



بررسی تطبیقی نقشه‌های اقلیمی ایران در طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده و کاربست روش برای پهنه‌بندی اقلیم جهان

علی خلیلی^{۱*}، جواد بذرافشان^۲، مجید چراغعلی‌زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۶

چکیده

طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن از نسل اول طبقه‌بندی‌هایی است که عموماً با هدف ارزیابی بوم‌شناختی گیاهی تدوین شده و درجه خشکی مناطق در رابطه با پوشش نباتی طبیعی آن‌ها را ارزیابی می‌کنند. به منظور افزایش کارایی این طبقه‌بندی در هویت‌یابی اقلیمی مناطق مختلف به‌خصوص در عرض‌های میانی نظیر ایران دو گسترش بر آن اعمال شده است. نخست، باز-تعریف طبقه خشک به دو زیر-اقلیم مجزا به منظور تطابق بیشتر با جغرافیای پوشش نباتی و دیگری گسترش طبقات اقلیمی بر پایه میانگین دمای حداقل روزانه در سردترین ماه سال که نقشی اساسی در بوم‌سازگان گیاهی نواحی مختلف دارد. بررسی تطبیقی مطالعات صورت گرفته با طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده و نقشه‌های اقلیمی آن‌ها در گستره ایران نشان داد که تفاوت‌ها بیش از آنکه ناشی از اختلاف دوره‌های اقلیمی باشد در درجه اول معلول تراکم شبکه ایستگاه‌ها و پراکندگی آن‌ها است. کاربست طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده در سطح جهان مبتنی بر پایگاه داده CRU نشان داد که با تعریف طبقه اقلیمی قطبی برای مناطقی که متوسط دمای سالانه آن‌ها برابر یا کوچکتر از $(^{\circ}\text{C}) -10$ است، می‌توان این شاخص را در سطح جهانی مورد استفاده قرار داد. افزون بر این در مناطقی که میانگین سالانه دما در آن‌ها در بازه $(^{\circ}\text{C}) -5$ تا $(^{\circ}\text{C}) -10$ قرار دارد و $8/5$ درصد خشکی‌های جهان را پوشش می‌دهد ویژگی‌هایی شبیه مناطق قطبی را دارند که در این مقاله به آن پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: طبقه‌بندی اقلیمی، دمارتن گسترش داده شده، اقلیم ایران، اقلیم جهان، اقلیم مناطق قطبی

۱- مقدمه

پرشمار و گوناگون می‌باشند، ولی در عین حال در بین آن‌ها دو گروه زیر با اقبال بیشتر اقلیم‌شناسان روبرو بوده اند:
گروه اول: طبقه‌بندی‌هایی که بر اساس همسانی شرایط و یا پتانسیل‌های خاص طبیعی مناطق مثل پوشش نباتی، شرایط آسایش انسان در فضای آزاد (اقلیم آسایش)، پتانسیل بهره‌گیری از انرژی‌های طبیعی (اصطلاحاً گرمایش و سرمایش)، معماری همساز با اقلیم، هم-اقلیمی برای زراعت خاص، ریسک اقلیمی سرما زدگی محصولات زراعی

طبقه‌بندی اقلیمی یک سرزمین، مرزبندی آن به محدوده‌هایی است که در آن‌ها ویژگی‌هایی که معلول شرایط درازمدت عوامل هواشناسی آن منطقه هستند همسان باشند. فرآیند جمع‌بندی ویژگی‌های مذکور که الگوریتم یا پایه طبقه‌بندی را تشکیل می‌دهند، روش طبقه‌بندی نامیده می‌شود. این روش‌ها با اهداف گوناگون تدوین و یا تعریف شده‌اند و از این رو طبقه‌بندی‌های اقلیمی

^۳ دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران

^۱ استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(akhalili@ut.ac.ir)

^۲ دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج، ایران

نحوه ارجاع مقاله:

خلیلی، ع.، بذرافشان، ج.، چراغعلی‌زاده، م. ۱۴۰۱. بررسی تطبیقی نقشه‌های اقلیمی ایران در طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده و کاربست روش برای پهنه‌بندی اقلیم جهان. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۱): ۱۶-۳. DOI: 10.22125/agmj.2022.156309

Khalili, A., Bazrafshan, J., Cheraghalizadeh, M. 2022. A Comparative study on climate maps of Iran in extended de Martonne classification and application of the method for world climate zoning. Journal of Agricultural Meteorology, 10(1): 3-16. DOI: 10.22125/agmj.2022.156309

2009; Iyigun et al., 2013; Kozjek et al., 2017; Khatibi and Saberi, 2020; Akrami et al., 2022

اهداف بررسی حاضر عبارتند از: (۱) باز-نویسی طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن و بیان دلایل لزوم گسترش آن، (۲) ارائه یک جمع‌بندی تطبیقی از پژوهش‌هایی که با این روش تاکنون در ایران به انجام رسیده است، و بالاخره (۳) ارائه نقشه اقلیمی جهان در طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده.

۲- پیشینه طبقه‌بندی‌های اقلیمی در ایران

پهنه‌های اقلیمی ایران تا کنون چه به صورت منطقه‌ای و چه به صورت ملی و سراسری مورد بررسی‌های زیاد و چندگانه قرار گرفته است. تنوع در این زمینه از نظر روش، اهداف، دقت و موضوع متعدد است. تراکم شبکه و نحوه بکارگیری داده‌ها و تخمین پارامترهای لازم در مناطق بدون ایستگاه و اخیراً بهره‌گیری از بانک‌های داده‌های بین‌المللی نیز از مواردی است که به گوناگونی نتایج مطالعات انجام شده طیف گسترده‌تری می‌دهد. دقت پایه نقشه‌های اقلیمی (نسبت تعداد ایستگاه‌های حقیقی به مساحت منطقه) نیز یکسان نیست و از حدود ۴۲ ایستگاه تا بیشتر از ۱۱۰۰ ایستگاه در گستره کشور متغیر است.

نخستین طبقه‌بندی‌های سنتی اقلیمی ایران عموماً در سیستم‌های کوپن، گسن و آمبرژه و سپس در سیستم‌های تورنت وایت و دمارتن، و تقریباً همگی قبل از و یا در اوایل همگانی شدن کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی در ایران به انجام رسیده است (Ganji, 1955; Adle, 1960; Jawadi, 1966; Sabeti, 1969; Dehsara, 1973; Nikfar, 1982).

در مطالعات روش‌شناسی طرح جامع آب کشور طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن مبنای مطالعات پایه قرار گرفت و با توجه به نیاز بخش‌های دیگر مطالعاتی طرح گسترشی در اشکوب‌های دمایی داده شد (Khalili, 1988) به قسمی که ضمن حفظ استخوان‌بندی اصلی طبقه‌بندی، توان تفکیک اقلیم‌ها را از شش اقلیم به ۳۲ اقلیم و زیر اقلیم گسترش داد. طبقه‌بندی جدید در ابتدا "دمارتن اصلاح‌شده" و بعداً طبقه‌بندی "دمارتن گسترش داده شده" نامیده شد و نخستین نقشه پهنه‌بندی اقلیمی ایران در این طبقه‌بندی تدوین و در مقیاس یک ملیونیم منتشر گردید (Khalili et al., 1992)، که موضوع این یادداشت

معین، (پهنه‌بندی‌های آگروکلیمایی)، و نظایر آن شکل گرفته‌اند. گروه زیادی از طبقه‌بندی‌های اولیه با همین نگرش تدوین شده‌اند. مثلاً در حوزه مسایل مربوط به آب و خاک و رستنی‌ها، توجیه رابطه خشکی محیط با پوشش نباتی و اکولوژی گیاهی مورد نظر بوده است. عوامل مشترک اقلیمی بکار گرفته شده در طبقه‌بندی‌های اخیر اکثراً پارامترهای موثر در بیلان آبی هستند و در آن‌ها عموماً از پارامترهای بارش در تقابل با عوامل تلف آبی (نظیر تبخیر یا دما) استفاده شده است. مقیاس زمانی پارامترهای اقلیمی در این روش‌ها نیز حسب هدف مولفان آن‌ها ماهانه یا سالانه اختیار شده‌اند. در بعضی از طبقه‌بندی‌ها نظیر طبقه‌بندی گسن^۱ و آمبرژه^۲ افزون بر شاخص از اقلیم نگاشت‌های تجربی نیز استفاده شده است. از نمونه‌های پرکاربرد این گروه‌ها می‌توان روش‌های طبقه‌بندی ترانسو (Transeau, 1905)، دمارتن (deMartonne, 1926)، تورنت وایت/تورنت وایت تجدید نظر شده (Thornthwaite, 1931; Thornthwaite, 1948)، کوپن (Koppen, 1936)، ایوانف (Ivanov, 1948)، گسن (Gausen and Bagnouls, 1952) سلینینف (Selyaninov, 1957)، آمبرژه (Emberger, 1963) و کریشنال (Krishnan, 1980) را نام برد. بسیاری نمونه‌های دیگر که در حال حاضر با اهداف گسترده‌تر و با روش‌های ترسیمی یا تحلیلی روزآمد به کار گرفته می‌شوند را نیز می‌توان در منابع مختلف جستجو کرد (khalili, 1972; Virmani et al., 1980; Mavi, 1986; Farifteh, 1987).

