



طبقه‌بندی اقلیم کشاورزی شمال شرق ایران براساس شرایط گرمایی و رطوبتی

حمزه احمدی^۱، غلامعباس فلاح قاله‌ری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۶

چکیده

یکی از کاربردی‌ترین مطالعات اقلیم‌شناسی کشاورزی، طبقه‌بندی بر مبنای شرایط اقلیمی و توان اکولوژیکی منطقه است. در تحقیق حاضر، طبقه‌بندی اقلیم کشاورزی شمال شرق ایران براساس شاخص‌های اکولوژیکی روش پایاداکیس و باران مؤثر ارزیابی گردید. برای برآورد باران مؤثر از نرم‌افزار CROPWAT8 و برای تعیین توزیع فضایی شاخص‌های برآورد شده از روش‌های میان‌یابی زمین آمار در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 استفاده شد. ارزیابی متقابل کارایی برآورد روش‌های زمین آمار نشان می‌دهد که روش کریجینگ بی‌زین تجربی (EBK)، از کارایی بالاتری برخوردار می‌باشد. براساس سرمایه زمستان، گرمای تابستان و درجه پایداری گیاهان به ترتیب، تیپ‌های اکولوژیکی جو دوسر و پنبه در سطح منطقه غالب می‌باشد. براساس این تیپ‌های اکولوژیکی، رژیم قاره‌ای گرم در منطقه رخ می‌دهد. از نظر شرایط رطوبتی بر مبنای تبخیر-تعرق پتانسیل (PET)، و بارش ماهانه، منطقه شمال شرق در دو طبقه مدیترانه‌ای خشک و بیابانی قرار می‌گیرد. بالاترین میزان باران مؤثر به‌عنوان یکی از شاخص‌های رطوبتی عمده، در ماه‌های مارس و آوریل رخ می‌دهد. براساس نسبت بین تبخیر-تعرق بالقوه و بارش ماهانه از شمال به جنوب، از تعداد ماه‌های مرطوب کاسته شده و بر تعداد ماه‌های خشک افزوده می‌شود. توزیع مکانی تبخیر-تعرق بالقوه (PET)، از شمال به جنوب منطقه افزایش می‌یابد. متناسب با افزایش PET، باران مؤثر و شاخص رطوبتی (HI)، کاهش می‌یابد. با توجه به شرایط گرمایی و رطوبتی، منطقه شمال شرق در طبقات اقلیمی بری بیابانی، بیابانی و نیمه‌خشک بری قرار می‌گیرد. نقش شرایط رطوبتی در تعیین طبقات اقلیمی در منطقه مورد مطالعه بیشتر مشهود می‌باشد. مطالعات بیشتر با سایر نمایه‌های اقلیمی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اقلیم کشاورزی، باران مؤثر، تبخیر-تعرق بالقوه، شاخص رطوبتی، طبقات اقلیمی

مقدمه

(۱۳۸۹). تنوع و تعدد اقلیم‌ها در مقیاس جهانی و حتی منطقه‌ای، دسته‌بندی و یا طبقه‌بندی اقلیمی را امری اجتناب‌ناپذیر نموده است. این ویژگی، اقلیم‌شناسان و دیگر متخصصین علوم جوی را بر آن داشته تا براساس اشتراکات در یک یا چند عنصر، به طبقه‌بندی اقلیم منطقه‌ای یا حتی خرد بپردازند (عزیزی، ۱۳۸۰). اقلیم عمدتاً به‌وسیله دما و رطوبت سطح زمین و نزدیک سطح زمین مشخص می‌شود، همچنین تغییرپذیری زمانی و مکانی آن‌ها نیز مورد توجه اقلیم‌شناسان قرار گرفته است (ویلیموت و فدما، ۱۹۹۲). شناخت مهم‌ترین عوامل و عناصر تأثیرگذار بر هر ناحیه یکی از راه‌های شناخت شناسنامه اقلیمی نواحی است (عباسی

محدودیت منابع از یک سو و افزایش روزافزون جمعیت و در نتیجه تقاضا برای محصولات غذایی از سویی دیگر، ایجاب می‌کند که از منابع محدود به نحو بهینه استفاده شود، لذا توجه به شرایط اقلیمی به‌عنوان یکی از عوامل تعیین‌کننده تولید محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (مظفری، ۱۳۸۲). هوا و اقلیم‌شناسی اساسی‌ترین علمی است که هر کس بخواهد در بستر طبیعت به فعالیت‌های تولیدی بپردازد باید از آن اطلاع داشته باشد (علیزاده،

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، دانشگاه حکیم سبزواری

^۲ استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری

(*نویسنده مسئول: ab_fa789@yahoo.com)

کشاورزی می‌باشد (بشنوی^۳، ۲۰۱۰). بارش و درجه حرارت به‌عنوان مهم‌ترین عناصر اقلیمی در مطالعات اقلیم کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد (تورنت‌وایت^۴، ۱۹۳۱). آب و هوای هر منطقه از فاکتورهای زیادی متأثر می‌باشد. طبقه‌بندی اقلیمی یک ابزار مهم است که اغلب برای تیپ‌های اقلیمی همسان یا تغییرپذیری منطقه‌ای به کارگیری شده است (جنگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۴). تورنت‌وایت (۱۹۳۱) در پژوهشی بر مبنای طبقه‌بندی جدید آب و هوای آمریکای شمالی را طبقه‌بندی نموده است، وی در این تحقیق بر اساس دو پارامتر بارش و دما، تبخیر تعرق را برآورد نموده و سپس نسبت بارش به تبخیر تعرق را محاسبه و در نهایت آب و هوای آمریکای شمالی را مشخص نموده است. پریا^۶ (۲۰۰۱) برای پهنه‌بندی گیاهان زراعی (ذرت، برنج، گندم و سیب‌زمینی) در هند، بر اساس شاخص‌های گرمایی و رطوبتی در محیط GIS مناطق مستعد برای کشت این گیاهان را ترسیم نموده‌اند. گریف و همکاران^۷ (۲۰۰۰) اقلیم کشاورزی جنوب غرب نیجر را در ارتباط با رشد محصولات زراعی مورد بررسی قرار داده‌اند، آن‌ها با استفاده از داده‌های اقلیمی و شرایط گرمایی و رطوبتی، پتانسیل‌های اقلیمی کشاورزی را مشخص نموده‌اند. سین و همکاران^۸ (۲۰۰۳) میزان تبخیر تعرق بالقوه در جنوب غرب پنجاب را بر اساس روش‌های تورنت‌وایت و پاپاداکیس به‌منظور بیلان آبی و تلفات مورد بررسی قرار داده‌اند، آن‌ها مشخص نموده‌اند که روش پاپاداکیس در برآورد تبخیر-تعرق از قابلیت بالاتری برخوردار می‌باشد. هولدن و برتون^۹ (۲۰۰۴) در پژوهشی مناطق اقلیمی-کشاورزی ایرلند را بر اساس شرایط گرمایی و رطوبتی و داده‌های عملکرد محصول ارزیابی نموده‌اند، آن‌ها در این تحقیق منطقه ایرلند را در هفت خوشه اقلیمی-کشاورزی در محیط GIS مشخص نموده‌اند. زاهد و رسول^{۱۰} (۲۰۱۱) در پژوهشی طبقه‌بندی گرمایی برای کشور پاکستان را مورد بررسی قرار داده‌اند، آن‌ها در این تحقیق با

