

تعیین زمان آغاز، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان با بهره‌گیری از روش‌های تخمین نقطه تغییر

عبّاس مفیدی^۱ - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محسن حمیدیان پور - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

محمد سلیقه - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

بهلول علیجانی - استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۴/۹

چکیده

باد سیستان به عنوان برجسته‌ترین جریان ترازهای زیرین جو در فلات ایران، بنا به ماهیت، گستره‌ای محلی تا منطقه‌ای را در شرق این فلات اشغال می‌نماید. اگرچه محلی و یا منطقه‌ای بودن باد سیستان موضوعی باز تلقی می‌گردد، اما آغاز و خاتمه ناگهانی وزش باد سیستان در شرق ایران و تغییرات سال به سال قابل ملاحظه در زمان آغاز و خاتمه این باد، نقش برجسته عوامل بزرگ مقیاس و مقیاس منطقه‌ای را در شکل‌گیری باد سیستان متذکر می‌گردد. پژوهش حاضر سعی دارد با بهره‌گیری از روش‌هایی موسوم به «نقطه تغییر»، زمان آغازگری (Onset)، زمان خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان را مورد بررسی قرار دهد. مطالعه با بهره‌گیری از داده‌های روزانه شدت و جهت باد در ایستگاه زابل، به عنوان ایستگاه معرف باد سیستان، برای یک‌دوره ۴۱ ساله (۲۰۱۲-۱۹۷۲) به انجام رسید و جهت تعیین زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان از سه روش Pettitt، SNHT و Buishand استفاده شد. در این تحقیق با بهره‌گیری از سری زمانی روزانه شدت و جهت وزش باد، زمان آغاز، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان تعیین گردید. یافته‌ها بیانگر آن است که از میان سه روش تخمین نقطه تغییر، روش پتیت در تعیین زمان آغاز و خاتمه باد سیستان از کارایی مناسب‌تری برخوردار است. بر اساس روش پتیت باد سیستان بطور متوسط در روز ۱۲۲ ام (۲ می) از سال میلادی آغاز شده و تا روز ۲۸۷ ام (۱۴ اکتبر) تداوم می‌یابد. بر این اساس، متوسط طول دوره وزش باد سیستان ۱۶۵ روز در سال تعیین گردید. یافته‌ها همچنین بیانگر آن است که زمان آغازگری، زمان خاتمه، شدت و طول مدت وزش باد سیستان تغییرات قابل ملاحظه‌ای را از سالی به سال دیگر نشان می‌دهد. از دیگر نتایج این مطالعه، نبود یک روند معنی‌دار در رفتار تمامی ویژگی‌های باد سیستان است.

کلیدواژه‌ها: باد سیستان، نقطه تغییر، آغازگری، زمان خاتمه، مدت وزش باد.

۱. مقدمه

باد یکی از چند پارامتر اساسی و تعیین کننده هواشناسی است که در مطالعات کشاورزی، شهرسازی، محیط زیست، حمل و نقل، انرژی‌های تجدیدپذیر، همچنین در بررسی محل، نحوه شکل‌گیری و گسترش توفان‌های گرد و غباری و شن‌های روان از اهمیت خاصی برخوردار است (اتکینسون^۱، ۱۹۸۱؛ سلیقه، ۱۳۸۲؛ بیدختی و برومند، ۱۳۸۵؛ لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷). بادهای بر اساس معیار وسعت به سه دسته محلی، منطقه‌ای و سیاره‌ای تقسیم می‌شوند (کویانی و علیجانی، ۱۳۷۸). در بین بادهای محلی ایران، بادهای ۱۲۰ روزه سیستان شهرتی خاص دارند که در بخش شرقی ایران برای مدتی از سال حاکمیت می‌یابند (حسین‌زاده، ۱۳۷۶، ۱۰۴). هانتینگتون^۲ (۱۹۰۵) در طی بازدید میدانی خود از دشت سیستان، این منطقه را این گونه توصیف می‌کند "مانند دیگر اشکال طبیعی سیستان، باد اثر زیادی بر زندگی مردم دارد. در طول سه ماه تابستان یک باد پایدار از جهت شمال - شمال‌غرب با سرعت زیاد در شبانه‌روز می‌وزد". همچنین در بیان علت آن می‌نویسد "به نظر می‌رسد باد سیستان دنباله شمال سوی بادهای بسامان باشد که به واسطه روند غالب استقرار کوه‌ها به سمت غرب انحراف یافته است". همچنین مک‌ماهون^۳ (۱۹۰۶-الف و ۱۹۰۶-ب) در سفر اکتشافی خود از منطقه سیستان و بلوچستان ایران؛ که حدود دو سال و نیم به طول انجامید به مشکلات زیادی در این منطقه از جمله کاهش شدید آب دریاچه هامون پس از پایان فصل کوتاه مرطوب، افزایش تبخیر و تعرق و نتیجه آن افزایش بیابان‌زایی اشاره دارد. مک‌ماهون (۱۹۰۶-الف) وزش بادهای شدید را از جمله مشکلات منطقه ذکر می‌کند. او در این رابطه می‌نویسد: "اگر منطقه‌ای شایسته عنوان سرزمین بادهای آن سرزمین سیستان است." او از این باد با عنوان باد صد و بیست روزه سیستان یاد می‌کند که در طول فصل تابستان می‌وزد. مک‌ماهون زمان آغاز وزش باد سیستان را پایان ماه می (اوایل خرداد) یا اواسط ماه ژوئن (اواخر خرداد) می‌داند. او یاد آور می‌شود که باد سیستان بدون هیچ وقفه‌ای و با سرعتی وحشتناک حدوداً تا پایان ماه سپتامبر (اوایل مهر) در حال وزیدن است. این باد در این مدت دارای جهت شمالی متمایل به غرب است و سرعت آن به ۷۰ مایل در ساعت (بیش از ۱۱۰ کیلومتر در ساعت) می‌رسد. نتایج دو پژوهش قدیمی یادشده بر اساس پردازش‌های کمی و یا به واسطه بهره‌گیری از یک روش علمی حاصل نگردیده، بلکه عمدتاً بر پایه مشاهدات میدانی کوتاه مدت محققان و یا گفت و شنودهایی است که آنان در گذر از منطقه سیستان با ساکنین بومی داشته‌اند. جالب آن که هانتینگتون در ماه مارس از منطقه سیستان عبور نموده و خود باد سیستان را تجربه نموده است. در سال‌های اخیر نیز به صورت بسیار محدود مطالعاتی در ارتباط با زمان آغاز و پایان باد سیستان انجام شده است. بنا به نوشته علیجانی (۱۳۷۳)، باد ۱۲۰ روزه سیستان در دوره گرم سال یعنی از ۱۵ خرداد تا ۱۵ مهر ماه به مدت ۱۲۰ روز از ارتفاعات شمال‌شرقی به سمت سرزمین‌های جنوب‌شرقی ایران می‌وزد. حسین‌زاده (۱۳۷۶) در این

1 Atkinson

2 Huntington

3 McMahon

زمینه با استفاده از آمار روزانه یک ساله (سال ۱۹۹۵) سعی نمود تا زمان‌های آغاز و پایان باد سیستان را شناسایی نماید. ایشان از پارامتر جهت وزش باد برای شناسایی زمان‌های آغاز و پایان باد سیستان استفاده نمودند. حسین‌زاده در مطالعه خود تمامی بادهایی را که با فراوانی زیاد از جهت شمال‌شرق و شرق وزیده‌اند جزو بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در نظر گرفته که بر این اساس وزش باد سیستان در ایستگاه زابل در سال ۱۳۷۴ (۱۹۹۵) از ۲۰ ام اردیبهشت ماه آغاز گردیده و به مدت ۱۳۱ روز تداوم یافته و در نهایت در روز ۲۶ ام شهریورماه پایان یافته است. در نقد نتایج بدست آمده، صرف‌نظر از این که محقق تنها از یک سال آماری استفاده نموده است، در تحقیق یاد شده به هیچ عنوان توالی وزش باد در امتداد شمال شرقی مورد توجه قرار نگرفته و در عین حال، در تعیین زمان آغاز و خاتمه وزش باد، به یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های باد سیستان، یعنی شدت وزش آن توجه‌ای نشده است. مشاهدات حاکی از آن است که باد سیستان با تغییر محسوس در شدت وزش باد در دشت سیستان آغاز می‌گردد، بطوری که در برخی از موارد شدت وزش باد به ۴۰ متر بر ثانیه نیز رسیده که بیانگر وقوع یک توفان بسیار شدید است (طاووسی و رئیس‌پور، ۱۳۸۹). نقش برجسته باد سیستان در ایجاد توفان‌های گردوغباری در منطقه دشت سیستان، توجه تعداد بی شماری از محققان را به خود جلب نموده است (میدلتون^۱، ۱۹۸۶؛ گودی^۲ و میدلتون^۳، ۲۰۰۱؛ خسروی، ۱۳۸۹؛ راشکی و همکاران، ۲۰۱۲؛ ۲۰۱۳؛ علیزاده چوباری و همکاران، ۲۰۱۳؛ مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲). اگرچه محققان یادشده در بررسی سازو کار حاکم بر وقوع توفان‌های گردوغباری به برخی از جنبه‌های باد سیستان به عنوان عامل اصلی ایجاد کننده آن توجه نموده‌اند، اما هنوز تاثیر طول مدت وزش باد سیستان، زمان آغازگری زود هنگام و یا دیر هنگام آن، زمان اوج وزش باد، همچنین زمان پایان زود هنگام و یا دیر هنگام این باد بر تعداد و گستره توفان‌های گردوغباری مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

طبق نظر سلیقه (۱۳۸۹)، زمان آغازگری و پایان باد سیستان به واسطه تغییر سریع و انتقال ناگهانی در گردش جو و سرعت باد در سرتاسر خراسان جنوبی و شمال سیستان یا به بیانی شرق ایران قابل تشخیص است. در واقع سلیقه (۱۳۸۹) شکل‌گیری باد ۱۲۰ روزه سیستان را ناشی از برهم‌کش سامانه‌های جوی چاره‌ای و جنب‌حاره‌ای بر روی منطقه می‌داند. بررسی پژوهش‌های انجام شده بیانگر آن است که با وجود قدمت باد سیستان، و همچنین سابقه طولانی پژوهش در رابطه با این باد، هنوز یک بررسی نسبتاً جامع و دقیق از زمان آغاز، طول مدت وزش و زمان خاتمه باد سیستان به انجام نرسیده است. بر این اساس، مطالعه حاضر سعی دارد ضمن بهره‌گیری از روش‌های شناسایی «نقطه تغییر»^۳ و با استفاده از داده‌های روزانه سرعت و جهت باد به این مهم دست یابد.

روش‌های متعددی برای محاسبه و شناسایی نقطه تغییر در پدیده‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده قرار گرفته است، در عین حال، روش‌های یاد شده در پژوهش‌های متعددی با موضوعات متنوعی چون تعیین نقاط تغییر میزان بارندگی

1 Middelton

2 Goudie

3 Change Point

(تامپسون^۱، ۱۹۸۴)، بررسی پیوستگی سری زمانی دما (گالت و همکاران^۲، ۱۹۹۱)، شناسایی تغییرات اقلیمی (سالو^۳، ۱۹۸۷؛ لوند و ریوس^۴، ۲۰۰۲: ۲۵۴۷)، تعیین قطعی زمان آغازگری و خاتمه باران‌های موسمی (کوک و بالکلی^۵، ۲۰۰۹: ۱) به کار گرفته شده است. در این میان، کوک و بالکلی (۲۰۰۹)؛ با استفاده از داده‌های روزانه بارش و به کار بردن روش رگرسیون دو فازه^۶، سعی در شناسایی زمان آغازگری، زمان خاتمه و طول دوره^۷ باران‌های موسمی در کشور تایلند داشته‌اند. ایشان در نهایت نقشه‌های زمان آغازگری و زمان خاتمه باران‌های موسمی را برای کشور تایلند تهیه نمودند.

