

Synoptic analysis of atmosphere North West of the country, the growing season / Case Study: precipitation of Severe hail (2009-1992)

Zahra Heydari Monfared¹  | Seysd Hossein Mirmousavi² 

1. Doctoral student of hydrology and meteorology, Zanjan University

2. Associate Professor / Faculty member of Zanjan University

Article Info:

Article type:

Research Article

history:

Received:

2022/12/4

Received:

2023/1/7

Accepted:

2022/2/24

Published:

2023/1/5

Keywords:

Synoptic analysis, hail,
Plant growth, the North
West of the country.

Abstract: Hail of the most dangerous natural phenomenon, which every year with the damage to crops is unsustainable cultivation practices. Therefore, the objective of this research is to comprehensively examine the temporal-spatial distribution and synoptic conditions of this destructive phenomenon for the sustainability of agriculture. For this purpose, the statistical data 18, 25 synoptic stations (1992-2009) in the plant growing season (April to September) and a selection of 10 cases of hail and heavy rainfall-data center NCEP / NCAR synoptic maps sea level, 850 and 500 hPa, cold wind, wet wind, omega, volubility and application environment Grads drawn on the job front. In addition of local factors such as topography of the study area, the results showed that hailing systems such as west winds have been effected the highest frequency of South-West, South and center of the study area. Located deep volatile due to extremely cold weather activities have latitude westerly winds North, Mediterranean and Black on the humidity, temperature difference between the surface (due to hot, humid Frarfthay at ground level) and high levels (with front cold) and ground-level air mass could have climbed the highest frequency of hail in the spring rainfall in April is the peak.

Cite this article: Heydari Monfared, Z, Mirmousavi, H (2023). Synoptic analysis of atmosphere North West of the country, the growing season / Case Study: precipitation of Severe hail (2009- 1992). *Climat Chenge and Climat Disasters*, 2(3), 142-169.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan





تحلیل هم‌دیدي جو منطقه شمال غرب کشور، در فصل رشد گیاهان

مطالعه موردی: بارش تگرگ شدید (۲۰۰۹-۱۹۹۲)

زهرا حیدری منفرد^۱ | سید حسین میرموسوی^۲

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۳

بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۵

انتشار: ۱۴۰۲/۳/۱۵

واژگان کلیدی:

تحلیل هم‌دیدي، تگرگ، رشد گیاه، شمال غرب، ایران

چکیده: پدیده تگرگ از مهم‌ترین مخاطره‌ی طبیعی است، که هر ساله با صدمات وارده به محصولات کشاورزی باعث ناپایداری فعالیت‌های کشت و کار شده است. بنابراین بررسی جامع در توزیع زمانی-مکانی و شرایط هم‌دیدي این پدیده‌ی مخرب برای پایداری کشاورزی، هدف تحقیق حاضر می‌باشد. برای این منظور از داده‌های آماری ۱۸ ساله، ۲۵ ایستگاه سینوپتیکی منطقه (۲۰۰۹-۱۹۹۲) در فصل رشد گیاه (ماه‌های آوریل تا سپتامبر) استفاده و با انتخاب ۱۰ نمونه از بارش‌های شدید تگرگ و نیز داده‌های مرکز NCEP/NCAR نقشه‌های هم‌دیدي تراز دریا، ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و زرش سرد، و زرش رطوبتی، آمگا، چرخندگی و جبهه‌زایی در محیط نرم افزار Grads ترسیم شده است. در حاکتر بودن فراوانی وقوع در نواحی جنوب غرب، جنوب و مرکز منطقه علاوه بر عوامل محلی چون توپوگرافی آن‌ها (با ارتفاع زیاد از سطح دریا)، محل ورود سیستم‌های بارش‌زا مانند بادهای غربی نقش مؤثری داشته است. فرارگیری فرودهای عمیق ناشی از فعالیت‌های بادهای غربی دارای هوای بسیار سرد عرض‌های شمالی، رطوبت دریای مدیترانه و سیاه بر روی منطقه، اختلاف دمای شدید بین سطح زمین (ناشی از فرارفت‌های هوای گرم و مرطوب در سطح زمین) و ترازهای بالا (همراه با جبهه‌های سرد) و صعود توده هوای سطح زمین منجر گشته که بیش‌ترین فراوانی وقوع تگرگ در فصل بهار با اوج بارش در آوریل باشد.

استناد: حیدری منفرد، زهرا، میرموسوی، سیدحسین (۱۴۰۲). تحلیل هم‌دیدي جو منطقه شمال غرب کشور، در فصل رشد گیاهان مطالعه موردی:

بارش تگرگ شدید (۲۰۰۹-۱۹۹۲). دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۳(۳)، ۱۴۲-۱۶۹

© نویسندگان .

ناشر: دانشگاه زنجان.

Homepage: cccd.znu.ac.ir



مقدمه

مخاطرات طبیعی^۱ تأثیرات ناگهانی و بسیار مخرب برای موجودات زنده به وجود می‌آورند و باعث ایجاد خسارت‌های جانی و مالی زیادی می‌شوند. این مخاطرات همواره بخشی از تاریخ حیات انسان بوده است. تاکنون حدود ۴۳ نوع مخاطره‌ی طبیعی با ۹۰ درصد منشأ اقلیمی شناخته شده است. در کشور ایران نیز ۹۰ تا ۹۵ درصد از این مخاطرات منشأ آب و هوایی دارند، که از این تعداد می‌توان به توفان‌های تندر^۲ و توفان‌های تگرگ^۳ اشاره داشت (شایان و دارند، ۱۳۸۷: ۱۲). مشخصاً بروز و تشدید پدیده‌های حدی نتیجه تغییراتی غیر قابل اغماض در اقلیم است. که این برهم خوردن تعادل سیستماتیک سامانه اقلیم باعث بروز آشفتگی‌ها و ناهنجاری‌های رفتاری شده است که بیش‌ترین آثار آن بر محیط‌های طبیعی و به خصوص گیاهان که دارای قدرت و سرعت کم سازگاری هستند، می‌باشد (اسماعیلی و همکان، ۱۳۹۰: ۳۵). توفان‌های تندر یکی از جلوه‌های خشن طبیعت است که

می‌تواند برای ساکنین روی زمین خطرناک باشد که خصوصیات بارز آن به مانند باد شدید، تگرگ تماماً حاصل ایجاد یک سلول همرفتی^۴ بزرگ در جو است (علیزاده و همکاران، ۱۳۷۹: ۱۴۵). در توفان‌های تگرگ نیز که بخشی از توفان‌های تندر می‌باشند، ابر به اندازه کافی بالای سطح یخبندان رشد کرده و می‌تواند ذرات یخ را تولید کند. همرفت و حرکات بالا رونده در این توفان‌ها به قدری قوی است که می‌تواند این ذرات را با خود حمل کرده و نگهدارد تا این که به اندازه یک دانه تگرگ رشد کرده و سرانجام سقوط کنند. بارش تگرگ گاهی اوقات کاملاً غیر عادی بوده و در مواردی خسارات جدی را نیز به همراه دارد. زیان‌های ناشی از تگرگ از زیان‌های ناشی از گردبادها و توفان‌ها نیز بیش‌تر است (سیف، ۱۳۷۵: ۱۸۹). مهم‌ترین تأثیر نامطلوب تگرگ آسیب رسانی آن بر محصولات کشاورزی می‌باشد. در نتیجه به منظور برنامه ریزی و ارائه راهکارهایی جهت مقابله و کاهش خطرات تگرگ به عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که

1-Natural Hazards

2-Thunder storms

3-Hail storms

4-Convection Cell

نهایتاً فراهم گشتن شرایط توسعه پایدار در آن خواهد گردید. در زمینه پدیده تگرگ و تأثیر آن بر محصولات کشاورزی تحقیقات زیادی صورت پذیرفته شده است. هاف و چانگنون^۱ (۱۹۵۹)، به بررسی کلیماتولوژی بارش تگرگ الینویز با استفاده از داده‌های راداری و نقشه‌های سطحی و جو بالا و نیز همبستگی بین صدمات تگرگ به محصولات کشاورزی، پرداخته‌اند. فریزبای^۲ (۱۹۶۲)، به بررسی الگوهای آسیب ناشی از تگرگ در دشت‌های بزرگ ایالات متحده آمریکا طی دوره ۱۰ ساله (۱۹۶۰-۱۹۵۱) به وسیله نقشه‌های سینوپتیکی پرداخته است. نتیجه این تحقیق نشان داده است که سرعت حرکت سیستم‌های سینوپتیک تأثیر قابل توجهی بر میزان و درجه خسارات ناشی از تگرگ در زمین دارد. هم چنین فریزبای (۱۹۶۳)، در تحقیق دیگری نیز توفان‌های تگرگ دشت‌های عظیم ایالات متحده آمریکا را با استفاده از ثبت اطلاعات بیمه تگرگ بررسی کرده و مسیر تخریب تگرگ را به وسیله ادعاهای بیمه تگرگ ترسیم نموده است. چانگنون^۳ (۱۹۶۷)، تغییرات ناحیه‌ای-

پس از وقوع انقلاب صنعتی در اروپا و با درک عواقب بعدی آن، توسط بشر پی برده شد، ارتباط همه جانبه و مستقیم عوامل محیطی و اکولوژیکی با فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی انسان می‌باشد. لزوم توجه به این ارتباط بود که کم کم موضوع توسعه پایدار یا بهینه کشاورزی ایجاد گردید. شناخت پارامترهای آب و هوایی و اثر آن‌ها روی گیاهان زراعی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش عملکرد و به تبع آن بالا بردن تولید می‌باشد و این موضوع به ویژه در شرایط کشاورزی دیم از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. با توجه به استراتژیک بودن برخی از محصولات مثل گندم (مهم‌ترین محصول زراعی کشور) و نقش بارز آن در تغذیه‌ی انسانی، اگر بتوان با توجه به نیازمندی‌های حرارتی و رطوبتی این محصول، مناطق مساعد کشت این نوع محصولات و محدودیت‌ها یا توانمندی‌هایی که اقلیم در محیط ایجاد کرده را شناسایی کرد، عملاً می‌توان به عملکرد بیش‌تری در واحد سطح دست یافت که خود سبب بهبود شرایط اقتصاد کشاورزی و سطح درآمد کشور و

