

# پیش بینی مناطق در خطر سرمازدگی با استفاده از مدل NEAT

الهه خصالی<sup>۱</sup>

محمدرضا مباحثی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۶/۱۷

\*\*\*\*\*

## چکیده

سرمازدگی از جمله پدیده‌هایی است که همه ساله خسارات بسیاری بر بخش کشاورزی وارد می‌سازد. از دیدگاه هواشناسی / اقلیم‌شناسی هنگامی که دمای هوا به کمتر از آستانه تحمل گیاهی می‌رسد، پدیده سرمازدگی اتفاق می‌افتد. این پژوهش به پیش‌بینی مناطق در خطر سرمازدگی با استفاده از روش NEAT<sup>۳</sup> در ایالت جورجیای آمریکا می‌پردازد. روش NEAT برای تخمین دمای هوا در نزدیکی سطح بکار گرفته شد. بدین منظور از داده‌های سنجنده مادیس مستقر بر سکوه‌های ترا و آکوا و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی شبکه AEMN<sup>۴</sup> استفاده شده است. جهت پیاده‌سازی مدل، دو بازه زمانی ۳ تا ۹ دسامبر سال ۲۰۰۶ و ۳ تا ۱۱ آپریل ۲۰۰۷ انتخاب شدند. در این دوبازه، سرمازدگی خسارات زیادی به محصولات کشاورزی در جنوب شرق آمریکا وارد کرده است. ابتدا با استفاده از داده‌های شبکه AEMN ضرائب مدل NEAT برای برون‌یابی دمای هوا به ساعات بعد محاسبه شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس دمای هوای نزدیک سطح با استفاده از محصولات مادیس برای لحظه گذر شبانه دو سنجنده مادیس مستقر بر سکوه‌های آکوا و ترا استخراج گردید. در نهایت مدل NEAT بر روی دمای هوای استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای اعمال گردیده و دمای شبانه از حدود ساعت ۲۲:۳۰ شب تا ۷:۳۰ صبح در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای پیش‌بینی شده است. جهت ارزیابی، داده‌های ۶۸ ایستگاه شبکه AEMN در این دو بازه زمانی مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت مقادیر RMSE و تغییرات پارامترهای دقت کلی و دقت کاربر در مورد پیش‌بینی سرمازدگی در طول شب مورد بررسی قرار گرفت. مقدار RMSE کل برای تعداد ۱۳۸۴۰ داده، ۲/۵ درجه بدست آمد. پارامتر RMSE از لحظه گذر تا ۶ ساعت پس از آن، دارای روند افزایشی می‌باشد و با دور شدن از لحظه گذر از ۰/۱ تا ۲/۵ درجه سلسیوس تغییر می‌کند. نتایج حاصل می‌تواند تا حد زیادی در شناسایی و پیش‌بینی مناطق در خطر سرمازدگی مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: دمای هوا، سرمازدگی، کشاورزی، سنجنده مادیس، سنجش از دور.

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی دکتری گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (نویسنده مسئول) elah.khesali@gmail.com

۲- استاد مهندسی سنجش از دور مؤسسه آموزش عالی خاوران / دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی mohammadreza.mobasheri@khi.ac.ir

3- Near-surface Estimated Air Temperature (NEAT)

4- Automated Environmental Monitoring Network (AEMN; www.georgiaweather.net)

۱- مقدمه

تولیدات باغی در منطقه شمال شرق کشور و همچنین خطر پدیده یخبندان‌ها و سرماهای زودرس پاییزه و دیررس بهار به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر روی این مخاطره اقلیمی پرداختند.

بدین منظور با استفاده از مدل جهانی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 و مدل ریزمقیاس‌گردانی LARS-WG دماهای کمینه در دوره ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ پیش‌بینی گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد که دمای کمینه طی دوره مذکور بین ۱/۲ تا ۲/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت و سرما و یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهار در بیشتر مناطق دیرتر شروع و زوتر به پایان خواهد رسید.

دارایی و همکاران (۱۳۹۷) به شناسایی بهترین تابع توزیع احتمالاتی یخبندان‌های ایران طی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ پرداختند. پس از برازش توزیع‌های گوناگون، با استفاده از آزمون نکویی برازش آندرسن- دارلینگ بهترین توزیع انتخاب گردیده است. نتایج نشان داد که بیشتر ایستگاه‌ها از توزیع ویکی پیروی می‌کنند.

صلاحی و همکاران (۱۳۹۶) به پیش‌بینی یخبندان‌های متوسط و شدید سه ایستگاه کرمانشاه، سرپل‌ذهاب و کنگاور با استفاده از خروجی دو مدل HADCM3 و BCM2 پرداختند. با توجه به نتایج حاصل در سال‌های آتی از تعداد روزهای یخبندان متوسط و شدید این ایستگاه‌ها کاسته شده و روند دمایی این ایستگاه‌ها رو به افزایش خواهد گذاشت که نشانگر وقوع پدیده گرمایش جهانی در این منطقه می‌باشد.

روش‌های پیش‌بینی دمای حداقل (برای یک فاصله زمانی حداکثر ۲۴ ساعته)، برحسب نوع داده اولیه و روش به کار رفته، به دو دسته تقسیم می‌شوند: یک دسته روش‌های همدیدی که فقط توسط ایستگاه‌های همدید به کار می‌روند. دسته دیگر روش‌های محلی (آماري- تجربی) که بیشتر شامل قواعدی می‌باشند که می‌توان به وسیله آنها تغییرات آینده برخی از عوامل جوئی را بر اساس مقادیری که از ۱۲ تا ۲۴ ساعت قبل به دست آمده و با توجه به ویژگی‌های ناحیه مورد پیش‌بینی، برآورد کرد. از آنجایی که عوامل محلی

سرمازدگی یکی از مهمترین مخاطرات جوئی است که خسارات زیادی را به محصولات کشاورزی وارد می‌کند. یکی از راه‌های مدیریت و کاهش خسارت‌های ناشی از سرمازدگی، پیش‌بینی دمای کمینه است (سبزی‌پرور و خوشحال جهرمی، ۱۳۹۷). پدیده یخبندان و سرمازدگی بر روی تولیدات گیاهی و محصولات باغی و زراعی اثر مستقیم و غیر قابل انکاری دارد. این اتفاق علاوه بر از بین بردن محصول یک ساله کشاورز طی یک شب، از طریق اثرگذاری بر فعالیت‌های حیاتی و بیولوژیک گیاه، ممکن است محصول سال‌های بعدی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. حتی در مواردی در اثر سرمازدگی‌های شدید سرمایه کشاورز به کلی از دستش خارج می‌شود (مهدویان، ۱۳۷۸). در نتیجه پیش‌بینی به موقع این پدیده می‌تواند کشاورزان را در آمادگی برخورد با این پدیده طبیعی یاری نماید. از دیدگاه هواشناسی وقتی دمای هوا به کمتر از حد خاصی کاهش یابد، گیاهان حساس تحت تأثیر قرار گرفته، آسیب دیده و این آسیب باعث کاهش محصول آنها خواهد شد.

