



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
 10-8 آذر ماه (تهران)



تحلیل مقدار حدی برای دوره بازگشت طوفان های استوایی مجاور سواحل ایران

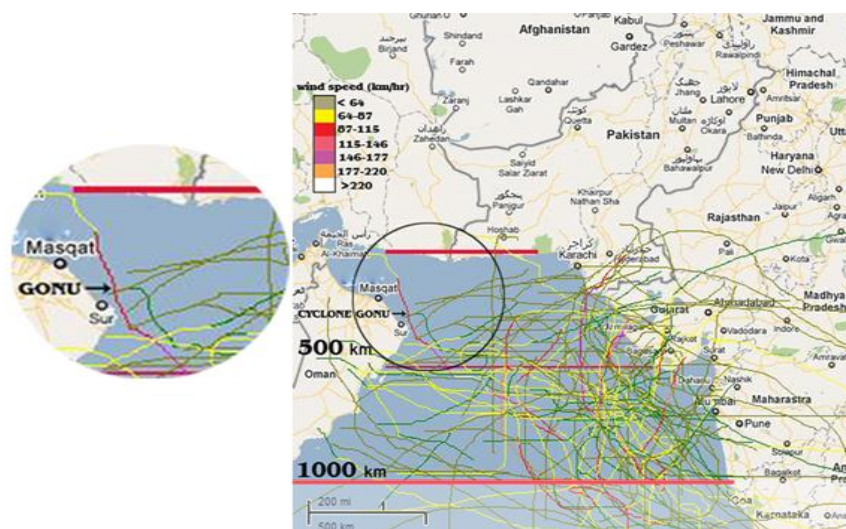
علی قاسمی ، دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ، ali_f_ghasemi@yahoo.com ،
 محسن سلطانیپور ، استادیار ، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ، soltanpour@kntu.ac.ir

کلید واژه: تحلیل مقدار حدی، طوفان استوایی، دوره بازگشت، دریای عمان.

مقدمه

طوفان های استوایی سیستم های چرخشی کم فشار در مناطق استوایی هستند که در نیمکره شمالی، در جهت خلاف عقربه های ساعت به دور خود می چرخند. گستردگی حرکت آنها بین 150-800 کیلومتر بوده و در طول سطح دریا با سرعت 300-500 کیلومتر در روز پیشروی می کند. انرژی امواج بزرگ این طوفان ها با نزدیک شدن به سواحل به تاثیرگذاری قابل توجهی منجر شده و در بسیاری مناطق مخرب ترین امواج منطقه را تشکیل می دهند. به همین دلیل در بسیاری از مناطق امواج ناشی از طوفان های استوایی (حاره ای) شرایط غالب موج طراحی سازه ها را در امتداد این خطوط ساحلی تشکیل می دهند.

از آنجایی که سواحل جنوبی ایران در مرز دریای عمان به شکل تصادفی تحت تاثیر طوفان های استوایی قرار دارند، تحلیل آماری این طوفان ها اهمیت ویژه ای دارد. بدلیل بالاتر بودن ارتفاع این امواج از مقادیر متناظر ناشی از پدیده های دیگر جوی مانند بادهای موسمی جنوب غربی یا باد شمال، این امواج علی رغم فراوانی وقوع کم امواج طراحی سواحل دریای عمان محسوب می شوند. در تحقیق حاضر طوفان های استوایی اقیانوس هند که در فاصله سال های 1945 تا 2009 میلادی به محدوده 1000 کیلومتری سواحل ایران نزدیک شده اند مورد مطالعه قرار گرفته است [4]. شکل 1 مسیر و سرعت این طوفان های استوایی را نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود اغلب این طوفانها به سمت غرب و عمان حرکت کرده و یا در حین حرکت به غرب دور زده با حرکت به سمت شرق به طرف پاکستان می روند [5]. شدیدترین طوفان ثبت شده در این بازه زمانی طوفان گنو می باشد که بر خلاف مسیر معمول طوفان های استوایی شمال اقیانوس هند و دریای عرب مسیر آن بسیار به سمت غرب و شمال متمایل شد. بررسی داده های طوفانهای اقیانوس هند همچنین نشان می دهد که اصولا اغلب طوفان های استوایی در منطقه اقیانوس هند و خلیج بنگال روی داده اند به گونه ای که در فاصله سال های 1945 تا 2009 میلادی از 648 طوفان رخ داده در منطقه اقیانوس هند و دریای عمان 548 طوفان در منطقه اقیانوس هند به وقوع پیوسته و تنها 100 طوفان در 1000 کیلومتری ساحل ایران در دریای عرب و دریای عمان رخ داده است [4].



