مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۷، پاییز ۱۳۹۷
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۰۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۰۹
صفحات: ۸۲ - ۶۹

# بررسی روند تغییرات آستانه‌های یخبندان(مطالعه موردی: ناحیه شمالغرب ایران)

**حسن علی‌پور[۱]، آرش ملکیان[۲]***

## چکیده

**یخبندان نوعی پدیده هواشناسی است که در آن آب در مرحله انجماد و یا زیر نقطه انجماد قرار دارد. اگر درجه حرارت در طول شبانه‌روز کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد باشد، به عنوان پدیده یخبندان نامیده می‌شود. یخبندان پیامدهای مهمی بر جنبه‌های گوناگون زندگی انسان، به ویژه فعالیت‌های کشاورزی و تولید مواد غذایی دارد. در این مطالعه به منظور بررسی روند تغییرات آستانه-های یخبندان در نواحی شمال غرب ایران از رویکردهای ناپارامتری (من-کندال)، پارامتری (ضریب همبستگی پیرسون) و آزمون روند سن استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که آزمون‌های من-کندال و پیرسون در ایستگاههای اردبیل، پارس‌آباد، ماکو، مراغه و مهاباد روند منفی داشتند به طوریکه از بین این ایستگاه‌ها فقط ایستگاه اردبیل در سطح اعتماد ۰/۰۵ با توجه روش من-کندال روند معنی‌دار کاهشی را نشان داد و بقیه ایستگاه‌های ذکر شده روندشان معنی‌دار نبود. روش آزمون روند سن برای ایستگاه مهاباد در همه مقادیر روند کاهشی ارائه داد درحالی که این روش در ایستگاه مراغه هیچ روندی نداشت. ایستگاه‌های تبریز و ماکو فقط در مقادیر کم باند ۵ درصد روند منفی نشان دادند و برای بقیه مقادیر در دو باند مورد بررسی هیچ روندی را نشان نداد. ایستگاه اردبیل هم به جز مقادیر کم باند ۱۰درصد در بقیه مقادیر روند منفی داشت. ایستگاه‌های ارومیه، پارس‌آباد و خوی در برخی مقادیر روند منفی و در برخی هم روند مثبت نشان دادند. بررسی تغییرات آستانه‌های این پدیده اقلیمی می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر در خصوص کشاورزی، مدیریت منابع آب و سازگاری با اثرات تغییر اقلیم در این بخش از کشور کمک کند.**

**واژگان کلیدی:** تحلیل روند، روزهای یخبندان، من-کندال، آزمون روند سن.

[۱]- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران h.alipour@ut.ac.ir
[۲]- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) malekian@ut.ac.ir

**مقدمه**

تغییرات در آب و هوای حدی و رویدادهای اقلیمی می‌تواند از راه‌های مختلف بر جوامع انسانی، اکوسیستم و حیات وحش تاثیر بگذارد (Parmesan et al, 2000). ضمن اینکه شناسایی و دانستن این وقایع و تغییرات در رفاه و آرامش انسان و محیط زیست کمک خواهد کرد (Parry et al, 2007). یکی از این وقایع پدیده یخبندان است که پیامدهای مهمی برجنبه‌های گوناگون زندگی انسان، به ویژه فعالیت‌های کشاورزی و تولید مواد غذایی دارد. به طوریکه اگر درجه حرارت در طول شب کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد باشد اغلب به عنوان پدیده یخبندان نامیده می‌شود. براساس ارزیابی گزارشات چهارم و پنجم IPCC به این نتیجه رسیدند که تا پایان این قرن دمای کره زمین ۰/۳ تا ۴/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. با این وصف به احتمال بسیار زیاد تعداد روزهای یخبندان در اقلیم آینده کاهش خواهد یافت (Meehl et al, 2004; Alexander et al, 2006). عوامل اقلیمی و جغرافیایی مختلفی در میزان خسارت یخبندان موثر هستند که دمای حداقل مهمترین و موثرترین متغیر بر روی میزان خسارت و خطر خسارت یخبندان می‌باشد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۰). تغییرات در روزهای یخبندان هر ساله به طور مستقیم بر محصولات کشاورزان، باغداران خسارت‌های زیادی وارد می‌سازد. در صورتیکه بیشترین خسارت یخبندان با نام یخبندان پیش-رس و دیرپا در پاییز و بهار به وقوع می‌پیوندد (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۱).

Vincent و Mekis (۲۰۰۶) روند و تغییرات شاخص‌های دما و بارش‌های حدی در کانادا را طی قرن بیستم بررسی کردند. نتایج تجزیه و تحلیل شاخص‌های دما نشان داد که رخدادهای شبهای سرد، روزهای سرد و روزهای یخبندان کمتر شده است درحالی که شبهای گرم و روزهای گرم در سراسر کشور بیشتر شده است. Fang و همکاران (۲۰۰۸) به تحلیل تغییرات شاخص‌های حدی دمای تابستانه‌ی نیمکره‌ی شمالی در دوره آماری ۱۹۴۸-۲۰۰۶ پرداختند. آنها دریافتند که فراوانی پدیده فرین‌های سرد مانند تعداد روزهای یخبندان در طول دوره‌ی مورد مطالعه کاهش معنی-داری در طول دوره‌ی واکاری نشان دادند. Santos و همکاران (۲۰۱۱) روند ۱۱ شاخص حدی دمای سالانه را برای یوتا، ایالات متحده‌ی آمریکا در ۲۸ ایستگاه هواشناسی طی دوره ۱۹۳۰ تا ۲۰۰۶ تجزیه و تحلیل کردند. نتایج پژوهش آنها بیانگر افزایش معنی‌دار دما در طول قرن گذشته و کاهش محسوس تعداد روزهای یخبندان است. Anandhi و همکاران (۲۰۱۳) تغییرات گذشته و آینده تعداد روزهای یخبندان را در کوه‌های کاتیسکایل منطقه نیویورک مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر افزایش کلی، در متوسط دمای حداقل و طول فصل رشد و کاهش تعداد روزهای یخبندان، ماه‌های یخبندان، طول فصل یخبندان، تاریخ آخرین یخبندان بهاره و تاریخ اولین یخبندان در پاییز در دوره‌های آینده است. Renom و De Mello (۲۰۱۵) روند روزهای یخبندان در اروگوئه- جنوب شرقی آمریکا را در ۱۱ ایستگاه هواشناسی طی دوره آماری ۱۹۵۰-۲۰۰۹ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در تمام ایستگاه‌ها دوره‌های یخبندان در مقیاس ماهانه روند کاهش داشته است. همچنین نتایج آنها بر گرم شدن هوا در فصول پاییز و بهار اشاره دارد. تحقیقات Demir و Kisi (۲۰۱۶) در مورد روند بارش‌های سالانه ترکیه نشان داد که آزمون‌های من-کندال و آزمون روند سن نتایج مشابهی ارائه دادند. همچنین می‌توان مقادیر برای تحلیل مقادیر کم و زیاد داده‌ها از روش آزمون روند سن استفاده کرد. Dabanli و همکاران (۲۰۱۶) تفاوت‌ها و شباهت‌های دو رویکرد من-کندال و آزمون روند سن را برای پارامترهای مختلف هواشناسی از جمله رطوبت نسبی، دما، بارش و رواناب مورد

بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که آزمون من-کندال روند قابل توجهی در همه موارد نشان نداد. در حالی که روش آزمون روند سن برای طبقه‌بندی‌های مختلف مقادیر بسیار کم، کم، متوسط، بالا و بسیار بالا روندهای گوناگونی را ارائه داد.Wu و Qian (۲۰۱۶) روند بارش سالانه و فصلی در ۱۴ ایستگاه در چین با استفاده از رویکردهای من-کندال، رگرسیون خطی و آزمون روند سن تحلیل کردند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که روش آزمون روند سن مزایای زیادی همچون نتایج گرافیکی برای مشاهده روند، نسبت به آزمون‌های دیگر دارد.

توکلی و حسینی (۱۳۸۵) شاخص‌های یخبندان و شروع پاییزه‌ی آن را در ایستگاه اکباتان همدان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که حداقل دمای ایستگاه اکباتان طی دو دهه اخیر روند افزایشی داشته است و در این بین ماه-های اسفند و اردیبهشت به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار افزایش دما را ارائه دادند. همچنین به منظور پیش‌بینی یخبندان‌های پاییزه مدلی را ارائه نمودند که بررسی آن همبستگی خطی خوبی بین یخبندان‌های بهاره و پاییزه را نشان می‌دهد که می‌توان با داشتن یخبندان بهاره، تاریخ یخبندان پاییزه را پیش‌بینی نمود که این رابطه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. نوحی و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان برمبنای دمای حداقل دیدبانی شده در پناهگاه هواشناسی در ۱۲ ایستگاه سینوپتیک منطقه آذربایجان در یک دوره مشترک ۱۳ساله پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که به طور میانگین یخبندان‌های فرارفتی در منطقه از ۶ تا ۴۰روز دیرتر از یخبندانهای تابشی- فرارفتی در پائیز آغاز گردیده و ۱ تا ۲۵ روز زودتر در بهار خاتمه می‌یابد. همچنین آنها طول فصل رشد بالقوه را محاسبه گردیدند و این نتایج حاصل شد که نسبت به فصل رشدی که با محاسبه فاصله زمانی از رخداد آخرین دمای صفر یا کمتر در بهار تا اولین رخداد دمای صفر یا کمتر در پاییز تعیین می‌گردد، با توجه به شرایط محلی از ۵ تا ۶۵ روز طولانی‌تر است. هژبرپور و علیجانی(۱۳۸۶) یخبندان‌های خسارت‌آور استان اردبیل را در چهار ایستگاه همدیدی در دوره‌ی ۱۹۹۵-۲۰۰۴ مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین یخبندان‌های استان از نوع انتقالی هستند که در دوره‌ی سرد سال از آبان تا فروردین رخ می‌دهند و نواحی جنوبی و مرکزی سردتر از نواحی شمالی هستند. یخبندان‌های شدید و فراگیر استان، ناشی از استقرار یک پرفشار در سطح زمین و یک ناوه‌ی عمیق در سطح۵۰۰ هکتو پاسکال هستند. مسعودیان و دارند (۱۳۹۴) روند تعداد روزهای یخبندان با آزمون‌های من- کندال و رگرسیون خطی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که روند تعداد روزهای یخبندان در بیشتر مناطق ایران، مانند شمال‌غرب و مناطق پست و هموار نواحی جنوبی، مرکزی و شرق رو به کاهش است و تنها در مناطق کوچکی از رشته کوههای البرز و زاگرس روند مثبت وجود دارد به طوری تعداد روزهای یخبندان بیشترین روند منفی را در دی ماه و کمترین روند را در اسفند ماه نشان دادند.

دلیل و ضرورت اصلی پژوهش حاضر این است که یخبندان اثرات زیادی بر زندگی انسان، به ویژه فعالیت‌های کشاورزی، منابع آب و تولید مواد غذایی دارد. بنابراین اگر در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و مدیریت منابع آب نسبت از نقش این پدیده اقلیمی آگاهی کافی وجود نداشته باشد توفیق چندانی حاصل نخواهد شد. قابل ذکر است که هدف تحقیق حاضر بررسی تغییرات آستانه روزهای یخبندان با روش‌های ناپارامتری (من-کندال)، پارامتری (پیرسون) و

روش آزمون روند سن در ایستگاههای سینوپتیک نواحی شمال غرب ایران به منظور بررسی این پدیده اقلیمی جهت کمک به تصمیم‌گیری بهتر در خصوص کشاورزی، مدیریت منابع آب و اقلیم در این بخش از کشور می‌باشد.

## داده‌ها و روش‌ها

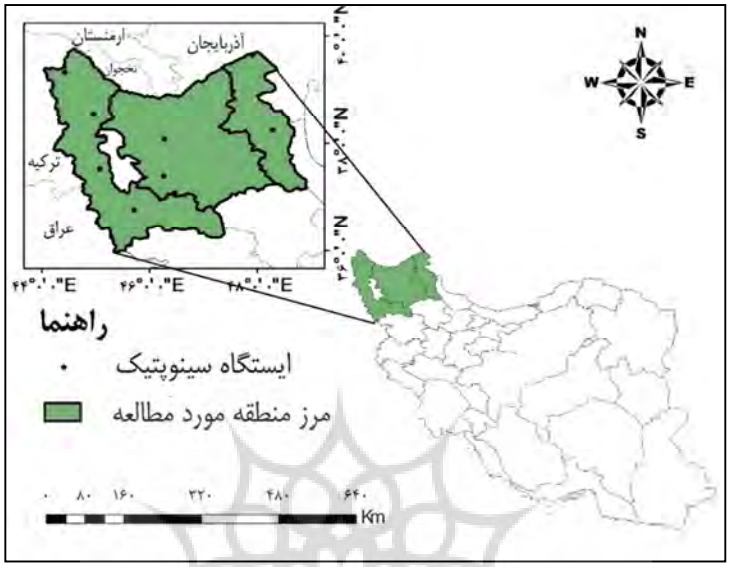
### منطقه مورد مطالعه

شمال‌غرب ایران شامل استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل است که در محدوده ۳۵°۵۸′۵۴ تا ۳۹°۴۶′۳۶ عرض شمالی و ۴۴°۳′۵ تا ۴۸°۵۵′۲۷ طول شرقی واقع است. مساحت این بخش از کشور تقریباً ۱۰۰۴۹۳ کیلومتر مربع و حدود ۶/۹۵ درصد کل مساحت کشور را دارا می‌باشد. ارتفاع متوسط این منطقه ۱۸۳۰ متر از سطح دریا است به طوری که مرتفع‌ترین نقطه شمال غرب کشور، قله سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر از سطح دریا است (سازمان هواشناسی کشور).