این حد آستانه برای محصولات و گیاهان مختلف متفاوت است. بنابراین بروز پدیده یخبندان و سرمازدگی اثرات مخربی بر اقتصاد بخش کشاورزی می‌گذارد (ملالی و رسولی، ۱۳۹۵). از طرف دیگر بروز این پدیده تنها بر بخش کشاورزی اثرات سوء نمی‌گذارد بلکه بر سایر بخش‌ها از جمله حمل و نقل، محیط زیست، منابع آب و غیره نیز تأثیرگذار است ولی تأثیر آن بر بخش کشاورزی به ویژه باغبانی ملموس‌تر می‌باشد (Snyder.L and Melo-Abreu.J, 2005).

پژوهش‌های انجام گرفته جهت پیش‌بینی سرمازدگی به دو دسته تقسیم می‌شوند. یک گروه پژوهش‌هایی که توسط اقلیم‌شناسان، هواشناسان و جغرافیدانان انجام شده و مبنای مدل‌های ارائه شده، داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشند و گروه دیگر، پژوهش‌هایی مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری که مبنای آنها داده‌های ماهواره‌ای می‌باشند. رضایی بنفشه درق و همکاران (۱۳۹۸) با توجه به اهمیت

ارتفاعی منطقه استخراج کردند، نشان دادند که چگونه ویژگی‌های فیزیکی منطقه جنوب آلتیپلانوی بلیوی می‌تواند در وقوع سرمازدگی مؤثر واقع شود. با توجه به همبستگی بالا بین دمای سطح شبانه مادیس و دمای حداقل هوا، مناطق سرمازده در ابتدا، اواسط و اواخر تابستان برای منطقه‌ای به مساحت ۴۵ هزار کیلومتر مربع با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با حد تفکیک مکانی یک کیلومتر ارائه شد. سپس با روش رگرسیون چند گانه<sup>۱</sup> (MR) و BRT<sup>۲</sup> به مدل‌سازی فیزیکی سرمازدگی پرداختند. پیش‌بینی‌کننده‌های فیزیکی شامل عرض جغرافیایی، ارتفاع، فاصله از دریاچه‌های نمکی، تابش فرودی بالقوه، همگرایی توپوگرافیکی و تندی شیب می‌باشد. تأثیر تابش فرودی در طول روز احتمال بروز سرمازدگی اینکه گرم شدن زمین در طول روز احتمال بروز سرمازدگی در شب را کاهش می‌دهد مورد ارزیابی قرار گرفت. بسته به طول روز و حوزه واسنجی مدل BRT، ۷۴ تا ۹۰ درصد بروز سرمازدگی را پیش‌بینی نمود و عملکرد بهتری نسبت به مدل MR داشت. مدل BRT معکوس، امکان کاهش مقیاس نقشه‌های وقوع سرمازدگی تا حد تفکیک ۱۰۰ متر را فراهم می‌آورد. پوتیو و همکاران (۲۰۱۱) نرخ افت دمای کمینه نشان دهنده تغییرات فصلی و مقادیر میانگین بزرگ‌تر نسبت به دمای گزارش شده برای کوهستان‌ها می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد اعمال مدل BRT به صورت منطقه‌ای و زیر منطقه‌ای موفقیت آمیز بوده است (Pouteau et al, 2011). نقطه ضعف این مدل در عدم استفاده از سایر محصولات و پارامترهای جوی مادیس مانند فشار جزئی بخار آب و فشار هوا در مدل سازی می‌باشد که این امر باعث می‌شود مدل ارائه شده از جامعیت کافی برخوردار نباشد.

کوتیکوت و اونیور (۲۰۱۵) با همکاری گروه SERVIR<sup>۳</sup> با استفاده از دمای سطح زمین مادیس و یک مدل عددی پیش‌بینی هوا به پایش و پیش‌بینی سرمازدگی در شرق آفریقا پرداخته‌اند و نقشه نقاط بحرانی سرمازدگی را در منطقه

نقش اساسی در مقدار دمای حداقل شبانه‌روزی دارند و این عوامل در روش‌های همدیدی (به علت مقیاس نقشه‌ها) قابل رؤیت نمی‌باشند، بسیاری از محققین سعی نموده‌اند تا با گزینش برخی از پارامترهای دیدبانی شده هواشناسی و با کمک روش‌های آماری، اثر این عوامل را روی تغییر دمای یک محل منظور نمایند. بیشتر روش‌های آماری که برای پیش‌بینی دمای حداقل به کار می‌رود دارای شرایط محدود کننده‌ای مانند آسمان صاف، باد ملایم و صفر یا تغییرات کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد دما به علت جریان افقی هوا هستند.

برای پیش‌بینی دمای حداقل عمده‌تاً از روش‌های آماری (Lomme and Guilioni, 2004)، (Bhutyani et al, 2007) و (Kalma et al, 1992)، شبکه‌های عصبی (Bannayan and Hoogenboom, 2008) و (Anismov, 2001) و ساخت مدل‌های ریاضی مبتنی بر فیزیک محیط (Bolstad et al, 1998) استفاده شده است.

در زمینه‌ی پیش‌بینی سرمازدگی با استفاده از سنجش از دور پژوهش‌های زیادی انجام نشده و اکثر مدل‌هایی که به منظور پیش‌بینی سرمازدگی ارائه شده‌اند توسط اقلیم‌شناسان، جغرافی‌دانان و هواشناسان بوده است که اساس کار آنها مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد. با توجه به تعداد محدود ایستگاه‌های هواشناسی و نقطه‌ای بودن آنها، این پارامترها تنها در محدوده‌ی اطراف ایستگاه و آن هم با بافت و پوشش خاصی معتبر بوده و نمی‌توان آنها را به مناطق دورتر از ایستگاه تعمیم داد، زیرا منجر به عدم پیش‌بینی صحیح سرمازدگی می‌شود. از طرفی تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پیوستگی مکانی داده‌های آن (پیکسل-های مجاور)، کاربرد بهتری برای مطالعات ناحیه‌ای نسبت به داده‌های اخذ شده از ایستگاه‌های هواشناسی دارد (رحیمی خوب و همکاران، ۱۳۸۶). همین امر ضرورت استفاده از داده‌های سنجش از دوری در مدل‌های پیش‌بینی سرمازدگی را نشان می‌دهد.

پوتیو و همکاران (۲۰۱۱) ترکیب دمای سطح شبانه سنجنده مادیس و ویژگی‌های فیزیکی که از مدل رقومی

1- Multi Regression

2- Boosted Regression Trees

3- [www.nasa.gov/mission\\_pages/servir/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/servir/index.html)

نظر گرفتن همه عوامل، این مدل نمی‌تواند کاربرد جامعی داشته باشد و لازم است تا دیگر موارد مؤثر همچون آب قابل بارش، پوشش سطح، فشار هوا، دمای هوا، شاخص پایداری و موارد دیگر نیز در نظر گرفته شوند.