نیا، ۱۳۸۹). اگر چه از ابتدای تکامل کشاورزی توجه بشر به آگاهی از ارتباط بین محیط و گیاه معطوف بوده است ولی امروزه با پیدایش شاخص‌های جدیدی از اقلیم‌شناسی کشاورزی تحت عناوین اقلیم‌شناسی کشاورزی یا اکولوژی زراعی این موضوع مورد توجه خاص قرار گرفته است (کمالی، ۱۳۷۰). آب و هوا از یک منطقه به منطقه دیگر و از یک فصل به فصل دیگر متغیر می‌باشد. هر چند دو منطقه را نمی‌توان پیدا کرد که از نظر اقلیمی کاملاً مشابه یکدیگر باشند، اما به دلایل مشابهت‌های آب و هوایی برخی مناطق را در یک پهنه اقلیمی قرار داد. چنین پهنه‌بندی‌ها را طبقه-بندی اقلیمی-کشاورزی گویند (علیزاده، ۱۳۸۹). تنوع کشاورزی با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه رخ می‌دهد، هر منطقه در ایامی از سال توانایی کشت و پرورش محصولات و گیاهان مختلفی را در خود دارا می‌باشد. شاخص‌های اقلیمی-کشاورزی برای بیان کمی نیازهای اقلیمی گیاهان زراعی در طول دوره رویشی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شاخص‌ها اثر شرایط جوی را در مراحل مختلف رشد و نمو محصول منعکس می‌سازد (پاپاداکیس^۱، ۱۹۶۶). اقلیم‌شناسی کشاورزی به‌عنوان مجموعه شرایط اقلیمی که امکان کاشت اقتصادی گونه‌های گیاهی را فراهم ساخته تعریف می‌شود. اولین گام در تعیین نواحی اقلیم کشاورزی به کمیت در آوردن ویژگی‌های اصلی اقلیم نظیر دما و رطوبت به شکل شاخص‌های اقلیم کشاورزی است که بیان رقومی، اقلیم گیاه می‌باشد (مظفری، ۱۳۸۲). مطالعه شناخت اقلیم بر مبنای جوامع گیاهی و حیوانی را کلیماتوگرافی اکولوژیک می‌نامند، در واقع بر اساس شاخص‌های اقلیمی مانند شاخص گرمایی، رطوبتی و واکنش گیاهان مناطق هم‌اقلیم یا طبقه‌بندی اقلیمی مشخص می‌شود (کوانتا^۲، ۱۳۵۴). بررسی شاخص‌های گرمایی و رطوبتی در ارزیابی نواحی اقلیمی-کشاورزی در مقیاس‌های مختلف، به‌منظور برنامه‌ریزی‌های کاشت محصول، میزان ریسک کاشت محصولات و تعیین فصول رویشی محصول حائز اهمیت می‌باشد. درک و فهم کاربردهای مختلف شاخص‌های اقلیمی-کشاورزی زمینه‌ساز استفاده بهینه از منابع در

³ Bishnoi

⁴ Thornthwaite

⁵ Geng

⁶ Priya

⁷ Graef

⁸ Singh

⁹ Holden & Brereton

¹⁰ Zahid & Rasul

¹ Papadakis

^۲ مطالعات هواشناسی کشاورزی، سازمان هواشناسی کشور

استفاده از پارامترهای اقلیمی و روش طبقه‌بندی تورنت‌وایت و شاخص کارایی حرارت، مناطق مختلف پاکستان را به‌صورت طبقات توندرا تا مگاترمال طبقه‌بندی نموده‌اند. جنگ و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی برای تقسیمات مناطق اقلیمی خشک و مرطوب در شمال غربی چین پرداخته‌اند، آن‌ها براساس چهار روش طبقه‌بندی، پنمن-مونیتث، تورنت‌وایت، هولدریج و ساهین مناطق مختلف منطقه را از نظر خشک و مرطوب بودن به-منظور توسعه کشاورزی مشخص نموده‌اند. مدهومیتا^۱ (۲۰۱۵) در ارزیابی مناطق اقلیم کشاورزی و توسعه اقتصادی راجستان مشخص نموده‌اند که تنوع شرایط اقلیمی منطقه، پتانسیل لازم برای توسعه محصولات عمده را دارا می‌باشد. وی منطقه راجستان را به ده منطقه اقلیم کشاورزی طبقه‌بندی نموده‌اند. حیدری (۱۳۷۸) در رساله دکتری، عناصر اقلیمی ایران را به‌منظور ارائه الگوی طبقه‌بندی مورد بررسی قرار داده‌اند، وی در این تحقیق با استفاده از روش‌های چندمتغیره، شش ناحیه و ۱۲ زیرناحیه را برای کشور ایران مشخص نموده‌اند. پارامترهای مربوط به رطوبت من‌جمله بارش مهم‌ترین عامل اختلاف نواحی اقلیمی در ایران محسوب می‌شود. عزیزی و شائمی (۱۳۸۳) در پژوهشی ارزیابی تنوع و استعدادهای کشاورزی ایران را براساس ۳۸ ایستگاه هواشناسی منتخب به روش پاپاداکیس مورد بررسی قرار داده‌اند، آن‌ها کل ایستگاه‌ها را در ۷ گروه، ۱۱ نوع و ۲۱ تیپ خرداقلیمی مشخص نموده‌اند. فرمهینی فراهانی و مهدوی (۱۳۸۶) کاربرد گیاهان به‌عنوان شاخصی برای تفکیک طبقات اقلیمی را مورد بررسی قرار داده‌اند، آن‌ها مشخص نموده‌اند که سیستم دوما رتن اصلاح شده، تورنت وایت و آمبرژه به‌ترتیب نسبت به دیگر سیستم‌ها دقیق‌تر بوده‌اند. عزیزی (۱۳۸۵) در پژوهشی پهنه‌بندی اقلیمی شمال غرب ایران را با استفاده از روش لیتن اسکی و GIS ارزیابی نموده‌اند، وی با شش پارامتر اقلیمی در کل منطقه ۲۱ اقلیم متمایز را مشخص نموده‌اند که بیشترین پهنه را اقلیم معتدل نیمه‌خشک در بر می‌گیرد. قاسمی دهکردی و همکاران (۱۳۸۷) پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی با روش یونسکو و شاخص خشکی تعدیل‌شده در بخشی از استان‌های

آذربایجان شرقی و اردبیل را مورد بررسی قرار داده‌اند، روش یونسکو بر مبنای رژیم رطوبتی، تیپ زمستانی و تابستانی قرار دارد. براساس روش طبقه‌بندی یونسکو مناطق با شاخص خشکی کمتر از ۰/۵ جزء مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک بدون قابلیت کشاورزی قرار می‌گیرند. غفاری و همکاران (۱۳۸۷)، در قالب طرح پژوهشی پهنه‌بندی اقلیمی-کشاورزی ایران به روش یونسکو را مورد بررسی قرار داده‌اند، آن‌ها، ۲۸ پهنه اقلیمی را در ایران مشخص نموده‌اند. از میان این نواحی، ۶ ناحیه با ویژگی خشک و نیمه‌خشک بیش از ۹۰ درصد کشور ایران را شامل می‌شود. احمدی (۱۳۸۹) در بررسی شرایط اقلیمی-کشاورزی کشت سیب-زمینی در سطح ایستگاه‌های منتخب استان ایلام، با استفاده از شاخص‌های گرمایی و رطوبتی، پتانسیل اقلیم کشاورزی منطقه از جنبه اکولوژیکی را مورد بررسی قرار داده است، قابلیت کشت مرکبات در مناطق گرمسیر جنوب استان از نتایج این ارزیابی می‌باشد. علیخانی (۱۳۹۰) به‌منظور بررسی شرایط اقلیمی-کشاورزی مناسب برای سیب درختی در استان چهارمحال و بختیاری، با استفاده از روش طبقه‌بندی پاپاداکیس پتانسیل اقلیم کشاورزی را برای محصولاتی مانند برنج در مناطق جنوبی استان مشخص نموده‌اند. اقلیم-شناسی کشاورزی^۲ به مطالعه جنبه‌هایی اقلیمی در ارتباط با کشاورزی می‌پردازد. ارزیابی شاخص‌های اقلیمی در درون نواحی اقلیم کشاورزی بستر مناسبی برای شناسایی پتانسیل‌ها محسوب می‌شود. شناسایی و طبقه‌بندی اقلیم کشاورزی مناطق مختلف براساس شرایط گرمایی و رطوبتی با استفاده از داده‌های اقلیمی زمینه‌ساز توسعه پایدار کشاورزی با تأکید بر توان اقلیمی هر منطقه می‌باشد. بنابراین تحقیق حاضر سعی دارد با استفاده از داده‌های اقلیمی و روش‌های برآورد کننده زمین آمار در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی^۳، شرایط گرمایی و رطوبتی منطقه شمال شرق ایران را به-منظور طبقه‌بندی اقلیم کشاورزی مورد ارزیابی قرار بدهد.