با توجه به توانمندی روش‌های نقطه تغییر در شناسایی گسیختگی‌ها، تغییر روندها و تغییرات ناگهانی در پدیده‌های ژئوفیزیکی، تحقیق حاضر سعی دارد ضمن بهره‌گیری از روش‌های یاد شده برای سؤالات زیر پاسخی فراهم نماید: ۱- از منظر اقلیمی باد سیستان در چه زمانی از سال آغاز می‌گردد؟ ۲- باد سیستان در چه زمانی از سال خاتمه می‌یابد و طول مدت وزش این باد چند روز است؟ ۳- آیا زمان آغازگری، زمان خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان در طول زمان تغییر نموده است؟

۲. منطقه مورد مطالعه

دشت سیستان در مرکز یک حوضه بسته وسیع جای گرفته که از نظر هیدرولوژیکی فاقد خروجی بوده و از منطقه ای به وسعت ۳۳۵۰۰۰ کیلومتر مربع تغذیه می‌نماید (اسمیت، ۱۹۷۴). دشت یاد شده در حدفاصل استان خراسان جنوبی، شمال سیستان و بلوچستان و جنوب غرب کشور افغانستان واقع شده است (شکل ۱). بخش مرکزی این دشت دارای ارتفاعی بین ۵۰۰ تا ۹۰۰ متر می‌باشد. این دشت از شمال به پیشکوه‌های غرب هندوکش که قله‌هایی با بیش از ۴۰۰۰ متر ارتفاع دارند منتهی می‌گردد. دشت سیستان از جانب غرب، جنوب و شرق با کوه‌هایی که تا ۲۰۰۰ متر ارتفاع دارند محصور گردیده است. این دشت که زمانی به عنوان «سبد نان غرب آسیا» قلمداد می‌شد (گلداسمید، ۱۸۷۶ به نقل از ویتنی^۸، ۲۰۰۶)، به عنوان قلمرو اصلی وزش باد سیستان، در نواحی پست از شرایط اقلیمی «خشک و بیابانی» و در نواحی کوهستانی و مرتفع، از آب و هوای «نیمه خشک و معتدل» برخوردار است. مقدار بارندگی در طول سال خیلی کم بوده و از ۱۰۰ میلی‌متر فراتر نمی‌رود. در واقع منطقه مورد مطالعه از یک شرایط سخت اقلیمی برخوردار

1 Thompson

2 Gullet *et al.*

3 Solow

4 Lund and Reeves

5 Cook and Buckley

6 Two-phase regression model

7 Onset, Withdrawal and wind blowing duration

8 Goldsmid 1876 ; Whitney 2006

برای انجام مطالعه از داده‌های روزانه و ساعتی سرعت و جهت باد در ایستگاه زابل برای یک دوره آماری ۴۱ ساله (۱۹۷۲-۲۰۱۲) استفاده شد. طولانی بودن طول دوره آماری، فرارگیری در کانون وزش باد سیستان و فراهم نمودن امکان مقایسه نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج مطالعات پیشین از جمله مواردی است که سبب انتخاب ایستگاه زابل به عنوان ایستگاه نماینده باد سیستان در مطالعه حاضر گردیده است. ابتدا داده‌ها از جهت نقص آماری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و در نهایت دوره ۴۱ ساله ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۲ برای انجام مطالعه انتخاب شد. دوره یادشده فاقد هرگونه نقص آماری بوده است. به منظور استخراج آمار روزانه، برنامه‌ای در نرم‌افزار Matlab نوشته شد و پس از استخراج داده‌ها و ارزیابی صحت و سقم آنها، سه روش محاسبه تعیین نقطه تغییر به کار بسته شد. به منظور تعیین زمان آغازگری و زمان خاتمه باد سیستان از روش‌های محاسبه نقطه تغییر استفاده نموده‌ایم. نقطه تغییر یک ویژگی دائم برای سری‌های اقلیمی محسوب می‌گردد (لاند و ریوس، ۲۰۰۲، ۱). نقاط تغییر می‌توانند در اثر عوامل متعددی مانند تغییرات دوره‌ای اقلیم و وجود روند افزایشی یا کاهش، تغییر در ساختار گردش جو، تغییر مکان یک ایستگاه و یا تغییر ابزار اندازه‌گیری و ... بوجود آیند. تعریف ما از نقطه تغییر، نقطه‌ای در زمان است که به دلایلی مشخص، پارامترهای سری زمانی در آن نقطه دستخوش تغییر گردیده‌اند. برای نمونه به فرآیند نرمال $X_i \sim N(\mu_0, \sigma_0^2), i=1,2,\dots,\tau$ و $X_i \sim N(\mu_1, \sigma_1^2), i=\tau+1,\dots,T$ توجه کنید. یعنی، فرآیند از یک توزیع نرمال با میانگین μ_0 و واریانس σ_0^2 تا نقطه تغییر τ پیروی می‌کند. در پی نقطه تغییر یک یا چند پارامتر از فرآیند (برای مثال واریانس و یا میانگین) تغییر می‌نماید (امیری، ۲۰۱۱، ۶۷۴). در واقع تغییری در الگوی رایج به وجود می‌آید. یک تخمین گر نقطه تغییر درصدد یافتن نقطه از زمان است که در آن نقطه زمانی پارامترهای سری زمانی تغییر نموده‌اند. همانطور که قبلاً ذکر گردید؛ در این پژوهش به منظور تعیین نقطه تغییر در سری زمانی از سه آزمون پتیت^۱، SNHT و Buishand استفاده شد. ویژگی‌های هر یک از آزمون‌های بکار گرفته شده به شرح زیر می‌باشد:

- آزمون Pettitt

آزمون پتیت (پتیت، ۱۹۷۹) یک روش ناپارامتریک است که نیاز به برازش هیچ توزیعی بر روی سری داده‌ها ندارد و به منظور تعیین نقطه تغییر در یک سری زمانی استفاده می‌شود و می‌توان به طور خلاصه آن را به شکل زیر توصیف نمود. در واقع با استفاده از این آزمون نقطه تغییر به این شکل شناسایی می‌گردد که بواسطه این نقطه، سری زمانی به دو گروه داده تقسیم می‌شوند که این دو گروه (X_1, X_2, \dots, X_t) و $(X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_T)$ هر یک دارای ویژگی‌های آماری مشخصی هستند. آماره آزمون $U_{t,T}$ از معادله زیر بدست می‌آید. آماره مورد استفاده در این آزمون عبارت است از:

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T D_{ij} \quad (1)$$

که i و j عبارتند از مقادیر سری زمانی متوالی (X_1, X_2, \dots, X_t) و $(X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_T)$ ، t و T شماره ترتیبی داده‌های

سری زمانی تا نقطه تغییر و بعد از آن (زانگ و همکاران، ۲۰۰۹). پس از محاسبه آماره پتیت برای فرض‌های متعدد جایگزین می‌گردد. به طوری که برای آزمون‌های دو طرفه آماره عبارت است از:

$$K_t = \max_{1 \leq t < T} |U_{t,T}| \quad (2)$$

- آزمون SNHT

آزمون SNHT (آزمون نرمال استاندارد یکنواختی) توسط الکساندرسون در سال ۱۹۸۴ و ۱۹۸۶ به منظور تعیین نقطه تغییر در سری زمانی داده‌های بارندگی توسعه پیدا کرد. در واقع سری زمانی X_i باید دارای توزیع نرمال باشد و پس از آن فرض صفر و دیگر فرض‌ها به شرح زیر تعریف می‌شوند. این آماره به شکل زیر محاسبه می‌گردد:

$$T_0 = \max_{1 \leq t < T} [v\bar{z}_1^2 + (n-v)\bar{z}_2^2] \quad (3)$$

که برای محاسبه \bar{z}_1 و \bar{z}_2 به شکل زیر تعریف می‌گردند:

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{v} \sum_{t=1}^v x_t \quad (4)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n-v} \sum_{t=v+1}^T x_t \quad (5)$$

جایی که \bar{z}_1 و \bar{z}_2 متوسط حسابی از مقادیر سری زمانی قبل و پس از تغییر، مقادیر v محتمل ترین نقطه تغییر و n شماره مقادیر در سری زمانی می‌باشند.

- آزمون Buishand

آزمون Buishand (۱۹۸۲) می‌تواند برای متغیرهایی که از هیچ یک از توزیع‌ها پیروی نمی‌کنند مورد استفاده قرار گیرد. اما خصوصیاتش به طور ویژه برای حالت‌های نرمال پیش‌بینی شده است. در این پژوهش با توجه به هدف مطالعه، مانند دیگر آزمون‌های دو طرفه، آزمون Buishand مورد توجه قرار گرفته است. آماره به شرح زیر تعریف می‌گردد:

$$S_k^{**} = S_k^* / \hat{\sigma} \quad (7) \quad \text{و} \quad S_0^* = 0, S_k^* = \sum_{i=1}^k (x_i - \hat{\mu}), k = 1, 2, \dots, T \quad (6)$$

و در نهایت آماره

$$Q = \max_{1 \leq k < T} |S_k^{**}| \quad (8)$$

که x_i مقادیر سری زمانی، $\hat{\mu}$ میانگین حسابی مقادیر سری زمانی و $\hat{\sigma}$ انحراف معیار سری زمانی و k نقطه تغییر است. شایان ذکر است که در هر سه روش بالا فرض‌های آزمون عبارتند از:

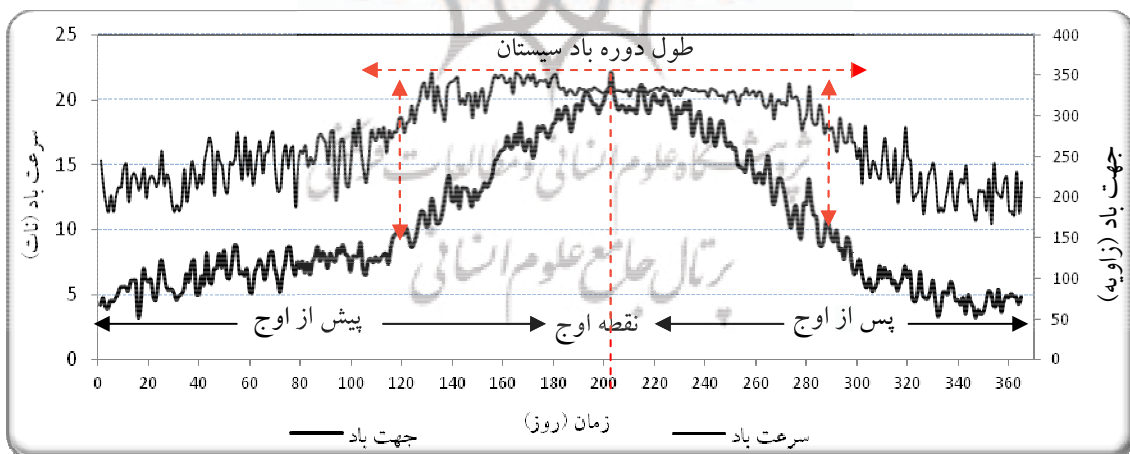
فرض صفر: متغیر X_i در زمان T از توزیع میانگین و واریانس برابر 0 و 1 پیروی می‌کند.

فرض مقابل: بین زمان 1 و n متغیرها از یک توزیع $N(\mu_1, 1)$ پیروی می‌کنند و بین $n+1$ و T متغیرهای از توزیع

$N(\mu, 1)$ ، پیروی می‌کنند.

در صورت رد شدن فرض صفر، با تایید اینکه در سری زمانی نقطه تغییر وجود دارد فرض مقابل پذیرفته می‌شود. در این تحقیق معنی‌داری فرض مقابل (وجود نقطه تغییر) در هر یک از روش‌ها با استفاده از روش مونت‌کارلو در سطح ۹۵٪ مورد آزمون و سنجش قرار گرفته است.

شکل (۲) متوسط سرعت و جهت باد ایستگاه زابل را برای دوره زمانی (۲۰۱۲-۱۹۷۲) نمایش می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست، سرعت باد در طول زمان بر اثر دلایل مختلف افزایش می‌یابد به طوری که در روز ۲۰۲ (۲۱ جولای) به اوج خود می‌رسد. این اتفاق در هر سال در یک زمان مشخص رخ داده است. با توجه به شکل ۲، ایستگاه زابل تا روز تقریباً ۱۱۰ ام نوسان‌های بالایی را در شدت باد تجربه می‌نماید و در عین حال تا این زمان چندان بر سرعت باد افزوده نمی‌شود، بطوری که ایستگاه زابل بادی با سرعت متوسط ۶۶ نات را تجربه می‌کند. اما از روز ۱۱۰ ام ایستگاه زابل با یک جهش ناگهانی در شدت وزش باد مواجه می‌گردد و سرعت وزش باد در ظرف زمانی کوتاهی افزایش می‌یابد و سرعت متوسط باد به ۲۲ نات در ساعت بالغ می‌گردد. این روند افزایشی تا روز ۲۰۲ ام ادامه دارد از این روز به بعد سرعت باد سیستان تا روز ۳۰۰ ام با کاهش همراه است. از روز ۳۰۰ ام به بعد مجدداً ایستگاه زابل بادهای با شدت کمتر و نوسان بالا را تجربه می‌نماید. آنچه که قابل توجه است در طول دوره گرم سال، جهت باد نیز همچون سرعت باد از نوعی تغییر جهت نسبتاً ناگهانی و سریع در زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان برخوردار است. به عبارتی جهت وزش باد در ایستگاه زابل نیز رفتاری مشابه رفتار شدت باد را تجربه می‌نماید (شکل ۲). شایان ذکر است که باد سیستان در زمان اوج وزش خود، بطور مداوم و پیوسته از جهت شمال غربی می‌وزد.



