کارگاه فنی
اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب
۲۴ بهمن ماه ۱۳۸۶

تحلیل روند تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما در کشور به کمک سنجش از دور و شناسایی نواحی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی

پیمان دانش کار آراسته[۱]

چکیده

با توجه به تعامل اقلیم و محیط زیست، تغییرات اقلیمی اثرات قابل توجه مثبت و منفی بر زیست بوم به خصوص زیست بوم‌های کشاورزی دارد. برای مدیریت هر چه بهتر منابع به خصوص منابع آب، ضرورت دارد وقوع تغییرات اقلیمی و میزان تأثیر گذاری آن بر زیست بوم کشاورزی شناسایی گردد. سنجش از دور این امکان را فراهم می آورد که ضمن بررسی همزمان سطوح وسیع، با استفاده از تصاویر متوالی یک چهار چوب زمانی و مکانی مناسب برای بررسی رفتار هیدرولوژیکی زیست بوم‌ها بوجود آید. بدین منظور با استفاده از ۶۹۶ تصویر همزمان دما و بارش ماهانه در سطح کشور به بررسی تغییرات زمانی و مکانی این عوامل اقلیمی به عنوان مهم ترین و تأثیرپذیرترین عوامل اقلیمی از تغییرات جهانی آب و هوا اقدام شد. تصاویر مورد استفاده مطابق انتظار تغییرات مکانی عوامل مزبور را نشان داد که متاثر از خصوصیات جغرافیایی و توپوگرافیکی کشور و جهت ورود توده‌های جوی می باشد. اما برای بررسی روند تغییرات زمانی از آزمون Mann-Kendal برای تحلیل سری‌های زمانی بارش و دما استفاده گردید. نتایج نشان داد که در تمامی کشور روند صعودی دمای میانگین ماهانه مشاهده می شود که حاکی از گرم شدن تدریجی هوا و تأثیر بر ذخایر آبی اعم از مایع و جامد می باشد. تغییرات بارش نیز در سطح کشور در سطوح مختلف معنی دار بود. در نواحی شمال- شمال غرب و جنوب- جنوب شرق روند نزولی بارش

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره).
قزوین- صندوق پستی: ۲۸۸، تلفن: ۳۷۸۰۰۳۸-۰۲۸۱، دورنگار: ۳۷۸۰۰۷۳-۰۲۸۱، پست الکترونیکی: arasteh@ikiu.ac.ir

ماهانه مشاهده شد که ضرورت برنامه‌ریزی منابع آب مبتنی بر تکیه بر اثرات تغییرات اقلیمی را مورد تاکید قرار می‌دهد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، دما، بارش، سنجش از دور، Mann-Kendal،

مقدمه

تغییرات جهانی آب و هوا سبب اعمال تغییراتی در زیست بوم‌های کشاورزی شده و فتوسنتز و تولیدات گیاهی را تحت تأثیر قرار داده است. از آنجا که اقلیم و زیست بوم ارتباط و تعامل تنگاتنگی با یکدیگر دارند، تغییرات اقلیمی اثرات فراوانی بر زیست بوم و الگوی پوشش گیاهای و تولید در زیست بوم‌های مختلف بر جای می‌گذارد. این تغییرات اقلیمی ممکن است ناشی از نوسانات دراز مدت طبیعی یا نتیجه تغییرات کوتاه مدت و میان مدت فعالیت‌های بشر مانند تغییر در کاربری اراضی و انتشار گازهای گلخانه‌ای باشد (Sarkar & Kafatos،2004).

این نوسانات، زیست بوم را در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوتی تحت تأثیر قرار می‌دهد. این اثرات ممکن است در مقیاس زمانی لحظه ای و دقیقه تا سال، سده تا هزاره دوام یابد و در مقیاس مکانی به صورت نقطه ای و موضعی تا منطقه ای و قاره ای یا حتی جهانی گسترش داشته باشد.

اثر تغییر اقلیم بر پوش گیاهی و تولید محصولات کشاورزی توسط بسیاری از محققین مورد مطالعه قرار گرفته است که در میان آنها می‌توان به تحقیقات (Anyambe & Eastman،1996؛ Li & Kafatos،2000) اشاره نمود. این تحقیقات نشان می‌دهند که گرم شدن جهانی و تغییر اقلیم بر بسیاری از ممالک اثرات نامطلوبی بر جای می‌گذارد که حدود یک پنجم این خسارات در بخش کشاورزی حادث خواهد شد و برای کاهش این خسارات می‌باید بر اساس شرایط اقلیمی حاکم بر هر منطقه سارگارسازی‌های مناسب و سیاستگذاری‌های کارآمدی را اتخاذ نمود (Tan & Shibasaki،2003). در نتیجه درک تغییرات تولیدات گیاهی به واسطه اثرات اقلیمی به درک رفتار دراز مدت زیست بوم‌های مختلف منتهی می‌گردد و همچنین به دستیابی به مدل‌های گردش اتمسفر و شبیه سازی زیست بوم جهانی کمک می‌نماید.

بررسی محققان حاکی از اثرات توام مثبت و منفی تغییرات جهانی اقلیم بر تولیدات گیاهی است (Olesen & Bindi،2002). این اثرات به حساسیت محصولات به هر یک از عوامل محیطی متاثر از تغییر اقلیم و تغییرات نسبی این عوامل بستیگ دارد. غلظت CO_2 در اتسفر به صورت طبیعی نسبت به زمان تغییر می‌کند و به صورت تابعی از دمای سطح گیاه از این فاکتور پیروی می‌نماید. اما بعد از انقلاب صنعتی و در سده‌های ۱۹ و ۲۰ میلادی علظت CO_2 اتمسفر به دو برابر افزایش یافته است (IPCC،2001b). انتشار CO_2 و سایر گازهای گلخانه ای به دلیل فعالیت‌های بشر اثرات نامطلوب بسیاری

بر سامانه اقلیم جهانی بر جای نهاده است. یکی از مهمترین عوارض افزایش این گاز در اتسفر، افزایش دمای سطح زمین است. بر اساس مطالعات IPCC[1] تا پایان قرن بیست و یکم بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی گراد به دمای متوسط کره زمین افزوده می‌شود که با تغییرات زمانی و مکانی بارش‌ها و فرکانس وقایع حدی جوی تیز توام خواهد بود (IPCC، 2001، a).

تغییر اقلیم علاوه بر پوشش گیاهی و تولید محصول بر چرخه هیدرولوژی و به دنبال آن بر منابع آب قابل دسترس و وقوع خشکسالی و سیل تأثیر می‌گذارد (Tao et al.، 2003). تولید محصول در اثر تغییر اقلیم به سبب گرم شدن و غنی شدن CO_2 اتمسفر افزایش می‌یابد اما به دلیل تأثیر بر کمبود آب و زمان بندی و فرکانس وقوع بارش بر پایداری تولید تأثیر منفی بر جای می‌گذارد. آب مهمترین نهاده در کشاورزی است و تغییر در آن به صورت بروز خشکسالی یا سیل اثرات معنی داری بر تامین آب کشاورزی بر جای می‌گذارد. شناخت نوسانات زمانی و مکانی منابع آب ناشی از تغییرات اقلیمی و اثر آن بر کشاورزی برای سیستگذاری، برنامه ریزی منابع آب و کشاورزی و اتخاذ استراتژی‌های مناسب در جهت توسعه پایدار کشاورزی بسیار مهم و ارزشمند می‌باشد. بارش از طریق تامین رطوبت خاک به طور مستقیم تولید را دیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از طریق تغذیه منابع آب سطحی و زیرزمینی، تولید فاریاب را متاثر می‌سازد. بروز متواتر خشکسالی و سیل که از تبعات تغییرات اقلیمی است تولید گیاهی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. حتی در حالتی که کل بارش سالانه ثابت باقی بماند با توجه به تغییرات سایر عوامل اقلیمی به خصوص دما، تلفات رواناب و تبخیر افزایش یافته و رطوبت خاک و به دنبال آن تولید محصول تحت تأثیر واقع می‌شود. اگرچه افزلیش CO_2 مستقیما فتوسنتز و تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما اثرات غیر مستقیم آن بر سایر عوامل اقلیمی تأثیر به مراتب بیشتری بر زیست بوم‌های کشاورزی دارد (Fuhrer، 2003).

افزایش در محتوای CO_2 اتمسفر< کربن اضافی برای فتوسنتز در اختیار گیاه قرار می‌دهد که منجر به تغییر در بیلان آب، مواد غذایی و انرژی می‌شود. از طرف دیگر تغییر شیمیایی اتمسفر فرآیندهای زیست محیطی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در بسیاری از مناطق صنعتی افزایش O_3 در تروپوسفر از عوامل کلیدی تغییر اتمسفر و گسترش خسارات ناشی از آن در گیاهان است (Fuhrer، 2003 ؛ Chartzoulakis & Psarras، 2005). اثرات مخرب و مضر O_3 بر تولید مورد بررسی بسیاری از محققین قرار گرفته و تأثیر آن بر نحوه تثبیت کربن در فرآیند فتوسنتز مخرب ترین اثر آن بر شمرده شده است. از طرف دیگر افزایش گازهای گلخانه ای در اتمسفر موجب کاهش ضخامت O_3 در استراتوسفر شده که به افزایش تابش فرابنفش رسیده به سطح زمین منتهی می‌شود. تأثیر تابش فرابنفش در مقدار و کیفیت محصولات کشاورزی نیز مورد پژوهش بسیار قرار گرفته اما نحوه و میزان ایت تأثیرات به روشنی مشخص نشده است. تحقیقات نشان داده که افزایش تابش فرابنفش مانع فتوسنتز شده و نرخ

1- Intergovernmental Panel of Climate Change

آن را می‌کاهد. اما روشن نیست که آیا این میزان کاهش با افزایش فتوسنتز در اثر افزایش غلظت CO_2 در تعادل است یا خیر (Kakani et al.، 2003).

داده‌های هواشناسی و نتایج مدل‌های شبیه سازی تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که متوسط دمای اتمسفر در حال افزایش است که خود سبب کاهش مقدار بارش تابستانه و افزایش احتمال و شدت وقوع خشکسالی و امواج حرارتی به خصوص در نواحی خشک و نیمه خشک می‌گردد. به دنبال کاهش بارندگی و افزایش دما، تلفات تبخیر و مصرف آب گیاه از طریق تعرق افزایش می‌یابد که به نوبه خود منجر به بروز تنش آبی در محصولات کشاورزی می‌شود و در پی این پدیده‌ها، آب آبیاری در دسترس از لحاظ کمی و کیفی دچار نقصان شده، منجر به اعمال تنش بر منابع آب سطحی و زیرسطحی و ایجاد رقابت بین مصرف کنندگان آب خواهد شد که عموما این رقابت به نفع مصارف بشری یعنی شرب، کشاورزی و صنعت تمام شده و محیط زیست تنها بازنده ای رقابت خواهد بود. با کاهش حقابه محیط زیست، زیست بوم‌های طبیعی دچار بحران شده و یا کاملا نابود می‌گردند که خود به تشدید اثرات تغییرات اقلیمی در منطقه منتهی می‌شود (Chartzoulakis & Psarras، 2005). در نواحی خشک و نیمه خشک دمای بالا، کمبود فشار بخار زیاد، دسترسی محدود به آب و شوری آب و خاک از عوامل محیطی هستند که فتوسنتز و تولید گیاهی را به خودی خود و به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین، اثر تغییر اقلیم بر این عوامل در این گونه مناطق اهمیت فراوانی بر عکس العمل محصولات نسبت به شرایط محیطی جدید دارد.

تحقیق و مدلسازی (Tan & Shibasaki، 2003) نشان می‌دهد که تا نیمه قرن حاضر بخش اعظم ایران در ناحیه فاقد کشاورزی طبقه بندی می‌شود و چهار محصول استراتژیک گندم، برنج، ذرت و سویا در این تحقیق با کاهش تولید در واحد سطح تا نصف (گندم)، افزایش تولید در واحد سطح تا دو برابر (برنج) و بدون تغییر در تولید در واحد سطح (ذرت و سویا) روبرو خواهند بود.

با توجه به اهمیت تولیدات کشاورزی بر امنیت غذایی و اثرات کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت تغییرات اقلیمی بر پایداری کشاورزی در ایران به عنوانیک کشور واقع در منطقه خشک و نیمه خشک با ساختار اقلیمی حساس و شکننده، در مقاله حاضر سعی شده با تکیه بر اطلاعات ماهواره ای، روند تغییرات زمانی و مکانی عوامل اقلیمی متاثر از تغییرات جهانی آب و هوا شامل بار ش و دما مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر اطلاعات مورد استفاده سری زمانی ماهانه شامل ۶۹۶ تصویر سراسری دما و بارش در سطح کشور از ماه ژانویه ۱۹۵۰ تا دسامبر ۲۰۰۷ بوده است که از از محصولات NOAA[1] بوده و از طریق سایت دانشگاه کلمبیا[2] و موسسه تحقیقات بین المللی اقلیم و جامعه[3] (IRI) به صورت رایگان در

1 -National Oceanic and Atmospheric Administration
2 -Columbia University
3 -International Research Institute for Climate and Society

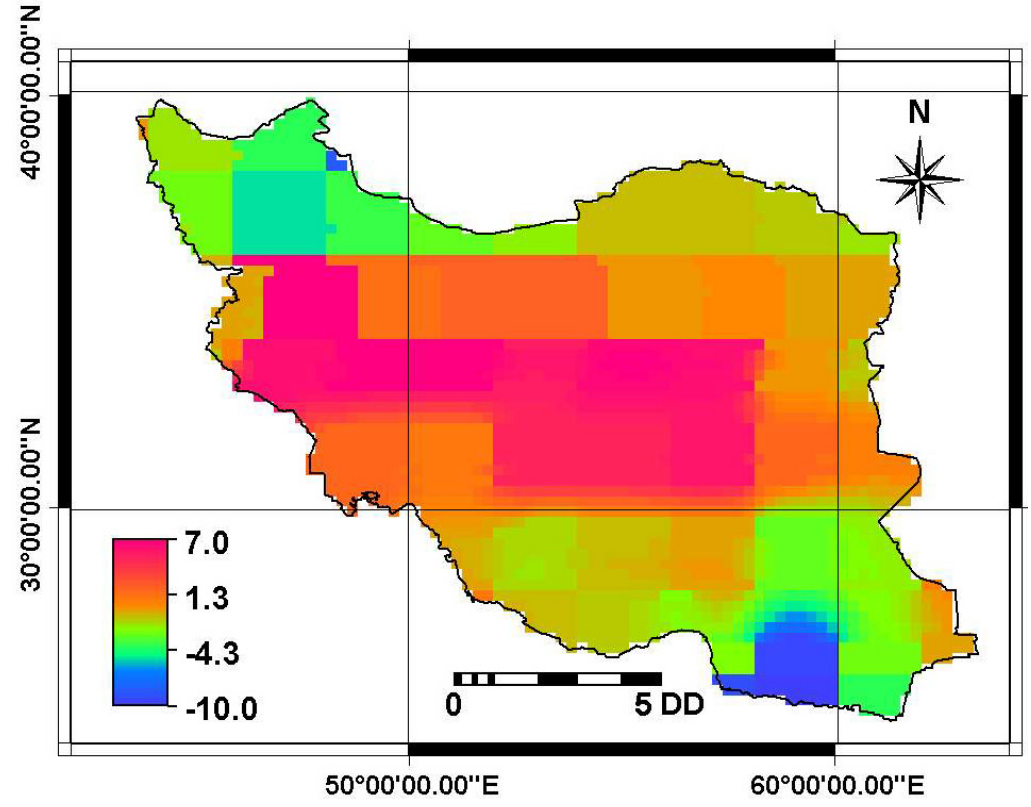
اختیار قرار گرفته است. استفاده از تصاویر مزبور امکان بررسی تغییرات مکانی بارش ماهانه و متوسط دمای ماهانه را بدست می‌دهد و تحلیل سری زمانی نیز امکان بررسی تغییرات دراز مدت پارامتر اقلیمی مورد نظر در هر پیکسل را فراهم می‌آورد. لذا پس از پردازش تصاویر و استخراج کمیت‌های فیزیکی بارش ماهانه برحسب میلی متر در ماه و متوسط دمای ماهانه برحسب درجه سانتی گراد اقدام به تحلیل سری زمانی گردید.

شناسایی تغییر در رژیم هیدرولوژیکی و متغیرهای اقلیمی به واسطه تغییر اقلیم با توجه به ماهیت تغییر پذیر این متغیرها بسیار پیچیده خواهد بود و تفکیک یک نوفه که بخش طبیعی از یک سیگنال هیدرولوژیکی است از اثر تغییر اقلیم هرگز کار ساده‌ای نیست (Xu et al.، 2001، 2003). در این تحقیق با هدف تحلیل تغییرات بارش و دما به دلیل تغییرات اقلیمی، روند دراز مدت در سری‌های زمانی این متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از آزمون ناپارامتری Mann-Kendal استفاده شد. این آزمون مبتنی بر مقایسه تعداد دفعاتی است که جملات باقی مانده در سری از مابقی سری بزرگ ترند، می‌باشد (Rodriguez da Silva، 2004).

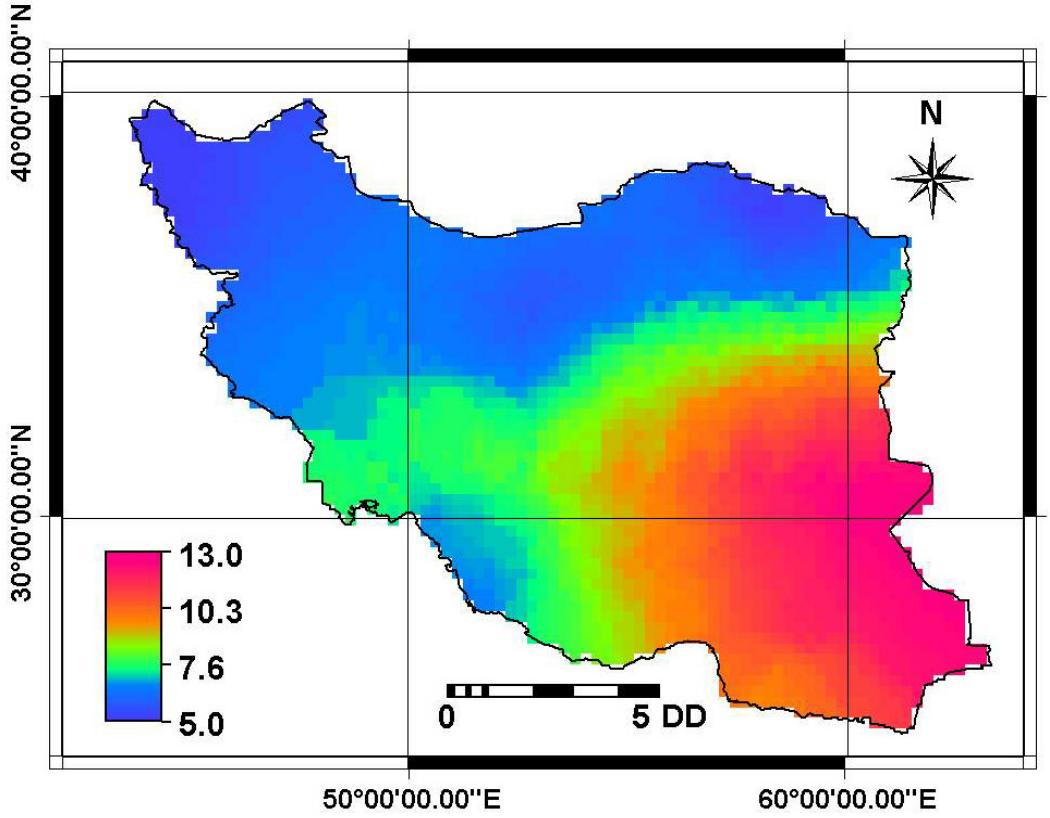
در میان روش‌های متعدد پارامتری و ناپارامتری بررسی روند در سری‌های زمانی، آزمون Mann-Kendal یکی از قدرتمند ترین آزمون‌ها است (Monlar & Ramirez، 2001). این آزمون در بسیاری از زمینه‌ها از جمله هیدرولوژی و اقلیم شناسی برای جستجو و کاوش روندهای یکنوای خطی و غیرخطی بکار گرفته می‌شود. این آزمون علاوه بر تشخیص روند، مقدار روند یا شیب تغییرات آن را نیز بدست می‌دهد (Llasat & Quintas، 2004 ؛ Xu et al.، 2001، 2003).

نتایج و بحث

سری زمانی تصاویر پیکسل به پیکسل مورد تحلیل قرار گرفت. برای این منظور کل سطح کشور که شامل بیش از ۲۶۰۰ پیکسل بود برای ۶۹۶ تصویر به صورت جداولی استخراج و آزمون Mann-Kendal برای سری زمانی مربوط به هر پیکسل به اجرا در آمد و ضریب Mann-Kendal برای هر سری تعیین گردید. در نهایت برای کل کشور یک نقشه ضریب Mann-Kendal تهیه گردید که نشان دهنده سطح معنی داری تغییرات در سری زمانی می‌باشد. شکل‌های (۱ و ۲) نقشه‌های ضرایب Mann-Kendal را برای بارش ماهانه و میانگین دما در سطح کشور نشان می‌دهند.



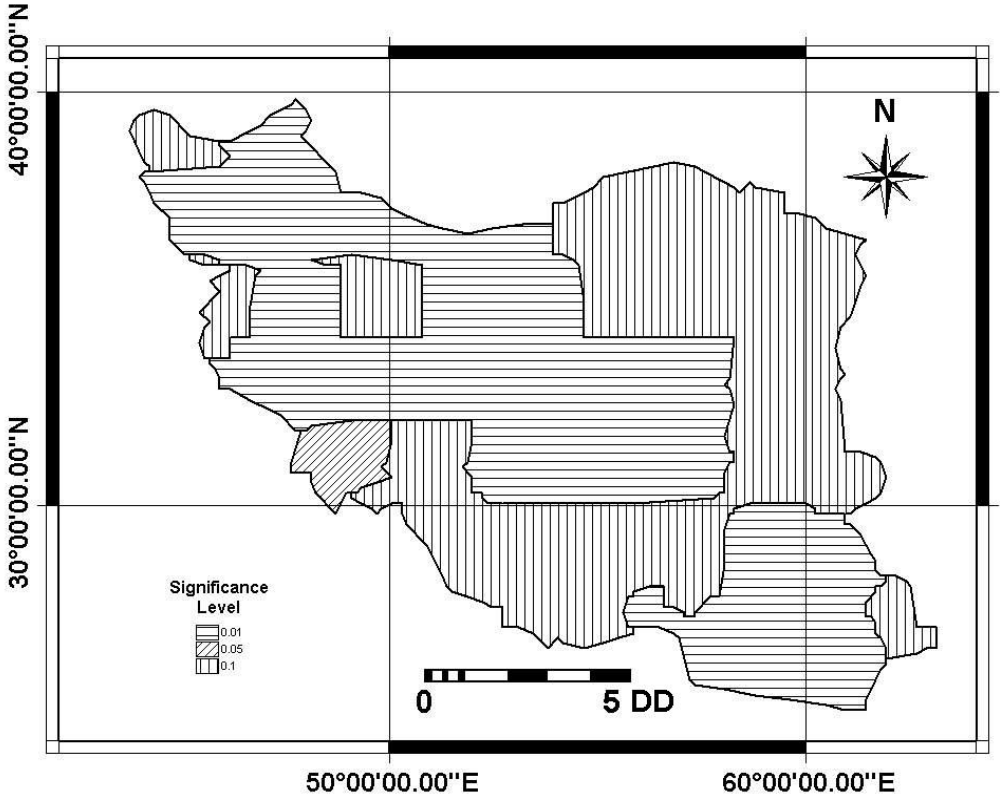
شکل (۱) توزیع مکانی ضریب Mann-Kendal برای سری زمانی بارش ماهانه.



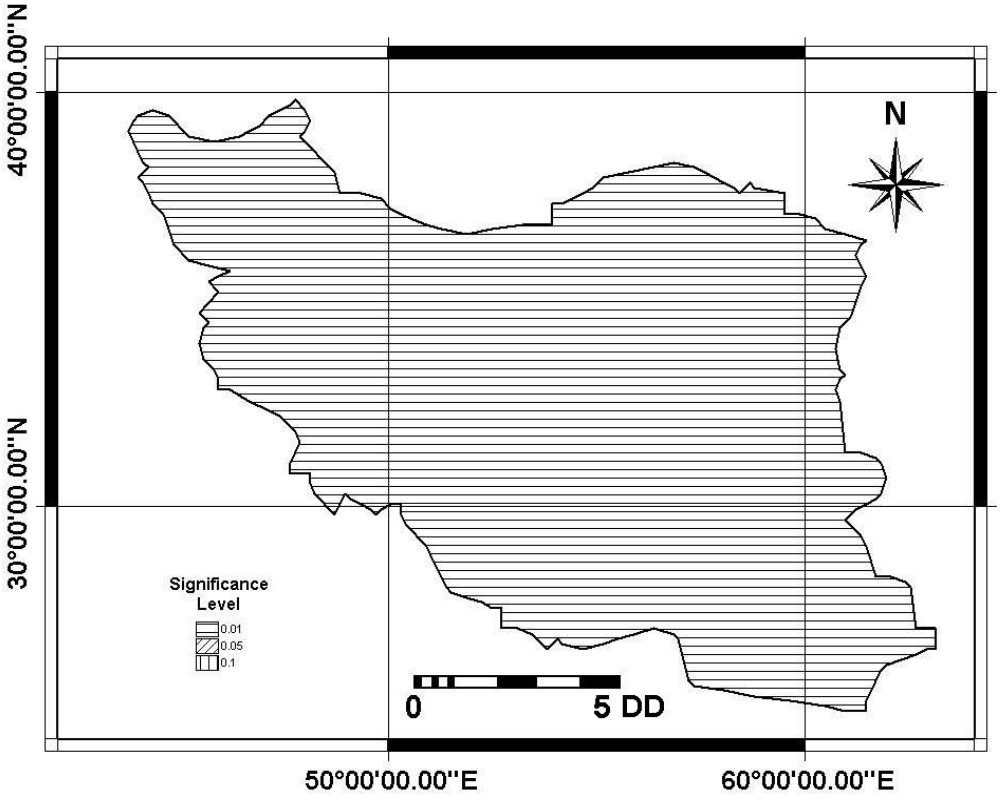
شکل (۲) توزیع مکانی ضریب Mann-Kendal برای سری زمانی میانگین دمای ماهانه.

چنانچه در شکل (۱) ملاحظه می‌گردد، ضریب مزبور از ۱۰- تا ۷ در سطح کشور در حال تغییر است که مقادیر منفی نشان دهنده روند نزولی بارش و مقادیر مثبت حاکی از روند صعودی بارش ماهانه می‌باشد. بدین معنی که نواحی شمال و شمال غرب و جنوب و جنوب شرق کاهش بارندگی ماهانه را تجربه می‌نمایند و در سایر نواحی کشور روند صعودی بارش ماهانه مشاهده می‌شود. البته باید به این نکته توجه نمود که اولا در شکل (۱) سطح معنی داری این روندها مشخص نیست و ثانیا صعودی یا نزولی بودن روند تغییرات به کمیت بارش دریافتی در سطح ارتباطی ندارد. بدین معنی که علی رقم صعودی بودن روند تغییرات بارش در نواحی مرکزی کشور با توجه به میزان باران محدود دریافتی در این نواحی، مقدار قابل توجهی به بارش افزوده نشده است. در شکل (۲) نیز با توجه به مقادیر مثبت ۵ تا ۱۳ برای ضریب Mann-Kendal روند صعودی میانگین دمای ماهانه مشاهده مشود که حاکی از گرم شدن تدریجی اقلیم کشور است. اما آنچه در خصوص نتایج مستخرج از شکل (۱) نیز ذکر شد در مورد شکل (۲) نیز صادق است و سطح معنی داری این تغییرات صعودی مشخص نمی‌باشد. برای همین منظور نقشه‌های سطوح معنی داری برای شکل‌های (۱ و۲) تهیه گردید که در شکل‌های (۳ و۴) نشان داده شده‌اند.

چنانچه در شکل (۳) ملاحظه می‌شود، تغییرات بارش ماهانه در سطح کشور در سطوح مختلف ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد معنی دار بوده که حاکی از حدوث تغییر در رژیم بارندگی کشور می‌باشد. همچنین در شکل (۴) ملاحظه می‌گردد، تمامی سطح کشور یک تغییر دراز مدت را در دما تجربه کرده است و این تغییرات در سطح معنی داری ۹۹ درصد معنی دار می‌باشد. بدین ترتیب بررسی تغییرات دراز مدت بارش و دما در سطح کشور نشان می‌دهد که به صورت خزیده در دراز مدت تغییرات اقلیمی روی داده است و به دنبال آن سایر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی و دیگر اجزای چرخه آب تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با افزایش تدریجی دما، تبخیر- تعرق گیاهان و تلفات تبخیر از سطوح آزاد آب و خاک افزایش یافته، نیاز آبیاری افزایش خواهد یافت.



شکل (۳) نقشه سطوح معنی داری روند تغییرات دراز مدت بارش ماهانه.



شکل (۴) نقشه سطوح معنی داری روند تغییرات دراز مدت میانگین دمای ماهانه.

با توجه به تغییر در رژیم بارش، منابع آبی کشور اعم از سطحی و زیرزمینی تحت تأثیر قرار گرفته، دسترسی به آب برای آبیاری اراضی فرایاب دستخوش تغییر خواهد شد. از طرف دیگر دیمزارها نیز به صورت مستقیم تحت تأثیر هر دو پدیده کمبود بارش و افزایش نیاز آبی قرار خواهند گرفت. بدین ترتیب به نظر می‌رسد که با توجه به تغییراتی که به وضوح نشان داده شد، نیاز به مدیریت منابع آب در سطح ملی مبتنی بر اثرات تغییرات اقلیمی می‌باشد.

تغییرات مکانی مشاهده شده در شکل‌های (۱ و۲) از ویژگی‌های توپوگرافیکی، عرض جغرافیایی و گسترش رشته کوه‌ها تا جهت ورود توده‌های باران زا به کشور نشات می‌گیرد. چنانچه در شکل (۲) مشاهده می‌گردد، مطابق انتظار نرخ تغییرات دما از شمال غرب به جنوب شرق کشور افزایش می‌یابد. و در خصوص بارش نیز نواحی پست داخلی و دور از زبانه‌های توده‌های باران زا بارش کمتری را دریافت می‌نمایند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از دو سری زمانی تصاویر ماهواره ای بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه، هر کدام شامل ۶۹۶ تصویر از ژانویه ۱۹۵۰ تا دسامبر ۲۰۰۷ به بررسی تغییرات مکانی و زمانی دو متغیر اقلیمی مورد اشاره، اقدام گردید. بررسی تغییرات مکانی نشان داد که این تغییرات به عرض جغرافیایی، ویژیگ‌های توپوگرافیکی و دور و نزدیکی به مبادی ورود توده‌های جوی به کشور بستگی دارد. برای بررسی وجود یا عدم حدوث تغییرات اقلیمی در سطح کشور از آزمون Mann-Kendal که از قدرتمند ترین آزمون‌ها در این زمینه است بهره گرفته شد. تحلیل تغییرات دراز مدت بارش و دمای میانگین ماهانه نشان داد که کشور روند صعودی دما را در سطح معنی داری ۹۹ درصد تجربه کرده و نواحی مختلف کشور نیز دستخوش تغییرات معنی دار بارش در سطوح مختلف بوده است. مشاهده این تغییرات دراز مدت در متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی در سطح کشور نیاز به مدیریت منابع آب مبتنی بر اثرات تغییرات اقلیمی را ضروری می‌سازد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از موسسات NOAA، IRI و دانشگاه کلمبیا برای در اختیار قرار دادن تعداد ۱۳۹۲ تصویر به صورت رایگان قدردانی و سپاسگزاری می‌گردد.

فهرست مراجع

1. Anyamba، A.، & Eastman، J.R.، 1996، Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to El Nino / Southern Oscillation، International Journal of Remote Sensing، 17(13): 2533-2548.
2. Chartzoulakis، K.، & Psarras، G.، 2005، Global change effects on crop photosynthesis and production in Mediterranean: the case of Crete، Greece، Agriculture Ecosystems & Environment، 106: 147-157.
3. Fuhrer، J.، 2003، Agroecosystem responses to combinations of elevated CO2، ozone، and global climate change، Agriculture Ecosystems & Environment، 97: 1-20.
4. IPCC، 2001a، Climate change 2001: impacts، adaptations and vulnerability، Cambridge University Press، Cambridge، UK.
5. IPCC، 2001b، Climate change 2001: the scientific basis، Cambridge University Press، Cambridge، UK.
6. Kakani، V.G.، Reddy، K.R.، Zhao، D.، & Sailaja، K.، 2003، Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review، Agriculture & Forest Meteorology، 120: 191-218.
7. Llasat، M.C.، & Quintas، L.، 2004، Stationary of monthly rainfall series since the middle of the XIXth Century: application to the case of Peninsula Spain، Natural Hazard، 31:613-622.
8. Li، Z.، & Kafatos، M.، 2000، Interannual variability of vegetation in the United States and its relation to El Nino / Southern Oscillation، Remote Sensing of Environment، 71(3): 239-247.
9. Monlar، P.، & Ramiraz، J.A.، 2001، Recent trends in precipitation and stream flow in Rio Puerco Basin، American Meteorology Society، 14: 2317-2328.
10. Olesen، J.E.، & Bindi، M.، 2002، Consequences of climate change for European agricultural productivity: land use and policy، European Journal of Agronomy، 16: 239-262.
11. Rodriguez da Silva، V.P.، 2004، On climate variability in northeast of Brazil، Journal of Arid Environment، 58: 575-596.
12. Sarkar، S.، & Kafatos، M.، 2004، Interannual variability of vegetation over the Indian sub-continent and its relation to the different meteorological parameters، Remote Sensing of Environment، 90: 268-280.

13. Tan، G.، & Shibasaki، R.، 2003، Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration، Ecological Modeling، 168: 357-370.
14. Tao، F.، Yokozawa، M.، Hayashi، Y.، & Lin، E.، 2003، Future climate change: the agricultural water cycle and agricultural production in China، Agriculture Ecosystems & Environment، 95:203-215.
15. Xu، Z.X.، Tkeuchi، K.، & Ishidaria، H.، 2001، Precipitation variation due to climate change in Southeast Asia and Pacific Region، Proceedings of International Symposium on Achievements of IHP in hydrological Research، 399-413.
16. Xu، Z.X.، Tkeuchi، K.، & Ishidaria، H.، 2003، Monotonic trend and step change in Japanese precipitation، Journal of Hydrology، 279: 144-150.