رحیمی خوب و همکاران (۱۳۸۶) به پیش‌بینی دمای هوای استان خوزستان بر اساس داده‌های بدون تصحیح اتمسفری شده ماهواره نوا و مدل شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. برای این منظور، مدل‌های مختلف شبکه عصبی، حاصل از ترکیب‌های مختلف چهار باند ماهواره نوا و ۳ متغیر جغرافیایی به عنوان ورودی‌های مدل ساخته شدند و بهترین مدل انتخاب شد. نتایج نشان داد، شبکه عصبی با ساختار ۶ نرون در لایه ورودی (شامل ۴ باند ماهواره نوا، روز شمار سال و ارتفاع زمین) و ۱۹ نرون در لایه پنهان بهترین مدل می‌باشد. در این ساختار حدود ۹۱/۴ درصد نتایج در محدوده دقت ۳ درجه سلسیوس واقع شدند و معیار ضریب همبستگی، RMSE و MBE به ترتیب ۰/۶۲، ۱/۷ درجه سانتی‌گراد و ۰/۰۱- درجه سانتی‌گراد می‌باشند. این مدل تنها با استفاده از ترکیب‌های باندی به پیش‌بینی دمای هوا می‌پردازد اما در بروز سرمازدگی عوامل دیگری نیز مؤثر هستند که باید در نظر گرفته شوند (هلالی و رسولی، ۱۳۹۵).

تیت و ژنگ (۲۰۰۳) نقشه‌های زمان آغاز و خاتمه سرمازدگی، طول دوره بدون سرمازدگی و تعداد روزهای سرمازدگی در بهار را در منطقه اتاگو کشور نیوزیلند با استفاده از ترکیب باند ۵ سنجنده AVHRR (دمای درخشندگی) و شاخص NDVI تولید کردند. آنها نشان دادند که بهترین مدل برای تخمین متغیرهای بروز سرمازدگی، یک مدل خطی با تخمین شبه احتمال می‌باشد. نقشه‌های تولیدی نشان دادند که با افزایش فاصله از رودخانه‌ها، سرمازدگی در پاییز زودتر و در بهار دیرتر اتفاق می‌افتد. سرمازدگی در ارتفاعات کوهستانی که دمای هوا سردتر می‌باشد و در حوضه رودخانه‌ها در مقایسه با اطراف ناهمواری‌ها بیشتر اتفاق می‌افتد. آنها در این مدل تنها به بررسی سرمازدگی‌هایی

Aberdare کنیا تهیه کردند. چای و قهوه از محصولات مهم کشاورزی در شرق آفریقا هستند که زندگی ۴ میلیون نفر را تأمین می‌کنند. سرمازدگی یکی از مهمترین خسارات وارده به این محصولات می‌باشد و کشاورزان سیستم هشدار دهنده پیشرفته‌ای ندارند. SERVIR یک سیستم نقشه اتوماتیک و شبه آنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای دمای سطح زمین و داده‌های میدانی ایجاد کرده است. این سیستم نقشه‌هایی تولید می‌کند که مناطقی با ریسک بالای سرمازدگی را با یک حد آستانه که میزان آن با راهنمایی گرفتن از متخصصان چای در کنیا و سرویس هواشناسی کنیا انتخاب شده است، معرفی می‌کند.

این سیستم به محصولات سنجنده مادیس بستگی دارد. RCMRD یک ایستگاه دریافت مادیس ایجاد کرده است. با هشدار پیش از وقوع سرمازدگی، کشاورزان می‌توانند اقدامات پیشگیری‌کننده مانند آبیاری مزارع را جهت کاهش خسارات وارده انجام دهند (Adams et al, 2017). همچنین روند وقوع دمای حداقل در منطقه را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار دادند. دماهای حداقل با استفاده از محصول دمای سطح زمین مادیس و نرم افزار ENVI استخراج شده و بر اساس آن با استفاده از درخت تصمیم‌گیری، سرمازدگی به سرمازدگی خیلی شدید ( $K < 250$ )، سرمازدگی شدید ( $K < 260-270$ )، سرمازدگی متوسط ( $K < 270-280$ )، سرمازدگی خفیف ( $K < 280-290$ ) و بدون سرمازدگی ( $K > 290$ ) دسته‌بندی شد.

ارتفاع، تحدب سطح و بارندگی بالا، معیارهایی هستند که در بروز سرمازدگی مؤثر شناخته شدند. بررسی سری زمانی وقوع دمای حداقل در ماه‌های آوریل، می، جولای، آگوست و نوامبر نشان دهنده وجود الگویی منظم در وقوع دمای حداقل می‌باشد (Kotikot et al, 2018). از نقاط ضعف این روش می‌توان به این مورد اشاره نمود که تنها از محصول دمای سطح مادیس استفاده شده است و پوشش و گسیل‌مندی سطح که از موارد مهم و مؤثر در سرمازدگی هستند، در مدل‌سازی استفاده نشده است. بنابراین بدون در

## ۲- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای، جهت استخراج پارامترهای جوی استفاده شده است. از جمله داده‌های تهیه شده، تصاویر سطح 1B و فرآورده‌های L2، دمای سطح زمین (MYD11 و MOD11)، شاخص پایداری هوا (MOD07 و MYD07)، آب قابل بارش کلی جو (MOD05 و MYD05) و شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار شده (MOD13) تصاویر سنجنده مادیس مستقر بر سکوه‌های ترا و آکوا می‌باشد که از طریق وب سایت مادیس<sup>۱</sup> دانلود و پس از انجام تصحیحات لازم و زمین مرجع نمودن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

منطقه مورد مطالعه ایالت جورجیا واقع در جنوب آمریکا می‌باشد. این منطقه دارای مساحت ۱۵۴۰۷۷ کیلومتر مربع بوده و در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۸۱ درجه تا ۸۵ درجه و ۵۳ دقیقه غربی واقع شده است. این منطقه در سال ۲۰۱۲ دارای بیش از ۲۶۰۰ مزرعه و ۱/۳ میلیون هکتار زمین زیر کشت بود.

ایستگاه‌های هواشناسی شبکه AEMN در مناطق مختلفی از منطقه جورجیا با پوشش‌های متنوع شامل زمین کشاورزی، جنگل، مناطق شهری و ساحلی واقع شده‌اند. این ایستگاه‌ها در حدود ۲۵-۳۵ کیلومتر از هم فاصله دارند.

اندازه‌گیری‌های این ایستگاه‌ها شامل پارامترهای دمای هوا، رطوبت نسبی، دمای خاک، رطوبت خاک، فشار سطح و سایر پارامترهای سطح در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای می‌باشد (Hoogenboom, 2000, 2005). علت انتخاب این منطقه وجود داده‌های قابل اطمینان می‌باشد. البته روش تحقیق بگونه‌ای است که از نتایج آن می‌توان در هر نقطه‌ای از دنیا استفاده نمود.

در این تحقیق داده‌های ۱۰ ایستگاه از شبکه AEMN از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ از طریق مکاتبه با دانشگاه جورجیا آمریکا جهت مدل‌سازی تهیه شده است. مشخصات ایستگاه‌های انتخاب شده جهت مدل‌سازی NEAT و ارزیابی آن در

رخ داده است پرداخته‌اند و مدلی جامع جهت پیش‌بینی سرمازدگی ارائه نداده‌اند.