3-Changnon

1-Huff & Changnon

2-Frisby

زمانی شدت تگرگ در الینویز را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده که فراوانی تگرگ شدید در فصل برداشت محصول (ماه اکتبر) با گذشت زمان افزایش می‌یابد و در ماه سپتامبر به حداکثر شدت خود می‌رسد. همچنین چانگنون (۱۹۸۴)، به منظور برآورد میزان خسارات تگرگ با استفاده از داده‌های روزانه تگرگ طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۸۰-۱۹۶۱)، تغییرات زمانی و مکانی این پدیده را در دشت‌های عظیم شرق کوه‌های راکي امریکا و کانادا و منطقه میدوست غرب بررسی نموده است. نتایج نشان داده که مناطق با احتمال بالای وقوع تگرگ، مرتبط با مناطق وقوع مکرر جبهه‌ها و ویژگی‌های عمده توپوگرافی بوده است. هم چنین فراوانی تگرگ به صورت سالانه و در ماه جولای (به صورت پراکنده اما پیوسته) از سال ۱۹۰۱ تا ۱۹۸۰ در داکاتا^۱، نبراسکا و مینه سوتا^۲ افزایش یافته است و در سال‌های اخیر (۱۹۸۰-۱۹۶۱) به اوج خود رسیده که منجر به خسارت زیاد به محصولات شده است. تووی نن و همکاران^۳ (۲۰۰۹)،

در تحقیقی به منظور بررسی اقلیم تگرگ شدید در فنلاند طی فصل گرم (۱ می تا ۱۴ سپتامبر) با یک دوره ۷۷ ساله (۲۰۰۶-۱۹۳۰)، در مجموع به ۲۴۵ موارد تگرگ شدید اشاره نموده است. این تحقیق نشان داده که بسیاری از موارد تگرگ شدید (۸۴٪) از اواخر ماه ژوئن الی اوایل ماه اوت رخ داده و اوج وقوع این پدیده در ماه جولای بوده است. زی و همکاران^۴ (۲۰۱۰)، به منظور بررسی اقلیم و روند بلند مدت اندازه تگرگ در چهار منطقه از چین برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۰، اندازه و فراوانی توفان‌های شدید تگرگ را مورد تجزیه و تحلیل خود قرار داده و چنین نتایجی را بیان داشته‌اند که اکثر این توفان‌ها از فوریه تا ژوئن رخ می‌دهد. سلیمی و همکاران^۵ (۲۰۱۴)، در بررسی آسیب‌های ناشی از بارش تگرگ در استان ایلام مخصوصاً در بخش کشاورزی با استفاده از تحلیل‌های سینوپتیکی و نرم افزارهای Gis و Grads بیان داشته‌اند که ایلام یکی از هسته‌های بارشی تگرگ در ایران می‌باشد. همچنین ورود هوای سرد از

4-Xie, et al

5-Salimi, et al

1-Dakotas

2- Minnesota

3-Tuovinen, et al

عرض‌های جغرافیایی بالا با رطوبت و شرایط سینوپتیکی در سطح زمین از علت‌های وقوع این پدیده مضر هستند. هاشمی (۱۳۵۱)، به بررسی صدمات بارش تگرگ بر محصولات کشاورزی پرداخته و به این نتیجه رسیده که می‌توان با استفاده از فن آوری‌های جدید و تدابیر هواشناسی کشاورزی و اتخاذ روش‌های مختلف تگرگ‌زدایی، به امر کاهش خسارات ناشی از این پدیده اقدام نمود. خوشحال دستجردی و قویدل رحیمی (۱۳۸۶)، در شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران با استفاده از روش‌های تعیین همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن، طبقه‌بندی ماهانه وقوع توفان‌های تندری را انجام داده و در مقیاس زمانی ماهانه، ماه می و در بازه‌ی فصلی، فصل بهار را دارای بیش‌ترین فراوانی وقوع توفان‌های تندری دانسته‌اند. جدیدی و همکاران (۱۳۹۰)، در ارائه یک دیدگاه کلی از وضعیت پراکندگی و فراوانی وقوع تگرگ با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های پراکندگی و پهنه بندی تگرگ استان آذربایجان غربی را ارائه نموده و به نتایجی این چنین

رسیده‌اند، که فصل بهار بیش‌ترین فراوانی وقوع پدیده تگرگ را در سطح استان داشته و فصل تابستان کم‌ترین فراوانی را دارا می‌باشد. فرج زاده و مصطفی پور (۱۳۹۱)، در بررسی توزیع زمانی- مکانی بارش تگرگ در ایران با استفاده از داده‌های آماری ۶۷ ایستگاه سینوپتیک کشور طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶، کانون‌های اصلی رخداد این پدیده را بیش‌تر در غرب و شمال غرب کشور در ماه‌های مارس و آوریل و فصل بهار معرفی نموده‌اند. امیدوار و همکاران (۱۳۹۲)، به منظور بررسی و تحلیل سینوپتیکی سه رخداد تگرگ شدید در استان فارس از داده‌های روزانه‌ی بارش تگرگ ۱۴ ایستگاه سینوپتیکی استان در یک دوره آماری ۴ ساله (۱۳۸۸-۱۳۸۵)، داده‌های مرکز NCEP/NCAR و داده‌های جو بالای ایستگاه شیراز بهره برده و بیان نموده‌اند که ریزش تگرگ در فروردین ماه و ناشی از تشکیل و تقویت کم‌فشار بریده (سردچال) در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و ایجاد کم‌فشار و ناپایداری در سطح دریا بوده است. آنچه که از تحقیقات انجام شده بر می‌آید، اهمیت و ضرورت شناخت

پدیده تگرگ به دلیل پتانسیل بالای آسیب رسانی آن به زندگی انسانی بوده و نتیجه این بررسی ها نشان دهنده اهمیت و تأثیرگذاری شرایط اتمسفری جو بالا و نیز ویژگی های محلی مناطق تگرگ زا می باشد. از آنجایی که شمال غرب یکی از مکان های تگرگ خیز ایران است، همواره مورد توجه محققین بسیاری بوده است. با توجه به این نکته که این منطقه جزء یکی از قطب های مهم کشاورزی کشور محسوب می شود، انجام تحقیقی دقیق به منظور شناخت و آگاهی از شرایط و عوامل مؤثر در وقوع پدیده تگرگ منطقه، امری بس ضروری و لازم به شمار می آید. تا با بهره گیری از نتایج به دست آمده از این تحقیق زمینه مناسب جهت برنامه ریزی های دقیق برای کاهش خسارات ناشی از آن و نهایتاً رسیدن به کشاورزی پایدار فراهم گردد.

۱. داده ها و روش ها

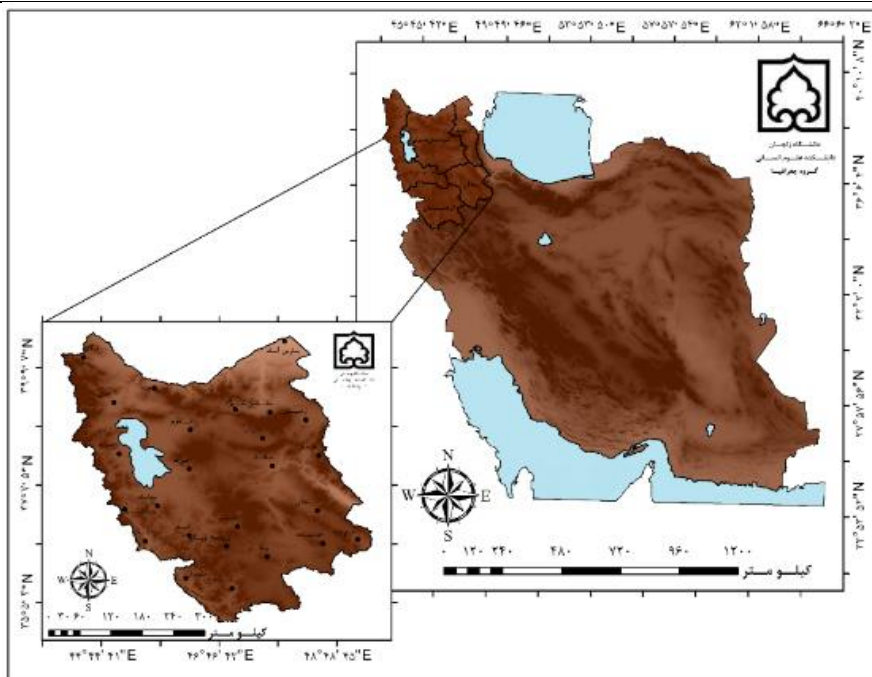
داده های جوی لازم برای این پژوهش از پایگاه داده های NCEP/NCAR و آمار مربوط به بارش تگرگ در ۲۵ ایستگاه های هواشناسی سینوپتیک منطقه شمال غرب (شکل ۱)، با فاصله

زمانی ۳ ساعته در دوره آماری (۲۰۰۹-۱۹۹۲)، از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. همچنین کدهای شماره (۲۷، ۸۷-۹۰، ۹۳، ۹۴، ۹۶ و ۹۹) از بین ۱۰۰ کد مربوط به گروه هفتم WW برای توفان تگرگ، انتخاب شده است (جدول ۱). که هر گونه ظهور این پدیده را در ساعت دیده بانی و ۳ ساعت قبل از آن را در بر دارد. در این تحقیق ماه های آوریل، می، ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر به عنوان فصل رشد گیاهی انتخاب شدند. دلیل انتخاب این است که در اکثر قسمت های منطقه، از اوایل ماه آوریل کشت محصولات شروع شده و تا اواخر ماه سپتامبر تقریباً بیش تر محصولات برداشت می شوند. با توجه به فراوانی های به دست آمده، طی ۶ ماه از سال در طول ۱۸ سال ۲۶۳ مورد بارش تگرگ در منطقه وجود داشته است. که به منظور بررسی و تحلیل همدید ساز و کار رخداد تگرگ در حالت فراگیر (رخداد این پدیده در دو ایستگاه و بیش تر)، توفان رخ داده در ۲۷ آوریل ۲۰۰۳ انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۲ تعدادی از بارش های فراگیر تگرگ منطقه در دوره تاریخی مورد بررسی

ذکر گردیده است. که به دلیل یک روز از وقوع این پدیده پرداخته محدودیت مطالعاتی به تفسیر مفصل خواهد شد.

