

## سرماهای زیانبخش به کشاورزی ایران در قالب معیارهای احتمالاتی مطالعه موردی: تهران

Gholamali Kamali, Ph.D

### Probability of Damaging Colds in Iran Agriculture Case Study of Tehran

One of the basic research in agriculture is determining the place and the time of occurrence of the cold and freezing periods in each region. This will help farmers to protect their crops from such events. Recurrence intervals for temperature thresholds of each crop and forecasting the spacial and temporal changes of air temperature are the main points of such research. Data of the minimum temperature of Tehran station was analysed for a period of 47 years. Occurrence of Fall first freezing and Spring late freezing with different probability levels were studied. The results show that on average, the date for the occurrence of first freezing is November 30 with a variance of 51 days. The study showed that the spring freezing takes place during April 7 to April 13 and fall freezing occurs during December 17 to March 20 for 93 days.

#### خلاصه

یکی از بنیادی‌ترین تحقیقات آماری اقلیمی کشاورزی، شناخت چگونگی زمان و مکان وقوع سرما و یخبندان‌ها در هر ناحیه است که می‌تواند برنامه ریزان کشاورزی و کشاورزان را به منظور کاهش خسارات سرما راهنمایی و کمک کند. دوره‌های برگشت آستانه‌های حرارتی برای گیاهان زراعی مختلف و پیش بینی تحولات زمانی و مکانی دمای هوا در قالب معیارهای احتمالاتی، از جمله اصلی‌ترین این مطالعات به حساب می‌آیند. براساس آمارهای دمای حداقل روزانه ۴۷ ساله ایستگاه هواشناسی تهران، تاریخ وقوع اولین سرما و یخبندان‌های پاییزه و

*Archive of SID*

آخرین سرما و یخبندان‌های بهاره با احتمالات مختلف مورد بررسی آماری قرار گرفت و مشخص شد که به طور متوسط تاریخ وقوع یخبندان در تهران ۳۰ نوامبر برابر با دهم آذر می باشد و دامنه تغییرات آن نیز ۵۱ روز است. این مطالعات مشخص نمود که در تهران محدوده تاریخ سرمازدگی در پاییز از هشتم آذر تا ۲۱ آذر و در بهار از اول آوریل برابر با ۱۳ فروردین تا ۱۳ آوریل برابر با ۲۵ فروردین اتفاق می افتد که مجموعاً از آغاز تا پایان ۱۲۳ روز دوام می آورد. یخبندان‌های ملایم در تهران با همین احتمال از ۱۷ دسامبر برابر با ۲۷ آذر تا ۲۰ مارس برابر با اول فروردین مدت ۹۳ روز و یخبندان‌های متوسط ۷۳ روز و یخبندان شدید ۴۵ روز محدودیت ایجاد می نمایند که می تواند مورد توجه کاربران کشاورزی قرار گیرد.

## مقدمه

دما به عنوان شاخصی از شدت گرما یکی از عناصر اساسی شناخت هواست. نظر به دریافت نامنظم انرژی خورشید توسط زمین، دمای هوا در سطح زمین دستخوش تغییرات بسیار است که به نوبه خود سبب تغییرات گسترده دیگری در سایر عناصر هواشناسی می شود. اصولاً تغییرات فصلی دما با افزایش فاصله از خط استوا، بیشتر می شود. در نزدیکی خط استوا در مناطق گرمسیری، ناحیه ای قرار دارد که دمای فصلی آن تقریباً ثابت است و به تدریج با تغییر موقعیت خورشید، تغییرات فصلی افزایش می یابد. البته تغییرات فصلی درجه حرارت تماماً زیر تأثیر موقعیت خورشید نیستند بلکه تا حدی توسط عوامل محلی نظیر ارتفاع، بادهای غالب، ابرها، رطوبت هوا و فاصله از دریا و پوشش طبیعی زمین کنترل می شوند و بدین ترتیب دما از مکانی به مکان دیگر متفاوت و تغییرپذیر می شود.

گیاهان می توانند فقط در محدوده حرارتی معین رشد نمایند و تحمل پذیری آن‌ها در مقابل دماهای بالا و پایین محدود است. برای هر گونه و رقم گیاهی، نه تنها درجه حرارت مطلوب وجود دارد، بلکه مراحل رشد و فعالیت‌های گوناگون گیاهان، دارای حرارت‌های ایده آل و همچنین محدوده حرارتی کشنده حداقل و حداکثر می باشند. کاهش دما از آستانه‌های حداقل گیاه همه ساله خسارات گسترده‌ای به کشاورزی کشور وارد می آورد. این خسارت ممکن است در سرماهای بالای صفر<sup>۱</sup> ولی مراحل حساس گیاه وارد شود و یا به علت وقوع یخبندان‌های

*Archive of SID*

پاییزه و بهاره باشد. شناخت از چگونگی وقوع سرما و یخبندان‌ها در هر ناحیه، یکی از بنیادی‌ترین تحقیقات اقلیمی کشاورزی است که می‌تواند برنامه‌ریزان کشاورزی و خود کشاورزان را به منظور کاهش خسارات سرما راهنمایی و کمک کند. دوره‌های برگشت آستانه‌های حرارتی برای گیاهان زراعی مختلف و پیش‌بینی تحولات زمانی و مکانی دمای هوا در قالب معیارهای احتمالاتی، از مهم‌ترین مواردی است که در بخش وقوع سرما و خسارات آن بایستی مورد عمل قرار گیرد تا از این نتایج بتوان پتانسیل سرما و آسیب‌پذیری منطقه را درباره گیاهان زراعی مختلف محاسبه نمود.

اطلاع از چگونگی زمان وقوع سرماهای زبان‌آور پاییزه، کشاورزان را به لحاظ برداشت به موقع محصولات مانند چغندر قند، پنبه، صیفی‌ها (خیار، گوجه فرنگی، بادنجان و ...) راهنمایی می‌کند و عملاً منجر به افزایش تولید و درآمد کشاورزان می‌شود.

