

تحلیل نوسانات دماهای حدی بیشینه با استفاده از مدل‌های سری زمانی هالت- وینتر و من-کندال در یزد

کمال امیدوار¹، استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه یزد، ایران
محمد تقی دستورانی، دانشیار آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
سعید الفتی، کارشناس ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، ایران
خدیدجه مرادی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، ایران
مسعود قنبری، دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه پیام نور کرمانشاه،
ایران

چکیده

امروزه یکی از مباحث مهم در محافل علمی دنیا، بحث در مورد تغییرات اقلیمی، گرمایش زمین و پیامدهای آن است که در کشور ما نیز به صورت پراکنده به این مهم پرداخته می‌شود. در این پژوهش سعی شده به بررسی افزایش دماهای حدی بیشینه یزد پرداخته شود. بنابراین داده‌های بیشینه مطلق سالانه دمای روزانه ایستگاه همدید یزد طی یک دوره 60 ساله (1951-2010) مورد استفاده واقع شد. از روش رگرسیون (پلی‌نومیال و لگاریتمی) و آماره من-کندال در محیط نرم افزار متلب برای آزمون معنی‌داری روند تغییرات سری‌های دمایی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که دمای 2 دهه 1970 و 1980، پایین‌تر و دهه 2000 بالاتر از متوسط طولانی مدت هستند و دهه 1970 سردترین و دهه 2000 گرم‌ترین دهه است. نتایج کلی این پژوهش نشان می‌دهد وجود نوسانات فصلی در سری دماهای حدی بیشینه یزد است که این نوسانات معنی‌دار نیستند. همچنین معلوم شد که بهترین مدل برای پیش‌بینی دماهای حدی بیشینه یزد، مدل هالت-وینتر است که حاصل این پیش‌بینی نشان می‌دهد در سال‌های 2016 و 2020 دما افزایش ناهنجاری خواهد داشت.

کلمات کلیدی: دمای حدی بیشینه، آزمون من-کندال، سری زمانی هالت-وینتر، یزد

مقدمه

دما از جمله عناصر اقلیمی است که به طور مستقیم با شرایط زندگی انسان و آسایش اقلیمی در ارتباط است و نقش آن در فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای طبیعی انکارناپذیر است. دما در کنار بارش از مهمترین عناصر اقلیمی به حساب می‌آید که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی نیز تأثیرگذار است (علیجانی و قویدل رحیمی، 1384). همچنین تغییرات شدید و ناگهانی دما تأثیرات نامطلوبی بر زیست موجودات مختلف می‌گذارد. از جمله تأثیرات نامطلوب تغییرات دمایی (موج گرم و سرد) اتلاف موجودات زنده در شرایط بیشینه و پایین محدوده دمای اکولوژیک است. تأثیرات مخرب این پدیده‌های اقلیمی بر تأسیسات و بناهای انسان‌ساخت بسیار زیاد است و طی رخداد چنین پدیده‌هایی خسارات فراوانی به جا می‌گذارد. افزایش مصرف انرژی در هنگام وقوع این پدیده‌ها از جمله تأثیرات نامطلوب آن‌ها می‌باشد. امروز، موضوع تغییر اقلیم به دلیل ابعاد وسیع علمی و کاربردی آن دارای اهمیت قابل توجهی است و درک علل و ماهیت این تغییرات از مهم‌ترین اهداف جمع‌آوری داده‌های هوا و اقلیم و پایش پدیده‌های اقلیمی است (خورشیددوست و همکاران، 1388 و 1389). افزایش میانگین دمای کره زمین و تغییرات آن نمایه‌ای از تغییرات اقلیمی است که در تمامی نظریه‌های تغییر اقلیم به آن توجه شده است (ابراهیمی و همکاران، 1384). بررسی‌های جدید، افزایشی در متوسط جهانی دما حدود 0/4 تا 0/8 درجه را طی قرن بیستم نشان می‌دهد، اگرچه این روند از نظر مکانی و زمانی یکنواخت نیست (محمدی و تقوی، 1384).

مک‌لاولین¹ و همکاران (2002)، تغییرات اقلیمی را با تحلیل واریانس بارندگی‌های فصلی و سالانه مورد بررسی قرار دادند و افزایش فراوانی در وقوع سال‌های خشک را مشاهده کردند. ماتیاس² و همکاران (2002)، با استفاده از سری‌های زمانی، دمای تروپوسفر و پایش امواج کوتاه، مشاهدات تغییرات اقلیمی را با پوشش زمانی و مکانی

1-McLaughlin

2- Matias

جو بیشینه مورد آزمون قرار دادند. کریسولاکیس¹ و همکاران (2003)، تغییرات و روند در میانگین فصلی و سالانه آب قابل بارش در یونان را با استفاده از داده‌های کاوشگر جو بیشینه مورد مطالعه قرار دادند. ماتاندو² و همکاران (2004) به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و منابع آب سوئیس پرداختند. اسپارک و تری جانوسکی³ (2005) پتانسیل تأثیر و نحوه شناسایی و ویژگی‌های تغییر اقلیم یک منطقه را مطالعه کردند. نون و کید⁴ (2003) و کونکر⁵ (2005)، نیز معتقدند استفاده از مدل‌های رگرسیون بهترین روش بررسی ریاضی روند تغییرات توزیع بارندگی است. سووک جونگ⁶ و همکارش (2007) با بررسی روند دما و بارش در جنوب کشور کره جنوبی نشان دادند که میانگین سالانه دما دارای روند کاهشی و بارش دارای یک روند افزایشی است. کالانکا (2007) و جیمز و همکاران (2007) به تطبیق وقوع خشکسالی‌ها با تغییر اقلیم پرداختند. قربانی و سلطانی (1381)، میزان نوسانات دما و بارندگی گرگان را با روش رگرسیون خطی ساده مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که دما فاقد روند افزایشی و بارش، روند کاهشی دارند. ابراهیمی و همکاران (1384) در بررسی تغییر اقلیم در دشت مشهد و تغییرات ماهانه دما با استفاده از روش من کندال و لتن‌مایر نشان دادند که در اغلب ماه‌ها دما روند افزایشی داشته است. رحیم‌زاده و همکاران (1384)، در مقیاس‌های سالانه و نیز در مقیاس‌های روزانه، وجود تغییراتی همچون روند، جهش، نوسانات غیر معمول، تغییر در تابع توزیع در میانگین‌های سالانه و دیگر عناصر اقلیمی را نشان دادند. زاهدی و همکاران (1386)، علیجانی و قویدل رحیمی (1384) تغییرات زمانی - مکانی دمای شمال غرب ایران و ناهنجاری‌های دمای میانگین ایستگاه تبریز با استفاده از روش‌های آماری را انجام دادند. رضیئی و همکاران (1384) روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک مرکز و شرق ایران را با استفاده از آزمون