سیمونس و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین شبانه سنجنده اکوا مادیس و مقایسه آن با داده‌های هواشناسی سه ماه ژوئن، ژوئیه و آگوست سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ سه ایستگاه هواشناسی در برزیل به این نتیجه رسیدند که در مناطقی که دمای سطح زمین مادیس به زیر ۳ درجه سلسیوس می‌رسد می‌تواند بر وقوع سرمازدگی دلالت داشته باشد.

در این مدل تنها از پارامتر دمای سطح زمین استفاده شده است و سایر پارامترهای مؤثر در دمای هوا در نظر گرفته نشده است.

دیداری و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین روزانه و شبانه سنجنده مادیس مستقر بر سکوه‌های آکوا و ترا، NDVI و ارتفاع با یک مدل خطی به تخمین دمای سطح کمینه در سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ در استان فارس پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از دمای شبانه روز قبل در این مدل، بهترین دقت را در پی دارد. دقت پیش‌بینی دمای کمینه در این روش ۳/۰۷ درجه سلسیوس می‌باشد. این مقدار در فصل زمستان به ۳/۵۵ درجه سلسیوس می‌رسد.

این نوشتار اهمیت و نقش داده‌های ماهواره‌ای در تهیه نقشه‌های خطرپذیری سرمازدگی را نشان می‌دهد. همچنین در این نوشتار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس و مدل NEAT به پیش‌بینی دمای هوای شبانه پرداخته شده است.

بدیهی است که هر قدر پیش‌بینی دمای هوا با دقت بالاتری صورت پذیرد، پیش‌بینی سرمازدگی دقیق‌تر و پیشگیری از خسارات آن نیز بهتر صورت خواهد گرفت. هدف اصلی این تحقیق پیش‌بینی دمای هوا می‌باشد که می‌تواند در پیش‌بینی سرمازدگی کاربرد داشته باشد. لذا کاربر باید با توجه به نوع محصول مورد نظر و آستانه تحمل آن، با توجه به دمای هوای پیش‌بینی شده به پیش‌بینی شرایط سرمازدگی بپردازد.

### ۳- روش پژوهش

- روند انجام این پژوهش شامل مراحل زیر است:
- انتخاب منطقه مطالعاتی، جمع آوری داده‌های دمای هوای ایستگاه‌های هواشناسی شبکه AEMN،
  - تولید مجدد ضرائب مدل NEAT با داده‌های AEMN
  - ارزیابی مدل NEAT با داده‌های AEMN
  - دریافت و آماده سازی محصولات سنجنده مادیس و محاسبه دمای هوا در لحظه گذر ماهواره‌های آکوا و ترا،
  - اعمال مدل NEAT بر روی تصاویر
  - پهنه‌بندی سرمزدگی با استفاده از دماهای استخراج شده در طول شب
  - ارزیابی دقت پیش بینی سرمزدگی
- این مراحل در نگاره ۲ به صورت روند نما نمایش داده شده است.

### ۳-۱- مدل NEAT

خصالی و مباحثی (۲۰۱۹)، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی برای ساعات مختلف، معادلات

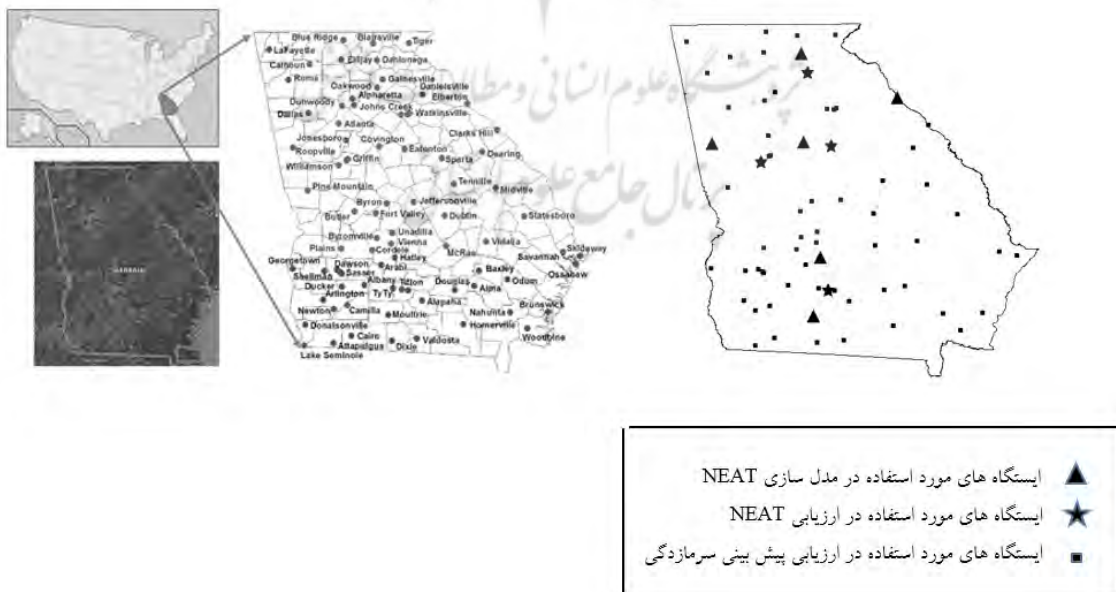
جدول ۱ ارائه شده‌اند. همچنین جهت ارزیابی پیش بینی سرمزدگی با استفاده از تصاویر مادیس، داده‌های هواشناسی مربوط به دو دوره زمانی وقوع سرمزدگی، در ۶۸ ایستگاه از شبکه AEMN با همکاری خانم دکتر Pam N Knox از دانشگاه جورجیا تهیه شده است.

جدول ۱: لیست ایستگاه‌های انتخابی برای مدل سازی و

ارزیابی مدل NEAT

ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ایستگاه	
۲۱۴	۸۳/۸۴ W	۳۳/۴۳ N	Covington	مدل سازی
۲۶۶	۸۵/۰۵ W	۳۳/۴۲ N	Roopville	
۵۱۲	۸۳/۸۷ W	۳۴/۶۱ N	Dahlonega	
۱۳۴	۸۳/۶۲ W	۳۱/۹۲ N	Hatley	
۹۱	۸۳/۷۱ W	۳۱/۱۴ N	Moultrie	
۱۴۵	۸۲/۶۰ W	۳۴/۰۲ N	Elberton	
۳۲۷	۸۳/۷۹ W	۳۴/۳۵ N	Gainesville	ارزیابی
۱۱۸	۸۴/۴۱ W	۳۱/۴۹ N	Tifton	
۲۶۵	۸۴/۴۱ W	۳۳/۱۸ N	Williamson	
۱۶۴	۸۳/۴۸ W	۳۳/۳۹ N	Eatonton	

در نگاره ۱، پراکندگی ایستگاه‌های شبکه AEMN و ایستگاه‌های انتخابی جهت مدل سازی و ارزیابی مشخص شده‌اند.