در این منطقه آغاز یخبندان معمولا بین ۹سپتامبر تا ۱۸ دسامبر و خاتمه یخبندان بین۱۰ مارس تا ۲۰ ژوئن صورت می‌گیرد (نوحی و همکاران، ۱۳۸۶). متوسط بارش سالانه از ۲۵۰ الی ۶۰۰ میلی‌متر در نوسان می‌باشد. در این مطالعه به منظور بررسی روند آستانه‌های یخبندان در نواحی شمال غرب ایران، تعداد روزهای یخبندان ۸ ایستگاه سینوپتیک دارای طول دوره آماری کافی از سازمان هواشناسی اخذ گردید و سپس درستی و همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در مطالعه حاضر برای تحلیل روند از آزمون‌های من-کندال، پیرسون و روند سن استفاده گردید. درجدول۱ و شکل۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه گردیده است.

**جدول۱: مشخصات ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه**

| ردیف | نام ایستگاه | دوره‌ی آماری | طول جغرافیایی(درجه-دقیقه) | عرض جغرافیایی(درجه-دقیقه) | ارتفاع از سطح دریا (متر) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | اردبیل | ۲۰۱۵-۱۹۷۸ | ۴۸-۱۹ | ۳۸-۱۳ | ۱۳۳۲ |
| ۲ | ارومیه | ۲۰۱۵-۱۹۵۲ | ۴۵-۰۳ | ۳۷-۴۰ | ۱۳۲۸ |
| ۳ | پارس‌آباد | ۲۰۱۵-۱۹۸۶ | ۴۷-۴۶ | ۳۹-۳۶ | ۳۱/۹ |
| ۴ | تبریز | ۲۰۱۵-۱۹۵۲ | ۴۶-۱۴ | ۳۸-۰۷ | ۱۳۶۱ |
| ۵ | خوی | ۲۰۱۵-۱۹۶۲ | ۴۴-۵۹ | ۳۸-۳۳ | ۱۱۰۳ |
| ۶ | ماکو | ۲۰۱۵-۱۹۸۶ | ۴۴-۲۳ | ۳۹-۲۲ | ۱۴۱۱/۳ |
| ۷ | مراغه | ۲۰۱۵-۱۹۸۴ | ۴۶-۰۸ | ۳۷-۲۰ | ۱۴۷۷/۷ |
| ۸ | مهاباد | ۲۰۱۵-۱۹۸۶ | ۴۵-۴۲ | ۳۶-۴۵ | ۱۳۵۱/۸ |




**شکل۱: موقعیت ایستگاههای منطقه مورد مطالعه**

**آزمون Mann-Kendall:** این روش جزو آزمون‌های ناپارامتری می‌باشد که وجود یا عدم وجود روند را در هر نوع داده‌ای مشخص می‌کند و معمولاً برای شناسایی روند در سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیک به کار می‌رود (Parvin, 2013; Partal and Kahya, 2006). به کمک آماره‌ی S اختلاف بین تک تک مشاهدات را با همدیگر محاسبه می‌کنیم.

$$S = \sum_{i=2}^{n}\sum_{j=1}^{i=1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (۱)$$

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} \text{if}(x_i - x_j) < 0 \ \text{ then } -1 \\ \text{if}(x_i - x_j) = 0 \ \text{ then } 0 \\ \text{if}(x_i - x_j) > 0 \ \text{ then } 1 \end{cases} \quad (۲)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^{l} t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \quad (۳)$$

که در آن n تعداد مشاهدات سری و $X_i$ و $X_j$ به ترتیب داده‌های iام و jام سری هستند. $t_k$ تعداد دنباله‌ها برای مقادیر kام و k تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در معادله (۳) یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استاندارد شده آزمون $Z_{MK}$ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \text{if } S<0 & \text{then } \dfrac{s+1}{\sqrt{Var(s)}} \\ \text{if}(x_i-x_j)=0 & \text{then } 0 \\ \text{if}(x_i-x_j)>0 & \text{then } \dfrac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} \end{cases} \quad (۴)$$

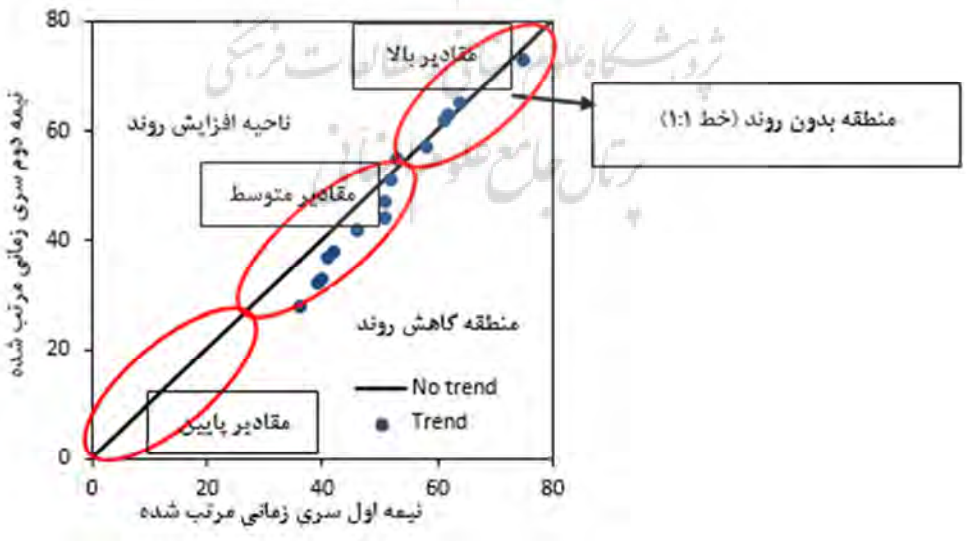
اگر $Z_{MK}$ کوچکتر از صفر باشد، روند منفی تعداد روزهای یخبندان را نشان می‌دهد و در صورتی که مقدار $Z_{MK}$ بزرگتر از صفر باشد، روند مثبت تعداد روزهای یخبندان را تایید می‌کند (Partal and Kahya, 2006).

**ضریب همبستگی پیرسون:** این روش از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس‌های فاصله‌ای یا نسبی است.دامنه تغییرات آن بین ۱+ و ۱- می‌باشد که یک نشان دهنده همبستگی مثبت و کامل، صفر به معنی نبود همبستگی، و منهای یک به معنی همبستگی منفی و کامل است. این ضریب را با علامت r نشان می‌دهند (بی-همتا و زارع چاهوکی، ۱۳۸۷). برای محاسبه این ضریب از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})(Y_i-\bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})^2 \sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{Y})^2}} \quad (۵)$$

با مشخص شدن مقدار r با استفاده از جدول، معنی‌داری آن در سطح اطمینان بررسی می‌گردد.

