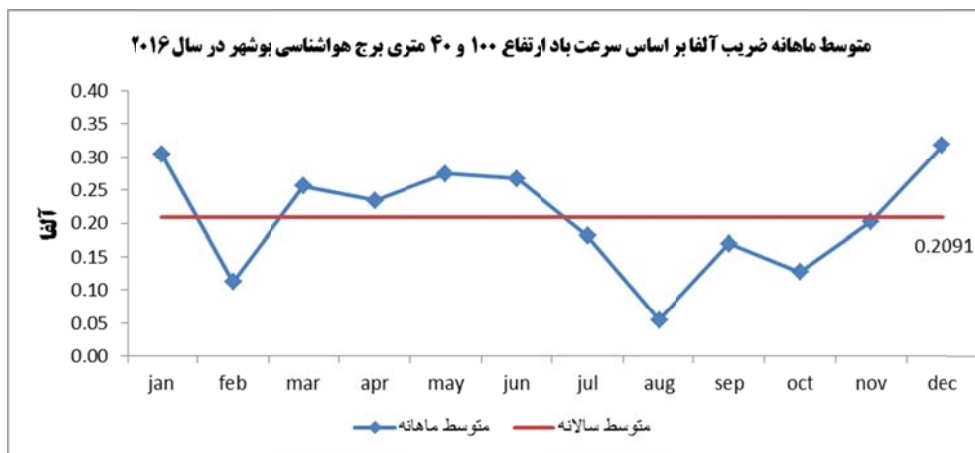
می‌دهد. دیده می‌شود که متوسط سالانه این ضریب ۰/۲۰۹۱ است و تغییرات متوسط ماهانه آن در اطراف این مقدار نوسان می‌کند. کمترین مقدار متوسط ماهانه به آگوست و فوریه و بیشترین مقدار آن نیز به دسامبر و ژانویه اختصاص دارد.

شکل ۷ الگوی توزیع فاکتور پخش که معرف پخش در بلندمدت است را به‌طور فصلی و سالانه بر اساس مدل گاوس نشان می‌دهد. خطوط هم‌مقدار این کمیت در فصل‌های مختلف با بازه پنج واحدی رسم شده است. مقدار اولیه برای رسم هم‌مقدارها سه واحد می‌باشد.

