



تحلیل آماری نیروی ناشی از باد

محراب اکرانبیری^۱، احسان جهانی^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴
بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۰۱
پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۸
ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸

کلمات کلیدی:

توزیع سرعت باد،
تابع چگالی احتمال،
فشار مبنای باد،
تابع ویبل.

خلاصه: در این مطالعه در ابتدا سرعت بیشینه باد به ازای دوره‌های بازگشت مختلف در شهرستان‌های رامسر، نوشهر، قائمشهر و بابلسر بررسی شده است. برای این کار داده‌های مربوط به بیشینه سرعت سالانه باد در این شهرستان‌ها از سال ۱۳۷۳ تا سال ۱۳۹۷ هجری شمسی جمع‌آوری شده است. برای محاسبه‌ی حداکثر سرعت باد از توزیع حدی نوع اول استفاده شده است. همچنین سعی شده است تا توزیع احتمال سرعت باد برای شهرستان‌های مورد نظر با توجه به توابع مختلف بررسی شود. برای این منظور، از توابع مختلف مانند تابع نرمال، تابع ویبل، تابع لگ نرمال، تابع گامبل ماکس و تابع گاما استفاده شده است. مشاهدات نشان داده شده است که سرعت بیشینه باد و همچنین فشار مبنای باد برای شهرستان‌های رامسر، نوشهر و قائمشهر عددی بزرگتر از میحث ششم مقررات ملی بدست آمده است. هرچند این مقادیر برای شهر بابلسر عددی کمتر از اعداد آیین‌نامه بدست آمده است. متأسفانه نتایج نشان داد طراحی‌های انجام شده بر اساس مبحث شش برای شهرستان‌های رامسر، نوشهر و قائمشهر در برابر سرعت باد ایمن نخواهد بود. همچنین به نظر می‌رسد این تحقیقات باید بر اساس مابقی شهرها انجام گیرد تا مقادیری معتبر و درست برای آن شهرها نیز به دست آید. به علاوه نتایج نشان می‌دهد که برای داده‌های مورد مطالعه، تابع ویبل بهترین تابعی است که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۱- مقدمه

محاسبه و ارزیابی نیروهای ناشی از باد به منظور تحلیل و طراحی دقیق سازه‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. بر این اساس تحلیل احتمالاتی سرعت وزش باد و به تبع آن نیروهای ناشی از وزش باد یکی از اساسی‌ترین بخش‌های مهندسی عمران را تشکیل می‌دهد. جارامیلو و برجا^۱ [۱] در سال ۲۰۰۴ نشان دادند که برای مناطقی که سرعت باد یک توزیع چگالی احتمالی دو بعدی را ارائه می‌دهد، توزیع ویبل ترکیبی مناسب تر از توزیع ویبل دوپارامتره است. برانو و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۱ [۲] از ۷ تابع توزیع چگالی احتمال^۳ ویبل،

ریلی، لگ نرمال، گاما، گاوسی معکوس^۴، پیرسون نوع V^۵ و بور^۶ برای تحلیل داده‌های خود استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که توزیع بور قابل اطمینان‌ترین توزیع آماری بود. صفری [۳] در سال ۲۰۱۱ از پنج تابع توزیع احتمالی ویبل، ریلی، لگ نرمال، نرمال و گاما برای تحلیل اطلاعات سرعت باد چهار ایستگاه بادی در رواندا^۷ استفاده کرد. نتایج وی نشان داد که تابع ویبل و گاما مناسب ترین توزیع مورد استفاده بودند. تحقیقات بیشتر درباره‌ی توزیع سرعت باد توسط کارتا و همکاران^۸ در سال‌های ۲۰۰۸ [۴] و ۲۰۰۹ [۵]، کلیک^۹ در سال

- 4 Inverse Gaussian
- 5 Pearson type V
- 6 Burr
- 7 Rwanda
- 8 Carta et al
- 9 Celik

- 1 Jaramillo and Borja
- 2 Brano et al
- 3 Probability Density Function (PDF)

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: e.jahani@umz.ac.ir



جدول ۱. بیشینه سرعت سالانه باد در شهرهای مورد مطالعه از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۷ (برحسب کیلومتر بر ساعت)

Table 1. Maximum annual wind speed in different cities studied, from 1994 to 2018 (km/h)