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه

کشاورزی طراحی شده‌اند. این ایستگاه‌ها با دقت بسیار بالا و در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای به برداشت پارامترهای مختلف هواشناسی می‌پردازند. بنابراین برای افزایش دقت مدل NEAT ضرائب آن با استفاده از داده‌های AEMN برای لحظه گذر ماهواره‌های آکوا و ترا محاسبه شده‌اند. ماهواره ترا در حدود ساعت ۲۲:۳۰ و آکوا در حدود ساعت ۱:۳۰ بامداد به وقت محلی از منطقه جورجیا گذر دارند. بنابراین ضرائب مدل NEAT یک بار از لحظه گذر ترا تا لحظه گذر آکوا و بار دیگر از لحظه گذر آکوا تا ساعت ۷:۳۰ صبح محاسبه شده‌اند.

شایع‌ترین نوع یخبندان، یخبندان تابشی می‌باشد. یخبندان تابشی بنا به ماهیت خود تحت شرایط هوای پایدار و آسمان صاف رخ می‌دهد.

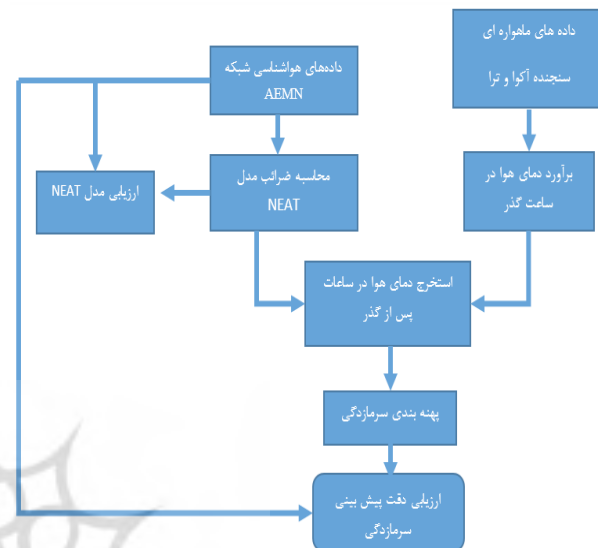
از ویژگی‌های بارز یخبندان تابشی می‌توان به آسمانی صاف، هوایی بدون باد شدید، وارونگی دمایی، دمای نقطه شبنم پایین، دمای هوای زیر صفر درجه در شب و بالای صفر درجه سلسیوس در روز اشاره نمود (ملالی و رسولی، ۱۳۹۵). بنابراین در تحقیق حاضر از دمای شبانه جهت پیش‌بینی سرمازدگی استفاده شده است.

هر روز با توجه به لحظه گذر ماهواره‌های ترا و آکوا، از حدود ساعت ۲۲ شب تا ۷:۳۰ صبح می‌توان در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای با استفاده از مدل NEAT به پیش‌بینی دمای هوا پرداخت.

جهت ارزیابی توانایی مدل NEAT از داده‌های ۴ ایستگاه هواشناسی شبکه AEMN از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ استفاده شده است.

نمودار مقادیر RMSE به دست آمده برای بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای پس از لحظه گذر دو ماهواره آکوا و ترا، در نگاره ۳ نمایش داده شده است. همانطور که در این نگاره مشاهده می‌شود RMSE پس از لحظه گذر ترا تا ۴ ساعت بعد و پس از لحظه گذر آکوا تا ۵ ساعت بعد، در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای دارای سیر صعودی بوده و از زیر ۰/۵ درجه تا ۲/۵ درجه متغیر می‌باشد.

برونبایی دمای هوا از یک ساعت به ساعات بعد را بدست آورده و با نام Near-surface Estimated Air Temperature (NEAT) ارائه نمودند.



نگاره ۲: روند نمای پژوهش

در این روش با توجه به عدم وجود پیچیدگی در تغییرات دمای هوا در طول شب و در شرایط جو پایدار، از مدلی خطی جهت ایجاد ارتباط بین دمای هوا در یک زمان با دمای هوا در ساعات بعد استفاده شد. معادله مورد استفاده به صورت زیر در نظر گرفته شد.

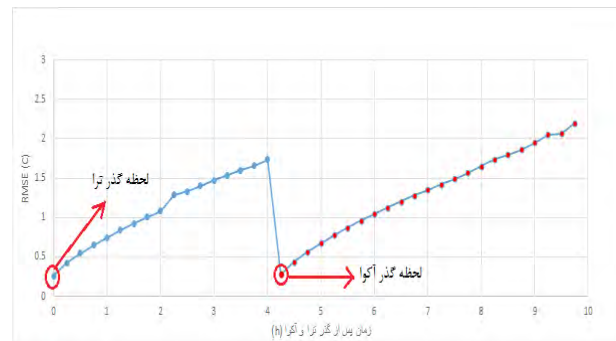
$$T_{H+n} = a_{TH} * T_H + b_{TH} \quad (1)$$

که در آن  $T_H$  دمای هوا در ساعت  $H$ ،  $T_{H+n}$  دمای هوا در ساعت  $H+n$ ،  $a_{TH}$  و  $b_{TH}$  ضرائب مدل در ساعت  $T_H$  می‌باشند.

بدین ترتیب ضرائب مدل NEAT با استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک تهیه شده از دانشگاه Wyoming آمریکا محاسبه گردیدند. این ایستگاه‌ها به طور معمول در اطراف فرودگاه‌ها استقرار یافته‌اند. همچنین داده‌ها در ایستگاه‌ها در بازه‌های یک ساعته برداشت و ثبت می‌شوند.

ایستگاه‌های هواشناسی شبکه AEMN در مجاورت کشت و صنعت‌ها به منظور استفاده در کاربردهای

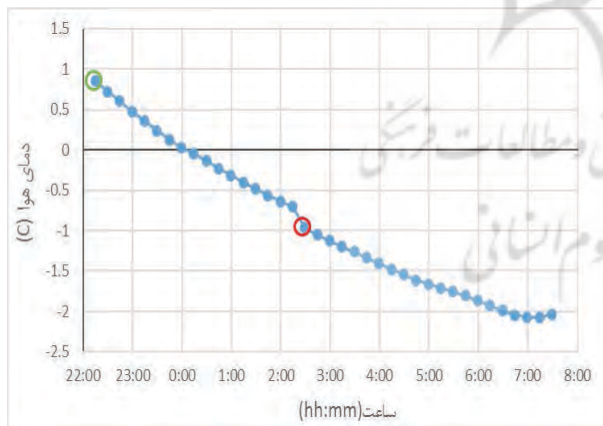
زیادی به محصولات کشاورزی در جنوب شرق آمریکا وارد آورده است (Prabha and Hoogenboom, 2008). در این دوبازه زمانی محصولات مادیس برای هر دو ماهواره ترا و آکوا دریافت و آماده سازی گردید. سپس با استفاده از مدل ارائه شده توسط قربانی و مباشری در سال ۱۳۹۳، دمای هوا از تصاویر برای لحظه گذر شبانه هر دو سنجنده استخراج شد.



