

آنالیز روند تغییرات دما و بارش با استفاده از سری‌های زمانی همگن (مطالعه موردی ناحیه خزر)

- ❖ **مجتبی نجاجی زواره***؛ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، عضو هیئت علمی مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
- ❖ **علی محمد خورشید دوست**؛ استاد گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، ایران.
- ❖ **علی اکبر رسولی**؛ استاد گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، ایران.
- ❖ **علی سلاجقه**؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

چکیده

دما و بارش از پارامترهای مهم جوی برای برنامه‌ریزی در حوضه‌های آبخیز می‌باشد. بررسی روند دما و بارش برای برنامه‌ریزی‌های آبی در حوضه‌های آبخیز بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله روند پارامترهای جوی دمای ماکزیمم، مینیمم و بارش سالانه و فصلی ایستگاه‌های سینوپتیک بندرانزلی، رشت، رامسر، بابلسر و گرگان مورد بررسی قرار گرفتند. برای آشکارسازی روند دما و بارش نیاز به سری‌های زمانی همگن می‌باشد. بررسی همگنی سری‌های زمانی فصلی و سالانه با استفاده از قضاوت کارشناسی، شناسه تاریخی و آزمون SNHT صورت پذیرفت. تعدادی از سری‌های سالانه و فصلی ناهمگن بوده که پس از اطمینان از ناهمگنی آن‌ها تعدیل و به سری‌های همگن تبدیل شدند. نتایج نشان می‌دهد که روند دمای مینیمم و ماکزیمم فصلی و سالانه مثبت و روند بارش فصلی و سالانه منفی می‌باشد. همچنین روند دمای مینیمم بیشتر از روند دمای ماکزیمم بوده است. مقدار متوسط روند دمای مینیمم، ماکزیمم و بارش سالانه به ترتیب $0/39^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ، $0/05^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ و $-31/8\text{mm}/\text{decade}$ می‌باشد. بیشترین مقدار متوسط روند فصلی دمای ماکزیمم و مینیمم مربوط به فصل تابستان است. در حالی که بارش فصل زمستان بیشترین روند متوسط را در بین فصول مختلف دارد. کمترین روند متوسط فصلی دمای مینیمم و ماکزیمم به ترتیب مربوط به فصول زمستان و بهار است. متوسط روند بارش فصل‌های بهار، تابستان و پاییز تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد.

واژگان کلیدی: آنالیز روند، سری‌های زمانی همگنی، دما، بارش، ناحیه خزر

۱. مقدمه

دما و بارش از اصلی‌ترین پارامترهای جوی می‌باشند. بررسی روند تغییرات این دو پارامتر جوی برای برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب حوضه‌های آبخیز بسیار حائز اهمیت است. برای مثال بررسی روند این دو پارامتر بر روی روند آبدهی رودخانه‌ها، تغییرات بیلان آبی حوضه‌های آبخیز و برنامه‌ریزی جهت مصرف منابع آب در آبخیزها تأثیرگذار می‌باشد. بر اساس گزارش چهارم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۱ تحت عنوان "گزارش‌های ارزیابی تغییرات اقلیم" [۱۲] افزایش جهانی دما و وقوع تغییر اقلیم با استفاده از مشاهدات دما که از سطح خشکی‌ها و آب‌های جهان به‌دست آمده، تأیید شده است. روند خطی میانگین دمای سطح زمین در دوره صدساله (۲۰۰۵-۱۹۰۶) از رابطه $0.18^{\circ}\text{C} \pm 0.074^{\circ}\text{C}$ تبعیت می‌نماید. روند افزایشی دما در ۵۰ سال دوم این دوره صدساله تقریباً دو برابر ۵۰ سال اول می‌باشد. بر اساس این گزارش، سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۵ به ترتیب گرم‌ترین سال‌های جهان بوده‌اند و ۱۱ سال از ۱۲ سال گرم دنیا در دوره ۱۲ ساله ۲۰۰۶-۱۹۹۵ قرار گرفته است. اما الگوی نسبتاً مشخصی مانند دما در مورد بارش وجود ندارد. اغلب قسمت‌های شمالی و جنوبی آمریکا، شمال و مرکز اروپا به‌طور معنی‌داری مرطوب‌تر و ساحل مدیترانه، آفریقای جنوبی و قسمت‌هایی از آسیا خشک‌تر شده‌اند. نوسانات بارش افزایش‌یافته و تمایل رفتار بارش بیشتر به بارش‌های سنگین‌تر بوده است.

برای مثال در کشور بلغارستان روند تغییرات دمای متوسط سالانه $(-0.15 - 0.05^{\circ}\text{C}/\text{decade})$ می‌باشد [۲۲]. در کشور کرواسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه بین $(0.45^{\circ}\text{C}/40\text{years} - 1/42)$ می‌باشد [۱۶]. در کشور سوئیس روند دمای سالانه بین $(0.09 - 1/10^{\circ}\text{C}/100\text{ years})$ در ناحیه شمالی و روند تقریبی $(0.06^{\circ}\text{C}/100\text{years})$ را در ناحیه جنوبی نشان می‌دهد. اما روند بارش سالانه افزایش بین ۷ تا ۱۰ درصد را در دوره

صدساله نشان می‌دهد [۵]. در ناحیه مدیترانه روند بارش سالانه ۳۵- میلی‌متر در دوره دهساله $(-35\text{mm}/\text{decade})$ می‌باشد. این مقدار کاهش ۲۳ درصدی بارندگی متوسط سالانه در دوره زمانی ۱۹۹۹-۱۹۱۸ را نشان می‌دهد [۱۵]. در هر صورت مطالعات بررسی همگنی در دنیا همچنان روبه گسترش است. اخیراً با استفاده از سه روش SNHT، رگرسیون دومرحله‌ای و روش وینسنت^۲ سری‌های زمانی دما در شمال شرق اسپانیا را همگن شده است [۹]. همچنین در کشور هلند برای محاسبه روند بارش ابتدا با استفاده از آزمون SNHT، نقاط ناهمگن را مشخص نموده و سپس با استفاده از روش مقایسه زوجی سری‌های زمانی ناهمگن اصلاح گردید [۶]. در کشور ما محققان مختلف نتایج متفاوتی را برای روند دما و بارش در یک ناحیه اقلیمی بیان نموده‌اند. به‌عنوان مثال روند بارش در حوضه آبخیز گرگان‌رود مورد بررسی قرار گرفت و روندهای متفاوتی در مناطق مختلف حوضه به دست آمد [۲۰]. در تحقیقی که به‌منظور بررسی روند دما و تعدادی از پارامترهای هواشناسی در شمال شرق کشور صورت گرفت. نتایج روند دمای حداکثر و حداقل در ایستگاه‌های سبزواری، مشهد و بیرجند مثبت و در ایستگاه تربت‌حیدریه منفی به دست آمد [۴]. همچنین در تحقیق دیگری در شمال شرق کشور نتایجی مشابه به دست آمد [۱۰]. در تحقیقات فوق در کشورهای دیگر روندهای مختلفی قبل از همگنی وجود داشته است در صورتی که پس از تعدیل داده‌ها روند عوامل اقلیمی در یک منطقه در ایستگاه‌های مختلف تقریباً مقادیر مشابهی را نشان می‌دهد. اما در کشور ما برای بررسی روند در ایستگاه‌های یک منطقه همگنی داده‌ها بررسی نگردیده و روندهای متفاوت در ایستگاه‌های مختلف یک منطقه مشاهده می‌گردد این موضوع ناشی از ناهمگنی^۳ داده‌ها می‌باشد. بنابراین قبل از تحلیل روند پارامترهای اقلیمی بررسی

¹ Intergovernmental panel on climate change

² Vincent

³ Inhomogeneity

۲.۲. شاخص‌های اندازه‌گیری شده

همان‌طور که در مقدمه مقاله توضیح داده شد برای بررسی روند پارامترهای اقلیمی دما و بارش به داده‌های مورد اطمینان نیاز می‌باشد. این داده‌ها باید تنها تحت تأثیر عوامل آب و هوایی قرار گرفته و عوامل انسانی تأثیری بر روی آن‌ها نداشته باشد. با توجه به اینکه تحلیل روند نیازمند سری‌های زمانی طولانی‌مدت بوده و احتمال تأثیر عوامل انسانی بر روی این سری‌ها بیش از سری‌های کوتاه‌مدت می‌باشد. بنابراین بررسی همگنی داده‌ها قبل از تحلیل روند امری لازم و ضروری است. برای این منظور از شناسه تاریخی^۲ ایستگاه‌ها، مقایسه هم‌زمان روند پارامترهای جوی برای آشکارسازی جهش^۳ احتمالی در سری داده‌ها و آزمون آماری روش همگنی نرمال استاندارد^۴ (SNHT) استفاده گردید. در این مقاله در صورتی سری داده‌ها ناهمگن می‌باشد که هم آزمون همگنی و شناسه تاریخی ایستگاه، ناهمگنی را تأیید نماید. در مرحله بعد سری‌های ناهمگن باید تعدیل^۵ گردیده و برای اطمینان از سری‌های جدید همگن شده مجدداً آزمون همگنی به کار گرفته می‌شود تا از همگنی داده‌ها مطمئن گردیده و نهایتاً روند به دست می‌آید.

به‌منظور آماده‌سازی سری‌های فصلی و سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه سری‌های ماهانه دما و بارش تکمیل و بازسازی گردیدند. بازسازی ایستگاه‌های دارای نواقص آماری بر مبنای نزدیک‌ترین ایستگاه همسایه صورت پذیرفت. برای محاسبه سری‌های زمانی فصلی دمای ماکزیمم، مینیمم و بارش فصول زمستان، بهار، تابستان و پائیز از میانگین سری‌های زمانی ماه‌های میلادی این سه پارامتر جوی استفاده گردید.

همگنی داده‌ها امری لازم و ضروری است. یک سری زمانی اقلیمی در صورتی همگن^۱ است که تغییرات آن تنها به دلیل تغییرات آب و هوایی ایجاد شده باشد [۷]. اما اغلب سری‌های زمانی طولانی‌مدت اقلیمی تحت تأثیر تعدادی از عوامل غیر اقلیمی قرار می‌گیرند. این عوامل باعث می‌گردد که داده‌های اقلیمی معرف تغییرات اقلیمی مذکور در طول زمان در ناحیه مورد مطالعه نباشند. این عوامل عبارت‌اند از تغییر در: ادوات و تجهیزات هواشناسی، عملیات دیده‌بانی، مکان ایستگاه، روش محاسبه میانگین‌های محاسباتی و محیط اطراف ایستگاه می‌باشد [۱، ۱۴، ۱۷ و ۱۸]. با مقایسه تحقیقات در دنیا و ایران می‌توان نتیجه گرفت که قبل از محاسبه روند پارامترهای جوی، بررسی همگنی امری لازم و ضروری است. بنابراین این تحقیق با هدف تحلیل روند دمای حداکثر، حداقل و بارش سالانه و فصلی و مقایسه روند در سری‌های زمانی ناهمگن و همگن در ناحیه اقلیمی شمال کشور صورت پذیرفته است.

۲. روش‌شناسی تحقیق

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه ناحیه اقلیمی شمال کشور می‌باشد. داده‌های مورد استفاده شامل سری‌های زمانی دمای ماکزیمم، مینیمم و بارش ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک این منطقه است. این داده‌ها برای بررسی روند فصلی و سالانه ایستگاه‌های منتخب این منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد و باید دارای آمار طولانی‌مدت باشد. بدین منظور ایستگاه‌های بندرانزلی، رشت، رامسر، بابلسر و گرگان در دوره زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۰ انتخاب گردیده است. جدول (۱) مشخصات این ایستگاه‌ها و طول دوره آماری آن‌ها و شکل شماره ۱ وضعیت این منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

^۱ - homogeneity

^۲ - Metadata

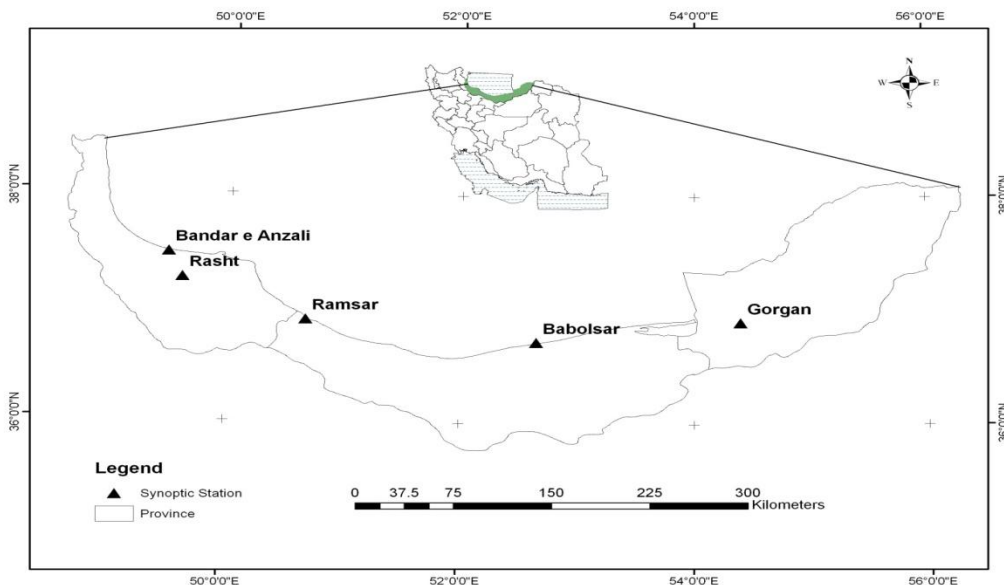
^۳ - Jump

^۴ - Standard Normal Homogeneity Test

^۵ - Adjust

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	کد ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	طول دوره آماری
بندر انزلی	۴۰۷۱۸	۳۷° ۲۸'	۴۹° ۲۸'	-۲۶/۲	۱۹۶۰-۲۰۱۰
رشت	۴۰۷۱۹	۳۷° ۱۵'	۴۹° ۳۶'	-۶/۹	۱۹۶۰-۲۰۱۰
رامسر	۴۰۷۳۲	۳۶° ۵۴'	۵۰° ۴۰'	-۲۰	۱۹۶۰-۲۰۱۰
بابلسر	۴۰۷۳۶	۳۶° ۴۳'	۵۲° ۳۹'	-۲۱	۱۹۶۰-۲۰۱۰
گرگان	۴۰۷۳۸	۳۶° ۵۱'	۵۴° ۱۶'	۱۳/۳	۱۹۶۰-۲۰۱۰



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

سری‌های زمانی دمای تست بر اساس پایداری تفاوت پارامتر d بین دما در ایستگاه تست و سری مرجع پایه‌گذاری شده است. ناهمگنی در سری تست توسط تغییرات در سری d آشکار می‌گردد. برای کاهش تأثیر مکانی روی مقادیر دما از رابطه $(t - \bar{t})$ استفاده گردیده است. که \bar{t} متوسط مقادیر دما و t ضریب همبستگی بین ایستگاه تست و مرجع است. برای مثال $(t_{i0} - \bar{t}_0)$ و $(t_{ij} - \bar{t}_j)$ به ترتیب مقادیر دما در ایستگاه تست و در هر ایستگاه مرجع می‌باشد. پارامتر d در هر گام زمانی i برای ایستگاه مرجع k بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

آزمون همگنی نرمال استاندارد (SNHT)

برای بررسی همگنی سری‌های زمانی دما و بارش، روش SNHT مورد استفاده قرار گرفت [۲ و ۳]. روش SNHT یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای بررسی همگنی داده‌های بارش و دما می‌باشد که توسط محققین زیادی در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته است [۵، ۸، ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۱۹، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵]. این روش توسط محققین مختلف توسعه داده شد و برای دقت بیشتر در تشخیص نوسانات جوی از ناهمگنی‌های ایجاد شده توسط عوامل غیر جوی، این آزمون با در نظر گرفتن سری‌های مرجع^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش

^۱ Reference series

ایستگاه تست و ایستگاه‌های مرجع امکان استفاده از روش همگنی نرمال استاندارد نسبی همانند دما وجود ندارد. بنابراین همگنی سری‌های زمانی فصلی و سالانه بارش ایستگاه‌ها تنها در درون خود ایستگاه با استفاده از روش SNHT و توسط معادلات (۲) و (۳) صورت پذیرفت [۱۷ و ۲۵].

۳. نتایج

بررسی روند با استفاده از مقایسه ایستگاه‌ها و

شناسه تاریخی

برای این منظور تغییرات دمای فصلی یا سالانه برحسب زمان در یک دستگاه محور مختصات رسم می‌گردد. این تغییرات در طول زمان در ایستگاه‌های مختلف یک منطقه دارای نظم منطقی می‌باشند. قضاوت‌های کارشناسی^۱ در تشخیص نقاط دارای جهش شدید از اهمیت بسزایی برخوردار است. برای مثال شکل‌های (۲) الی (۴) تغییرات دمای ماکزیمم، مینیمم و بارش سالانه ۵ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۰ را نمایش می‌دهد. از مقایسه دمای مینیمم ایستگاه‌های مختلف در شکل (۲) دو موضوع استخراج می‌گردد. ۱- داده‌های ایستگاه رشت از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۳ دارای مشکلاتی می‌باشد (خط شماره ۱) که با مراجعه به داده‌های روزانه مشخص گردید که سری‌های زمانی روزانه در این دوره زمانی به دلایلی اشتباه می‌باشد. برای بررسی روند، داده‌های ماهانه این ایستگاه بر مبنای داده‌های متناظر ایستگاه بندر انزلی (نزدیکترین ایستگاه) بازسازی گردید. ۲- دو جهش در سری زمانی دمای مینیمم ایستگاه گرگان دیده می‌شود (پیکان شماره ۲ و ۳) که در سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۶ رخ داده است. به استناد شناسه تاریخی این ایستگاه، در دو تاریخ مذکور این ایستگاه دارای جابجایی مکانی بوده است.

$$d_i = t_{i0} - \left[\frac{\sum_{j=1}^k (t_{ij} - \bar{t}_j - \bar{t}_0) r_j^2}{\sum_{j=1}^k r_j^2} \right] \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, n$$

بنابراین متوسط‌ها و ضرایب همبستگی برای پریمدهای اصلی برای سری‌های تست و مرجع محاسبه می‌شود. آزمون SNHT بر روی سری‌های استاندارد d به شکل زیر انجام می‌شود.

$$Z_i = \frac{(d_i - \bar{d})}{\delta_d} \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, n$$

در اینجا \bar{d} و δ_d متوسط و انحراف استاندارد مقدار d می‌باشد. با استفاده از آماره T سری‌های زمانی دمای ناهمگن از طریق معادله (۳) محاسبه می‌گردد.

$$T_k = K \bar{z}_k^2 + (n-k) \bar{z}_{n-k}^2 \quad (3)$$

که در آن برای $k = 1, 2, \dots, n-1$ که در آن \bar{z}_k میانگین K داده اول و \bar{z}_{n-k} میانگین $n-k$ داده باقیمانده است.

وقتی یک سری دما ناهمگن تشخیص داده شد داده‌ها قبل از نقطه شکست توسط اضافه کردن فاکتور تعدیل از طریق معادله (۴) تصحیح می‌گردد.

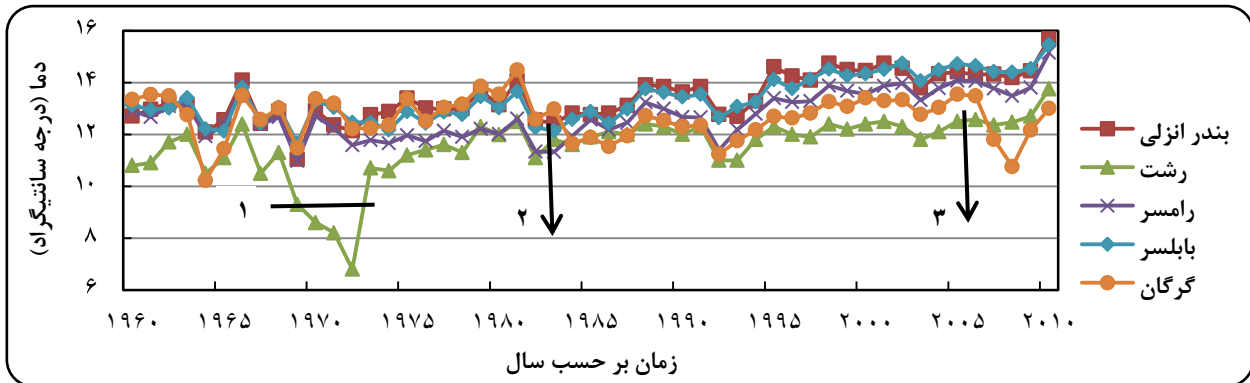
$$AF = \bar{d}_1 - \bar{d}_2 \quad (4)$$

\bar{d}_1 و \bar{d}_2 متوسط مقادیر d_i قبل و بعد از شکست می‌باشد.

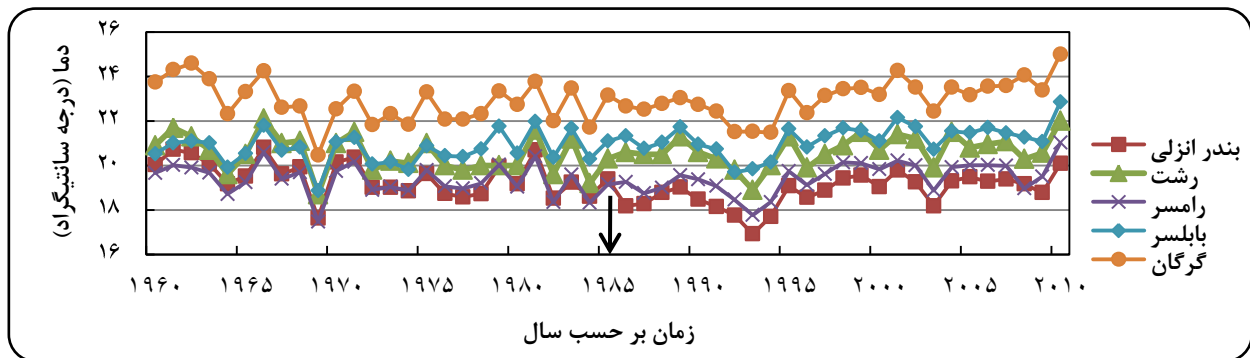
به‌منظور بررسی دقیق همگنی داده‌ها ابتدا ناهمگنی سری‌های فصلی و سالانه دما و بارش با استفاده از آزمون آماری و شناسه تاریخی هر ایستگاه مشخص می‌گردد. با استفاده از شناسه تاریخی ایستگاه و آزمون آماری سری‌های ناهمگن تعدیل می‌گردد. برای اطمینان از همگنی سری‌های تعدیل شده مجدداً آزمون SNHT بر روی سری‌های تعدیل شده به کار گرفته می‌شود.

به دلیل همبستگی پایین بین بارندگی سالانه و فصلی

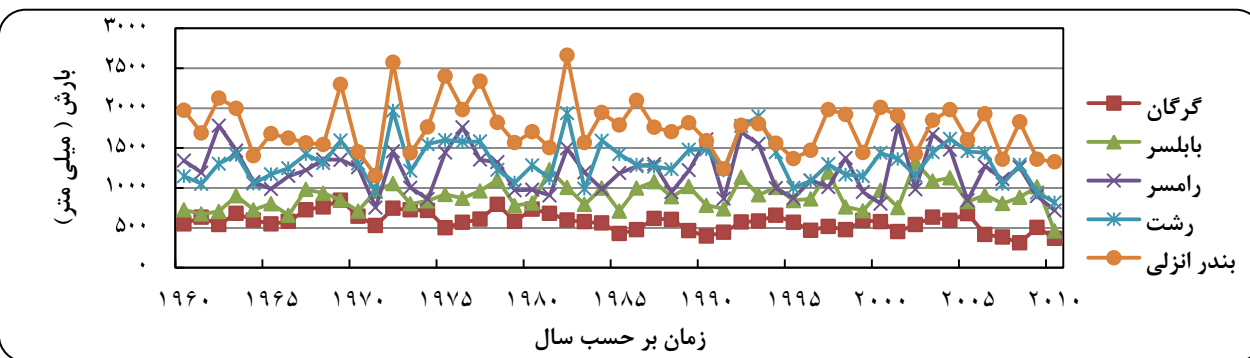
¹ Expert Judgment



شکل ۲. تغییرات دمای مینیمم سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۳. تغییرات دمای ماکزیمم سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۴. تغییرات بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه

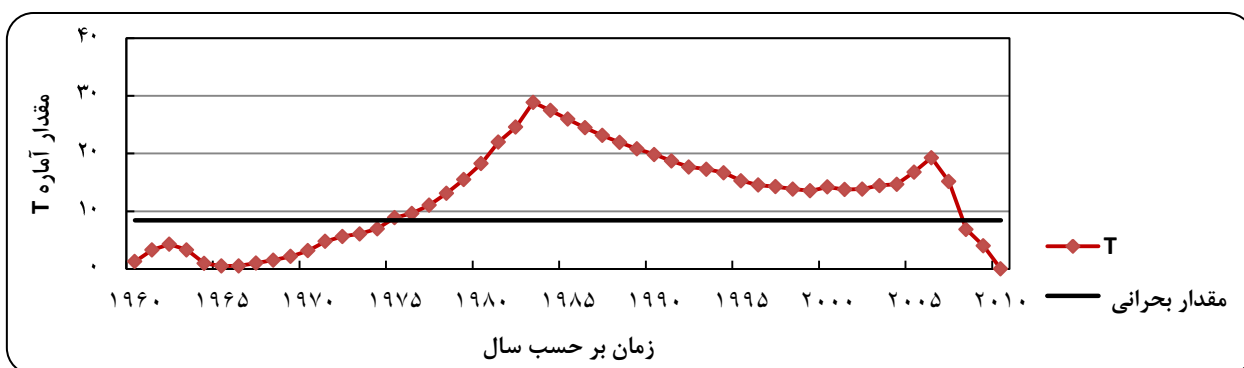
می‌باشد. شکل (۴) تغییرات بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد در این نمودار تغییرات بارش به دلیل تغییرات زمانی و مکانی به‌طور واضح مشهود نیست و تشخیص ناهمگنی از طریق قضاوت کارشناسی مشکل می‌باشد.

شکل (۳) تغییرات دمای ماکزیمم سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۵۰ ساله را نشان می‌دهد. همچنان که مشاهده می‌گردد بارزترین تغییر مربوط به ایستگاه بندر انزلی در سال ۱۹۸۵ است. در این سال، این ایستگاه دارای جهش به سمت پایین بوده که ناشی از تغییر مکان

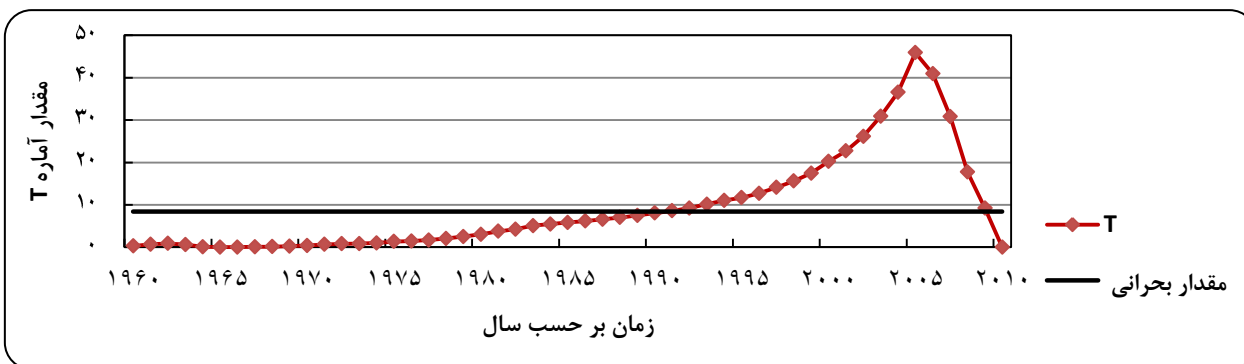
بررسی روند دما و بارش

اگرچه قضاوت کارشناسی یک روش برای تشخیص ناهمگنی محسوب می‌شود اما نیاز به تجربه داشته و امکان تشخیص جهش‌های بزرگ از این روش مقدور می‌باشد. بنابراین برای تعیین دقیق روند سری‌های زمانی دما و بارش ایستگاه‌های مختلف و بررسی همگنی نیاز به

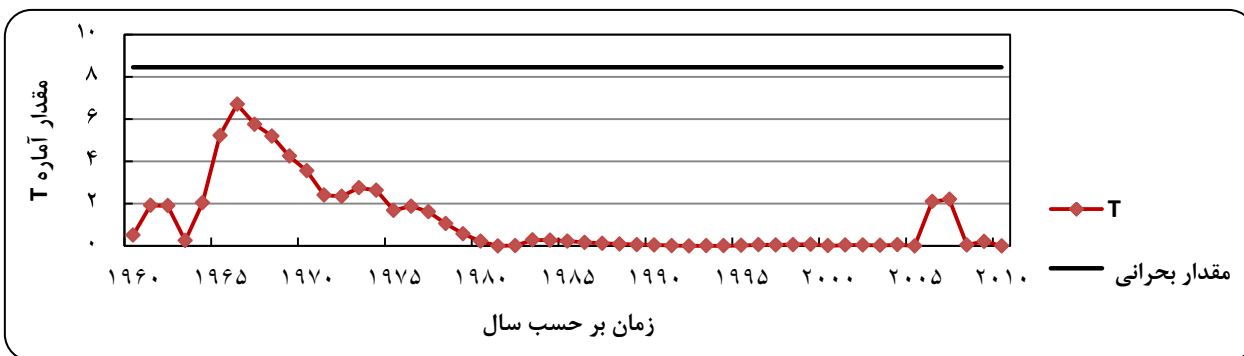
روش‌های آماری می‌باشد. بدین منظور آزمون SNHT برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. برای مثال تغییرات دمای مینیمم سالانه ایستگاه گرگان با استفاده از روش SNHT جهت تعیین نقاط ناهمگن، تعدیل و تست همگنی بعد از تعدیل در شکل (۵) الی (۷) مشخص شده است.



شکل ۵. تغییرات آماره T دمای مینیمم سالانه ایستگاه گرگان



شکل ۶. تغییرات آماره T دمای مینیمم سالانه ایستگاه گرگان بعد از اولین تعدیل



شکل ۷. تغییرات آماره T دمای مینیمم سالانه ایستگاه گرگان بعد از دومین تعدیل

در شکل (۵) مشخص گردید که بر اساس آزمون SNHT دو ناهمگنی در سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۶ در این نمودار رخ داده است. این ناهمگنی‌ها را شناسه تاریخی ایستگاه نیز تأیید می‌نماید زیرا بر اساس شناسه تاریخی، ایستگاه گرگان در سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۶ دارای جابجایی مکانی بوده است. تشخیص و تعدیل ناهمگنی‌ها در سری‌های زمانی دمای مینیمم سالانه این ایستگاه بر

اساس معادلات (۱) الی (۴) صورت گرفته است. در شکل‌های (۶) و (۷) نتایج این دو تعدیل آمده است. پس از بررسی همگنی سری‌های زمانی دمای ماکزیمم، مینیمم و بارش سالانه و فصلی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، سری‌های ناهمگن بر مبنای آزمون آماری و تأیید شناسه تاریخی مشخص و سپس تعدیل گردیدند. نتایج این بررسی در جدول (۲) موجود می‌باشد.

جدول ۲. نتایج بررسی ناهمگنی دمای مینیمم، ماکزیمم و بارش سالانه و فصلی

ایستگاه	دمای مینیمم					دمای ماکزیمم					بارش	زمان تعدیل
	سالانه	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	سالانه	پاییز	زمستان	بهار	تابستان		
بندرانزلی	*	-	*	-	*	*	*	*	*	*	-	۱۹۸۵
رشت	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	۱۹۹۶
رامسر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
بابلسر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
گرگان	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	۱۹۸۴ و ۲۰۰۶

- داده‌ها همگن بوده و هیچ تعدیلی در آن‌ها صورت نگرفته است.

* داده‌ها ناهمگن بوده و در آن تعدیل صورت گرفته است.

با احتیاط عمل کردیم.

در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین ناهمگنی مربوط به ایستگاه گرگان می‌باشد. جابجایی این ایستگاه تمامی سری‌های زمانی دمای مینیمم را ناهمگن نموده است. بررسی دمای ماکزیمم نشان می‌دهد که در بین ایستگاه‌ها، ایستگاه بندرانزلی بیشترین ناهمگنی را داشته است. با توجه به شناسه تاریخی این ایستگاه غیراستاندارد شدن محیط اطراف ایستگاه باعث شده تا به منطقه ساحلی انتقال داده شود و باعث ناهمگنی در سری‌های دمای ماکزیمم گردیده است.

در مرحله بعدی تحقیق نرخ روند سری‌های دمای مینیمم، ماکزیمم و بارش فصلی و سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه قبل و بعد از تعدیل ناهمگنی مورد بررسی قرار گرفت. نرخ روند دمای مینیمم، ماکزیمم و بارش سالانه و فصلی در جداول (۳) الی (۵) آورده شده است.

بر مبنای اطلاعات جدول (۲) بیشترین ناهمگنی در دمای مینیمم و سپس دمای ماکزیمم رخ داد که با تحقیقات [۲۳] مطابقت دارد و نشان می‌دهد سری‌های دمای مینیمم نسبت به عوامل غیرطبیعی حساس‌تر از دمای ماکزیمم است. بر همین اساس سری‌های فصول گرم نسبت به سری‌های فصول سرد ناهمگن‌تر است. این نتیجه با تحقیق [۲۲] مشابه است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت دمای مینیمم نسبت به جابجایی ایستگاه حساس‌تر از دمای ماکزیمم بوده است.

نتایج آزمون SNHT نشان داد سری‌های زمانی سالانه و فصلی بارش همگن می‌باشند. با توجه به اینکه شبکه ایستگاه‌های بارش کمترین همبستگی را با همدیگر داشتند آزمون همگنی تنها در داخل خودسری مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بارش از متغیرهای جوی است که دارای تغییرات زمانی و مکانی زیادی می‌باشد و ما نیز برای تعدیل بعضی نقاط مشکوک به ناهمگنی

جدول ۳. نرخ روند دمای مینیمم سالانه و فصلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه (°C/decade)

ایستگاه	قبل از تعدیل ناهمگنی				بعد از تعدیل ناهمگنی					
	سالانه	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	سالانه	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
بندر انزلی	۰/۴۵	۰/۴	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۵۷	۰/۳۵	۰/۴	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۵
رشت	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۵۷
رامسر	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۲۴	۰/۳	۰/۴۷	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۲۴	۰/۳	۰/۴۷
بابلسر	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴
گرگان	-۰/۰۲	-۰/۱	-۰/۰۵	-۰/۰۶	-۰/۰۶	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۳۲	۰/۵۳	۰/۵۳

جدول ۴. نرخ روند دمای ماکزیمم سالانه و فصلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه (°C/decade)

ایستگاه	قبل از تعدیل ناهمگنی				بعد از تعدیل ناهمگنی					
	سالانه	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	سالانه	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
بندر انزلی	-۰/۰۱۸	-۰/۰۱	-۰/۰۸	-۰/۳۸	-۰/۱۸	۰/۰۷	-۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۹
رشت	۰/۰۴	-۰/۰۱	۰/۱	-۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۰۴	-۰/۰۱	۰/۱	-۰/۰۸	۰/۱۴
رامسر	۰/۰۷	-۰/۰۰۶	۰/۰۷	-۰/۰۰۵	۰/۲	۰/۰۷	-۰/۰۰۶	۰/۰۷	-۰/۰۰۵	۰/۲
بابلسر	۰/۲	۰/۱۴	۰/۲	۰/۱۶	۰/۳	۰/۲	۰/۱۴	۰/۲	۰/۱۶	۰/۳
گرگان	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۱۲

جدول ۵. نرخ روند بارش سالانه و فصلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه (mm/decade)

ایستگاه	قبل و بعد از تعدیل ناهمگنی				
	سالانه	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
بندر انزلی	-۴۲/۴	-۱۰/۲	-۱۸/۸	-۱۱/۱	-۲/۳
رشت	-۱۲/۲	۷/۷	-۹/۶	-۴/۱	-۶/۱
رامسر	-۳۱/۱	-۹/۹	-۱۰/۱	۲/۷	-۱۳/۸
بابلسر	۲۲/۴	۲۰	-۱	-۰/۸	۴/۱
گرگان	-۴۰/۲	-۱۴/۵	-۱۰/۹	-۱۰	-۴/۶

می‌دهد در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه نرخ روند دمای مینیمم مشابه یکدیگر می‌باشد و مقدار سالانه آن بین ۰/۳۵-۰/۴۵ °C/decade می‌باشد. در بین فصول مختلف بالاترین و پایین‌ترین نرخ روند دمای مینیمم به ترتیب مربوط به فصل تابستان و زمستان می‌باشد.

جدول (۴) نتایج نرخ روند دمای ماکزیمم قبل و بعد از تعدیل را نشان می‌دهد در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه نرخ روند دمای ماکزیمم کمتر از دمای مینیمم

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین تغییر نرخ روند دمای مینیمم در قبل از تعدیل ناهمگنی نسبت به بعد از تعدیل ناهمگنی مربوط به ایستگاه گرگان می‌باشد. در بین سه ایستگاه دارای ناهمگنی (بندر انزلی، رشت و گرگان) تعدیل ناهمگنی در دو ایستگاه رشت و گرگان باعث افزایش نرخ روند و در ایستگاه بندر انزلی باعث کاهش نرخ روند دمای مینیمم شده است. نتایج جدول (۳) نشان

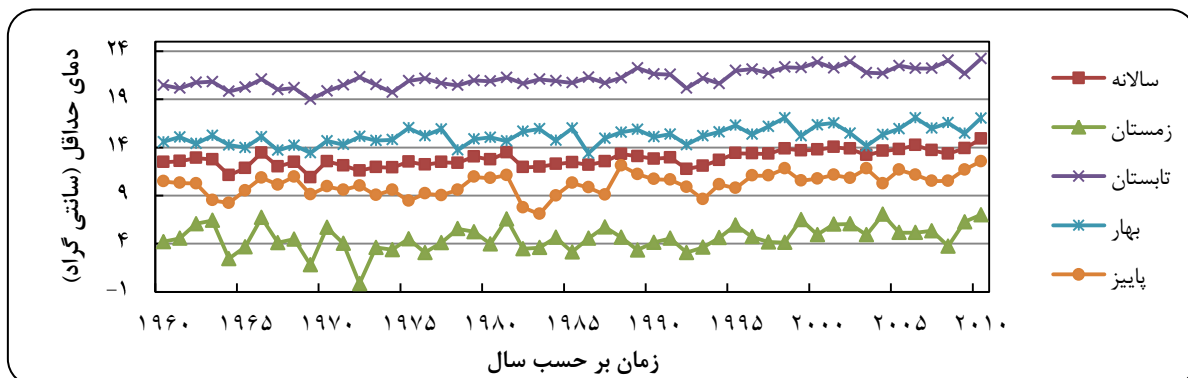
فصلی و سالانه دمای مینیمم و ماکزیمم ایستگاه بابلسر ناهمگنی را نشان می‌دهد اما شناسه تاریخی این ایستگاه، جایجایی آن را تأیید نمی‌نماید. اما بر مبنای اطلاعات شناسه تاریخی این ایستگاه در طول دوره آماری همواره دارای شرایط استاندارد نبوده است. بر اساس فرض اولیه در مقاله ایستگاه‌هایی را تعدیل می‌نمایم که آزمون آماری و شناسه تاریخی ایستگاه زمان ناهمگنی را تأیید نماید. بنابراین ایستگاه بابلسر را در بین ایستگاه‌های منتخب، ایستگاه نسبتاً مشکوک محسوب می‌گردد.

با توجه به نتایج جدول (۳) و (۴) و بررسی روند سالانه و فصلی دمای ماکزیمم و مینیمم بعد از همگنی و تعدیل سری‌های دمای فصلی و سالانه و بدون احتساب ایستگاه بابلسر می‌توان نتیجه گرفت که نرخ روند سالانه و فصلی دمای ماکزیمم، مینیمم منطقه شمال کشور مشابه یکدیگر می‌باشد. این نتیجه با نتایج [۵، ۱۶ و ۲۲] مطابقت دارد. جدول (۶) مقدار متوسط مقادیر دما و بارش سالانه و فصلی در منطقه شمال کشور را نشان می‌دهد. شکل‌های (۸) الی (۱۰) روند متوسط دمای مینیمم، ماکزیمم و بارش سالانه و فصلی در ناحیه خزر را نشان می‌دهد.

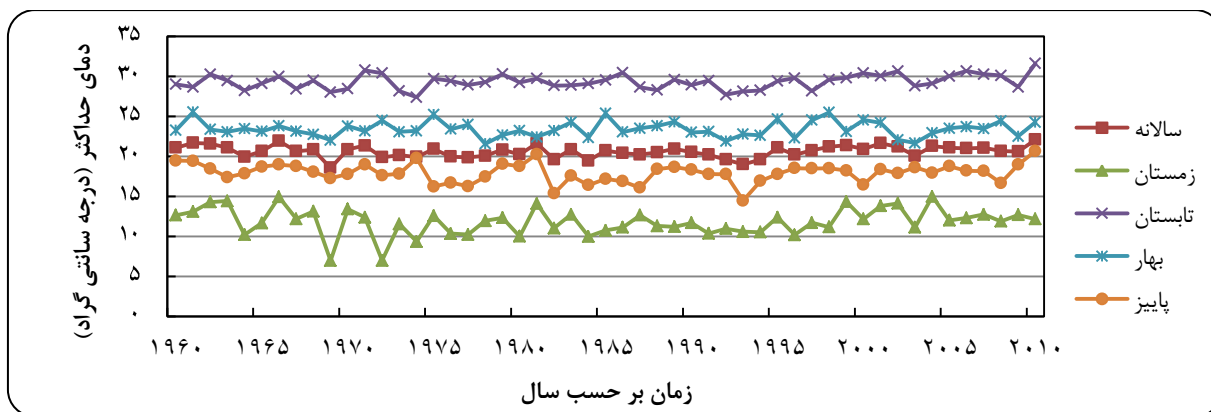
می‌باشد. بیشترین نرخ روند فصلی دمای ماکزیمم متعلق به فصل تابستان و کمترین آن مربوط به فصل بهار است. نرخ روند دمای ماکزیمم سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه بین $0.02-0.2$ °C/decade متغیر است. جدول (۵) شامل نتایج نرخ روند بارش سالانه و فصلی ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. همچنان که در روش مطالعه بحث گردید برای بررسی این پارامتر جوی به دلیل همبستگی پایین ایستگاه‌ها نسبت به همدیگر آزمون SNHT در خود ایستگاه به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها نیاز به تعدیل نداشتند. همچنان که مشاهده می‌گردد نرخ روند بارش در غالب ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند منفی می‌باشد. با مقایسه نتایج جداول (۳) الی (۴) نرخ روند ایستگاه بابلسر در اکثر مواقع متفاوت‌تر از ایستگاه‌های دیگر است. این تفاوت در دمای ماکزیمم و بارش مشهودتر است. در بررسی جامع دلایل ناهمگنی، شرایط غیراستاندارد محیط اطراف ایستگاه یکی از دلایل ناهمگنی اعلام گردید [۱ و ۱۷]. این ناهمگنی‌ها به صورت انحراف تدریجی ظاهر می‌شود. تعدیل چنین ناهمگنی سخت و بعضاً غیرممکن می‌باشد. اگرچه نتایج آزمون SNHT بر روی سری‌های

جدول ۶. روند متوسط دما و بارش در منطقه شمال کشور

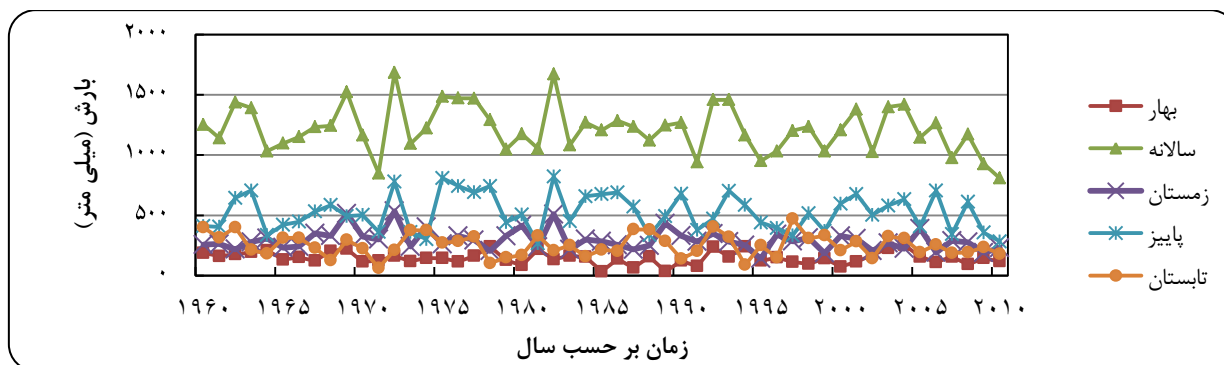
پارامترها	سالانه	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
دمای مینیمم (°C/decade)	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۵۲
دمای ماکزیمم (°C/decade)	۰/۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۸۲	۰	۰/۱۶
بارش (mm/decade)	-۳۱/۸	-۶/۷	-۱۲/۳	-۵/۶	-۶/۷



شکل ۷. روند متوسط سالانه و فصلی دمای حداقل در ناحیه خزر



شکل ۸. روند متوسط سالانه و فصلی دمای حداکثر در ناحیه خزر



شکل ۹. روند متوسط سالانه و فصلی بارش در ناحیه خزر

۴. بحث و نتیجه گیری

جهش‌ها با شناسه تاریخی ایستگاه تطابق داشت. در صورتی که مقایسه هم‌زمان روند تغییرات سالانه بارش ایستگاه‌های مختلف پیچیدگی این پارامتر جوی را نشان می‌دهد.

در مرحله دوم تحقیق از آزمون SNHT و شناسه تاریخی ایستگاه‌ها برای بررسی همگنی سری‌های زمانی استفاده گردید. در زمانی که آزمون SNHT و شناسه تاریخی نیز ناهمگنی را تأیید نماید برای همگن‌سازی داده‌ها، تعدیل صورت گرفته است. مهم‌ترین دلیل ناهمگنی در سری‌های زمانی ایستگاه‌های مورد مطالعه مربوط به جابجایی ایستگاه می‌باشد. سری‌های زمانی دمای مینیمم نسبت به دمای ماکزیمم حساس‌تر بوده و ناهمگنی در آن‌ها بیشتر می‌باشد. سه ایستگاه بندرانزلی،

روند تغییرات آب و هوایی موضوع حائز اهمیتی در حوضه‌های آبخیز می‌باشد. سه پارامتر جوی دمای مینیمم، ماکزیمم و بارش در ابعاد زمانی سالانه و فصلی مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا نمودار تغییرات سالانه و فصلی دمای مینیمم، ماکزیمم و بارش ایستگاه‌های مختلف بررسی شدند. نتایج نشان داد که اشکالاتی در داده‌های دمای مینیمم ایستگاه رشت در دوره زمانی ۱۹۷۰-۱۹۷۳ وجود دارد. این داده‌ها با استفاده از داده‌های هم‌زمان ایستگاه بندرانزلی بازسازی گردید. همچنین چندین جهش در روند دمای مینیمم و دمای ماکزیمم سالانه تعدادی از ایستگاه‌ها دیده می‌شود این

ناشی از تغییر اقلیم در تمامی ایستگاه‌های ناحیه مورد مطالعه از روند یکسانی برخوردار است. روند متوسط دمای مینیمم و ماکزیمم سالانه در ناحیه خزر به ترتیب $0.39^{\circ}\text{C/decade}$ و $0.05^{\circ}\text{C/decade}$ می‌باشد. بیشترین و کمترین روند فصلی دمای مینیمم به ترتیب مربوط به فصل تابستان ($0.52^{\circ}\text{C/decade}$) و زمستان ($0.28^{\circ}\text{C/decade}$) است. در حالی که بیشترین و کمترین روند دمای ماکزیمم به ترتیب در فصل تابستان ($0.16^{\circ}\text{C/decade}$) و فصل بهار (0°C/decade) می‌باشد. به دلیل تغییرات مکانی و زمانی بارش بررسی دقیق روند بارش سالانه و فصلی برای بارش پیچیده‌تر از دما است. اما به‌طور متوسط روند بارش سالانه ناحیه خزر 31.8mm/decade می‌باشد. بیشترین روند بارش مربوط به فصل زمستان (12.3mm/decade) و کمترین آن مربوط به فصل بهار (5.6mm/decade) بوده است.

رشت و گرگان دارای جابجایی بوده و آزمون آماری نیز تعدادی از سری‌های زمانی آن‌ها را ناهمگن نشان داد. بیشترین ناهمگنی در ایستگاه گرگان به دلیل دو جابجایی بوده است. اگرچه آزمون آماری ناهمگنی‌هایی را در ایستگاه بابلسر نشان می‌دهد اما شناسه تاریخی این ایستگاه این نتیجه را تأیید نمی‌نماید. بنابراین ما این ایستگاه را به‌عنوان ایستگاه نسبتاً مشکوک می‌نامیم. برای پارامتر بارش به دلیل همبستگی پایین هر ایستگاه با ایستگاه‌های همسایه فقط آزمون SNHT در داخل هر سری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون نشان داد که داده‌های بارش همگن بوده و بنابراین نیاز به تعدیل نداشتند.

نتایج روند بعد از همگنی سری‌های زمانی و تعدیل نشان می‌دهد که روند سری‌های زمانی دمای مینیمم و ماکزیمم در ایستگاه‌های مورد مطالعه تقریباً مشابه یکدیگر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت تغییرات روند

References

- [1] Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T.C. and Wieringa, J. (2003). *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization*. WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186, 55 pp., World Meteorological Organization, Geneva.
- [2] Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *International Journal of Climatology*, 6, 661–675.
- [3] Alexandersson, H. and Moberg, A. (1997). Homogenization of Swedish temperature data. Part I: homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, 24, 643–662.
- [4] Bannayan, M., Mohamadian, A. and Alizadeh, A. (2010). On climate variability in North-East of Iran. *Journal of Water and Soil*, 24, 118-131.
- [5] Begret, M., Schiegel, T. and Tekeirchhoffer, W. (2005). Homogenous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *International Journal of Climatology*, 25, 65–80.
- [6] Buishand, T.A., De Martino, G., Spreeuw, J. N. and Brandsma, T. (2013). Homogeneity of precipitation series in the Netherlands and their trends in the past century. *International Journal of Climatology*, 33, 815-833.
- [7] Conrad, V. and Pollak, C. (1950). *Methods in Climatology*. 2ed Edition, Harvard University press, 459p.
- [8] Ducr e-Robitaille, J.F., Boulet, G. and Vincent, L.A. (2003). Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series. *International Journal of Climatology*, 23, 1087–2003.
- [9] El Kenawy, A., L opez-Moreno, J. I., Stepanek, P. and Vicente-Serrano, S. M. (2013). An assessment of the role of homogenization protocol in the performance of daily temperature series and trends: application to northeastern Spain. *International Journal of Climatology*, 33, 87–108.
- [10] Ghazanfari, S., Naseri, M., Faridani, F., Aboutorabi, H. and Farid, A. (2009). Evaluating the effects of UHI on climate parameters (A case study for Mashhad, Khorrasan). *International journal of Energy and Environment*, 3, 94-101.
- [11] G okt rk, O.M., Bozkurt, D., Sen,  .L. and Karaca, M. (2008). Quality control and homogeneity of Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 22, 3210–3218.
- [12] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate Change (2007), “The Physical Science Basis, A Contribution of Working Groups. I, to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon and the Core Writing Team (eds)”*. Cambridge University press. Cambridge United Kingdom and New York, USA.
- [13] Karabork, M.C., Kahya, E. and Komuscu, A.U. (2007). Analysis of Turkish precipitation data: homogeneity and the Southern Oscillation forcings on frequency distributions. *Hydrological Processes*, 21, 3203–3210.
- [14] Karl, T.R. and Williams, J.r., C.N. (1987). An approach to adjusting climatological time series for discontinuous inhomogeneities. *Journal of Climate Applied Meteorology*, 26, 1744–1763.
- [15] Longobardi, A. and Villani, P. (2010). Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 30, 1538–1546.
- [16] Pand zi c, K. and Likso, T. (2010). Homogeneity of average annual air temperature time series for Croatia. *International Journal of Climatology*, 30, 1215–1225.
- [17] Peterson, T.C., Easterling, D.R., Karl, T.R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., Torok, S., Auer, I., Boehm, R., Gullett, D., Vincent, L., Heino, R., Tuomenvirta, H., Mestre, O., Szentimrey, T., Salinger, J., F rland, E.J., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Jones, P. and Parker, D. (1998). Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: A review. *International Journal of Climatology*, 18, 1493–1517.
- [18] Rahimzadeh, F., 2011. *Statistical methods in Meteorology and Climatology Researches*, Seyad Bagher Hosseinie press, 520p.
- [19] Sahin, S. and Cigizoglu, H.K. (2010). Homogeneity analysis of Turkish meteorological data set. *Hydrological Processes*, 24, 981–992.

- [20] Shiekh, V., Babaei, A. and Mooshakhian, Y. (2009). Trend analysis regime in the Gorganroud Basin. *Iran-watershed management science & engineering*, 8, 29-38.
- [21] Staudt, M., Esteban-Parra, M.J. and Castro-Díez, Y. (2007). Homogenization of long-term monthly Spanish temperature Data. *International Journal of Climatology*, 27, 1809–1823.
- [22] Syrakova, M. and Stefanova, M. (2009). Homogenization of Bulgarian temperature series. *International Journal of Climatology*, 29, 1835–1849.
- [23] Tuomenvirta, H. (2001). Homogeneity adjustments of temperature and precipitation series-Finish and Nordic data. *International Journal of Climatology*, 21, 495–506.
- [24] Vicente-serrano, M.S., Beguería, S., López-Mereno, J.L., García-vera, M.A. and Stepanek, P. (2010). A complete daily precipitation database for northeast Spain: reconstruction, quality control, and homogeneity. *International Journal of Climatology*, 30, 1146–1163.
- [25] Wijngaard, J.B., Klein Tank, A.M.G. and Können, G.P. (2003). Homogeneity of the 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 23, 679–692.