جدول ۲: روزهای منتخب از بارش های تگرگ در حالت فراگیر در شمال غرب کشور (۲۰۰۹-۱۹۹۲)

تاریخ	ایستگاه‌های درگیر تگرگ	تاریخ	ایستگاه‌های درگیر تگرگ
۱۶ می ۲۰۰۴	بیجار- خدابنده- خرمدره- خلخال	۲۷ آوریل ۲۰۰۳	خرمدره- خلخال- زنجان- سندرچ- مهاباد
۲ آوریل ۲۰۰۷	خدابنده- زنجان- مهاباد	۸ آوریل ۱۹۹۳	بیجار- خرمدره- سردشت- مریوان
۸ جولای ۲۰۰۸	خرمدره- خلخال	۱۲ می ۱۹۹۸	پیرانشهر- مراغه- میانه
۷ آگوست ۱۹۹۳	اهر- ماکو	۱۲ می ۱۹۹۲	سقز- مراغه
۱۷ سپتامبر ۲۰۰۹	سردشت- مراغه	۲۲ ژوئن ۱۹۹۲	اردبیل- اهر



شکل ۱: موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه شمال غرب کشور.

جدول ۱: وضعیت هوای حال (ww)، مربوط به بارش تگرگ

شدت	شرح پدیده	کد مخابره
-	رگبار تگرگ یا تگرگ همراه با باران، طی ساعت گذشته	۲۷
ملايم	رگبار تگرگ ریز و یا نرم با و یا بدون باران و یا مخلوط باران و برف	۸۷
متوسط و یا شدید	رگبار تگرگ ریز و یا نرم با و یا بدون باران و یا مخلوط باران و برف	۸۸
ملايم	رگبار تگرگ با و یا بدون باران و یا مخلوط باران و برف	۸۹
متوسط و یا شدید	رگبار تگرگ با و یا بدون باران و یا مخلوط باران و برف	۹۰
ملايم	برف یا مخلوط برف و باران و یا تگرگ توأم با رعد و برق در ساعت گذشته	۹۳
متوسط و یا شدید	برف یا مخلوط برف و باران و یا تگرگ توأم با رعد و برق در ساعت گذشته	۹۴
ملايم یا متوسط	رعد و برق توأم با تگرگ	۹۶
شدید	رعد و برق توأم با تگرگ	۹۹

مأخذ: علیجانی، ۱۳۸۸: ۳۵-۳۲

LCL تعیین می‌شود. از LCL خطی موازی با نزدیک‌ترین بی دررو اشباع رسم شده تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را قطع نماید. دمای خوانده شده در آن تراز برابر است با دمای بسته هوا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، که با نشان داده می‌شود. در نهایت تفاوت دمای محیط در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال که با نشان داده می‌شود و مشخص کننده مقدار شاخص SI است.

(۱)

به عبارت دیگر می‌توان شاخص SI را به این صورت تعریف کرد، که این شاخص تفاوت دمای محیط و دمای بسته هوا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال است در شرایطی که فرض شود بسته اولیه در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال قرار داشته باشد. اگر SI بیش‌تر از ۴+ باشد ابرهایی با ساختار کومه‌ای بارا شکل نمی‌گیرند اما اگر

همچنین در بررسی‌های ترمودینامیکی جو منطقه به منظور استخراج نمودار اقلیمی Skew-T log P و شاخص‌های ناپایداری صعود ایستگاه تبریز در روزهای وقوع پدیده تگرگ، از وب سایت دانشگاه وایومینگ آمریکا بهره گرفته شده است. عوامل ناپایداری بالقوه برای توفان‌های تندری را می‌توان از طریق شاخص‌های ناپایداری به دست آورد که در این قسمت دو نمونه از این شاخص‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

الف- شاخص صعودی (SI)

این شاخص یکی از قدیمی‌ترین شاخص‌ها است که شولتر در ۱۹۵۳ معرفی کرده است. در محاسبه شاخص SI ابتدا با استفاده از دما و دمای نقطه شبنم از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال،

۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. جمله‌ی دوم رطوبت اولیه جو را نشان می‌دهد. جمله‌ی سوم (با علامت منفی) اختلاف بین دمای واقعی و دمای نقطه شبنم تراز جو ۷۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. این رابطه مهم ترمودینامیک نشان می‌دهد که هر اندازه جمله اول (کاهش دما در حرکت بالارو) و جمله دوم (رطوبت آغازین) بیش‌تر باشند و از سوی دیگر جمله سوم (کمبود انشباع در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) کم‌تر باشد، بر شدت نلپیداری جو افزوده می‌شود. بنابراین اگر مقدر خروجی معادله کم‌تر از ۱۵ باشد، جو فاقد ناپایداری و حرکات همرفتی است. اگر خروجی شاخص بین ۱۵ تا ۲۵ باشد، پتانسیل همرفت در حد کم، بیش از ۲۵ تا ۳۹ گویای پتانسیل همرفت متوسط و ارقام بیش از ۴۰ معرف پتانسیل همرفت شدید هستند (قوبدل رحیمی، ۱۳۹۰:۱۸۹).

در نهایت نیز برای تهیه نقشه‌های سینوپتیکی روزهای منتخب درگیر پدیده تگرگ در سطوح مختلف جو، نرم افزار Grads مورد استفاده قرار گرفته شده است. برای بررسی ویژگی‌های مربوط به فشار، دما و باد و نیز شناسایی سیستم‌های چرخندی و جبهه‌های سرد مؤثر در پدیده تگرگ به استخراج و تحلیل سینوپتیکی نقشه‌های سطوح دریا، ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال جو در ساعات ۹، ۱۲ و ۱۵ به وقت گرینویچ، با استفاده از داده‌های دوباره

مقدار SI از +۴ کم‌تر باشد رگبارها و توفان تندی بیش‌تری روی می‌دهد. مقدار منفی شاخص نیز ناپایداری لایه مرزی جو نسبت به جو میانی را بیان می‌دارد (صادقی و رضائیان، ۱۳۸۵:۸۵).

ب- شاخص KI

این شاخص ساده را جرج در ۱۹۶۰ پیشنهاد کرده است که از سه تراز مشخص ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای محاسبه آن استفاده می‌شود. امکان توفان تندی را بر پایه‌ی آهنگ کاهش دما، محتوای رطوبتی جو پایین و گسترش قائم لایه‌ی مرطوب اندازه‌گیری می‌کند (همان). شاخص KI نیز از اطلاعات اسکویوتی به دست آمده و به صورت زیر تعریف می‌شود.

(۲)

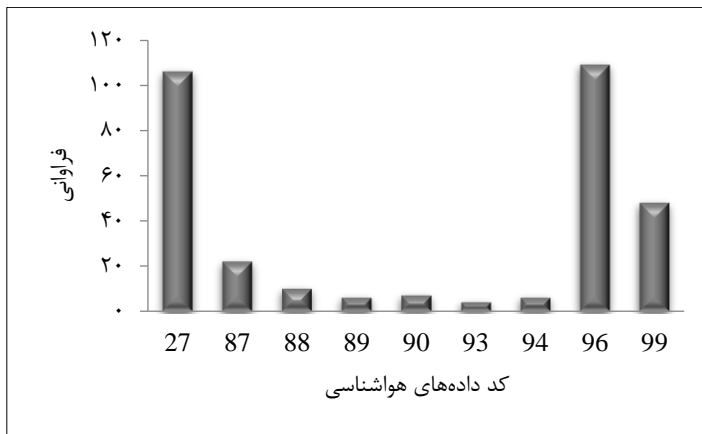
T دمای هوا و D دمای نقطه‌ی شبنم بر حسب درجه‌ی سانتی‌گراد (سطوح فشاری ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰ هکتوپاسکال) است. در معادله ارائه شده از دمای سطوح فوقانی ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و دمای نقطه شبنم دو تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال برای آشکارسازی و محاسبه ناپایداری استفاده شده است. جمله‌ی اول آهنگ کاهش دما را در حرکت بالارو بین سطوح ۸۵۰ هکتوپاسکال و

بازکاوای شده NCEP/NCAR پرداخته شده است.

۲. یافته ها و نتایج

شکل ۲ تا ۴ طی دوره‌ی آماری ۱۸ ساله برای ۲۵ ایستگاه سینوپتیک منطقه شمال غرب کشور تهیه شده است. شکل ۲ به منظور فراوانی کدها تهیه شده است، حاکی از آن است که در این دوره آماری کد ۹۶ بیشترین و کد ۹۳ کمترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند.

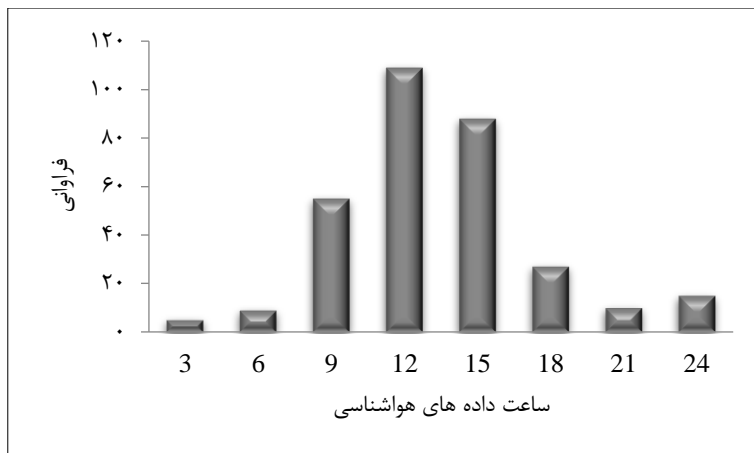
طبق این بررسی، وقوع پدیده رعد و برق توأم با تگرگ ملایم تا متوسط (کد ۹۶)، رگبار تگرگ یا تگرگ همراه با باران (کد ۲۷) و رعد و برق توأم با تگرگ شدید (کد ۹۹) در طی فصل رشد گیاهی به ترتیب بالاترین آمار فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. کد ۹۶ در ماه‌های گرم سال نیز دارای فراوانی وقوع بالایی بوده است. این مطلب خود می‌تواند زنگ خطری برای امر کشاورزی باشد چرا که در زمان جوانه زنی و نیز زمان برداشت محصول احتمال وقوع پدیده تگرگ از نوع شدید وجود داشته است.