**آزمون روند سن، Innovative Trend Analysis(ITA):** آزمون روند ابداعی برای اولین بار توسط سن در سال ۲۰۱۲ ارائه گردید. در این آزمون سری‌های زمانی را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود و هر دو زیر سری به طور جداگانه به ترتیب صعودی مرتب می‌شود. نیمه اول سری زمانی روی محور X، و نیمه دوم سری زمانی برروی محور Y واقع می‌گردد. شکل۲ این روش را در دستگاه مختصات دکارتی به وضوح نشان می‌دهد.




**شکل۲: مناطق کاهشی، افزایشی و بدون روند (سن، ۲۰۱۲)**

با توجه به این شکل اگر داده‌های مورد بررسی در روی خط ایده‌آل ۱:۱، قرار بگیرند، می‌توان گفت که در سری‌های زمانی هیچ روندی وجود ندارد. اگر داده‌ها در مثلث بالای خط ایده آل (خط ۴۵ درجه) واقع شوند، در این صورت سری‌های زمانی روند افزایشی دارند و اگر داده‌ها در مثلث پایین‌تر از خط ۱:۱ انباشته شوند، سری‌های زمانی دارای روند کاهشی هستند (Sen, 2012 & 2014). بنابراین روندهای با مقدار کم، متوسط و زیاد هریک از سری‌های زمانی مهندسی هواشناسی یا هیدرولوژی به وسیله این روش می‌تواند به طور واضح شناسایی شود (Kisi, 2015Tosunogluand Kisi, 2016;).

## نتایج و بحث

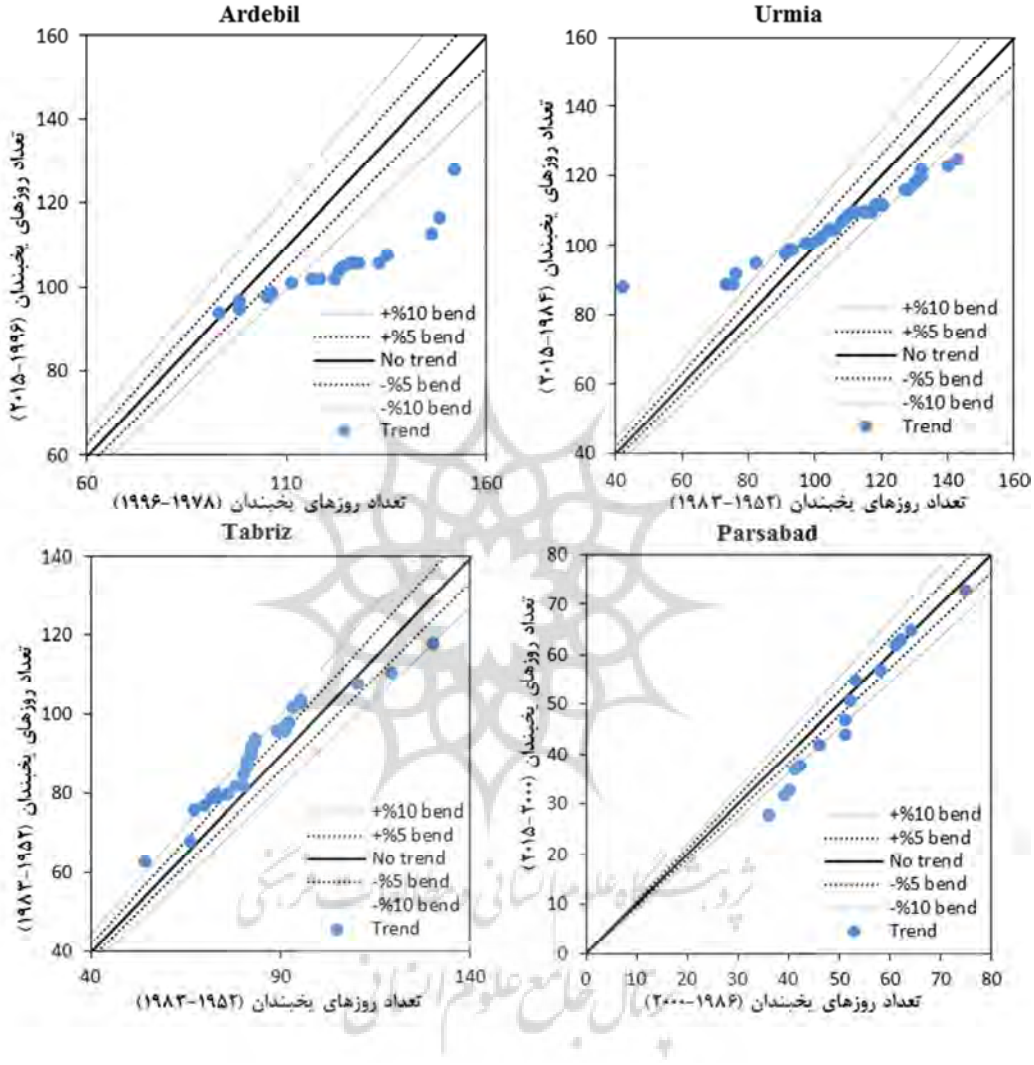
به منظور مقایسه تحلیل روند تعداد روزهای یخبندان آزمون‌های من-کندال (ناپارامتریک) و ضریب همبستگی پیرسون (پارامتریک) با یکدیگر مقایسه گردید که نتایج آنها در جدول۲ برای هر ایستگاه در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و ۹۹ درصد ارائه گردید. با توجه به جدول، آزمون من-کندال در ایستگاه اردبیل در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد روند معنی‌دار و کاهشی را نشان داد، در حالی که آزمون همبستگی پیرسون در ایستگاه فوق‌الذکر فقط دارای روند کاهشی بود ولی معنی‌دار نبود. بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه برای مقادیر تعداد روزهای یخبندان روند معنی‌دار در دو سطح مورد بررسی نشان ندادند. واضح است که در تحقیق حاضر هر دو آزمون پارامتری و ناپارامتری در همه ایستگاه‌ها نتایج مشابهی را ارائه دادند. به طوری که ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، خوی و روند مشاهده شده کاهشی بود و ایستگاه‌های پارس‌آباد، ماکو، مراغه و مهاباد دارای روند کاهشی بودند. به طور خلاصه می‌توان بیان کرد که به جز ایستگاه اردبیل در آزمون من-کندال تمام ایستگاه‌ها در هر دو آزمون در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و ۹۹ درصد هیچ روند معنی‌داری را نشان ندادند. نتایج پژوهش ربانی و کرمی (۱۳۸۸) در مورد روند تعداد روزهای یخبندان در خراسان شمالی به صورت نزولی بوده است که دلیل آن را افزایش بی‌رویه دما و گازهای گلخانه‌ای که ناشی از افزایش جمعیت و توسعه شهری است را بیان کردند. نتایج مسعودیان و دارند (۱۳۹۴) نشان داد که روند تعداد روزهای یخبندان در شمال‌غرب با توجه به آزمون من-کندال رو به کاهش است و تعداد روزهای یخبندان بیشترین روند منفی را در دی ماه و کمترین روند را در اسفند ماه دارد. مطالعات منتظری (۲۰۱۰) در ایستگاه نجف‌آباد در مورد تجزیه وتحلیل آماری یخبندان با روش من-کندال نشان داد که اگرچه تعداد روزهای یخبندان کاهش نیافته است ولی از شدت یخبندان‌های شدید کاسته شده است. Sinha و همکاران (۲۰۱۰) در میانه غربی ایالت متحده آمریکا هم کاهش تعداد روزهای یخبندان را با روش من-کندال نشان داد. Erlat و Türkeş (۲۰۱۲) روند تعداد روزهای یخبندان را در ترکیه مطالعه کردند. نتایج نشان داد که تعداد روزهای یخبندان در منطقه کاهش یافته است و به احتمال زیاد به تغییرات حداقل دمای هوا و افزایش طول فصل رشد وابسته است که افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های انسان از دلایل اصلی آن می‌باشد.