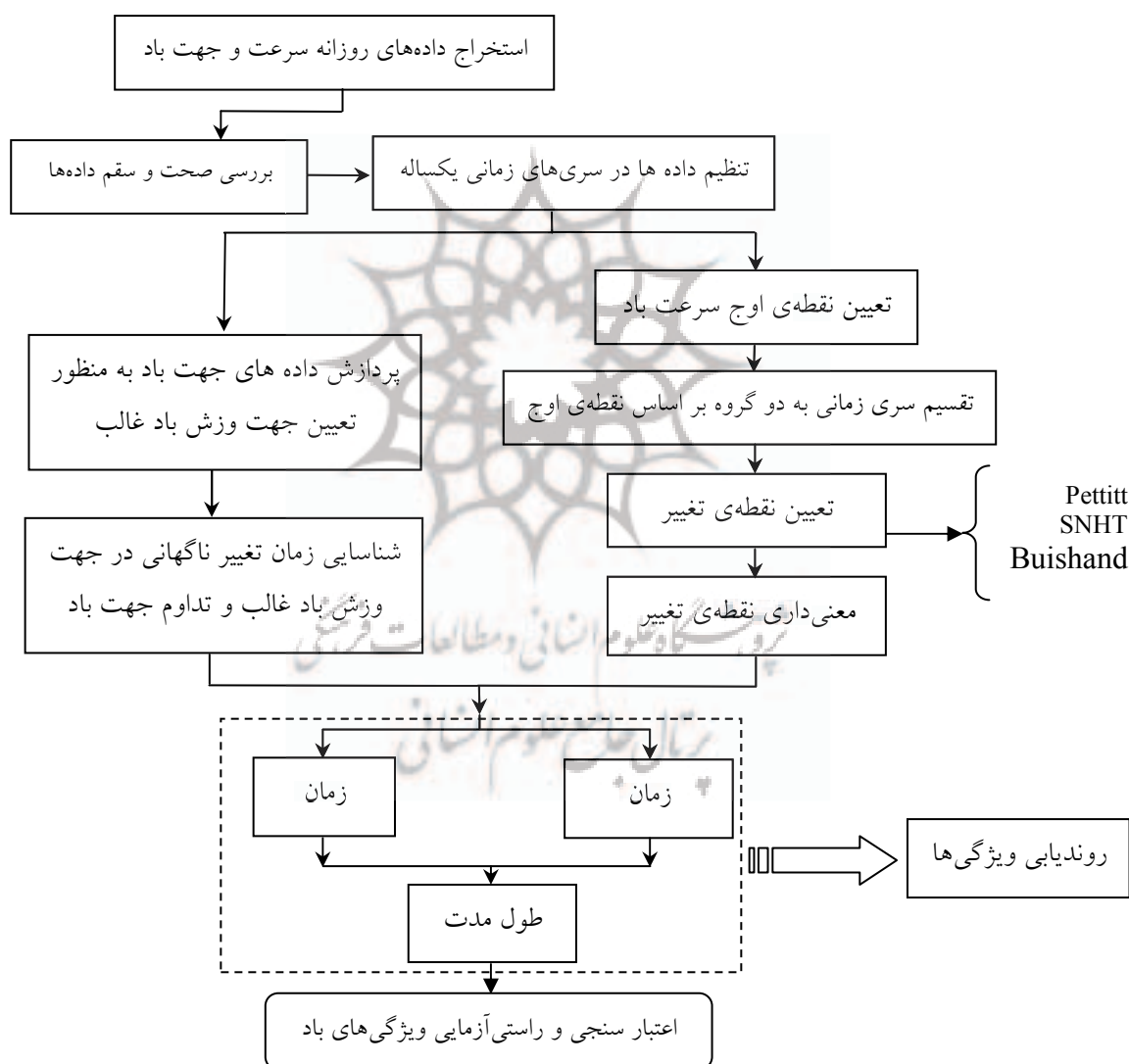
شکل ۲ متوسط درازمدت (۲۰۱۲-۱۹۷۲) شدت (خط ضخیم) و جهت باد (خط نازک) در ایستگاه زابل. خط چین قرمز، زمان متوسط

محاسبه شده برای اوج وزش باد سیستان (نقطه اوج)، همچنین زمان‌های متوسط آغازگری و خاتمه باد سیستان را نشان می‌دهد.

بنابراین به منظور محاسبه زمان آغاز و زمان خاتمه باد سیستان، ابتدا برای هر سال، زمان اوج یا نقطه اوج شدت باد

در مسیر تکوین فصلی باد سیستان استخراج گردید. سپس سری زمانی داده‌ها برای هر سال خاص (X_T)، بر اساس نقطه

اوج به دو دوره زمانی کوچکتر شامل سری قبل از رسیدن سرعت باد به نقطه اوج (X_t) و سری بعد از رسیدن سرعت باد سیستان به نقطه اوج (X_{t+1}) تقسیم گردید (شکل ۲). در ادامه با بهره گیری از سه روش تعیین نقطه تغییر و اعمال آنها بر روی دو سری X_t و X_{t+1} زمان آغازگری و زمان خاتمه باد سیستان به تفکیک برای هر یک از سال های دوره ۴۱ ساله شناسایی شد. در واقع داده های قبل از نقطه اوج سرعت باد برای محاسبه آغاز باد سیستان و داده های بعد از آن برای محاسبه زمان خاتمه باد مورد استفاده قرار گرفت و در عین حال با استفاده از زمان آغاز و خاتمه وزش باد سیستان، طول مدت وزش باد نیز محاسبه شد. به منظور خلاصه نمودن مطالب، مراحل انجام مطالعه به شکل یک مدل مفهومی در شکل ۳ نشان داده شده است.

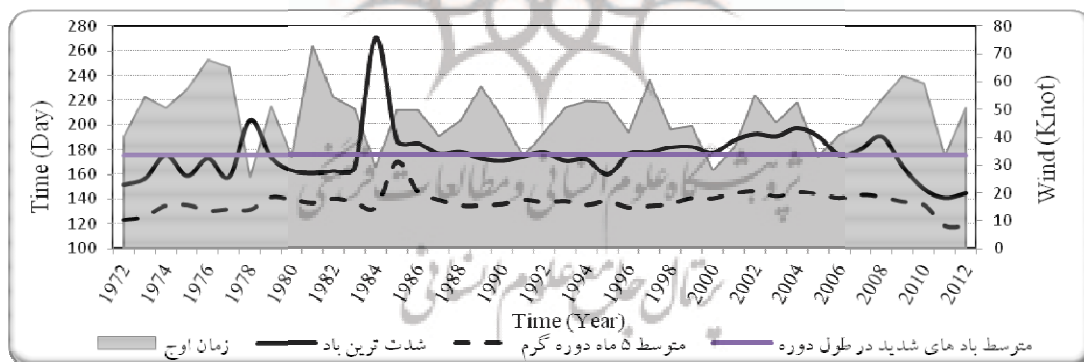


شکل ۳ مدل مفهومی از نحوه انجام پژوهش

۴. بحث و نتایج

۴.۱. بررسی آغازگری و خاتمه باد سیستان با استفاده از روش‌های نقطه تغییر

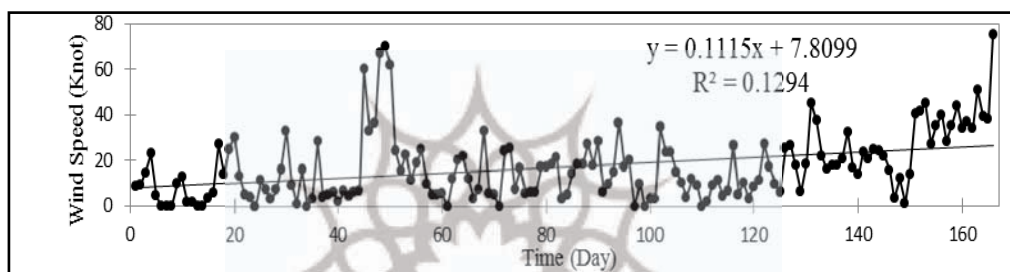
در این بخش سعی خواهد شد با بهره‌گیری از سه روش تخمین نقطه تغییر و با استفاده از متغیر شدت باد زمان‌های آغازگری، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان مورد بررسی قرار گیرد. با بررسی‌های انجام شده بر روی شدت وزش باد، زمان اوج شدت وزش باد سیستان (بیشینه سرعت باد) در هیچ کدام از سال‌های مورد مطالعه مشابه دیگری نبوده و در واقع نقطه زمانی اوج سرعت باد از سالی به سال دیگر تغییر می‌نماید (شکل ۴). همانطوری که شکل ۴ نشان می‌دهد، این امر موجب گردیده تا در برخی از سال‌ها زمان اوج سرعت باد (نقطه اوج) بسیار زود هنگام (مانند سال ۱۹۷۸ که در روز ۱۵۲ ام اتفاق افتاده است) و در برخی از سال‌ها بسیار دیر هنگام بوقوع پیوندد (مانند سال ۱۹۸۲ که در روز ۲۶۴ ام اتفاق افتاده است). البته این نشان دهنده متفاوت بودن طول مدت وزش باد سیستان در هر سال نیز می‌باشد. نکته قابل ذکر دیگر آن که، علاوه بر تغییرات سال به سال در وقوع زمان اوج شدت باد، مقادیر بیشینه شدت باد نیز تفاوت‌های محسوسی را از سالی به سال دیگر نشان می‌دهد، بطوریکه در طول دوره ۴۱ ساله، بالاترین میزان سرعت باد در زمان اوج، حدود ۷۵/۶ نات ($140/01 \text{ km/h}$) در سال ۱۹۸۴ رخ داده است؛ که بر اساس طبقه‌بندی باد در شاخص بوفورت جزء بادهای بسیار شدید (طوفان بسیار شدید) محسوب می‌گردد. در مقابل، پایین‌ترین سرعت باد در زمان اوج به طور متوسط حدود ۱۶۷۲ نات در سال ۲۰۱۲ بوقوع پیوسته است. متوسط شدت باد نیز در طول دوره آماری (۱۹۷۲ الی ۲۰۱۲) حدود ۳۳/۵۷ نات ($62/17 \text{ km/h}$) محاسبه گردیده است (شکل ۴).



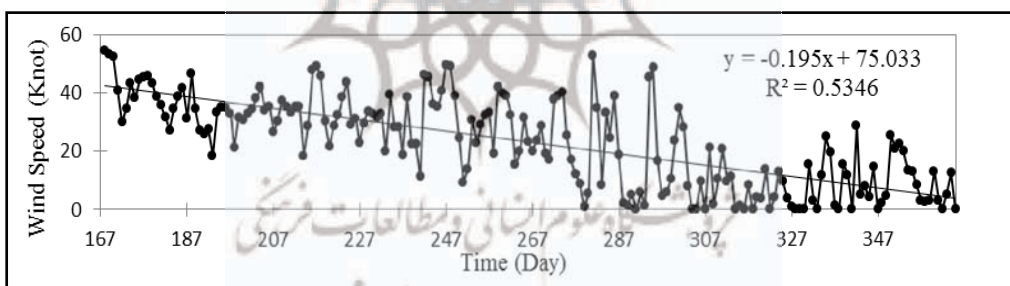
شکل ۴ تغییرات سال به سال در وقوع زمان اوج شدت باد سیستان (رنگ خاکستری، بر اساس روزهای ژولوسی از اول ژانویه) و میزان بیشینه شدت باد (خط ممتد سیاه) برای ایستگاه زابل در طول دوره ۴۱ ساله (۱۹۷۲-۲۰۱۲). برای مقایسه، شدت متوسط باد سیستان برای ۵ ماه دوره گرم (می تا سپتامبر) با خط چین سیاه و شدت متوسط درازمدت باد با خط ممتد آبی نشان داده شده است.

همانطوری که در روش پژوهش آورده شده است، به منظور شناسایی زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان، محاسبه نقطه تغییر به تفکیک و بطور مجزا برای هر یک از سال‌ها و برای هر یک از روش‌های آماری به انجام

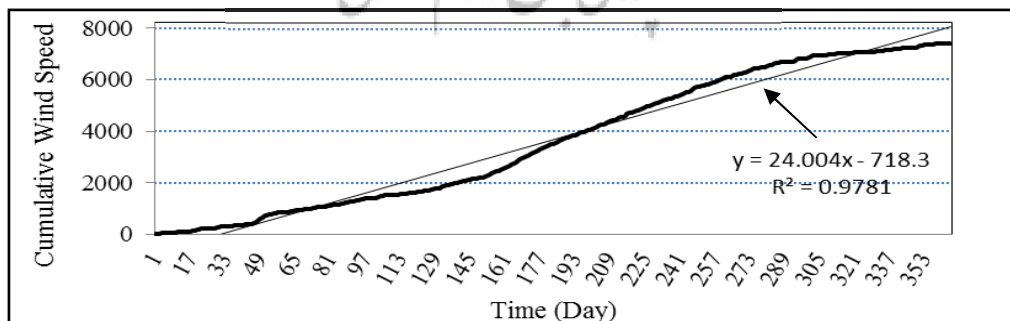
رسیده است، که نمایش نمودارها و محاسبات مربوط به تمامی سالها امکان‌پذیر نبوده و از حوصله این مقاله خارج است. بنابراین در این بخش از مقاله به منظور تعیین زمان آغازگری، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان، جزئیات مربوط به سال ۱۹۸۴ ارائه گردیده و از نشان دادن نمودارها و اشکال مربوط به سایر سالها صرفنظر گردید. شایان ذکر است که سال ۱۹۸۴ بالاترین میزان سرعت باد را در طول دوره آماری مورد مطالعه تجربه نموده است. شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نمایش دهنده متوسط روزانه سرعت باد، قبل و پس از زمان اوج در سال ۱۹۸۴ است. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد با برازش یک رگرسیون خطی ساده در هر دو سری زمانی (قبل و پس از اوج)، روند افزایشی و کاهش‌ی در داده‌ها مشاهده می‌گردد. در واقع اگر هر یک از سری‌های زمانی (T) را به دو سری از نقطه تقریباً میانی تقسیم کنیم. پارامترهای آماری $\mu_{1,2}$ و $\alpha_{1,2}$ در هر یک از سری‌های زمانی با یکدیگر دارای تفاوت معنی‌دار هستند.