هدف این مقاله بررسی احتمال وقوع اولین سرما و یخبندان‌های پاییزه و آخرین سرما و یخبندان‌های بهاره در تهران به منظور کاربرد در کاهش خسارات سرما در کشاورزی منطقه بوده است. انتخاب آستانه‌های مختلف در این مقاله و انجام محاسبات مرتبط، منطبق با گیاهان غالب مورد کشت در منطقه است. طیف گسترده آستانه‌های انتخابی برای سرمازدگی<sup>۱</sup> و یخبندان<sup>۲</sup> گیاهان زراعی مورد کشت در منطقه را پوشش داده است.

### هواشناسی وقوع سرما و یخبندان و مروری بر بررسی پژوهش‌های پیشین

تغییرات طبیعی دما در طول شبانه روز به علت طلوع و تابش خورشید و ورود انرژی گرمایی به سطح خاک و افزایش دما در طول روز و همچنین غروب و تابش انرژی دریافتی زمین به جو در شب می‌باشد. وقوع سرماهای شدید که باعث افت زیاد دما در فاصله زمانی کوتاه می‌شوند به علت تابش شدید دما در شب‌های صاف و بدون باد و یا به دلیل جابه‌جایی توده‌های هوای سرد در مقیاس بزرگ به منطقه می‌باشد که حاصل آن کاهش شدید دما و ایجاد سرمازدگی و یخبندان در گیاهان است.

طول دوره رشد در گیاهان زراعی تابعی از تاریخ‌های وقوع این‌گونه سرما و یخبندان‌ها در هر منطقه است. اولین سرماهای پاییزه و آخرین سرماهای بهاره دو نوع سرمایی است که باعث

### Archive of SID

خسارات سنگین به تولیدات کشاورزی و همچنین انبارداری آن‌ها می‌شوند. هربراشمیر (۳) در سال ۱۹۳۶ اولین محققانی بودند که مشخص کردند گونه‌های سوزنی برگ، اولین سرماهای پاییزه را از تمامی گیاهان دیگر بهتر تحمل می‌کنند و آستانه حرارتی حداقل آن‌ها از سایر گیاهان پایین‌تر است. تام و شاو (۱۱) نشان دادند که تاریخ‌های وقوع اولین سرماهای پاییزه و آخرین سرماهای بهاره در عین تصادفی بودن کاملاً مستقل از یکدیگرند و عملاً می‌توان دوره برگشت برای طول دوره بدون یخبندان را برای هر گیاه زراعی تعیین کرد. مولتن و شویب (۲) با تحلیل دمای حداقل و حداکثر روزانه در ویرجینای غربی با هدف کاربری آن در رشته‌های مهندسی حمل و نقل و تعیین ملاک‌های طراحی مشخص نمودند که در طول دوره یخبندان و میانگین سالانه دما به عنوان متغیرهای وابسته و ارتفاع و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد عمل به عنوان متغیرهای مستقل همبستگی‌های معنی‌داری وجود دارد و آن‌ها نتایج تحقیقات خود را به صورت معادلات همبستگی سه‌گانه کاربردی ارائه دادند. روزنبرگ و مایر (۱۰) سعی داشتند که به صورت تفکیک شده سرماهای تابشی و همرفتی را دسته‌بندی نمایند و این دو نفر نتایج تحقیقات خود را براساس تاریخی که آخرین سرماهای بهاره و اولین سرماهای پاییزه و به صورت تابشی و یا همرفتی واقع شده بود، ارائه دادند. سازمان هواشناسی جهانی (۱۲) با پیشنهاد ۸ آستانه حرارتی، از کشورهای عضو خواسته است که تحقیقات خود را برای این آستانه‌ها که می‌تواند غالب گیاهان زراعی را پوشش دهد به انجام برسانند. در این کتاب راهنما نمونه‌هایی از نتایج بعضی کشورها با دوره‌های برگشت مختلف نیز آورده شده است.

هاشمی (۸) با استفاده از آمارهای موجود و با برداشت از چند بررسی انجام شده در ایالات متحد آمریکا، سری‌های زمانی شروع و خاتمه یخبندان در تهران را برای چهار آستانه حرارتی تحلیل نمود. گزارش این تحقیق در سال ۱۳۴۸ با عنوان «تجزیه و تحلیل استاتیکی از سرمای تهران» توسط سازمان هواشناسی کشور به چاپ رسیده است. علیزاده و کمالی (۴) براساس تحلیل داده‌های حداقل روزانه دما در ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان خراسان نتیجه گرفتند که با احتمال ۸۰ درصد یخبندان‌های ملایم شهر مشهد در ۲۹ اسفند ماه خاتمه می‌پذیرد. این تاریخ برای یخبندان‌های شدید ۱۳ اسفند است و در مورد یخبندان‌های پاییزه با احتمال ۸۰ درصد ۱۶ آبان روز شروع یخبندان‌های ملایم است و در ۸ آذر یخبندان‌های شدید شروع می‌شود. آن‌ها نتیجه گرفتند که احتمالات وقوع مختلف خطی است و خطوط مربوط به هر ایستگاه تقریباً موازی یکدیگرند. تحلیل طول دوره بدون یخبندان در این تحقیق مشخص