سال	رامسر	بابلسر	نوشهر	قائم شهر
1373	54	72	90	32.4
1374	79.2	64.8	72	57.6
1375	72	64.8	72	68.4
1376	100.8	61.2	72	64.8
1377	79.2	54	72	57.6
1378	86.4	68.4	90	54
1379	82.8	54	90	54
1380	90	79.2	90	54
1381	90	61.2	90	54
1382	82.8	57.6	90	54
1383	79.2	72	79.2	68.4
1384	82.8	68.4	75.6	68.4
1385	79.2	68.4	57.6	72
1386	90	61.2	90	64.8
1387	100.8	79.2	97.2	75.6
1388	75.6	57.6	72	108
1389	90	54	90	46.8
1390	100.8	75.6	75.6	61.2
1391	90	64.8	75.6	57.6
1392	82.8	54	79.2	64.8
1393	100.8	64.8	75.6	72
1394	115.2	72	93.6	90
1395	100.8	68.4	93.6	133.2
1396	72	72	72	61.2
1397	86.4	72	100.8	90

مفید است. به عنوان مثال، فواصل زمانی n را در نظر بگیرید. هر فاصله زمانی ممکن است یک سال باشد. در طول هر سال، حداکثر مقدار پدیده (مانند سرعت باد) وجود خواهد داشت. فرض کنید ما می‌خواهیم توزیع احتمال برای بزرگترین سرعت باد سالانه را تعیین کنیم. فرض کنید w_1 تا w_n بزرگترین سرعت باد در طول n سال باشد. سپس $X = \max(w_1, w_2, \dots, w_n)$ ممکن است به عنوان یک متغیر تصادفی از توزیع حدی نوع اول مشخص شود [۱۰].

PDF مربوط به این توزیع به صورت زیر است:

$$f_x(x) = a - e^{-a(x-\beta)} e^{-a(x-\beta)} \quad (1)$$

که در آن α و β پارامترهای تابع هستند. شکل پایه تابع PDF توزیع حدی نوع اول در شکل ۱ نشان داده شده است.

میانگین و انحراف معیار می‌تواند به طور تقریبی به صورت زیر

۲۰۰۳ [۶]، وانگ و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۶ [۷] و غیره انجام شده است. اصغر و لیو^۲ در سال ۲۰۱۸ [۸] در مطالعه‌ای یک سیستم عصبی-فازی تطبیقی مبتنی بر یادگیری هوشمند برای برآورد تابع چگالی احتمال ویبل برای داده‌های سرعت باد در دسترس پیشنهاد دادند به عنوان یک کار در آینده، مکانیزم پیشنهادی عصبی-فازی می‌تواند برای پیش‌بینی توان خروجی توربین بادی و برآورد سطح سر و صدای توربین بادی در مزارع بادی بکار رود. وانگ و همکاران^۳ با انجام مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۸ [۹] دریافتند که توزیع ویبل برای داده‌های باد تگزاس به منظور بررسی واریانس سرعت باد مناسب است.

در این مطالعه، نیرو و سرعت باد برای شهرستان‌های رامسر، بابلسر، نوشهر و قائم‌شهر مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ابتدا حداکثر سرعت باد و همچنین فشار مبنای باد برای این شهرستان‌ها محاسبه شده است. بدین منظور داده‌های مربوط به بیشینه سرعت سالانه باد در شهرستان‌های مورد نظر در یک بازه‌ی ۲۴ ساله جمع‌آوری شده است. سپس توابع مختلف مانند تابع نرمال، تابع ویبل، تابع لگ نرمال، تابع گامیل ماکس و تابع گاما برای این داده‌ها رسم می‌شود تا بهترین تابعی که می‌توان مورد استفاده قرار گیرد، مشخص شود

۲- جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های مربوط به بیشینه سرعت سالانه باد در شهرستان‌های رامسر، بابلسر، نوشهر و قائم‌شهر از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۷ هجری شمسی در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین که از ایستگاه‌های اداره‌ی هواشناسی استان مازندران و شهرستان‌های مورد مطالعه جمع‌آوری شده است در جدول ۱ نشان داده شده است.