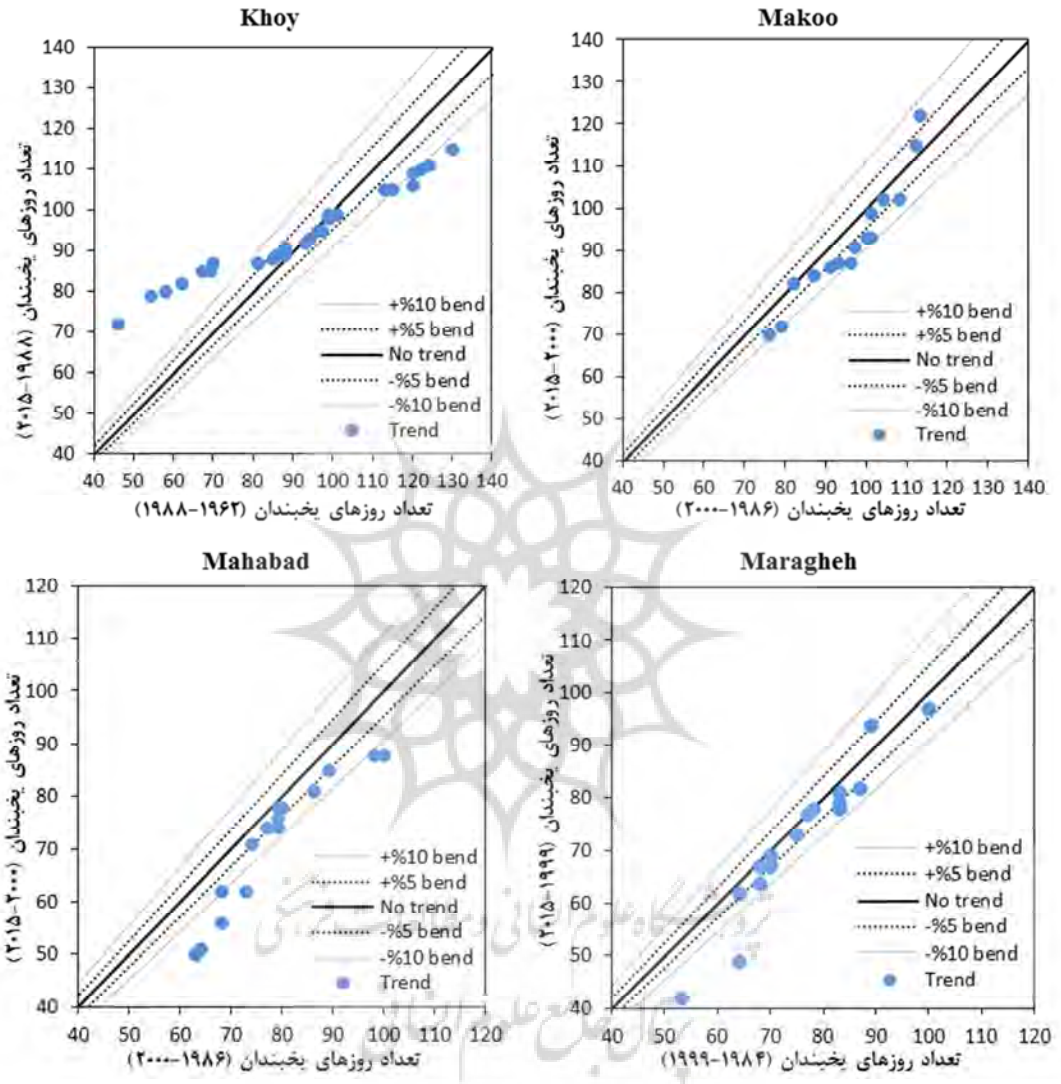
**جدول۲: نتایج آزمون‌های من-کندال و پیرسون برای تعداد روزهای یخبندان**

| ایستگاه | من-کندال | پیرسون |
|---|---|---|
| **اردبیل** | -۲/۰۳* | -۰/۳۱ |
| **ارومیه** | ۱/۴۱ | ۰/۲۱ |
| **پارس‌آباد** | -۱/۳۴ | -۰/۲۸ |
| **تبریز** | ۱/۵۷ | ۰/۱۸ |
| **خوی** | ۰/۱۳ | ۰/۰۷ |
| **ماکو** | -۰/۵۷ | -۰/۰۷ |
| **مراغه** | -۰/۷۱ | -۰/۱۴ |
| **مهاباد** | -۱/۱۱ | -۰/۲۵ |