*Archive of SID*

کرد که از شمال خراسان به طرف جنوب آن، افزایش طول دوره بدون یخبندان از ۲۰۰ تا ۲۶۰ روز می‌رسد. بهترین توزیع احتمالاتی برای هر یک از تاریخ‌های وقوع انواع یخبندان‌ها در این تحقیق محاسبه و منحنی‌های مربوطه که بتوان از روی آن تاریخ یخبندان‌ها را پیش بینی کرد ترسیم شده است. رحیمی (۱) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود اطلاعات ۲۱ تا ۳۵ ساله دمای حداقل ۷ ایستگاه با ارتفاعات مختلف از محدوده البرز مرکزی را برای تعیین تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره در سه شدت یخبندان ضعیف، متوسط و شدید تحلیل کرد. او احتمالات تجربی وقوع یخبندان‌ها را با توزیع لوگ نرمال برازش داد و احتمالات ۷۵ درصد را برای هر یک از تاریخ‌های وقوع یخبندان و طول دوره بدون یخبندان محاسبه نمود و در انتها نتیجه‌گیری کرد که تاریخ احتمال ۷۵ درصد از نظر ترویجی تاریخی است که یخبندان‌های پاییزه شروع می‌شود و از این تاریخ به بعد نباید محصولی در مزرعه باقی بماند چرا که خسارت یخبندان نسبت به نهاده‌های کشاورزی بیشتر خواهد بود و خسارت کلی به کشاورز وارد خواهد شد و همچنین نتیجه‌گیری رحیمی حاکی از آن است که برای بررسی‌های آماری توزیع احتمال زمانی وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره (بررسی نقطه‌ای) به تعداد سال‌های آماری بیشتری نیاز است. سمیعی و دیگران (۲) با استفاده از اطلاعات روزانه دمای حداقل ایستگاه‌های هواشناسی و با کاربرد معکوس توابع توزیع مدل‌های ترکیبی، جداول تاریخ وقوع و خاتمه یخبندان‌های پاییزه و بهاره در سطوح احتمالات انتخابی و در ۱۲ آستانه بحرانی دما به همراه نمودارها، جداول، متغیرها و ملاک‌های مربوط به آزمون‌های آماری همگنی اطلاعات و تعیین سطح معنی‌دار نتیجه‌گیری کاربردی نمودند. نتیجه‌گیری آن‌ها حاکی از ملاک‌های مناسبی از برازش و ضرایب همبستگی ۲ خطی بین سری‌های زمانی مورد عمل می‌باشد و این نتایج در مجموعه کاربردی به سال ۱۳۶۷ توسط سازمان هواشناسی کشور انتشار یافت.

**روش تحقیق**

به منظور انجام پیش بینی تحولات زمانی پارامتر دمای حداقل هوا و سرمایه‌های زبان‌آور، لازم است ابتدا از وضعیت احتمالاتی سرماها در تهران شناخت و آگاهی پیدا نمود. برای رسیدن به این هدف از روش‌های مختلف آماری استفاده شد که مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است (۷ و ۹ و ۱۲ و ۱۳):

## ۱- جمع آوری آمار و اطلاعات

ابتدا آمار و اطلاعات دمای حداقل روزانه این ایستگاه‌ها جمع‌آوری و مورد آزمون‌های لازم قرار گرفت. با توجه به این که دوره اقلیمی ۱۹۹۷-۱۹۵۱ برای تحقیق انتخاب شده بود، ابتدا نسبت به پرکردن خلأهای آماری این ایستگاه اقدام شد و در انتها بستر آماری کامل و بدون اشکال برای انجام محاسبات بعدی آماده شد. برای آماده‌سازی این بخش فعالیت‌های زیر انجام شد: کنترل عینی اطلاعات، تعیین دامنه‌های مقبول بین متغیر دمای حداقل روزانه و دمای خشک ساعت ۰۳:۰۰ گرینویچ یا ۶/۵ صبح به وقت محلی، به منظور کنترل اطلاعات روزانه و آشکارسازی خطاهای فاحش احتمالی، بررسی و تصحیح تمامی خطاهای مشکوک ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران با مراجعه به اسناد و مدارک موجود در بایگانی مرکز کامپیوتر و رفع اشکالات آماری آن‌ها. با توجه به این که بانک اطلاعات هواشناسی به صورت ماه‌های میلادی است، سعی شده است که در نتیجه‌گیری تاریخ‌های مشابه شمسی برای استفاده بهتر آورده شود.

## ۲- مدل‌های آماری به منظور بازسازی و تکمیل اطلاعات روزانه و آزمون‌های آماری و تئوری‌های احتمالاتی:

برای این مرحله در مجموع پنج مدل از همبستگی‌های دوگانه از نوع همبستگی خطی درجه ۱، همبستگی لگاریتمی، همبستگی نمایی، همبستگی توانی (ژئومتریک) و همبستگی غیرخطی سهمی درجه ۲ مطالعه و بررسی شد. پس از تعیین الگوریتم‌های مورد نیاز به منظور تشکیل معادلات نرمال و محاسبات مربوط به ماتریس معکوس، ضرایب معلوم و محاسبات ضرایب معادلات همبستگی در هر ۵ مدل مورد بررسی قرار گرفت. محاسبات ضریب همبستگی معادلات و آزمون و تعیین سطح معنی داری آن‌ها، خطای استاندارد همبستگی و آزمون ضرایب معادلات همبستگی و تعیین سطح معنی داری آن‌ها نیز انجام شد. قبل از تحلیل داده‌ها از آزمون‌های مختلف از جمله آزمون‌های همگنی، تصادفی بودن و کفایت داده‌ها استفاده شد. برای تعیین دوره‌های برگشت نیز از تئوری احتمالات و توزیع نرمال و لوگ نرمال استفاده شد و در موارد لزوم نقاط تجربی با استفاده از فرمول ویبول در منحنی‌های احتمالات محاسبه و پلات شدند.

اصلی‌ترین روابط آماری مورد استفاده در این بخش به شرح زیر بوده‌اند:

## Archive of SID

۱- (DAY) شماره روزها در هر ماه

۲- (NO) تعداد کل مشاهدات یا تعداد سنوات آماری هر روز از سال

از آنجا که ایستگاه هواشناسی تهران - مهرآباد در طول دوره آماری مورد استفاده، دارای آمار کامل بوده است، برای هر روز از سال در دوره اقلیمی ۴۷ سال به صورت متوالی دیده‌بانی صورت گرفته است. سال‌های کیسه که ماه فوریه در آن‌ها ۲۹ روزه بوده و ۱۲ سال اتفاق افتاده است نیز در محاسبات منظور شده اند.