۳- توزیع حدی نوع اول^۴

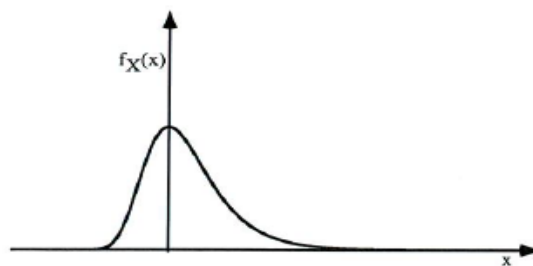
توزیع حدی نوع اول برای توصیف ماهیت احتمالی مقادیر حدی (بزرگترین یا کوچکترین مقادیر) برخی پدیده‌ها در طول زمان

- 1 Wang et al
- 2 Liu
- 3 Wang et al
- 4 Extreme Type I

جدول ۲. محاسبه‌ی انحراف معیار و میانگین و ضرایب α و β برای شهرهای مورد مطالعه

Table 2. Calculating standard deviation, mean, and α and β coefficients for the studied cities

پارامتر	رامسر	بابلسر	نوشهر	قائم‌شهر
μ_v	86.544	65.664	82.224	67.392
σ_v	12.534	7.726	10.683	20.457
α	0.102	0.166	0.120	0.062
β	80.906	62.189	77.419	58.191



شکل ۱. PDF توزیع حدی نوع اول [۱۰]

Fig. 1. Extreme Distribution Type I

محاسبه شود: (بنجامین و کرنل، ۱۹۷۰، [۱۱])

$$\mu_v = \beta + \frac{0.577}{\alpha} \quad (2)$$

$$\sigma_v = \frac{1.283}{\alpha} \quad (3)$$

فشار مبنای باد، q ، بر اساس سرعت متوسط ساعتی باد که احتمال تجاوز از این مقدار در سال ۲٪ است و به طور متعارف با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله بیان می‌گردد، بدست می‌آید [۱۳].

۵- توزیع‌های سرعت باد

برای توصیف رفتار سرعت باد در یک مکان خاص، شناسایی توزیعی که بهترین سازگاری را با داده‌ها دارد، ضروری است. در این مطالعه از توابع توزیع مختلف مانند تابع نرمال، تابع ویبل، تابع لگ نرمال، تابع گامبل ماکس و تابع گاما برای داده‌های سرعت باد در شهرستان‌های مورد مطالعه بررسی قرار گرفته است. جدول ۳ لیست وابع چگالی احتمالاتی مورد استفاده را نشان می‌دهد.

که در جدول بالا، μ برابر با مقدار میانگین، σ برابر با مقدار انحراف معیار، α برابر با ضریب شکل و β برابر با ضریب مقیاس است.

جدول ۳. لیست توابع چگالی احتمالات [۱۲]

Table 3. List of probability density functions [12]

توزیع	پارامترها
لگ نرمال	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$
ویبل	$f_x(x) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right]$
گاما	$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)$
نرمال	$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)}{\sigma\sqrt{2\pi}}$
گامبل ماکس	$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z))$

که در آن ها μ_v میانگین و σ_v مقدار انحراف معیار است.

گاهی اوقات به جای β از δ نیز در این فرمول ها استفاده می‌شود. بنابراین برای محاسبه‌ی α و β داریم: [۱۲]

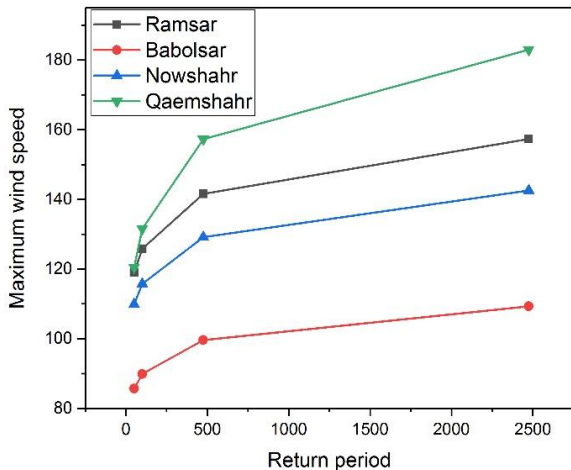
$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma_x} \quad (4)$$

$$\beta = \mu_x - 0.456 \sigma_x \quad (5)$$

برای تعیین سرعت باد در مناطق رامسر، بابلسر، نوشهر و قائم‌شهر از توزیع حدی نوع اول استفاده می‌کنیم. با استفاده از اطلاعات درج شده در جدول ۱ میانگین و انحراف معیار محاسبه شده و با توجه به آنها، ضرایب α و β مطابق فرمول‌های (۴) و (۵) بدست آمده است. مقدار این پارامترها در جدول ۲ نشان داده شده است.