1- Chrysoulakis

2- Matandou

3- Tryjanowski & Sparks

4- Cade

5- Koenker

6-Sookjung

ناپارامتری بررسی کردند و نتیجه گرفتند که روند بارش در این مناطق کاهش یافته است. جعفری (1387) در بررسی اقلیمی منطقه خزری بیان داشته است که طی نیم قرن گذشته، اقلیم جنگل‌های خزری گرم‌تر شده است. علاوه بر مطالعات ذکر شده، می‌توان به مطالعات مسعودیان (1383 و 1384)، عزیزی، روشن (1387)، غیور و منتظری (1388)، خورشیددوست و همکاران (1388 و 1389)، فرج‌زاده همکاران (1389)، عساکره (1386 و 1389)، مدرسی و همکاران (1389)، امیدوار و سالاری (1392) اشاره داشت.

با توجه به کارهای صورت گرفته، هدف از تحقیق حاضر، پرداختن به تحلیل نوسانات و پیش‌بینی دماهای حدی بیشینه در شهر بیابانی و خشک یزد در قالب روش آماری است.

داده‌ها و روش‌ها

در راستای انجام این تحقیق از داده‌های مربوط به حداکثر دمای بیشینه مطلق سالانه (بدین گونه که تمام داده‌های روزانه در هر سال بررسی و بیشترین دمای هر سال مشخص و استخراج گردد) طی یک دوره 60 ساله از سال 1951 تا 2010 که از سایت هواشناسی یزد اخذ گردید، استفاده شد.

روش کار بدین صورت بود که در مرحله اول اقدام به کنترل کیفی و همگن‌سازی داده‌ها از آزمون ران‌تست بهره‌گرفته شد، سپس تحلیل‌های آماری مختلف بر روی داده‌ها انجام شد که شامل ترسیم و تحلیل روند بلند مدت و دهه‌ای و آزمون ناپارامتری من-کندال و استفاده از روش سری زمانی حالت-ویتر برای پیش‌بینی دماهای حدی بیشینه در ایستگاه مورد مطالعه تا سال 2020 می‌شود. در مرحله سوم، در جهت تحلیل نوسانات دهه‌ای دمای حدی بیشینه دوره 50 ساله آماری به 6 دوره تقسیم گردید: که دوره اول از 1959-1951، دوره دوم از 1960 تا 1969، دوره سوم از 1970 تا 1979، دوره چهارم از 1980 تا 1989، دوره پنجم از 1990 تا 1999 و دوره ششم از 2000 تا

تحلیل نوسانات دماهای حدی بیشینه با استفاده از مدل‌های سری زمانی هالت- وینتر و من-کندال.. 25

2010 را شامل می‌شوند. همچنین نوسانات و روند کلی سری و سری 1990 تا 2010 مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. در مرحله چهارم برای محاسبه نوسانات دماهای حدی بیشینه ایستگاه یزد از معادله (1) استفاده شده است.

$$A_{ET} = CT \max - \bar{CT} \max \quad \text{معادله (1)}$$

A_{ET} : نوسانات دماهای حدی بیشینه

$CT \max$: دمای حداکثر هر سال در بازه زمانی 60 ساله

$\bar{CT} \max$: میانگین بلند مدت 60 ساله دمای حداکثر ایستگاه

مرحله پنجم استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال (معادلات 2، 3، 4 و 5) جهت آزمون معنی‌داری روند و نمایان نمودن جهش در سری زمانی است. در این روش که برای ترسیم نمودار آن از نرم افزار متلب استفاده شده، دو عامل U_i و U'_i محاسبه و برای بررسی روند در کنار هم ترسیم شده است که موقعیت آن‌ها نسبت به هم معنی‌داری یا بی‌معنی بودن روند را مشخص می‌کند. اگر مقادیر آن‌ها از دو آستانه $\pm 1/96$ تجاوز کند، روند، معنی‌دار خواهد بود و اگر دو خط و هم‌دیگر را در یک نقطه قطع کنند، آن نقطه، نقطه جهش است. در صورتی که دو خط در داخل حریم باشند، جهش معنی‌دار نیست؛ اما چنان‌چه از حریم تجاوز کرده یا محدوده را کلاً یا موقتاً ترک کرده باشند، جهش معنی‌دار خواهد بود. همچنین اگر دو دنباله و بر اساس I به صورت نموداری ترسیم شوند، در صورت معنی‌داری روند، دو نمودار در نقطه آغازین هم‌دیگر را قطع خواهند کرد، در حالی که در صورت عدم وجود روند، دو دنباله دارند و تقریباً به صورت موازی حرکت خواهند کرد و یا با چندبار برخورد به طوری که به تغییر جهت آن‌ها منجر نشود، عمل می‌کنند. محل تلاقی و U'_i در محدوده اطمینان 95 درصدی، بیانگر تغییرات معنی‌دار سری اقلیمی است و رفتار U_i بعد از محل تلاقی وضعیت نزولی یا صعودی سری اقلیمی را مشخص می‌کند. نمودارهایی که در آن‌ها دو خط U_i به هم برخورد نکرده‌اند یا فاقد محل تلاقی دو خط‌اند، معرف سری‌های اقلیمی فاقد روند هستند (خوشحال دستجردی و قویدل رحیمی، 1387).