شکل 1) مسیر طوفان‌های استوایی در 1000 کیلومتری سواحل ایران (1945 تا 2009 میلادی)

آنالیز مقدار حدی

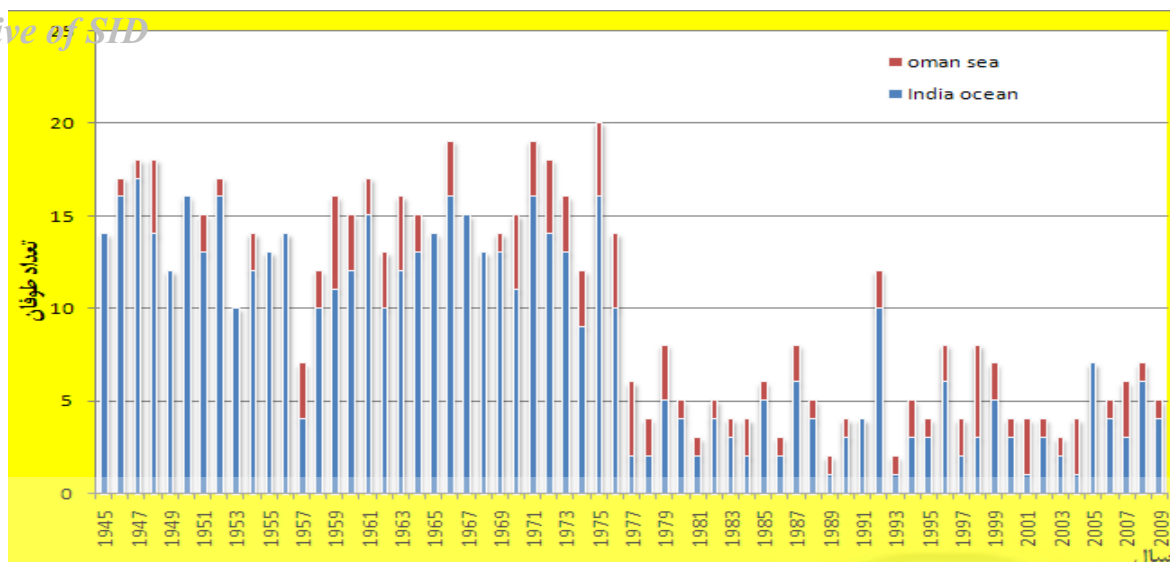
تحلیل و آنالیز مقادیر حدی حوادث طبیعی از قبیل لرزه، سیل‌های شدید، بارش سنگین برف، درجه حرارت بالای هوا و یا طوفان‌های سهمگین در مناطق آسیب‌پذیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مهندسان معمولاً توزیع عمومی مقادیر حدی (EVD)، که مدل احتمالاتی مناسبی برای ارزیابی خطرات ناشی از وقایع بزرگ و نادر می‌باشد را در تحلیل رویدادهای حدی بکار می‌برند. اغلب تحلیلگران اقتصادی نیز از همین روش در بررسی نوسانات شدید ارز استفاده می‌کنند. در نظریه آمار و احتمالات توزیع عمومی مقادیر حدی از خانواده توزیع‌های احتمالاتی پیوسته می‌باشد که از ترکیب توزیع‌های گامبل، ویبل، فیشر تشکیل شده است. استفاده از روش‌های و تحلیل‌های آماری برای ارزیابی پدیده‌هایی که اطلاعات دریاچه‌های چندین ساله را شامل می‌شوند، یکی از بخش‌های عمده در اغلب کاربردهای طراحی در مهندسی سواحل است.