۴- فشار مبنای باد

فشار مبنای باد، بنا به تعریف، فشاری است که باد با سرعتی برابر با سرعت مبنای باد بر سطحی عمود بر جهش وزش باد اعمال می‌کند. مقدار این فشار برابر با $0.0000613v^2$ بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع و v سرعت مبنای باد به کیلومتر بر ساعت است.



شکل ۲. سرعت بیشینه باد به ازای دوره‌های بازگشت مختلف

Fig. 2. Maximum wind speed per different return periods

این موضوع نشان می‌دهد که طراحی‌های انجام شده بر اساس مبحث ششم برای سه شهرستان رامسر، نوشهر و قائمشهر در برابر سرعت باد ایمن نخواهد بود، زیرا بر اساس آن سازه‌ها باید در برابر حداکثر سرعت باد و فشار مبنای باد کمتری نسبت به مقادیر واقعی طراحی شوند. همچنین به نظر می‌رسد این تحقیقات باید برای سایر شهرها انجام گیرد تا مقادیری معتبر و ایمن برای سایر شهرها نیز به دست آید. توجه به این موضوع به طراحی‌های هرچه ایمن‌تر در شهرهای مختلف کشور کمک شایانی خواهد کرد.

همچنین با توجه به اطلاعات بدست آمده، می‌توان سرعت باد در شهرستان‌های مورد مطالعه را برای دوره‌های بازگشت مختلف طبق جدول ۵ بدست آورد.

مشاهده می‌شود که حداکثر سرعت باد برای هر ۴ شهرستان با افزایش دوره‌های بازگشت، افزایش می‌یابد. بنابراین به طور مثال برای شهرستان رامسر انتظار داریم به ازای هر ۵۰ سال یکبار سرعت بیشینه باد به ۱۱۹/۰۲۸ کیلومتر بر ساعت، به ازای هر ۱۰۰ سال یکبار سرعت بیشینه باد به ۱۲۵/۸۴۹ کیلومتر بر ساعت، به ازای هر ۴۷۵ سال یکبار سرعت بیشینه باد به ۱۴۱/۶۱۲ کیلومتر بر ساعت و به ازای هر ۲۴۷۵ سال یکبار سرعت بیشینه باد به ۱۵۷/۳۴۴ کیلومتر بر ساعت برسد.

در شکل ۲ سرعت بیشینه مربوط به دوره‌های بازگشت مختلف

جدول ۴. مقایسه‌ی سرعت بیشینه باد (کیلومتر بر ساعت) و فشار مبنای باد بدست آمده با مقادیر آیین‌نامه برای شهرهای مورد مطالعه

Table 4. Comparison of maximum wind speed (km/h) and basic wind pressure obtained by regulation values for the studied cities

شهر	سرعت	مقدار مجاز باد	فشار مبنای باد	مقدار مجاز
رامسر	119.028	90	0.868	0.496
نوشهر	109.910	90	0.740	0.496
قائم‌شهر	120.409	90	0.888	0.496
بابلسر	85.688	100	0.450	0.613

۶- بحث و نتایج

عدد سرعت بیشینه باد برای شهرستان‌های رامسر، نوشهر و قائمشهر در مبحث ششم مقررات ملی ایران به ازای دوره‌ی بازگشت پنجاه ساله (احتمال تجاوز از آن در سال کمتر از ۲٪)، ۹۰ کیلومتر بر ساعت ذکر شده است در حالی که براساس مطالعه‌ی جاری، این عدد به ترتیب برابر با ۱۱۹/۰۲۸، ۱۰۹/۹۱۰ و ۱۲۰/۴۰۹ کیلومتر بر ساعت برای شهرستان‌های مورد نظر بدست آمده است که عددی بزرگتر از مقدار درج شده در مبحث ششم است. هر چند مقدار سرعت بیشینه باد برای شهرستان بابلسر ۸۵/۶۸۸ بدست آمده است که این مقدار در آیین‌نامه برابر ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت است.