2 Agroclimatology

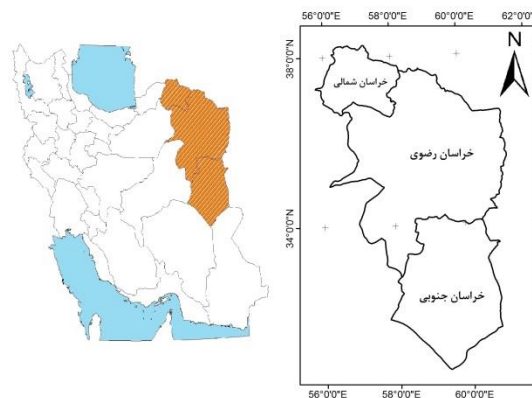
3 Geographical Information System

1 Mudhumita

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شمال شرق ایران شامل استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی از شمال و شمال شرق به کشور ترکمنستان، از شرق به افغانستان، از جنوب به استان سیستان و بلوچستان و از سمت غرب به استان سمنان و گلستان محدود شده است. طول و عرض منطقه شمال شرق ایران در حد فاصل ۵۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شکل ۱ مشخصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت استان‌های مطالعاتی

در این مطالعه، روش تحقیق به صورت آماری - تحلیلی بوده و جهت دستیابی به اهداف تعیین شده در تحقیق از منابع اسنادی مختلف استفاده شده است. از آنجا که شرایط رطوبتی و گرمایی با تأکید بر دو پارامتر عمده اقلیمی دما و بارش در تمیز آب و هوا نقش عمده‌ای ایفا می‌نمایند در این تحقیق محور ارزیابی قرار گرفته‌اند. زیر ساخت تحقیق بر مبنای استفاده از داده‌های اقلیمی، متوسط کمینه و بیشینه دما، کمینه و بیشینه مطلق دما، متوسط دمای روزانه، بارش، رطوبت نسبی و روزهای یخبندان ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک منطقه مورد مطالعه در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه قرار گرفته است. این آمار از سازمان هواشناسی کشور تهیه و سپس در محیط نرم‌افزار اکسل به- منظور انجام تحلیل‌ها استخراج گردید. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مورد

مطالعه			
ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا به متر	طول جغرافیایی E	عرض جغرافیایی N
بیرجند	۱۴۹۱	۵۹° ۱۳'	۵۲° ۳۲'
بجنورد	۱۰۹۱	۵۲° ۳۲'	۳۷° ۲۸'
بشرویه	۸۸۵	۵۴° ۳۲'	۳۳° ۵۴'
فردوس	۱۲۹۳	۵۸° ۱۰'	۳۴° ۱'
قائن	۱۴۳۲	۵۸° ۱۰'	۳۳° ۴۳'
قوچان	۱۲۸۷	۵۸° ۳۰'	۳۷° ۴'
گلمکان	۱۱۷۶	۵۹° ۱۷'	۳۶° ۲۹'
گناباد	۱۰۵۶	۵۸° ۴۱'	۳۴° ۲۱'
کاشمر	۱۱۰۹	۵۸° ۲۸'	۳۵° ۱۲'
مشهد	۹۹۹	۵۹° ۳۸'	۳۶° ۱۶'
سبزوار	۹۷۷	۵۷° ۴۳'	۳۶° ۱۲'
سرخس	۲۳۵	۶۱° ۱۰'	۳۶° ۳۲'

روش بررسی

محور عمده تحقیق بر مبنای استفاده از شاخص‌های گرمایی و رطوبتی روش پایاداکیس و باران مؤثر با تأکید بر توزیع فضایی آن‌ها در محیط GIS قرار گرفته است. روش پایاداکیس به‌عنوان یک روش اقلیم کشاورزی با استفاده از آستانه‌های دمایی و رطوبتی مختلف طبقات مختلف اقلیمی که شرایط اکولوژیکی خاص خود را دارا می‌باشند مشخص می‌نماید (کوانتا، ۱۳۵۴). در این روش برای شرایط گرمایی بر اساس دمای سردترین ماه سال و متوسط کمینه و بیشینه در این ماه، تیپ‌های اکولوژیکی متناسب با سختی زمستان استخراج شد. بر اساس طول فصل آزاد از یخبندان و تعداد ماه‌های گرم سال و دمای گرمترین ماه سال نیز تیپ اکولوژیکی متناسب با گرمای منطقه مشخص گردید. بعد از مشخص نمودن شرایط زمستانی و تابستانی، رژیم گرمایی منطقه مشخص گردید. برای شرایط رطوبتی در ابتدا، بر اساس روش پایاداکیس میزان تبخیر-تعرق بالقوه PET محاسبه شد. برای محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه با استفاده از دمای بیشینه و کمینه در مقیاس ماهانه مقدار فشار بخار آب از جداول پایاداکیس (کوانتا، ۱۳۵۴) استخراج و سپس بر اساس معادله (۱) میزان تبخیر-تعرق بالقوه PET برای هر ایستگاه محاسبه گردید.

$$PET=0.5625(e_{max}-e_{min}-2) \quad (1)$$

زمین آمار در دو بخش قطعی و زمین آماری برای ارزیابی متقابل استفاده گردید. از روش‌های برآوردکننده قطعی، IDW و RBF و از روش‌های زمین آماری، C/K و EBK^۴ استفاده گردید. در نهایت با بررسی ME و RMSE به ترتیب، میانگین خطاها و ریشه میانگین مربع خطاها، نتایج برآورد کارآمدترین روش به منظور پهنه‌بندی فضایی مشخص گردید. با ارزیابی متقابل می‌توان هر کدام از روش‌ها که برای پیش‌بینی مقادیر مجهول قابل قبول‌ترند مشخص نمود، در واقع هر چه Mean Error نزدیک به صفر و RMSE کمتر باشد، روش مورد نظر برای پیش‌بینی نقاط مجهول کارآمدتر می‌باشد. در این تحقیق نتایج روش کریجینگ بی‌زین تجربی EBK، با کارآمدی بالاتر برای پهنه‌بندی مشخص گردید. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد (حسنی پاک، ۱۳۹۲). کوکریجینگ براساس همبستگی موجود بین متغیر اصلی و سایر متغیرهای اندازه‌گیری شده که در اصطلاح متغیر کمکی یا ثانویه نامیده می‌شوند، به تخمین متغیر مورد نظر می‌پردازد (فتحی هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۲). روش درون‌یابی کریجینگ بی‌زین تجربی یا EBK، یکی از روش‌های میان‌یابی زمین آمار است که به طور خودکار سخت‌ترین جنبه‌های مدل معتبر کریجینگ را مشخص می‌نماید. در تحلیل زمین آمار با روش‌های کریجینگ دیگر لازم است که کاربر به‌طور دستی پارامترها را به‌منظور دریافت نتایج دقیق تنظیم نماید، اما EBK، به‌طور خودکار این پارامترها را از طریق فرایند شبیه‌سازی و زیر مجموعه محاسبه می‌نماید. این روش درون‌یابی نسبت به دیگر روش‌های زمین آمار کریجینگ برای مجموعه داده‌های کوچک از نتایج دقیق‌تری برخوردار می‌باشد.

نتایج و بحث

طبقات اکولوژیکی براساس شرایط زمستان و تابستان

بر اساس شرایط دمایی زمستان و بر مبنای حساسیت و درجه پایداری گیاهان به سرما، شش طبقه مختلف گرمایی در روش پایاداکسیس در نظر گرفته شده است. بررسی و تحلیل شرایط دمایی زمستان نشان می‌دهد که، به استثنای

در این معادله، e_{max} و e_{min} به ترتیب برابر است با حداقل و حداکثر فشار بخار اشباع مطابق با کمینه و بیشینه دمای ماهانه و ۰/۵۶۲۵ ثابت پایاداکسیس می‌باشد. بعد از مشخص شدن تبخیر-تعرق بالقوه براساس نسبت بارش به تبخیر-تعرق بالقوه R/E، شاخص رطوبتی HI، برای هر ایستگاه هواشناسی محاسبه گردید. بر اساس معادله (۲) ماه‌های سال نیز بر مبنای میزان بارش و تبخیرتعرق بالقوه برآورد شده به سه طبقه (مرطوب، میانه و خشک) تقسیم گردید (کوانتا، ۱۳۵۵).

(مرطوب $R > PET$)

(۲) (میانه $R > 50\%PET$)

(خشک $R < 50\%PET$)

در معادله فوق بارش با حرف R و تبخیر-تعرق بالقوه با PET نشان داده شده است. در ادامه میزان باران مؤثر منطقه برای ارزیابی بهتر شرایط رطوبتی منطقه براساس معادله (۳) با استفاده از نرم افزار CROPWAT/8 مشخص شد.