گروه دوم: طبقه‌بندی‌هایی که بر پایه فناوری‌های آماری پیشرفته نظیر تحلیل عاملی، تحلیل مولفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل فازی، گروه توابع متعامد، مبتنی بر گراف و نظایر آن‌ها بنا شده‌اند. در این روش‌ها صرفاً ماهیت آماری داده‌های اقلیمی و یا مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی ملاک هم‌گروهی ایستگاه‌ها و هویت‌یابی یک پهنه اقلیمی است. در این گروه تعداد پارامترها بدون هیچ محدودیتی بستگی به انتخاب و هدف پژوهشگر دارد. کاربرد این روش‌ها در مسایل هواشناسی و اقلیم‌شناسی محض از سوی پژوهشگران بسیار گسترده بوده و خوشبختانه استفاده از آن‌ها در علوم کاربردی و کشاورزی نیز کم و بیش آغاز شده و دلگرم کننده است (Gadgil and Joshi, 1983; McBratney and Moore, 1985; Yaghmaei et al.,

²Emberger

¹ Gausen

که در آن P میانگین سالانه بارندگی (mm) و T میانگین سالانه دمای متوسط روزانه (°C) است و حسب mm/°C بیان می‌شود. طبقه‌های اقلیمی اصلی دمارتن شامل اقلیم خشک (۰-۱۰)، نیمه‌خشک (۱۰-۲۰)، مدیترانه‌ای (۲۰-۲۴)، نیمه‌مرطوب (۲۴-۲۸)، مرطوب (۲۸-۳۵) و خیلی مرطوب (بیشتر از ۳۵) می‌باشد که طبقه اخیر خود به دو لایه خیلی مرطوب الف (۳۵-۵۰) و خیلی مرطوب ب (بیشتر از ۵۰) تقسیم شده است.

به منظور افزایش کارایی این طبقه‌بندی در هویت‌یابی اقلیمی مناطق مختلف به خصوص در عرض‌های میانی نظیر ایران دو تفکیک در طبقه‌های خشکی اصلی و یک گسترش برای ایجاد زیر طبقه‌های دمایی به شرح زیر بر آن اعمال شده است:

۱- در طبقه‌بندی دمارتن مناطق خشک با شاخص کمتر از ده تعریف شده‌اند که با توجه به وسعت زیاد این اقلیم در ایران (و همچنین در عرض‌های میانی و جنب حاره‌ای، تفاوت آشکاری در توان و اکولوژی مناطق زیر پوشش این طبقه مشاهده می‌شود به قسمی که در آن دست کم دو زیر اقلیم (شدیداً خشک و نسبتاً خشک) قابل تشخیص است. از این رو این طبقه به دو طبقه **فرا خشک** (۰-۵) و **خشک بیابانی** (۵-۱۰) تفکیک شدند. به عنوان مثال، دو ایستگاه شهداد و تهران مهرآباد با ضریب خشکی ۱/۱ و ۸/۸ هر دو جزو اقلیم‌های خشک محسوب می‌شوند ولی سیمای رستنی‌های کاملاً متفاوتی در طبیعت بکر آن‌ها دیده می‌شود. همچنین، دو ایستگاه بم و رباط کریم با ضریب خشکی ۲/۰ و ۷/۰ هر دو در اقلیم خشک جای می‌گیرند ولی در اولی خرما که یک محصول معرف اقلیمی است رشد می‌کند و بخوبی محصول می‌دهد و در دومی چنین امکانی وجود ندارد، از نظر دمایی آن‌ها را نمی‌توان هم اقلیم دانست.

۲- استفاده از میانگین سالانه دمای روزانه به تنهایی در طبقه‌بندی‌های اقلیمی در حوزه بوم‌شناسی و جغرافیای گیاهی گمراه کننده است چه این پارامتر تغییرات دما در عرض سال که فنولوژی زندگی گیاهی با آن رابطه تنگاتنگ دارد را بیان نمی‌کند و به‌ویژه میانگین‌های دما در گرمترین و سردترین ماه سال را که معرف دامنه بردباری پوشش‌های

است. نقشه اخیر بدون ذکر نام مؤلفان، اخیراً باز نشر و منتشر شده و مورد استناد قرار گرفته است.^۱

۳- مبانی و ضرورت گسترش طبقه‌بندی دمارتن

طبقه‌بندی دمارتن به دلیل سهولت دسترسی به عوامل اقلیمی مورد نیاز آن با اقبال زیاد پژوهشگران در حوزه‌های مختلف اقلیم نظیر آگرواکولوژی (V. B. Traore et al., 1922)، اقلیم‌شناسی آماری (Fathi Taperasht et al., 2021)، اثر پدیده تغییر اقلیم بر پهنه‌های اقلیمی در سال‌های پیش رو (Rahimi et al., 2013; Ghorbani et al., 2016; Mohammadlou and Tahmasbipour, 2018; Cetin, 2020; Fathi Taperasht et al., 2021) و زمینه‌های متعدد و پر کاربرد دیگر روبرو بوده است.

زیربنای طبقه‌بندی دمارتن مانند بسیاری از طبقه‌بندی‌های کلاسیک (سنتی) که با هدف توجیه سیمای جغرافیایی رستنی‌ها تدوین شده‌اند مقایسه دو عنصر اصلی بارندگی و توان تبخیری محیط بوده و در آن‌ها بطور کلی، مستقیم یا غیر-مستقیم، از مؤلفه‌های بیلان آبی برای تبیین اکولوژی گیاهی منطقه استفاده شده است. وجه مشترک این طبقه‌بندی‌ها تعریف شاخص‌ها یا سنجه‌هایی است که بیان عددی تعادل بین آورد و تلف آبی در یک منطقه می‌باشند و عموماً از نسل طبقه‌بندی ترانسو محسوب می‌شوند. در طبقه‌بندی ترانسو که نخستین بار برای تفکیک نواحی اکولوژی گیاهی آمریکا پیشنهاد شد از شاخص بدون بعد نسبت بارندگی سالانه به تبخیر (P/E) یا ضریب رطوبت^۲ برای تفکیک اقلیم‌ها استفاده شده و نوع تبخیرسنج مورد استناد وی تبخیرسنج پیچ^۳ بوده که اکنون برای اندازه‌گیری تبخیر کمتر از آن استفاده می‌شود. (Ebrahimi 2003) نشان داده است که رابطه همبستگی بالایی بین مقادیر اندازه‌گیری شده با تبخیرسنج پیچ و تبخیر تعرق پتانسیل سنج و همچنین تبخیرسنج کلاس A وجود دارد.

تقسیم‌بندی اصلی دمارتن مبتنی بر یک شاخص کمی (a) است که خود آن را شاخص خشکی^۴ نام‌گذاری کرده است و از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$a = \frac{P}{T+10} \quad (1)$$

^۱ مطالعات سند ملی آمایش سرزمین، گزارش ۱۱۷، نقشه ۱۳، ناشر مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری، زمستان ۱۳۹۹

^۲ Humidity index

^۳ Piche

^۴ Aridity index

نباتی طبیعی هر منطقه است از نظر پنهان می‌دارد. تاثیر دماهای کمینه در توصیف گستره جغرافیایی سیماهای بزرگ گیاهی از دیر باز توسط اکولوژیست‌ها مورد تایید قرار گرفته است. Woodward (1987) بیان می‌کند که "شاخص سطح برگ و ساختار توده پوشش گیاهی را می‌شود از روی موازنه هیدرولوژیکی پیش‌بینی کرد ولی شکل زندگی پوشش گیاهی را باید از روی دمای کمینه برآورد نمود". از طرفی سه پارامتر اصلی رژیم دمایی میانگین سالانه متوسط دمای روزانه (T)، میانگین دمای حداقل روزانه در سردترین ماه (m) و میانگین دمای حداکثر روزانه در گرم‌ترین ماه سال (M) مستقل از یکدیگر نیستند و در اولین تقریب بین این سه پارامتر رابطه $T = (M+m)/2$ برقرار است. از این رو دو پارامتر از پارامترهای مذکور به تنهایی معرف اقلیمی

رژیم سالانه دما می‌باشند. با این ملاحظات و با توجه به اهمیت نقش دمای زمستانه در بوم‌سازگان گیاهی نواحی مختلف، هر یک از اقلیم‌های اصلی دمارتن بر حسب پارامتر m، به چهار زیر گروه فراسرد یا ارتفاعی (m1)، سرد (m2)، معتدل (m3) و گرم (m4) گسترش داده شدند. چنین تمهیدی ضمن حفظ استخوان‌بندی عام طبقه‌بندی دمارتن، توان تفکیک اقلیمی آن را از ۸ به ۳۲ افزایش می‌دهد. در جدول ۱ آستانه‌های ضریب خشکی a، بازه‌های دمایی m و نمادهای هر اقلیم درج شده است. بطور خلاصه اقلیم‌های دمارتون گسترش داده شده را می‌توان به صورت کلی $A_i m_j$ نمایش داد که در آن i نماینده طبقه‌های خشکی z نماینده اشکوب‌های دمایی است.