به علاوه، فشار مبنای باد برای شهرستان‌های رامسر، نوشهر و قائمشهر در مبحث ششم مقررات ملی و براساس سرعت ۹۰ کیلومتر بر ساعت مقدار ۰/۴۹۶ کیلونیوتن بر مترمربع ذکر شده است. در حالی که بر اساس سرعت بدست آمده در این تحقیق، این مقدار به ترتیب برابر ۰/۸۶۸، ۰/۷۴۰ و ۰/۸۸۸ کیلونیوتن بر مترمربع بدست آمده است که این اعداد مقداری فراتر از مقدار آیین‌نامه است. هر چند این مقدار برای بابلسر عددی کمتر از مقدار آیین‌نامه بدست آمده است. مقایسه‌ی سرعت بیشینه باد و فشار مبنای باد بدست آمده با مقادیر مجاز درج شده در مبحث ششم مقررات ملی در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۵. محاسبه‌ی سرعت بیشینه باد (کیلومتر بر ساعت) به ازای دوره‌های بازگشت مختلف برای شهرهای مورد مطالعه

Table 5. Calculating maximum wind speed (km/h) per different return periods for the studied cities

دوره‌ی بازگشت (سال)	رامسر	بابلسر	نوشهر	قائم‌شهر
50	119.028	85.688	109.910	120.409
100	125.849	89.892	115.724	131.542
a475	141.612	99.609	129.159	157.269
2475	157.344	109.307	142.567	182.945

جدول ۶. پارامترهای محاسبه شده برای توابع مختلف به ازای شهرهای مورد مطالعه

Table 6. Calculated parameters for various functions per studied cities

توزیع	رامسر	بابلسر	نوشهر	قائم شهر
لگ نرمال	$\sigma=0.148, \mu=4.45$	$\sigma=0.124, \mu=4.17$	$\sigma=0.131, \mu=4.401$	$\sigma=0.272, \mu=4.172$
ویبل	$\alpha=7.52, \beta=90.74, \gamma=0$	$\alpha=8.51, \beta=68.61, \gamma=0$	$\alpha=8.09, \beta=86.28, \gamma=0$	$\alpha=4.384, \beta=71.008, \gamma=0$
گاما	$\alpha=47.67, \beta=1.81, \gamma=0$	$\alpha=62.87, \beta=1.04, \gamma=0$	$\alpha=59.23, \beta=1.38, \gamma=0$	$\alpha=10.85, \beta=6.210, \gamma=0$
نرمال	$\sigma=12.53, \mu=86.54$	$\sigma=8.280, \mu=65.65$	$\sigma=10.683, \mu=82.22$	$\sigma=20.458, \mu=67.392$
گامبل ماکس	$\sigma=9.77, \mu=80.90$	$\sigma=6.456, \mu=61.93$	$\sigma=8.3298, \mu=77.416$	$\sigma=15.951, \mu=58.185$

نشان داده شده است. برای شهرستان رامسر با توجه به توابع مختلف بررسی شده است.

نتایج نشان داد که:

۱. حداکثر سرعت باد برای هر ۴ شهرستان مورد مطالعه با افزایش دوره‌های بازگشت، افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار این افزایش مربوط به شهرستان قائم‌شهر و کمترین مقدار این افزایش مربوط به شهرستان بابلسر است. به طوری در شهرستان قائم‌شهر مقدار حداکثر سرعت باد از مقدار $120/40$ به ازای دوره بازگشت ۵۰ ساله به مقدار $182/94$ به ازای دوره بازگشت ۲۴۷۵ ساله رسید که حدود ۵۲ درصد با افزایش مواجه شد. در حالی که برای شهرستان بابلسر این مقدار از $85/68$ به ازای دوره بازگشت ۵۰ ساله به عدد $109/30$ به ازای دوره بازگشت ۲۴۷۵ ساله رسید که با افزایشی حدود ۲۸ درصد روبه رو شده است.

۲. عدد سرعت بیشینه باد بدست آمده در این مطالعه به ازای شهرستان‌های رامسر، نوشهر و قائم‌شهر عددی بزرگتر از عدد درج شده در مبحث ششم مقررات ملی ایران بدست آمده است. به طوری که عدد سرعت بیشینه باد برای این شهرستان‌ها در مبحث ششم مقررات ملی ایران به ازای دوره‌ی بازگشت پنجاه ساله (احتمال تجاوز از آن در سال کمتر از ۲٪)، ۹۰ کیلومتر بر ساعت ذکر شده است. بر اساس تحقیق انجام شده، عدد سرعت بیشینه باد برای شهرستان رامسر برابر $119/02$ ، برای شهرستان نوشهر برابر $109/91$ و برای شهرستان قائم‌شهر این مقدار برابر $120/40$ کیلومتر بر ساعت بدست آمده است. در واقع مقدار سرعت بیشینه بدست آمده در شهرستان رامسر