داده‌هایی که برای تحلیل و آنالیز حدی انتخاب می‌شوند، فقط می‌بایست از رویدادهای مهم و بحرانی از میان مجموعه داده‌های تاریخچه زمانی ثبت شده، برگزیده شوند. علاوه بر این هر یک از مقادیر داده‌ها می‌بایست از رویدادهای کاملاً مختلفی باشد تا از استقلال آماری داده‌ها اطمینان حاصل شود. هر یک از رویدادها نیز می‌بایست نمایانگر یک نوع خاص از پدیده‌های حاکم باشند که بر اساس موضوع طراحی و در منطقه مورد نظر می‌توانند رخ دهند. فرض می‌شود که ساختار آماری حاکم بر پدیده‌های حدی در دوره اندازه‌گیری و در آینده وضعیت ثابت و نسبتاً یکنواختی دارد (مثلاً هیچ‌گونه افزایش سیستماتیک در رخداد این پدیده‌ها ناشی از عواملی همچون گرمایش کلی سطح زمین ایجاد نمی‌گردد). در روش تحلیل شرایط حدی استفاده از یک سری کامل اطلاعات اقلیم‌شناسی توصیه نمی‌شود. این مجموعه شامل اطلاعات تکراری ناشی از یک طوفان سهمگین اصلی را در خود جای داده است و به این ترتیب یک یا چند طوفان شدید عملاً حاکم بر شرایط حدی می‌گردند. شیوه مطلوب برای انتخاب داده‌ها این است که حداکثر مقادیر از هر رویداد حدی انتخاب شود تا به این ترتیب یک سری دوره‌ای جزئی¹ از مقادیر حدی ایجاد گردد. به طور کلی طوفان‌های استوایی رخ داده می‌توانند در محدوده‌ای از حوادث کوچک و ضعیف تا حداکثر طوفان‌های بسیار شدید دسته‌بندی شوند. سری دوره‌ای جزئی اغلب پیرایش می‌شود بطوریکه مثلاً مقادیر کمتر از یک حد (آستانه) مشخص در آن حذف گردد. بنابراین تحلیل برون‌یابی بر روی یک سری کوتاه شده از اطلاعات انجام می‌شود که واقعاً نشانگر رویدادهای مهم و شاخص است. روش پذیرفته شده دیگر برای پردازش داده‌های اولیه این است که حداکثر مقادیر رخ داده شده در سال انتخاب گردد که در این صورت یک سری حداکثر سالانه² به وجود می‌آید. شکل 2 توزیع آماری طوفان‌های روی داده در اقیانوس هند و وارد شده به 1000 کیلومتری ساحل ایران را به تفکیک سال وقوع نشان می‌دهد [4].

همچنین آنالیز و تحلیل مقادیر حدی رویدادها را در حالت کلی می‌توان با دو روش مختلف غیر پارامتریک و پارامتریک انجام شود.

¹Partial duration series

²Annual maximum series



شکل 2) تعداد طوفان‌های استوایی وارد شده به 1000 کیلومتری سواحل ایران و اقیانوس هند (1945 تا 2009 میلادی)