شکل ۲: نمودار فراوانی کدهای پدیده تگرگ در شمال غرب کشور

بارش افزایش نسبی نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از توفان‌های شبانه باشد. همان طور که ملاحظه می‌گردد اوج فعالیت ناپلیداری جوی منجر به بارش تگرگ در این فصول منطبق بر ساعت‌های بیداری گیاهان بوده که درصد آسیب پذیری گیاهان را افزایش می‌دهد.

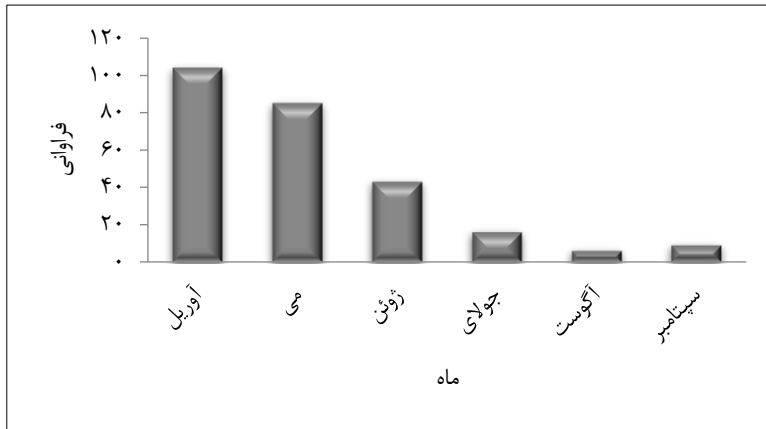
در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، به دلیل فراهم گشتن شرایط ناپایدار با آغاز گرمایش سطح زمین در دوره‌ی مطالعاتی، بیشینه بارش بین ساعات ۰۹ تا ۱۵ با اوج بارش در ۱۲ به وقت گرینویچ قرار دارد. بین ساعت‌های ۲۱ تا ۰۳،



شکل ۳: نمودار فراوانی بارش تگرگ در ساعت‌های داده‌های هواشناسی شمال غرب (۱۹۹۲-۲۰۰۹)

خط قائم) و بالا بودن رطوبت هوا (بارش‌های فصل قبل) ناپایداری زیاد شده و جریان‌های همرفتی شدت یافته و تحت شرایط مناسب، ابرهای همرفتی رشد کرده و باعث ایجاد توفان تندری می‌شوند (لشکری و امینی، ۱۳۸۹، ۵۸). با این وجود در ماه سپتامبر احتمال وقوع تگرگ شدید روند افزایشی داشته که این موضوع می‌تواند میزان آسیب پذیری محصولات کشاورزی را بالا ببرد.

شکل ۴ نشان می‌دهد که در دوره ۱۸ ساله بیش‌ترین تعداد بارش در ماه‌های آوریل و می و پس از آن در ماه ژوئن (با تفاوت قابل ملاحظه‌ایی نسبت به ماه‌های آوریل و می) بوده است. در ماه آگوست پدیده تگرگ کم‌ترین فراوانی وقوع را داشته است. در ماه آوریل که ماه انتقالی گرم (بهار) هست، به دلیل گرم شدن سریع سطح زمین و لایه‌های زیرین جو (افزایش طول روز و نزدیک شدن خورشید به



شکل ۴: نمودار فرآوانی بارش تگرگ در ماه‌های مختلف شمال غرب (۲۰۰۹-۱۹۹۲).

می‌دهد که شاخص صعود SI بین $2/68-$ تا $5/40$ و شاخص KI بین $26/17$ تا $40/40$ می‌باشد.

با توجه به جدول ۳ می‌توان دریافت که در روزهای منتخب پتانسیل ناپایداری و حرکات همرفتی وجود داشته است. بنابراین برای KI های بیش‌تر از ۲۵ حتی با مقادیر SI نسبتاً بزرگ (بیش‌تر از ۴) احتمال وقوع توفان تندری شدید و منجر به بارش شدید تگرگ وجود دارد، مانند بارش فراگیر تگرگ ۸ آوریل ۱۹۹۳ که کدهای ۸۷، ۹۶ و ۹۹ در ۴ ایستگاه منطقه به وقوع پیوسته است

به منظور بررسی شاخص‌های ناپایداری روزهای منتخب در ایستگاه مورد مطالعه، داده‌های جو بالا ۸ مورد بارش تگرگ مربوط به ایستگاه تبریز طی دوره آماری (۲۰۰۹-۱۹۹۲) از فرم‌های مربوط و در ساعت (GMT) 00 به دست آمده و در سطح استاندارد، سطوح برجسته PTH (فشار، دما، رطوبت) استخراج شده است. یک نقشه اسکیموتی برای نمونه آورده شده است (شکل ۵). برای به دست آوردن شاخص‌های ناپایداری به کمک نقشه و داده‌های جو بالا، مقادیر لازم استخراج و این شاخص‌ها در هر مورد مشخص شده‌اند (جدول ۳). بررسی جدول نشان

جدول ۳: شاخص‌های ناپایداری محلی جوی؛ ایستگاه تبریز (۲۰۰۹-۱۹۹۲)

سال	ماه	روز	SI	KI
۱۹۹۲	می	۱۲	۳/۵۵	۲۸/۴۰
۱۹۹۲	ژوئن	۲۲	-۰/۳۷	۲۸/۳۰
۱۹۹۳	آوریل	۸	۵/۴۰	۲۶/۱۷
۲۰۰۳	آوریل	۲۷	۴/۴۷	۱۶/۹۰
۲۰۰۴	می	۱۶	۱/۸۰	۳۰/۶۰
۲۰۰۷	آوریل	۲	۱/۹۶	۲۸/۶۰
۲۰۰۸	جولای	۸	-۲/۶۸	۴۰/۴۰
۲۰۰۹	سپتامبر	۱۷	۰/۵۹	۳۳/۴۰

منبع: University of Wyoming

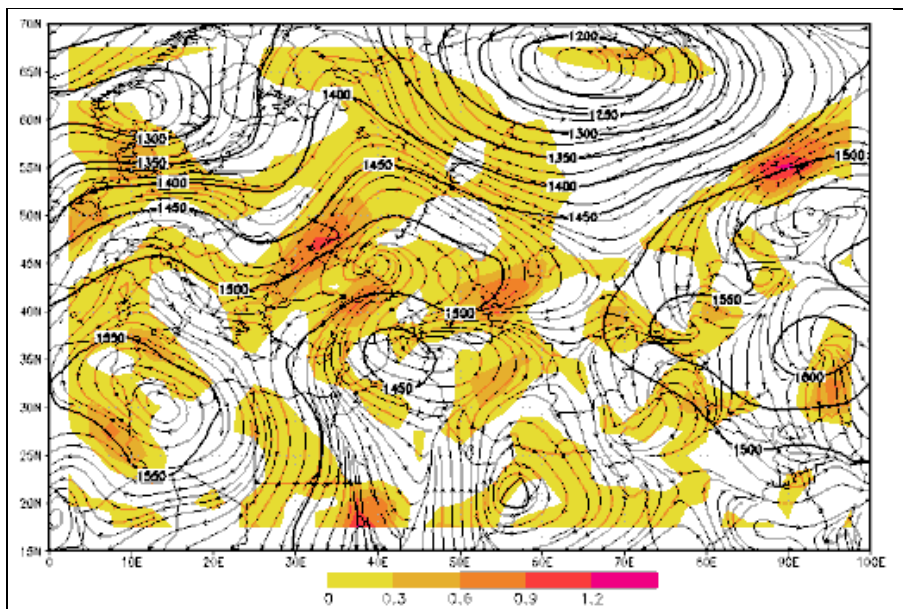
روی جنوب ترکیه و شمال عراق، با منحنی هم ارتفاع ۵۶۰۰ ژئوپتانسیل متر نشان از نفوذ یک هسته هوای سرد بر روی منطقه را دارد که با تداوم ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی بر روی دریای سرخ عمق ناوه را افزایش داده و رطوبت لازم را برای بارش تگرگ فراهم نموده است. موقعیت این ناوه عمیق با خطوط هم ارتفاع ژئوپتانسیل همین روز منطبق می‌باشد، که حاوی رطوبت خوبی نیز بر روی منطقه می‌باشد. این ناوه ناپایدار اکثر شمال غرب کشور را تحت تأثیر خود قرار داده است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز کم فشار بریده با منحنی هم ارتفاع ۱۴۵۰ ژئوپتانسیل متر بر روی عراق، شرق دریای مدیترانه (که مهم‌ترین ویژگی آن تداوم و استمرار زمانی بارش است)، منطقه مورد

روز ۲۷ آوریل سال ۲۰۰۳، بارش تگرگ در ایستگاه‌های خرمدره، خلخال، زنجان، سنندج و مهاباد طی ساعات ۱۵ الی ۲۱ گزارش شده است. در سنندج بارش تگرگی و در سایر ایستگاه‌ها تگرگ شدید توأم با رعد و برق رخ داده است. نقشه وزش رطوبتی، انتقال و جابجایی افقی رطوبت جو به وسیله باد را نشان می‌دهد. در ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال وزش باد عامل انتقال یا وزش رطوبت از شرق و جنوب شرق دریای مدیترانه و سیاه به سمت شمال غرب ایران بوده است. در سطح زمین دریای خزر منبع تغذیه رطوبتی منطقه می‌باشد. ملاحظه می‌شود که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه عمیقی با محور شمال شرقی- جنوب غربی تا دریای سرخ نفوذ داشته است. فرود این ناوه بر