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{معادله (2)}$$

که S: مربوط به علامت‌های تفاوت مقادیر با یکدیگر (رابطه 2) و $\text{Var}(s)$ پراش S (رابطه 3) است:

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (3)$$

$$\text{var}(s) = \frac{n - (n-1)(\gamma n + \delta) - \beta}{18} \quad (4)$$

که: n تعداد مشاهدات سری، X_j و X_k به ترتیب داده‌های زام و k ام سری (مرتب شده به ترتیب وقوع)، $\text{sgn}(\cdot)$ تابع علامت (رابطه 4) و عاملی مربوط به تصحیح پراش در صورتی که داده‌های تکراری در اطلاعات وجود داشته باشد (رابطه 5) می‌باشد.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_k) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

که: t تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. در یک آزمون دو دامنه‌ای برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$\leq Z_{\alpha/2} |z| \quad (6)$$

که α سطح معنی‌داری برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و $Z\alpha$ آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α است. با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ و سطح معنی‌داری 95 درصد استفاده می‌گردد.

مرحله ششم؛ از آن‌جا که توزیع احتمال داده‌های دمای حدی بیشینه یزد نرمال نبوده از روش چند جمله‌ای درجات 2، 3، 4، 6 و 2 برای تحلیل روند نوسانات استفاده گردید.

این روش برای سری‌های زمانی که داده‌های آن‌ها در یک مستقیم قرار نگرفته‌اند، مدل مناسبی برای تحلیل روند دراز مدت به‌شمار می‌رود که معادله آن در زیر آمده است (معادله 7):

$$Y_t = \alpha + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3 + \beta_4 X^4 + \beta_5 X^5 \quad (7)$$

پیش‌بینی سری زمانی دماهای بیشینه یزد به صورت ضربی به شکل معادله زیر نشان داده می‌شود:

$$Y_t = M \times T \times C \times S \times I \pm e \quad (8)$$

در معادله فوق، سری زمانی پیش‌بینی شده، M میانگین سری، T مولفه روند، C مولفه چرخه‌ای، S مولفه فصلی، I نوسانات نامنظم در طول سری و e خطاهای مشاهداتی هستند. پیش‌بینی مدل هالت- وینترز بر مبنای میانگین وزنی مقادیر جاری و قبلی داده‌های ثبت شده سری زمانی است. در میانگین توزینی مورد بحث، بیشترین میزان وزن به جدیدترین مشاهده سری زمانی داده شده و به ترتیب که به داده‌های قبلی‌تر سری زمانی برمی‌گردیم، وزن‌ها نیز کمتر می‌شوند. برای پیش‌بینی در این مدل لازم است مولفه‌های \bar{X}_t ، T_t و F_t که به ترتیب عبارتند از مولفه‌های سطح یا میانگین، روند و فصلی برآورد شوند. حالت جمعی مدل پیش‌بینی هالت- وینترز که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، به شرح زیر است (خورشیددوست و همکاران، 1389):

$$\bar{X}_t = (\bar{X}_{t-1} + T_{t-1}) + (1-a) \left(\frac{X_t}{F_{t-s}} \right) \quad (9)$$

$$T_t = \beta T_{t-1} + (1-\beta)(\bar{X}_t - X_{t-1}) \quad (10)$$

$$F_t = \gamma F_{t-s} + (1-\gamma) \left(\frac{X_t}{\bar{X}_t} \right) \quad (11)$$

در معادلات فوق: \bar{X}_t جدیدترین مشاهده و α ، β و γ ضرایب مربوط به هموارسازی نمایی در مدل هالت- وینترز هستند که مقدار عددی آن‌ها بین صفر و یک متغیر است. اگر سری زمانی مشتمل بر دوره زمانی در سال یا دوره خاصی باشد، مولفه

فصلی مربوط به آن سال یا دوره قبل با F_{t-s} نشان داده خواهد شد. با رسیدن به زمان n مقادیر آتی سری (y_{n-h}) بر مبنای معادله زیر پیش‌بینی می‌شوند.

$$F_{t-s} + \hat{y}_{n-h} = y_{n+h} T_n \quad (12)$$

نتایج و بحث

با در نظر گرفتن میانگین دماهای حدی بیشینه طولانی مدت و مقایسه آن با میانگین 6 دهه موجود در دوره آماری مشخص گردید که دمای متوسط 2 دهه 1970 و 1980 پایین‌تر از متوسط 60 ساله و دمای دهه‌های 1950، 1990 و 2000 بالاتر از حد متوسط بلند مدت قرار داشته‌اند. در این رابطه، دهه 1970 در واقع خنک‌ترین یا سردترین دهه و دهه اول سده 21 گرمترین دهه‌های ایستگاه یزد هستند.

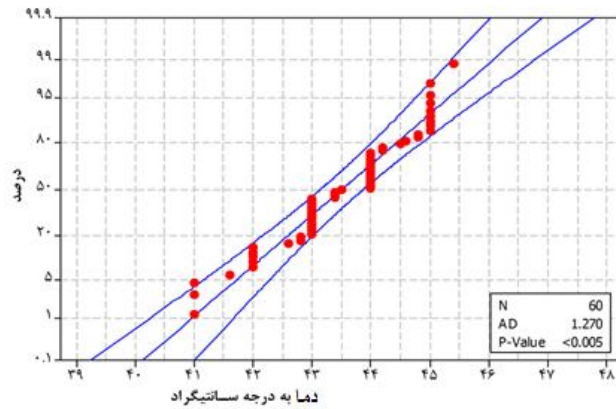
همان‌طور که از جدول 1 برمی‌آید با توجه به شاخص‌های پراکندگی، دمای حدی بیشینه سده اول قرن 21 از نظم و ثبات زمانی بیشتری برخوردار است و در مقابل دمای حدی بیشینه دهه 1950 از نظم کمتری برخوردار می‌باشد. همچنین مقایسه دو دوره آماری بلند مدت 1961-2010 و 1990-2010، نشان‌دهنده روند افزایشی به 0/3 درجه سانتی‌گراد دمای بیشینه در 21 سال اخیر است. از آن‌جا که تغییرات دما به صورت خیلی جزئی اتفاق می‌افتد، رقم 0/3+ یک رقم بسیار قابل توجه است که می‌توان آن را یک هشدار جدی قلمداد کرد.