نگاره ۳: مقادیر RMSE حاصل از ارزیابی مدل NEAT

#### ۴-۲- اعمال مدل NEAT

در این بخش با استفاده از ضرائب جدید محاسبه شده برای مدل NEAT، دمای هوا از لحظه گذر ترا تا لحظه گذر آکوا و از لحظه گذر آکوا تا ۷:۳۰ صبح به وقت محلی برون یابی گردید. بدین ترتیب برای هر تاریخ یک مجموعه تصویر تولید شد که از حدود ساعت ۱۰ شب تا ۷:۳۰ صبح در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای دمای هوا را پیش‌بینی می‌کند. نمونه‌ای از نمودار تغییرات دما در ساعات مختلف در طول شب برای تاریخ ۵ دسامبر ۲۰۰۶ در یک پیکسل درنگاره ۴ نمایش داده شده است. لحظه گذر ترا و آکوا به ترتیب با دایره سبز و قرمز نمایش داده شده است.



نگاره ۴: نمودار پیش‌بینی دمای هوا در طول شب از دو گذر آکوا و ترا

همانگونه که ملاحظه می‌شود در لحظه‌ای که دمای گذر ماهواره ترا با برون یابی به لحظه گذر آکوا نزدیک می‌گردد شکستگی کوچکی در نمودار ظاهر می‌شود که مربوط به

#### ۴-۲- مدل استخراج دمای هوا از تصاویر

در این تحقیق برای تخمین دمای هوا از تصاویر مادیس، از مدل ارائه شده توسط مباشری و همکاران در سال ۲۰۱۸ استفاده شده است. با در اختیار داشتن ضرائب این مدل و تصاویر ماهواره‌ای مادیس، می‌توان دمای هوا را برای محدوده‌های وسیع و مستقل از ایستگاه‌های هواشناسی بدست آورد (Mobasheri et al, 2018).

این مدل با دقت ۲/۳۳ درجه سانتیگراد و ضریب همبستگی ۰/۹۴ ارائه شده است. در این مدل، دمای سطح زمین (LST)، آب قابل بارش کلی (TPW)، شاخص پایداری LI و شاخص بهنجار شده پوشش گیاهی NDVI می‌باشند. این پارامترها از محصولات سنجنده مادیس استخراج شده‌اند.

$$T_{air} = 0.75 \times LST + 1.21 \times TPW - 0.06 \times LI + 6.98 \times NDVI - 3.47$$

مدل ارائه شده به دلیل این که توسط داده‌های هواشناسی واسنجی شده و دقت مناسبی دارد، به عنوان مدل انتخابی جهت استخراج دمای هوا از تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

#### ۴- پیاده سازی

##### ۴-۱- استخراج دمای هوا از تصاویر ماهواره ای

در این بخش جهت پیاده سازی مدل از تصاویر در دو بازه زمانی ۳-۹ دسامبر سال ۲۰۰۶ و ۳-۱۱ آوریل ۲۰۰۷ استفاده شده است. در این دوبازه، سرمازدگی، خسارات

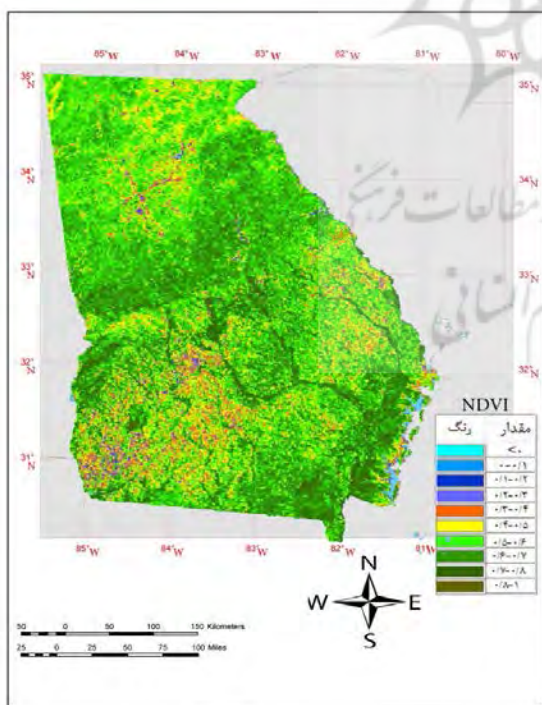


گیاهی منطقه و در نگاره ۷ نقشه پهنه‌بندی دمای هوا با رنگ‌های مختلف نمایش داده شده است. مساحت مناطق با دماهای مختلف در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: مساحت مناطق مختلف بر اساس میزان خطرپذیری

سرمازدگی

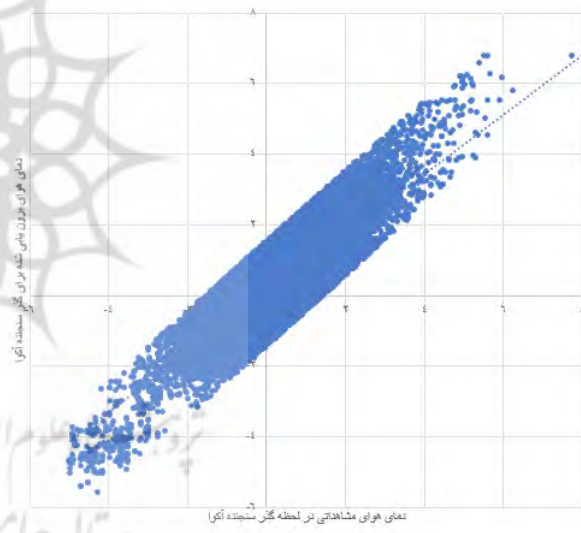
مساحت (کیلومتر مربع)	دمای هوا (C)
۰	$T < -8$
۱۲/۰۴۸	$-8 < T < -6$
۲۴۶/۴۴۱	$-6 < T < -4$
۴۱۳۴/۷۳۵	$-4 < T < -2$
۶۰۵۰۶/۲۳۵	$-2 < T < 0$
۵۴۱۹۲/۹۶۰	$0 < T < 2$
۱۳۹۸۴/۷۱۵	$2 < T < 4$
۲۳۲۸/۵۹۵	$4 < T < 6$
۷۳۹/۳۲۳	$6 < T < 8$
۳۸۷/۷۳۴	$8 < T < 10$
۱۳۲/۵۳۱	$(T > 10)$



نگاره ۶: تصویر شاخص NDVI

برآیند خطای مدل NEAT و خطای موجود در مدل برآورد دمای هوا از تصاویر می‌باشد. بررسی تغییرات دمای هوا و مشاهده روند نزولی آن می‌تواند به پیش‌بینی سرمازدگی و بروز دماهای زیر صفر درجه کمک کند.