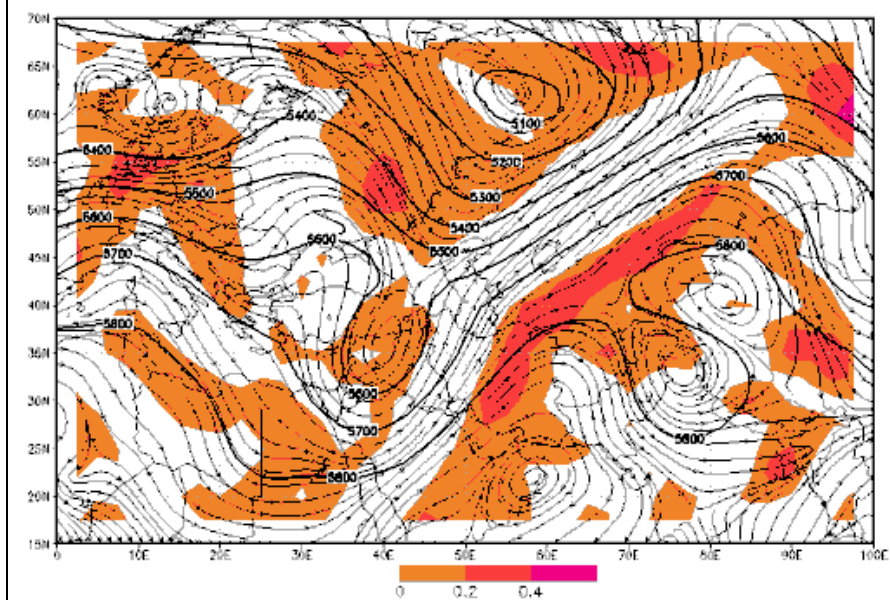
مطالعه را تحت تأثیر خود قرار داده است. مهم ترین کانون های رطوبتی شمال غرب کشور در ترازهای ۵۰۰، ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در روز مذکور، دریای خزر و شرق دریای سیاه بوده که به همراه بادهای غربی وارد منطقه گشته است (شکل ۶). در سواحل جنوبی دریای خزر سرعت قائم منفی (بالا سو) در ترازهای ۵۰۰، ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال با بیشینه ۰/۳- پاسکال بر ثانیه (بیشینه سرعت قائم تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برابر با ۰/۳۵- پاسکال بر ثانیه است) ناپایداری و بارش شمال و شمال غرب و غرب ایران را ایجاد نموده است. با توجه به اینکه در هر سه تراز مورد مطالعه در جو منطقه سرعت قائم منفی بوده در این روز ناپایداری شدیدی بر جو منطقه واقع شده و تشدید و تقویت جریانات همرفتی منجر به بارش فراگیر را نشان می دهد (شکل ۷).

طبق شکل ۸، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جبهه های سرد مستقر بر ترکیه، جنوب شرق دریای سیاه، شرق دریای مدیترانه، دریای سرخ، شمال غرب عربستان و عراق بر روی بارش

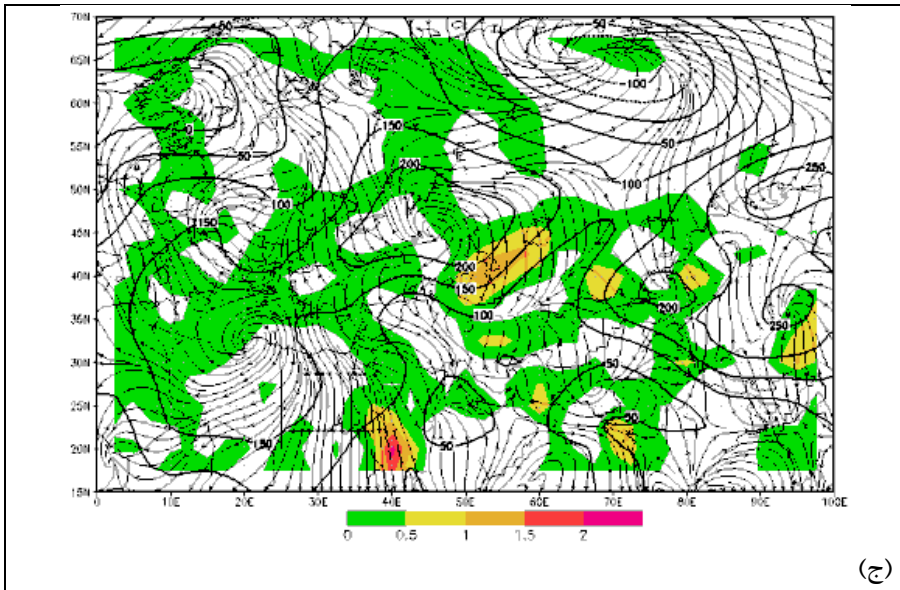
تگرگ روز ۲۷ آوریل ۲۰۰۳ تأثیر داشته اند. در ترازهای ۸۵۰ هکتوپاسکال و دریا، جبهه های سرد واقع بر شمال غرب ایران، دریای خزر نقش برجسته تری در بارش این روز دارند. همان گونه که در شکل ۹، ملاحظه می شود در زمان مذکور وزش دمایی سرد یا منفی در سطوح ۵۰۰ هکتوپاسکال موجب ریزش دمای سرد عرض های شمالی به منطقه شمال غرب ایران شده و منجر به افت دما گردیده است. بنابراین با در نظر گرفتن سرعت قائم منفی و صعودی در بخش منطقه مورد مطالعه (شکل ۷) می توان نتیجه گرفت که فعالیت سیستم های سینوپتیکی در این روز منجر به اختلال دمایی شده است. با توجه به شکل ۱۰، معلوم می شود که عامل بارش شمال غرب ایران در روز ۲۷ آوریل ۲۰۰۳ پیچانه یا همان بادهای غربی به همراه سیکلون واقع بر شرق دریای مدیترانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می باشد، که شرایط ناپایداری در شرق دامنه فرودش منطقه را تحت تأثیر خود قرار داده است.



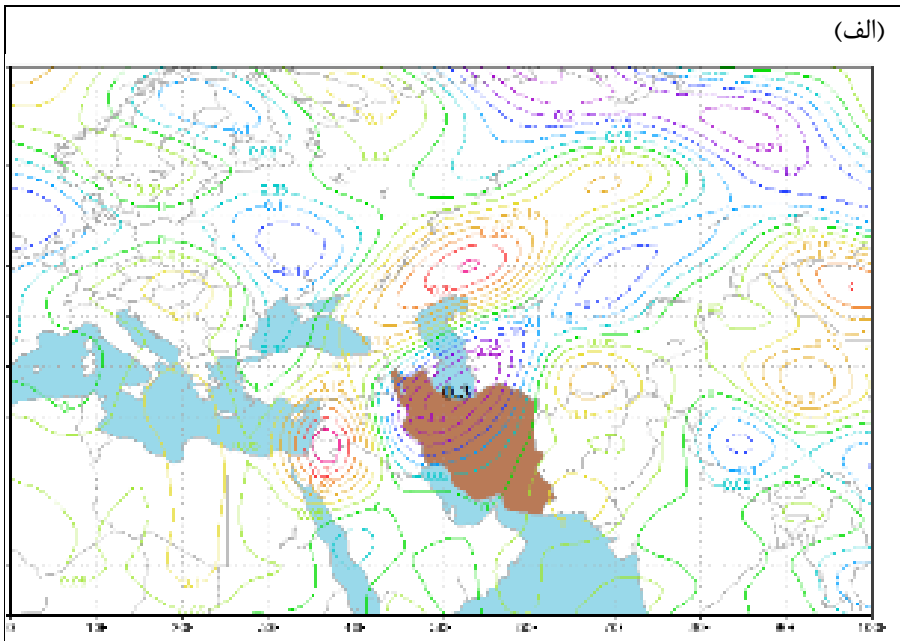
(الف)

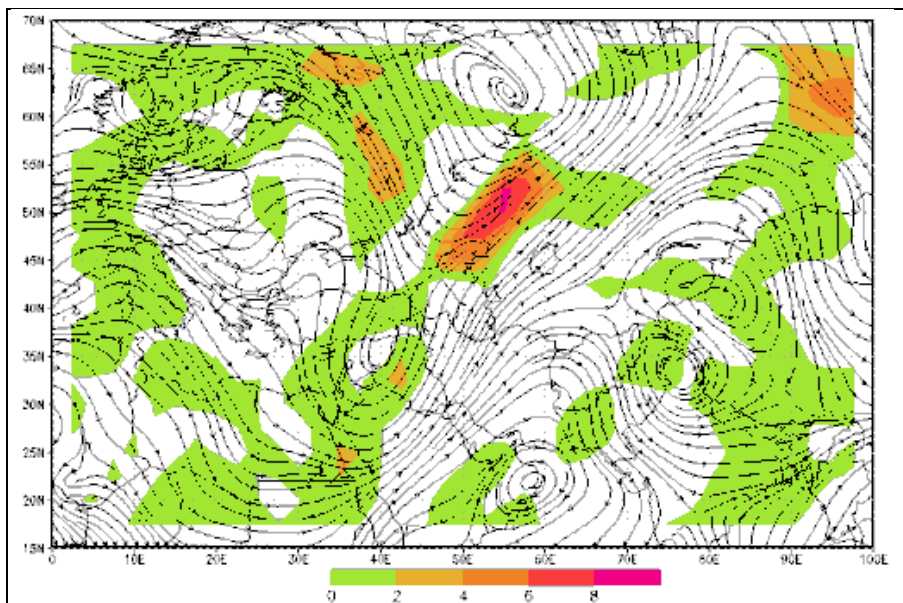


(ب)