۳- (MEAN) میانگین‌های مؤلفه‌های دما در روزهای متوالی سال

$$MEAN = \bar{x} = \sum_{i=1}^{NO} X_i / NO$$

۴- (SD) انحراف معیار روزانه دما

$$SD = \delta = \left( \sum_{i=1}^{NO} (X_i - \bar{x})^2 / (NO - 1) \right)^{1/2}$$

۵- (A3) ضریب چااولگی

$$A^* = m_{\sqrt{}} / \delta^{\sqrt{}} = m_{\sqrt{}} / (SQRT(m_{\sqrt{}}))^{\sqrt{}}$$

۶- (A4) ضریب افزایشگی

$$A_4 = m_{\sqrt{}} / \delta^{\sqrt{}} = m_{\sqrt{}} / m_{\sqrt{}}$$

در دو رابطه اخیر  $m_4$ ،  $m_3$ ،  $m_2$  به ترتیب دومین، سومین و چهارمین گشتاور مرکزی (حول میانگین) می‌باشند که از رابطه عمومی زیر به دست می‌آیند:

$$m_k = \sum_{i=1}^{NO} (X_i - \bar{x})^k / NO, k = 2, 3, 4$$

۷- (A) نسبت Geary (آماره آزمون انحراف از توزیع نرمال) که در آن MD میانگین قدرمطلق

اختلاف متغیرها از میانگین می‌باشد و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MD = \sum_{i=1}^{NO} |X_i - \bar{x}| / NO,$$

اندازه این آماره (A) در توزیع نرمال برابر است با:

$$a = SQRT(2/\pi) = 0.79788... ,$$

ناحیه قبول این نسبت برای فرض نرمال بودن در مقابل تعداد مشاهدات (NO) در سطح معناداری از سوی Brooks and Carrathers (3591) برآیه شده است.

8. اندازه لگاریتم تابع راست‌نمایی (LOG-L.F.)

## Archive of SID

لگاریتم تابع راست‌نمایی به ترتیب زیر تعریف می‌شود:

$$L = \prod_{i=1}^N f(X_i), \dots$$

$$\ln(L) = \sum_{i=1}^N \langle \ln(f(X_i)) \rangle, \quad \text{و یا}$$

برای توزیع نرمال که تابع چگالی احتمال (PDF) آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

لگاریتم تابع راست‌نمایی با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\ln(h) = -\frac{N}{\sigma^2} [\ln(2\pi\sigma^2)] - \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2 / 2\sigma^2,$$

که در آن  $X$  و  $\sigma$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار (SD) تخمین زده شده نمونه اطلاعاتی موردنظر می‌باشد.

اندازه این تابع به عنوان آماده‌نیکویی برازش در مقایسه با مقدار نظیر در توابع توزیع دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### ۹- (K-S TEST) آماره آزمون کلمگرف - سمیرنف<sup>۱</sup>

آماره آزمون کلمگرف سمیرنف که غالباً به  $D_n$  نشان داده می‌شود به صورت زیر تعریف

$$D_n = \text{MAX} | F(X) - S_N(X) |, \quad \text{شده است:}$$

که در آن  $F(X)$  تابع پخش انباشتی نرمال و تابع پخش انباشتی نمونه (احتمال تجربی) است.

در این گرایش براساس رابطه (BLOM) و به ترتیب زیر محاسبه شده است:

۱ شماره ردیف در سری زمانی مورد نظر است که به ترتیب صعودی مرتب شده باشد و  $N$  اندازه نمونه اطلاعاتی است.

#### ۱۰- (ROW) شماره ردیف ( $D_n$ )

متغیر ROW شماره ردیف قدرمطلق حداکثر اختلاف بین  $F(X)$  و  $S_N(X)$  را در نمونه

اطلاعاتی نشان می‌دهد.

#### ۱۱- (YEAR) سال متناظر با ( $D_n$ )

متغیر YEAR سال وقوع حداکثر اختلاف بین  $F(X)$  و  $S_N(X)$  در نمونه اطلاعاتی موردنظر را

نشان می‌دهد.



۱۲- (PROB (K-S) احتمال آمارة  $D_n$ 

آرگومان تابع<sup>۱</sup> که با Z نشان داده می‌شود عبارت است از :

$$Z = \sqrt{ND_n} = K - S \cdot \text{SQRT}(N)$$

احتمال متناظر با Z که در جداول مربوط به PROB(K-S) نشان داده شده است از رابطه‌ای زیر

$$\text{PROB}(Z) = 1 - L(Z),$$

به دست می‌آید :

$$L(Z) = 1 - 2 \sum_{K=1}^{\infty} (-1)^{K-1} \text{EXP}(-2K^2 Z^2) = , Z > 0$$

$$= [\text{SQRT}(2\pi/Z)] \sum_{K=1}^{\infty} \text{EXP}[-(2K-1)^2 \pi^2 / 8Z^2]$$

## ۳- تعیین آستانه‌های حرارتی و تعیین تاریخ‌های شروع، پایان، و طول دوره سرما

آستانه‌های حرارتی براساس توصیه سازمان هواشناسی جهانی (WMO) در دماهای  $-۸/۹$ ،  $-۶/۷$ ،  $-۴/۴$ ،  $-۳/۳$ ،  $-۲/۲$ ،  $-۱/۱$ ، صفر،  $۱/۱$ ،  $۲/۲$ ،  $۳/۳$ ،  $۴/۴$  استخراج شدند. بدین ترتیب که در طی ۴۷ سال آمار ابتدا تاریخ‌های شروع (پاییز)، پایان (بهار) و مستقل از یکدیگر تعیین و احتمالات وقوع آن‌ها محاسبه شدند، سپس طول دوره بدون سرما محاسبه و توزیع احتمالات آن مشخص شدند. مقادیر با توزیع نرمال و با مشخصه‌های آماری مورد اشاره محاسبه و برازش داده شده است. برای انجام این بخش به هر روز از اول ژانویه شماره مسلسل داده شد و بدین ترتیب تاریخ‌ها به عدد تبدیل و مورد محاسبه و تحلیل قرار گرفتند. برای رسیدن به هدف تعریف شده که بررسی احتمالاتی تاریخ وقوع سرما و یخبندان بهار و پاییز بود، پس از استخراج تاریخ وقوع چنین حوادثی در هر یک از ایستگاه‌ها در طول دوره آماری آن، تعریفی برای سرما و طبقه‌بندی یخبندان‌ها صورت گرفت. سرما به واقعه‌ای اطلاق شد که دما بین  $۳/۳$  درجه سانتی‌گراد و صفر باشد و یخبندان‌ها نیز به سه گروه یخبندان ملایم، یخبندان متوسط و یخبندان شدید تقسیم شدند. حد دمایی برای یخبندان ملایم بین صفر تا  $-۱/۱$  درجه سانتی‌گراد و یخبندان متوسط بین  $-۱/۱$  تا  $-۳/۳$  درجه سانتی‌گراد انتخاب شدند. در هر سال تاریخ‌هایی که دست‌کم درجه حرارت برای اولین مرتبه در پاییز با آخرین مرتبه در بهار بین دو محدوده انتخابی قرار داشتند انتخاب و سپس توزیع‌های آماری بر روی آن‌ها انجام پذیرفت.