(۳) $P_{eff} = 0.6P - 10.3$ for $P_{month} \leq 70.3$ mm
 $P_{eff} = 0.8P - 24.3$ for $P_{month} > 70.3$ mm

که در آن، P_{eff} باران مؤثر به میلی‌متر و P، بارش ماهانه به میلی‌متر می‌باشد. بارندگی مؤثر یک قسمت از کل بارندگی است که برای تولید محصول مناسب می‌باشد. نرم‌افزار CROPWAT/8، مقدار بارندگی مؤثر را براساس روش (U.S.D.A) سرویس حفاظت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا محاسبه می‌کند (لشکری و همکاران، ۱۳۸۷). در ساده‌ترین حالت، باران مؤثر به معنی باران قابل مصرف یا مفید به‌شمار می‌رود (رحمن^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). براساس نسبت بین تبخیر-تعرق و بارش، رژیم رطوبتی مشخص شد و در آخر براساس رژیم گرمایی و رطوبتی طبقات اقلیمی برای هر ایستگاه مشخص گردید. برای توزیع فضایی شاخص‌های مورد نظر از روش‌های میان‌یابی زمین آمار^۲ به صورت روش‌های برآوردکننده قطعی^۳ و زمین آمار، در محیط نرم افزار ARCGIS10.2 به‌منظور پهنه‌بندی فضایی آن‌ها استفاده گردید. در این تحقیق کارآمدترین روش‌های

^۱ Rahman

^۲ Geostatistical Analyst

^۳ Deterministic

^۴ Empirical Bayesian Kriging

مناسب نمی‌باشد. در طبقه جو گرم‌تر میزان سختی زمستان کمتر است. با توجه به شرایط گرمایی زمستان، در مناطق خراسان شمالی جو خنک‌تر از مقاومت بالاتری برخوردار می‌باشد و در عرض‌های پایین و دیگر مناطق جو گرم‌تر قابلیت رشد و نمو را دارا می‌باشد (جدول ۲).

ایستگاه‌های بشرویه و فردوس که در طبقه جو گرم‌تر قرار دارند، بقیه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در طبقه جو دوسر خنک‌تر av قرار می‌گیرند. ایستگاه‌هایی که در این تیپ قرار دارند برای کشت گندم و غلاتی نظیر جو که نیازهای گرمایی مشابه دارند مناسب بوده اما برای ذرت

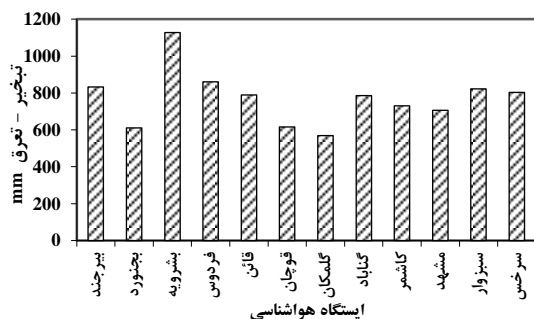
جدول ۲- طبقات اکولوژیکی براساس شرایط گرمایی زمستان و تابستان

تیپ زمستانی	تیپ تابستانی
بیرجند	محصول جو دوسر خنک‌تر av
بجنورد	محصول جو دوسر خنک‌تر av
بشرویه	جو دوسر گرم‌تر AV
فردوس	جو دوسر گرم‌تر AV
قائن	محصول جو دوسر خنک‌تر av
قوچان	محصول جو دوسر خنک‌تر av
گلمکان	جو دوسر خنک‌تر av
گناباد	محصول جو دوسر خنک‌تر av
کاشمر	محصول جو دوسر خنک‌تر av
مشهد	محصول جو دوسر خنک‌تر av
سبزوار	محصول جو دوسر خنک‌تر av
سرخس	محصول جو دوسر خنک‌تر av

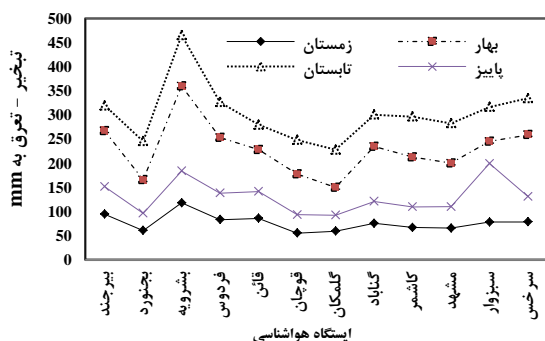
گرم دارد (کوانتا، ۱۳۵۴). طبقه پنبه براساس شرایط دمایی منطقه به دو بخش مختلف تقسیم می‌شود؛ یکی پنبه گرم‌تر یا G، در مناطق خراسان رضوی و جنوبی و دیگری پنبه خنک‌تر g، که مناطق سردسیر خراسان شمالی را شامل می‌شود. مناطق خراسان شمالی و شمال خراسان رضوی با ارتفاع بیشتر از سطح دریا و کاهش دمای بیشتر نسبت به دیگر مناطق در طبقه پنبه خنک‌تر g، قرار می‌گیرد (جدول ۲).

جو دوسر یکی از محصولاتی است که از لحاظ گرمایی جزء گیاهان با مقاومت بالا به یخبندان و سرما محسوب می‌شود. گیاه جو شرایط جوی گرم و خشک را می‌تواند تحمل کند، بازده این محصول به‌طور عمده توسط دمای هوا تعیین می‌شود. براساس شرایط دمای تابستان و پتانسیل-های گرمایی، نُه طبقه گرمایی قابل تشخیص است که فقط یک تیپ تابستانی در بین ایستگاه‌های منتخب منطقه وجود دارد که شامل پنبه می‌باشد. پنبه جزء محصولاتی است که برای رشد و نمو نیاز به شب‌های گرم و همچنین روزهای

رژیم گرمایی منطقه



شکل ۲- تبخیر-تعرق بالقوه PET، سالانه روش پاپاداکیس



شکل ۳- تبخیر-تعرق بالقوه PET، فصلی با روش پاپاداکیس

توزیع فضایی تبخیر-تعرق بالقوه سالانه به صورت نقشه پهنه‌بندی شده با روش کریجینگ بی‌زین تجربی EBK، در شکل (۵) نشان می‌دهد که از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه میزان تبخیر-تعرق افزایش می‌یابد. در واقع توزیع مکانی میزان تبخیر-تعرق پتانسیل به صورت افزایشی از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه، بیشتر از عامل عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا تبعیت می‌نماید. با توجه به شرایط گرمایی از نظر فصلی، بیشترین مقدار PET در فصول بهار و تابستان و کمترین مقدار در فصول سرد سال پاییز و زمستان مشاهده گردید. در تمام فصول سال همچنان ایستگاه بشرویه بیشترین و ایستگاه‌های قوچان و گلستان کمترین میزان تبخیر-تعرق مشاهده می‌شود (شکل ۳). تفاوت دمایی مناطق مختلف در طول سال با تأثیرپذیری از شرایط جغرافیایی، به خصوص ایام سرد سال موجب نوسان تبخیر-تعرق در فصول مختلف سال شده است. منحنی‌های فصول پاییز و زمستان در مقایسه با منحنی‌های فصول بهار و تابستان از نوسان کمتری برخوردار می‌باشند (شکل ۳).

پاپاداکیس دوازده رژیم اصلی و چهل رژیم فرعی گرمایی را در سیستم خود وضع کرده است که بستگی به شرایط گرمایی تابستان و زمستان دارد (کوانتا، ۱۳۵۴). با در نظر گرفتن طول فصل آزاد از یخبندان، دمای سردترین ماه سال در ایام سرد سال به منظور مقاومت گیاهان و در ایام گرم سال با در نظر گرفتن دمای گرمترین ماه‌های سال به منظور رشد و نمو، کل منطقه شمال شرق از رژیم گرمایی قاره‌ای (بری) CO₁، با ویژگی گرم و خشک برخوردار می‌باشد.

شرایط رطوبتی

برآورد تبخیر-تعرق بالقوه PET، سالانه و فصلی

برآورد تبخیر-تعرق بالقوه به عنوان یکی از شاخص‌های رطوبتی عمده در مطالعات اقلیم کشاورزی به صورت مجموع فصلی و سالانه با روش پاپاداکیس در شکل (۲ و ۳) مشخص شده است. براساس نتایج به دست آمده بیشترین کمترین میزان تبخیر-تعرق بالقوه سالانه به ترتیب، با ۱۱۲۸ و ۶۰۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های بشرویه و قوچان رخ می‌دهد. ایستگاه‌های گلستان، بجنورد و قوچان با توجه به ارتفاع و عرض جغرافیایی بالاتر جزء مناطق با کمترین میزان تبخیر و تعرق محسوب می‌شوند. کمترین میزان تبخیر-تعرق سالانه با ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در محدوده استان خراسان شمالی و بیشترین میزان با ۱۲۰۰ میلی‌متر و بیشتر در مناطق غرب و جنوب غرب رخ می‌دهد. به طور کل منطقه شمال شرق یکی از مناطق با تبخیر-تعرق بالا محسوب می‌شود، به طوری که در بیشتر مناطق آن میزان این رخداد به بیشتر از ۸۰۰ میلی‌متر می‌رسد. نتایج ارزیابی متقابل روش‌های برآوردکننده به منظور میان‌یابی برای توزیع فضایی شاخص‌ها در جدول (۳) مشخص شده است. از میان روش‌های میان‌یابی روش کریجینگ بی‌زین تجربی EBK، به عنوان یک روش زمین‌آمار، با توجه به RMSE و ME کمتر نسبت به دیگر روش‌ها، در توزیع فضایی PET سالانه و فصلی از کارآمدی بالاتری برآورد برخوردار می‌باشد.