Table 1 - Thresholds of aridity index of main climates and temperatural sub-climates in Extended de Martonne Classification

جدول ۱- آستانه‌های ضریب خشکی اقلیم‌های اصلی و زیر اقلیم‌های دمایی در طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده

Main Climate	Temperatural type			
	m1 ($m < -7$) (Very cold)	m2 ($-7 \leq m < 0$) (Cold)	m3 ($0 \leq m < 5$) (Moderate)	m4 ($m \geq 5$) (Warm)
A1.1 (a < 5) (Extra arid)	A1.1m1	A1.1m2	A1.1m3	A1.1m4
A1.2 ($5 \leq a < 10$) (Arid desert)	A1.2m1	A1.2m2	A1.2m3	A1.2m4
A2 ($10 \leq a < 20$) (Semi-arid)	A2m1	A2m2	A2m3	A2m4
A3 ($20 \leq a < 24$) (Mediterranean)	A3m1	A3m2	A3m3	A3m4
A4 ($24 \leq a < 28$) (Sub humid)	A4m1	A4m2	A4m3	A4m4
A5 ($28 \leq a < 35$) (Humid)	A5m1	A5m2	A5m3	A5m4
A6 ($35 \leq a < 55$) (Per-humid A)	A6m1	A6m2	A6m3	A6m4
A7 (aridity index ≥ 55) (Per-humid B)	A7m1	A7m2	A7m3	A7m4
Quasi -Polar Climate $A_i m_j q_s$ Whith $-10 < T \leq -5$				
Polar climate PC Whith $T \leq -10$				

۳- تغییرات شاخص خشکی a نسبت به P خطی و نسبت به T شبه هذلولی است و منحنی تغییرات a بر حسب T در دستگاه مختصات (a,T) در دمای $T = -10$ مجانب می‌گردد (شکل ۱) و شیب تند منحنی در محدوده نزدیک به دمای سالانه $(^{\circ}\text{C}) -10$ - ارزیابی اقلیمی نادرستی از شدت خشکی ارایه می‌دهد و اقلیم را بیش از اندازه مرطوب ارزیابی می‌کند. مقدار a در $T = -10$ مبهم و در شرایط $T < -10$ بی‌معناست. این ایراد به بسیاری از شاخص‌هایی نظیر لانگ (P/T) که بر پایه مقایسه نسبت بارش به دما طراحی شده اند و به نقل از Traore et al., (2020) قدیمی‌ترین

طبقه‌بندی از این نوع است وارد می‌باشد و نقطه ضعف تمامی این نوع طبقه‌بندی‌ها است. برای رفع این کاستی در طبقه‌بندی دمارتن، بر اساس نتایج بررسی مقدماتی‌ای که با کاربرد داده‌های CRU در مناطقی که در آن‌ها شرایط حدی دما برای شاخص a حکم فرماست انجام گرفت دو لایه اقلیمی مکمل زیر پیشنهاد و تعریف می‌گردد. الف) اقلیم‌های شبه قطبی یا Quasi-Polar Climate که در آن‌ها $-5 < T \leq -10$ است. این اقلیم‌ها پسوند qs و به صورت کلی $A_i m_j q_s$ مشخص می‌شوند.

ب) مناطقی که در آن‌ها $T \leq -10$ می‌باشد در طبقه اقلیم قطبی یا Polar Climate قرار می‌گیرند (جدول ۱).

Yها تشکیل می‌دهد. مرزهایی که برای تفکیک اقلیم‌ها بر روی این اقلیم نگاشت رسم شده تجربی است و با شناخت آمبرژه از رستنی‌های حوزه مدیترانه و آفریقای شمالی ترسیم شده است. این منحنی‌ها در مراجع مختلف یکسان نیستند و حتی آستانه‌های دمایی تفکیک اقلیم‌ها بعضاً متفاوتند. این تفاوت‌ها ناشی از دشواری‌هایی است که در انطباق مبانی فرمولی طبقه‌بندی‌ها با آنچه در طبیعت مشاهده می‌شود وجود دارد (Khalili, 1972). طبقه‌بندی آمبرژه نخستین بار توسط (Sabeti, 1969) در ایران معرفی شد و از این رو اقلیم‌نگاشت ترسیمی وی در ایران مرجع طبقه‌بندی آمبرژه است. این کلیماگرام تغییراتی نوآورانه دارد و با اقلیم‌نگاشت اصلی آمبرژه متفاوت است و با شناختی که وی از رستنی‌های ایران داشته تغییراتی در مرزهای اقلیم‌نگاشت داده است. افزون بر این در کلیماگرام ترسیمی ثابتی برای محاسبه ضریب بارندگی از فرمول Q_1 با درجه سلسیوس استفاده شده است (Sabeti, 1969) و اقلیم نگاشت وی ساختار بومی شده‌ای دارد که در مراجع فارسی بعدی دیده و توجه نشده است.

طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده این سهولت را ایجاد می‌کند که مستقل از اقلیم‌نگاشت تجربی است و اقلیم‌نگاشتی که نگارنده برای آن پیشنهاد داده است بر اساس تعاریف a و m در مختصات سه بعدی مسطح شده (P, T, m) می‌باشد و به منظور نمایش تصویر موقعیت اقلیمی ایستگاه‌ها در این روش پیشنهاد گردید و فقط یک نمایش ترسیمی نقطه‌ای از اقلیم ایستگاه‌های هواشناسی است (شکل ۲).

۴- سیمای اقلیمی ایران در طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده

از بین نقشه‌های مختلف پهنه‌بندی اقلیمی ایران به روش گسترش داده شده، دو نقشه که دسترسی به داده‌های اصلی، مستندات و جزئیات تولید آن‌ها امکان پذیر بود برای واکاوی و مقایسه انتخاب شدند. یکم، Khalili et al., (1992) که نخستین نقشه‌ی این طبقه‌بندی محسوب می‌گردد بر اساس داده‌های ۲۰ ساله سال‌های آبی (۸۴-۱۹۶۴) با شبکه‌ای مترکم و به روش گرادیان تهیه شده و

ب) مناطقی که در آن‌ها $T \leq -10$ می‌باشد در طبقه اقلیم قطبی یا Polar Climate قرار می‌گیرند (جدول ۱).

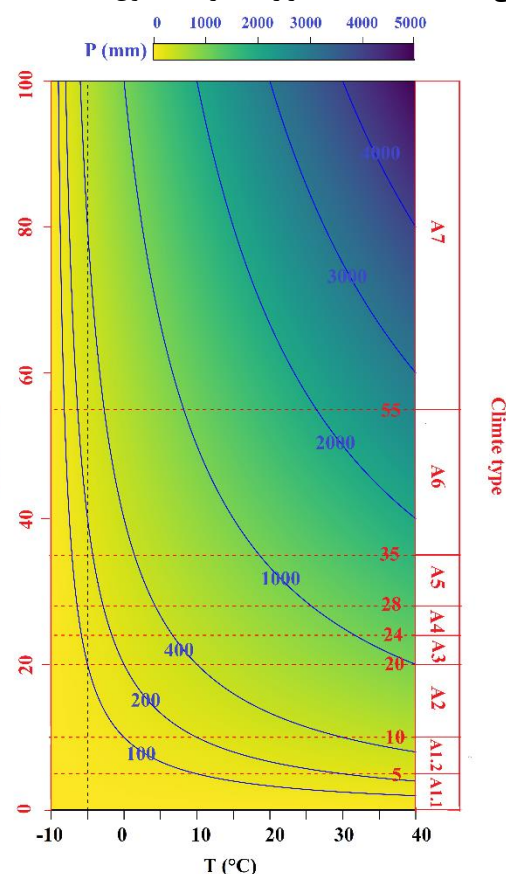


Figure 1- Variation of de Martonne's aridity index according to the mean annual temperature and precipitation

شکل ۱ - تغییرات شاخص خشکی a دمارتن حسب نرمال سالانه دما و بارش

۴- پارامترهایی که در طبقه‌بندی مورد بحث به کار گرفته شده با پارامترهای مورد استفاده در طبقه‌بندی آمبرژه اقلیم/گیاه‌شناس فرانسوی یکسان است و از این رو تبیین چرایی گسترش طبقه‌بندی ضروری به نظر می‌رسد. طبقه‌بندی آمبرژه بر پایه ضریب بارندگی Q و پارامتری دمایی m بنا شده است. شکل اولیه ضریب آمبرژه که آن را ضریب بارندگی (Rainfall quotient) نامیده است به صورت $Q_1 = 100 P / (M^2 - m^2)$ می‌باشد. وی به منظور پرهیز از منفی شدن ضریب که در شرایط $|m| > |M|$ به وجود می‌آید، دماهای M و m را حسب کلون داد و رابطه را به صورت $Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$ اصلاح کرد. محدودیتی که وجود دارد این است که ضریب بارندگی Q آمبرژه به تنهایی اقلیم منطقه را مشخص نمی‌کند بلکه استخوان‌بندی اصلی طبقه‌بندی وی را یک اقلیم‌نگاشت تجربی در مختصات

اختصار به ترتیب به اسامی نقشه Kh20 و نقشه Rh36 نامگذاری شده‌اند. در اینجا خلاصه‌ای از پردازش ساختاری و تصویر نقشه‌ها (شکل ۳) منعکس می‌گردد.