شکل ۵ متوسط سرعت باد در سال ۱۹۸۴ مربوط به دوره قبل از اوج سرعت



شکل ۶ متوسط سرعت باد در سال ۱۹۸۴ مربوط به دوره بعد از اوج سرعت

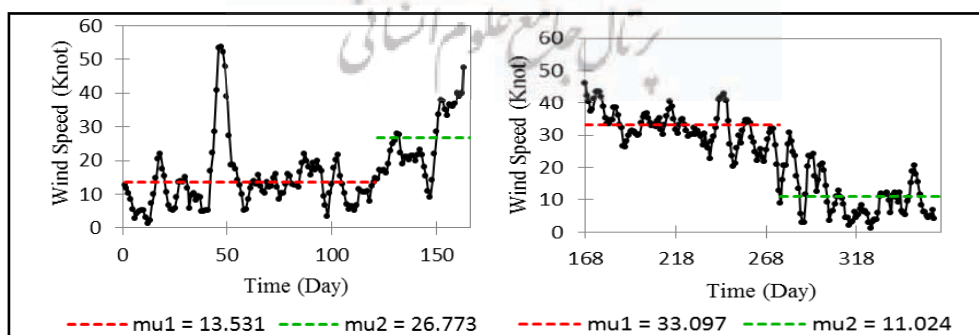


شکل ۷ مقدار تجمعی سرعت متوسط روزانه باد در سال ۱۹۸۴

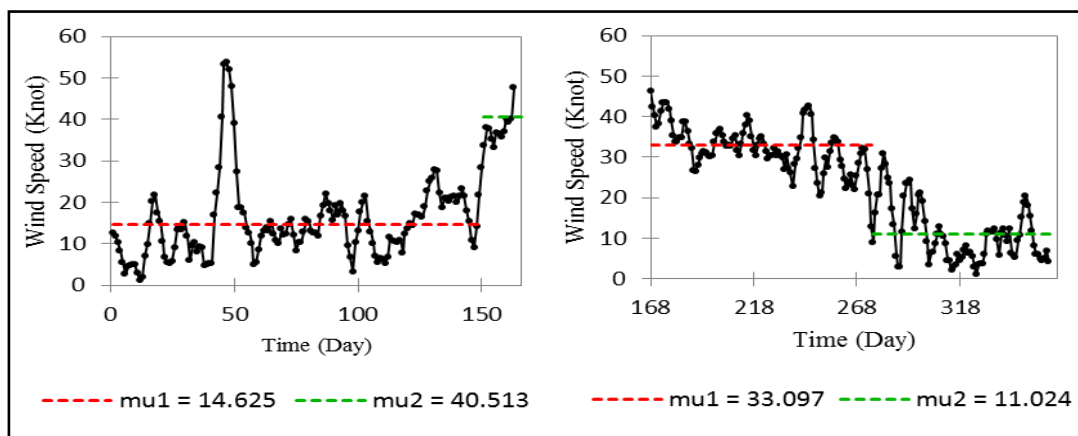
به بیانی دیگر باد در ابتدای سال (ژانویه) کمترین مقدار شدت خود را در منطقه سیستان تجربه می‌کند و سپس با گذشت زمان سرعت باد افزایش می‌یابد. در واقع روند سری زمانی قبل از نقطه اوج افزایشی است (شکل ۵)، به طوری که در نهایت به مقدار ۷۵/۶ نات (۱۴۰/۰۲ km/h) برابر با یک طوفان خیلی شدید می‌رسد. در مقابل، پس از اوج، از میزان شیب خط کاسته شده و خط روند کاهشی به خود می‌گیرد (شکل ۶). شکل ۷ مقدار تجمعی سرعت متوسط باد روزانه در سال ۱۹۸۴ را نشان می‌دهد؛ این شکل تغییرات ناگهانی در شیب خط را بهتر نمایش می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد خط برازش داده شده سری زمانی را در سه نقطه قطع می‌کند. به بیانی دیگر، دوره قبل از آغاز باد سیستان و پس از خاتمه آن شیب خط نزدیک به صفر است و باد از شدت کم برخوردار است. با آغاز وزش باد سیستان لحظه به لحظه بر مقدار شدت باد افزوده شده و شیب خط تندتر می‌شود و پس از خاتمه، مجدداً شیب خط کاهش می‌یابد.

همانطوری که قبلاً بیان شد، سری زمانی کل در هر سال، بر اساس اوج سرعت باد به دو سری زمانی شامل سری قبل از اوج و سری بعد از اوج تقسیم گردید. سپس با استفاده از روش‌های شناسایی نقطه تغییر، نقطه تغییر برای هر سری زمانی محاسبه گردید که نقطه تغییر معنی‌دار در داده‌های پیش از اوج سرعت باد و پس از آن به ترتیب منطبق بر شروع و خاتمه باد سیستان است و طول دوره وزش باد سیستان از تفاضل بین این دو محاسبه می‌گردد. برای نمونه بر اساس سه روش پتیت، SNHT و بوشند، آغازگری باد سیستان در سال ۱۹۸۴، به ترتیب در روزهای ۱۲۱، ۱۵۰ و ۱۲۵ (به طور متوسط در روز ۱۳۲) و خاتمه آن در روز ۲۷۵، ۲۸۶ و ۲۷۵ (به طور متوسط روز ۲۷۷) رخ داده است. بر این اساس می‌توان گفت طول دوره وزش باد سیستان در سال ۱۹۸۴، که با شدیدترین بادها در طول دوره ۴۱ ساله مواجه بوده است، برابر با ۱۴۵ روز خواهد بود (شکل‌های ۸ و ۱۰).

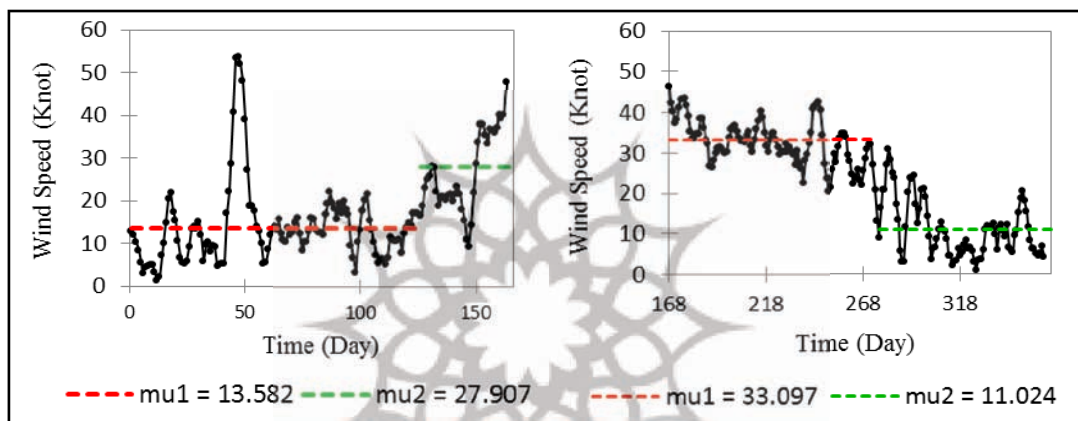
شکل‌های (۸) تا (۱۰) نمایش‌گر زمان آغاز و خاتمه وزش باد سیستان در سال ۱۹۸۴ است. این کار برای تمامی سال‌های آماری مورد مطالعه انجام شد که نتایج آن در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ و پارامترهای محاسباتی آنها در جدول‌های ۱ و ۲ در بخش ضمیمه آورده شده است. نتایج متفاوت برای سه روش بکار گرفته شده در برخی از سال‌ها بدیهی است. در برخی از سال‌ها روش SNHT نتایج بسیار متفاوتی را در قیاس با دو روش دیگر از خود نشان داده است.



شکل ۸ زمان آغازگری (چپ) و زمان خاتمه (راست) باد سیستان در سال ۱۹۸۴ بر اساس روش پتیت. جهت حذف نوسانات روزانه در شدت وزش باد از میانگین متحرک ۵ روزه استفاده شد.

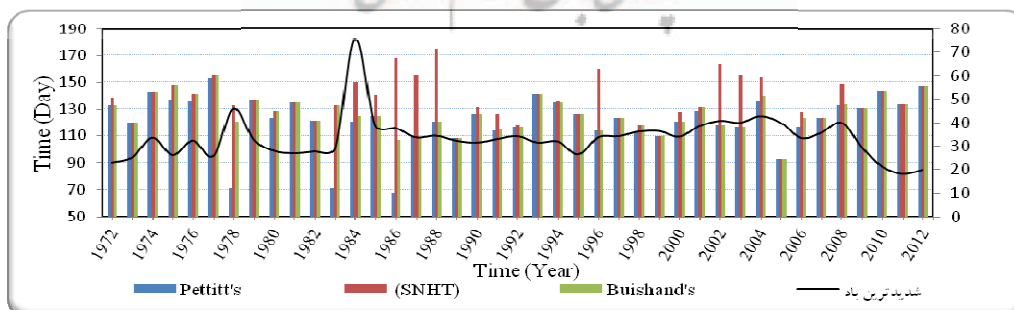


شکل ۹ زمان آغازگری (چپ) و زمان خاتمه (راست) باد سیستان در سال ۱۹۸۴ بر اساس روش SNHT



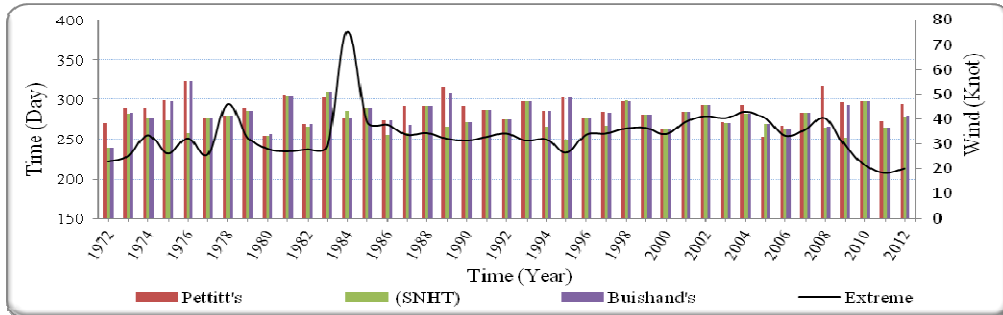
شکل ۱۰ زمان آغازگری (چپ) و زمان خاتمه (راست) باد سیستان در سال ۱۹۸۴ بر اساس روش بوشند.

باید توجه داشت که یکی از پیش شرط‌های اصلی روش SNHT نرمال بودن سری زمانی است، بنابراین نتایج متفاوت این روش با دو روش دیگر دور از انتظار نیست. به بیانی دیگر، این روش برای داده‌های نرمال نتایج بهتری را از خود به نمایش می‌گذارد. علی‌رغم تفاوت یادشده، به‌طور کلی خصوصیات آماری باد در هر سه روش به یکدیگر بسیار نزدیک است. شایان ذکر است که سری زمانی سرعت باد در دو دوره زمانی قبل و بعد از زمان اوج از توزیع نرمال تبعیت ننموده است.

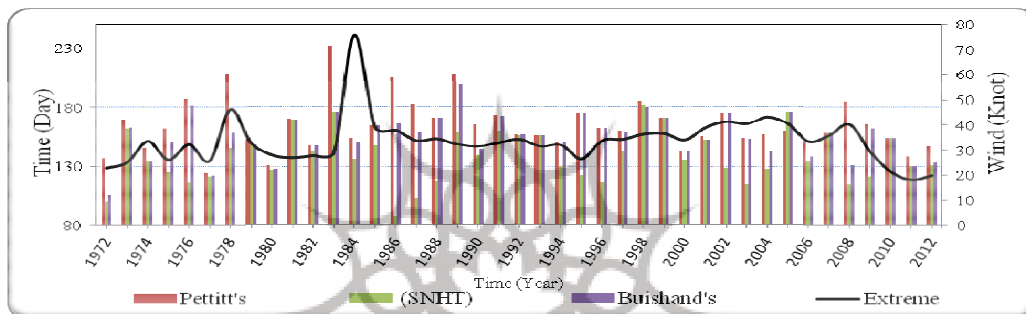


شکل ۱۱ زمان آغاز باد سیستان به روش‌های متفاوت آماری در دوره ۴۱ ساله به همراه میزان بیشینه شدت باد (خط ممتد سیاه).