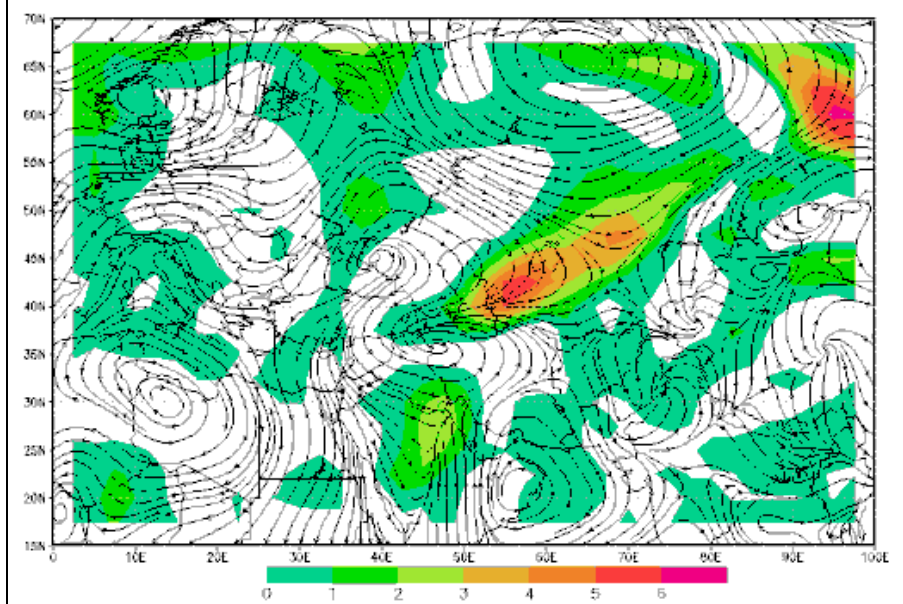


شکل ۶: تلفیق نقشه وزش رطوبتی و خطوط هم ارزش ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط ضخیم) در سطح ۵۰۰ (الف)، ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب) و سطح دریا (ج)، ساعت ۱۵ Z روز ۲۷ آوریل ۲۰۰۳

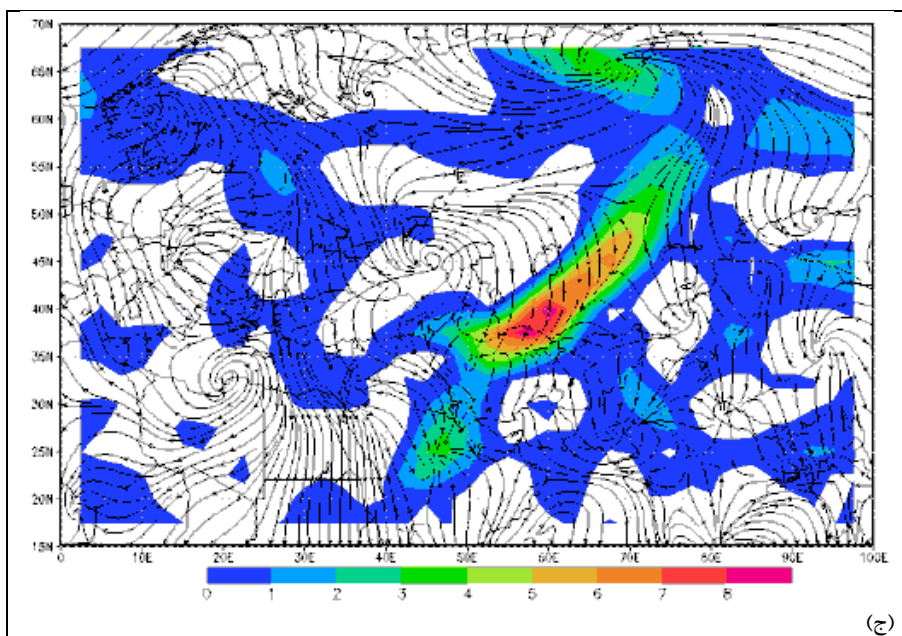




(الف)

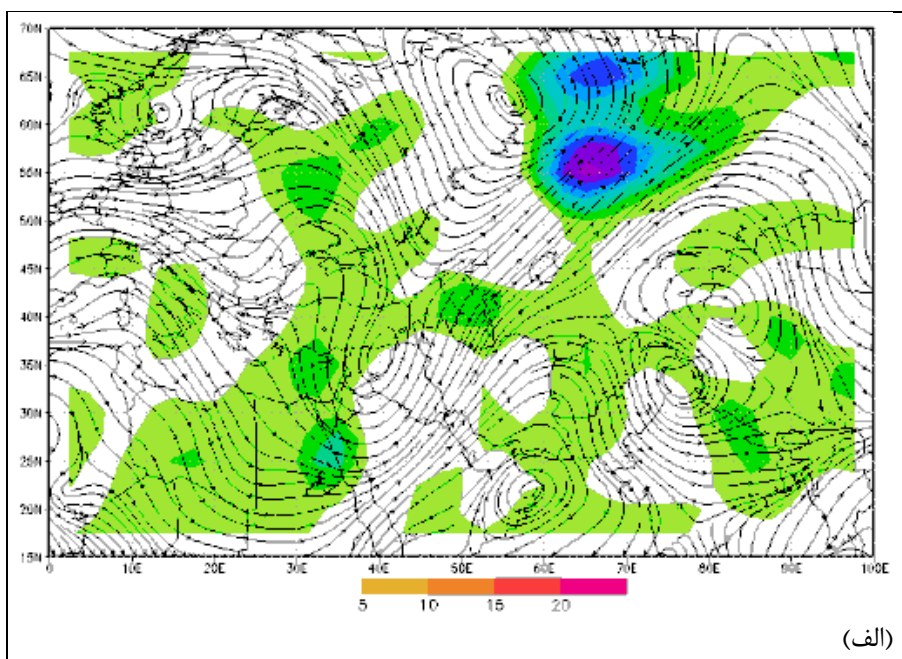


(ب)

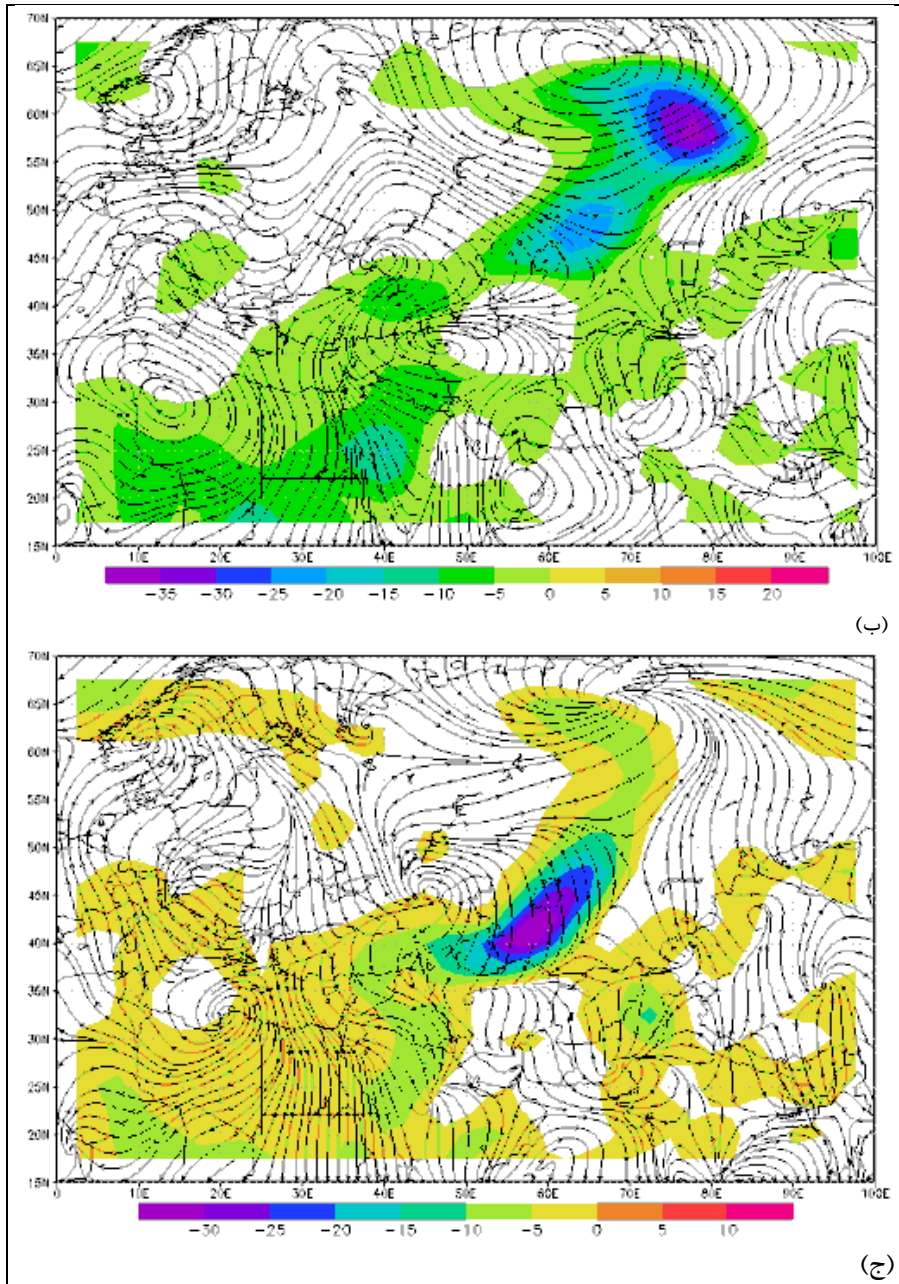


شکل ۸: نقشه جبهه‌زایی در سطح ۵۰۰ (الف)، ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب) و سطح دریا (ج)، ساعت Z ۱۵، روز