دوم، Rahimi et al., (2013) بر اساس داده‌های دوره ۳۶ ساله (۱۹۷۰-۲۰۰۵) با شبکه‌ای کم تراکم‌تر و به روش کریجینگ ترسیم شده است که در این بررسی به جهت

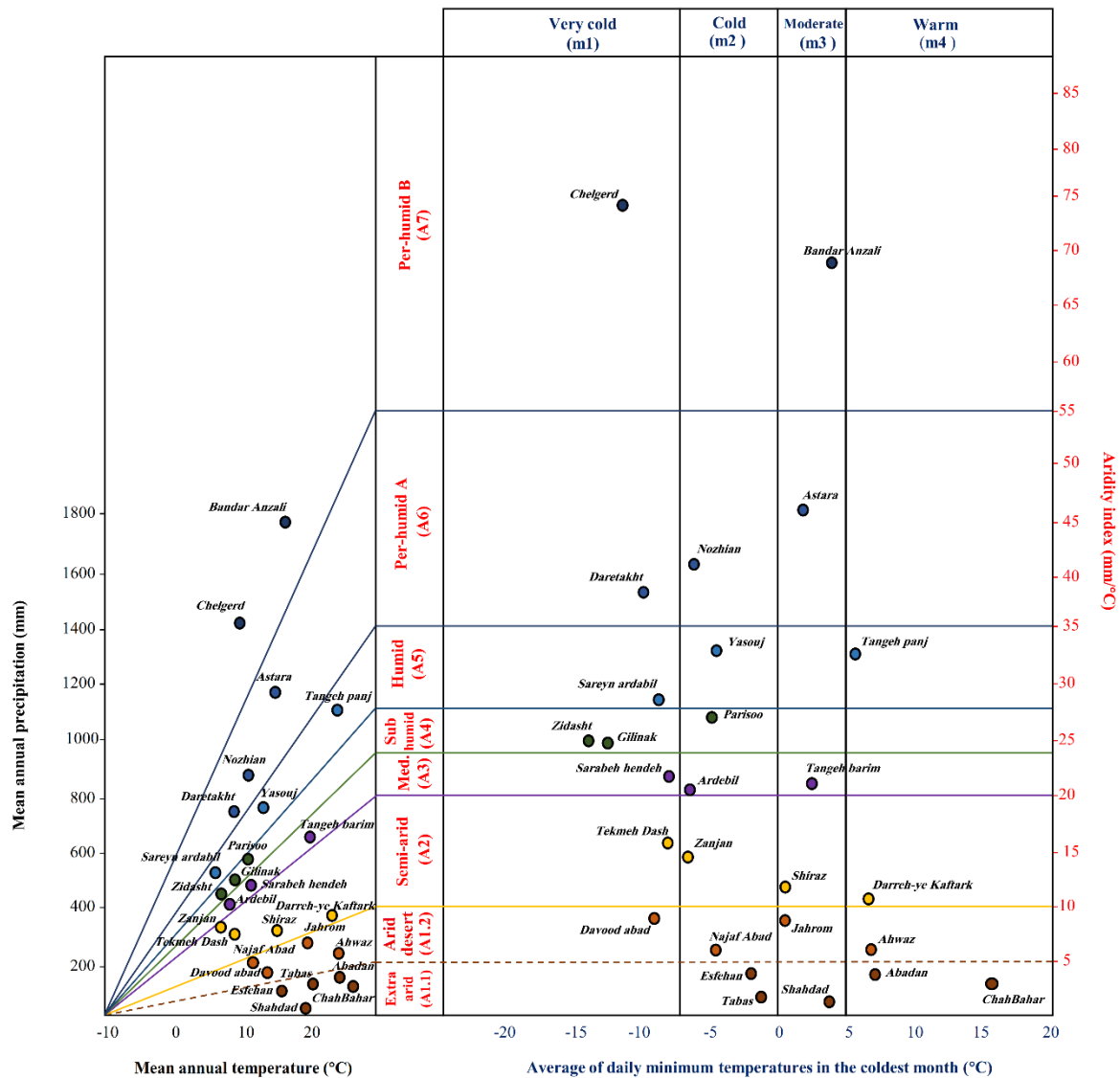


Figure 2- Extended de Martonne climogram: (Left: main part; Right: extended part)

شکل ۲- اقلیم‌نگاشت طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده (سمت چپ: بخش اصلی، سمت راست: بخش گسترده)

الف) نقشه همبارش سالانه

جزئیات تفصیلی زیرساخت‌های آماری مطالعات بارندگی در گزارش شناخت اقلیمی ایران جلد اول مطالعات بنیادی - بارندگی (Khalili, 1991) منتشر شده است.

مواد و روش‌های این بررسی چنین خلاصه می‌شود:

شبکه استنادی: مشتمل بر ۷۴۶ ایستگاه وابسته به وزارت نیرو و ۵۲۲ ایستگاه وابسته به سازمان هواشناسی کشور و سایر موسسات.

افزون بر این، دو نقشه اقلیمی ایران هم‌دوره با نقشه‌های مذکور و همچنین یک نقشه دراز مدت ۱۲۰ ساله با استفاده از داده‌های CRU به عنوان سنج‌های مقایسه (قلوها) تهیه و مساحی گردید که یافته‌های آنان در جدول ۲ آمده است.

۴-۱- ساختار نقشه Kh20

این نقشه در چارچوب مطالعات هواشناسی طرح جامع آب کشور ترسیم گردید. اطلاعات مربوط به مواد و روش‌های اجرای این پهنه‌بندی به شرح زیر است:

بازسازی آمار: اطلاعات مفقود یا مشکوک با روشی پیشنهادی مبتنی بر همبستگی خطی دو متغیره بارش سالانه هر سال با دو ایستگاه بهینه منتخب از کل شبکه جامع، (دو ایستگاهی که از نظر ضریب همبستگی، فاصله و تعداد سال‌های آماری مشترک بهینه باشند) انجام شد.

دقت حقیقی: دقت حقیقی متوسط شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی یک ایستگاه بر ۱۳۱۷ کیلومتر مربع

دوره آماری: ۲۰ سال حسب سال‌های آبی مهر- شهریور در دوره (۶۳-۱۳۴۳) یا دوره اکتبر- سپتامبر (۱۹۶۴-۸۴)

کنترل کیفیت داده‌ها: به کمک مدل تدوینی به نام "کنترل کیفیت بارش‌های سالانه" نام‌گذاری شد به انجام رسید. در این روش، درجه همخوانی بارش هر سال هر ایستگاه با بارش متناظر شبکه ایستگاه‌های مرجع مقایسه می‌شود و کیفیت اعتماد به آن از قابل قبول تا مردود به طور رقومی درجه‌بندی می‌گردد.

Table 2- Percent of the area of Iran's climatic zones in the extended de Martonne's classification according to country's area (1648000 sq.km)

جدول ۲- در صد مساحت پهنه‌های اقلیمی ایران در طبقه بندی دمارتن گسترش داده شده نسبت به مساحت کشور (ک.م. ۱۶۴۸۰۰۰)

Climate Type	KH20.	CRU20	Ra36	CRU36	CRU120
A1.1	m1	0.157	-	0.795	-
	m2	14.636	9.003	21.404	7.235
	m3	13.997	14.630	11.897	15.756
	m4	9.726	8.199	11.989	8.842
	Sum	38.516	31.833	46.085	31.833
A1.2	m1	1.184	-	4.438	-
	m2	15.923	19.453	13.859	18.810
	m3	4.996	3.537	3.406	6.270
	m4	2.776	7.878	2.807	8.039
	Sum	24.879	30.868	24.510	33.119
A2	m1	7.553	9.164	12.049	9.807
	m2	9.800	14.952	9.071	15.113
	m3	2.070	1.929	1.726	1.447
	m4	0.661	0.322	0.063	0.322
	Sum	20.084	26.367	22.909	26.688
A3	m1	3.356	6.109	2.271	5.466
	m2	1.583	1.286	0.804	1.286
	m3	0.304	-	0.123	-
	m4	0.024	-	-	-
	Sum	5.267	7.395	3.198	6.752
A4	m1	1.844	3.055	0.983	1.447
	m2	0.989	-	0.259	-
	m3	0.391	-	0.179	-
	m4	0.049	-	-	-
	Sum	3.274	3.055	1.421	1.447
A5	m1	2.067	0.482	0.790	0.161
	m2	1.367	-	0.180	-
	m3	0.332	-	0.220	-
	m4	0.001	-	-	-
	Sum	3.768	0.482	1.190	0.161
A6	m1	1.607	-	0.111	-
	m2	1.002	-	0.057	-
	m3	0.473	-	0.485	-
	m4	-	-	-	-
	Sum	3.082	-	0.653	-
A7	m1	0.262	-	0.002	-
	m2	0.080	-	-	-
	m3	0.133	-	0.032	-
	m4	-	-	-	-
	Sum	0.475	-	0.034	-

نقطه یابی میدانی: گستره کشور از نظر استحکام سطح معنی دار بودن رابطه همبستگی تغییرات بارندگی سالانه با ارتفاع به ۱۱ بخش قانونمند (همگن) تقسیم شده و بارش در هر نقطه از هر بخش با اعمال گرادیان ارتفاعی بر بارش نزدیکترین ایستگاه به آن نقطه اعمال شده است.