جدول ۳ - ارزیابی متقابل (Cross Validation) پارامترهای باران مؤثر، تبخیر-تعرق بالقوه و شاخص رطوبتی سالانه و فصلی

زمین‌آمار				قطعی				روش پارامتر
EBK		Kriging/cokriging		RBF		IDW		
RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	
۰/۹۹	-۳۸/۹۹	۲/۷۸	۱۷/۹۱	۱۵/۹۹	-۲۵/۳۶	۱۸۴/۶	۳۹/۲۴۱	PET سالانه
۰/۹۶	۰/۰۰۷	۱/۰۱	۰/۰۱۳	۱/۳۳	۰/۰۱۳	۱/۳۸	۰/۰۱۹	HI سالانه
۰/۹۷	۰/۹۲۱	۱/۵۹	-۲/۷۶	۲۰/۲	۰/۱۴۶	۱۹/۸	-۰/۱۴۵	EF باران مؤثر سالانه
۰/۹۵	-۲/۵۹	۳/۶	۳/۱۹	۹/۵	-۱/۱۴	۱۳/۹	-۲/۲۴	PET زمستان
۱/۰۱	-۱۵/۱	۲/۸	۷/۱۶	۷۶/۴	-۱۱/۲	۸۰/۱۵	-۱۵/۳۷	PET بهار
۱/۶۹	۳/۰۲	۱/۸۱	۲/۸۵	۵۱/۰۹	-۹/۳۶	۶۱/۱	-۱۳/۵	PET تابستان
۱	-۲/۸	۲/۶۹	۵/۰۱	۱۸	-۱/۸۶	۲۱/۹	-۳/۴	PET پاییز
۰/۹۷	-۲/۵۹	۳/۶	۳/۱۹	۹/۵	-۱/۱۴	۱۳/۹	-۲/۸۴	EF زمستان
۰/۹۷	۱/۳	۳/۳	۱/۲۶	۶/۷	۰/۵۵	۶/۵	۰/۶۵	EF بهار
۰/۹۶	-۰/۰۰۷	۰/۸۱	-۰/۰۰۷	۴/۱	-۰/۴۱	۴/۱	-۰/۵۳	EF پاییز

رژیم رطوبتی و شاخص رطوبتی HI^۱

رژیم رطوبتی منطقه مورد مطالعه براساس میزان بارش ماهانه و تبخیر-تعرق بالقوه در (جدول ۴) مشخص شده است. در شمال شرق، ایستگاه‌های واقع در خراسان شمالی، قوچان و بجنورد با رژیم رطوبتی مدیترانه‌ای خشک یا Me بیشترین رطوبت خود را در ایام سرد سال و کمترین میزان را در ماه‌های گرم سال دریافت می‌کنند. ایستگاه‌های دیگر منطقه از رژیم رطوبتی بیابانی گرم de و da برخوردار می‌باشند، خشکی و کمبود بارش ویژگی بارز این رژیم رطوبتی محسوب می‌شود. از نظر رژیم رطوبتی خراسان شمالی مرطوب‌ترین استان در شمال شرق محسوب می‌شود. از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه بر میزان خشکی افزوده می‌شود. بیشترین میزان شاخص رطوبتی در مناطق خراسان شمالی با ۱/۵۸ درصد در ایستگاه قوچان مشاهده می‌شود، در مناطق خراسان رضوی و جنوبی این شاخص در سطح بسیار پایینی قرار دارد. توزیع فضایی شاخص رطوبتی براساس روش میان‌یابی EBK، از کارآمدی بالاتری برخوردار می‌باشد. براساس توزیع فضایی شکل (۵) از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه میزان شاخص رطوبتی HI، کاهش پیدا می‌کند. در واقع توزیع مکانی این شاخص بیشتر از عامل عرض

در فصل زمستان کمترین PET در مناطق مرتفع با عرض جغرافیایی بالاتر به‌خصوص مناطق خراسان شمالی و رضوی مشاهده می‌شود. ارتفاع از سطح دریا نقش مؤثری در کاهش تبخیر-تعرق مناطق مختلف نشان می‌دهد، به‌طور نمونه می‌توان به مناطق کاشمر و گناباد اشاره نمود که با توجه به عرض جغرافیایی پایین‌تر تبخیر-تعرق در آن‌ها نسبت به مناطق اطراف کمتر مشاهده می‌شود. با توجه به افزایش دمای هوا در فصول بهار و تابستان افزایش تبخیر-تعرق نیز در کل منطقه مشاهده می‌شود، بنابراین توزیع تبخیر-تعرق در فصول گرم سال یکنواخت‌تر از فصول سرد به‌نظر می‌رسد. در فصول پاییز و زمستان با توجه به تفاوت کاهش دمای هوا در مناطق مختلف خراسان مقدار تبخیر-تعرق نیز با نوسان همراه می‌باشد. توزیع فضایی PET، فصلی در (شکل ۵) مشخص شده است. در تمام فصول از شمال به جنوب غرب منطقه شمال شرق میزان PET، افزایش می‌یابد. شرایط مکانی به‌خصوص عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در توزیع فضایی آن نقش مؤثری ایفا می‌نمایند. نیمه غربی منطقه به سمت نواحی داخلی ایران زمین، حاشیه کویر مرکزی، از بالاترین میزان تبخیر-تعرق برخوردار می‌باشد.

¹ Humidity Index

این پارامترها هر زمانی که یکی بر دیگری پیشی گرفت، شرایط رطوبتی منطقه نیز تغییر می‌یابد. براساس شاخص فصلی رطوبت، سه وضعیت، خشک، میانه و مرطوب به‌وجود می‌آید. فصل میانه همبستگی زیادی با فصل مرطوب دارد که این ناشی از اثرات تراز مثبت آب ذخیره شده در خاک طی ماه‌های مرطوب در بیلان آبی این ایستگاه‌ها است (عزیزی و شائمی، ۱۳۸۳). نتایج بررسی شاخص رطوبتی فصلی منطقه مورد مطالعه براساس میزان بارش و تبخیر-تعرق بالقوه در جدول (۴) مشخص شده است.

جغرافیایی تبعیت می‌نماید. در توزیع سالانه، خراسان شمالی و جنوبی به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص رطوبتی را دارا می‌باشند. به‌طور کلی، منطقه شمال شرق یکی از مناطق با سطح شاخص رطوبتی پایین در ایران زمین محسوب می‌شود، بنابراین مدیریت منابع آبی در توسعه کشاورزی با توجه به وضعیت کلی این شاخص رطوبتی حائز اهمیت می‌باشد.

طبقه‌بندی فصول رطوبتی

وضعیت رطوبتی هر منطقه براساس میزان ورودی و خروجی به صورت بارش و تبخیر-تعرق تعیین می‌شود. در

جدول ۴- رژیم رطوبتی منطقه شمال شرق براساس شاخص‌های رطوبتی

ایستگاه	بیرجند	بجنورد	بشرویه	فردوس	قائن	قوچان	کلمکان	گناباد	کاشمر	مشهد	سبزوار	سرخس
P	۱۶۸/۸	۲۷۱	۱۰۰/۱	۱۵۰/۳	۱۷۹/۴	۳۱۴/۹	۲۱۷/۳	۱۴۷/۲	۲۰۶/۵	۲۵۴/۶	۲۰۰/۱	۱۹۲/۹
PET	۸۹۸	۶۱۰	۱۳۳۶	۸۶۰	۷۹۰	۶۱۵	۵۶۸/۹	۷۸۵	۷۳۰/۴	۷۰۶/۷	۸۲۳	۹۱۷/۴
HI	۰/۱۸	۰/۷۹	۰/۲۶	۰/۵۷	۰/۶۸	۱/۵۸	۰/۸۹	۰/۶۱	۰/۹۶	۰/۳۶	۰/۷۳	۰/۷۱
رژیم رطوبتی اصلی	de	Me(dry)	de	da	da	Me(dry)	da	de	da	de	de	de
طبقه فرعی	بیابانی	مدیترانه ای	بیابانی	بیابانی	بیابانی	مدیترانه ای	بیابانی	بیابانی	بیابانی	بیابانی	بیابانی	بیابانی