روش غیر پارامتریک

روش‌های ترسیم گرافیکی (Graphical Plotting Techniques - GPT)، نظیر روش میانگین مرتبه‌ها که در آن اصول کار بر اساس رتبه بندی اطلاعات از مقادیر حداکثر سالانه در n سال می باشد، از جمله روش‌های غیر پارامتریک محسوب می‌شوند [6]. روش غیر پارامتریک روشی ساده برای محاسبه دوره بازگشت می‌باشد که در آن سری داده‌ها تنها با انتخاب داده‌های حداکثر سالانه (یک مقدار در سال) ساخته می‌شود. در این روش حداقل دوره زمانی اطلاعات در دسترس برابر با 20 سال است تا حداقل بیست داده قابل حصول باشد. اگر چه مستقل بودن داده‌های اخذ شده از محاسن روش غیر پارامتریک محسوب می‌شود اما این روش معایبی نیز دارد. از جمله عیوب روش غیر پارامتریک می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- در سال‌هایی که تعداد طوفان‌های زیادی اتفاق می‌افتد مقادیری که در مرتبه دوم و سوم (به لحاظ بزرگی) واقع می‌شوند در سری حداکثر سالانه قرار نگرفته و بنابراین نمونه‌های اخذ شده نمی‌توانند بخوبی معرف جامعه آماری طوفان‌ها باشد.
- در صورت کم بودن تعداد سال‌های آماری (مثلاً حدود ده سال) تجزیه و تحلیل اطلاعات بدلیل کوچکی جامعه آماری قابل اعتماد نبوده و در نتایج حاصله عدم قطعیت قابل ملاحظه‌ای وجود دارد.

اگر $F(x_i)$ احتمال وقوع طوفانی با شدت کمتر از x_i و $T(x_i)$ دوره بازگشت طوفان‌های با سرعت بالاتر از x_i فرض شود، خواهیم داشت:

$$F(x_i) = \frac{i}{n+1} \quad (1)$$

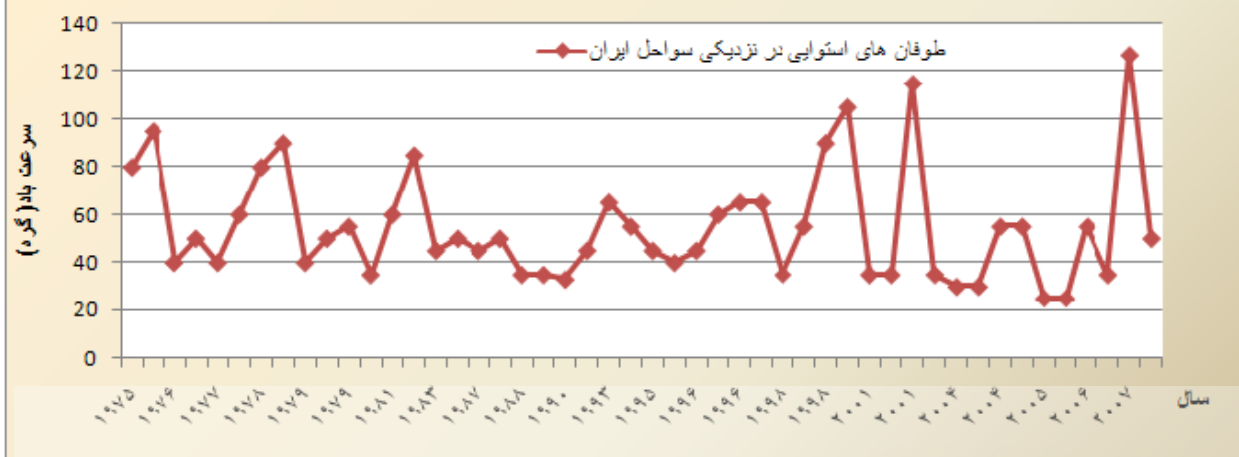
$$p(x_i) = \Pr[X > x_i] = 1 - F(x_i) \quad (2)$$

$$T(x_i) = \frac{1}{P(x_i)} = \frac{n+1}{n+1-i} \quad (3)$$

در آن n تعداد داده‌ها (تعداد سالهای دوره آماری) می‌باشد.

با توجه به اینکه اطلاعات مسیر طوفان‌های استوایی از سال 1945 به بعد در دسترس است ولی داده‌های دارای سرعت باد تنها از سال 1975 موجود می‌باشند و تنها اطلاعات مربوط به مسیر طوفان‌های استوایی در این بازه زمانی مشخص می‌باشد. شکل 3 حداکثر سرعت طوفان‌های استوایی در محدوده 1000 کیلومتری سواحل ایران را بین سالهای 1975 تا 2009 نشان می‌دهد [4].