(ب) نقشه های همدمای T و m جزئیات تفصیلی زیرساخت های آماری مطالعات دما در گزارش شناخت اقلیمی ایران جلد دوم - دمای هوا (Hajjam and Khalili, 1991) درج شده است. مواد و روش های این بررسی چنین خلاصه می شود:

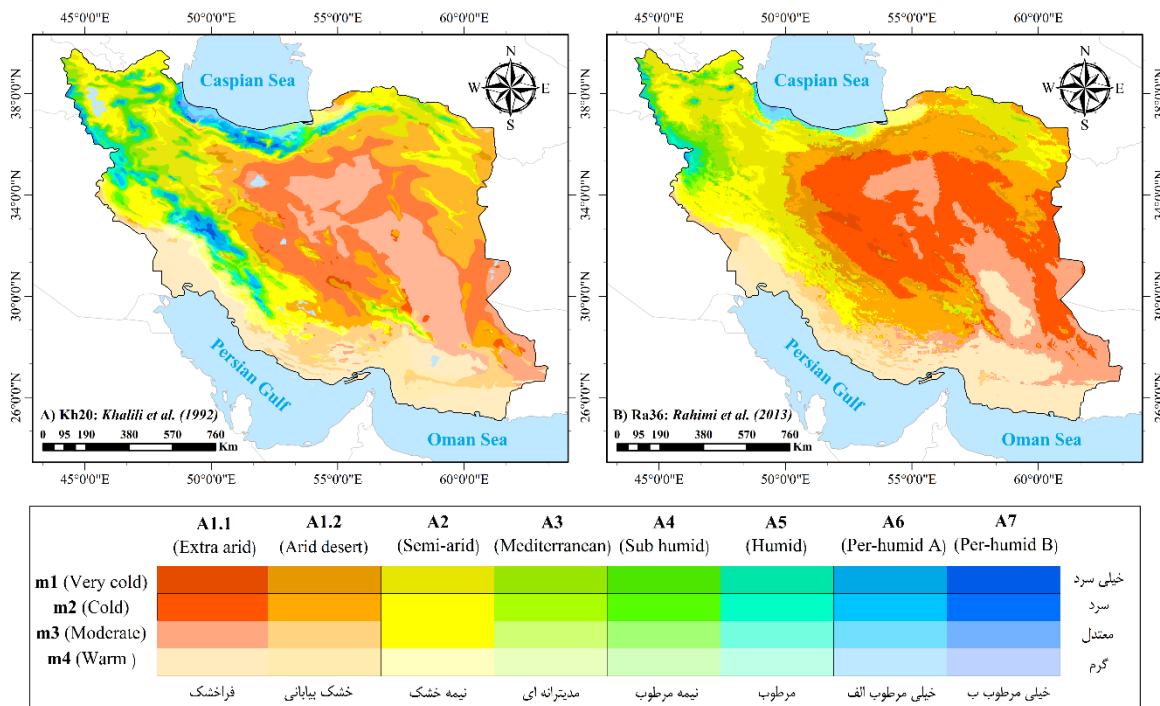


Figure 3- The climatic classes of Iran in the Extended de Martonne classification (A: Kh20 in the period of 1964-84 and B: Ra36 in the period of 1970-2005)

شکل ۳- طبقات اقلیمی ایران در طبقه بندی دمارتن گسترش داده شده (A) Kh20 (در دوره ۸۴-۱۹۶۴ و (B) Ra36 (در دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۰)

ساحلی خزر تابع طول جغرافیایی گزارش شده است. در مطالعه دما معادلات تغییرات آماره های دما برای ۱۲ ماه سال نیز داده شده و از آن ها دو نقشه همدمای T و m ترسیم شده اند.

تعداد ایستگاه هایی که در این مطالعه واجد اطلاعات دیدبانی شده مشترک بوده اند، ۶۰۶ ایستگاه است که فراوانی آن ها از نظر تشابه اقلیمی یکسان نیست (نمودار ۴) به قسمی که ۳۹٪ واجد اقلیم نیمه خشک A2، ۲۶٪ خشک بیابانی A1.2 و ۱۳٪ فراخشک A1.1 می باشند.

سیمای نقشه Kh20

شکل ۳ بخش A باز- ترسیم پهنه بندی اقلیمی ایران به روش مورد بحث که در چاپ اولیه روش دمارتن اصلاح شده نامگذاری شده بود و بعداً گسترش داده شده نامیده شد را نشان می دهد. این نقشه از انطباق نقطه به نقطه نقشه های T ، P و m حاصل شده است. جزئیات این بررسی در شناخت

شبکه استنادی: مشتمل بر ۲۸۷ ایستگاه وابسته به وزارت نیرو و ۳۴۰ ایستگاه وابسته به سازمان هواشناسی کشور **دوره آماری:** دو دوره ۱۰ و ۲۰ ساله مورد بررسی قرار گرفته و نهایتاً به دوره ۲۰ ساله حسب تقویم سال آبی (مهر-شهریور) در دوره اقلیمی (۶۳-۱۳۴۳) برای شبکه جامع دماسنجی تراز شده اند.

کنترل کیفیت داده ها: به روش مقایسه آماری با نزدیکترین ایستگاه مرجع از ایستگاه های شبکه مرجع و عمدتاً به روش تفاضل انجام شده است. در این روش تفاوت نرمال های آمار سال های مشترک دو ایستگاه مجاور عیناً برای دوره غیر مشترک نیز پذیرفته می شود.

نقطه یابی میدانی: گستره کشور از نظر استحکام سطح معنی دار بودن رابطه همبستگی بین تغییرات دما و مختصات جغرافیایی به چهل ناحیه همگن تقسیم شده است. در اغلب نواحی آماره های دما تابع ارتفاع و در ناحیه

شبکه استنادی: مشتمل بر ۱۸۱ ایستگاه سینوپتیک وابسته به سازمان هواشناسی کشور با دقت متوسط شبکه یک ایستگاه در ۹۱۰۰ کیلو متر مربع.

دوره آماری: ۳۶ سال (۲۰۰۵ - ۱۹۷۰)

کنترل کیفی: کیفیت داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک مستنداً پذیرفته شده و نیاز به کنترل نبوده است. بازسازی آمار مفقود به روش همبستگی چند متغیره بین ایستگاه‌های محیطی انجام شده و داده‌ها تراز شده‌اند.

نقطه‌یابی میدانی: برای هر سه عامل m , P و $T=(M+m)/2$ استفاده از تکنیک کریجینگ با جستجوی شعاعی ده نزدیکترین ایستگاه انجام شده است.

سیمای نقشه Ra36

این نقشه با همپوشی سه لایه با تفکیک 2×2 دقیقه قوسی که برای بارندگی سالانه، میانگین سالانه دما و میانگین مینیمم‌ها در سردترین ماه سال تهیه شده است (شکل ۳ بخش B). در ستون Ra36 از جدول ۲ مساحت پهنه‌های اقلیمی ایران در این طبقه‌بندی آورده شده است. وسعت اقلیم‌های خشک A در این نقشه ۷۱٪ مساحت کشور برآورد شده که ۴۷٪ آن را اقلیم فراخشک A1.1 تشکیل می‌دهد. در این نقشه بیشترین مساحت به اقلیم فراخشک سرد A1.1m2 با پوشش ۲۱٪ تعلق دارد، دیده می‌شود که یافته‌های این نقشه و نقشه قبلی از نظر وسعت همخوان نیستند و با توجه به تفاوت‌های آماری و ساختاری آن‌ها لازم است سنجه مشترکی برای تشابه‌سنجی کمی و کیفی آن‌ها تعریف شود.

۵- بررسی تطبیقی نقشه‌ها

ارزیابی دو نقشه اقلیمی که با روش‌های مختلف و دوره‌های آماری ناهمسان تهیه شده‌اند کاریست که نباید به آن ورود کرد، چون نقشه‌ها هم‌جنس نیستند و از نظر علمی هر دو با ذکر مستندات تهیه آن‌ها قابلیت استنادی یکسانی دارند. ولی مقایسه دستاوردهای آن‌ها و برآورد میزان تشابه‌شان به کمک نقشه‌های واسط امکان‌پذیر است. به نظر نگارنده در نبود متدولوژی مشخص، با استفاده از داده‌های CRU می‌توان یک برآورد مقایسه‌ای با دقت متوسط از توزیع جغرافیایی پهنه‌های اقلیمی دو نقشه ارایه داد که

اقلیمی ایران -جلد چهارم: تقسیمات آب و هوا (Khalili et al., 1992) آورده شده است. در این گزارش تصویر اقلیمی حوضه‌های آبریز مختلف کشور و الگوهای تغییرات عوامل اقلیمی مربوط بر اقلیم‌نگاشت گسترش داده و رژیم اومبروترمیک ایستگاه‌های معرف حوضه‌های آبریز کشور نیز ارایه شده‌اند. در ستون Kh20 از جدول ۲ مساحت پهنه‌های اقلیمی ایران در این طبقه‌بندی آورده شده است. وسعت اقلیم‌های خشک A در این نقشه ۶۳٪ مساحت کشور برآورد شده که ۳۹٪ آن را اقلیم فراخشک A1.1 تشکیل می‌دهد و بیشترین مساحت به اقلیم فراخشک سرد A1.2m2 با پوشش ۱۶٪ تعلق دارد.