جدول 1. فراسنج‌های توصیفی داده‌های دماهای حدی بیشینه ایستگاه یزد در دوره‌های

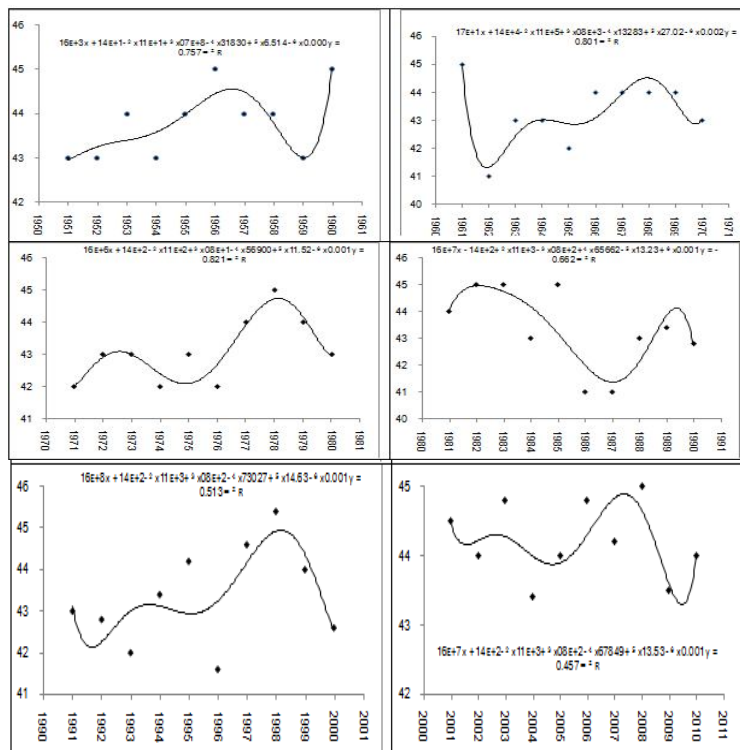
مختلف زمانی

شاخص آماری	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	بیشینه	کمینه	دامنه
دوره آماری	43/5	1/09	3/25	45/4	41	4/4
	43/8	1	4/62	45/4	41/6	3/8
	43/8	0/78	3/95	45/2	43	2/2
	43/3	1/1	3/45	45/1	41	4/1
	43/1	0/99	3/66	45	42	3
	43/4	1/4	3/08	45	41	4
	43/5	1/1	1/44	45/4	41/6	3/8
	44/2	0/47	1/45	45	42/6	2/4

تحلیل نوسانات دماهای حدی بیشینه با استفاده از مدل‌های سری زمانی هالت- وینتر و من-کندال.. 29



شکل 1. توزیع احتمال آماری لگاریتم نرمال داده‌های دمای حدی بیشینه ایستگاه یزد.



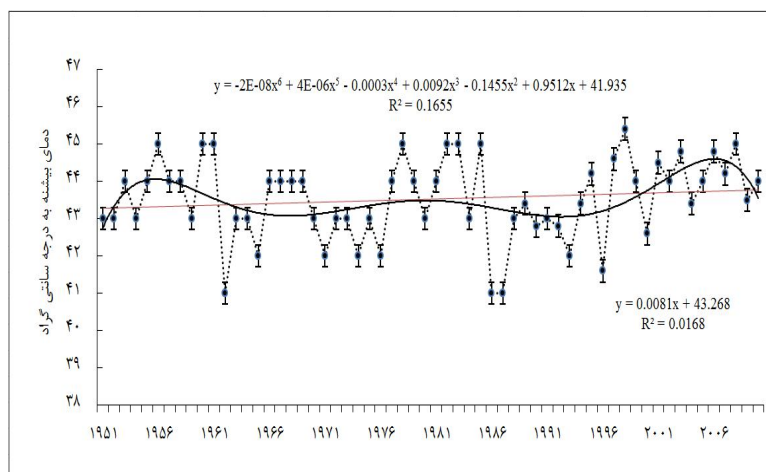
شکل 2. روند نوسانات دهه‌ای دماهای حدی بیشینه ایستگاه یزد (1951-2010)

به درجه سانتی‌گراد.

مقادیر کشیدگی سری‌های دماهای حدی بیشینه کمتر از صفر است، بر این اساس سری‌های شش‌گانه کوتاه‌تر از حد نرمال هستند.