## نتایج و بحث

ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران با مشخصات جغرافیایی جدول ۱ دارای ۴۷ سال آمار و اطلاعات هواشناسی می باشد که تحلیل دمای دست کم روزانه آن نشان داد که کمترین دمای اتفاق افتاده در این ایستگاه ۱۵- درجه سانتی گراد در روز هشتم ژانویه برابر با ۱۹ دی ماه ۱۹۶۹ (۱۳۴۸) و بالاترین دمای حداقل نیز ۳۱/۶ درجه سانتی گراد و در روز ۱۶ جولای سال ۱۹۹۵ (۲۶ تیر ۱۳۷۴) اتفاق افتاده است. تغییرات دمای حداقل روزانه در تهران زیاد و از ماهی به ماه دیگر دارای تفاوت بسیار است.

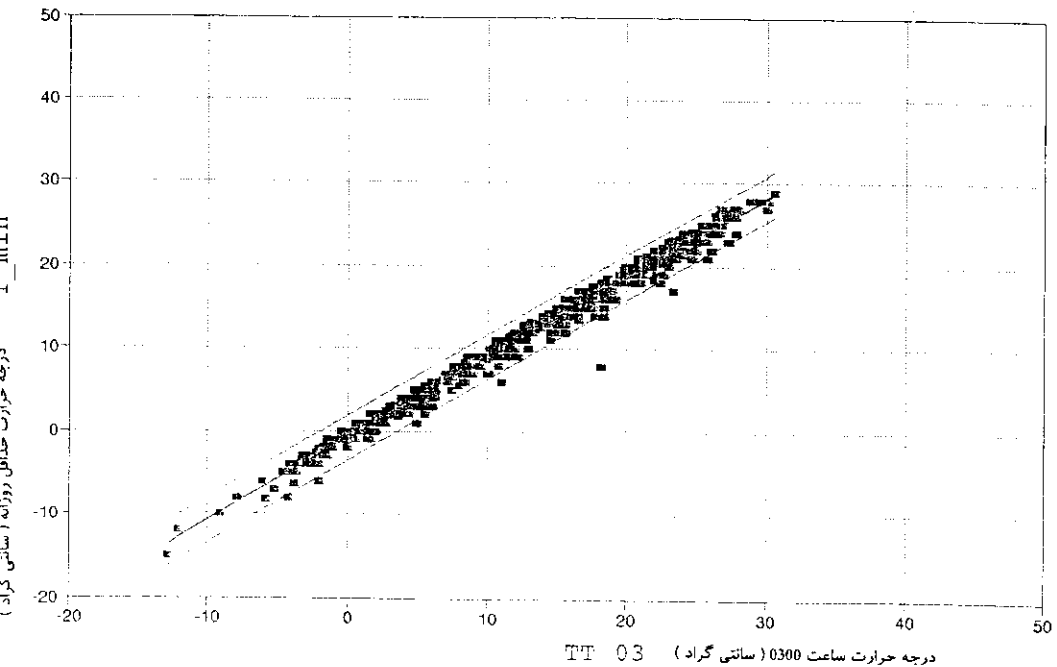
جدول ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران

ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ایستگاه هواشناسی
۱۱۹۰/۸	۵۱/۱۹ E	۳۵/۱ N	مهرآباد تهران

نتایج حاصل از جداول تجزیه واریانس نشان داد که مدل های همبستگی لگاریتمی، همبستگی نمایی و همبستگی توانی، به علت کمی مقدار ضرایب همبستگی (کمتر از ۰/۵) و خطای استاندارد بالا، برای برآورد ارقام مفقود شده ضعیف تشخیص داده شد و جهت تکمیل اطلاعات، دو مدل همبستگی خطی درجه یک و همبستگی غیرخطی درجه دو برای زوج های تعریف شده بسیار مناسب بودند. نتایج همبستگی برای زوج های مختلف در دو مدل نهایی شده متفاوت بود که در مجموع همبستگی های بررسی شده مشخص شد که در غالب موارد معادلات خطی درجه یک همبستگی های بسیار قوی و بالاتر از سطح اعتماد ۹۹/۹۹ درصد را برای زوج های تعریف شده جهت بازسازی اطلاعات روزانه دمای حداقل نشان داد. شکل ۱ همبستگی بالای زوج دمای حداقل روزانه و دمای خشک ساعت ۰۳:۰۰ گرینویچ (۶/۵ صبح به وقت محلی) را در دوره اقلیمی ۱۹۹۷-۱۹۵۱ نشان می دهد. نتایج حاصل از آزمون های معنی دار  $F$ ،  $R$  و آزمون ضرایب  $B$ ،  $A$  نشان داد فرض مقابل  $H_1$  مبنی بر وجود همبستگی بین متغیرهای مورد نظر در هر ۹۳ معادله خطی با توجه به زوج های انتخابی برای دمای حداقل روزانه تأیید شد و معادله خطی برای کامل کردن داده های مفقود شده مورد استفاده قرار گرفت. [www.SID.ir](http://www.SID.ir) دسته بندی مفادیر دمای حداقل روزانه تهران نشان داد که در ماه های ژانویه و فوریه حداکثر فراوانی دمای حداقل روزانه در محدوده دمایی ۱- تا ۱ درجه سانتی گراد قرار دارند