طوفان های استوایی در نزدیکی سواحل ایران



شکل 3) حداکثر سرعت طوفان های استوایی در نزدیکی سواحل ایران (1975 تا 2009 میلادی)

روش پارامتریک

روش پارامتریک آنالیز حدی در زمینه‌های مختلفی از جمله توزیع مستقل معادل (i.i.d - identical-independent distribution) داده‌های تصادفی بکار رفته است. روش بالاتر از حد آستانه (POT - Peak Over Threshold Method) از جمله روش‌های پارامتریک می‌باشد که در آن داده‌های بالاتر از یک حد آستانه مشخص توسعه داده شده و بکار گرفته می‌شود [2].

در روش بالاتر از حد آستانه، آستانه‌ای معین را در نظر گرفته و تمام داده‌هایی که بالاتر از آستانه قرار می‌گیرند را در تحلیل مدنظر قرار می‌دهیم. در این حالت نقاط اوجی که در هنگام صعود و نزول آستانه را قطع می‌کنند در تحلیل آماری بکار می‌روند. تمام داده‌هایی که به این شکل انتخاب می‌شوند در سری مقادیر بالاتر از یک آستانه معین جای می‌گیرند. بنابراین در این روش ممکن است مقادیر بیشتر از آستانه در سالهایی تنها یک مورد باشد، در بعضی از سالها چند طوفان انتخاب شود، و در سالهایی نیز بدلیل کم بودن شدت طوفانها هیچ موردی بالاتر از طوفان آستانه وجود نداشته باشد و داده ای اخذ نگردد.

حسن این روش امکان گزینش تعداد بالاتر داده‌ها است به گونه‌ای که سری حاصل نماینده مناسب تری برای جامعه آماری طوفان‌ها می‌باشد. اگر چه انتخاب حد آستانه خیلی کوچک می‌تواند طوفانهای کوچکتر را نیز در بر گرفته و تعداد داده‌ها را افزایش دهد لیکن انتخاب حد آستانه نباید به گونه‌ای باشد که استقلال نمونه‌های اخذ شده رعایت نشده و داده‌های مجاور یکدیگر طوفان یکسانی را نمایندگی کنند. از طرف دیگر بالا بودن مقدار آستانه نیز می‌تواند به حذف تعدادی از داده‌های مناسب منجر گردد. بنابراین انتخاب حد آستانه از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار می‌باشد و در انتخاب حد آستانه باید دقت شود [3] و [1].

از نظر تئوری توابع توزیع احتمالاتی مختلفی با معادلات مشخص وجود دارد که می‌تواند در تحلیل آماری مقادیر بیشینه یک پدیده طبیعی بکار رود. در تحلیل آماری عموماً سعی می‌شود توابع احتمالاتی مناسب با برازش ترسیمی یا فرمولی داده‌ها تعیین شده و سپس با انتخاب بهترین توزیع که بیشترین تطابق را با آمار موجود دارا می‌باشد، مقدار متغیر مورد نظر (مثلاً شدت طوفانهای آینده) را به ازاء احتمالات مختلف محاسبه کرد.

مرحل تحلیل فراوانی وقوع رویدادها را می‌توان در چهار مرحله زیر خلاصه نمود:

الف- انتخاب کاندیدهای توابع توزیع احتمال با توجه به تئوری آمار و احتمالات، نوع پدیده مورد نظر و حجم محاسبات.

ب- برازش داده‌های موجود با توابع توزیع کاندیدا به روش ترسیمی یا تحلیلی.

ج- انتخاب مناسب ترین تابع توزیع احتمال که حداکثر تطابق و همبستگی را با داده‌های آماری دارا می‌باشد.