جدول ۵- فصول رطوبتی شمال شرق براساس مقدار بارش و تبخیر-تعرق بالقوه ماهانه

ایستگاه	فصل مرطوب R > PET	فصل میانه R > 50 0/0 PET	فصل خشک R < 50 0/0 PET
بیرجند	-	از ماه دسامبر تا مارس	از ماه آوریل تا نوامبر
بجنورد	از ماه دسامبر تا آوریل	ماه می و نوامبر	از ماه ژوئن تا اکتبر
بشرویه	-	-	کل ماه‌های سال
فردوس	-	ماه‌های ژانویه و فوریه	از ماه آوریل تا مارس
قائن	-	از ماه‌های ژانویه تا آوریل و ماه دسامبر	از ماه می تا نوامبر
قوچان	از ماه دسامبر تا آوریل	ماه‌های می و نوامبر	از ماه ژوئن تا اکتبر
کلمکان	مارس	ماه‌های دسامبر تا فوریه و ماه‌های آوریل و می	ماه‌های ژوئن تا نوامبر
گناباد	-	ماه‌های دسامبر و آوریل و ماه‌های ژانویه تا مارس	از ماه می تا نوامبر
کاشمر	ماه ژانویه تا مارس	ماه‌های آوریل و دسامبر	از ماه می تا نوامبر
مشهد	از ماه ژانویه تا مارس	ماه‌های آوریل و دسامبر	از ماه می تا نوامبر
سبزوار	ماه‌های ژانویه و فوریه	ماه‌های مارس و دسامبر	از ماه آوریل تا نوامبر
سرخس	-	از ماه ژانویه تا مارس	از ماه آوریل تا دسامبر

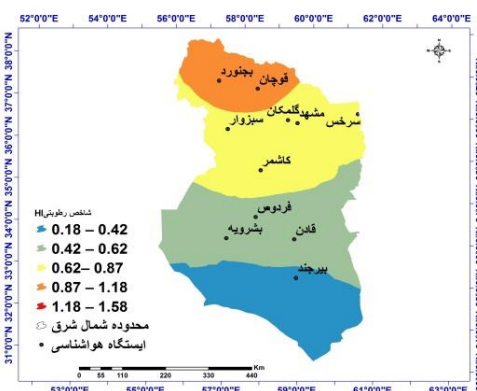
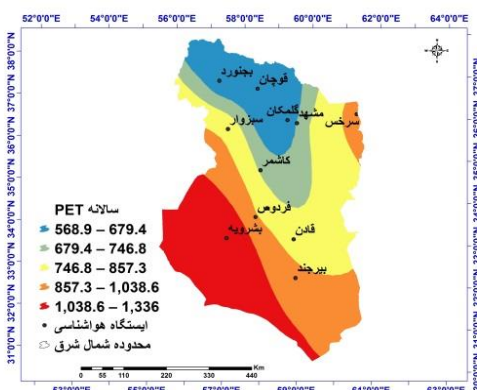
می‌باشد. در مناطق خراسان شمالی برای ایستگاه‌های مانند بجنورد و قوچان پنج ماه از سال از ماه دسامبر تا آوریل جزء ماه‌های مرطوب محسوب می‌شود، در اولویت بعدی مناطقی

بررسی اولیه نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از شرایط رطوبتی مناسبی برخوردار نبوده و در بیشتر ایستگاه-ها، طول ماه‌های خشک از بازه زمانی طولانی‌تری برخوردار

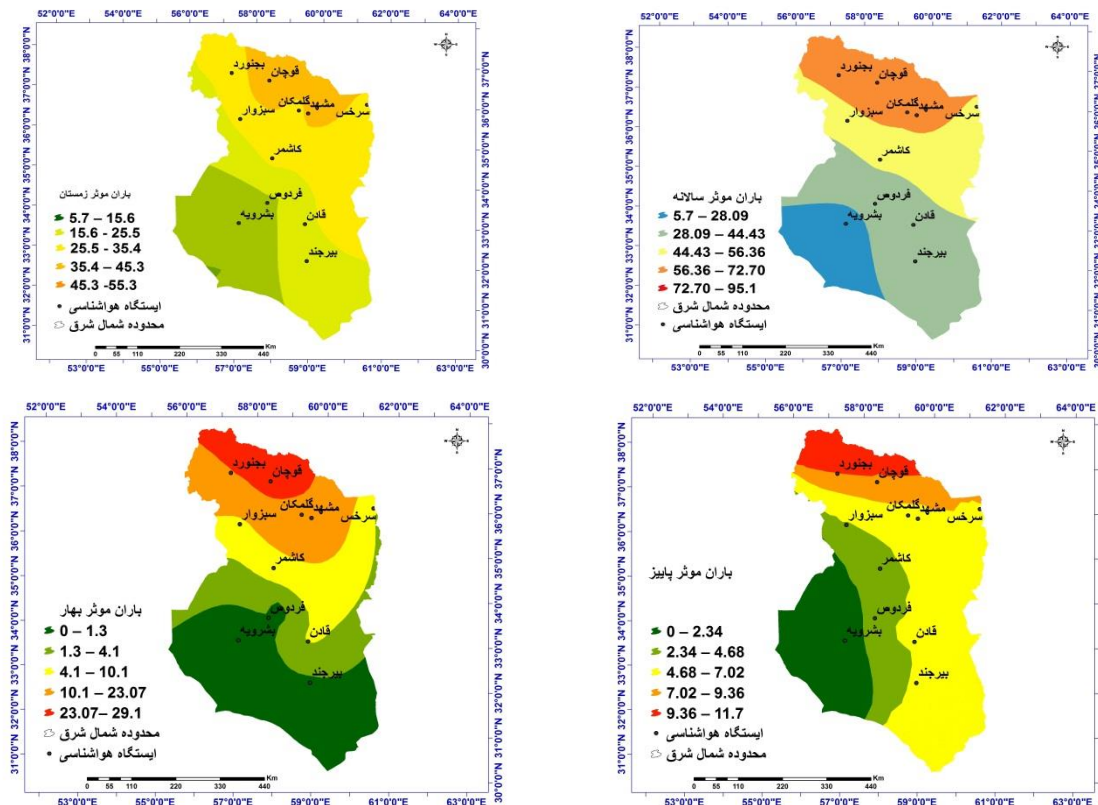
مانند، مشهد، کاشمر و سبزوار از ماه ژانویه تا مارس، ماه مرطوب دارند. از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه از میزان ماه مرطوب کاسته شده و بر تعداد ماه‌های خشک افزوده می‌شود، به طوری که در ایستگاه‌های سرخس، قائن، گناباد، فردوس، بیرجند و بشرویه ماه مرطوب وجود ندارد. در مناطق بدون ماه مرطوب، ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می جزء ماه‌های میانه محسوب می‌شوند. مناطقی از شمال شرق در حاشیه کویر داخلی ایران مانند بشرویه، به علت بالا بودن میزان تبخیر-تعرق نسبت به بارش در طول سال جزء فصول رطوبتی خشک محسوب می‌شود. منطقه خراسان شمالی از رطوبت بیشتری نسبت به دیگر مناطق برخوردار می‌باشد، طول فصل مرطوب آن چهارتا پنج ماه به طول می‌انجامد، مناطق خراسان رضوی طول فصل مرطوب آن از اواسط زمستان شروع و تا اوایل بهار به صورت کوتاه مدت رخ می‌دهد، در مقابل طول فصل خشک آن بازه زمانی طولانی‌تری را در بر می‌گیرد (جدول ۵). طول فصل خشک در مناطق خراسان جنوبی طولانی‌تر از دیگر مناطق می‌باشد.