۲۷ آوریل ۲۰۰۳

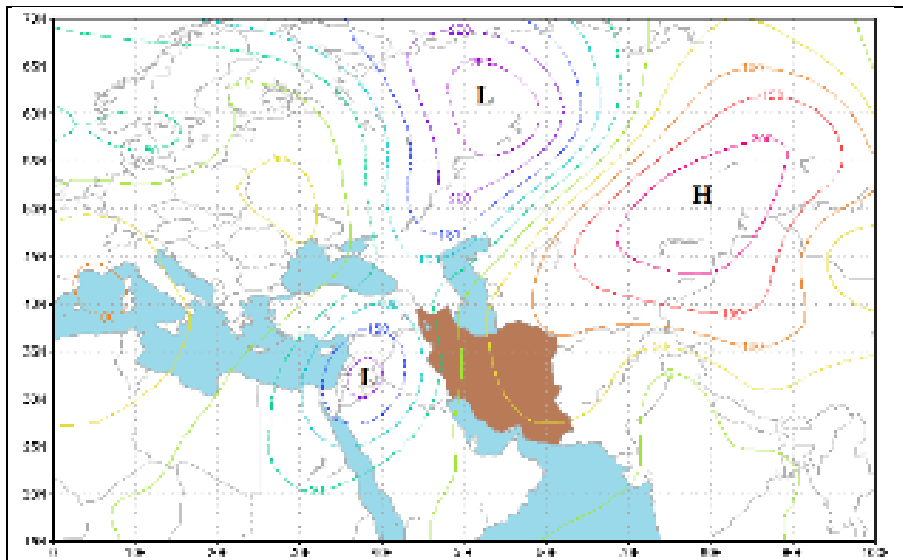


(الف)

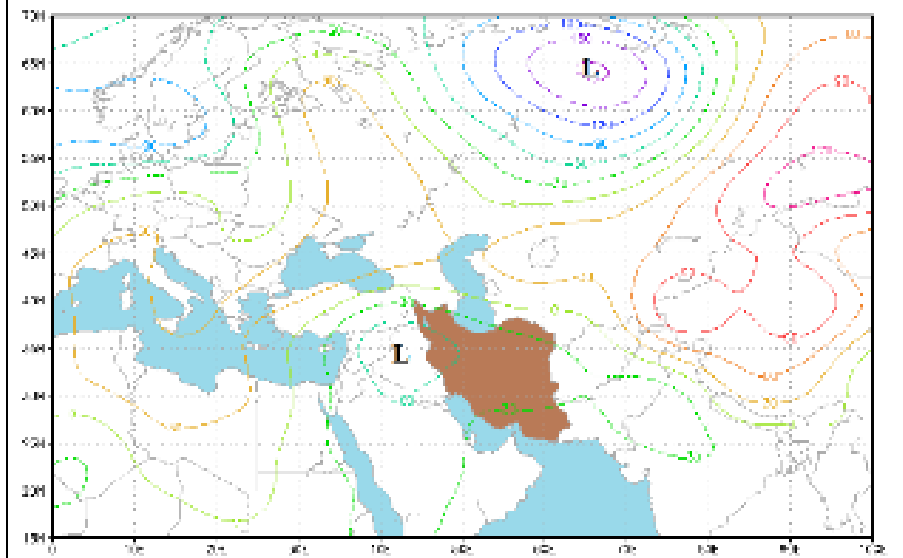


شکل ۹: نقشه وزش دمایی در سطح ۵۰۰ (الف)، ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب) و سطح دریا (ج)، ساعت Z ۱۵، روز

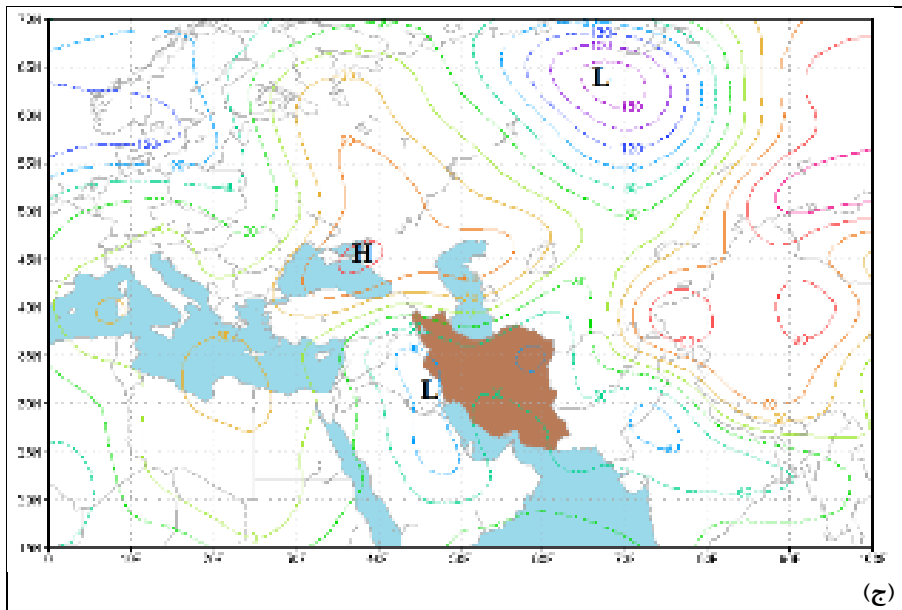
۲۷ آوریل ۲۰۰۳



(الف)



(ب)



شکل ۱۰: توزیع فضایی پیچانه‌های در سطح ۵۰۰ (الف)، ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب) و سطح دریا (ج)، ساعت

Z

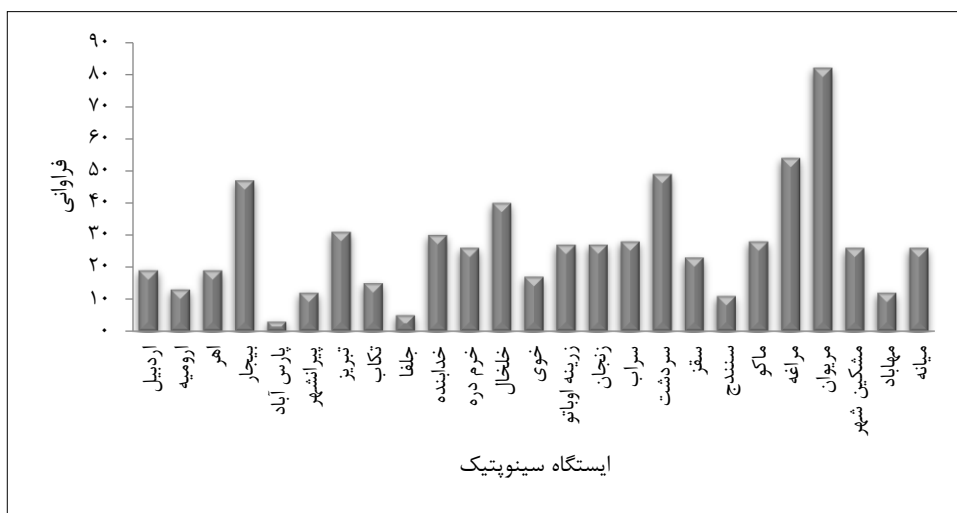
۱۵، روز ۲۷ آوریل ۲۰۰۳

سردشت، که مراکز بیشینه و ایستگاه‌های واقع در دامنه‌های شرقی مانند سنندج، پیرانشهر و مهاباد است، که مراکز کمینه بارش تگرگ را در منطقه ایجاد نموده‌اند. بدین ترتیب نقش تاثیر بادهای غربی بر این دامنه‌ها آشکار است. تأمین رطوبت کافی در این نقاط توسط این سیستم‌ها به همراه دریاچه ارومیه و ارتفاع بالا (بیشتر از ۱۲۶۰ متر) و پایین بودن نسبی تراز یخبندان منجر به ایجاد توفان‌های تندی و نهایتاً بارش تگرگ می‌شوند.

طبق بررسی‌های آماری صورت گرفته در تحقیق، مشاهده گردید که چهار ایستگاه مریوان، مراغه، سردشت و بیجار دارای حداکثر بارش تگرگ در منطقه هستند. علت وقوع بیشینه بارش در این ایستگاه‌ها ابتدا کوهستانی بودن آن‌ها و سپس واقع گشتن در دامنه‌های غربی و نیز در مسیر سیستم‌های کم فشار است، که اکثراً در روی دریای مدیترانه شکل گرفته‌اند. گواه این مطلب نیز آمار بارش ایستگاه‌های واقع در دامنه‌های غربی، مانند مراغه، مریوان و

شرایط همرفتي جو، از فعالیت این سیستم‌های ناپایدار ورودی به منطقه نیز به دور هستند (شکل ۱۱).

کم‌ترین مقدار بارش تگرگ در ایستگاه-های پارس آباد و جلفا در بخش‌های شمالی و شمال شرقی منطقه است، که علاوه بر نبود شرایط محلی برای ایجاد



شکل ۱۱: تعداد کل بارش تگرگ ایستگاه‌های سینوپیتیک شمال غرب کشور (۲۰۰۹-۱۹۹۲)

نتیجه‌گیری

در بررسی بارش تگرگ در ساعات مختلف شبانه روز نمایان گشت که به دلیل فراهم گشتن شرایط ناپایدار با آغاز گرمایش سطح زمین، بیشینه بارش بین ساعات ۰۹ تا ۱۵ به وقت گرینویچ قرار دارد که در ساعت ۱۲ به بالاترین حد خود رسیده است. از لحاظ توزیع فصلی رشد گیاهان نیز، بیش‌ترین فراوانی تگرگ به ماه‌های آوریل، می و ژئن تعلق داشته است. بر اساس مطالعه انجام شده، چهار ایستگاه مریوان، مراغه، سردشت و بیجار به ترتیب بالاترین بارش تگرگ در شمال غرب ایران را تجربه نموده‌اند.