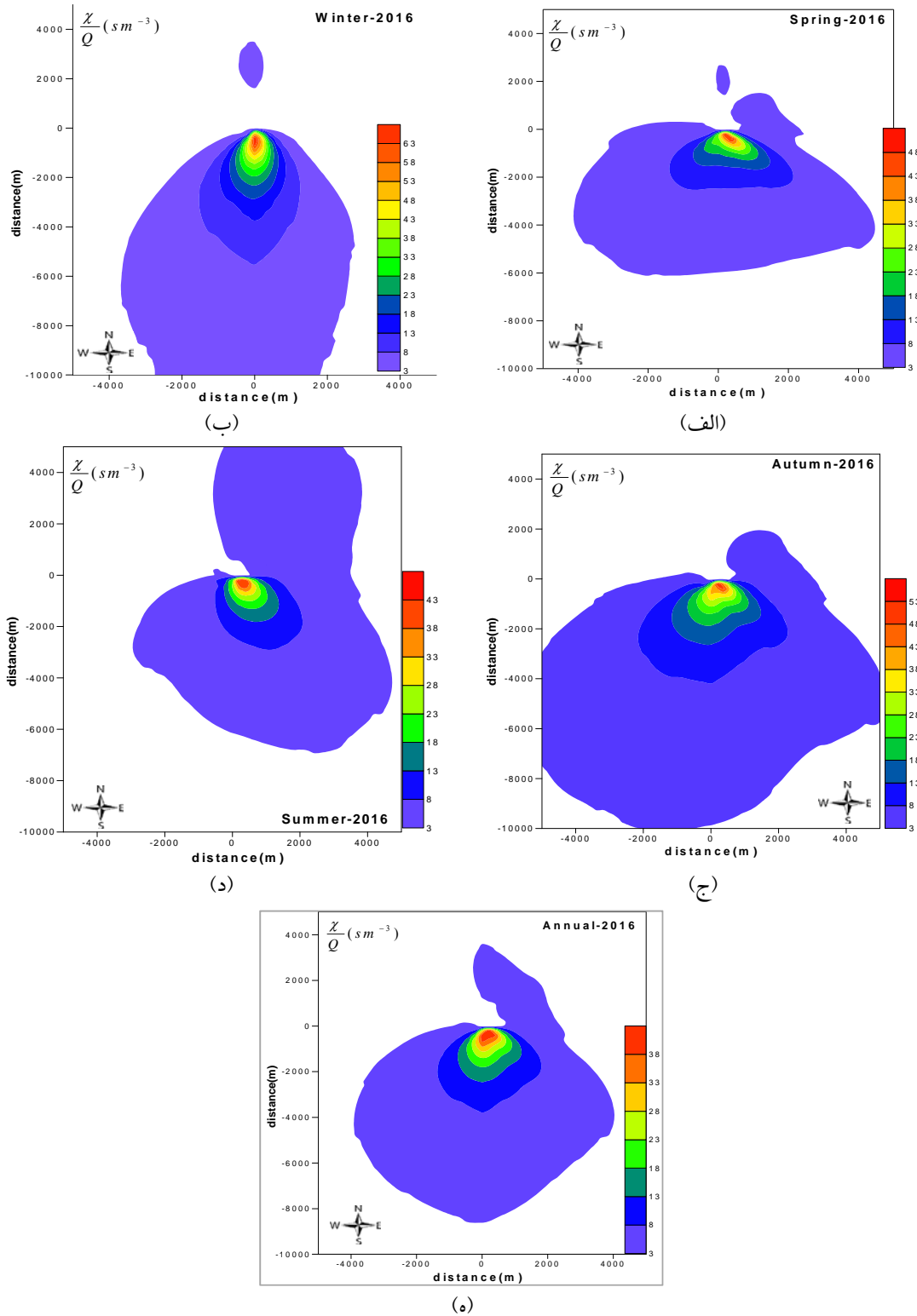
شکل ۵ ارتفاع خیزش پلوم بر اساس الگوریتم بریگز و مقادیر فرضی ارائه‌شده در بندهای پیشین، برای کلاس‌های ناپایداری و پایداری نشان داده شده است. فراسنج شار تکانه ۲۲۶/۳۳۴ و فراسنج شار شناوری ۱۳۸/۰۴۰ واحد ( $m^4/s^{-3}$ ) محاسبه شده است. دیده می‌شود که بیشترین ارتفاع خیزش پلوم برای کلاس خیلی ناپایدار و کمترین ارتفاع برای کلاس پایداری ضعیف به‌دست آمده است. شکل ۶ مقادیر ماهانه و سالانه ضریب توانی که برای محاسبه سرعت باد در امتداد منبع مجازی مورد نیاز است را نشان



شکل ۵. ارتفاع خیزش پلوم برای کلاس‌های مختلف بر اساس روش بریگز.



شکل ۶. تغییرات متوسط ماهانه ضریب توانی بر اساس سرعت باد ارتفاع‌های ۴۰ و ۱۰۰ متری.



شکل ۷. نحوه پخش آلاینده‌ها از منبع نقطه‌ای در فصول الف) زمستان، ب) بهار، ج) پاییز، د) تابستان و ه) نحوه پخش آلاینده‌ها با داده‌های سالانه. فاصله هم‌مقدارها پنج واحد است.

این شکل نشان می‌دهد که جهت غالب آلاینده‌های فرضی در زمستان به سوی جنوب، در بهار، به سوی جنوب شرق، در تابستان به سوی جنوب شرق و شمال و در فصل پاییز به سوی جنوب شرق، جنوب و جنوب غرب و سالانه به سوی جنوب و جنوب شرق می‌باشد. این نتایج در جدول‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. مقادیر بیشینه این کمیت در بهار، تابستان و پاییز در راستاهای ذکر شده تا فاصله دو کیلومتری از منبع گسترش می‌یابد ولی در زمستان این هسته فاصله سه کیلومتری از منبع را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. هسته بیشینه سالانه نیز تا بیش از دو کیلومتر از منبع گسترش نمی‌یابد. در جدول ۷ مقادیر بیشینه فاکتور پخش در جهت غالب برای فصل‌های

مختلف نسبت به فاصله از منبع آلاینده نشان داده شده است. از این جدول دیده می‌شود که مقدار بیشینه فاکتور پخش در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و به صورت سالانه در شعاع ۵۰۰ متری از منبع فرضی برآورد شده است ولی در زمستان این فاصله به ۶۰۰ متر افزایش می‌یابد. این شرایط در اثر افزایش تضاد دمای بین خشکی و دریا و افزایش سرعت باد ۱۰۰ متری می‌توان رخ داده باشد. شایان ذکر است که نتایج به دست آمده از خروجی مدل پخش گاوس با روش هاسکر-اسمیت، با داده‌های تجربی مقایسه نشده است و فقط بر اساس داده‌های باد ۱۰۰ متری برج بوشهر و نتایج پژوهش‌های پیشین راستی آزمایی شده است.

جدول ۵. جهت غالب پخش آلاینده‌های فرضی در فصول مختلف سال ۲۰۱۶ در بوشهر.

فصل	جهت پخش آلاینده‌های فرضی
بهار	جنوب شرق
تابستان	جنوب شرق
پاییز	جنوب شرق
زمستان	جنوب
سالانه	جنوب شرق،

جدول ۶. بیشترین مقدار فاکتور پخش ( $10^{-8} \text{ sm}^{-3}$ ) در جهت‌های مختلف برای فصول مختلف سال ۲۰۱۶ در بوشهر.

جهت	بیشترین مقدار فاکتور پخش ( $10^{-8} \text{ sm}^{-3}$ ) در جهت‌های مختلف برای فصول مختلف				
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
N	۲/۳	۳/۸	۱/۶	۲/۵	۲/۶
NNE	۲/۰	۴/۶	۲/۰	۰/۹	۲/۴
NE	۲/۶	۴/۷	۲/۸	۰/۷	۲/۷
ENE	۲/۶	۵/۰	۳/۱	۰/۶	۲/۸
E	۲/۹	۶/۶	۳/۹	۰/۹	۳/۰
ESE	۱۴/۸	۲۷/۳	۲۵/۹	۵/۸	۱۸/۴
SE	۳۹/۷	۳۱/۱	۳۶/۸	۱۷/۹	۳۰/۶
SSE	۲۶/۶	۲۴/۰	۲۶/۴	۳۶/۳	۲۸/۲
S	۱۸/۶	۱۵/۹	۲۵/۶	۴۷/۷	۲۸/۸
SSW	۱۶/۸	۱۳/۶	۱۷/۳	۲۲/۷	۱۷/۲
SW	۷/۹	۶/۹	۱۰/۶	۶/۱	۷/۳
WSW	۴/۲	۹/۳	۶/۱	۲/۰	۴/۶
W	۳/۶	۳/۲	۳/۲	۱/۲	۲/۸
WNW	۳/۷	۳/۰	۲/۴	۱/۳	۲/۵
NW	۰/۸	۱/۰	۱/۰	۰/۸	۰/۷
NNW	۰/۹	۱/۲	۰/۸	۱/۵	۱/۰

جدول ۷. بیشترین مقادیر سالانه فاکتور پخش ( $10^{-8} \text{ sm}^{-3}$ ) در پایین‌دست منبع فرضی در جهت‌های مختلف.

X(m)	جنوب شرق	جنوب	جنوب شرق	جنوب شرق	جنوب شرق	جهت غالب
	سالانه	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	فصل
۵۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
۱۰۰	۰/۵	۱/۰	۳/۰	۰/۷	۰/۶	۰/۶
۲۰۰	۱۳/۰	۱۹/۴	۱۳/۳	۱۴/۱	۱۵/۰	۱۵/۰
۳۰۰	۲۴/۷	۳۴/۴	۲۸/۷	۲۴/۷	۳۰/۳	۳۰/۳
۴۰۰	۲۹/۹	۴۳/۳	۳۵/۶	۲۹/۸	۳۸/۱	۳۸/۱
۵۰۰	۳۰/۶	۴۷/۰	۳۶/۸	۳۱/۱	۳۹/۷	۳۹/۷
۶۰۰	۲۹/۲	۴۷/۷	۳۵/۲	۳۰/۲	۳۸/۳	۳۸/۳
۷۰۰	۲۷/۱	۴۶/۹	۳۲/۷	۲۸/۴	۳۵/۶	۳۵/۶
۸۰۰	۲۴/۷	۴۵/۳	۲۹/۹	۲۶/۲	۳۲/۷	۳۲/۷
۹۰۰	۲۲/۵	۴۳/۳	۲۷/۲	۲۴/۱	۲۹/۸	۲۹/۸
۱۰۰۰	۲۰/۵	۴۱/۳	۲۴/۸	۲۲/۱	۲۷/۲	۲۷/۲

## ۵. نتیجه‌گیری

نسیم دریا به خشکی، آلودگی فرضی در راستای شمال نیز پخش می‌شود. این نتایج در شکل ۷ به خوبی نشان داده شده است. این شکل‌ها به عنوان نتایج موردی این پژوهش، ارائه شده است.

از بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل برای داده‌های سال ۲۰۱۶، دیده شد که در برج هواشناسی بوشهر در زمستان، آلاینده‌های فرضی از شمال به سوی جنوب برج پخش می‌شوند در حالی که پخش در تابستان از شمال غرب به سوی جنوب شرق و همچنین از جنوب به شمال برج است. این تفاوت می‌تواند به سبب قوی بودن نسیم دریا به خشکی در تابستان و ضعیف بودن آن در زمستان سال فوق باشد. قسمتی از آلاینده‌های فرضی نیز به دلیل وجود مؤلفه جنوبی باد سالانه، به سوی شمال پخش می‌شود.

بررسی روش‌های برآورد ضرایب مدل گوس نشان داد که روابط هاسکر-اسمیت با در نظر گرفتن طول زبری سطح برای منابع نقطه‌ای که فاقد داده‌های سرعت باد اصطکاکی و طول مونیون-ابکوف هستند، روش مناسبی است. زیرا استفاده روابط هاسکر-اسمیت به کاربر امکان می‌دهد که بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، توان پخش آلاینده‌های فرضی را در نقاط مختلف برآورد کند. از آنجایی که وارونگی شدید دما در افزایش آلاینده‌ها و

از بررسی نتایج به دست آمده و هماهنگی نتایج با گلبادهای فصلی برج ۱۰۰ متری بوشهر، دیده می‌شود که مدل ساده شده گوسی چگونگی پخش آلاینده‌ها را به خوبی نشان می‌دهد به طوری که جهت باد غالب سالانه بوشهر شمالی است و آلاینده‌ها نیز در این فصل می‌توانند در جهت باد غالب به سوی جنوب پخش شوند. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های پیشین مانند مرادی و همکاران (۱۳۹۱) و فیضی‌نژاد و خاموشی (۱۳۸۳) هماهنگ است ولی با نتایج کاویانی و همکاران (۱۳۹۶) کمی تفاوت دارد. در دو پژوهش اول، نشان داده شد که آلاینده‌های فرضی می‌توانند در جهت باد غالب پخش شوند و هر چه از منبع تولید فاصله بگیرند، از غلظت آنها کاسته می‌شود. در پژوهش حاضر نیز دیده شد که آلاینده‌های فرضی در بوشهر در جهت وزش باد غالب توان جابه‌جاشدن را دارند و مقادیر بیشینه آلودگی در اطراف منبع تولید قرار دارد و هر چه از منبع فاصله گرفته شود، مقادیر کاهش می‌یابد. کاویانی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که جهت پخش مواد هسته‌ای فرضی در بوشهر در اول تیر و اول مهر در جهت جنوب شرق است در حالی که در این پژوهش دیده شد که در فصول مختلف به ویژه در تابستان، به سبب وجود

برای نیروگاه بوشهر، م. ژئوفیزیک ایران، ۱۲(۱)، ۵۰-۱۹.

کاویانی، ف.، معماریان، م.ح.، و اسلامی کلانتری، م.، ۱۳۹۶، شبیه‌سازی انتقال، پخش جوی و نهشت آلاینده‌های هسته‌ای رها شده از یک حادثه فرضی در نیروگاه بوشهر، م. فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۳)، ۶۵۰-۶۳۵.

مرادی، م.، رضازاده، پ. و رنجبر سعادت آبادی، ع.، ۱۳۹۱، بررسی الگوی انتشار آلاینده‌ها در نقاط فرضی تهران به کمک مدل گوسی، نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی، ۳(۱۰)، ۸۹-۱۰۳.

ملکوتی، ح.، محمدیها، ا.، و فیضی‌نژاد، م.، ۱۳۹۵، شبیه‌سازی عددی سالانه پخش جوی رادیو نکلوتیدها و طراحی شبکه پایش بهینه در واحد یکم نیروگاه بوشهر، م. محیط شناسی، ۴۲(۳)، ۴۸۷-۴۷۵.