باران مؤثر

باران مؤثر به‌عنوان یک شاخص رطوبتی در شناسایی شرایط اقلیمی از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. نتایج محاسبات باران مؤثر در محیط نرم افزار CROPWAT/8 برای هر ایستگاه هواشناسی در شکل (۶) مشخص گردید. از نظر توزیع زمانی، بیشترین میزان باران مؤثر در منطقه شمال شرق در انتهای فصل زمستان و آغاز فصل بهار در گستره ماه‌های مارس، آوریل و می رخ می‌دهد. متناسب با نفوذ توده هوای باران‌زا بر منطقه از اواخر فصل پاییز میزان باران مؤثر نیز به تدریج افزایش می‌یابد، و اوج آن در ماه مارس رخ می‌دهد. در مناطق خراسان شمالی و رضوی بیشترین باران مؤثر در ماه‌های مارس و می و در مناطق خراسان جنوبی بالاترین میزان در ماه مارس رخ می‌دهد، مناطق خراسان شمالی علاوه بر ماه مارس در میانه فصل بهار یعنی ماه می از بیشترین میزان باران مؤثر نیز برخوردار می‌باشد. توزیع فضایی باران مؤثر سالانه براساس روش میان‌بایی زمین‌آمار کریجینگ بی‌زین تجربی EBK، از شمال



شکل ۵- توزیع مکانی تبخیر-تعرق بالقوه سالانه و فصلی براساس روش پایاداکیس و شاخص رطوبتی سالانه



شکل ۷- توزیع مکانی باران مؤثر سالانه و فصلی در شمال شرق ایران

رخ می‌دهد و تابستان کاملاً خشک است. در فصل تابستان شرایط گرم تا بسیار گرم رخ می‌دهد، درصد بالای تابش در سراسر سال به خصوص در فصل تابستان رخ می‌دهد. این آب و هوا حد واسط اقلیم صحرایی و مرطوب قرار دارد، بیشتر نزولات جوی آن در زمستان و بهار ریزش می‌شود. این طبقه اقلیمی با توجه به شرایط گرمایی زمستان و تابستان تنوع کشاورزی محصولات کشاورزی نظیر جو، پنبه و مانند این‌ها را دارا می‌باشد. اما از نظر رطوبتی شرایط لازم برای رشد بسیار از محصولات زراعی وجود ندارد. در واقع در این طبقه اقلیمی گیاهان با تنش خشکی مواجه بوده و استفاده از محصولاتی که از نیاز آبی کمتری برخوردارند مقرون به صرفه می‌باشد. ایستگاه‌های، بیرجند، گلکان، بشرویه، قائن، فردوس، گناباد، کاشمر در این طبقه اقلیمی قرار دارند.

اقلیم بیابانی

این طبقه اقلیمی از نظر شرایط دمایی از سختی زمستان برخوردار بوده و شرایط گرمایی در زمستان برای محصولات

طبقه‌بندی اقلیم کشاورزی منطقه

گیاهان به‌علت آن که مانند آینه‌ای منعکس‌کننده تأثیرات محیط و پدیده‌های طبیعی هستند در تشخیص و تفکیک اقلیم مناسب‌اند. گیاهان متناسب با میزان پراکنش خود در محیط‌های مختلف می‌توانند در تشخیص و تفکیک اقلیم مؤثر واقع شوند (فرمهینی فراهانی، ۱۳۹۱). براساس شرایط گرمایی و رطوبتی طبقات اقلیم کشاورزی منطقه مورد مطالعه در جدول (۶) مشخص شده است. منطقه شمال شرق به سه اقلیم عمده بری بیابانی، بیابانی و نیمه‌خشک بری طبقه‌بندی می‌شود.

اقلیم بری بیابانی

ویژگی اصلی این طبقه اقلیمی این است که تبخیر-تعرق بالقوه از سطح خاک و پوشش نباتی بیشتر از متوسط سالیانه ریزش جوی است. در چنین آب و هوایی کمبود آب غلبه داشته و ذخیره دائمی آب زیرزمینی حفظ و نگهداری نمی‌شود، تمرکز ریزش‌های جوی عمدتاً در فصل زمستان

مقاوم به سرما مانند جو دو سر مناسب می‌باشد. یخبندان-های شدید در این اقلیم رخ می‌دهد، از نظر تیپ اکولوژیکی گیاهان مقاوم به سرما قابلیت رشد و نمو دارا می‌باشند. از نظر شرایط رطوبتی از ماه دسامبر تا اوایل بهار میزان باران منطقه افزایش می‌یابد و حداکثر باران مؤثر در بین ماه‌های مارس و آوریل رخ می‌دهد. در تابستان توانایی رشد و نمو محصولات پنبه و محصولات باغی مقاوم به خشکی را دارا می‌باشد. تابستان منطقه گرم و خشک بوده و در کل میزان باران منطقه مناسب نبوده و استفاده از محصولات باغی به جای محصولات زراعی مقرون به صرفه می‌باشد. ایستگاه‌های مشهد، سبزوار و سرخس در زیر گروه‌های این طبقه اقلیمی قرار دارند.

اقلیم نیمه خشک بری

در این طبقه اقلیمی، غلات زمستانی، گندم و جو از محصولات اصلی دیم به‌شمار می‌رود. در زمستان یخبندان شدید رخ می‌دهد و گیاهان مقاوم به سرما مانند غلات به-خصوص جو توانایی رشد و نمو دارا می‌باشند. در این اقلیم با توجه به شرایط و آستانه‌ها زیتون هم می‌تواند رشد نماید. شرایط رطوبتی به صورت تبخیر-تعرق کمتر و فصول رطوبتی طولانی تا پنج ماه از سال از ویژگی‌های رطوبتی بارز در این طبقه اقلیمی می‌باشد. در منطقه شمال شرق، مناطق خراسان شمالی به خصوص ایستگاه‌های قوچان و بجنورد در این طبقه اقلیمی قرار دارند. در این طبقه اقلیمی گندم به-طور متناوب متحمل خشکسالی می‌شود. گندم زمستانه محصول اصلی دیم می‌باشد. جایی که شروع فصل خشک از ماه ژوئن باشد، گندم و برخی دیگر از محصولات رشد می‌کنند، اگر فصل خشک از ماه مه آغاز شود، خسارت بار است (عزیزی و شائمی، ۱۳۸۳). درجایی که شروع فصل خشک از ماه آوریل یا زودتر آغاز گردد، زراعت و کشت محصولات تابستانی بدون آبیاری امکان پذیر نیست.

نتیجه گیری

مطالعه و طبقه‌بندی آب و هوا بر مبنای توان اکولوژیک هر منطقه برای استفاده بهینه از منابع حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به شرایط گرمایی منطقه مورد مطالعه در قالب

آستانه‌های دمایی عناصر اقلیمی در ایام سرد و گرم سال، تیپ‌های اکولوژیکی شمال شرق به ترتیب در طبقات جو دو-سر و پنبه خنک‌تر و گرم‌تر قرار می‌گیرد. ترکیب شرایط سرمایی و گرمایی براساس آستانه‌های روش پایاداکیس، منطقه شمال شرق را در رژیم گرمایی قاره‌ای (بری) قرار می‌دهد. برآورد تبخیر-تعرق بالقوه، شاخص رطوبتی، فصول رطوبتی و باران مؤثر در شناسایی رژیم رطوبتی هر منطقه نقش مؤثری ایفا می‌نماید. تبخیر-تعرق پتانسیل برآورد شده بر مبنای شرایط گرمایی از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد. توزیع زمانی باران مؤثر متأثر از باران‌های بهاره منطقه شمال شرق در اواخر زمستان تا اواسط بهار رخ می‌دهد، توزیع مکانی باران مؤثر متأثر از عامل عرض جغرافیایی و توزیع ناهمواری‌های منطقه از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. شاخص رطوبتی براساس نسبت بارش به تبخیر-تعرق، از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه کاهش پیدا می‌کند، در واقع از تعداد ماه‌های مرطوب کاسته شده و بر ماه‌های خشک افزوده می‌شود. ترکیب شرایط باران مؤثر، شاخص رطوبتی و تبخیر-تعرق بالقوه موجب حاکمیت رژیم رطوبتی مدیترانه‌ای خشک در مناطق نسبتاً مرطوب خراسان شمالی و رژیم رطوبتی بیابانی گرم در مناطق خراسان رضوی و جنوبی شده است. توزیع فضایی شاخص‌های رطوبتی بر مبنای روش‌های زمین‌آمار از عامل عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا بیشتر تبعیت می‌نماید، به طوری که از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه افزایش و کاهش این شاخص‌ها مشهود می‌باشد. براساس شرایط گرمایی و رطوبتی منطقه شمال شرق در طبقات اقلیمی، بری بیابانی، بیابانی و نیمه خشک بری قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه شرایط رطوبتی نسبت به شرایط گرمایی در تفکیک و تمییز طبقات اقلیم کشاورزی نقش مؤثر تری ایفا می‌نماید. تبخیر تعرق بالقوه، فصول رطوبتی، باران مؤثر و شاخص رطوبتی برآورد شده در این تحقیق در دیگر زمینه‌های مرتبط با کشاورزی و نیاز آبی گیاهان حائز اهمیت می‌باشد. در منطقه شمال شرق از نظر شرایط گرمایی، تنوع تیپ‌های اکولوژیکی تقریباً ناچیز بوده و شرایط رطوبتی در مقیاس محلی با تأثیر از شرایط جغرافیایی از تنوع بیشتری برخوردار می‌باشد. از

علیزاده، ا. ۱۳۸۹. اقلیم و هواشناسی کشاورزی، چاپ اول، انتشارات آستان قدس رضوی، ۵۰۴ صفحه.