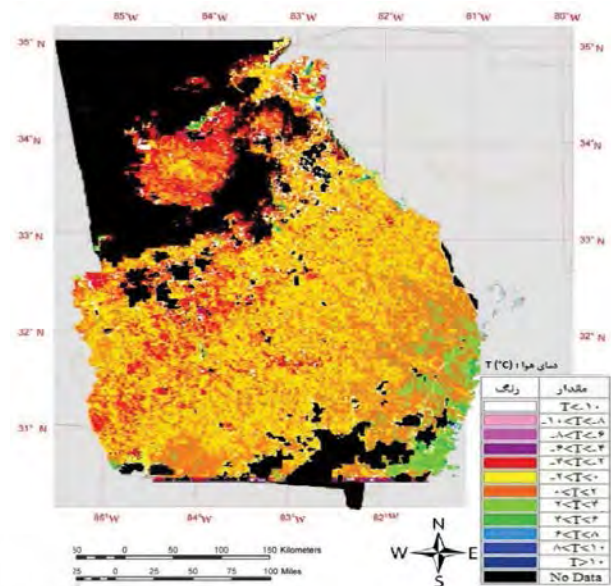
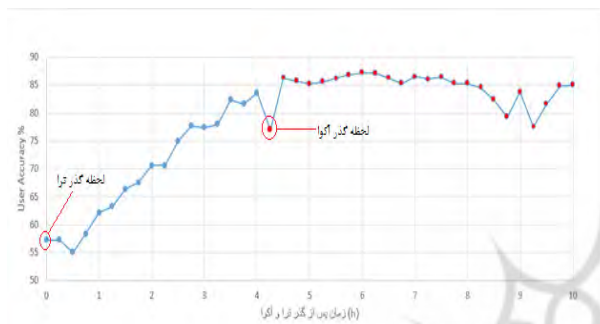
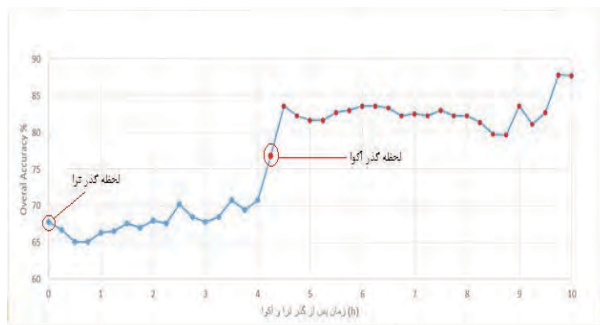
برای مقایسه همخوانی دمای هوای برون‌یابی شده برای لحظه گذر آکوا و دمای هوای مستخرج از سنجنده مستقر بر آکوا با یکدیگر، این دو دما برای یک تصویر و در تمامی پیکسل‌ها به صورت نمودار پراکنش در نگاره ۵ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که این نمودار برای تعداد ۳۵۶۷۰ داده دارای RMSE ۰/۷۰۷ بوده و بسیار نزدیک به خط ۴۵ درجه می‌باشد. بنابراین دمای برون‌یابی شده با دمای تصویری انطباق مناسبی دارد.



نگاره ۵: نمودار دمای هوای برون‌یابی شده برای لحظه گذر آکوا و دمای هوای محاسبه شده از لحظه گذر سنجنده آکوا

### ۳-۴- پهنه‌بندی سرمازدگی

حال در تصاویر استخراج شده به پهنه‌بندی دمای هوا پرداخته می‌شود. بدین ترتیب کاربر با توجه به دمای هوای پیش‌بینی شده و محصول مورد نظر خود می‌تواند به پیش‌بینی مناطق در خطر سرمازدگی بپردازد. در نگاره ۶ تصویری از شاخص NDVI جهت نمایش میزان پوشش



نگاره ۷: پهنه‌بندی دمای هوا در تاریخ ۵ دسامبر ۲۰۰۶  
 ساعت ۲:۱۵ بامداد

#### نگاره ۸: نمودار تغییرات پارامترهای دقت کلی و دقت کاربر با گذر زمان

برای انجام پیاده‌سازی‌ها در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی شبکه AEMN و پارامترهای دمای سطح، آب قابل بارش، شاخص پایداری و NDVI که از محصولات سنجنده مادیس مستقر بر سکوی آکوا و ترا هستند، استفاده شده است.

در این تحقیق ابتدا ضرائب مدل NEAT با استفاده از داده‌های ۱۰ ساله شبکه AEMN در ۶ ایستگاه، محاسبه شده است. سپس با استفاده از داده‌های ۴ ایستگاه دیگر از این شبکه، ارزیابی دقت مدل NEAT انجام شده است. استفاده از داده‌های شبکه AEMN به دلیل کیفیت بالاتر داده‌ها، سبب افزایش دقت مدل NEAT گردیده است. سپس از تصاویر ماهواره‌ای، دمای هوا استخراج شده و با استفاده از ضرایب مدل NEAT به ساعات بعد برون یابی شده است. در این تصاویر که مربوط به دو بازه زمانی سرمازدگی در ایالت جورجیا هستند، پهنه‌بندی دمای هوا انجام شده است. بدین ترتیب در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای از ساعت گذر ترا تا

#### ۵- ارزیابی نتایج

برای ارزیابی نتایج از داده‌های شبکه AEMN در ۶۸ ایستگاه استفاده شده است. بدین منظور مقادیر دمای هوای پیش‌بینی شده با دماهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها مقایسه شدند و پارامترهای RMSE، دقت کلی و دقت کاربر محاسبه گردیدند. این پارامترها به تفکیک و برای بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای محاسبه شده‌اند. نمودار تغییرات این پارامترها در نگاره ۸ ارائه شده است.

مقدار RMSE کل برای تمامی داده که ۱۳۸۴۰ عدد می‌باشد، ۲/۵ درجه برآورد شده است. این پارامتر از لحظه گذر ترا تا ۶ ساعت بعد دارای روند افزایشی می‌باشد و با دور شدن از لحظه گذر از ۰/۱ تا ۲/۵ درجه سلسیوس تغییر می‌کند.

#### ۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی جهت پیش‌بینی مناطق درخطر سرمازدگی استفاده شده است. این تصاویر از ایالت جورجیا واقع در جنوب شرق آمریکا در دو بازه زمانی سرمازدگی اخذ شده است.

و دیررس بهاره در شمال شرق کشور، نشریه جغرافیای طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۴۳، صفحه ۱ تا صفحه ۱۴.  
۴. سبزی‌پرور، ع.ا.، خوشحال جهرمی، ف.، (۱۳۹۷)، مقایسه عملکرد شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و مدل رگرسیونی لیناگر در پیش‌بینی کمینه دمای روز بعد، مجله ژئوفیزیک ایران، دوره ۱۲، شماره ۳؛ صفحه ۱۰۷ تا صفحه ۱۲۱.

۵. صلاحی، ب.، عالی جهان، م.، عینی، س.، درخشی، ج.، (۱۳۹۶)، پیش‌بینی تاریخ‌های شروع و پایان یخبندان‌های سبک و سنگین استان کرمانشاه بر اساس برون‌داد مدل‌های اقلیمی Bcm2 و Hadcm3 با بهره‌گیری از ریزگردان LARS-WG، دوره ۲۱، شماره ۵۹؛ صفحه ۱۷۵ تا صفحه ۱۹۵.