- Briggs, G. A., 1972, Discussion on chimney plumes in neutral and stable surroundings. Atmospheric Environment, 6, 507-510.
- Briggs, G. A., 1984, Plume Rise and Buoyancy Effects. Chapter 8 in Atmospheric Science and Power Production. Publication no. DOE/TIC-27601, U.S. Dept. of Energy, Washington, D.C.
- Carbon, B., 2004, Good practice guide for atmospheric dispersion modeling. Ministry for the Environment press, New Zealand, pp 152.
- USEPA, 1977, Improvements to single-source model. Volume II: Testing and evaluation of model improvement, EPA-450/3-77-003b. US Environmental Protection Agency: North Carolina.
- USEPA, 1985, User's Guide for the Industrial Source Complex Dispersion Models, Volume II Description of Model Algorithms. EPA-454/B-95-003b. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- USEPA, 1995, Quality assurance handbook for air pollution measurement systems. Vol. IV, Meteorological Measurements. EPA/600/R-94/038d, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- USEPA, 2000, Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. United States Office of Air Quality EPA-454/R-99-005 Environmental Protection Planning and Standards Agency Research Triangle Park, NC 27711 February

ایجاد شرایط بحرانی آلودگی هوا در کلان شهرها نقش مهمی دارد، از این رو الگوریتم هیفتر برای تعیین ارتفاع لایه آمیخته در کلاس‌های پایداری به سبب در نظر گرفتن لایه وارونگی دما و نیم‌رخ قائم دمای پتانسیل در این لایه، یکی از ساده‌ترین و مناسب‌ترین روش‌های محاسبه ارتفاع لایه آمیخته است که از داده‌های ایستگاه‌های کاوش جو استفاده می‌کند.

## مراجع

- فیضی‌نژاد، م.، و خاموشی، س.، ۱۳۸۳، مدلسازی پخش جوی در نیروگاه هسته‌ای بوشهر، م. علوم و فنون، ۳۱، ۳۵-۴۲.
- فیضی‌نژاد، م.، ملکوتی، ح.، صدری نسب، م.، قادر، س.، و یازجی، د.، ۱۳۹۷، شبیه‌سازی پاشش جوی و ارزیابی دُز با کاربست مدل جفت‌شده WRF-HYSPLIT 2000.
- Heffter, J. L., 1980, Transport layer depth calculations. Second Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology, New Orleans, LA (1980).
- Hosker, R.P., 1973, Estimates of dry deposition and plume depletion over forests and grasslands, in Physical Behavior or Radioactive Contaminants in the Atmosphere Symposium Proceedings, Vienna, International Atomic Energy Agency, Vienna, 291-308.
- Pasquill, F., 1961, The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. Meteorol. Mag. 90, 34-49.
- Pasquill, F., 1974, Atmospheric Diffusion. Ellis Horwood Limited, Chichester. ISBN 0 85312 015 3.
- Sugiyama, G., Gowardhan, A., Simpson, M. and Nasstrom, J., 2014, Deposition velocity methods for DOE site safety analyses. U.S. Department of Energy by Lawrence Livermore National Laboratory.
- Turner, D. B., 1969, Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. Publication no. 999-AP-26, U.S. Department of Health, Education and Welfare.
- Turner, D. B., 1979, Atmospheric Dispersion Modeling: A Critical Review. J. Air Poll. Control Assoc. 29, 502-519.
- Turner, D. B., 1994, Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An Introduction to Dispersion Modeling. 2nd Ed. CRC Press, London. ISBN 1 56670 023 X.

- Martin, D. O., 1976, Comment on "The Change of Concentration Standard Deviation with Distance", J. Air Pollut. Control Assoc ., 26:145-147.
- Smith, F. B., 1972, A scheme for estimating the vertical dispersion of a plume from a source near ground level, in procs. Third Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modelling, NATO-CCMS-14, NATO, Brusselse.
- Zannetti, P., 1990, Air pollution modeling, theories, computational methods and available software, New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1990.