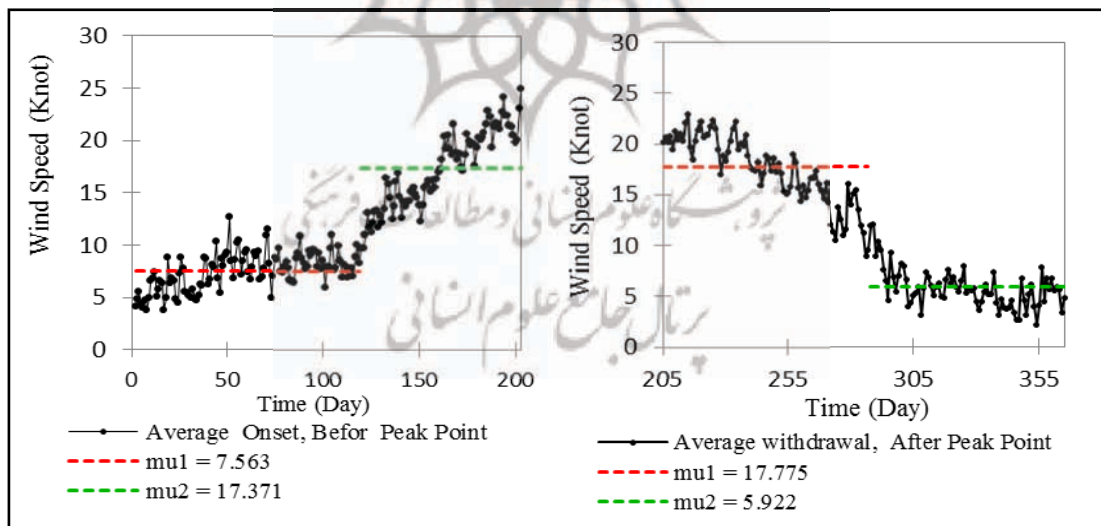
به منظور فراهم نمودن تصویری اقلیمی از زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان شکل ۱۴ با بهره گیری از داده‌های یک دوره ۲۰ ساله برای زمان آغازگری و یک دوره ۱۶ ساله برای زمان خاتمه تهیه گردیده است.



شکل ۱۲ زمان خاتمه باد سیستان به روش‌های متفاوت آماری در دوره ۴۱ ساله به همراه میزان بیشینه شدت باد (خط ممتد سیاه).



شکل ۱۳ طول دوره وزش باد سیستان به روش‌های متفاوت آماری در دوره ۴۱ ساله به همراه میزان بیشینه شدت باد.



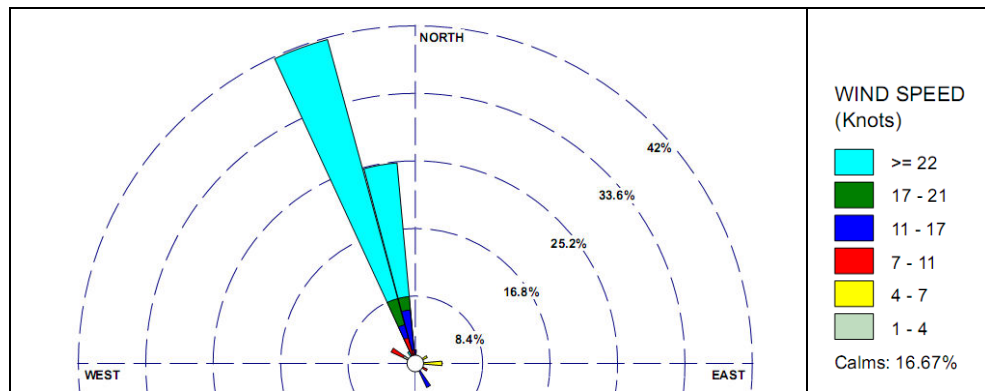
شکل ۱۴ زمان متوسط درازمدت آغازگری (چپ) و خاتمه (راست) باد سیستان بر اساس روش پتیت. در شکل از سری داده‌های مربوط به سال‌هایی که کمترین انحرافات (نمره Z بین ۰/۵- تا ۰/۵+) را از میانگین درازمدت زمان آغازگری (۲۰ سال) و خاتمه (۱۶ سال) باد سیستان داشته اند، استفاده شد. در تهیه نمودار میانگین متحرک ۵ روزه بکار گرفته شد.

با در نظر گرفتن این نکته که زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان از سالی به سال دیگر تفاوت دارد، در تولید شکل ۱۴ از تمامی سال هایی که کمترین انحرافات را از میانگین درازمدت زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان داشته اند، استفاده شد. درعین حال، برای تخمین زمان آغازگری و خاتمه باد از روش پتیت که دارای کارایی بالاتر و دقت بیشتری است، بهره گرفته شد. با در نظر گرفتن محاسبات انجام شده، زمان متوسط آغازگری و خاتمه باد سیستان به ترتیب روزهای ۱۱۹ ام و ۲۸۷ ام از سال میلادی و طول دوره وزش باد سیستان نیز ۱۶۶ روز تعیین گردیده است.

۴،۲. بررسی آغازگری و خاتمه باد سیستان با استفاده از جهت وزش باد غالب

یکی از ویژگی های مهم باد سیستان، جهت غالب شمال غربی این باد است (سلیقه، ۱۳۸۲). با توجه به پژوهش های گذشته، آغاز باد سیستان با یک تغییر در جهت وزش باد غالب و در عین حال تداوم وزش آن از یک قطاع و زاویه محدود قابل شناسایی است. همان طوری که در شکل ۱۵ مشاهده می شود، جهت غالب باد سیستان شمال غربی بوده و میزان فراوانی وقوع باد در طول دوره گرم در قطاع یادشده بسیار بیشتر از هر قطاع دیگری می باشد. بنابراین به منظور ارزیابی اعتبار این روش ها و این که کدامیک از روش های به کار بسته شده از نتایج قابل قبول تر و نزدیک تر به خصوصیات باد سیستان برخوردار است، از داده های جهت شدیدترین باد روزانه و همچنین جهت باد در ساعت های ۳ و ۶ به وقت گرینویچ در ایستگاه زابل بهره گرفته شد. درعین حال به جهت محدودیت در ارائه مطالب، در این پژوهش صرفاً نتایج مربوط به دو سال از دوره مطالعه ارائه خواهد شد. سال ۱۹۸۴ به این دلیل انتخاب شد که ایستگاه زابل شدیدترین باد را تجربه نموده است. همچنین سال ۲۰۰۹ به این جهت مدنظر قرار گرفت که هر سه روش، روز مشابهی را به عنوان روز آغاز باد سیستان تعیین نموده اند. در واقع انتخاب زمان ها و ویژگی های متفاوت از وقوع باد سیستان، ارزیابی میزان دقت روش های آماری بکار گرفته شده در این تحقیق را به نحو مطلوب تری امکان پذیر خواهد ساخت. به عنوان نمونه شکل ۱۶ جهت شدیدترین بادهای روزانه را در طول سال ۱۹۸۴ نشان می دهد. همان طوری که در شکل مشاهده می گردد، باد سیستان در چند ماه آغازین سال دارای نوسان های قابل توجهی بوده و در جهت های مختلفی وزیده است. نوسانات یادشده تا روز ۱۱۲۱ ام به طول انجامیده است. به عبارتی، باد سیستان واقعی از روز ۱۲۱ ام تا روز ژولیوسی ۲۷۵ ام به مدت ۱۵۵ روز بطور پیوسته از جهت شمال غربی وزیده است. در این میان، باد سیستان تنها در سه روز متوالی ۱۴۸، ۱۴۹ و ۱۵۰ ام و روز ۱۶۳ ام جهتی متفاوت با جهت غالب را تجربه نموده است. به نظر می رسد تغییرات کوتاه مدت درون فصلی یادشده در جهت وزش باد غالب (تغییرات یک تا چند روزه)، ناشی از تغییرات گذرا و موقت در ساختار منطقه ای گردش جو باشد. بر اساس سه روش پتیت، SNHT و بوشند زمان آغازگری باد سیستان در سال ۱۹۸۴ به ترتیب روزهای ۱۲۱، ۱۵۰ و ۱۲۵ ام) و زمان خاتمه آن به ترتیب روزهای ۲۷۵، ۲۸۶ و ۲۷۵ ام تعیین گردیده است. با در نظر گرفتن روز آغاز باد سیستان با توجه به جهت وزش باد غالب و مقایسه آن با نتایج سه روش نقطه تغییر، می بایست اذعان داشت که روش پتیت به خوبی روز آغاز باد سیستان را شناسایی نموده است. همچنین در ارتباط با خاتمه وزش باد سیستان نیز مشاهده می گردد که پس از وزش باد سیستان به مدت ۱۵۵ روز با جهت غالب شمال غربی و شمالی، مجدداً در روز ۲۷۶ ام نوسانات شدید در جهت وزش باد آغاز می گردد که نشانه خاتمه باد

سیستان است. نتایج بیانگر آن است که زمان خاتمه محاسبه شده در دو روش پتیت و بویشند تطابق بیشتری با زمان خاتمه باد سیستان بر اساس جهت وزش باد غالب در منطقه سیستان دارد، این در حالی است که روش SNHT زمان متفاوتی را برای خاتمه باد تعیین نموده است.

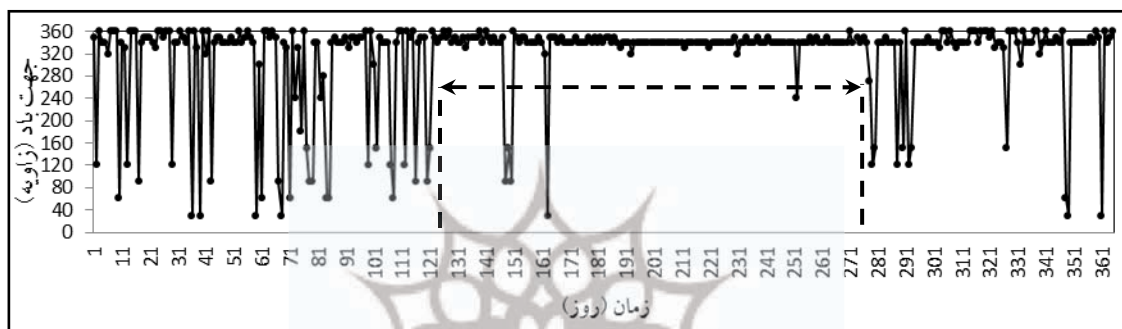


شکل ۱۵ گلباد سالانه برای ایستگاه زابل (سال ۱۹۸۴)

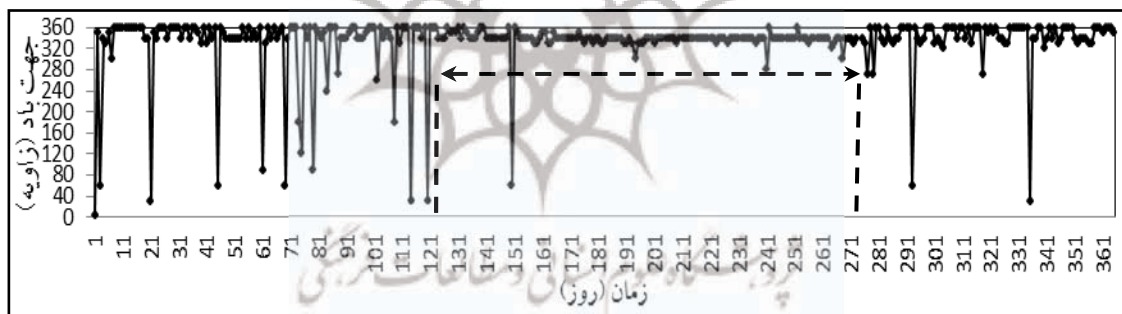
شایان ذکر است که در طول ساعات شب به جهت محور تلاطم‌های سطحی و به تبع آن کاهش و یا ناپدید شدن همرفت‌های محلی، میزان تاثیر جریان متلاطم محلی بر ساختار باد مقیاس منطقه‌ای کاهش می‌یابد. به حداقل رسیدن تفاوت‌های منطقه‌ای در گرمایش کوه و دشت از یک سو و کاهش میزان همرفت و نبود تلاطم‌های سطحی از سوی دیگر، تاثیرپذیری باد سیستان از اصطکاک و شرایط محلی را در ساعات شب به حداقل می‌رساند. کاهش نقش عوامل محلی در ساعات یادشده سبب می‌گردد تا باد سیستان خصوصیات مقیاس منطقه‌ای خود را به نحو بارزتری نمایان سازد. به همین جهت در مطالعه حاضر جهت وزش باد برای ساعات ۳ و ۶ گرینوچ مورد بررسی قرار گرفت. شکل‌های ۱۷ و ۱۸ جهت وزش روزانه باد سیستان را برای سال ۱۹۸۴ به تفکیک در ساعت ۳ و ۶ گرینوچ نشان می‌دهند. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد، در تابستان ۱۹۸۴ جهت باد از روز ۱۲۱ ام از یک امتداد شمال‌غربی برخوردار شده و این روند تا روز ۲۷۵ ام ادامه یافته است. ثبت‌های انجام شده بیانگر آن است که از روز ۲۷۶ ام جهت باد در ایستگاه زابل از ثبات برخوردار نبوده و دچار نوسانات قابل ملاحظه‌ای گردیده است، که می‌توان این امر را نشانه‌ای برای خاتمه باد سیستان قلمداد نمود. بررسی مقایسه‌ای جهت وزش روزانه باد و تغییرات شدت آن در سال ۱۹۸۴ حکایت از آن دارد که روش پتیت به نحو دقیق‌تر و مطلوب‌تری زمان آغاز و خاتمه باد سیستان را برآورد می‌نماید. شکل‌گیری باد شمال‌غربی در روز ۱۲۱ ام و تداوم جهت یادشده تا روز ۲۷۵ ام، دقت بالاتر روش پتیت را در قیاس با دو روش SNHT و بویشند نشان می‌دهد. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که روش پتیت در قیاس با دو روش دیگر شاخص مناسب‌تری برای تعیین زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان به شمار می‌آید.