*Archiye of SID*

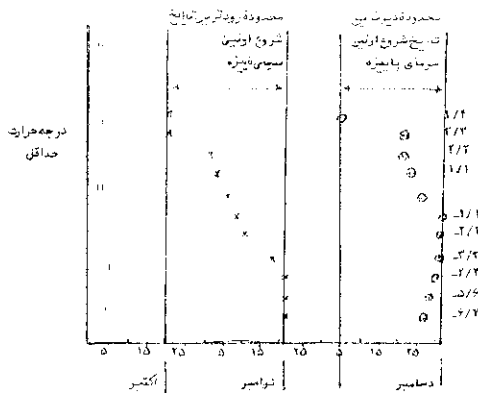
ولی از ماه مارس به بعد افزایش دمای حداقل به بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد یعنی به محدوده دمایی ۳ تا ۵ درجه سانتی‌گراد ارتقا یافته است. حداکثر فراوانی در ماه جولای و در بالاترین دمای حداقل و در محدوده دمایی ۲۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده است. از ماه جولای به بعد دمای حداقل به تدریج کاهش یافت، به طوری که در ماه مارس حداکثر فراوانی دمای حداقل روزانه مجدداً به محدوده دمایی -۱ تا ۱ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. بالاترین دمای حداقل در تهران در محدوده دمایی ۴۱ تا ۴۳ درجه در ماه جولای و پایین‌ترین دمای حداقل در محدوده دمایی ۱۵- تا ۱۷- درجه سانتی‌گراد و در ماه ژانویه مشاهده شده است. تحلیل حاصل از رکوردهای ماهانه دمای حداقل نشان داد که تغییرات بالاترین و پایین‌ترین و متوسط دمای حداقل در ماه‌های مختلف سال با تأکید بر روز و سال وقوع به صورت جدول ۲ اتفاق افتاده است.



شکل ۱ رابطه بین زوج دمای حداقل روزانه و دمای خشک ساعت ۰۳:۰۰ (۶/۵ صبح محلی) در دوره اقلیمی ۱۹۵۱-۱۹۹۸ برای یک روز

نشان داد که تغییرات نسبتاً زیادی در سال‌های مختلف وجود داشته است که حداکثر این دامنه در تاریخ عبور برای دمای ۲/۲- درجه سانتی‌گراد بود که ۳۳ روز در طی ۴۷ سال تعیین شد. این دامنه برای دمای صفر درجه ۲۵ روز که از زودترین تاریخ آن ۵ نوامبر (۱۵ آبان) و دیرترین تاریخ وقوع دمای صفر درجه در پاییز ۲۶ دسامبر (۶ دی) و متوسط این تاریخ وقوع ۳۰ نوامبر (۱۰ آذر) محاسبه شدند.

شکل ۲ محدوده دیرترین و زودترین تاریخ شروع اولین سرماهای پاییزه را نشان می‌دهد، همان‌طور که در شکل مشخص است اولین آستانه که ۴/۴ درجه سانتی‌گراد است زودتر از آستانه انتخابی اتفاق می‌افتد ولیکن کلیه آستانه‌ها تا آخر دسامبر (دی ماه) واقع می‌شوند و در مقاطع زمانی متعدد دما طوری است که دو یا سه آستانه در یک تاریخ اتفاق افتاده است. در رابطه با تاریخ‌های عبور از صفر درجه سانتی‌گراد مشخص شد که به‌طور متوسط تاریخ وقوع یخبندان در تهران ۳۰ نوامبر (۱۰ آذر) می‌باشد. دامنه تغییرات ۴۷ ساله نیز از ۵ نوامبر (۱۵ آبان) تا ۲۶ دسامبر (۶ دی) یعنی ۵۱ روز محاسبه شد که نسبتاً زیاد است.



شکل ۲ محدوده دیرترین و زودترین تاریخ شروع اولین سرماهای پاییزه

نتایج حاصل از تحلیل تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره مشخص نمود که به‌طور متوسط در تهران روز ۱۹ مارس (۲۹ اسفند) این عبور صورت می‌گیرد و دامنه آن نیز از ۱۳ فوریه (۲۵ بهمن) تا ۸ آوریل (۲۷ فروردین) یعنی ۶ روز طول می‌کشد که در مقایسه با تاریخ عبور برای اولین یخبندان ۱۰ روز بیشتر است. همچنین مشخص شد که در تهران به‌طور متوسط ۲۵۷ روز

## Archive of SID

بدون یخبندان وجود دارد و فقط ۱۰۹ روز از سال تهران شاهد دمای زیر صفر است. جدول ۳ مشخصات وقوع یخبندان برای اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره را نشان می دهد.

جدول ۲ مقادیر کمترین و بیشترین و متوسط دمای حداقل روزانه در

ماه‌های مختلف سال در دوره اقلیمی ۱۹۹۷-۱۹۵۱

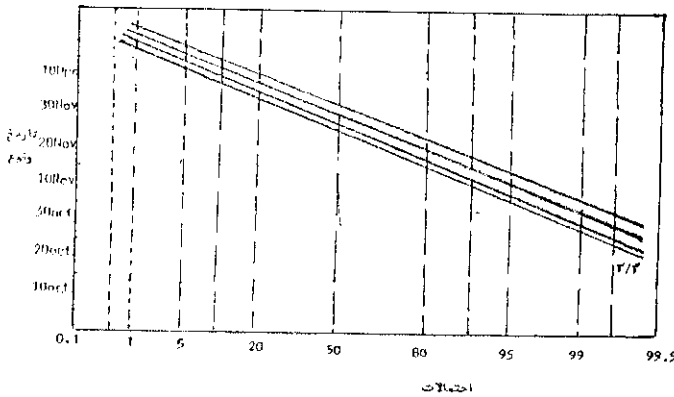
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June
متوسط (درجه سانتی گراد)	-۰/۸	۰/۹	۵۴	۱۰/۹	۱۵/۸	۲۰/۶
کمترین (روز - سال)	-۱۵ ۸ سال ۶۹	-۱۳ ۱۸ سال ۵۹	-۸ ۲ سال ۷۶	-۴ اول سال ۵۶	۲/۴ ۹۲ سال ۹۲	۶ ۵ سال ۶۷
بیشترین (روز - سال)	۱۰ ۲۷ سال ۶۳	۱۲ ۲۲ سال ۶۰	۱۸ ۲۰ سال ۷۷	۲۱/۸ ۲۸ سال ۹۰	۲۶/۵ ۳۱ سال ۸۵	۳۰/۶ ۲۶ سال ۸۵