*معنی‌داری در سطح ۹۵درصد*

روند تعداد روزهای یخبندان برای هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل۳ ارائه گردیده است. به طوری‌که این شکل سری‌های زمانی کاهشی، افزایشی و بدون روند داده‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به روش ITA تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه اردبیل در کمتر از ۱۰۰روز با توجه به باند ۵ درصدی هیچ روندی را نشان نمی‌دهد، در حالی‌که برای مقادیر ۱۰۰ تا ۱۱۵ روز در باند ۵ درصدی روند کاهشی را نشان داد و از روز ۱۱۵ به سمت بالا در باند ۱۰ درصد روند کاهشی خوبی را ارائه داد. در ایستگاه ارومیه تعداد روزهای یخبندان تا روز ۹۰ با توجه به باند ۱۰ درصد روندشان افزایشی بود به طوری که مقادیر تعداد روزهای یخبندان از روز ۹۵ تا ۱۲۰ در باند ۵ درصد هیچ روندی را نشان نداد. این آزمون برای داده‌های تعداد روزهای یخبندان از روز ۱۲۰ تا ۱۳۵ در باند ۵ درصد روند کاهشی را نشان دادند. همچنین از روز ۱۳۵ به بعد در باند ۱۰درصدی دارای روند کاهشی بود. آزمون روند سن در ایستگاه تبریز نشان داد که روند افزایشی برای مقادیر کمتر از ۶۰ روز با توجه به باند ۱۰ درصدی وجود دارد. تعداد روزهای یخبندان در این ایستگاه از روز ۷۰ تا ۱۰۰ با توجه به باند ۵ درصد در ابتدا دارای روند افزایشی بود و در میانه‌ها با توجه به باند اشاره شده هیچ روندی را نشان نداد ولی در انتهای بازه ذکر شده روندی افزایشی خوبی را در باند ۵ درصد نشان داد. تعداد روزهای یخبندان از روز ۱۰۰ تا ۱۲۰ هیچ روندی را نشان نداد در صورتیکه از روز ۱۲۰ به بعد دارای روند کاهشی در باند ۵ درصدی بودند. تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه پارس‌آباد در بازه های کمتر روز ۴۵ و ۵۰-۵۵ روند کاهشی در باند ۱۰ درصد نشان دادند. در بازه ۴۵-۵۰ روز هم با توجه به باند ۵ درصد روند کاهشی داشت. همچنین این داده‌ها از روز ۵۵ به بعد هیچ روندی را نشان ندادند.


Ardebil
تعداد روزهای یخبندان (۲۰۱۵-۱۹۹۶)
تعداد روزهای یخبندان (۱۹۹۶-۱۹۷۸)
+%10 bend
+%5 bend
No trend
-%5 bend
-%10 bend
Trend
Urmia
تعداد روزهای یخبندان (۲۰۱۵-۱۹۸۴)
تعداد روزهای یخبندان (۱۹۸۳-۱۹۵۴)
Tabriz
تعداد روزهای یخبندان (۱۹۸۳-۱۹۵۲)
تعداد روزهای یخبندان (۱۹۸۳-۱۹۵۲)
Parsabad
تعداد روزهای یخبندان (۲۰۱۵-۲۰۰۰)
تعداد روزهای یخبندان (۲۰۰۰-۱۹۸۶)




**شکل۳: نتایج حاصل از آزمون روند سن(۲۰۱۲) برای ایستگاههای ایستگاههای مورد مطالعه**

همچنین نتایج حاصل از آزمون روند سن برای ایستگاه خوی نشان داد که با توجه به باند ۱۰ درصد حدود اعتماد تعداد روزهای یخبندان برای مقادیر کمتر از ۷۵ روز دارای روند افزایشی بود. به طوریکه برخی از مقادیر دادهها از روز ۷۵ تا ۸۰ در باند ۵ درصد روند افزایشی ارائه دادند. در بازه ۸۰-۱۰۵ روز برخی از مقادیر دادهها هیچ روند را نشان ندادند. در صورتیکه از روز ۱۰۵ تا ۱۱۵ در باند ۵ درصد دارای روند کاهشی نشان دادند و از روز ۱۱۵ به بعد برخی مقادیر تعداد روزهای یخبندان با توجه به باند ۱۰درصد دارای روند کاهشی بودند. تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه ماکو تا روز ۸۵ در باند ۵ درصد روند کاهشی خوبی نشان داد. به طوریکه برخی از مقادیر در از روز ۸۵ تا ۱۱۵ در برخی روزها بدون روند بوده و در برخی روزها هم در باند ۵ درصد دارای روند نزولی بودند. از روز ۱۱۵ به بعد تعداد

روزهای یخبندان با توجه به باند ۵ درصد روند افزایشی را نشان دادند. مقادیر داده‌های تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه مراغه تا روز ۶۵ در باند ۱۰درصد روند نزولی نشان داد. به طوری که از روز ۶۵ به بعد این مقادیر در بیشتر روزها هیچ گونه روندی را نشان ندادند ولی در برخی از روزها دارای روند کاهشی با توجه به باند ۵ درصد نشان دادند. در ایستگاه مهاباد مقادیر تعداد روزهای یخبندان تا روز ۷۵ دارای روند نزولی در باند ۱۰ درصد بودند در صورتیکه در بازه ۷۵-۹۵ روز هیچ گونه روندی را نشان ندادند. این مقادیر از روز ۹۵ به بعد با توجه به باند ۱۰درصد دارای روند کاهشی بودند. لازم به ذکر است که تا بحال مطالعه‌ای در مورد روند روزهای یخبندان با آزمون آزمون روند سن انجام نشده است ولی از آزمون فوق‌الذکر برای بررسی روند سایر پارامترهای هواشناسی همچون بارش و دما در سطح جهانی استفاده شده است.

نتایج آزمون روند سن در جدول۳ به طور خلاصه با آزمون‌های من-کندال و ضریب همبستگی پیرسون مقایسه شد. در ایستگاه اردبیل نتایج آزمون من-کندال و آزمون روند سن نتایج مشابهی را ارائه دادند به طوریکه این آزمون‌ها در ایستگاه فوق‌الذکر روندشان منفی بود ولی نتایج آزمون پیرسون در ایستگاه اردبیل متفاوت‌تر از دو آزمون ذکر شده بود و هیچ روند معنی‌داری را نشان نداد. همچنین در ایستگاه مراغه هر سه آزمون مورد مطالعه نتایج مشابه و بدون روندی را ارائه دادند.

**جدول۳: مقایسه نتایج آزمون‌های سن، من-کندال و پیرسون برای مقادیر تعداد روزهای یخبندان در سال**

| ایستگاه | من-کندال | پیرسون | آزمون روند سن (باند ۵درصد) | | آزمون روند سن (باند ۱۰درصد) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | مقادیر کم | مقادیر زیاد | مقادیر کم | مقادیر زیاد |
| **اردبیل** | Yes(-)[1] | No[2] | Yes(-) | Yes(-) | No | Yes(-) |
| **ارومیه** | No | No | Yes(+)[3] | Yes(-) | Yes(+) | Yes(-) |
| **پارس‌آباد** | No | No | Yes(+) | Yes(-) | No | No |
| **تبریز** | No | No | Yes(-) | No | No | No |
| **خوی** | No | No | Yes(+) | Yes(-) | Yes(-) | Yes(-) |
| **ماکو** | No | No | Yes(-) | No | No | No |
| **مراغه** | No | No | No | No | No | No |
| **مهاباد** | No | No | Yes(-) | Yes(-) | Yes(-) | Yes(-) |