## A case study on air pollution diffusion using data from the Bushehr meteorology tower

Moradi, M.<sup>1\*</sup>, Ranjbar Saadat Abadi, A.<sup>1, 2</sup> and Rezazadeh, P.<sup>2</sup>

1. Associate Professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

2. Forecasting adviser, Iran Meteorological Organization, Tehran, Iran

(Received: 9 Oct 2019, Accepted: 21 Jan 2020)

### Summary

A serious problem which threatens life in metropolises is air pollution released in boundary layers in local and regional scales due to human activities. Pollutants accumulate in specific meteorology conditions in cities. Air stagnation, temperature inversion, cold air damming, topography, mountain and valley winds, urban buildings wakes and atmospheric stability are meteorological factors. These conditions are recorded in most air pollution episodes in the world. Many researchers have used Gaussian distribution model for analyzing the manner of pollutants distribution in long term. In these works not only Gaussian model for distribution and deposition has been analyzed but the meteorological conditions for running the model and estimation of coefficients of model have also been analyzed.

In this article the potential air pollution in Bushehr city is studied by the Gaussian diffusion model to calculate the horizontal and vertical standard deviations of the model outputs, using the Hosker-Smith formula. The plume rise height is calculated by Briggs method and the height of the mixed layer by the Heffter algorithm. For the model run we used 2016 archived data from the 100m height Bushehr meteorology tower. In this research for winter the months of December of 2015, January and February of 2016 are considered, for spring, March, April and May, for summer June, July and August and for fall, September, October and November are considered. The annual covers from January to December of 2016.

Regarding the presented conditions, Gaussian distribution model run for a hypothetical point source in open rural area. The process is as following:

- 1- Data of direction and speed of wind in height of 10 to 100 meters are analyzed in different days of 2016 and December of 2015 and after omitting doubtful data, the average values of daily, monthly, seasonal and annual wind field are extracted.
- 2- These data were used in calculation of average value of multiplying classified wind speed by normalized coefficient instability classes.
- 3- Data of radiation and temperature in different levels of meteorology tower are analyzed and after omitting the noises and attaining adequate accuracy, vertical gradient of temperature was calculated and regarding the wind speed, the stability classes for day and night were calculated.
- 4- Vertical and horizontal standard deviations were calculated based on Hosker-Smith equations.
- 5- Height of plume rise was calculated for estimating effective height by using chimney inner diameter, gas discharging velocity and its temperature in different stability classes according to Briggs method.
- 6- Mean length of mixed layer was calculated by using long term data of nearest upper air station to Bushehr meteorology tower.

Analysis of wind field at the height of 100 meters of Bushehr meteorology tower showed that in spring the abundance of northwesterly wind is 19.5%, north wind 11.4% and northeasterly wind is 10.4%. In summer abundance of north- northwesterly wind is 15.6% and northwesterly wind is 15.3%. In fall the abundance of northerly wind is 17.4%, northwesterly 14.5%, north- northwesterly 14.5% and north-northeasterly wind is 12.3%. In winter abundance of northerly wind is 31.6%, north- northwesterly 17.2% and north-northeasterly is 15.6%. The annual abundance in 2016 of northerly wind is 18.3% and north-northeasterly wind is 11%.

The vertical and horizontal standard deviations are estimated in different stability and instability classes. Calculating the horizontal standard deviation by different methods in all classes, does not make significant difference is. Calculation of vertical standard deviation by Hosker-Smith method has a significant difference in all classes. It is very similar to Briggs method in very severe instability classes and by increasing the distant from pollutant source, its quantity slightly increases. In stability classes, this method gives higher values in comparison with the others.

The model results show that hypothetical pollutants distribute in winter toward south, in spring southeast and Southwest, in summer to southeast and north and in fall to southeast, south and southwest. The annual distribution is toward south and southeast. The maximum values of this quantity in spring, summer and fall spread up to 2km along the mentioned directions but the maxima in summer spreads up to 3km from the source. Annual maxima do not extend more than 2 km from the source.

Analyzing the results and adjusting them with the results of 100-meter meteorological tower seasonal wind rose, results show that, how perfectly simplified Gaussian model depicts the manner of pollutants distribution. The model results indicate that the hypothetical pollution dispersion in winter time around the Bushehr meteorology tower is toward south, while in summer the dominant dispersion is toward southeast and north. The difference in dispersion direction between summer and winter is due to stronger sea breeze in summer. Some northward emission may exist due to southerly winds in the annual wind regime.

**Keywords:** Bushehr meteorological tower, Gaussian diffusion model, Hosker-Smith formula, Heffter algorithm.

\* Corresponding author:

moradim36@gmail.com