د- تعیین متغیر مورد نظر با استفاده از معادلات تابع توزیع منتخب به ازاء دوره بازگشتها (یا احتمالات) مختلف.

تجربیات موجود نشان می‌دهد که از مجموعه توزیع احتمالات وسیعی که در تحلیل های آماری بکار برده می‌شوند، آنالیز طوفان‌ها با توزیع احتمالاتی زیر تطابق بیشتری نشان می‌دهند:

$$1- \text{ توزیع گامبل } (Gumbel) \Pr[X < x] = \exp(-e^{(x-\mu)/\sigma})$$

Archive of SID..... $x < u$

$$\Pr[X < x] = \begin{cases} 0 & \dots\dots\dots x < u \\ \exp[-(\frac{x-\mu}{\sigma})^{-\gamma}] & \dots\dots\dots x \geq u \end{cases} \quad \text{-2 توزیع فیشر (Fisher)}$$

$$\Pr[X < x] = \begin{cases} 0 & \dots\dots\dots x > u \\ \exp[-(\frac{\mu-x}{\sigma})^{\gamma}] & \dots\dots\dots x \leq u \end{cases} \quad \text{-3 توزیع ویبل (Weibull)}$$

$$G(y) = \Pr[Y < y] = 1 - (1 + \gamma \frac{y}{\sigma})^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{-4 توزیع عمومی پارتو (Pareto Distribution)}$$

عموما یک سری از مقادیر حدی، چه در روش پارامتریک و چه در روش غیر پارامتریک، به عنوان یک نمونه از فرآیندهایی محسوب می شود که یکی از توابع توزیع حدی که در بالا به آن اشاره شده، تبعیت می کنند. دلیل تئوری محکمی برای ترجیح دادن یک توزیع مشخص نسبت به دیگری وجود ندارد، ولی معمولا بهترین تابع توزیع که بیشترین ضریب همبستگی را داراست انتخاب می شود. بطور معمول در صورتی که حد آستانه u به اندازه کافی بالا در نظر گرفته شود، تخمین تابع توزیع عمومی حدی از تابع توزیع عمومی پارتو منطقی است [7] و [8]. در این تحقیق از تابع توزیع کلی پارتو (Generalized Pareto Distribution-GPD) استفاده شده است:

$$G(y) = G(y; \gamma, \sigma) = \Pr[Y < y | x > u] = 1 - (1 + \gamma \frac{y}{\sigma})^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (4)$$

که در آن $G(y)$ تابع توزیع تجمعی شرطی مقدار مزاد $y = x - u$ سرعت طوفان مورد نظر بالاتر از حد آستانه می باشد. احتمال وقوع برابر است با:

$$P(y) = \Pr[Y > y] = \Pr[x > u] \times (1 - \Pr[Y < y | x > u]) = \lambda \left[1 + \gamma \frac{y}{\sigma} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} = \frac{1}{T} \quad (5)$$

که در آن γ پارامتر شکل، σ پارامتر مقیاس، $\lambda = k/n$ نرخ متوسط عبور از آستانه u در هر سال و k تعداد داده های بالاتر از مقدار آستانه u در n سال می باشد. جهت تخمین پارامترهای موجود دو روش نموداری و محاسباتی مورد استفاده قرار می گیرد.

در روش نموداری به طور مشاهده ای داده های ترسیم شده با منحنی تابع توزیع مدنظر، مورد مقایسه قرار می گیرند. با تغییر در مقیاس محورهای نمودار طوری که نمودار تابع مورد نظر به صورت یک خط ظاهر شود، می توان با سهولت بیشتری این پارامترها را محاسبه نمود. روش محاسباتی معمولا روش عینی تر می باشد. ضمن اینکه کاربرد آنها نیز معمولا به نسبت ساده تر است. در این حالت روش های مختلفی وجود دارد، که در این مقاله روش تقریب the de Haan و روش تقریب لنگر (Moment) مورد استفاده قرار گرفته است [3]. معادلات (6) تا (9) روش تقریب the de Haan و معادلات (10) و (11) روش تقریب لنگر (Moment) را نشان می دهند.