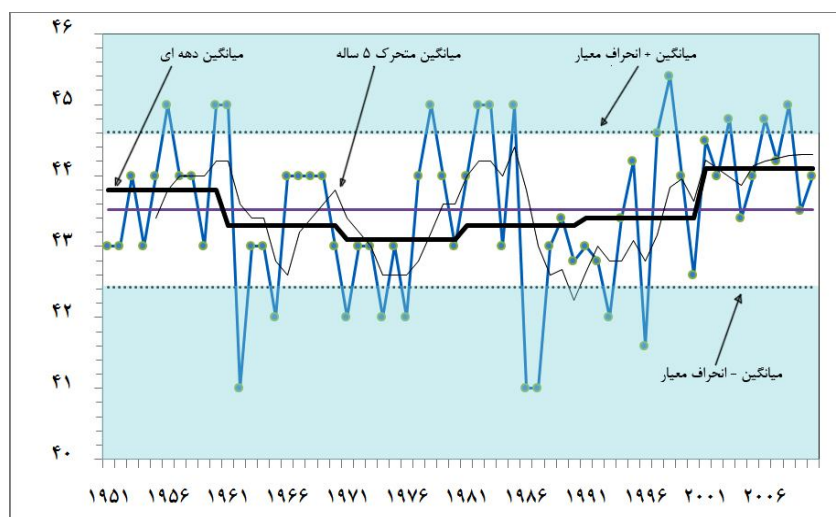
در جهت تشخیص بهتر وضعیت زمانی نوسانات دهه‌ای دما، روند دمای حدی بیشینه ایستگاه یزد در طی 6 دهه مورد مطالعه، به شکل 2 توجه کنید که در ادامه توضیح داده می‌شود.

همان‌گونه که در شکل 2 دیده می‌شود در هیچ یک از 6 دهه مورد مطالعه، روند تغییرات زمانی دمای حدی بیشینه ایستگاه یزد خطی نیست و شدت تغییرات، تابع رگرسیون سهمی است که در بین دهه‌های مورد مطالعه، دهه‌های 1960 و 1970 از روند تغییرات زمانی بسیار شدیدتری نسبت به دهه‌های دیگر برخوردار است. روند تغییرات بلند مدت دمای حدی بیشینه یزد با استفاده از رگرسیون‌های خطی و سهمی درجه شش در 60 سال اخیر در شکل 3 ترسیم شده است. با توجه به این شکل روند کلی تغییرات زمانی دمای بیشینه یزد تدریجاً رو به بالا و در حالت صعودی است؛ اما روند زمانی تغییرات تدریجی دمای حدی بیشینه یزد که با استفاده از روند پلی‌نومیال درجه شش نشان داده شده در اواخر سری 2000 (سال 2005) روند کاهشی تقریباً شدیدی را نشان می‌دهد.



شکل 3. روند تغییرات بلند مدت خطی و سهمی درجه پنج دماهای حدی بیشینه یزد.

با توجه به میانگین بلند مدت $43/5$ درجه سانتی‌گراد و انحراف معیار بلند مدت $1/09$ برای دمای بیشینه یزد، خط کنترل پایین (میانگین - انحراف معیار) با دمای $42/41$ درجه سانتی‌گراد و خط کنترل بالایی (میانگین + انحراف معیار) با دمای $44/59$ درجه سانتی‌گراد به عنوان آستانه‌های ناهنجاری مثبت و منفی دمای بیشینه یزد معرفی می‌شوند. بنابراین محدوده نرمال دمای بیشینه یزد بین دماهای $42/41$ تا $44/59$ قرار گرفته است (شکل 4). ناهنجاریهای دمایی مثبت دمای بیشینه یزد ارقام دمایی روزانه بالاتر از $44/59$ درجه سانتی‌گراد و ناهنجاریهای دمایی منفی دمای بیشینه مقادیر دمایی کمتر از $42/41$ درجه سانتی‌گراد هستند که در شکل 4 با رنگ تیره مشخص شده‌اند.

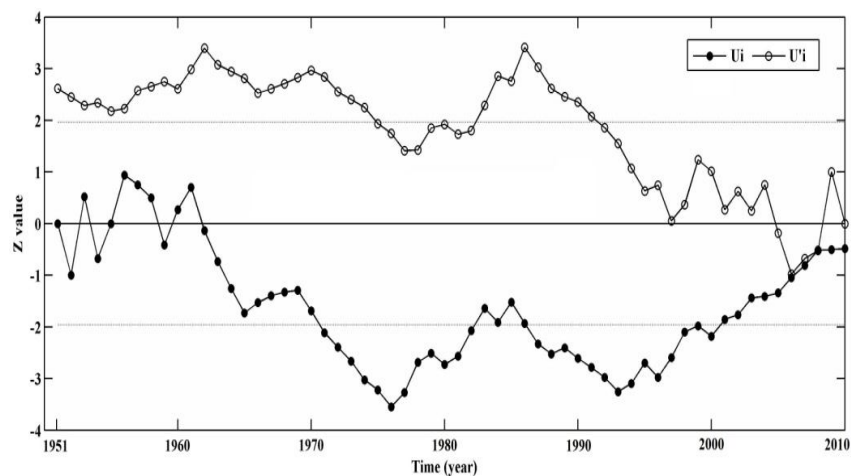


شکل 4. ناهنجاریهای دمای بیشینه ایستگاه یزد (1961-2010) و میانگین‌های دهه‌ای و متحرک پنج ساله.

در شکل 4، ناهنجاریهای دمای بیشینه یزد با میانگین متحرک 5 ساله (خطوط مقطوع) کاملاً نرمال شده است. ناهنجاریهای مثبت و منفی دمای بیشینه یزد در 11 نقطه در بالا و 9 نقطه در پایین کاملاً واضح هستند. با توجه به محدوده‌های نرمال و

آستانه‌های بیشینه بالا و پایین دماهای بیشینه یزد که به صورت استاندارد شده در آمده‌اند (نمرات بین ± 1) (شکل 5)، مشخص می‌شود که دماهای بیشینه یزد هر چند که در بیشتر سال‌ها در محدوده نرمال (قسمت تیره رنگ شکل 5) واقع شده؛ اما 20 سال ناهنجاری مثبت و منفی در دوره مورد مطالعه قابل توجه است و نشان از نوسانات شدید دمای بیشینه منطقه دارد.

با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال مشخص شد که روند تغییرات زمانی دمای بیشینه یزد علی‌رغم نشان دادن روند افزایشی، معنی‌دار نیست (شکل 5). تغییرات زمانی دمای بیشینه هرچند که تغییراتی را در میانگین بلند مدت نشان می‌دهد؛ اما روند تغییرات زمانی دمای بیشینه یزد معنی‌دار نیست.