همچنین در این مطالعه برای رسم توابع مختلف از نرم‌افزار ایزی‌فیت^۱ استفاده شده است. ایزی‌فیت یک برنامه تحلیل و شبیه‌سازی داده است که این امکان را می‌دهد تا با متناسب کردن توابع احتمالاتی به عنوان نمونه، بهترین مدل را انتخاب کرده و نتایج آنالیز برای تصمیم‌گیری بهتر بکار برده شود.

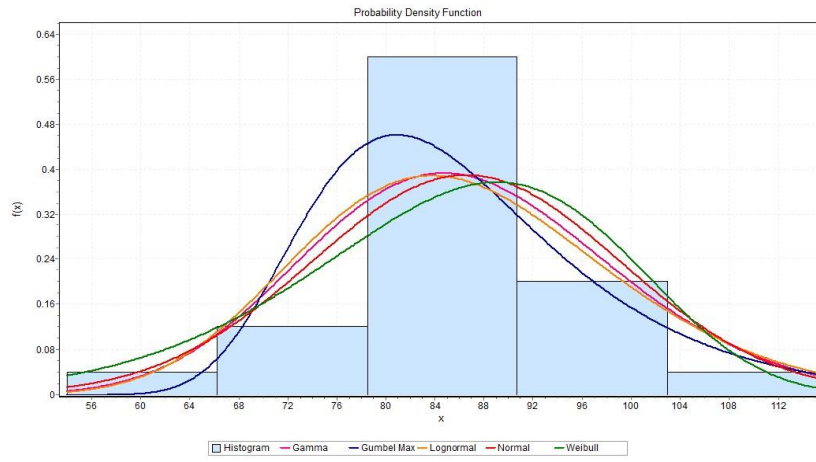
جدول ۶ پارامترهای مختلف بدست آمده برای هر توزیع را نشان می‌دهد. در این جدول σ مقدار انحراف معیار، α مقدار ضریب شکل، β مقدار ضریب مقیاس و γ مقدار ضریب مکان را نشان می‌دهد.

در شکل ۳ گراف هر تابع بر اساس داده‌های موجود را می‌توان مشاهده نمود. با توجه به نمودار توابع مختلف، همان‌گونه که نشان داده شده است، می‌توان نتیجه گرفت که برای داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، تابع ویبل بهترین تابعی است که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، زیرا بیشترین همخوانی را با داده‌ها دارد.

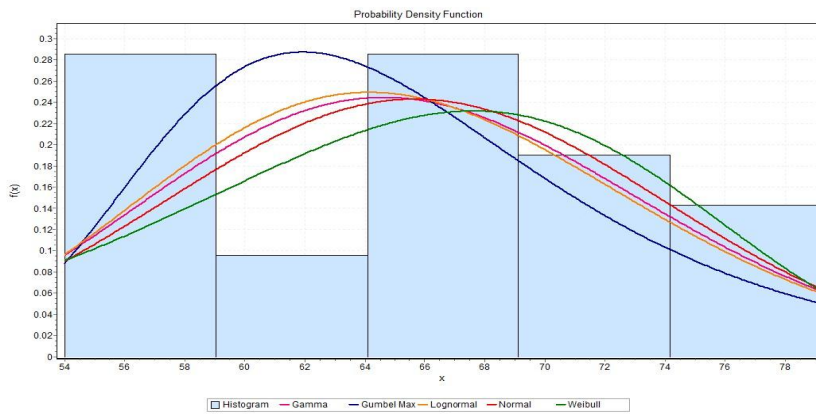
۷- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شده است تا توزیع احتمال سرعت باد برای شهرستان‌های رامسر، بابلسر، نوشهر و قائم‌شهر با توجه به توابع مختلف بررسی شود. برای این منظور، داده‌های مربوط به بیشینه سرعت سالانه باد از ایستگاه‌های اداره‌ی هواشناسی شهرستان‌های مورد مطالعه از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۷ هجری شمسی در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین جمع‌آوری شده است. در ابتدا برای محاسبه‌ی تعیین بیشینه سرعت باد از توزیع حدی نوع اول به ازای ۴ دوره‌ی بازگشت مختلف استفاده شده است. سپس توزیع احتمال سرعت باد