روش تقریب The de Haan:

$$H^{(j)}_{k,n} = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} (\ln(X_{n-i}) - \ln(u))^j \quad (6)$$

$$\sigma = \rho \times u \times H^{(1)}_{k,n} \quad (7)$$

$$\gamma = H^{(1)}_{k,n} + 1 - \frac{1}{2} \left[1 - \frac{(H^{(1)}_{k,n})^2}{H^{(2)}_{k,n}} \right]^{-1} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \rho = 1 & \dots\dots\dots \gamma \geq 0 \\ \rho = 1 - \gamma & \dots\dots\dots \gamma < 0 \end{cases} \quad (9)$$

روش تقریب لنگر (Moment):

Archive of SID

$$\sigma = \frac{1}{2} E(Y) \times \left[1 + \left(\frac{E(Y)}{S(Y)} \right)^2 \right] \quad (10)$$

(11)

$$\gamma = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{E(Y)}{S(Y)} \right)^2 \right]$$

که در معادلات (10) و (11)، $E(Y)$ و $S(Y)$ به ترتیب انحراف معیار و مقدار میانگین Y_i می‌باشند. با استفاده از روش بالاتر از حد آستانه (POT) و استفاده از تابع توزیع پارتو رابطه میان احتمال وقوع و دوره بازگشت طوفان‌های استوایی عبارت است از:

(12)

$$\Pr[Y \geq y] = \lambda \left(1 + \gamma \frac{y}{\sigma} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} = \frac{1}{T}$$

(13)

$$y = x - u \rightarrow y = \frac{\sigma}{\gamma} [(\lambda T)^\gamma - 1]$$

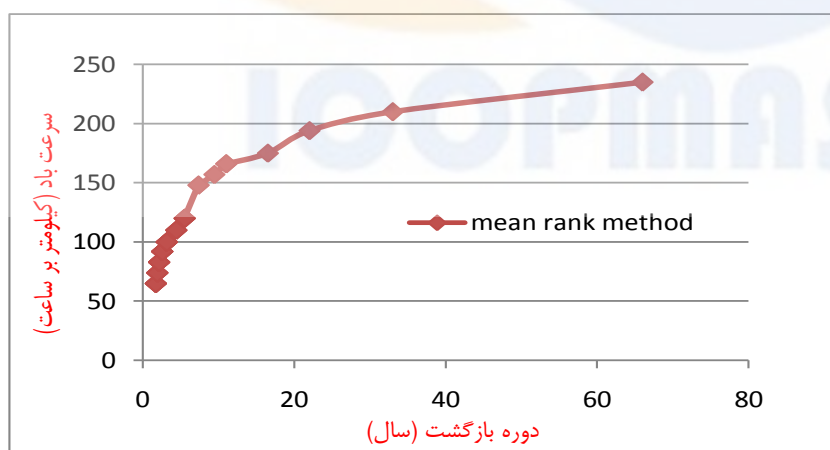
(14)