	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
متوسط (درجه سانتی گراد)	۲۳/۷	۲۳	۱۹	۱۲/۹	۶/۴	۱/۳
کمترین (روز - سال)	۱۴ ۱۳ سال ۶۸	۱۳ ۳۰ سال ۹۷	۹ ۲۹ سال ۵۶	۲/۸ ۲۷ سال ۸۷	-۷ ۲۳ سال ۵۸	-۱۳ ۲۶ سال ۶۳
بیشترین (روز - سال)	۳۱/۶ ۱۶ سال ۵۹	۳۱ ۱۹ سال ۵۹	۲۷/۴ ۳ سال ۹۷	۲۳ اول سال ۵۸	۱۷ ۷ سال ۷۰	۱۴ اول سال ۸۹

نتایج برازش توزیع‌های احتمالاتی برای آستانه‌های حرارتی انتخابی مشخص نمود که به طور کلی تغییرات تاریخ وقوع چه اولین سرماهای پاییزه و چه آخرین سرماهای بهاره نسبت به احتمالات مختلف خطی است و خطوط احتمالاتی برای هر آستانه حرارتی در یک صفحه احتمالات تقریباً موازی یکدیگر است و در صورت تلاقی خطوط با هم علت آن عملاً عبور یک زمان افت دما از چند آستانه حرارتی می باشد.

## Archive of SID

شکل ۳ احتمالات وقوع سرمازدگی برای دمای  $3/3$  تا صفر درجه را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل مشخص است با احتمال  $75\%$  تاریخ وقوع اولین سرمای با  $3/3$  درجه سانتی‌گراد کمتر از آن ۲۶ نوامبر (۶ آذرماه) یا قبل از آن خواهد بود و با همین احتمال، تاریخ وقوع عبور از صفر درجه سانتی‌گراد در تهران روز ۸ دسامبر (۱۸ آذرماه) و یا قبل از آن اتفاق می‌افتد و به عبارت دیگر در تهران با احتمال  $75\%$  محدوده تاریخ سرمازدگی براساس تعریف، ۲۶ نوامبر (۶ آذرماه) تا ۸ دسامبر (۱۸ آذرماه) باشد.



شکل ۳ احتمالات وقوع سرمازدگی برای دمای صفر تا  $3/3$  درجه سانتی‌گراد

سرمازدگی در بهار و براساس مقادیر توزیع احتمالات انجام شده ۱۰ آوریل برابر با ۲۲ فروردین ماه آخرین روزی است که با احتمال  $75\%$  در تهران سرمازدگی اتفاق می‌افتد با همین احتمال آخرین روز برای وقوع دمای صفر درجه ۲۹ مارس برابر ۱۰ فروردین می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت در شهر تهران با احتمال  $75\%$ ، وقوع سرمازدگی بین ۲۹ مارس (۱۰ فروردین) تا ۱۳ آوریل (۲۵ فروردین) اتفاق می‌افتد. با توجه به کاربرد سرمازدگی در کشاورزی که با احتمال  $75\%$  در نظر گرفته می‌شود جدول ۵ تاریخ‌های وقوع سرمازدگی در تهران را برابر احتمال ۵۰ و  $75\%$  نشان می‌دهد. با توجه به تعریف سرمازدگی تاریخ‌های آستانه  $3/3$  تا صفر درجه یعنی آستانه‌های حرارتی  $3/3$  و  $2/3$  و  $1/1$  و صفر درجه برای مقایسه بیشتر در جداول آورده شد.

جدول ۳ تاریخ‌های وقوع اولین سرماهای پاییزه و آخرین سرماهای بهار

با احتمالات مختلف و طول مدت هر یک در دوره اقلیمی ۱۹۵۱-۱۹۹۷

احتمال ۵۰٪			احتمال ۷۵٪			آستانه‌های حرارتی (درجه سانتی‌گراد)
طول مدت (روز)	آخرین سرمای بهار	اولین سرمای پائیز	طول مدت (روز)	آخرین سرمای بهار	اولین سرمای پائیز	
۱۳۵	۱۰ آوریل (۲۲ فروردین)	۲۶ نوامبر (۶ آذر)	۱۳۵	اول آوریل (۱۳ فروردین)	۱۷ نوامبر (۲۷ آبان)	۳/۳
۱۲۵	۵ آوریل (۱۷ فروردین)	اول دسامبر (۱۱ آذر)	۱۲۳	۲۷ مارس (۸ فروردین)	۲۳ نوامبر (۳ آذر)	۲/۲
۱۰۷	اول آوریل (۱۳ فروردین)	۵ دسامبر (۱۵ آذر)	۱۱۶	۲۳ مارس (۴ فروردین)	۲۷ نوامبر (۷ آذر)	۱/۱
۱۱۱	۲۹ مارس (۱۰ فروردین)	۸ دسامبر (۱۸ آذر)	۱۰۹	۱۹ مارس (۲۹ اسفند)	۳۰ نوامبر (۱۰ آذر)	صفر