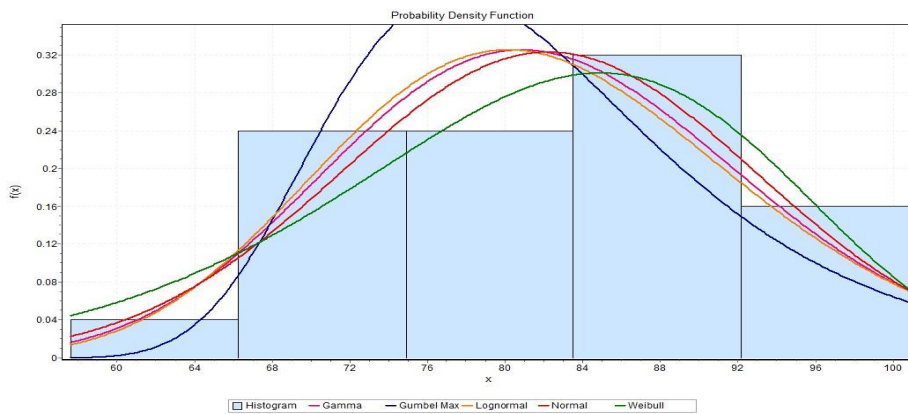
1 EasyFit software



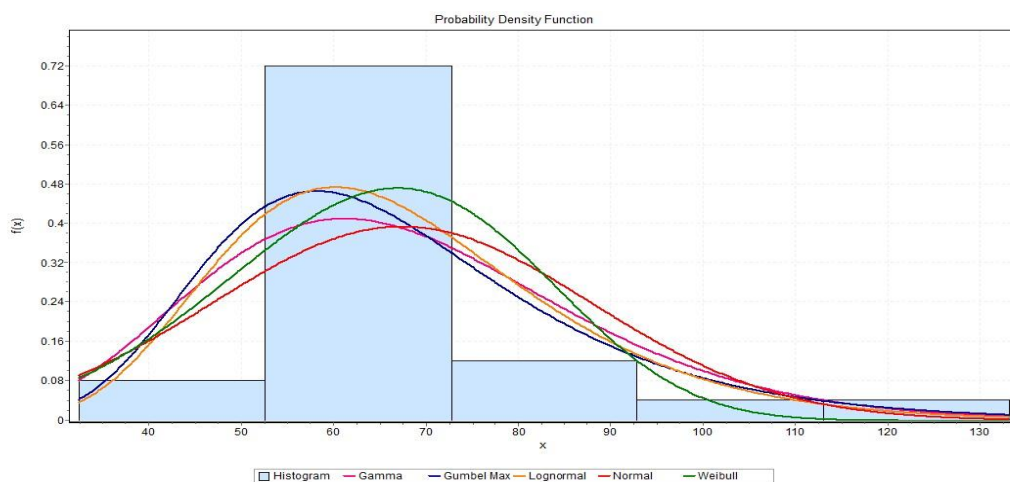
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۳. مقایسه بین توابع مختلف برای شهرهای مورد مطالعه: الف) رامسر، ب) بابلسر، ج) نوشهر، د) قائمشهر

Fig. 3. Comparison of different functions for the studied cities: (a) Ramsar, (b) Babolsar, (c) Nowshahr, (d) Ghaemshahr

سرعت باد کمتر و فشار مبنای باد کمتری نسبت به مقادیر واقعی طراحی شوند.

۵. با توجه به اهمیت تحلیل و طراحی دقیق سازه‌ها در برابر نیرو و سرعت باد، به نظر می‌رسد تحقیقاتی مشابه باید برای سایر شهرها انجام گیرد تا مقادیری دقیق و ایمن برای آن شهرها نیز به دست آید. توجه به این نکته موجب طراحی‌های هرچه ایمن‌تر در شهرهای مختلف کشور خواهد شد.

۶. توابع مختلف مانند تابع نرمال، تابع ویبل، تابع لگ نرمال، تابع گامبل ماکس و تابع گاما برای داده‌های بکار برده شده در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ایزی‌فیت رسم شده است. مشاهده شده است که برای داده‌های مورد مطالعه، تابع ویبل بهترین تابعی است که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، زیرا بیشترین همخوانی را با داده‌ها دارد.