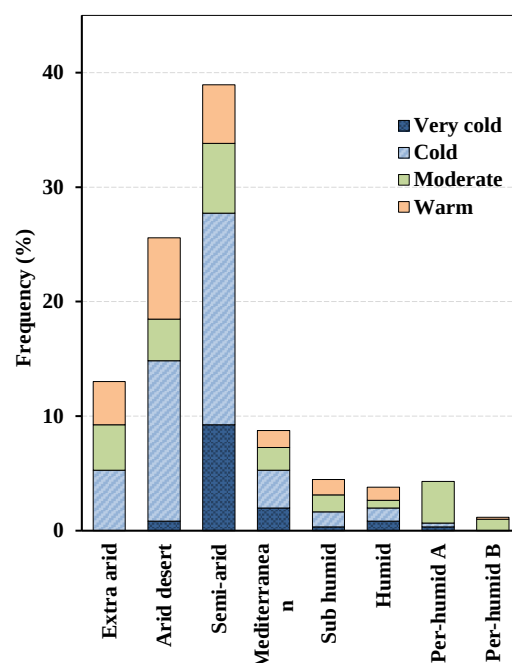


Figure 4- Frequency plot of study stations according to their climate in the extended de Martonne classification (606 stations)

شکل ۴- نمودار فراوانی ایستگاه‌های مطالعاتی حسب اقلیم آن‌ها در طبقه‌بندی دومارتن گسترش داده شده (۶۰۶ ایستگاه)

۴-۲- ساختار نقشه Ra36

این نقشه در پژوهشی که به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پهنه‌های آب و هوایی ایران تحت سناریوهای مختلف در طبقه‌بندی مورد بحث تهیه شده به عنوان نقشه مرجع (سنجه تغییر اقلیم) تدوین شده است (Rahimi et al., 2013). اطلاعات مربوط به مواد و روش‌های اجرای این پهنه بندی به شرح زیر است:

کمی دورتر در مقایسه کمی نقشه‌ها به آن پرداخته شده است.

الف) مقایسه کیفی

مقایسه وسعت پهنه‌های اقلیمی در جدول ۲ نشان می‌دهد که در نقشه Ra36 اقلیم‌های A4m4, A3m4, A5m4, A6m4, A7m2 و A7m4 آشکار نشده‌اند. البته پهنه‌ی این اقلیم‌ها کلاً کمتر از یک درصد سطح کشور را پوشش می‌دهند. بیشترین اختلاف دو نقشه در وسعت اقلیم فراخشک سرد A1.1m2 مشاهده می‌شود که به حدود ۷٪ مساحت کشور می‌رسد. برخی از دلایل این اختلاف به ترتیب اهمیت عبارتند از: ۱) یکسان نبودن دوره‌های آماری دو نقشه ۲) یکسان نبودن تعداد ایستگاه‌های استنادی ۳) الگوریتم ترسیم میدان‌های عددی نقشه‌ها که یکی به روش کریجینگ و دیگری با استفاده از روش گرادیان در محدوده‌های همگن انجام شده، ۴) روش‌های متفاوت باز-

سازی داده‌ها و دست آخر ۵) به احتمال بسیار ضعیف اثر تغییر اقلیم بر سری‌های زمانی ناهمزمان دونقشه است که ۱۶ سال آماری همپوشی دارند.

ب) مقایسه کمی

پهنه‌بندی‌های اقلیم نقشه‌های Kh20 و Ra36 به رغم اختلافاتی که دارند به دلایلی که در نتیجه‌گیری کیفی ذکر شد هر دو با ذکر زیر ساخت‌های آن‌ها قابل استنادند و دشوار است که ارجحیتی استنادی برای هر یک قایل شد. تنها روشی که برای مقایسه کمی دو نقشه به نظر نگارنده رسید مقایسه این نقشه‌ها با نقشه‌های اقلیمی همزمان آن‌ها است که با داده‌های همسان تولید شده باشند. بر این اساس نقشه‌های همسان (یا هم‌قلو) های پهنه‌بندی اقلیمی ایران تحت عناوین CRU20 و CRU36 به ترتیب معادل با دوره زمانی Kh20 و Ra36 ترسیم شدند. درصد مساحت اقلیم‌های این نقشه‌ها در جدول ۲ درج شده است.

Table 2- The pairwise comparison of the studied maps according to their iso-climate zones areas.

جدول ۳- سنجش مقایسه ای نقشه‌های تولید شده با داده‌های ملی و داده‌های CRU						
		KH20	CRU20	Ra36	CRU36	CRU120
R^2	KH20	1	0.86	0.89	0.84	0.86
	CRU20		1	0.67	0.98	0.98
	Ra36			1	0.64	0.67
	CRU36				1	0.99
	CRU120					1
MAE	KH20	0	1.23	1.07	1.28	1.24
	CRU20		0	1.64	0.34	0.38
	Ra36			0	1.71	1.62
	CRU36				0	0.26
	CRU120					0
RMSE	KH20	0	1.97	1.8	2.14	2.05
	CRU20		0	3.14	0.72	0.69
	Ra36			0	3.35	3.23
	CRU36				0	0.62
	CRU120					0

- تقریبی دو نقشه اصلی، با مقایسه هریک از آن‌ها با نقشه‌های نظیر (CRU هم‌قلو) شان امکان‌پذیر است.
- خوانش نقشه Kh20 با نقشه CRU20 بیشتر و قویتر از همخوانی نقشه Ra36 با نقشه CRU36 است ($R^2=0.86$ versus $R^2=0.64$).
- بین نقشه‌های Kh20 و Ra36 همبستگی بالایی وجود دارد ($R^2=0.89$).
- مقایسه ساختار نقشه‌ها نشان می‌دهد که تفاوت‌ها بیش از آنکه ناشی از تفاوت دوره‌های اقلیمی باشد در درجه اول معلول تراکم شبکه ایستگاه‌ها و پراکندگی آن‌ها است.

جدول ۳ اختلاف دو به دو مساحت پهنه‌های هم اقلیم پنج نقشه موجود با آماره‌های مقایسه‌ای R^2 و MAE و RMSE سنجیده شده‌اند. ارقام این جدول امکان مقایسه کمی نقشه‌های ترسیمی را فراهم می‌سازد. نتایج به شرح زیر است:

- نقشه‌های CRU20 و CRU36 و CRU120 در هر سه دوره ۲۰ (سال‌های آبی)، ۳۶ و ۱۲۰ ساله از نظر مساحت پهنه‌های هم‌اقلیم در سطح ۱٪ همخوان هستند. این همخوانی ناشی از ارتباط روش تولید این داده‌ها و یکسانی شبکه استنادی آن‌ها است و بنابراین می‌توان آن‌ها را سنجه تشابه محسوب داشت و از این دیدگاه ارزیابی همخوانی

در آن‌ها $T = -10^{\circ}\text{C}$ است مبهم و به ازای $T < -10^{\circ}\text{C}$ بی‌معناست و این شرایط از ویژگی‌های غالب مناطق قطبی است نام **اقلیم قطبی**^۱ به آن داده شد. با این تعریف اقلیم قطبی فقط به دما بستگی دارد و مستقل از بارندگی است. **دوم:** شاخص خشکی در مناطقی که میانگین سالانه دمای آن‌ها نزدیک به $T = -10^{\circ}\text{C}$ است ارزیابی اقلیمی نادرستی از شدت خشکی ارایه می‌دهد و بیش از پیش از طبیعت دور می‌شود. از بررسی تغییرات ضریب خشکی در شرایط دماهای سالانه پایین نتیجه‌گیری شد که دمای $T = -5^{\circ}\text{C}$ حد پایین کاربرد این شاخص برای ارزیابی خشکی است. برای نمایش این ویژگی نام اقلیم در بازه دماهای $-5 < T < 10$ **شبه قطبی**^۲ انتخاب شد که با پسوند qp و نماد اقلیمی A_{imqp} نمایش داده می‌شود. این اقلیم در مجاور مناطق قطبی و همچنین مناطق خیلی مرتفع عرض‌های پایینتر نظیر بلندی‌های هیمالیا دیده می‌شود. شکل ۵ تقسیمات اقلیمی جهان بر اساس داده‌های CRU.ts4.04 (Harris et al., 2020) در دوره اقلیمی (۱۹۰۱-۲۰۱۹) را نشان می‌دهد.