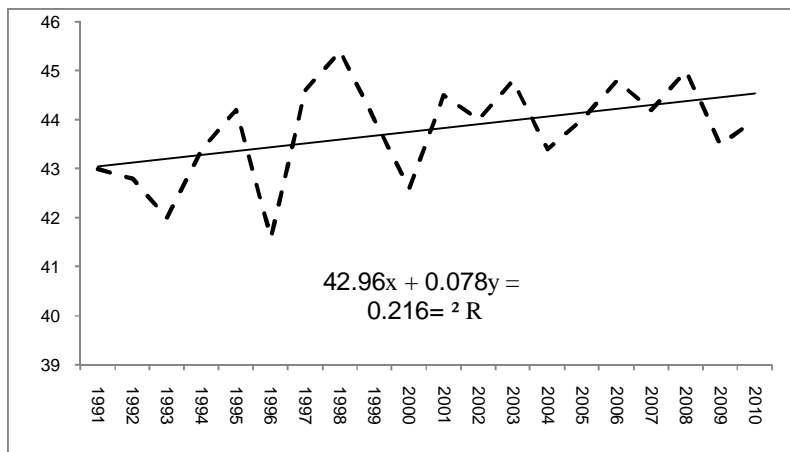


شکل 5. نمودار من-کندال برای آشکار سازی روند تغییرات زمانی دماهای بیشینه ایستگاه یزد (1951-2010).

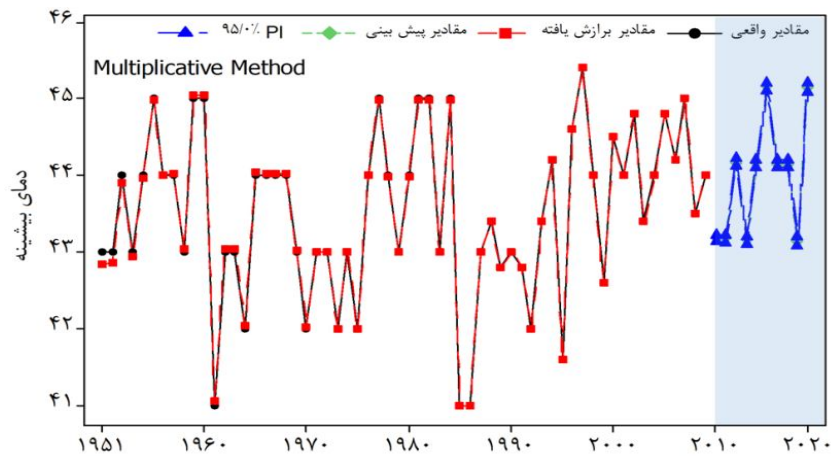
نتایجی که از استفاده از روش من-کندال به دست آمد، نشان می‌دهد که روند 21 ساله ایستگاه یزد از سال 1990 تا 2010 علی‌رغم افزایش خطی و حدود 4 درصد، تغییرات در طی این 21 سال معنادار نیست (شکل 6).

تحلیل نوسانات دماهای حدی بیشینه با استفاده از مدل‌های سری زمانی هالت- وینتر و من-کندال.. 33

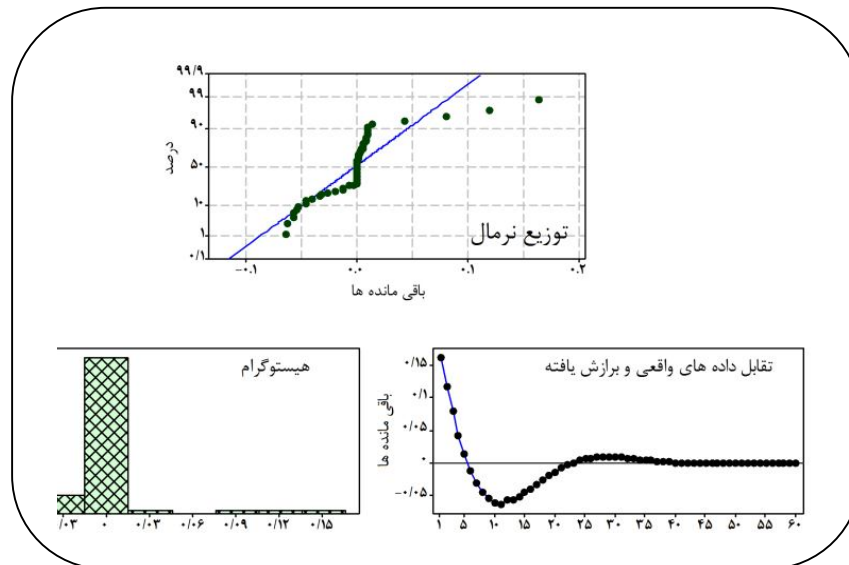
با توجه به روند دمای بیشینه یزد در دوره 60 ساله 1951 تا 2010 و همچنین روند افزایشی 21 سال اخیر، با استفاده از روش سری زمانی هالت-وینترز، دمای بیشینه یزد تا 10 سال آینده یعنی تا سال 2020 مورد پیش‌بینی قرار گرفت.



شکل 6. روند تغییرات دماهای بیشینه ایستگاه یزد (1910-2010).



شکل 7. پیش‌بینی دماهای حدی بیشینه تا سال 2020 با استفاده از مدل هالت-وینترز.



شکل 8: (بالا) توزیع نرمال باقی‌مانده‌ها - پایین سمت راست) نمودار توزیع خطی اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی - پایین سمت چپ) هیستوگرام فراوانی باقی‌مانده‌ها پس از برازش مدل هالت وینترز

با توجه به اجرای این مدل، در شکل 7، سال‌های 2016 و 2020 بالاتر از آستانه بالایی، بقیه سال‌ها در آستانه نرمال و هیچ سالی پایین‌تر از آستانه نرمال قرار نگرفت. بر اساس این پیش‌بینی، سال‌های 2016 و 2020 با دمای 45/1 درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین سال‌ها در بین دماهای واقعی و پیش‌بینی شده یزد خواهند بود.