تشکر و قدردانی

در پایان لازم است تا از اداره‌ی هواشناسی استان مازندران بویژه اداره‌ی هواشناسی شهرستان رامسر و بابلسر مراحل قدردانی و سپاس خود را بجا بیاوریم.

حدود ۳۳ درصد، در شهرستان نوشهر حدود ۲۲ درصد و در شهرستان قائمشهر حدود ۳۴ درصد افزایش یافته است. هر چند برای شهرستان بابلسر این مقدار حدود ۱۴ درصد نسبت به مقدار مبحث ششم کاهش یافته است.

۳. فشار مبنای باد محاسبه شده در این مطالعه نیز برای شهرستان‌های رامسر، نوشهر و قائمشهر از عدد درج شده در مبحث ششم مقررات ملی تجاوز کرده است. به طوری که در مبحث ششم مقدار مبنای باد بر اساس سرعت ۹۰ کیلومتر بر ساعت برای هر سه شهرستان برابر با $0/496$ کیلونیوتن بر مترمربع درج شده است. در حالی که این مقادیر در این تحقیق برای این شهرستان‌ها به ترتیب $0/86$ ، $0/74$ و $0/88$ بدست آمده است. در واقع مقدار فشار مبنای باد حدود ۷۵ درصد برای شهرستان رامسر، حدود ۴۹ درصد برای شهرستان نوشهر و حدود ۷۹ درصد به ازای شهرستان قائمشهر افزایش یافته است. هرچند این مقدار نیز برای شهرستان بابلسر نسبت به مقدار مبحث ششم حدود ۲۶ درصد با کاهش مواجه شده است.

۴. افزایش سرعت بیشینه و فشار مبنای باد بدست آمده نسبت به مبحث ششم مقررات ملی نشان‌دهنده‌ی این موضوع است که متاسفانه طراحی‌های انجام شده بر اساس مبحث ششم برای شهرستان‌های رامسر، نوشهر و قائمشهر در برابر سرعت باد ایمن نخواهد بود، زیرا بر اساس آن سازه‌ها باید در برابر حداکثر

- distribution estimation and wind energy assessment.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60: 881-899.
- [8] Asghar, A. B. and X. Liu (2018). “Estimation of wind speed probability distribution and wind energy potential using adaptive neuro-fuzzy methodology.” *Neurocomputing* 287: 58-67.
- [9] Wang, S., et al. (2018). “Statistical analysis of wind data using Weibull distribution for natural ventilation estimation.” *Science and Technology for the Built Environment* 24(9): 922-932.
- [10] Nowak, A. S. and K. R. Collins (2012). *Reliability of structures*, CRC Press.
- [11] Benjamin, J. R. and C. A. Cornell (2014). *Probability, statistics, and decision for civil engineers*, Courier Corporation.
- [12] Shayanfar, Mohsen ail., Qanoni Bana, Mohammad., jahani, Ehsan., *Theory of Structural Reliability*, Iran University of Science and Technology, 2018. (In Persian)
- [13] Iranian National Building Code, Part 6th, loads on the building (2013-1392). (In Persian)
- [1] Jaramillo, O. and M. Borja (2004). “Wind speed analysis in La Ventosa, Mexico: a bimodal probability distribution case.” *Renewable Energy* 29(10): 1613-1630.
- [2] Brano, V. L., et al. (2011). “Quality of wind speed fitting distributions for the urban area of Palermo, Italy.” *Renewable Energy* 36(3): 1026-1039.
- [3] Safari, B. (2011). “Modeling wind speed and wind power distributions in Rwanda.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(2): 925-935.
- [4] Carta, J. A., et al. (2008). “A joint probability density function of wind speed and direction for wind energy analysis.” *Energy Conversion and Management* 49(6): 1309-1320.
- [5] Carta, J. A., et al. (2009). “A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis: Case studies in the Canary Islands.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(5): 933-955.
- [6] Celik, A. (2003). “Assessing the suitability of wind speed probability distribution functions based on wind power density.” *Renewable Energy* 28(10): 1563-1574.
- [7] Wang, J., et al. (2016). “Wind speed probability

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

M. Ekraghanbari, E. Jahani, *Statistical Analysis of Wind Force, Amirkabir J. Civil Eng., 53(3) (2021) 1025-1032.*

DOI: [10.22060/ceej.2020.16763.6333](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.16763.6333)