$$x = y + u = \frac{\sigma}{\gamma} [(\lambda T)^\gamma - 1] + u$$

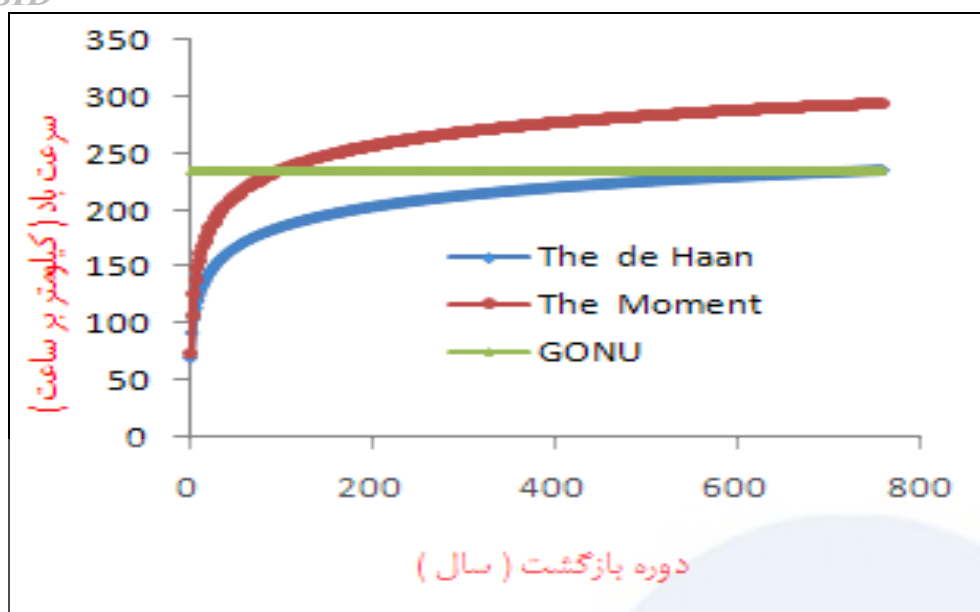
که مشابه معادله (2) احتمال وقوع برحسب سرعت باد و دوره بازگشت برای هر دو روش لنگر (Moment) و the de Haan بدست می‌آید.

نتیجه گیری

تعداد طوفان‌های استوایی که بین سال‌های 1945 تا 2009 میلادی در 1000 کیلومتری سواحل ایران به وقوع پیوسته است 100 طوفان می‌باشد که از این تعداد 39 طوفان دارای سرعتی بیش از حد آستانه انتخاب شده (64 کیلومتر بر ساعت) بوده‌اند. شکل 4 نتایج حاصل از بکارگیری روش غیر پارامتریک را نشان می‌دهد. بر این مبنا دوره بازگشت طوفانی مشابه گنو یک بار در هر 66 سال می‌باشد. شکل 5 خروجی‌های روش بالاتر از حد آستانه را با بکارگیری دو روش تقریب‌های the de Haan و لنگر نشان می‌دهد. بر این مبنا دوره بازگشت طوفانی مشابه گنو با بکارگیری روش تقریب لنگر و روش تقریب the de Haan به ترتیب 102 و 758 سال می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود روش تقریب the de Haan تخمین به مراتب بالاتری برای طوفان‌هایی با سرعت زیاد ارائه می‌دهد.



شکل 4) دوره بازگشت طوفان‌های استوایی با روش میانگین مرتبه‌ها



شکل 5) دوره بازگشت طوفان‌های استوایی با روش بالاتراز حد آستانه

مراجع

- [1]- Zhou, C. 2008. A two-step Estimator of the Extreme Value Index, journal of Extreme, Vol. 11(3), pp. 281-302.
- [2]- Simiu, E. and Heckert, N.A., 1996. Extreme Wind Distribution Tails: A “Peaks over Threshold” Approach, Journal of Structural Engineering, pp. 539-547.
- [3]- Naess, A. and P.H. Clausen, 1999. The Peaks Over Threshold Method and Bootstrapping for Estimating Long Return Period Design Values, 8th ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability.
- [4]- URL: [http:// Weather.Unisys.com](http://Weather.Unisys.com)
- [5]- Dibajnia M., Soltanpour M., Nairn R., Allahyar M. R., 2009. Cyclone Gonu, the most intense tropical cyclone on record in the Arabian Sea, Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change, Springer, pp. 149-157.
- [6]- Kotz, S. and Nadarajah, S., 2000. Extreme Value Distribution – Theory and Application, Imperial College Press.
- [7]- Pickands, J. (1975). Statistical Interference Using Order Statistics. Annals of Statistics 3, 119–131.
- [8]- de Haan, L. (1994). Extreme Value Statistics. In J. Galambos, J. A. Lechner, and E. Simiu (eds.), Extreme Value Theory and Applications. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

ICOPMAS