همان‌گونه که از مقایسه نقاط پیش‌بینی شده و نقاط برازش یافته مدل و همچنین نمودارهای شکل 9 مشخص است در بیشتر موارد سری دماهای بیشینه یزد، کاملاً با هم انطباق دارند، به گونه‌ای که نمی‌توان مقادیر برازش یافته را از مقادیر واقعی تشخیص داد. این امر نشان‌دهنده دقت بالای مدل پیش‌بینی است. معیارهای سنجش دقت مدل که در این پژوهش برای میانگین مطلق انحرافات¹ برابر 0/035، میانگین مجذور

1-Mean Absolute Deviation

تحلیل نوسانات دماهای حدی بیشینه با استفاده از مدل‌های سری زمانی هالت- وینتر و من-کندال.. 35

انحرافات¹ برابر 0/00377 و درصد میانگین مطلق خطاها² برابر 0/084 برآورد گردیده‌اند، نشان‌دهنده این است که اعتبار و دقت مدل در حد ایده‌آلی قرار دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که توزیع احتمال وقوع و دوره بازگشت داده‌های دمای بیشینه یزد، نرمال نیست؛ بلکه از قانون لوگ نرمال تبعیت می‌کند. در واقع قانون لاگنرمال، گویای این است که باید به دلیل محدودیت در روش‌های خطی از روش‌های غیر خطی مانند سهمی (پلی نومیال) استفاده کرد. با توجه به متوسط دماهای بیشینه بلند مدت و مقایسه آن با 6 دهه موجود نتیجه گرفته شد که دمای دهه 2000 بالاتر و دهه‌های 1970 و 1980 پایین‌تر از متوسط 60 ساله قرار داشته‌اند. در این رابطه، دهه 1970 سردترین و دهه 2000 گرم‌ترین دهه‌های یزد هستند. مقایسه دو دوره آماری بلند مدت 2010-1961 و 2010-1990، نشان‌دهنده روند افزایش 0/3 درجه سانتی‌گرادی دمای بیشینه در دوره 21 ساله اخیر است. در هیچ‌کدام از دهه‌های مورد مطالعه روند تغییرات زمانی دمای بیشینه یزد خطی نبوده و شدت تغییرات از رگرسیون سهمی پیروی می‌کند که در این میان روند تغییرات زمانی دهه‌های 1960 و 1970 از روند تغییرات زمانی بسیار شدیدتری نسبت به دهه‌های دیگر برخوردار است.

روند کلی تغییرات زمانی دمای بیشینه، تدریجاً رو به بالا و صعود است؛ اما روند زمانی تغییرات تدریجی دمای بیشینه یزد که با استفاده از روند پلی نومیال درجه شش نشان داده شده در اواخر سری 2000 (سال 2005) روند کاهشی تقریباً شدیدی را نشان می‌دهد. دماهای بیشینه یزد در بیشتر سال‌ها در محدوده نرمال واقع شده؛ اما قرار 11 سال در بالاتر از آستانه بالایی و 9 سال پایین‌تر در محدوده ناهنجاری مثبت شدید واقع شده است. از بکار بردن آزمون من-کندال مشخص شد که روند تغییرات زمانی دمای بیشینه یزد علی‌رغم نشان دادن روند افزایشی معنی‌دار نیست. همچنین تغییرات زمانی

1-Mean Squared Deviation

2-Mean Absolute Percent of Errors

دمای بیشینه هرچند که تغییراتی را در میانگین بلند مدت نشان می‌دهد؛ اما روند تغییرات زمانی دمای بیشینه یزد معنی‌دار نیست. در ضمن روند 21 ساله ایستگاه یزد از سال 1990 تا 2010 علی‌رغم افزایش خطی و حدود 4 درصد، تغییرات در طی این 21 سال معنادار نیست. از نتایجی که از مدل حالت-ویترز به دست آمد، معلوم گردید سال‌های 2016 و 2020 بالاتر از آستانه بالایی، بقیه سال‌ها در آستانه نرمال، همچنین سال‌های 2016 و 2020 با دمای 45/1 درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین سال‌ها در بین دماهای واقعی و پیش‌بینی شده یزد خواهند بود. معیارهای سنجش دقت مدل پیش‌بینی حالت-ویترز و توزیع نرمال مانده‌ها و هیستوگرام توزیع فراوانی داده‌ها نشان داد که اعتبار روشی که برای پیش‌بینی اعمال گردید در حد قابل قبولی است و مقادیر پیش‌بینی شده با فاصله اطمینان بالا قابل وقوع هستند.

با توجه به آنچه شرح آن رفت، این تغییرات نمی‌تواند به سود منطقه مورد مطالعه که یک ناحیه بسیار کم‌آب در ایران به شمار می‌آید، باشد. حیات یزد بر پایه آب‌های زیرزمینی، که بیشتر از راه قنات‌ها در دسترس مردمان منطقه قرار می‌گیرد، استوار است که روند افزایشی دما و عواقب آن یک هشدار جدی برای منطقه محسوب می‌گردد که مدیران و مسئولان باید در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای این موضوع را به عنوان یک قضیه بسیار مهم مد نظر داشته باشند.

منابع

ابراهیمی، حسین، امین علیزاده، سهیلا جوانمرد، (1384)، بررسی وجود تغییرات دما در مشهد به عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش 79، صص 5-18.

امیدوار، کمال، حسین سالاری، (1392)، مطالعه روند تغییرات دما و بارش در غرب و شمال غرب ایران با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری، مجله جغرافیا، ش 37، صص 271-288.