غفاری، ع. ا.، ادی، د.، قاسمی دهکردی، و. ر. ۱۳۸۷. پهنه-بندی آگروکلیمایی ایران با روش یونسکو، طرح پژوهشی وزارت جهاد کشاورزی.

فتحی هفشجانی، ا.، بیگی هرچگانی، ح.، داویدیان دهکردی، ع.، طباطبایی، س. ح. ۱۳۹۲. مقایسه چند روش درون-یابی مکانی و انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی نیترات و فسفات در آب زیرزمینی شهرکرد. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱۵: ۶۳-۵۱.

فرمehینی فراهانی، ع. ۱۳۹۱. تعیین مناسب‌ترین سیستم طبقه‌بندی اقلیمی مناطق خشک با استفاده از گیاهان شاخص اقلیم. سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، دانشگاه آزاد اسلامی، ۲۵-۲۶ شهریور، اراک.

فرمehینی فراهانی، ع.، مهدوی، م. ۱۳۸۶. کاربرد گیاهان به عنوان شاخصی برای تفکیک طبقات اقلیمی. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۴: ۱۶۹-۱۶۳.

قاسمی دهکردی، و. ر.، محمودی، ش.، غفاری، ع. ا.، دپائو، و. ۱۳۸۷. پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی با روش یونسکو و شاخص خشکی تعدیل‌شده در بخشی از استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل. نشریه علوم کشاورزی ایران، ۳۹ (۲): ۲۸۹-۲۸۱.

کمالی، غ. ۱۳۷۰. بررسی شرایط هم‌اقلیمی پنبه و چغندر قند از دیدگاه اکولوژی زراعی در استان خراسان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

کوانتا (مهندسین مشاور هواشناسی با همکاری مؤسسه هواشناسی و آب‌شناسی رومانی). ۱۳۵۵. بررسی هم-اقلیمی برای سه منطقه ایران. طرح سازمان هواشناسی کشور.

کوانتا (مهندسین مشاور هواشناسی با همکاری مؤسسه هواشناسی و آب‌شناسی رومانی). ۱۳۵۴. مطالعات هواشناسی کشاورزی (جلد اول). سازمان هواشناسی کشور.

نظر شرایط گرمایی در بیشتر منطقه قابلیت رشد و نمو محصولات مختلف وجود دارد اما از نظر شرایط رطوبتی محدودیت وجود دارد. نتایج حاصل از این تحقیق بر مبنای شرایط اقلیمی و توان اکولوژیکی گیاهان، برای برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع در جهت توسعه پایدار کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد.

منابع

احمدی، ح. ۱۳۸۹. بررسی شرایط آگروکلیمایی کشت سیب‌زمینی در سطح ایستگاه‌های منتخب استان ایلام، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، آب و هوا شناسی، دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان.

حسینی پاک، ع. ا. ۱۳۹۲. زمین‌آمار (ژئو استاتستیک)، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ صفحه.

حیدری، ح. ۱۳۷۸. تحلیل عناصر اقلیمی ایران به منظور ارائه یک الگوی طبقه‌بندی. رساله دوره دکتری، جغرافیایی طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.

عباسی‌نیا، م. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان جنوبی با استفاده از شیوه‌های نوین آماری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، اقلیم شناسی کاربردی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.

عزیزی، ق. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی اقلیمی شمال غرب ایران به روش لیتن اسکی با استفاده از GIS. نشریه علوم جغرافیایی، ۵ (۶ و ۷): ۲۵-۹.

عزیزی، ق.، شامی برزکی، ا. ۱۳۸۳. ارزیابی تنوع اقلیمی و استعدادهای کشاورزی ایران به روش پاپاداکیس. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۹: ۹۲-۷۱.

عزیزی، ق. ۱۳۸۰. طبقه‌بندی رقومی ایستگاه‌های اقلیمی منتخب در ایران به روش لیتن اسکی. پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۱: ۵۱-۳۹.

علیخانی، س. ۱۳۹۰. بررسی شرایط آگروکلیمایی سیب درختی در استان چهارمحال و بختیاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، اقلیم شناسی، دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان.

- Madhumita, H. 2015. Agro- Climatic zone and economic development of Rajasthan. *Int. J. soc. sci. humanit. Invent.*, 4(2): 50-57.
- Papadakis, J. 1966. *Climate of the world and their agricultural potentialities*, DAPCO. Rome.
- Priya, S., Shibasaki, R. 2001. National spatial crop yield simulation using GIS based crop production model. *Ecol. modelling.*, 136: 113-129.
- Rahman, M. M., Islam, m. O. Hassanuzzaman, M. 2008. Study of effective rainfall for irrigated agriculture in South-Eastern part of Bangladesh. *World J. Agric. Sci.*, 4(4): 453-457.
- Singh, S. P., Singh, C. J., Hundal, S. S. 2003. Verification of empirical estimated in south-west Punjab. *Agric. J. Phys.*, 3(1&2):126-129.
- Thorntwaith, W. 1931. The climates of North America according to a new classification. *Geogr. J. Rev.*, 21(4): 633-655.
- Willmott, C. J., Feddema, J. J. 1992. A more rational climatic moisture index. *The Professional Geographer*, 44(1): 84-88.
- Zahid, M., Rasul, Gh. 2011. Thermal classification of Pakistan. *Atmos. J. clim. sci.*, 1: 206-2013.
- لشکری، ح.، کیخسرو، ق.، رضایی، ع. ۱۳۸۷. تحلیل میزان کارایی مدل CROPWAT در برآورد نیاز آبی محصول گندم در غرب کرمانشاه: شهرستان‌های اسلام آباد غرب، سرپل ذهاب و روانسر. فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱: ۲۷۰-۲۴۷.
- مظفری، غ. ۱۳۸۲. اصول و مبانی هواشناسی کشاورزی (ترجمه). چاپ اول، انتشارات نیک پندار، ۵۱۸ صفحه.
- Bishnoi, O. P. 2010. *Applied Agro climatology*, Oxford Book Company Publisher, ISBN 10: 9380179111. London.
- Geng, Q., Wu, P., Zhao, X., Wang, Y. 2014. Comparison of classification methods for three divisions of wet/dry climate regions in Northwest China. *Int. J. Clim.*, 34: 2163-2174.
- Graef, F., Lawrence, P., Von, O. 2000. *Adapted farming in West Africa: issues, potentials and perspectives: final report (1986-1999) of the Special Research Programme 308 "Adapted Farming in West Africa"*. Grauer publication. Germany.
- Holden, N. M., Brereton, A. J. 2004. Definition of agro climatic regions in Ireland using hydro- thermal and crop yield data. *Agric. For. Meteorol.*, 122: 175-191.



The agroclimatic classification of northern east of Iran based on thermal and humidity conditions

H. Ahmadi¹, Gh. Fallah Ghalhary^{*2}

Received: 24/02/2015

Accepted: 17/08/2015

Abstract

Climatic classification based on ecological capacity and weather conditions of different regions has great importance in agroclimatic studies. In this study an agroclimatic classification of north eastern of Iran using Papadakis and effective rainfall methods has been carried out. CROPWAT ver.8.0 software was used to calculate effective rainfall. To regionalize the point data, geostatistical methods were used. The obtained values were elaborated using ARCGIS 10.2 to generate the spatial distribution maps. Cross-efficiency evaluation of geostatistical methods indicated that Empirical Bayesian Kriging (EBK) produces a higher efficiency. Based on the winter and summer temperature and plants temperature stability, ecological types of oats and cotton are dominant in the region, respectively. According to these ecological types, a warm continental regime is dominant the region. Considering humidity conditions of the region expressed in terms of potential evapotranspiration (PET) and monthly rainfall, the climate of northeastern Iran categorized as arid Mediterranean and arid climates. The highest amount of effective rainfall, as a major moisture index, is observed in month of March and April. Based on the ratio potential evapotranspiration to monthly precipitation ration from the north to the south, the number of humid months decreases southward. The spatial distribution of (PET) increases from the north to the southern parts. Similarly, effective rainfall and humidity index (HI) values were decreased. Taking into account the thermal and humidity conditions, the northeastern region of Iran's climate is classified as continental arid/semi-arid and desert classes. Humidity conditions play a major role in determining climate classes in the studied region. Further studies using other climatic indices are recommended for more scrutiny.

Keywords: Agroclimatology, Effective Rain, Potential evapotranspiration, Humidity Index, Climatic Classes

¹ Ph.D. Student of Agroclimatology, Hakim Sabzevari University

² Assistant Prof, Climatology, Dep. of Geography, Faculty of Geography and Environment Sciences, Hakim Sabzevari University
(*Corresponding Author email address: ab_fa789@yahoo.com)