آزمون روند سن در ایستگاه‌های تبریز و ماکو برای مقادیر کم تعداد روزهای یخبندان در باند ۵ درصد روند کاهشی نشان دادند در صورتیکه در بقیه مقادیر و باند ۱۰ درصد همانند آزمون‌های من-کندال و پیرسون هیچ روندی را ارائه ندادند. در ایستگاه‌های ارومیه و خوی آزمون روند سن برای مقادیر زیاد در دو باند مورد بررسی نتایج مشابه و کاهشی

۱ - روند منفی
۲ - عدم روند
۳- روند مثبت

ارائه دادند ولی این آزمون برای مقادیر کم دو باند نتایج متفاوتی داشتند. آزمون‌های من-کندال و پیرسون برای دو ایستگاه ذکر شده روندی را نشان ندادند. همچنین آزمون روند سن در ایستگاه مهاباد برای همه مقادیر تعداد روزهای یخبندان روندشان منفی بود در حالی که دو آزمون من-کندال و پیرسون در ایستگاه فوق‌الذکر روندی نداشتند. باند ۱۰ درصدی آزمون روند سن در ایستگاه پارس‌آباد روندشان منفی و نتایجی مشابه با آزمون‌های من-کندال و پیرسون ارائه دادند در صورتیکه این ایستگاه برای مقادیر تعداد روزهای یخبندان در باند ۵ درصد دارای روند منفی بود.

## نتیجه‌گیری

به منظور تحلیل تغییرات آستانه روزهای یخبندان در شمال غرب ایران از آزمون‌های من-کندال، همبستگی پیرسون و روش آزمون روند سن استفاده گردید. نتایج حاکی از آن است که آزمون روند سن در ایستگاه اردبیل در همه مقادیر به جز باند ۱۰درصدی روند کاهشی ارائه داد که مشابه نتایج آزمون من-کندال برای ایستگاه ذکر شده است که روند کاهشی آن احتمالا ممکن است به دلیل تغییرات آب و هوا و گرم شدن زمین باشد در حالی‌که نتایج آزمون پیرسون در ایستگاه اردبیل متفاوت‌تر از دو آزمون ذکر شده بود و هیچ روند معنی‌دار را نشان نداد. در ایستگاه مراغه همه آزمون‌های مورد بررسی در هیچ یک از مقادیر روند خاصی را نشان ندادند. آزمون روند سن در ایستگاه‌های تبریز و ماکو برای مقادیر کم در باند ۵ درصد روند کاهشی نشان دادند در صورتیکه در بقیه مقادیر و باند ۱۰ درصد همانند آزمون‌های من-کندال و پیرسون هیچ روندی را ارائه ندادند. روند مشابه دو ایستگاه فوق‌الذکر ممکن است ناشی از شرایط فیزیکی، جغرافیایی، پارامترهای هواشناسی و غیره یکسان در دو ایستگاه مذکور باشد. در ایستگاه ارومیه آزمون روند سن برای مقادیر کم روند افزایشی داشته ولی در برخی جاها در دو باند مورد بررسی معنی‌دار نبود و برای مقادیر زیاد در دو باند مورد بررسی نتایج مشابه و نزولی ارائه دادند. نتایج آزمون روند سن برای ایستگاه خوی مشابه ارومیه بود. به طوری که آزمون‌های من-کندال و پیرسون در ایستگاه‌های ارومیه و خوی روندی را نشان ندادند. همچنین آزمون روند سن در ایستگاه مهاباد برای همه مقادیر تعداد روزهای یخبندان روندشان منفی بود در حالی که دو آزمون من-کندال و پیرسون در ایستگاه فوق‌الذکر روندی نداشتند. روند مقادیر کم در ایستگاه پارس‌آباد با توجه به آزمون روند سن منفی بود درحالی که برای مقادیر زیاد تعداد روزهای یخبندان آزمون فوق‌الذکر مشابه آزمون‌های من-کندال و پیرسون هیچ روندی را نشان نداد. این روند در ایستگاه پارس‌آباد شاید به دلیل شرایط خاص منطقه، میکروکلیمای مختلف نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد بررسی و ارتفاع از سطح دریاهای آزاد کم آن باشد. در حالت کلی می‌توان بیان کرد که آزمون روند سن در همه ایستگاه‌ها و برای همه مقادیر ۵۹ درصد روند معنی‌دار نشان داد که ۴۷ درصد از آن روند منفی داشتند و تنها ۱۲درصد روند مثبت یا افزایشی داشتند. در صورتیکه آزمون من-کندال فقط ۱۲/۵ درصد روند معنی‌دار (منفی) نشان داد. همانطوری که اشاره شد یخبندان اثرات مختلفی بر زندگی انسان، به ویژه فعالیت‌های کشاورزی، منابع آب و تولید مواد غذایی دارد. بنابراین اگر در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و مدیریت منابع آب نسبت از نقش این پدیده اقلیمی آگاهی کافی وجود نداشته باشد توفیق چندانی حاصل نخواهد شد. با وجود اینکه کنترل این عوامل توسط انسان ناممکن است ولی آگاه کردن کشاورزان و باغداران از روند تغییرات آستانه‌های یخبندان و تاریخ شروع و خاتمه آن، می‌تواند توانمندی آنها را در جهت پایش محصولات باغی خود و

کاهش خسارات ناشی از این عوامل را افزایش دهد. به طور خلاصه می‌توان بیان کرد که بررسی روند تغییرات آستانه-های یخبندان به تصمیم‌گیری بهتر در خصوص فعالیتهای کشاورزی، مدیریت منابع آب و تغییر اقلیم کمک زیادی می‌کند.

## منابع


بی‌همتا، محمدرضا؛ و زارع چاهوکی، محمدعلی(۱۳۸۷)، اصول آمار در علوم منابع طبیعی، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، صفحات ۲۵۷.

توکلی، محسن؛ حسینی، مهرداد (۱۳۸۵)، ارزیابی شاخص‌های یخبندان و شروع پاییزه آن در ایران (مطالعه موردی ایستگاه اکباتان همدان)، مجله علمی نیوار، شماره ۶۰ و ۶۱، صص۳۱-۴۲.

ذوالفقاری، حسن؛ زاهدی، غلامرضا؛ سجادی‌فر، طیبه (۱۳۹۱)، پیش‌بینی تاریخ آخرین یخبندانهای بهاری در غرب و شمال‌غرب ایران، جغرافیا و پایداری محیط، شماره۴، صص ۵۹-۷۴.

ربانی، فاطمه؛ کرمی، فریبا (۱۳۸۸)، بررسی روند تعداد روزهای یخبندان در استان خراسان شمالی، فصل نامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره۴، صص ۸۵-۹۴.