همان طور که ملاحظه شد در فصل رشد گیاهان، بیش‌ترین فراوانی از میان اشکال مختلف تگرگ در میان نمونه‌های انتخابی مربوط به کد ۹۶ (رگبار تگرگ یا تگرگ همراه با باران، مختص فصل گرم) و کم‌ترین فراوانی به کد ۹۳ (برف یا مخلوط برف و باران و یا تگرگ توأم با رعد و برق در ساعت گذشته، مختص فصل سرد)، است. کد ۹۶ درصد بالایی از وقوع پدیده در ماه گرم سال، سپتامبر را نیز به خود اختصاص داده است.

اختصاص یافتن بالاترین فراوانی بارش تگرگ در بخش‌های جنوب غربی منطقه مخصوصاً مناطق کوهستانی و پایین‌ترین تعداد وقوع پدیده تگرگ در بخش‌های شمال و شمال غرب منطقه، نمی‌تواند تنها ناشی از عامل محلی توپوگرافی باشد. قرار گیری بخش جنوب غربی منطقه در مسیر ورود بادهای غربی و با فراهم گشتن شرایط مساعد برای ناپایداری جو (ناشی از اثرات اغتشاشات همراه موج‌های غربی) ناپایداری‌های محلی این بخش تشدید یافته و آن را تبدیل به یکی از کانون‌های اصلی وقوع پدیده تگرگ در منطقه کرده است. در بررسی ترمودینامیکی منطقه، مشخص گردید که در ماه آوریل (با بالاترین فراوانی بارش تگرگ در منطقه) نسبت به ماه‌های گرم دیگر، پتانسیل ناپایداری و حرکات همرفتی بیشتری وجود دارد. گرمایش سطح زمین در ماه‌های انتقالی گرم (بهار) و لایه‌های زیرین جو و بالا بودن رطوبت هوا چنین شرایطی را ایجاد می‌نماید. که منجر به رشد ابرهای همرفتی و ایجاد توفان تندری می‌شود. شرایط توپوگرافی منطقه نیز این امر را تشدید کرده است. بنابراین می‌توان اشاره داشت که در بالا بودن فراوانی بارش تگرگ در ماه آوریل، عملکرد توأمان

توپوگرافی منطقه و شرایط سینوپتیکی نقش مهمی را داشته است. نتایج تحلیل همدیدی تحقیق، نشان داد که در حداکثر بودن فراوانی وقوع در نواحی ذکر شده علاوه بر ارتفاع زیاد آن‌ها از سطح دریا، محل ورود سیستم‌های همراه با بارش تگرگ نیز نقش مؤثری داشته است. بر اساس نقشه‌های ارائه گشته محل ورود این سیستم‌ها به منطقه‌ی مطالعاتی بیش‌تر از سمت جنوب غرب محدود شده است، که به همان نسبت نیز این مناطق بیش‌تر تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. در روز بارش تگرگ در ترازهای مختلف جو زبانه‌هایی از چرخندهایی با هسته‌های کم فشار مدیترانه‌ایی همراه با جبهه‌های سرد که دریای مدیترانه و دریای سیاه در تقویت آن نقش داشته‌اند به سمت شمال غرب کشور گسترش یافته‌اند. قرارگیری محورهای فرود بادهای غربی همراه با بریده‌های کم فشار در این مناطق عامل اصلی ناپایداری‌های شدید و بارش تگرگ در شمال غرب ایران بوده است. بدین صورت که با فرارفت‌های هوای گرم و مرطوب در سطح زمین و هوای سرد سطوح فوقانی همراه با وزش دمایی سرد منجر به اختلاف دمایی شدید بین سطح زمین و ترازهای بالا

شده که صعود توده هوای سطح زمین و ناپایداری را به دنبال داشته است.

بنابر یافته‌های تحقیق حاضر، اوج بارندگی تگرگ در ماه‌های آوریل و می برآورد شده که این زمان‌ها منطبق بر مراحل اولیه رشد گیاهان و شکوفه دهی درختان میوه بوده که اوج آسیب پذیری آن‌ها می‌باشد. با توجه به این که شمال غرب ایران جزء یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور محسوب می‌شود، با توجه به اثرات سوء پدیده تگرگ در فعالیت‌های کشاورزی، نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در برنامه ریزی‌های کشاورزی کاربردی باشد. شناسایی مناطق مستعد بارش تگرگ و اطلاع دقیق از زمان وقوع تگرگ می‌تواند اهمیت فوق العاده‌ای در تعیین خسارات وارده بر محصولات باغی و کشاورزی داشته باشد. با تعیین و پهنه‌بندی مناطق مستعد بارش تگرگ و با اطلاع از

زمان و مکان وقوع این پدیده امکان پیش بینی و کنترل بارش تگرگ در محدوده‌ی مورد بررسی فراهم گشته و در نهایت می‌توان راهکارهای مناسبی برای مکان‌گزینی صحیح باغات و مزارع، همچنین انتخاب محصولاتی که دارای مرحله گل دهی خارج از زمان وقوع تگرگ بوده را ارائه کرد. علاوه بر آن با امکان‌سنجی ارائه پیش بینی‌های فصلی کوتاه مدت و هشدارهای به موقع برای مقاصد کشاورزی در منطقه، پهنه بندی اقلیمی برای محصولات کشاورزی، توزیع زمانی و مکانی کمیت‌های هواشناختی جهت تعیین الگوی مناسب کشت دیم؛ شناخت پدیده‌های مخرب جوی و مدیریت بحران‌های آب و هوایی در نهایت با بالا بردن میزان آمادگی در برابر انواع مختلف مخاطرات طبیعی از جمله پدیده تگرگ می‌توان به یکی از شاخص‌های توسعه یافتگی کشور دست یافت.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه/رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه/رساله نبوده است.

منابع

- آن. پایان نامه کارشناسی ارشد. مؤسسه ژئوفیزیک. دانشگاه تهران. تهران.
- شایان، سیاوش. و دارند، محمد. (۱۳۸۷). مدل سازی مخاطرات اقلیمی و تأثیرات آن بر سلامتی انسان. رشد آموزش جغرافیا. ۸۵: ۲۰-۱۱.
- صادقی حسینی، رضا. و رضائیان، مهتاب. (۱۳۸۵). بررسی تعدادی از شاخص های ناپایداری و پتانسیل بارور سازی ابرهای همرفتی منطقه اصفهان. فیزیک زمین و فضا. ۲: ۹۸-۸۳.
- علیجانی، بهلول. (۱۳۸۸). اقلیم شناسی سینوپتیک، تهران. چاپ سوم. انتشارات سمت: ۲۵۷-۱.
- علیزاده، امین، کمالی، غلامعلی، موسوی، فرهاد. و موسوی بایگی، محمد. (۱۳۸۴). هوا و اقلیم شناسی. چاپ هشتم. مشهد. نشر دانشگاه امام رضا(ع): ۳۸۱-۱.
- فرج زاده، منوچهر. و مصطفی پور، طاهر. (۱۳۹۱). تحلیل زمانی و مکانی بارش تگرگ در ایران. جغرافیا و توسعه. ۲۸: ۶۶-۵۵.
- قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۹۰). کاربرد شاخص های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹
- اسماعیلی، رضا، گندمکار، امیر. و غیور، حسنعلی. (۱۳۹۰). پهنه بندی میزان تغییرات اقلیمی از دیدگاه کشاورزی در دوره اقلیمی / مطالعه موردی: استان خراسان رضوی. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. ۴۱: ۵۲-۳۵.
- امیدوار، کمال. (۱۳۸۶). بررسی و تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه. پژوهش های جغرافیایی. ۵۹: ۹۸-۸۱.
- جدیدی، تورج، خشتکار ثانی، صیاد. و نعیمی، بهاره. (۱۳۹۰). پهنه بندی فراوانی احتمال وقوع تگرگ در استان آذربایجان غربی. همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست. ارومیه: ۶-۱.
- خوشحال دستجردی، جواد. و قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۸۶). شناسایی ویژگی های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران / نمونه مطالعاتی: خطر توفان های تندری در تبریز. فصلنامه مدرس علوم انسانی ۵۳: ۱۱۵-۱۰۱.
- سیف، مهرزاد. (۱۳۷۵). بررسی توزیع بارش تگرگ در ایران و مطالعه موردی

- Hailstorms of the Upper Great Plains of the United States: *Journal of Applied Meteorology*, 2, 759-766.
- Huff, F. A., Changnon, S. A. 1959: Hail Climatology of Illinois: Printed by authority of the State of Illinois.
 - Salimi, S., moradi, B., Alijani, B., Mafakheri, O., and Skakeri, F. 2014: Studying the Climatic Status of Ilam Regarding Hailstorms. *American Journal of Sustainable Cities and Society*, 1, 409-418.
 - Tuovinen, J. P., Punkka, A. J. Rauhala, J., Hohti, H., and Schultz, D. 2009: Climatology of Severe Hail in Finland: 1930–2006: *Monthly Weather Review*, 137, 2238-2249.
 - Xie, B., Zhang, Q., and Wang, Y. 2010: Observed Characteristics of Hail Size in Four Regions in China during 1980–2005. *Journal of Climate*, 23, 4973–4982.
 - تبریز. فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی. ۳۴: ۲۰۸-۱۸۲.
 - لشکری، حسن. و امینی، میترا. (۱۳۸۸). تحلیل سینوپتیک و پهنه بندی بارش تگرگ در خراسان بزرگ برای دوره‌ی آماری (۲۰۰۵-۱۹۹۶). *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی*. دانشگاه تبریز. ۳۱: ۱۰۸-۵۱.
 - هاشمی، فریدون. (۱۳۵۱). *صدمه تگرگ در کشاورزی و مبارزه با آن*. نیوار.
 - Changnon, S. A. 1967: Areal-Temporal Variations of Hail Intensity in Illinois: *Journal of Applied Meteorology*, 6, 536–541
 - Changnon, S. A. 1984: Temporal and Spatial Variations in Hail in the Upper Great Plains and Midwest: *Journal of Applied Meteorology*, 23, 1531-1541.
 - Frisby, E. M. 1962: Relationship of Ground Hail Damage Patterns to Features of the Synoptic Map in the Upper Great Plains of the United States: *Journal of Applied Meteorology*, 1, 348-352.
 - Frisby, E. M. 1963: