دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۷
پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۰۴
نوع مقاله: پژوهشی
صفحه ۳۷-۲۳

تغییرات اقلیمی حوضه آبریز زاینده‌رود بر اساس سناریوهای IPCC و طبقه‌بندی کوپن-گایگر

مژگان میرزایی *[۱]، برایس لاورنس[۲]، امیر مسعود سامانی مجد[۳]

چکیده

شرایط اقلیمی هر محل در کیفیت و کمیت زیستی انسان و دیگر جانداران نقش مهمی را ایفا می‌کند، لذا هرگونه فعالیت یا برنامه‌ریزی کلان بدون شناخت اقلیم امکان‌پذیر نبوده و تقسیم‌بندی اقلیمی یا شناخت پهنه‌های اقلیمی در امر برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین ضروری است. هدف پژوهش حاضر پیش‌بینی تغییرات اقلیمی حوضه آبریز زاینده‌رود بر اساس سناریوهای IPCC و طبقه‌بندی کوپن گایگر است. در این پژوهش از داده‌های دما و بارش ماهانه شبیه‌سازی‌شده TYNSC2.03 در سده بیست و یکم میلادی (۲۱۰۰-۲۰۰۱) استفاده شده است. بدین منظور، حوضه آبریز زاینده‌رود در قالب یک شبکه به ابعاد هر خانه ۵۵*۴۵ کیلومتر تقسیم و مطالعه گردید. نتایج حاصل از سناریوهای تعریف‌شده A1F1، A2، B1 و B2 حاکی از آن است که شرایط حوضه آبریز به سمت گرم و بیابانی شدن پیش خواهد رفت و شدت این تغییرات در بالادست و پایین‌دست حوضه بیشتر مشهود است. نتایج نشان می‌دهد در همه سناریوها و بازه‌های زمانی، پیکسل ۸ که در حوالی فریدون‌شهر قرار دارد، بیشترین تغییرات را خواهد داشت، اما میزان این تغییرات در سناریوهای A1F1 و A2 مشهودتر است که شامل تغییر طبقه اقلیمی از Dsa به Csa در هر دو سناریوی A1F1 و A2 از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۵ و نیز از Csa به Bsk از دوره ۲۰۷۵-۲۰۵۱ تا دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۶ خواهد بود. با در نظر گرفتن شرایط پیش‌بینی‌شده در سناریوها، اقدامات تخفیف دهنده، شامل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارتقاء و گسترش تکنولوژی‌های پاک و حفاظت از جنگل‌ها در راستای مقابله با تغییر اقلیم ضروری هستند.

واژه‌های کلیدی

تغییرات اقلیمی، سناریوهای تغییر اقلیم، طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر، حوضه آبریز زاینده‌رود، IPCC.

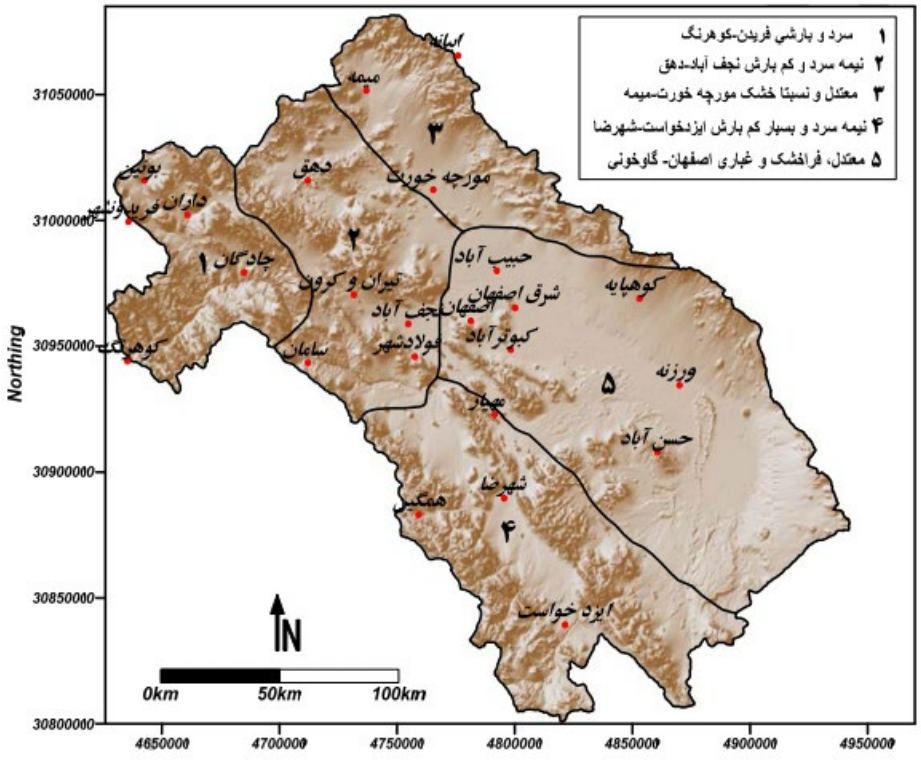
۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی منابع طبیعی-محیط‌زیست، مرکز تحقیقات زیست‌محیطی زنده رود، اصفهان، ایران.
*- نویسنده مسئول: mojgan_11884@yahoo.com
۲- دانش‌آموخته دکتری، گروه اکولوژی و برنامه‌ریزی سیمای سرزمین، دانشکده برنامه‌ریزی فضایی، دانشگاه دورتمند، دورتمند،آلمان.
۳- دانشیار، گروه مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو، اصفهان، ایران.

مقدمه

در عصر حاضر اقلیم، وضعیتی کلی از شرایط هوای غالب یک مکان مشخص بر اساس آمار بلندمدت است (منتظری و بای ۱۳۹۱). تنوع عناصر اقلیمی در تعیین اقلیم یک ناحیه مؤثر بوده و باعث شکل‌گیری اقلیم‌های متنوع و متفاوت می‌شود (هدایتی دزفولی و کاکاوند ۱۳۹۱). شناخت ویژگی‌های طبیعی هر منطقه، بخصوص آب‌وهوا می‌تواند در امر برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین نقش عمده‌ای ایفا نماید (طاووسی و دل‌آرا ۱۳۸۹). تغییرات اقلیمی یکی از ویژگی‌های طبیعی چرخه اتمسفری می‌باشد که براثر ناهنجاری‌ها و یا نوساناتی در روند پارامترهای هواشناسی، ازجمله بارندگی و دما حاصل می‌شود. این ناهنجاری‌ها در بسیاری از نقاط دنیا شدید است و موجب اختلال در اکوسیستم طبیعی می‌گردد (فتائی و همکاران، ۱۳۹۶). با افزایش گرمایش جهانی و حادث شدن پدیده تغییر اقلیم در آخرین دهه‌های قرن بیستم و ادامه آن در قرن بیست و یکم، جهان با یک چالش جدید مواجه گردیده که تأثیرات مهمی بر منابع طبیعی و محیط‌زیست خواهد گذاشت. ازجمله این اثرات سوء می‌توان به وقوع سیلاب‌های شدید، خشک‌سالی‌های طولانی، کاهش ذخایر برفی کوهستان‌ها، بالا آمدن سطح آب اقیانوس‌ها، تغییر و افزایش نرخ تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن سدها و تشدید مسئله کمبود و هدر رفت آب و... اشاره نمود.

ازآنجایی‌که تغییر اقلیم ازجمله دغدغه‌های اصلی بشر در دوره‌های آینده به‌حساب می‌آید، جهت مدیریت هرچه بهتر آن، ضرورت دارد پیش‌بینی تغییر اقلیم بررسی گردد (فولاد و همکاران، ۱۳۹۰). آینده‌نگاری و یا نمایش چشم‌اندازی از شدت و توزیع مکانی تغییرات اقلیمی ناشی از فعالیت‌های انسانی زمان کنونی در آینده و ارزیابی شدت احتمالی تأثیرات ناشی از این تغییرات بر روی محیط‌زیست جهانی در دهه‌های آینده از موضوعات اصلی پژوهشی در زمینه تغییرات اقلیمی است (De Castro et al. 2007). اثبات وقوع پدیده تغییر اقلیم، در سطح جهان به سهولت امکان‌پذیر نیست و نیازمند بررسی‌های جامع و طولانی‌مدت است. هرچند روند گرم‌تر شدن دمای سطح زمین و افزایش غلظت کربن دی‌اکسید تقریباً قطعی می‌نماید (رشیدی و غریب، ۱۳۹۰). تلاش اقلیم شناسان برای پیش‌بینی و یا محاسبه و تخمین رقومی عناصر اقلیمی منجر به مبحث مهمی در این علم شده است که به مدل‌سازی معروف است. با تدوین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی جو با فرضیات مختلف انتشار مانند B2,B1,A2,A1 و ... اجرا شده‌اند تا وضعیت اقلیمی دهه‌های آتی را مشخص کنند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۴).

شکل ۱: پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز زاینده‌رود



بر اساس بررسی‌های صورت گرفته توسط منتظری و کریم پور (۱۳۹۰)، با استفاده از روش‌های آماری چند متغیر، حوضه آبریز زاینده‌رود به ۵ پهنه اقلیمی سردی و بارشی، نیمه سرد و کم بارش، معتدل و نسبتاً خشک، نیمه سرد و بسیار کم بارش و معتدل، فراخشک و غباری تقسیم‌بندی می‌شود که در شکل ۱ ارائه شده است.

در زمینه تغییر اقلیم و پیش‌بینی‌های اقلیمی مطالعات زیادی صورت گرفته است. در استرالیا به‌منظور پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم، رودخانه‌های مناطق گرمسیری طبقه‌بندی شده‌اند (Wayne Erskine et al. 2006). همچنین تغییرات آینده در انواع آب‌وهواهای تحت طبقه‌بندی کوپن برای استرالیا موردبررسی قرارگرفته است (Crosbie et al. 2012). طائی سمیرمی و همکاران در سال ۱۳۹۴، تغییرات برخی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG تحت سناریوهای مختلف و خشک‌سالی‌های دهه 2011 - 2030 تحت اثر تغییر اقلیم (برای حوزه آبخیز اسکندری، استان اصفهان) را پیش‌بینی کردند.

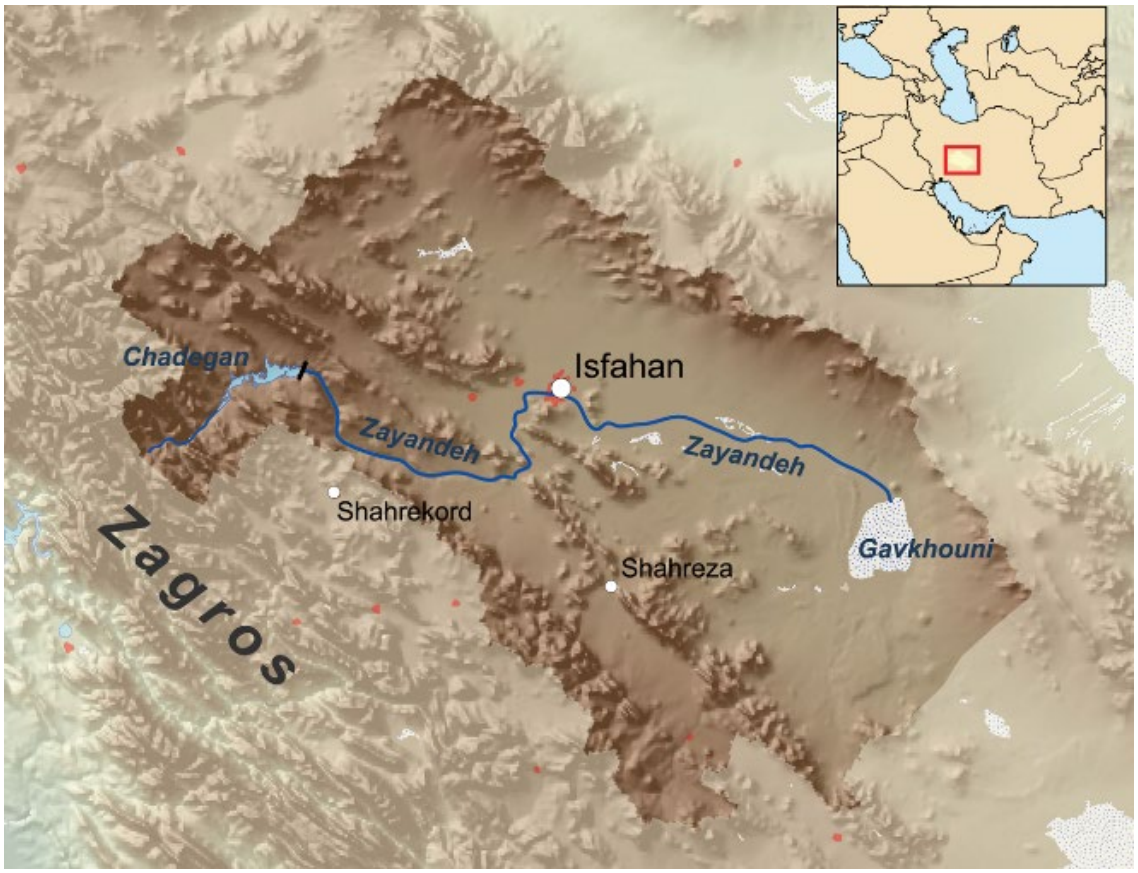
هدف این پژوهش، پیش‌بینی طبقه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز زاینده‌رود تحت سناریوهای IPCC و بر اساس روش طبقه‌بندی کوپن-گایگر در یک دوره ۱۰۰ ساله است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردبررسی

حوضه آبریز زاینده‌رود با مساحت حدود ۴۱۵۰۰ کیلومترمربع، حوضه کاملاً بسته‌ای است که خروجی به دریا ندارد و در مرکز فلات ایران واقع شده است. زاینده‌رود با طول حدود ۳۵۰ کیلومتر در جهت کلی غرب به شرق جریان دارد. این رود از کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و به تالاب گاوخونی ختم می‌گردد. این رود نیازهای آبی کشاورزی، شهری و صنعتی اصفهان را تأمین می‌کند. نقشه حوضه آبریز زاینده‌رود به همراه رودخانه و تالاب گاوخونی در شکل ۲ ارائه‌شده است.

شکل ۲: موقعیت منطقه‌ی موردمطالعه



روش کار

در این پژوهش در این پژوهش از داده‌های دما و بارش ماهانه شبیه‌سازی‌شده TYNSC2.03 برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۱ استفاده شده است. داده‌های دما و بارش ماهانه شبیه‌سازی‌شده TYNSC2.03 از میانگین اجرای پنج مدل گردش کلی جو GCMsبرای چهار سناریوی مختلف از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان سده بیست و یکم به‌دست‌آمده است. این سناریوها که در دهه ۱۹۹۰ تعریف و توسعه داده شده‌اند، بر اساس چهار سناریوی مختلف از ارتباط میان عوامل مؤثر در تولید گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آن طی زمان به‌دست‌آمده است (Arnell et al. 2004). هر یک از این داستان‌پردازی‌ها تصویر متفاوتی از آینده برای جهان پیش‌بینی می‌کند. سناریو A1تصویری را از آینده نشان می‌دهد که در آن اقتصاد جهان به‌سرعت رشد می‌کند و هم‌راستای آن فنّاوری‌های روز نیز به‌سرعت توسعه پیدا می‌کنند. در مقابل، سناریو A2 جهانی ناهمگون برای آینده پیش‌بینی می‌کند که در آن بیشتر مردم جهان به ارزش‌های خانواده و سنت‌های محلی پایبند هستند. سناریو B1، جهانی بدون مادی‌گرایی را برای آینده پیش‌بینی می‌کند که در آن فنّاوری‌های پاک جایگزین فنّاوری‌های آلوده‌کننده می‌شوند. در همین راستا، سناریو B2، جهانی را برای آینده پیش‌بینی می‌کند که در آن تمرکز اصلی بر روی پیدا کردن راه‌حل‌های محلی برای دستیابی به توسعه اقتصادی و بوم‌شناختی پایدار است. در تعریف سناریوهای یادشده به ترتیب رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، مصرف انرژی، بهره‌وری مصرف انرژی و ترکیبی از فنّاوری‌های مصرف انرژی در نظر گرفته شده است. برای شبیه‌سازی و تولید داده‌های TYNSC2.03 علاوه بر سناریوهای A2، B1 و B2، سناریوی A1F1نیز موردتوجه قرار گرفته است که در آن مصرف سوخت‌های فسیلی در جهان بسیار شدید پیش‌بینی‌شده است.

از زمانی که کوپن روش طبقه‌بندی اقلیمی را ارائه داد تا سال ۲۰۰۰ تغییراتی توسط پژوهشگران مختلف برای بهبود این روش پیشنهاد شد و به همین دلیل نسخه‌های مختلفی از روش کوپن وجود دارد که تا حدودی با یکدیگر متفاوت هستند. در این پژوهش به پیروی از کوتک و همکاران (۲۰۰۶) و روبل و کوتک (۲۰۱۰) از روش طبقه‌بندی کوپن-گایگر برای شناسایی مناطق اقلیمی استفاده شد. بر اساس این طبقه‌بندی کره زمین بر اساس بارش، دما و تغییرات فصلی به پنج منطقه اصلی اقلیمی تقسیم می‌شود:

A-1-اقلیم بارانی استوایی

B-2-اقلیم خشک

C-3-اقلیم معتدل بارانی

D-4-اقلیم جنگلی برفی

E-5-اقلیم قطبی

و سپس هر یک از این اقلیم‌ها به مناطق کوچک‌تر تبدیل می‌شوند. دو حرف اول نقش اصلی را در تعریف مناطق اقلیمی را بر عهده دارد و حرف سوم شرایط دمایی ایستگاه را بیان می‌کند. گروه‌های اصلی تقسیم‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر در جدول ۱، چگونگی تعیین شرایط دمایی (سومین حرف) گروه‌های اقلیمی کوپن-گایگر در جدول ۲ و ویژگی‌های گروه‌های اقلیمی کوپن موجود در ایران در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱: گروه‌های اصلی تقسیم‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر

نوع اقلیم	توضیح
A	اقلیم استوایی
Af	اقلیم استوایی جنگلی بسیار مرطوب
Am	اقلیم استوایی موسمی
As	اقلیم استوایی ساوانا با تابستان‌های خشک
Aw	اقلیم استوایی سوانا بازمستان های خشک
B	اقلیم‌های خشک
BS	اقلیم استپ یا نیمه‌خشک
BW	اقلیم بیابانی
C	اقلیم‌های گرم معتدل
Cs	اقلیم گرم معتدل با تابستان خشک
Cw	اقلیم گرم معتدل با زمستان خشک
Cf	اقلیم گرم معتدل بسیار مرطوب
D	اقلیم‌های برفی
Ds	اقلیم برفی با تابستان‌های خشک
Dw	اقلیم برفی با زمستان‌های خشک
Df	اقلیم برفی بسیار مرطوب
E	اقلیم‌های قطبی
ET	اقلیم تندراه
EF	اقلیم یخبندان

جدول ۲: چگونگی تعیین شرایط دمایی (سومین حرف) گروه‌های اقلیمی کوپن-گایگر

نوع اقلیم	ویژگی
h	استپ/بیابان گرم
k	استپ/بیابان سرد
a	تابستان بسیار گرم
b	تابستان گرم
c	تابستان خنک زمستان سرد
d	بی‌نهایت قاره‌ای

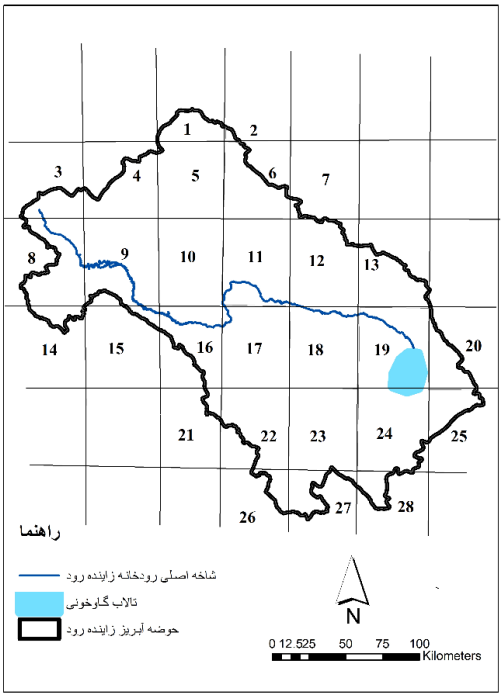
جدول ۳: ویژگی‌های گروه‌های اقلیمی کوپن موجود در ایران

شماره	کد یا نام اقلیم کوپن -گایگر	ویژگی‌ها
۱	BWh	بیابان خشک و بسیار گرم
۲	BWk	بیابان خشک و سرد
۳	BSh	نیمه بیابانی خشک و بسیار گرم
۴	BSk	نیمه بیابانی خشک و سرد
۵	Csa	معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم
۶	Csb	معتدل با تابستان‌های خشک و گرم
۷	Cfa	معتدل پرباران با تابستان گرم
۸	Dsa	اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم
۹	Dsb	اقلیم برفی با تابستان خشک و گرم

در این پژوهش چهار سناریوی A1F1، A2، B1 و B2 برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در سطح حوضه آبریز زاینده‌رود استفاده شده است.

جهت بررسی پیکسل‌های تغییریافته در حوضه آبریز زاینده‌رود، در ابتدا شبکه‌بندی سطح حوضه و شماره بندی پیکسل‌ها صورت پذیرفت (شکل ۲). بر این اساس حوضه آبریز زاینده‌رود به ۲۸ پیکسل با اندازه ۴۵*۵۵ کیلومتر تقسیم‌بندی می‌شود.

شکل ۲: شبکه‌بندی حوضه آبریز زاینده‌رود به ۲۸ پیکسل با اندازه ۴۵ در ۵۵ کیلومتر

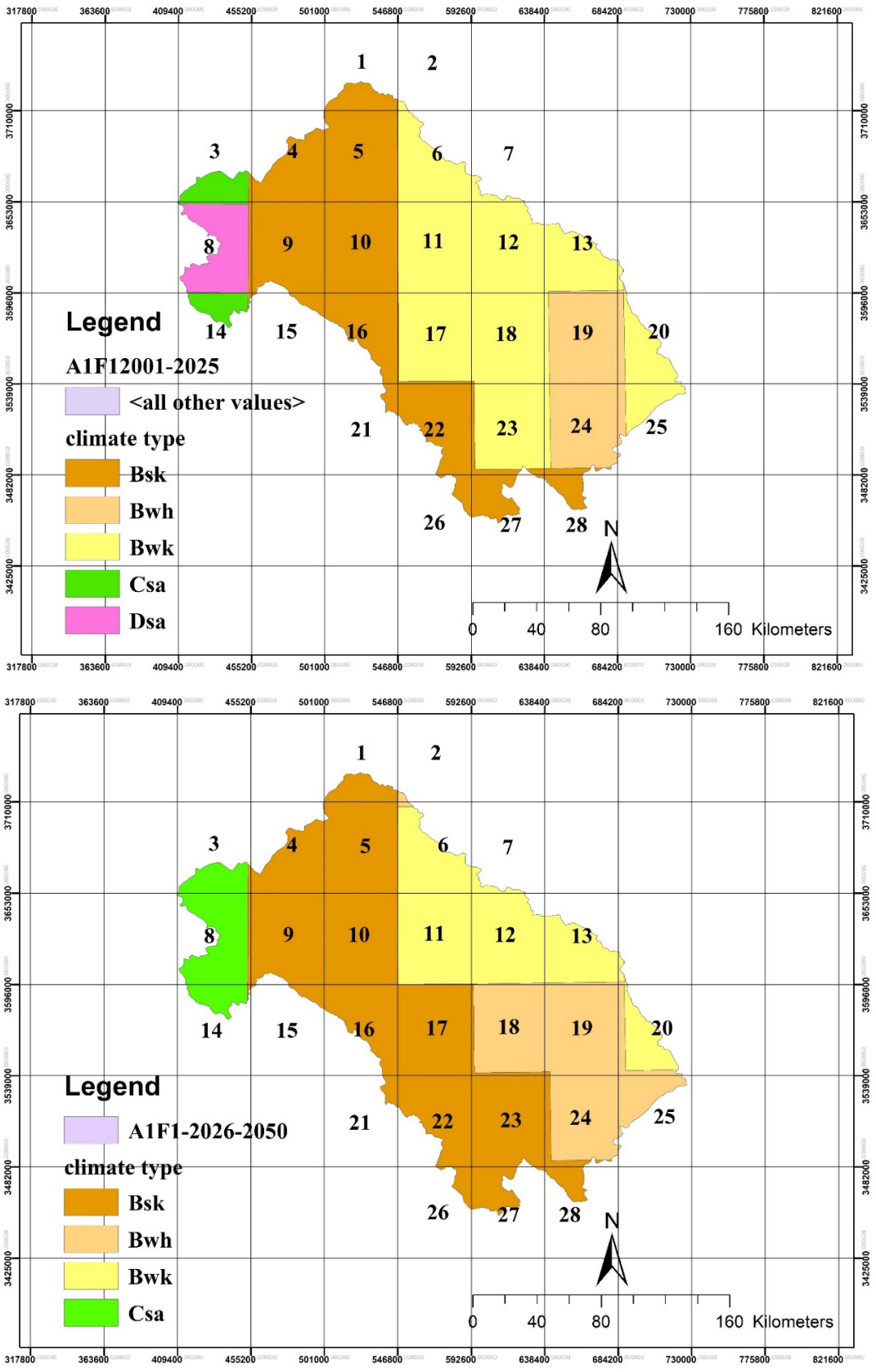


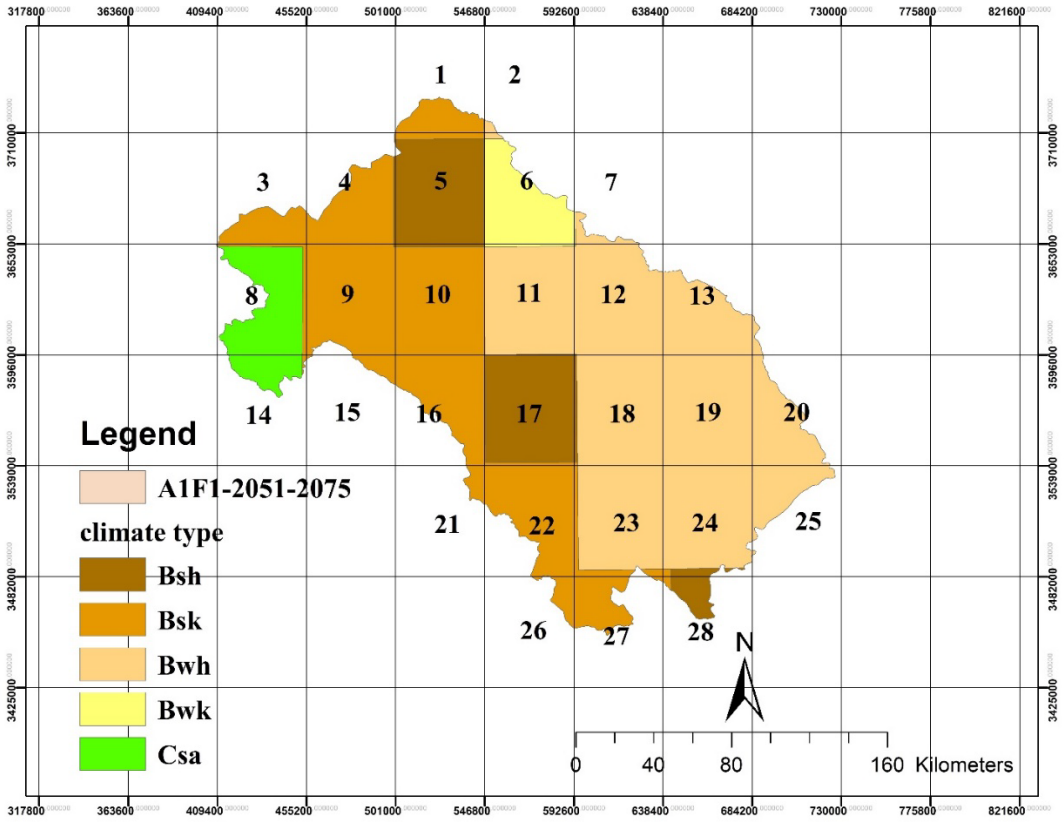
بحث و نتایج

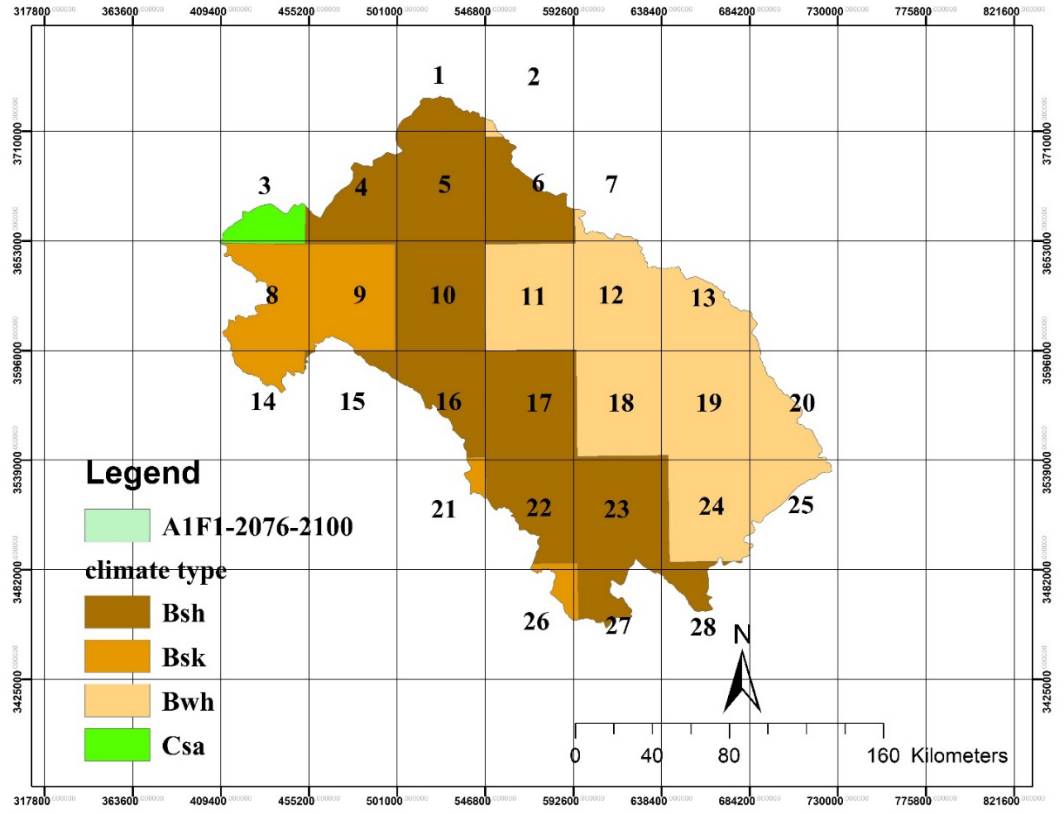
مناطق اقلیمی در سده بیست و یکم

منطقه بندی اقلیمی حوضه آبریز زاینده‌رود به روش کوپن-گایگر به ترتیب برای چهار سناریو B1، A2،B2 و A1F1 در چهار دوره ۲۵ ساله ۲۰۲۵-۲۰۰۱، ۲۰۵۰-۲۰۲۶، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۶ در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است. مقایسه نقشه‌های مختلف هر یک از این شکل‌ها (الف تا د) با یکدیگر به‌روشنی روند تغییرات و جابه‌جایی مناطق اقلیمی حوضه آبریز زاینده‌رود را که براثر تغییرات اقلیمی روی‌داده در دوره‌های مختلف سده بیست یکم نشان می‌دهد. در سناریوی A1F1 از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا ۲۰۵۰-۲۰۲۶، پیکسل‌های ۲، ۸، ۱۷، ۱۸، ۲۳ و ۲۵ دارای تغییرات اقلیمی بودند، اما تفاوت فاحش در تغییرات اقلیمی در پیکسل ۸ و ۲ می‌باشد. در پیکسل ۸، اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم به اقلیم معتدل و با تابستان‌های خشک و بسیار گرم تبدیل خواهد شد و در پیکسل ۲، از بیابان خشک و سرد به بیابان خشک و بسیار گرم تبدیل می‌شود. در همین سناریو، از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا ۲۰۷۵-۲۰۵۱، فاحش‌ترین تغییرات در پیکسل ۳ (تبدیل از اقلیم معتدله با تابستان‌های خشک و بسیار گرم به نیمه بیابانی خشک و سرد) و پیکسل ۸ (تبدیل از اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم به معتدله با تابستان‌های خشک و گرم) خواهد بود و درنهایت از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا ۲۱۰۰-۲۰۷۶، آشکارترین تغییرات در پیکسل ۸ (تبدیل از Dsa به Bsk) و پیکسل ۱۴ (تبدیل از Csa به Bsk) خواهد بود. در سناریوی A2، از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا ۲۰۵۰-۲۰۲۶، پیکسل ۸ آشکارترین تغییرات را نشان می‌دهد (از Dsa به Csa). در این سناریو، از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا ۲۰۷۵-۲۰۵۱، پیکسل‌های ۳ (تبدیل از Csa به Bsk) و ۸ (از Dsa به Csa) بیشترین تغییرات را دارند و از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا ۲۱۰۰-۲۰۷۶، آشکارترین تغییرات در پیکسل ۸ (تبدیل از Dsa به Bsk) خواهد بود. در سناریوی B1 که خوش‌بینانه‌ترین سناریو است، پیکسل‌های ۳ و ۸ و ۱۴ (تبدیل از Bsk به Csa) از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا ۲۰۵۰-۲۰۲۶، پیکسل‌های ۸ و ۱۴ (تبدیل از Bsk به Csa) از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و نیز از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا ۲۱۰۰-۲۰۷۶، تغییرات زیادی را خواهند داشت و درنهایت در سناریوی B2، در سه دوره‌های زمانی ۲۵ ساله، تغییرات در پیکسل‌های ۸ (تبدیل از Bsk به Csa) و ۲۶ (تبدیل از Csa به Bsk) خواهد بود.

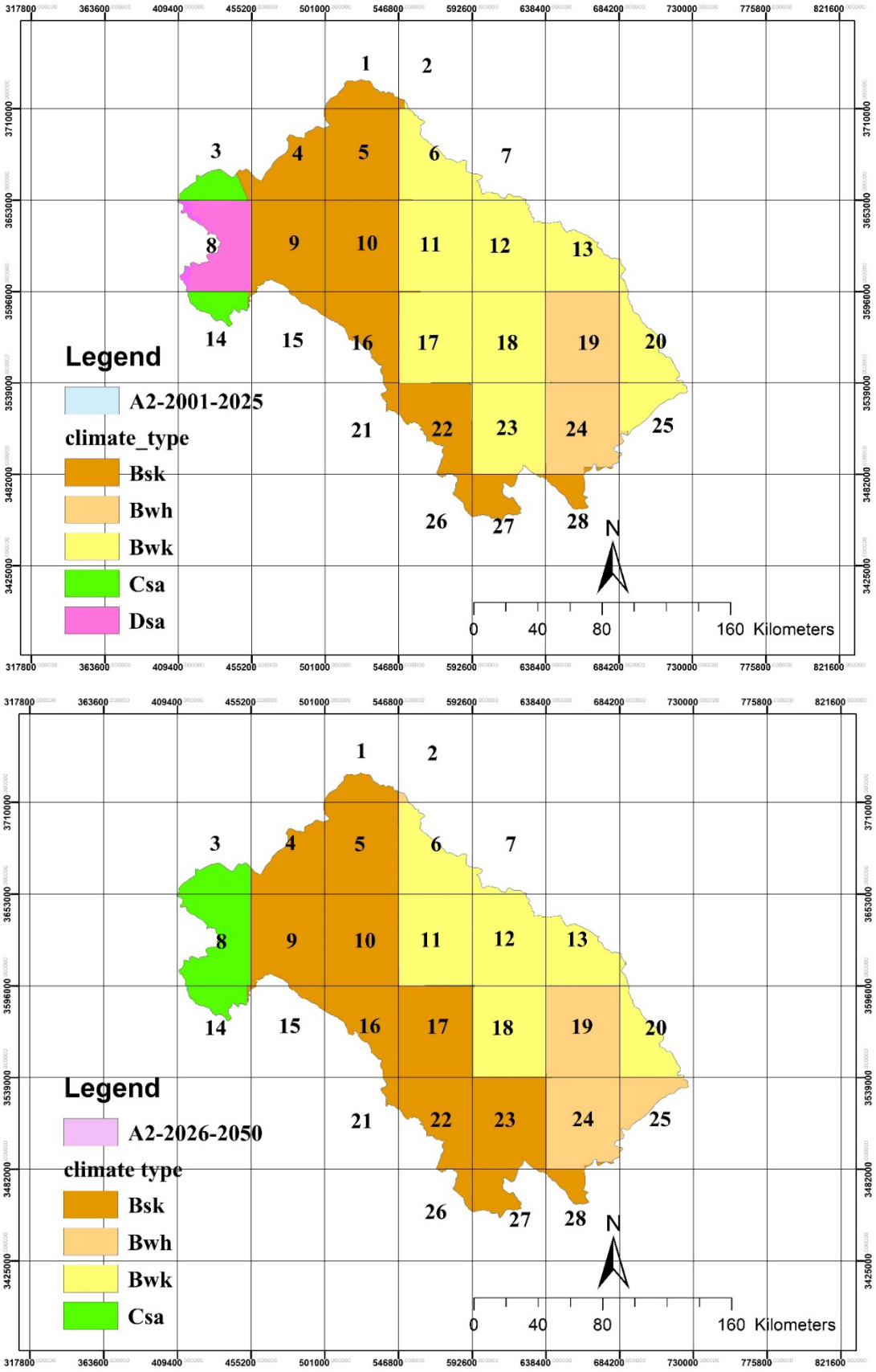
شکل ۳: پیش‌بینی طبقه‌بندی اقلیمی در سده بیست و یکم تحت سناریوی A1F1

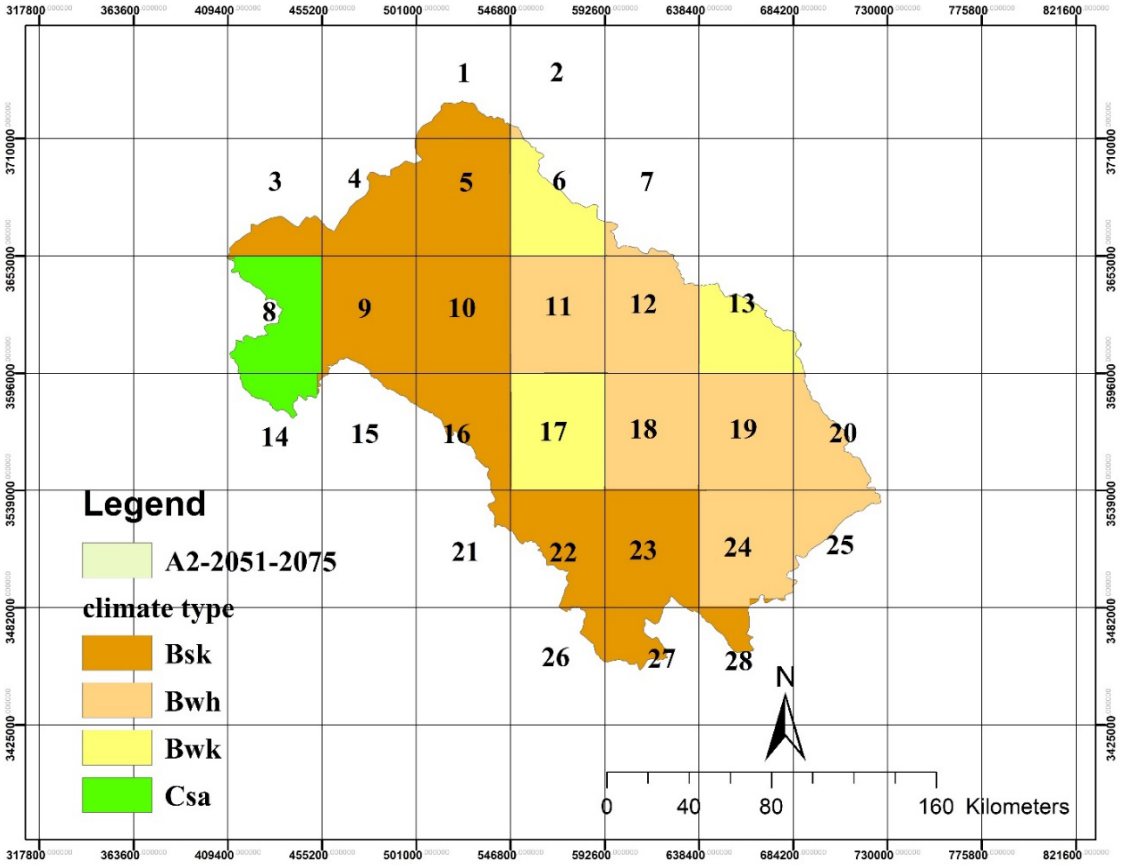


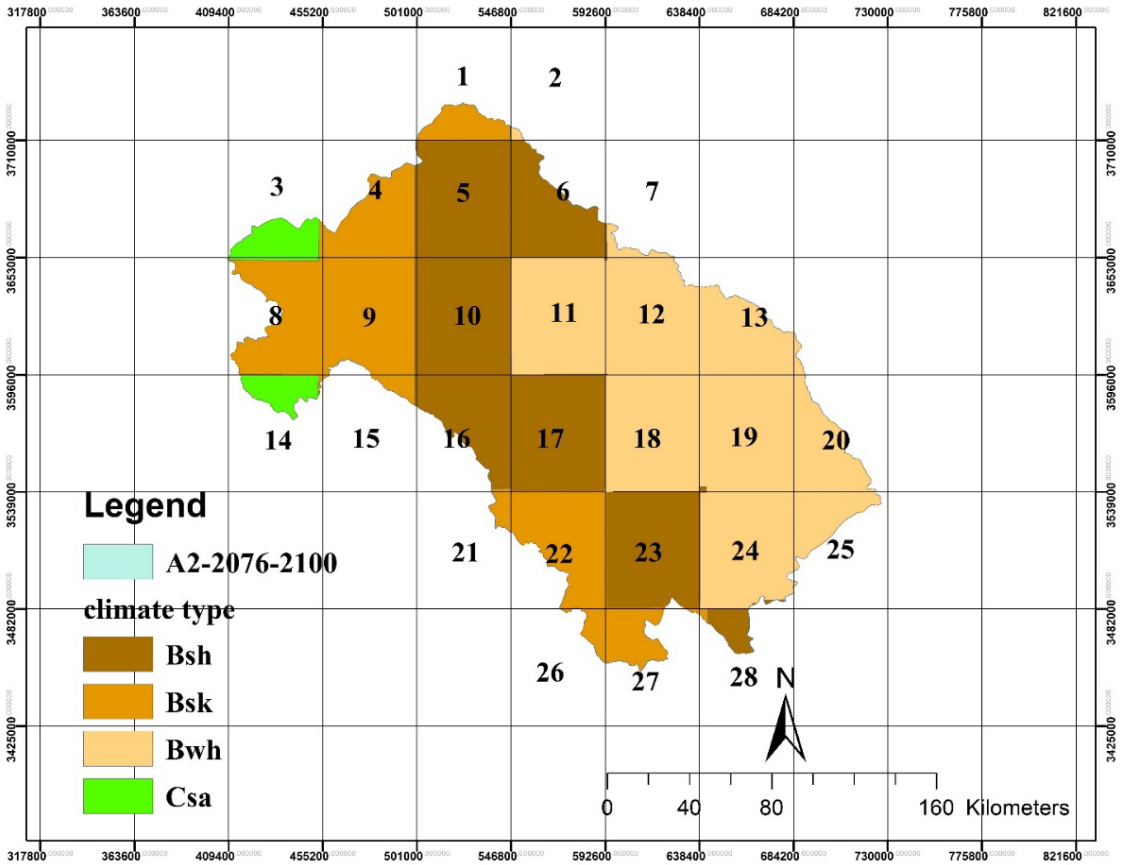

Legend
A1F1-2051-2075
climate type
Bsh
Bsk
Bwh
Bwk
Csa
N
0 40 80 160 Kilometers


Legend
A1F1-2076-2100
climate type
Bsh
Bsk
Bwh
Csa
N
0 40 80 160 Kilometers

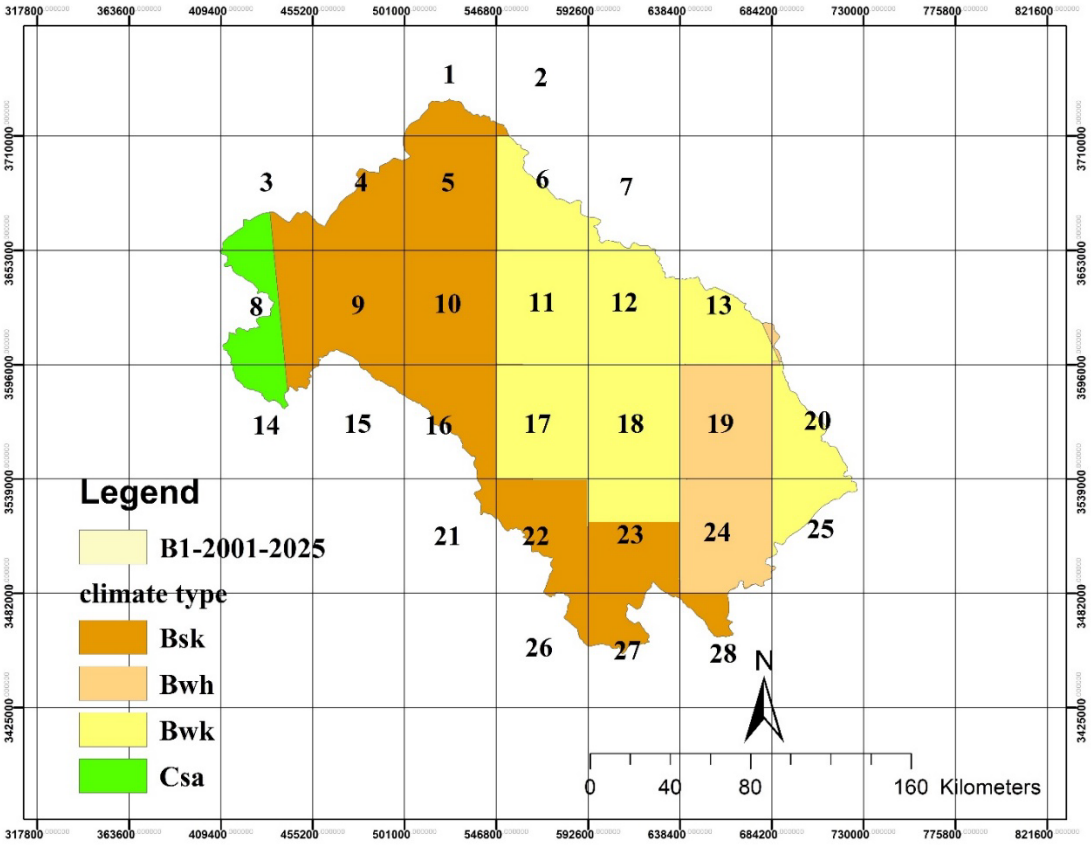
شکل ۴: پیش‌بینی طبقه‌بندی اقلیمی در سده بیست و یکم تحت سناریوی A2

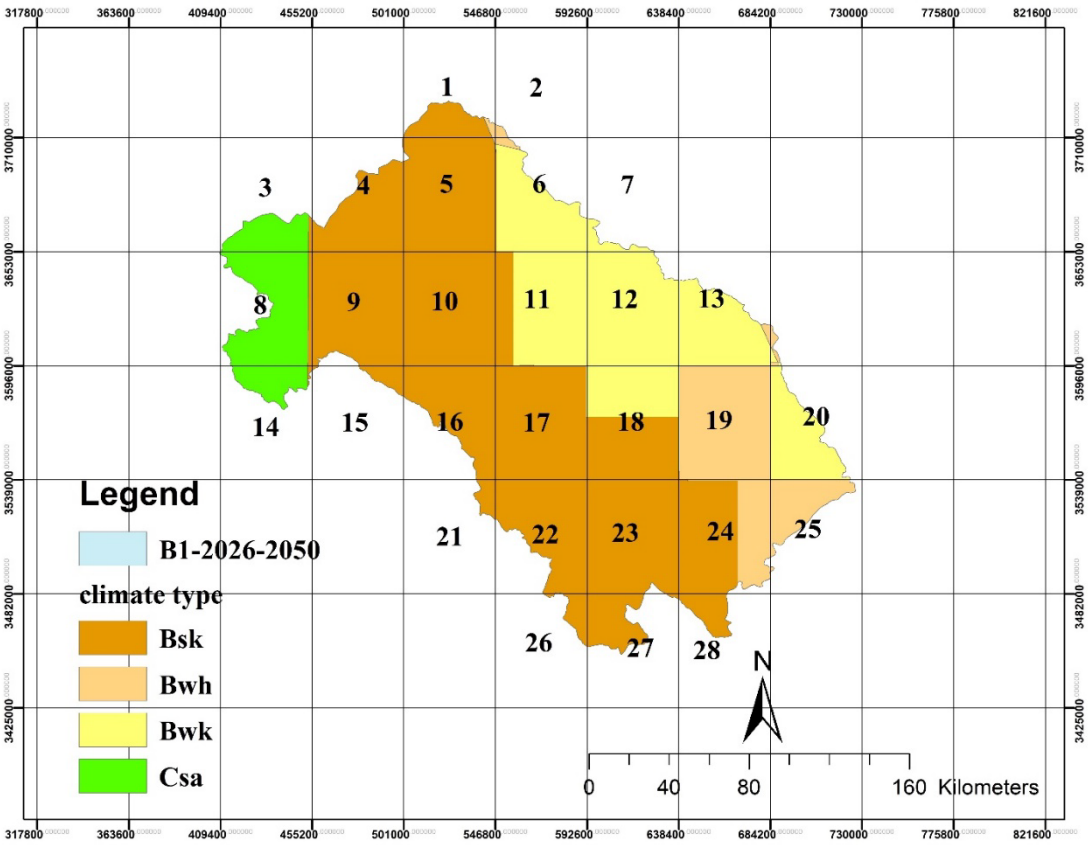


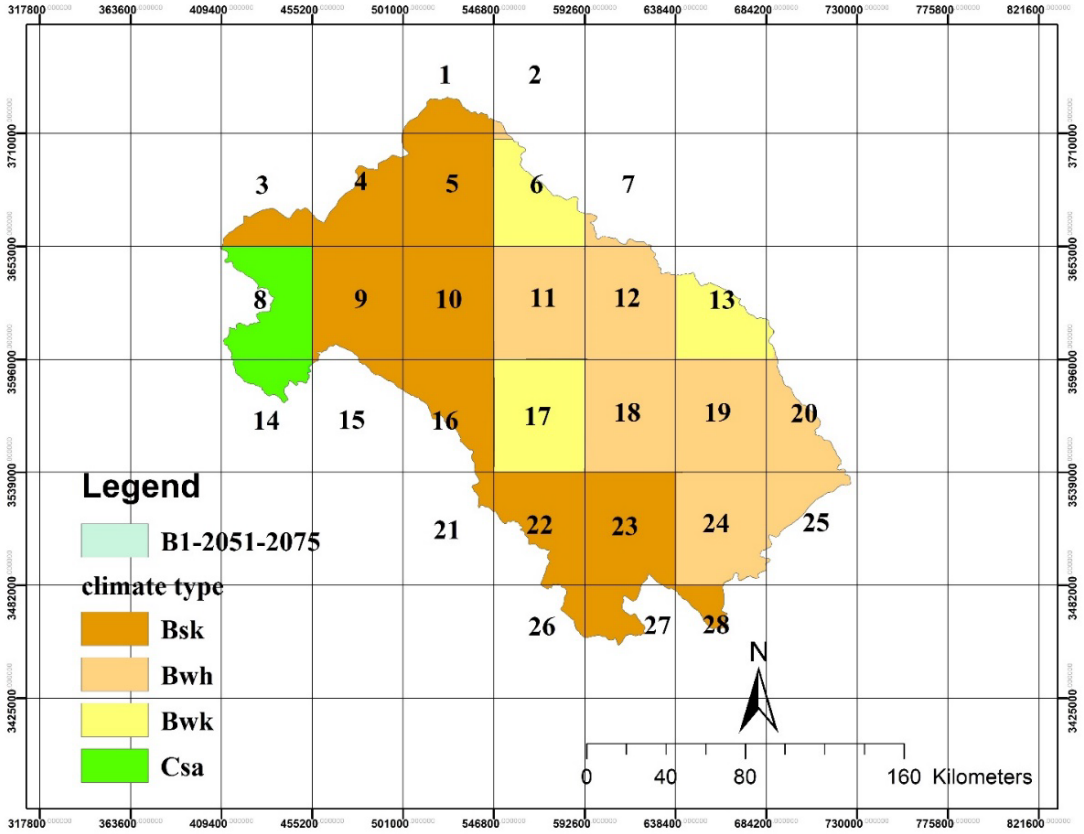

317800 363600 409400 455200 501000 546800 592600 638400 684200 730000 775800 821600
3710000 3653000 3596000 3539000 3482000 3425000
1 2
3 4 5 6 7
8 9 10 11 12 13
14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25
26 27 28
Legend
A2-2051-2075
climate type
Bsk
Bwh
Bwk
Csa
N
0 40 80 160 Kilometers

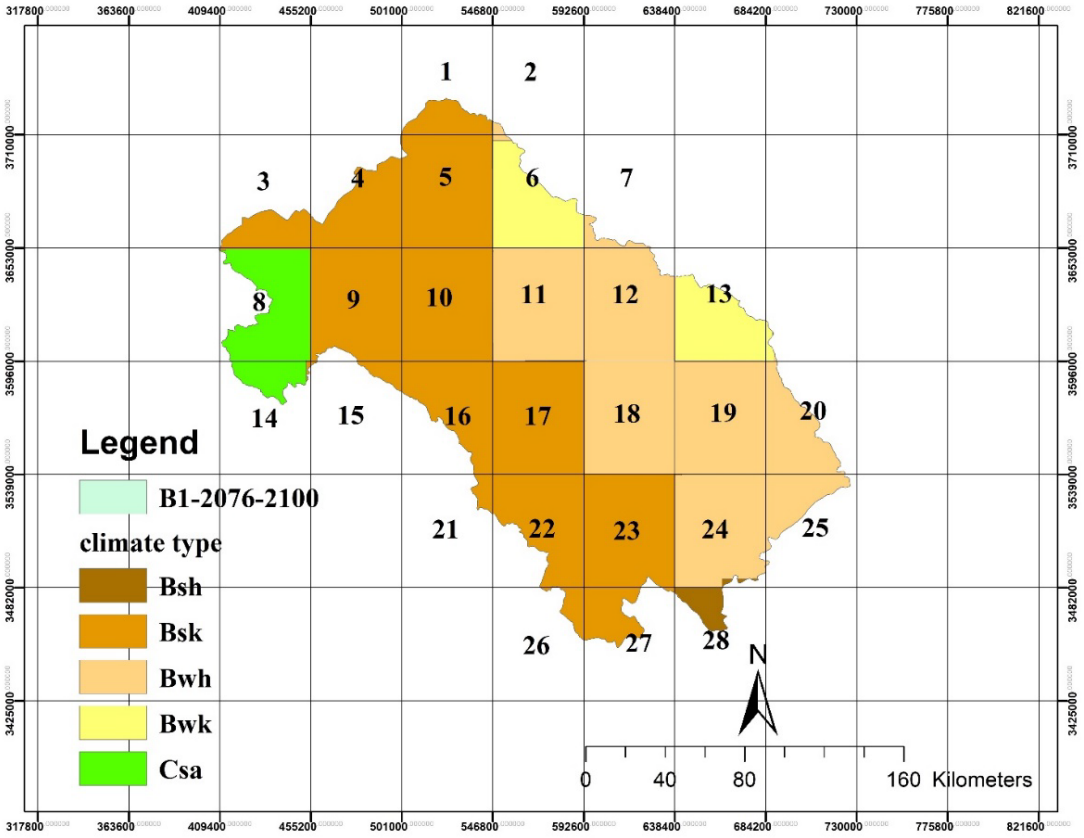

317800 363600 409400 455200 501000 546800 592600 638400 684200 730000 775800 821600
3710000 3653000 3596000 3539000 3482000 3425000
1 2
3 4 5 6 7
8 9 10 11 12 13
14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25
26 27 28
Legend
A2-2076-2100
climate type
Bsh
Bsk
Bwh
Csa
N
0 40 80 160 Kilometers

شکل ۵: پیش‌بینی طبقه‌بندی اقلیمی در سده بیست و یکم تحت سناریوی B1

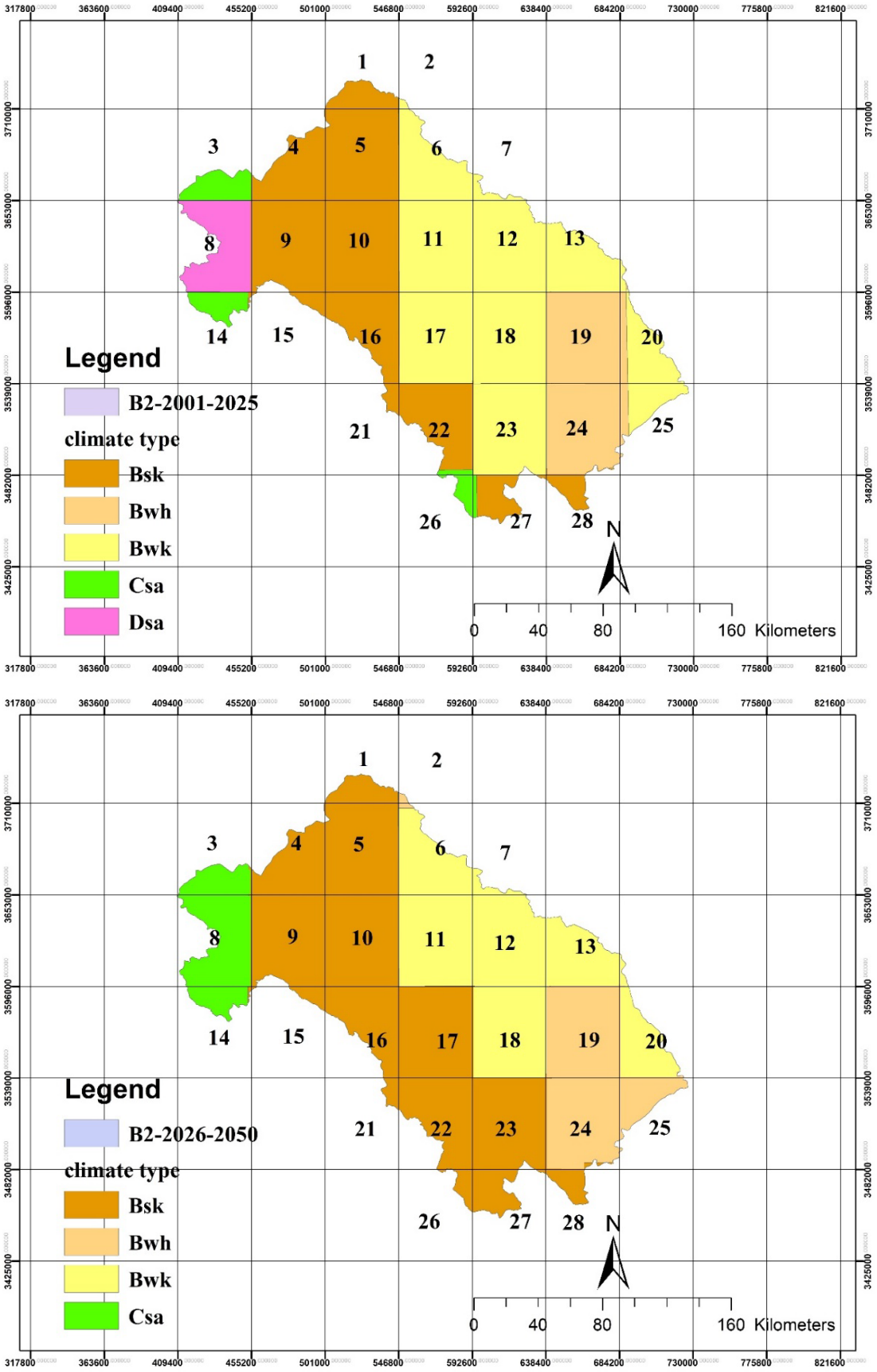


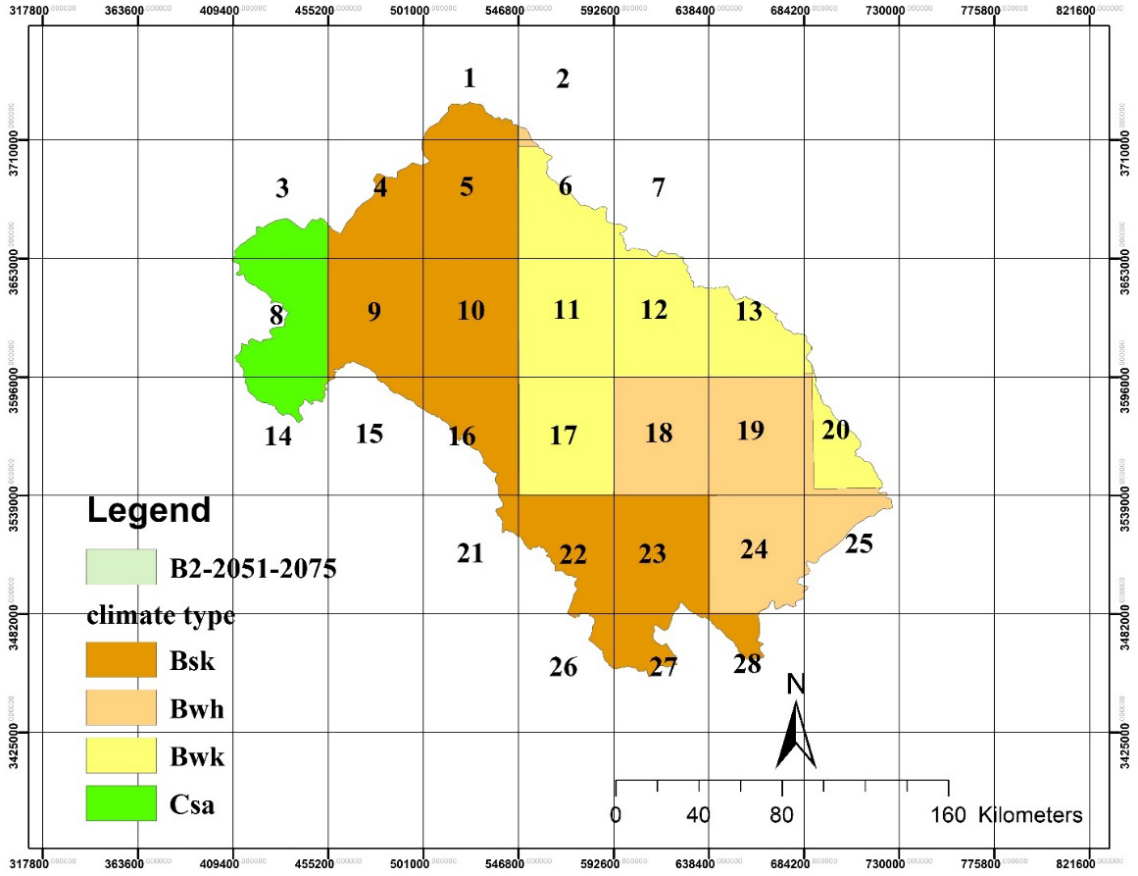


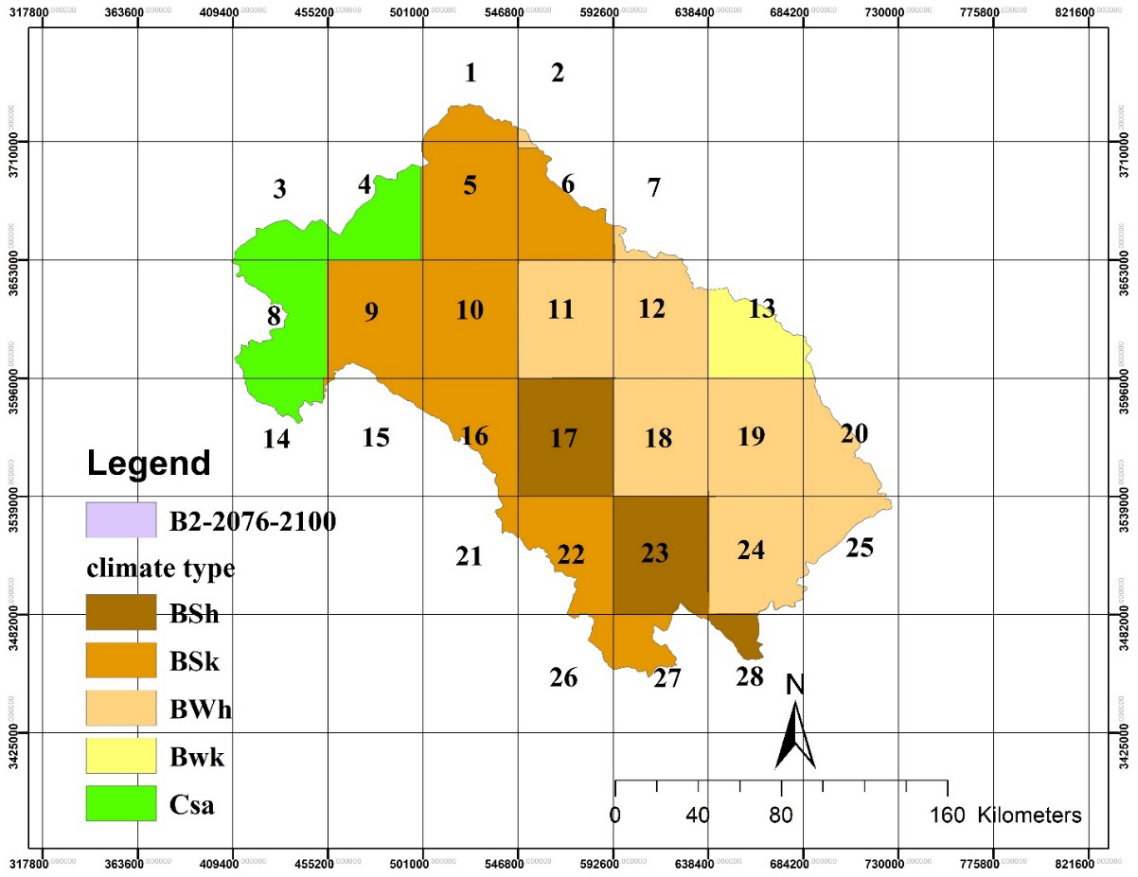

317800 363600 409400 455200 501000 546800 592600 638400 684200 730000 775800 821600
3710000 3653000 3596000 3539000 3482000 3425000
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28
Legend
B1-2051-2075
climate type
Bsk
Bwh
Bwk
Csa
N
0 40 80 160 Kilometers


317800 363600 409400 455200 501000 546800 592600 638400 684200 730000 775800 821600
3710000 3653000 3596000 3539000 3482000 3425000
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28
Legend
B1-2076-2100
climate type
Bsh
Bsk
Bwh
Bwk
Csa
N
0 40 80 160 Kilometers

شکل ۶: پیش‌بینی طبقه‌بندی اقلیمی در سده بیست و یکم تحت سناریوی B2




317800 363600 409400 455200 501000 546800 592600 638400 684200 730000 775800 821600
3710000 3653000 3596000 3539000 3482000 3425000
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28
Legend
B2-2051-2075
climate type
Bsk
Bwh
Bwk
Csa
N
0 40 80 160 Kilometers


317800 363600 409400 455200 501000 546800 592600 638400 684200 730000 775800 821600
3710000 3653000 3596000 3539000 3482000 3425000
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28
Legend
B2-2076-2100
climate type
BSh
BSk
BWh
Bwk
Csa
N
0 40 80 160 Kilometers

نتیجه‌گیری

بررسی سناریوهای A1F1، A2، B1 و B2 در چهار دوره ۲۵ ساله ۲۰۲۵-۲۰۰۱، ۲۰۵۰- ۲۰۲۶،۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ۲۱۰۰-۲۰۷۶ حاکی از آن است که بخش‌های زیادی از حوضه آبریز زاینده‌رود تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در سده ۲۱ قرار خواهد گرفت. به‌طورکلی وضعیت این حوضه به سمت گرم و بیابانی شدن پیش خواهد رفت. فاحش‌ترین جابه‌جایی‌های اقلیمی مشاهده‌شده در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست رخ خواهد داد که البته این تغییرات در بالادست به‌مراتب بیشتر است که نشان می‌دهد گروه‌های اقلیمی برفی منطقه کوهستانی بیشتر از هر گروه اقلیمی دیگری جابه‌جا خواهد شد. لذا روند کاهش گروه اقلیمی برفی و جایگزینی آن با گروه‌های اقلیمی دیگر به‌خوبی مشهود است. کوهستانی و همکاران نیز در سال ۱۳۹۶، با بهره‌گیری از مدل‌های GCM به این نتیجه رسیدند که در مناطق شمال غربی حوضه آبریز زاینده‌رود (بالادست)، بیشترین تغییرات درجه حرارت حداقل و حداکثر رخ خواهد داد که منجر به کاهش ذخیره برف در مناطق غربی و شمال غربی این حوضه خواهد شد و بنابراین در آینده باید انتظار مشکلات کمبود آب بیشتری نسبت به شرایط کنونی، وجود داشته باشد که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهش حاضر بیشترین میزان تغییر در تیپ اقلیمی در پیکسل ۸ (فریدون‌شهر) خواهد بود که در سناریوهای بدبینانه (A1F1 و A2) و از دوره زمانی ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا ۲۰۵۰-۲۰۲۵.و نیز از ۲۰۷۵-۲۰۵۱ تا ۲۱۰۰-۲۰۷۶، مشهودتر است. مساح بوانی و مرید نیز در سال ۱۳۸۴ طی پژوهشی بیشترین میزان تغییرات در حوضه زاینده‌رود را در ایستگاه فریدون‌شهر و در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ پیش‌بینی کردند که با نتیجه پژوهش حاضر همخوانی دارد. نتایج حاصل از این پژوهش، حاکی از تغییر اقلیم مناطق بالادست از اقلیم برفی با تابستان خشک به اقلیم معتدله با تابستان خشک از دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۱ تا دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۵ و همچنین تغییر اقلیم معتدله با تابستان خشک به اقلیم استپی از دوره ۲۰۷۵-۲۰۵۱ تا دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۶ ، در صورت ادامه روند استفاده از سوخت‌های فسیلی و رشد اقتصادی بدون در نظر گرفتن توسعه پایدار است. لذا با توجه به پدیده گرمایش جهانی و پیش‌بینی‌های صورت گرفته، لازم است برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و ملی برای مدیریت آن صورت گیرد. دانش صحیح درباره اثرات تغییر اقلیمی به‌عنوان یک عامل کلیدی برای عمل آگاهانه شکل گیری یک عزم فردی برای مقابله با اثرات تغییر اقلیمی ضروری می‌باشد. اقدامات تخفیف دهنده، شامل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارتقاء و گسترش تکنولوژی‌های پاک و حفاظت از جنگل‌ها در راستای مقابله با تغییر اقلیم ضروری هستند.

منابع

بابابیان، ایمان ، وزهرا نجفی نیک، و علی زکی زاده. ۱۳۸۴. مطالعه مقدماتی و ارزیابی مدل‌های Generator Weather مطالعه موردی: ارزیابی مدل LARSE-WG بر روی ایستگاه‌های منتخب خراسان، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، گزارش پروژه. ۴۳۰ ص.

رشیدی، معصومه، و هادی غریب. ۱۳۹۰. تغییرات اقلیم و اثرات آن بر منابع آب ، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

فتائی، ابراهیم، و علی عزیزی، و سیدتقی سیدصفویان، و علی اکبر ایمانی، و اکرم اوجاقی، و حبیب فرهادی. ۱۳۹۶. پیش‌بینی تغییرات برخی متغیرهای اقلیمی حوضه آبخیز دره رود ارس طی دهه‌های آتی با استفاده از مدل‌های تغییر. فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست ۳۹(۱۱): ۱۳-۱.

طائی سمیرمی، سیاوش، و مرادی، حمیدرضا و مرتضی خداقلی؛ ۱۳۹۴ . پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی LARS-WG و خروجی‌های مدل HADCM3 تحت سناریوهای مختلف. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز ۲(۷): ۱۵۶- ۱۴۵.

طاووسی، تقی، و قدیر دل‌آرا. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی آب‌وهوایی استان اردبیل. مجله علمی و فنی نیوار ۷۱(۳۴): ۵۲-۴۷.

فولاد، فواد، و همایون مطیعی، و رضا افشین شریفان، و علیرضا زمانی نوری. ۱۳۹۰. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای بارش و دما با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه کرج سد امیرکبیر، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب، تهران.

کوهستانی، شاپور، و سعید اسلامیان، و علی‌اصغر بسالت پور. ۱۳۹۶. تأثیر تغییر اقلیم بر درجه حرارت حوضه آبریز زاینده‌رود با استفاده از محاسبات نرم یادگیری ماشینی بیزین. نشریه علوم آب‌وخاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) ۱(۲۱): ۲۱۶-۲۰۳.

مساح بوانی، علیرضا، و سعید مرید. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان. نشریه علوم آب‌وخاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) ۴(۹): ۱۷-۲۸.

منتظری، مجید، و مریم کریم پور. ۱۳۹۰. شناسایی پهنه‌های حوضه زاینده‌رود با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی ۱۴(۴): ۱۰۳.

منتظری، مجید، و ناصر بای. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی اقلیم ناحیه خزری با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ۲۷(۲): ۷۷-۹۰

هدایتی دزفولی، اکرم، و رضا کاکاوند. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی اقلیمی استان قزوین. مجله علمی و فنی نیوار ۷۷(۳۶): ۵۹-۶۶.

Arnell, N. W., M. J. L. Livermore, S. Kovats, P. E. Levy, R. Nicholls, M. L. Parry, and S. R. Gaffin. 2004. Climate and socioeconomic scenarios for global scale climate change impacts assessments: Characterising the SRES storylines, Global Environmental Change 1(14): 3-20.

Crosbie, R. S., D. W. Pollock, F. S. Mpelasoka, O. V. Barron, S. P. Charles, and M. J. Donn. (2012). Changes in Koppen-Geiger climate types under a future climate for Australia: Hydrological implications. Hydrology and Earth System Sciences 16(9): 3341–3349.

De Castro, M., C. Gallardo, K. Jylha, and H. Tuomenvirta. 2007. The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models: Climatic Change 81: 329–341.