۶- اقلیم جهان در طبقه بندی دمارتن گسترش داده شده
تعداد ایستگاه‌هایی که طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۹ در تولید سری زمانی آمار پایگاه داده‌های CRU به کار گرفته شده‌اند بسیار متغیر بوده و به تدریج بر شمار آن‌ها افزوده شده است. مثلاً در سال ۱۹۰۱ تعداد آن‌ها در سطح خشکی‌های جهان (به استثنای قطب جنوب) در حدود ۵۰۰۰ ایستگاه و در اوایل دهه هشتاد به حدود ۱۴۰۰۰ ایستگاه افزایش یافته است. پیگیری‌ها در مورد تعداد ایستگاه‌های ایران که در پردازش داده‌های سه پایگاه جهانی انجام گرفت (Kalili et al., 2014) نشان داد که تراکم ایستگاه‌های مبنا روی ایران کمتر از ۴۶ ایستگاه بوده است با این وجود از نظر اقلیم‌شناسی میانگین ۱۱۹ ساله برای هر پیکسل تقریب مناسبی از اقلیم متوسط بسیار دراز مدت آن محسوب می‌شود و به کمک آن می‌توان برآوردی از چگونگی توزیع پهنه‌های اقلیمی جهان در طبقه‌بندی مورد بحث به دست آورد. در کاربست طبقه‌بندی دمارتن برای پهنه‌بندی اقلیم جهان محدودیت‌هایی در مناطق یخبندان وجود داشت که برای رفع آن‌ها دو طبقه جدید تعریف گردید: **یکم:** چون شاخص خشکی دمارتن در مناطقی از جهان که

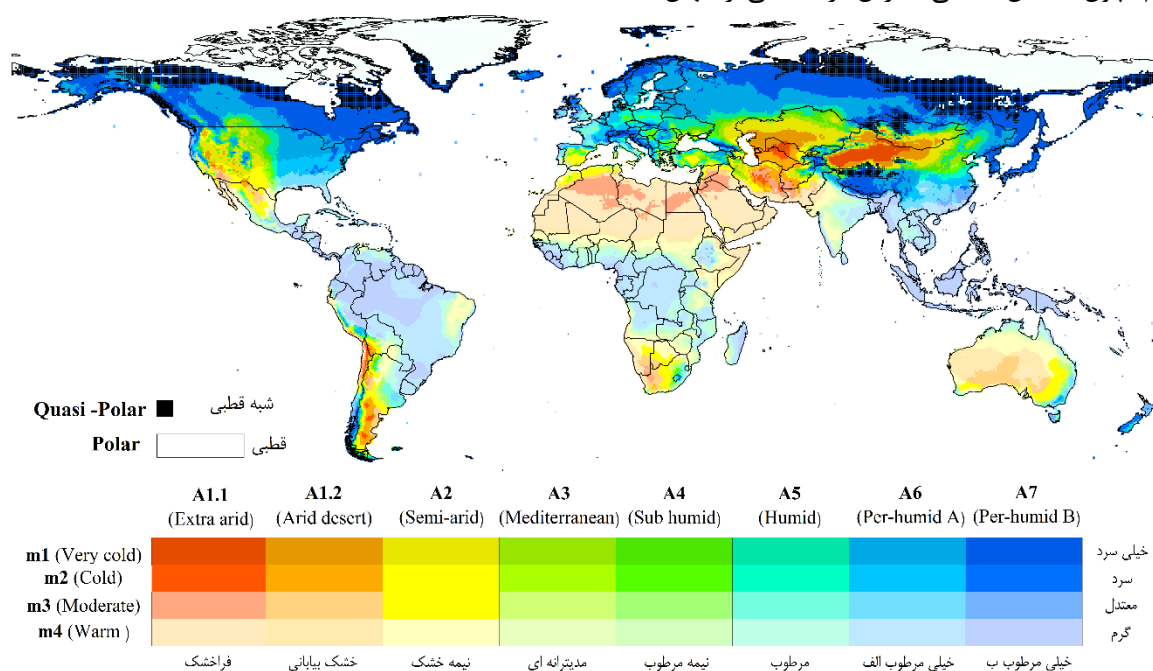


Figure 5 - Climate zones of the world according to Extended de Martonne's climate classification

شکل ۵ - پهنه‌های اقلیم جهان در طبقه بندی دمارتن گسترش داده شده

² Quasi-polar

¹ Polar climate

در جدول ۴ مساحت زیر پوشش اقلیم‌های جهان به روش دمارتن گسترش داده شده حسب مساحت خشکی‌ها به استثنای جنوبگان آورده شده است. بر اساس این جدول ۸۵٪ خشکی های جهان در قلمرو اقلیم‌های طبقه بندی دمارتن قرار دارند و ۱۵٪ بقیه بخش اقلیم قطبی محسوب می‌شوند.

Table 4- The areas of the Extended de Martonne climates: Unit: % of the land area of the world (without Antarctica)
جدول ۴- درصد مساحت اقلیم های دمارتن گسترده شده نسبت به مساحت خشکی های جهان (بدون جنوبگان)

Main Climates	Thermal Types				sum
	m1 (qp ^a)	m2	m3	m4	
A1.1	0.67 (-)	0.27	1.68	5.88	8.50
A1.2	1.22 (-)	1	1.46	2.74	6.42
A2	2.32 (0.013)	1.12	1.54	3.96	8.94
A3	1.35 (0.006)	0.4	0.42	1.68	3.85
A4	1.35 (0.016 ^b)	0.57	0.38	1.55	3.85
A5	1.96 (0.043 ^b)	0.99	0.7	2.99	6.64
A6	8.18 (0.311 ^b)	2.21	1.56	8.55	20.50
A7	17.54 (8.067 ^b)	1.2	0.89	6.68	26.31
Sum	34.59 (8.456)	7.76	8.63	34.03	85.01 ^b

a: Percent of Quasi- polar climate of land areas

b: Percent of the land area of the world without Polar Climate

مشاهده شد که مساحت اقلیم‌ها در دو نقشه تفاوت‌هایی دارند و برخی از اقلیم‌ها نیز در یکی از نقشه‌ها دیده نمی‌شود. نتیجه‌گیری شده است که تفاوت‌ها در درجه اول مربوط به تراکم تعداد ایستگاه‌های مورد استناد و در درجه دوم مربوط به روش نقطه‌یابی میدان‌های عددی دو نقشه و بالاخره به احتمال بسیار ضعیف مربوط به تغییر اقلیم است و در عین حال در استناد به یافته‌های هریک از دو نقشه، ذکر زیر ساخت‌های تهیه آن‌ها ضروری است.

● **سیمای اقلیم جهان:** تطبیق مقدماتی نقشه جغرافیای پوشش نباتی جهان با نقشه‌ای که با داده‌های CRU برای تقسیمات اقلیمی خشکی‌های گیتی ترسیم شد این ایده را تقویت می‌کند که به علت شیب زیاد تغییرات شاخص دمارتن نسبت به دما در دماهای کمتر از 5°C تا 10°C ، لازم است درجه خشکی این مناطق با در نظر گرفتن شرایط مکانی آنها ارزیابی شود. اقلیم این مناطق که شبه قطبی یا Quasi-polar نام گذاری شده با پسوند qs مشخص شده و کلاً ۴/۲۴ درصد اقلیم‌های فراسرد جهان را تشکیل می‌دهند. در نقشه ترسیم شده این موارد لحاظ شده است.

منابع

- Adle, AH. 1960. Climatic regions and vegetation in Iran. University of Tehran Press, Tehran, 144 pp. (In Farsi)
- Akrami, N., Ziarati, K., Dev, S. 2022. Graph-based local climate classification in Iran.

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

دستاوردهای بررسی حاضر درباره طبقه‌بندی دمارتن و دمارتن گسترش داده شده چنین جمع‌بندی می‌شود:

- **ارزش‌ها:** شاخص خشکی دمارتن در عرض‌های میانی و مناطقی مانند ایران که نظام بارندگی و دمایی چهار فصلی هماهنگ و مشخصی دارند ارزیابی شفاف و سریعی از درجه خشکی در جغرافیای گیاهی منطقه ارایه می‌دهد به قسمی که عملاً این شاخص را می‌توان یک ابزار اقلیم‌سنجی ساده محسوب داشت. طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده نیز به اعتبار آنکه دامنه تغییرات سالانه دما در آن به طور غیر مستقیم ولی دقیقاً لحاظ شده است دقت این ارزیابی را بالاتر می‌برد.
- **کاستی‌ها:** شاخص در در مناطقی که میانگین سالانه دمای آن‌ها $T \leq -10^{\circ}\text{C}$ است مبهم (بینهایت) و یا منفی است و از این دیدگاه تعمیم طبقه‌بندی به گستره جهان محدود می‌گردد. تعریف اقلیم قطبی برای این مناطق این محدودیت را مرتفع می‌سازد. ترسیم نقشه پهنه‌بندی جهان در این بررسی نشان داد که در شرایط اقلیمی فعلی جهان ۱۵ درصد خشکی‌ها زیر پوشش این اقلیم قرار دارند

- **تطابق نقشه‌ها:** در این بررسی دو نقشه طبقه‌بندی اقلیم ایران در سیستم مورد بحث که در دو دوره همپوش ۲۰ و ۳۶ ساله، با دانسیته ایستگاهی مختلف و به دو راه متفاوت تهیه شده‌اند از نظر کیفی و کمی با یکدیگر مقایسه شدند. این مقایسه به کمک تولید نقشه‌های هم‌دوره با هریک از آن‌ها با داده‌های CRU انجام گرفت.