جدول‌های ضمیمه ۱ و ۲ پارامترهای محاسباتی مربوط به سه روش مورد استفاده در تعیین نقطه تغییر را نشان می‌دهند. بر اساس محاسبات انجام شده، سه روش آماری بکار گرفته شده در ۱۸ سال از ۴۱ سال مورد بررسی، زمان مشابهی را

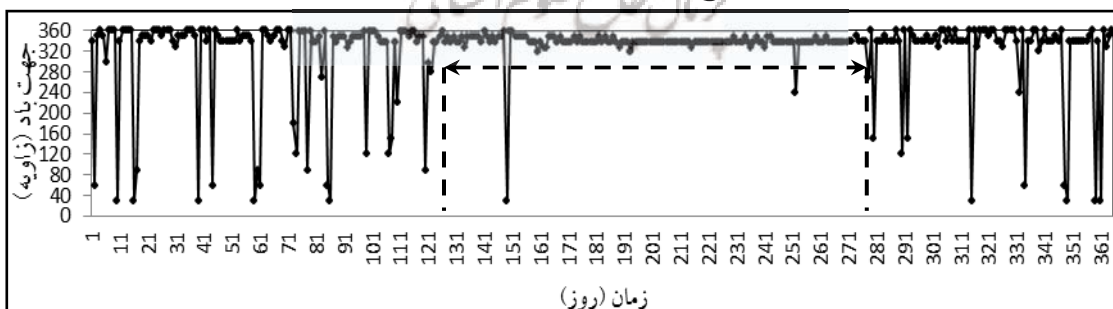
برای آغازگری باد سیستان تخمین زده اند. این مقدار برابر با ۴۲ درصد از کل سال‌های آماری مورد مطالعه می‌باشد. از میان سال‌های با تخمین مشابه، سال ۲۰۰۹ به عنوان نمونه به منظور اعتبارسنجی آورده شده است. جهت وزش باد در ایستگاه زابل در طول سال ۲۰۰۹ تا روز ۱۳۱ ام دارای نوسانات قابل ملاحظه ای است اما از روز ۱۳۱ ام جهت شدیدترین بادها دارای امتداد شمال غربی می‌گردد (شکل ۱۹). یعنی باد در روز ۱۳۱ ام یک تغییر ناگهانی را در جهت وزش خود تجربه می‌نماید و پس از آن به یک نوع ثبات دست می‌یابد. هر سه روش نقطه تغییر، آغاز باد سیستان را در سال ۲۰۰۹ به خوبی شناسایی نموده‌اند، اما در مورد شناسایی روز خاتمه باد سیستان، با توجه جهت وزش باد گزارش شده، روش پتیت نسبت به دو روش دیگر بهتر توانسته این روز را شناسایی کند (شکل ۱۹). روزهای خاتمه باد سیستان به سه روش پتیت، SNHT و بویشد به ترتیب عبارتند از ۲۹۷، ۲۵۲ و ۲۹۳. شکل ۱۹ گویای این مطلب می‌باشد.



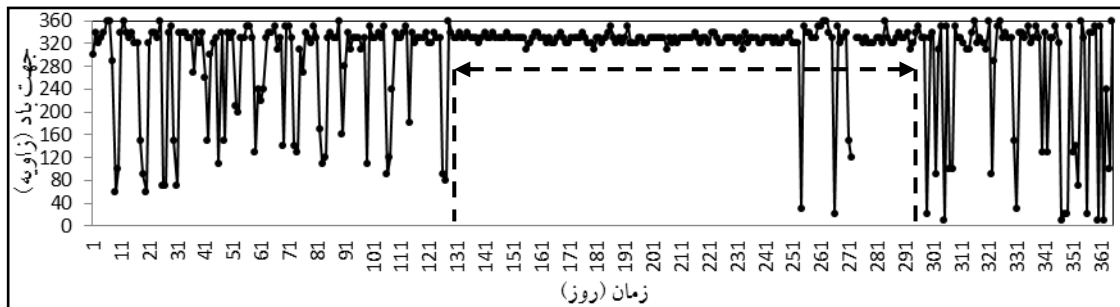
شکل ۱۶ جهت شدیدترین باد در ایستگاه زابل در سال ۱۹۸۴. خط چین آغاز، خاتمه و مدت وزش باد سیستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷ جهت باد در زابل برای ساعت ۳ گرینویچ در سال ۱۹۸۴. خط چین آغاز، خاتمه و مدت وزش باد سیستان را نشان می‌دهد.

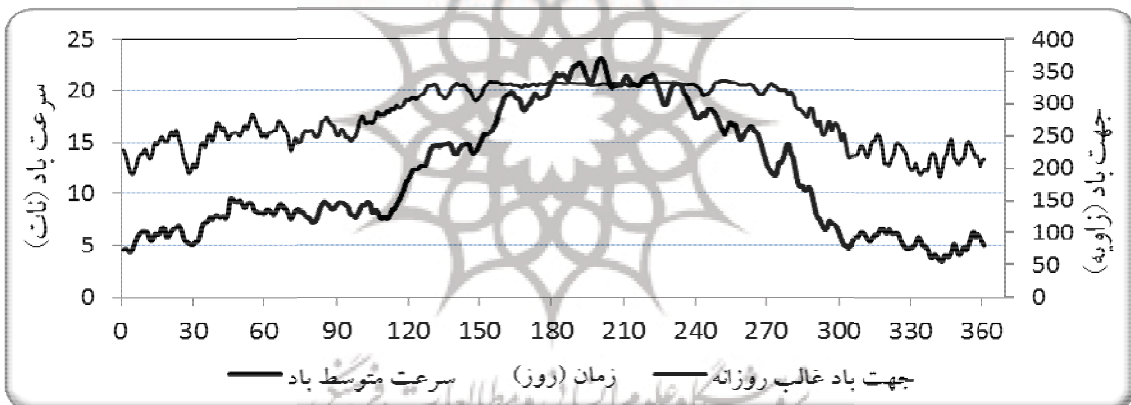


شکل ۱۸ جهت باد در زابل برای ساعت ۶ گرینویچ در سال ۱۹۸۴. خط چین آغاز، خاتمه و مدت وزش باد سیستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹ جهت شدیدترین باد در زابل در سال ۲۰۰۹. خط چین آغاز، خاتمه و مدت وزش باد سیستان را نشان می دهد.

در عین حال، به منظور فراهم نمودن تصویری اقلیمی از زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان، شکل ۲۰ تهیه گردیده است. در این شکل، بطور همزمان تغییرات روزانه شدت و جهت باد در ایستگاه زابل از ابتدای سال به نمایش درآمده است. از آنجایی که در تکوین فصلی باد سیستان، زمان آغازگری، نقطه اوج و زمان خاتمه باد سیستان از سالی به سال دیگر تفاوت دارد، در تولید شکل از داده های مربوط به سالهایی استفاده شد که کمترین انحرافات را از میانگین درازمدت زمان آغازگری و خاتمه باد سیستان داشته اند.



شکل ۲۰ متوسط درازمدت شدت (خط ضخیم) و جهت باد (خط نازک) در ایستگاه زابل. در شکل از سری داده های روزانه مربوط به سال هایی که کمترین انحرافات (نمره Z بین ۰/۵- تا ۰/۵+) را از میانگین درازمدت زمان آغازگری (تعداد ۲۰ سال) و خاتمه (تعداد ۱۶ سال) باد سیستان داشته اند، استفاده شد. در ترسیم شکل از دو سری داده، شامل داده های آغازگری و داده های خاتمه استفاده شد. داده های آغازگری از ابتدای سال تا زمان متوسط اوج (روز ۲۰۳ ام) و داده های خاتمه از روز پس از اوج تا پایان سال را در بر می گیرند.

با توجه به شکل، باد سیستان پس از یک تغییر ناگهانی در شدت و جهت وزش باد، در روز ۱۱۹ ام آغاز گردیده و مجدداً به واسطه یک تغییر قابل توجه در جهت و شدت باد، در روز ۲۸۵ ام خاتمه یافته است. نکته قابل ذکر آنکه، در طول مدت وزش باد سیستان (یعنی ۱۶۶ روز در حفاصل زمان آغازگری و خاتمه)، جهت وزش باد در قیاس با شدت وزش، از پایداری و ثبات بالاتری برخوردار بوده است.

۴.۳. بررسی روند آماری خصوصیات باد

در این تحقیق علاوه بر بررسی ویژگی‌های باد (زمان آغازگری، خاتمه و طول مدت وزش) در طول دوره آماری با استفاده از روش ناپارامتریک من کندال (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۵؛ سرانو، ۱۹۹۹) روند این خصوصیات نیز بررسی شد. جدول شماره ۱ نتایج آزمون ناپارامتریک من کندال را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی این که آیا در داده‌ها روند معنی دار اعم از افزایشی و یا کاهشی وجود دارد یا خیر، از سطح معنی‌داری (P-Value) استفاده شده است. فرض صفر در این آزمون عبارت است از آن که روندی معنی‌دار بین داده‌ها (سری زمانی آغازگری، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان) وجود ندارد. اگر مقدار P-Value از مقدار کمتر باشد فرض این که هیچ روند معنی‌داری بین داده‌ها وجود ندارد؛ غیر محتمل بوده در نتیجه می‌پذیریم که داده‌ها دارای روند هستند و در طول زمان دچار تغییر شده‌اند. برعکس اگر مقدار P-Value بزرگ باشد احتمال این که داده‌ها از روندی برخوردار نباشند بسیار زیاد خواهد بود. بنابراین با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ می‌توان بر عدم وجود روند بین داده‌ها حکم نمود.

جدول ۱ نتایج آزمون ناپارامتریک من کندال در رابطه با زمان آغاز، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان

شرح	روش‌های تعیین نقطه تغییر	Kendall's tau	آماره S	واریانس Var(S)	p-value (Two-tailed)	آلفا (سطح مجاز خطا)
آغاز	(Pettitt)	۰/۰۰	۴	۷۹۰۸/۶۷	۰/۹۷	۰/۰۵
	(SNHT)	-۰/۰۶	-۵۲	۷۹۱۶/۰۰	۰/۵۷	۰/۰۵
	(Buishand)	-۰/۰۷	-۶۰	۷۹۱۱/۳۳	۰/۵۱	۰/۰۵
خاتمه	(Pettitt)	-۰/۰۱	-۱۲	۷۹۰۸/۶۷	۰/۹۰	۰/۰۵
	(SNHT)	۰/۰۰	۲	۷۹۲۰/۶۷	۰/۹۹	۰/۰۵
	(Buishand)	-۰/۰۸	-۶۵	۷۹۱۰/۳۳	۰/۴۷	۰/۰۵
مدت وزش	(Pettitt)	-۰/۰۷	-۵۳	۱۵۷۹/۰۰	۰/۵۶	۰/۰۵
	(SNHT)	۰/۰۳	۲۷	۷۹۱۷/۶۷	۰/۷۷	۰/۰۵
	(Buishand)	-۰/۰۱	-۹	۷۹۱۷/۰۰	۰/۹۳	۰/۰۵
شدت باد	-	۰/۱۹	۱۵۲	۷۹۲۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۵

در جدول مذکور ستون ۶ سطح معنی داری و ستون هفتم مقدار خطا یا به بیانی آلفا به تفکیک برای هر یک از خصوصیات باد آورده شده است. همان طوری که مشاهده می‌گردد در تمامی روش‌ها مقدار سطح معنی داری از مقدار آلفا بزرگ‌تر است که به معنی آن است که داده‌ها از روند مشخصی برخوردار نیستند و نمی‌توان فرض صفر را رد نمود. نتیجه نهایی حاصل از روندیابی خصوصیات باد سیستان حکایت از آن دارد که باد سیستان در هیچ یک از خصوصیات خود در طول دوره مورد مطالعه از روندی معنی دار برخوردار نبوده است. لازم به توضیح است که در جدول ۱، ستون سوم تا پنجم پارامترهای آماره من کندال است.

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور تعیین زمان آغاز، زمان خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان از سه شناسایی نقطه تغییر، همچنین از جهت وزش باد غالب استفاده شد. بررسی نتایج بیانگر آن است که تقریباً هر سه روش شناسایی نقطه تغییر در رابطه با ویژگی‌های باد سیستان، اعداد نزدیک به یکدیگر را نشان می‌دهند. به ویژه دو روش پتیت و بوشند که دارای همبستگی حدود ۰/۷ برای روزهای آغاز و حدود ۰/۷۵ برای روزهای خاتمه می‌باشند. نتایج همچنین بیانگر آن است که روش پتیت در قیاس با دو روش دیگر ویژگی‌های باد سیستان را به نحو بهتری نشان می‌دهد. البته این به معنای عدم کارایی دو روش دیگر نمی‌باشد. بنابراین بر اساس روش پتیت به طور متوسط باد سیستان در روز ۱۲۲ ام سال یعنی روز دوم ماه می آغاز شده و به طور متوسط به مدت ۱۶۵ روز در طول دوره گرم سال می‌وزد. باد سیستان در نهایت در روز ۲۸۷ ام ژوئیه برابر با ۱۴ اکتبر به پایان می‌رسد.

نتایج بررسی حکایت از آن دارد که باد سیستان در تکوین زمانی خود در طول دوره گرم سال بطور هم زمان دو ویژگی متفاوت را از خود بروز می‌دهد. به عبارتی، باد سیستان در دوره وزش خود در طول ماه‌های گرم سال دو نوع تغییر را تجربه می‌نماید. نوع اول تغییرات از یک نظم و آهنگ برخوردارند که خود به دو دسته کلی شامل تغییرات شبانه روزی و افزایش و کاهش تدریجی در شدت وزش باد تقسیم می‌گردند که می‌توان این رفتار را متأثر از عوامل محلی و آهنگ فصلی تابش خورشیدی دانست. این ویژگی، جنبه مقیاس محلی باد سیستان را عیان می‌سازد. در مقابل، علاوه بر ویژگی‌های محلی یاد شده، باد سیستان در مسیر تکوین فصلی خود دو سری نوسانات و تغییرات ناگهانی را نیز به عنوان نوع دوم تغییرات تجربه می‌نماید، که آن نیز به دو دسته اصلی قابل تقسیم است. سری اول تغییرات ناگهانی، آنهایی هستند که در طول دوره گرم سال به شکل نوسانات و تغییرات چند روزه نمود می‌یابند و از منظر شدت و جهت وزش باد از نظم خاصی پیروی نمی‌نمایند. به نظر می‌رسد این تیپ تغییرات ناگهانی چند روزه، ناشی از عبور سامانه‌های همیدی برون حاره از روی منطقه باشد. در مقابل، تیپ دوم تغییرات ناگهانی، آنهایی هستند که سبب آغاز و خاتمه واقعی باد سیستان

می‌گردند. این تغییرات ناگهانی از یک سو در طول فصل بهار به واسطه تسلط نسبتاً ناگهانی بادهای شدید با جهات شمال-شمال غربی در منطقه سیستان، نشان از آغازگری باد سیستان دارند و از سوی دیگر، در پایان دوره گرم به واسطه کاهش قابل ملاحظه در شدت وزش باد شمال-شمال غربی و پیدایش نواسانات و بی‌نظمی نسبتاً ناگهانی در جهت وزش باد، از خاتمه وزش باد سیستان حکایت می‌کنند. به عبارت دیگر، تیپ دوم تغییرات ناگهانی از یک سو از به ثبات رسیدن جریانات ترازهای زیرین و آغازگری باد سیستان در ابتدای دوره گرم حکایت می‌کند و از سوی دیگر نشانه‌ای برای از ثبات خارج شدن این جریانات و خاتمه باد سیستان در روزهای پایانی دوره گرم می‌باشد.

یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که باد سیستان تغییرات و وردایی‌های سال به سال قابل ملاحظه‌ای را در تمامی جنبه‌های مورد بررسی، از جمله زمان آغازگری، زمان اوج وزش، زمان خاتمه و مدت وزش از خود نشان می‌دهد. نتایج تحقیق همچنین حاکی از آن است که تغییرات بالای شدت وزش باد از سالی به سال دیگر، از دیگر خصوصیات رفتاری باد سیستان است که به نظر می‌رسد واداشت‌های خارجی و مولفه‌های بزرگ مقیاس یا مقیاس منطقه‌ای گردش جو نقش اصلی را در ایجاد آنها برعهده دارند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که باد سیستان علاوه بر احراز خصوصیات یک باد محلی، احراز خصوصیتی چون افزایش و کاهش نسبتاً ناگهانی شدت باد در زمان آغازگری و خاتمه، همچنین تغییرات سال به سال در زمان آغاز، زمان اوج، شدت وزش، مدت وزش و زمان خاتمه، حکایت از تاثیرپذیری بسیار زیاد این باد از گردش منطقه‌ای جو در شرق فلات ایران دارد. به عبارتی دیگر، تمامی شواهد فوق، از نقش واداشت‌های خارجی در تشکیل و تکوین باد سیستان حکایت دارند. نقش واداشت‌های خارجی بر نواسانات درون فصلی، همچنین نقش این واداشت‌ها بر وردایی سال به سال در خصوصیات باد سیستان (زمان آغازگری، خاتمه و زمان اوج) خارج از چارچوب پژوهش حاضر بوده، اما می‌تواند به عنوان موضوع اصلی برای انجام پژوهش‌های آتی مد نظر قرار گیرد.

کتابنامه

- حسین‌زاده، سیدرضا. (۱۳۷۶). بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۴۶، ۱۲۷-۱۰۲.
- خسروی، محمود. (۱۳۸۹). بررسی توزیع عمودی گردو غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS در منطقه سیستان ایران. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام. ایران. زاهدان. ۲۵ الی ۲۷ فروردین.
- لشکری، حسن؛ و کیخسروی، قاسم. (۱۳۸۷). تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گرد و خاک استان خراسان رضوی. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. شماره ۶۵، ۳۳-۱۷.
- سلیقه، محمد. (۱۳۸۲). توجه به باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل. مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۱ (۲)، ۱۲۱-۱۰۹.

سلیقه، محمد. (۱۳۸۹). آثار مشترک تقابل حرارتی سیستم‌های جوی در کشورهای اسلامی مطالعه موردی: بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ایران. زاهدان. ۲۵ الی ۲۷ فروردین.

کاوایانی، محمدرضا، و علیجانی، بهلول. (۱۳۷۸). مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت. چاپ ششم.
علی اکبری بیدختی، عباسعلی و برومند، نرگس. (۱۳۸۵). مطالعه‌ای بر بادهای گپ منطقه دشت لوت. مجله بیابان. جلد ۱۱. شماره ۱، ۳۰-۱۳.

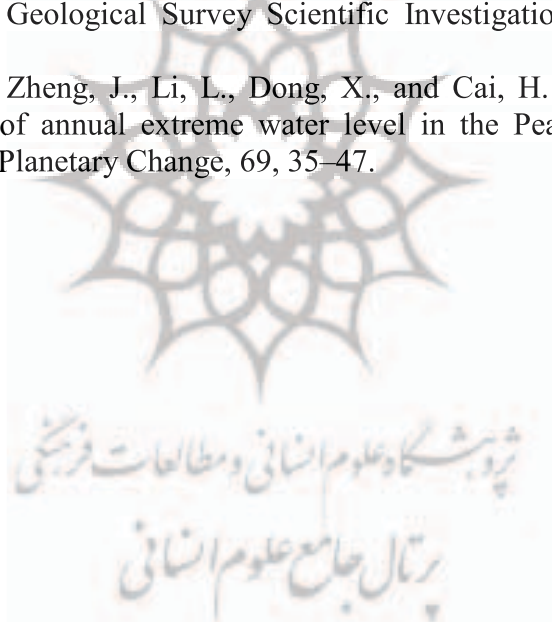
علیجانی، بهلول. (۱۳۷۳). آب و هوای ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور.
طاوسی، تقی و رئیس‌پور، کوهزاد. (۱۳۸۹). تحلیل آماری و پیش‌بینی احتمال وقوع طوفان‌های شدید با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل سری‌های جزئی (مطالعه موردی: منطقه‌ی سیستان). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. جلد ۱. شماره ۲، ۹۳-۱۰۵.

مفیدی، عباس؛ کمالی، سمیه و زرین، آذر. (۱۳۹۲). ارزیابی توان مدل RegCM4 پیوند خورده با طرحواره غبار در آشکارسازی ساختار توفان‌های گردوغباری تابستانه در دشت سیستان. نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران. دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فن‌آوری پیشرفته کرمان. ۳۱ اردیبهشت و ۱ خرداد.
میری، عباس، پهلوانروی، احمد، و مقدم نیا، علیرضا. (۱۳۸۸). بررسی وقوع طوفان‌های گردوخاک در منطقه سیستان پس از وقوع خشکسالی‌های تناوبی. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. جلد ۱۶. شماره ۳، ۳۴۲-۳۲۹.

- Alexandersson, H., 1984. A Homogeneity Test Based on Ratios and Applied to Precipitation Series. Report 79, Department of Meteorology, Uppsala, 55p.
- Alexandersson, H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology* 6 (6), 661-675, DOI: 10.1002/joc.3370060607.
- Alijani, B., 1994. *Climate of Iran*. Payam-e-Noor publication. Tehran. 60-105.
- Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P. and Sturman, A., 2013. Low level jet intensification by mineral dust aerosols. *Ann. Geophys.* 31, 625-632, DOI: 10.5194/angeo-31-625-2013.
- Amiri, A. and Allahyari, S., 2011. Change Point Estimation Methods for Control Chart Post signal Diagnostics: A Literature Review. (wileyonlinelibrary.com) DOI:10.1002/qre. 1266. International reliability Engineering International.
- Atkinson, B. W., 1981. *Meso-scale Atmospheric Circulation*. Academic Press, 495 pp.
- Bidokhti, A.A, and Boromand, N., 2006. Study of Gap winds in the Lut Plateau. *Beyaban* 11 (1), 13-30.
- Buishand T.A., 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology* 58, 11-27.
- Cook B. and Buckley, B. M., 2009. Objective determination of monsoon season onset, withdrawal, and length. *Journal of Geophysical Research* 114. D23109, doi: 10.1029/2009JD012795.
- Goudie, A. S., and Middleton, N.J., 2001. Dust storm in South West Asia. *Acta Univ Car.*, XXXV, 37-83.

- Gullet, D. W., Vincent, L., Malone, L., 1991. Homogeneity testing of monthly temperature series: Application of multi-phase regression models with mathematical changepoint. Canadian Climate Centre Rep. 91-10 Atmospheric Environment Service, Downsview, ON, Canada, 47pp.
- Hosseinzadeh, SR., 1997. The winds of one hundred and twenty day of Sistan. Geographical Research Quarterly 46, 102-127.
- Huntington, E., 1905. The depression of Sistan in eastern Persia. Bulletin of the American geographical society 32(5), 221-281.
- Kaviani, MR., and Alijani, B., 1999. The Fundamental of Climatology. SAMT, 6th edition, Tehran.
- Kendall, M.G., 1975. *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin and Company Limited. London. U.K. 202 p.
- Khosravi, M., 2010. Survey on the vertical distribution of dust and particle arising from duststorms in Middle East using NAAPS model. Proceeding of 4th international congress of the Islamic world geographers, April 14-16, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran.
- Lashkari, H., and Keykhosravi, Gh., 2008. Synoptic and statistical analysis of duststorms in Khorasan Razavi province. Physical Geographical Research Quarterly 65, 17-33.
- Lund, R., and Reeves J., 2002. Detection of undocumented change points: A revision of the two-phase regression model, J. Climate 15, 2547-2554.
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric Tests against Trend. Econometrica 13, 245-259.
- McMahon, H., 1906 a. Recent survey and exploration in Seistan. PartI. Journal of the Royal Geographical Society 28 (3), 209-228.
- McMahon, H., 1906 b. Recent survey and exploration in Seistan. PartII. Journal of the Royal Geographical Society 28 (4), 333-240.
- Middelton, N.J., 1986. Dust storms in the Middle East. J. Arid Environ. 10, 83-96.
- Mofidi, A., Kamali, S., and Zarrin, A., 2013. Evaluation of the RegCM4 model coupled with Dust module on identification of dust storm features over the Sistan region. The First National Conference on Climatology of Iran, May 21-22, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.
- Pettitt, A. N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics 28 (2), 126-135.
- Miri, A., Pahlevanroy, A., and Moghaddamnia, A.R., 2009. The study of occurrence of duststorms after taking place alternative droughts in Sistan region. Iranian Journal of Range and Desert Research 16(3), 329-342.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Rautenbach, C.J.de W., Eriksson, P.G., Giang, M., and Gupta, P., 2012. Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. Aeolian Research 5, 51-62, doi: 10.1016/j.aeolia.2011.12.001.
- Rashki, A., Eriksson, P.G., Rautenbach, C.J.de W., Kaskaoutis, D.G., Grote, W., and Dykstra, J., 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. Chemosphere 90, 227-236.
- Saligheh, M., 2003. Considering the wind in building the physical elements of Zabol city. Geography and Development 1 (2), 109-121.

- Saligheh, M., (2010). The common effects of interaction between pressure systems with different scales in Islamic countries, (case study: The winds of 120 day of Sistan). Proceeding of 4th international congress of the Islamic world geographers, April 14-16, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran.
- Serrano, A., Mateos, V.L. and Garcia, J.A., (1999). Trend Analysis of Monthly Precipitation over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. *Phys. Chem. Earth (B)*, 24(1-2), 85-90.
- Smith, G.I., (1974). Quaternary deposits in southwestern Afghanistan, *Quaternary Research*, 4, 39-52.
- Solow, A. (1987). Testing for climate change: An application of the two-phase regression model, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 26, 1401-1405.
- Tavousi, T., and Raeispor, K., (2010). Statistical analysis and prediction of occurrence probability of violent storms using partial series analysis method, (Case study: Sistan area). *Geographical studies of Arid Regions*, 1 (2), 93-105.
- Thompson, C. S., (1984). Homogeneity analysis of rainfall series: An application of the use of a realistic rainfall model, *J. Climatology.*, 4, 609-616.
- Whitney, J.W., (2006). Geology, water, and wind in the lower Helmand Basin, southern Afghanistan, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5182, 40p.
- Zhang, W., Yan, Y., Zheng, J., Li, L., Dong, X., and Cai, H. (2009). Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change*, 69, 35-47.



ضمایم

جدول ۱ پارامترهای محاسباتی و زمان آغاز باد سیستان در دوره مطالعه

سال	Pettitt's test				Standard normal homogeneity test (SNHT)				Buishand's test			
	K	زمان آغازگری	p-value (Two-tailed)	alpha	T0	زمان آغاز گری	p-value (Two-tailed)	alpha	Q	زمان آغازگری	p-value (Two-tailed)	alpha
72	4590	133	0.0001 >	0.05	44.67	139	0.0001 >	0.05	41.68	133	0.0001 >	0.05
73	8767	120	0.0001 >	0.05	82.95	120	0.0001 >	0.05	67.96	120	0.0001 >	0.05
74	7864	143	0.0001 >	0.05	88.75	143	0.0001 >	0.05	65.04	143	0.0001 >	0.05
75	8813	137	0.0001 >	0.05	86.25	148	0.0001 >	0.05	67.34	148	0.0001 >	0.05
76	13006	136	0.0001 >	0.05	128.34	142	0.0001 >	0.05	89.60	142	0.0001 >	0.05
77	11691	153	0.0001 >	0.05	123.33	155	0.0001 >	0.05	84.55	155	0.0001 >	0.05
78	3355	71	0.0001 >	0.05	39.32	133	0.0001 >	0.05	31.09	121	0.0001 >	0.05
79	7622	137	0.0001 >	0.05	77.99	137	0.0001 >	0.05	62.41	137	0.0001 >	0.05
80	4327	124	0.0001 >	0.05	60.02	129	0.0001 >	0.05	44.88	129	0.0001 >	0.05
81	14983	135	0.0001 >	0.05	147.07	135	0.0001 >	0.05	98.68	135	0.0001 >	0.05
82	9718	122	0.0001 >	0.05	105.42	122	0.0001 >	0.05	76.28	122	0.0001 >	0.05
83	6626	71	0.0001 >	0.05	59.86	133	0.0001 >	0.05	54.81	133	0.0001 >	0.05
84	3119	121	0.0001 >	0.05	43.66	150	0.0001 >	0.05	29.78	125	0.0001 >	0.05
85	8260	125	0.0001 >	0.05	94.41	141	0.0001 >	0.05	68.13	125	0.0001 >	0.05
86	6095	68	0.0001 >	0.05	58.65	168	0.0001 >	0.05	50.65	107	0.0001 >	0.05
87	5645	109	0.0001 >	0.05	62.05	155	0.0001 >	0.05	51.46	109	0.0001 >	0.05
88	6364	121	0.0001 >	0.05	68.95	175	0.0001 >	0.05	53.20	121	0.0001 >	0.05
89	9802	108	0.0001 >	0.05	89.46	108	0.0001 >	0.05	71.88	108	0.0001 >	0.05
90	7351	127	0.0001 >	0.05	78.87	132	0.0001 >	0.05	62.00	127	0.0001 >	0.05
91	2853	114	0.0001 >	0.05	62.00	127	0.0001 >	0.05	30.79	115	0.0001 >	0.05
92	5134	117	0.0001 >	0.05	44.42	118	0.0001 >	0.05	45.52	117	0.0001 >	0.05
93	7392	142	0.0001 >	0.05	78.01	142	0.0001 >	0.05	61.19	142	0.0001 >	0.05
94	9462	135	0.0001 >	0.05	111.81	136	0.0001 >	0.05	76.18	135	0.0001 >	0.05
95	9086	127	0.0001 >	0.05	100.25	127	0.0001 >	0.05	73.07	127	0.0001 >	0.05
96	5132	114	0.0001 >	0.05	56.65	160	0.0001 >	0.05	44.50	114	0.0001 >	0.05
97	11151	124	0.0001 >	0.05	108.68	124	0.0001 >	0.05	80.14	124	0.0001 >	0.05
98	6349	113	0.0001 >	0.05	63.93	118	0.0001 >	0.05	54.93	118	0.0001 >	0.05
99	6268	110	0.0001 >	0.05	52.11	110	0.0001 >	0.05	52.11	110	0.0001 >	0.05
00	3235	121	0.0001 >	0.05	44.67	128	0.0001 >	0.05	35.86	121	0.0001 >	0.05
01	4943	129	0.0001 >	0.05	71.45	132	0.0001 >	0.05	50.67	132	0.0001 >	0.05
02	8411	118	0.0001 >	0.05	75.85	164	0.0001 >	0.05	62.76	118	0.0001 >	0.05
03	7069	117	0.0001 >	0.05	78.98	155	0.0001 >	0.05	60.00	117	0.0001 >	0.05
04	8504	136	0.0001 >	0.05	97.21	154	0.0001 >	0.05	67.59	140	0.0001 >	0.05
05	3673	93	0.0001 >	0.05	26.13	93	0.00	0.05	33.73	93	0.0001 >	0.05
06	7054	117	0.0001 >	0.05	94.76	128	0.0001 >	0.05	64.25	124	0.0001 >	0.05
07	7438	124	0.0001 >	0.05	88.52	124	0.0001 >	0.05	64.75	124	0.0001 >	0.05
08	8806	133	0.0001 >	0.05	92.54	149	0.0001 >	0.05	68.60	134	0.0001 >	0.05
09	12144	131	0.0001 >	0.05	127.03	131	0.0001 >	0.05	87.12	131	0.0001 >	0.05
10	9675	144	0.0001 >	0.05	88.73	144	0.0001 >	0.05	70.25	144	0.0001 >	0.05
11	3706	134	0.0001 >	0.05	48.18	134	0.0001 >	0.05	39.00	134	0.0001 >	0.05
12	8906	147	0.0001 >	0.05	118.31	147	0.0001 >	0.05	73.96	147	0.0001 >	0.05

جدول ۲ پارامترهای محاسباتی و زمان خاتمه باد سیستان در دوره مطالعه

Pettitt's test					(Standard normal homogeneity test (SNHT				Buishand's test			
سال	K	زمان خاتمه	p-value χ (Two-tailed)	alpha	T0	زمان خاتمه	p-value (Two-tailed)	alpha	Q	زمان خاتمه	p-value (Two-tailed)	alpha
72	5463	270	0.0001 >	0.05	91.93	239	0.0001 >	0.05	56.26	239	0.0001 >	0.05
73	4316	289	0.0001 >	0.05	86.60	282	0.0001 >	0.05	54.61	283	0.0001 >	0.05
74	4415	289	0.0001 >	0.05	69.72	277	0.0001 >	0.05	50.53	277	0.0001 >	0.05
75	3115	299	0.0001 >	0.05	50.15	273	0.0001 >	0.05	40.55	298	0.0001 >	0.05
76	1468	323	0.0001	0.05	17.88	258	0.0025	0.05	20.81	323	0.0002	0.05
77	1939	277	0.0001 >	0.05	43.55	276	0.0001 >	0.05	30.66	277	0.0001 >	0.05
78	8271	279	0.0001 >	0.05	100.15	279	0.0001 >	0.05	71.01	279	0.0001 >	0.05
79	4194	289	0.0001 >	0.05	64.09	285	0.0001 >	0.05	48.91	286	0.0001 >	0.05
80	7677	255	0.0001 >	0.05	106.01	255	0.0001 >	0.05	70.46	257	0.0001 >	0.05
81	1862	305	0.0001 >	0.05	47.22	304	0.0001 >	0.05	33.69	304	0.0001 >	0.05
82	3853	269	0.0001 >	0.05	83.54	265	0.0001 >	0.05	49.94	269	0.0001 >	0.05
83	3031	303	0.0001 >	0.05	29.24	309	0.0001	0.05	32.20	309	0.0001 >	0.05
84	8032	275	0.0001 >	0.05	102.99	286	0.0001 >	0.05	71.08	275	0.0001 >	0.05
85	4701	289	0.0001 >	0.05	74.97	289	0.0001 >	0.05	53.55	289	0.0001 >	0.05
86	4948	273	0.0001 >	0.05	72.43	256	0.0001 >	0.05	53.53	273	0.0001 >	0.05
87	5322	292	0.0001 >	0.05	64.38	258	0.0001 >	0.05	52.53	268	0.0001 >	0.05
88	5335	292	0.0001 >	0.05	79.56	292	0.0001 >	0.05	56.52	292	0.0001 >	0.05
89	3000	316	0.0001 >	0.05	41.07	266	0.0001 >	0.05	35.64	308	0.0001 >	0.05
90	4698	292	0.0001 >	0.05	66.78	271	0.0001 >	0.05	50.58	271	0.0001 >	0.05
91	7238	287	0.0001 >	0.05	94.98	287	0.0001 >	0.05	66.26	287	0.0001 >	0.05
92	5938	274	0.0001 >	0.05	88.38	274	0.0001 >	0.05	61.32	274	0.0001 >	0.05
93	4366	298	0.0001 >	0.05	69.63	298	0.0001 >	0.05	50.98	298	0.0001 >	0.05
94	4214	286	0.0001 >	0.05	76.25	266	0.0001 >	0.05	50.73	286	0.0001 >	0.05
95	3552	302	0.0001 >	0.05	53.98	249	0.0001 >	0.05	40.51	302	0.0001 >	0.05
96	5015	276	0.0001 >	0.05	61.92	276	0.0001 >	0.05	51.40	276	0.0001 >	0.05
97	2324	284	0.0001 >	0.05	38.41	267	0.0001 >	0.05	31.19	283	0.0001 >	0.05
98	5181	298	0.0001 >	0.05	69.55	299	0.0001 >	0.05	53.03	298	0.0001 >	0.05
99	5021	281	0.0001 >	0.05	65.06	281	0.0001 >	0.05	51.96	281	0.0001 >	0.05
00	8457	263	0.0001 >	0.05	104.20	263	0.0001 >	0.05	72.53	263	0.0001 >	0.05
01	6613	284	0.0001 >	0.05	85.81	284	0.0001 >	0.05	62.41	284	0.0001 >	0.05
02	3429	293	0.0001 >	0.05	45.96	293	0.0001 >	0.05	40.23	293	0.0001 >	0.05
03	5018	271	0.0001 >	0.05	73.20	270	0.0001 >	0.05	73.20	270	0.0001 >	0.05
04	3956	293	0.0001 >	0.05	58.05	282	0.0001 >	0.05	45.76	282	0.0001 >	0.05
05	6606	253	0.0001 >	0.05	80.70	269	0.0001 >	0.05	62.08	269	0.0001 >	0.05
06	6104	267	0.0001 >	0.05	96.71	262	0.0001 >	0.05	63.40	262	0.0001 >	0.05
07	5858	283	0.0001 >	0.05	90.57	283	0.0001 >	0.05	61.12	283	0.0001 >	0.05
08	3316	318	0.0001 >	0.05	48.36	264	0.0001 >	0.05	38.22	265	0.0001 >	0.05
09	2677	297	0.0001 >	0.05	43.45	252	0.0001 >	0.05	35.46	293	0.0001 >	0.05
10	2767	298	0.0001 >	0.05	35.62	298	0.0001 >	0.05	34.14	298	0.0001 >	0.05
11	7427	272	0.0001 >	0.05	89.82	264	0.0001 >	0.05	65.16	264	0.0001 >	0.05
12	4253	294	0.0001 >	0.05	59.96	278	0.0001 >	0.05	46.90	280	0.0001 >	0.05