تحلیل داده‌های کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد و زیر عنوان یخبندان‌ها به حساب آورده می‌شوند. محدوده‌های تعیین شده برای دسته‌بندی یخبندان‌ها و تاریخ شروع و پایان هر یک از یخبندان‌ها با شدت‌های متفاوت در جدول ۴ آورده شده است. همان طوری که در جدول ۴ مشخص می‌باشد آغاز یخبندان‌های ملایم در تهران با احتمال ۷۵٪ از تاریخ ۱۷ دسامبر برابر با ۲۷ آذر آغاز می‌شود. دوام این نوع یخبندان در تهران ۹۳ روز است که تا تاریخ ۲۰ مارس برابر با اول فروردین ادامه می‌یابد. متوسط طول دوره این نوع یخبندان ۹۱ روز محاسبه شده است که از تاریخ ۷ دسامبر برابر با ۱۷ آذر آغاز و تا ۸ مارس برابر با ۱۸ اسفند ادامه یافته است. یخبندان‌های متوسط در پاییز از ۲۲ دسامبر برابر با ۲ دی تا ۵ مارس برابر با ۱۵ اسفند به مدت ۷۳ روز ادامه می‌یابد. به طور متوسط این دوره ۶۵ روز در طی ۴۷ سال برای یخبندان‌های متوسط ادامه داشته است. یخبندان‌های شدید از ۲۶ دسامبر برابر با ۶ دی آغاز و تا ۹ فوریه برابر با ۲۱ بهمن به مدت ۴۵ روز ادامه داشته است. یخبندان‌های شدید به طور متوسط ۴۴ روز دوام داشته است که از ۱۹ دسامبر برابر با ۲۹ آذر آغاز و در اول فوریه برابر با ۱۳ بهمن خاتمه می‌یابد. و از این تاریخ به بعد ما به طور متوسط در تهران منتظر دماهای کمتر از  $-۳/۳$  نیستیم که با توجه به آستانه‌های انتخابی حد پایین دما در تهران تا  $-۹/۸$  درجه سانتی‌گراد مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت که مطلب نتیجه‌گیری شده تا این دما قابل اشاره است. طول دوره بدون

یخبندان یکی از عامل‌های اصلی برای تعیین پتانسیل رشد و توسعه گیاهان است. انتقال و پایداری هر گیاه زراعی در یک منطقه تابعی از این عدد می‌باشد.

جدول ۴ تاریخ شروع و پایان انواع یخبندان‌ها با احتمالات مختلف در تهران  
برابر دوره اقلیمی ۱۹۵۱-۱۹۹۷

احتمال ۵۰٪			احتمال ۷۵٪			آستانه‌های حرارتی (درجه سانتیگراد)
طول مدت (روز)	آخرین یخبندان بهاره	اولین یخبندان پاییز	طول مدت (روز)	آخرین یخبندان بهاره	اولین یخبندان پاییز	
۹۱	۸ مارس (۱۸ اسفند)	۷ دسامبر (۱۷ آذر)	۹۳	۲۰ مارس (۱ فروردین)	۱۷ دسامبر (۲۷ آذر)	یخبندان‌های ملازم
۶۵	۱۸ فوریه (۳۰ بهمن)	۱۵ دسامبر (۲۵ آذر)	۷۳	۵ مارس (۱۵ اسفند)	۲۲ دسامبر (۲ دی)	یخبندان‌های متوسط
۴۴	اول فوریه (۱۳ بهمن)	۱۹ دسامبر (۲۹ آذر)	۴۵	۹ فوریه (۲۱ بهمن)	۲۶ دسامبر (۶ دی)	یخبندان‌های شدید

داده‌های طول دوره بدون یخبندان در تهران نشان داد که با احتمال ۷۵٪ طول دوره بدون یخبندان در نوع ملازم کمتر از طول این دوره در یخبندان‌های متوسط و شدید است و به‌طور متوسط این عدد ۲۷۴ محاسبه شده است که تفاوت زیادی در احتمالات مختلف مشاهده نشد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری‌های صمیمانه فنی آقایان محمود سمعی، مهدی عسگری و شاهرخ فاتح تشکر و قدردانی می‌نمایم. از خانم محمدیان که تایپ این مقاله را به عهده داشته‌اند نیز صمیمانه تشکر می‌نمایم. ضمناً این پروژه از طریق اعتبارات برنامه ملی تحقیقات کشور به شماره ثبت ۵۳۵۱ شورای پژوهش‌های علمی کشور تأمین شده و در پژوهشکده هواشناسی به اجرا در آمده است.



## Archive of SID

## منابع

- ۱- رحیمی، محمد، ۱۳۷۸: «بررسی احتمال زمانی وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره و زودرس پاییزه در البرز مرکزی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- ۲- سمیعی، محمود - عسگری، مهدی - باستانی، خداداد، ۱۳۶۷: تجزیه و تحلیل اقلیمی اطلاعات و احتمالات تاریخ شروه و خاتمه یخبندان پاییزه و بهاره در آستانه‌های بحرانی دما و طول فصل رویش در ایران، انتشارات سازمان هواشناسی کشور.
- ۳- ضیاتبار احمدی، میرحاجق - زائینی، محمود، ۱۳۷۴: اقلیم و پراکنش گیاهی، انتشارات دانشگاه مازندران.
- ۴- علیزاده، امین - کمالی، غلامعلی، ۱۳۷۳: «تاریخ وقوع اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره در خراسان»، مجله نیوار، دوره جدید، شماره ۲۴ زمستان ۱۳۷۳.
- ۵- کمالی، غلامعلی، ۱۳۶۸: «بررسی آماری نفوذ هوای سرد قطبی و خسارات وارده به محصولات کشاورزی شمال خراسان در دهه دوم اردیبهشت»، مجله نیوار، بهار ۱۳۶۸.
- ۶- کمالی، غلامعلی - کوچکی، عوض، ۱۳۷۷: «هم اقلیمی چغندر قند در استان خراسان از دیدگاه اکولوژی زراعی»، مجله بیابان، دانشگاه تهران.
- ۷- کمالی، غلامعلی، ۱۳۷۹: بررسی سرمایه‌های زیانبخش به کشاورزی ایران و اطلس‌های آن، گزارش طرح از برنامه ملی تحقیقات کشور، شورای پژوهش‌های علمی کشور و سازمان هواشناسی کشور.
- ۸- هاشمی، فریدون، ۱۳۴۸: تجزیه و تحلیل استاتستیکی از سرمای تهران، انتشارات تحقیقات و بررسی‌های علمی هواشناسی کل کشور.
- 9- Mead, R. N. Curnow and A. M. Hasted, 1993, *Statistical methods in agriculture and experimental biology*, chapman and Hall.
- 10- Rosenberg, N., B. Blad, and S. rerma, 1983. *Microclimate*. John. Wiely and sons. N. Y.
- 11- Show, R. H. ,1954. *Leaf and air temperture umder freezing condition plant physiol*.
- 12- World Meteorological Organization, 1983, *Guide to climatological proctices*, WMO- No. 100
- 13- World Meteorological Organization, 1981, *Agricultural meteorological practices*, WMO- No. 134