- Geographical Conference, New Series (Vol. 1). Publication of the Academy of Sciences of the USSR Leningrad.
- Iyigun, C., Türkeş, M., Batmaz, İ., Yozgatligil, C., Puruçuoğlu, V., Koç, E. K., Öztürk, M. Z. 2013. Clustering current climate regions of Turkey by using a multivariate statistical method. *Theoretical and applied climatology*, 114(1), 95-106.
- Jawadi, C. 1966. *Distribution climatiques en Iran*. Monographie Meteorol Nat, Paris.
- Kalimi Nikfard, B. 1982. Climate of Iran based on Thornthwaite system. Dissertation, University of Tehran. (In Farsi)
- Khalili, A. 1992. Climatological studies of Iran. Vol.1: Basic research – precipitation, Integrated water plan of Iran report series Jamab Consulting Engineering Co., The Ministry of Energy, Tehran, 829pp. (In Farsi)
- Khalili, A. 1972. Scientific recognition of climates, Nivar, 7-14. (In Farsi)
- Khalili, A. 1988. Integrated Water Plan Methodology report, methodology of meteorological studies, Jamab Consulting Engineering Co., The Ministry of Energy, Tehran. (In Farsi)
- Khalili, A., Hajam, S., Irannejad, P. 1992. Climatological studies of Iran. Vol.4: Climatic divisions of Iran, Integrated water plan of Iran report series, Jamab Consulting Engineering Co., The Ministry of Energy, Tehran, 295pp. (In Farsi)
- Khalili, A., Hajam, S., Irannejad, P. 1992. Integrated water plan of Iran. Vol. 4: meteorological studies, climatological classification map 1964–1984. Jamab Consulting Engineering Co., The Ministry of Energy, Tehran. (In Farsi)
- Khalili, A., Rahimi, J. 2014. High-resolution spatiotemporal distribution of precipitation in Iran: a comparative study with three global-precipitation datasets. *Theoretical and Applied climatology*, 118, 211–221
- Khatibi, R., Saberi, M. 2020. Bio-climatic classification of Iran by multivariate statistical methods. *SN Applied Sciences*, 2(10), 1-30.
- Koppen, W. 1936. Das geographische system der klimat. *Handbuch der klimatologie*, 46.
- Kozjek, K., Dolinar, M., Skok, G. 2017. Objective climate classification of Slovenia. *International journal of climatology*, 37, 848-860.
- Krishnan, A. 1980. Agroclimatic classification methods and their application to India. In *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics: Climatic classification: a consultants' meeting*, 14-16 April 1980. 59-88.
- Mavi, H. S. 1986. *Introduction to agrometeorology*. Oxford & IBH Publishing.
- International Journal of Climatology, 42(3), 1337-1353.
- Cetin, M. 2020. The changing of important factors in the landscape planning occur due to global climate change in temperature, Rain and climate types: A case study of Mersin City. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(12), 2695-2701.
- de Martonne, E. 1926. Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité. *Meteorologie*, 2, 449-459.
- Dehsara, M. 1973. An agro-climatological map of Iran. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 21(4), 393-402.
- Ebrahimi pakizeh, A. 2003, intercorrelation between evapotranspiration and observed evaporation from piche, wild and class a pan evaporimeter for different time scale. Dissertation, University of Tehran. (In Farsi)
- Emberger, L., Gaussen, H., Kassas, M., De Philippis, W. 1963. Bioclimatic map of the Mediterranean region. UNESCO/ADF, Paris, 58pp
- Farifteh, J. 1987. Climatic classification systems. University of Tehran, Publications of Iran Desert and Desert Regions Research Center, 223 pp.
- Fathi Taperasht, A., Shafizadeh-Moghadam, H., Kouchakzadeh, M. 2021. Spatial-temporal analysis of Iran's climatic classification based on Domarten method and Mann-Kendall test in the statistical period of 1995-2019. *Environmental Sciences*, doi: 10.52547/envs.2021.223678.1105. (In Farsi)
- Gadgil, S., Joshi, N. V. 1983. Climatic clusters of the Indian region. *Journal of Climatology*, 3(1), 47-63.
- Ganji, MH. 1955. The climate of Iran. *Bulletin of the Geological Society*, 28, 195–199
- Gaussen, H., Bagnouls, F. 1952. L'indice xérothermique. *Bulletin de l'Association de géographes français*, 29(222), 10-16.
- Ghorbani, K., Bazrafshan Daryasary, M., Meftah Halaghi, M., Ghahreman, N. 2016. The effects of climate change on DeMartone climatic classification in Golestan province', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(2), 319-332. (In Farsi)
- Hajjam, S., Khalili, A. 1992. Climatological studies of Iran. Vol.2: Air Temperature, Integrated water plan of Iran report series, Jamab Consulting Engineering Co., The Ministry of Energy, Tehran, 420pp. (In Farsi)
- Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., Lister, D. 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific data*, 7(1), 1-18.
- Ivanov, N. N. 1948. Landscape-climatic zones of the earth surface. In *Proceedings, All Soviet*

- Thornthwaite, C. W. 1948. Una aproximación para una clasificación racional del clima. *Geographical Review*, 38, 85-94.
- Transeau, E. N. 1905. Forest centers of eastern America. *The American Naturalist*, 39(468), 875-889.
- Traore, V., Ndiaye, M., Mbengue, R., Diallo, S., Koita, M., Diaw, A., Beye, A. 2020. Spatialization of the climate using aridity indices: case of agro ecological zone of peanut basin, Senegal. *Journal of Materials and Environmental Science*, 11, 2106-22.
- Virmani, S. M., Sivakumar, M. V. K., Rosenberg, G., Kumble, V. (1980). Climatic Classification: A Consultants' Meeting 14-16 April 1980.
- Woodward, F. I., Woodward, F. I. 1987. Climate and plant distribution. Cambridge University Press.
- Yaghmaei, L., Soltani, S., Khodagholi, M. 2009. Bioclimatic classification of Isfahan province using multivariate statistical methods. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(12), 1850-1861.
- McBratney, A. B., Moore, A. W. 1985. Application of fuzzy sets to climatic classification. *Agricultural and forest meteorology*, 35(1-4), 165-185.
- Mohammadlou, M., Tahmasbipour, N. 2018. Evaluation of the effects of climate change on climate classifications in parts of northwest of Iran. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 5 (4), 35-46. (In Farsi)
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M., Khalili, A. 2013. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 112(3), 409-418.
- Sabeti H (1969) Bioclimatic studies of Iran. University of Tehran Press, Tehran, 1231, 266 pp (In Farsi)
- Selyaninov, G. T. 1957. Methods of agricultural characteristics of the climate. World agro-climatic guide. Leningrad: Gidrometeoizdat.
- Thornthwaite, C. W. 1931. The climates of North America: according to a new classification. *Geographical review*, 21(4), 633-655.



Research Note

A Comparative study on climate maps of Iran in extended de Martonne classification and application of the method for world climate zoning

A. Khalili^{1*}, J. Bazrafshan², M. Cheraghalizadeh³

Received: 05/04/2021

Accepted: 26/01/2022

Expanded abstract

De Martonne climate classification is one of the first generation of classifications that are mainly aimed to assess plant ecology and the degree of aridity of areas in relation to their natural vegetation. This classification is quantitative and its climatic ranks are defined based on the values of the aridity index $a=P/(T+10)$ (P is average annual precipitation in mm and T is average annual temperature in °C). In order to increase its efficiency in climatic identification of different regions, especially those located in the middle latitudes such as Iran two extensions have been applied to this classification (Khalili 1988): 1) due to recognizable difference that can be seen in the vegetation geography of the arid zone areas, its climate, was divided into two sub-climates named Extra-arid and Arid desert climate; 2) Due to the importance of the role of winter temperatures in the plant ecosystem, each climate class was divided into four sub-climates: very -cold, cold, moderate and warm based on the average minimum daily temperature in the coldest month of the year (m). The article states that the two parameters (T) and (m) can represent the annual temperature regime, and for this reason, the (m) parameter increases the classification accuracy. The thresholds (a) and (m) of this classification are presented in Table 1 in the main text. A comparative study of the researches carried out for the preparation of two climate maps of Iran in the E.D.C. showed that the differences are primarily due to the density of the network of stations and their dispersion rather than the difference in climatic periods. In this article, an attempt has been made to classify the climate of the world in the Extended de Martonne system. The aridity index is indeterminate or meaningless in areas where the average annual temperature is equal to or less than -10 °C, so their climate cannot be defined in E.D.C.. Because there is such a situation in the arctic as well as in the high latitudes, their climate was named "polar" which covers 15% of the world's land. In addition, it has been shown that the (a) index does not provide an accurate assessment of the aridity of the environment in areas where the average annual temperature is in the range of -5 to -10°C. The climate of these regions was called *quasi-polar*, which is discussed in this article. About 8.5% of the world's landmasses have this feature.

Keywords: Extended de Martonne Classification, Iran, World climates map, Aridity Index, Climate maps comparison, Climatic classification, Polar climate



¹ Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran (*corresponding author: akhalili@ut.ac.ir)

² Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Doctoral student of agricultural meteorology, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

نحوه ارجاع مقاله:

خلیلی، ع.، بذرافشان، ج.، چراغعلی زاده، م. ۱۴۰۱. بررسی تطبیقی نقشه‌های اقلیمی ایران در طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده و کاربری روش برای پهنه‌بندی اقلیم جهان. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۱): ۳-۱۶. DOI: 10.22125/agmj.2022.156309

Khalili, A., Bazrafshan, J., Cheraghalizadeh, M. 2022. A Comparative study on climate maps of Iran in extended de Martonne classification and application of the method for world climate zoning. Journal of Agricultural Meteorology, 10(1): 3-16. DOI: 10.22125/agmj.2022.156309