رحیمی، محمد؛ فرجزاده، منوچهر؛ کمالی، غلامرضا (۱۳۹۰)، مدلسازی خطر خسارت یخبندان بهاره درختان میوه مطالعه موردی: محصول سیب، مکان دشت. نشریه پژوهشهای زراعی ایران، جلد۹، شماره ۲، صص ۲۷۳-۲۸۴.

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ دارند، محمد (۱۳۹۴)، بررسی روند تعداد روزهای یخبندان ایران. جغرافیا و توسعه، شماره ۳۹، صص ۴۹-۶۰.

منتظری، مجید (۱۳۸۹)، تحلیل آماری یخبندان‌های کشاورزی در شهرستان نجف‌آباد. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال دوم، شماره ۴، صص ۲۷-۳۸.

نوحی، کیوان؛ پدرام، مژده، صحرائیان، فاطمه؛ کمالی، غلامرضا (۱۳۸۶)، بررسی و تحلیل تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان‌های تابشی-فرارفتی و فرارفتی در استان‌های آذربایجان غربی و شرقی. پژوهش و سازندگی، شماره ۷۵، صص ۷۹-۸۵.

هژبرپور، قاسم؛ علیجانی، بهلول (۱۳۸۶)، تحلیل همدید یخبندانهای استان اردبیل، جغرافیا و توسعه، شماره۱۰، صص۸۹-۱۰۶.

Anandhi, A. Zion, M. S., Gowda, P. H., Pierson, D. C., Lounsbury, D. and Frei, A. (2013), "Past and future changes in frost day indices in Catskill Mountain region of New York", Hydrological Processes, 27(21), 3094-3104.

Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G…. and Tagipour, A. (2006), "Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation", Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 111(D5).

Change, I. C. (2013), The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 1535.

Change, I. P. O. C. (2007), "Climate change 2007: The physical science basis. Agenda", 6(07), 333.

Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleğen, M. Ö., Şişman, E., Selek, B. and Güçlü, Y. S. (2016), "Trend Assessment by the Innovative-Şen Method", Water Resources Management, 30(14), 5193-5203.

Demir, V. and Kisi, O. (2016), Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method (Şen trend) for monthly total precipitation (Middle Black Sea Region, Turkey). 3rd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, 3-BCCCE, 19-21 May 2016, Epoka University, Tirana, Albania.

Erlat, E. and Türkeş, M. (2012), "Analysis of Observed Variability and trends in numbers of frost days in Turkey for the period 1950–2010", International Journal of Climatology, 32(12), 1889-1898.

Fang, X., Wang, A., Fong, S.K., Lin, W. and Liu, J. (2008), "Of reanalysis-derived Northern Hemisphere summer warm extreme indices during 1948–2006 and links with climate variability", Global and Planetary Change, 63, 67-78.

Kisi, O. (2015), "An innovative method for trend analysis of monthly pan evaporations", Journal of Hydrology, 527, 1123-1129.

Meehl, G. A., Tebaldi, C., and Nychka, D. (200), "Changes in frost days in simulations of twenty-first-century climate", Climate Dynamics, 23(5), 495-511.

Parmesan, C., Root, TL. and Willig, MR. (2000), "Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota", Bulletin of the American Meteorological Society, 81, 443–450.

Partal, T. and Kahya, E. (2006), "Trend analysis in Turkish precipitation data" Hydrological Processes, 20(9): 2011-2026.

Parvin, N. (2013), "Trend of Precipitation over the Past three Decades, North of Lake Uremia, Using the Method of Mann-Kendall", Journal of Basic Sciences & Applied Research, 2(8), 754-758.
Parry, ML., Canziani, OF., Palutikof JP et al. (2007), Climate change 2007: impacts, adaptation, and vulnerability (Vol. 4). Cambridge: Cambridge University Press.
Santos, C.A.C., Neale, C.M.U., Rao, T.V.R. and Silva, B.B. (2010), "Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA", International Journal of Climatology, 31, 1813-1822.
Sen, Z. (2012), "Innovative trend analysis methodology", Journal of Hydrologic Engineering, 17 (9), 1042–1046.
Sen, Z. (2014), "Trend identification simulation and application", Journal of Hydrologic Engineering, 19 (3),635–642.
Sinha, T., Cherkauer, K. A. and Mishra, V. (2010), "Impacts of historic climate variability on seasonal soil frost in the Midwestern United States", Journal of Hydrometeorology, 11(2), 229-252.
Tosunoglu, F., and Kisi, O. (2016), "Trend Analysis of Maximum Hydrologic Drought Variables Using Mann–Kendall and Şen's Innovative Trend Method", River Research and Applications, DOI: 10.1002/rra.3106.
Vincent, L. A. and Mekis, E. (2006), "Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century". Atmosphere-Ocean, 44(2), 177-193.
Renom, M. and De Mello, S. (2015), Recent changes in frost day's events characteristics in Uruguay-Southeastern South America. In EGU General Assembly Conference Abstracts, 17, 1948.
Wu, H. and Qian, H. (2016), "Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s", International Journal of Climatology. DOI: 10.1002/joc.4866.
http://www.irimo.ir/far/services/climate/793-%D8%A7%D9%82%D9%84%DB%8C.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

# Analyzing of trend changes in the frost threshold (Case Study: Northwest of Iran)

**Hassan Alipour[1], Arash Malekian*[2]**

Received: 26-02-2017 Accepted: 30-06-2017

**Abstract**

Frost is a climatic phenomenon in which water is at or below freezing point. A frost day refers to a day when the temperature goes down under zero Celsius degree throughout the night. Frost has important impacts on various aspects of human life, especially on agriculture and food productions. In the current study, the non-parametric (Mann-Kendall), parametric (Pearson correlation coefficient) and Innovative Trend Analysis (Sen) procedures were used to evaluate the effects of changing the trend of frost threshold in Northwest area of Iran. Based on Mann-Kendall and Pearson tests, there was a negative trend at Ardebil, Parsabad, Makoo, Maragheh and Mahabad stations, however, this effect was significant only at Ardebil station ($p<0.05$, Mann-Kendall). When Innovative Trend Analysis (Sen) method was used for Mahabad station, a decreasing trend was found for all values, while this method had no trend in Maragheh station. Tabriz and Makoo stations showed negative trends only in a small band (5%) while other values at two bands had no trend. Except for small band (10%), Ardebil station showed a negative trend in other values. Urmia, Parsabad, and Khoy stations had a negative and positive trend in some cases, respectively. Evaluation of threshold changes of the climatic phenomenon can lead to making better decisions especially about agriculture, water resources management and climate change adaptation strategies in this region of the country.

**Keywords**: Innovative Trend Method of Sen, Trend analysis, Frost days, Mann–Kendall.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1]- MSc. Student of Watershed Management, Tehran University, Iran.
[2]*- Associate Professor, Department of Natural Resources, Tehran University, Iran Email: malekian@ut.ac.ir