تحلیل نوسانات دماهای حدی بیشینه با استفاده از مدل‌های سری زمانی هالت- وینتر و من-کندال.. 37

جعفری، مصطفی، (1387)، تحقیق و تحلیل عوامل تغییر اقلیم طی 50 سال گذشته در جنگل‌های منطقه خزری، فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ش 32، صص 314-326.

خوشحال دستجردی، جواد، یوسف قویدل رحیمی، (1387)، کاربرد آزمون ناپارامتری من-کندال در برآورد تغییرات دمایی (مطالعه موردی: اصفهان)، مجله فضای جغرافیایی، ش 22، صص 21-38.

خورشید دوست، علی محمد، یوسف قویدل رحیمی، کریم عباس‌زاده، (1389)، کاربرد الگوهای کلان مقیاس جوی-اقیانوسی در تحلیل نوسانات بارش (مطالعه موردی: ایستگاه اهر)، مجله فضای جغرافیایی، ش 29، صص 95-128.

خورشید دوست، علی محمد، یوسف قویدل رحیمی، راحله صنیعی، (1388)، پیش‌بینی دماهای بیشینه اصفهان با استفاده از روش‌های سری زمانی، مجله فضای جغرافیایی، سال نهم، ش 26، صص 31-48.

رحیم‌زاده، فاطمه، ابراهیم فتاحی، سیده فاطمه حسینی، (1384)، بررسی تغییرپذیری اقلیمی در ایران با بهره‌گیری از مدل‌های آماری، دو فصلنامه تحقیقات منابع ایران، شماره 2، صص 61-73.

رضیئی، طیب، پیمان دانش‌کار آراسته، بهرام ثقفیان، (1384)، بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی و شرق ایران، فصلنامه آب و فاضلاب اصفهان، ش 16، صص 73-81.

زاهدی، مجید، بهروز ساری‌صراف، جاوید جامعی، (1386)، تحلیل تغییرات زمانی- مکانی دمای منطقه شمال غرب ایران، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره 10، صص 183-198.

عزیزی، قاسم، علی اصغر روشن، (1384)، بررسی خشکسالی‌ها-ترسالی‌ها و امکان پیش‌بینی آن‌ها با استفاده از مدل سری زمانی هالت-وینتر در استان هرمزگان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش 79، صص 48-63.

- علیجانی، بهلول، یوسف قویدل رحیمی، (1384)، مقایسه و پیش‌بینی تغییرات دمای سالانه تبریز با ناهنجاری‌های دمای کره زمین با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی شبکه عصبی مصنوعی، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره 6.
- قربانی، محمدحسین، افشین سلطانی، (1381)، بررسی تغییر اقلیم گرگان طی 40 سال گذشته، فصلنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره 36، صص 3-14.
- عساکره، حسین، (1386)، تغییرات مکانی-زمانی بارش در ایران زمین طی دوره‌های آماری در سال 1963-2003، مجله جغرافیا و توسعه، ش 10، صص 145-164.
- عساکره، حسین، (1389)، تحلیل چرخه‌های میانگین سالانه دمای شهر زنجان، جغرافیا و توسعه، شماره 19، صص 11-24.
- عساکره، حسین، (1386)، تغییر اقلیم، انتشارات دانشگاه زنجان، چاپ دوم.
- عساکره، حسین، (1382)، بررسی آماری روند بارش سالانه تبریز، مجله فضای جغرافیایی، ش 10، صص 57-72.
- غیور، حسنعلی، مجید منتظری، (1388)، تحلیل مقایسه‌ای روند بارش و خشکسالی حوضه خزر، جغرافیا و توسعه، ش 16، صص 71-92.
- فیضی، وحید، منوچهر فرج‌زاده، رباب نوروزی، (1389)، مطالعه تغییر اقلیم در استان سیستان و بلوچستان به روش من-کندال، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام.
- محمدی، حسین، فرحناز تقوی، (1384)، روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، ش 53، صص 172-151.
- مسعودیان، ابوالفضل، (1383)، بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، جغرافیا و توسعه، ش 3، صص 89-106.
- مدرسی، فرشته، شهاب عراقی نژاد، کیومرث ابراهیمی، مجید خلقی، (1389)، بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری (مطالعه موردی حوضه آبریز گرگان‌رود-قره‌سو)، نشریه آب و خاک، شماره 3، صص 476-489.

- Cade, B.S., Noon, B.R. (2003). A gentle introduction to quantile regression for ecologists. *Frontiers in Ecology and Environment*, 1, 412-420.
- Calanca, P. (2007). Climate change and drought occurrence in the Alpine region. *Global and Planetary Changes*, 57, 151-160.
- Chamaille-Jammes, S., Fritz, H., Murindagomo, F. (2007). Detecting climate changes of concern in highly variable environment. Quantile regressions reveal that droughts worsen in Hwange National Park, Zimbabwe. *Journal of Arid Environments*, 71, 321-326.
- Chrysoulakis, N., Proedrou M., and Cartalis, C. (2003). Variations and trends in annual and seasonal means of precipitable water in Greece as deduced from radiosonde measurements. Tech. rep., Institute of Applied Mathematics, University of Athens.
- Koenker, R. (2005). *Quantile regression*. Cambridge University Press Cambridge, matondo.
- Graciana, J. I. P., Kenneth, M.M. (2004). Evaluation of the impact of climate change on hydrology and water resources in Swaziland. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29, 1193-1202.
- McLaughlin J.F., Jessica J., Hellmann J.L., Boggs C. L. and Ehrlich P. R., 2002. Climate change hastens population extinctions. *PNAS*, Ecology, 99(9), 6073.
- Tryjanowski & Sparks, T. H. P. (2005). The detection of climate impacts: some methodological considerations. *International Journal of Climatology*, 25, 271-277.
- Sookjung, H., Youngeun, C. (2007). Recent Trend in Temperature and precipitation over south Korea. *International Journal of climatology*.