۶. قربانی، ع.، مباشری، م.ر.، (۱۳۹۳)، ارائه مدلی جهت استخراج دمای هوا در ارتفاع دو متری از تصاویر سنجنده MODIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۷. مهدویان، ع.، (۱۳۷۸)، پیش‌بینی محلی دمای حداقل شبانه روزی در منطقه کرج، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۸. هلالی، ج. و رسولی. م.، ۱۳۹۵. حفاظت گیاهان از سرمازدگی و یخبندان، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ اول.

9. Adams, E. C., Nyaga, J. W., Ellenburg, W. L., Limaye, A. S., Mugo, R. M., Flores Cordova, A. I., ... & Sedah, A. (2017). Designing a Frost Forecasting Service for Small Scale Tea Farmers in East Africa. In AGU Fall Meeting Abstracts.

10. Anismov O. (2001) Prediction pattern of near surface air temperature using empirical data. Climatic Change. 50:297-315.

11. Bannayan M., and Hoogenboom G. (2008). Daily weather sequence prediction realization using the non-parametric nearest-neighbor re-sampling technique. Int. J. Climatol. 28 (10), 1357-1368.

12. Bannayan M., and Hoogenboom G. (2008). Weather

۷:۳۰ صبح می‌توان نقشه‌ای از پهنه‌بندی دمای هوا داشت و به کمک آن به پیش‌بینی خطر سرمازدگی پرداخت. در نهایت جهت ارزیابی دقت، از داده‌های ۶۸ ایستگاه استفاده شده و پارامترهای ارزیابی دقت به تفکیک برای بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه پس از لحظه گذر محاسبه شده است.

به نظر می‌رسد که اگرچه دقت مناسب مدل ارائه شده در پیش‌بینی دماهای زیر صفر درجه با دورشدن از ساعت گذر کاهش می‌یابد ولی با توجه به هزینه‌بر بودن دسترسی به داده‌های با دقت بیشتر، این روش کارایی قابل قبولی در پیش‌بینی سرمازدگی را دارد.

## قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر خود از خانم دکتر Pam N Knox در بخش هواشناسی کشاورزی دانشگاه جورجیا برای در اختیار قرار دادن داده‌های هواشناسی شبکه AEMN و همچنین مراتب قدردانی خود را از مسئولین ماهواره‌های ترا و آکوا برای در اختیار قرار دادن رایگان تصاویر و محصولات سنجنده مادیس ابراز می‌نمایند.

## منابع و مآخذ

۱. دارایی، م.، محمود، پ.، ساری صراف، ب.، خورشیددوست، ع.م.، (۱۳۹۷)، تعیین تابع توزیع احتمالاتی یخبندان‌های ایران طی ۲۰۱۰-۱۹۸۱، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، دوره ۱۸، شماره ۵۰، صفحه ۱ تا صفحه ۱۵.

۲. رحیمی خوب، ع.، بهبهانی، م.ر.، نظری فر، م.ه.، (۱۳۸۶)، پیش‌بینی بیشینه دمای هوای استان خوزستان بر اساس داده‌های ماهواره نوا و مدل شبکه عصبی مصنوعی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره چهل و دوم (ب).

۳. رضایی بنفشه درق، م.، جهان بخش اصل، س.، خورشید دوست، ع.م.، علی محمدی، م.، (۱۳۹۸)، چشم انداز تغییرات زمانی و مکانی وقوع یخبندان‌ها و سرماهای زودرس پاییزه

21. Kotikot, S. M., Flores, A., Griffin, R. E., Sedah, A., Nyaga, J., Mugo, R., ... & Irwin, D. E. (2018). Mapping threats to agriculture in East Africa: Performance of MODIS derived LST for frost identification in Kenya's tea plantations. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 72, 131-139.
22. Lomme J.P., and Guilioni L. 2004. A simple model for minimum crop temperature forecasting during nocturnal cooling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 123 (1-2): 55-68.
23. Mobasheri, M.R, Khesali, E., Ghorbani, Alireza. (2018), An Attempt in Presenting a Model for Temperature Determination at Near Land Surface Using MODIS Images. 13th Symposium on Advances in Science and Technology.
24. Pouteau R., Rambal S., Ratte J.P., Goge F., Jore R., Winlel T. (2011). Downscaling MODIS-derived maps using GIS and boosted regression trees: the case of frost occurrence over the Arid Andean highlands of Bolivia. *Remote Sensing of Environment*, 115 (1): 117-129.
25. Prabha, T., & Hoogenboom, G. (2008). Evaluation of the Weather Research and Forecasting model for two frost events. *Computers and electronics in agriculture*, 64(2), 234-247.
26. Simões, D. D. S., Fontana, D. C., & Vicari, M. B. (2015). Use of LST images from MODIS/AQUA sensor as an indication of frost occurrence in RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(10), 920-925.
27. Snyder R.L., and Paulo de Melo-Abreu J. (2005). *Frost Protection: fundamental, practice and Economics*, Vol. 1, FAO.
28. Tait, A. and Zheng, X., (2003). Mapping frost occurrence using satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 42(2), pp.193-203.
- Analogue: A tool for lead time simulation of daily weather data based on modified K-nearest-neighbor approach. *Env. Modeling and Software* 23, 703-713.
13. Bhutiyani M.R., Kale V.S. and Pawar N.J. (2007). Long-term trends in maximum, minimum and mean annual air temperatures across the Northwestern Himalaya during the twentieth century. *Climatic Change*, 85:159-177.
14. Bolstad P.V., Swift L., Collins F. and Regniere J. (1998). Measured and predicted air temperatures at basin to regional scales in the southern Appalachian Mountains. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91:161-176.
15. Didari, S., Norouzi, H., Zand-Parsa, S., & Khanbilvardi, R. (2017). Estimation of daily minimum land surface air temperature using MODIS data in southern Iran. *Theoretical and applied climatology*, 130(3-4), 1149-1161.
16. Hoogenboom, G., (2000). The Georgia Automated Environmental Monitoring Network. In: Preprints of the Proceedings of the 24th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, August 14-19, 2000, Davis California, American Meteorol. Soc., Boston, MA.
17. Hoogenboom, G., (2005). The Georgia Automated Environmental Monitoring Network: experiences with the development of a state-wide automated weather station network. Proceedings of the 13th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation & 15th Conference on Applied Climatology, American Society of Meteorology, Boston, MA (Abstracts) ([www.ametsoc.org/meet/index.html](http://www.ametsoc.org/meet/index.html)).
18. Kalma J.D., Laughlin G.P., Caprio J.M., and Hamer P.J.C. 1992. *Advances in Bioclimatology*, 2. The Bioclimatology of Frost. Berlin: Springer-Verlag. 144p.
19. Khesali, E., Mobasheri, M.R., (2018), Air Temperature image production at different times from a satellite pass time using weather stations data. 13th Symposium on Advances in Science and Technology.
20. Kotikot, S.M. and Onywere, S.M., (2015). Application of GIS and remote sensing techniques in frost risk mapping for mitigating agricultural losses in the Aberdare ecosystem, Kenya. *Geocarto International*, 30(1), pp.104-121.