نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۲، شماره ٦٤، تابستان ۱۳۹۷، صفحات ۷۹-۵۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۷/۱۹

بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج

مجید رضایی بنفشه [۱]

طاهره جلالی [۲]

چکیده

ایران در منطقه نیمه خشک قرار دارد و متوسط بارندگی سالانه آن حدود یک سوم بارندگی جهان است. در دهه‌های اخیر علاوه بر رشد جمعیت، افزایش دمای کره زمین سبب تغییرات وسیعی در سطح زمین گردیده و باعث بروز تغییراتی در زمان و مکان بارش شده است. با توجه به رابطه نزدیک بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی هر گونه تغییر در اجزاء اقلیم از جمله بارش، می‌تواند تاثیر مهمی بر موجودیت آب زیرزمینی داشته باشد. هدف این پژوهش، بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج، با استفاده از نتایج خروجی مدل HADCM3 می‌باشد. در این راستا از داده‌های کوچک مقیاس شده سناریوی A2 استفاده و سپس توسط مدل هیدرولوژیکی HELP3، تغذیه برای دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۳ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که میزان تغذیه آب زیرزمینی در این حوضه از ۱۲ تا ۶۷ میلی متر در سال تحت سناریوی A2 در نوسان می‌باشد. در آینده ناحیه غربی منطقه مورد مطالعه تغذیه کمتری نسبت به سایر قسمت‌های حوضه خواهد داشت دلیل این امر تاثیر توامان عوامل زمین‌شناسی و اقلیمی خواهد

۱ـ استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز

۲ـ دانش‌آموخته دکترای اقلیم شناسی دانشگاه تبریز(نویسنده مسئول) Email: t_ jalali19045@yahoo.com

بود چرا که در کنار افزایش دما، افزایش توان تبخیر و کاهش بارش عامل ریز دانه بودن رسوبات در کاهش تغذیه این منطقه نقش موثری خواهد داشت. همچنین بررسی همبستگی متقاطع بین بارش و تغذیه آب زیرزمینی نشان داد که از نظر مکانی نیمه جنوبی حوضه آبریز نسبت به نیمه شمالی در بازه زمانی کوتاهتر نسبت به تغییرات تغذیه ناشی از بارش واکنش نشان خواهد داد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، تغذیه آب زیرزمینی، HELP3، حوضه آبریز تسوج.

مقدمه

راهکارهای مناسب برای مدیریت بحران ناشی از آب و همچنین سازگاری با مسئله کمبود آب، مستلزم شناخت و آگاهی از چگونگی وقوع و تهدیدهای ناشی از آن بر منابع آب موجود خواهد بود (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۴۷). از آنجا که لایه‌های آبدار زیرزمینی عمدتاً با بارش یا از طریق اندرکنش با آب‌های سطحی تغذیه می شوند، تاثیر تغییر اقلیم بر بارش و آب سطحی نهایتاً بر سیستم آب زیرزمینی اثر خواهد گذاشت (بیگی، ۱۳۸۸: ۷). در حالی که تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی مستقیماً از طریق تغییر در متغیرهای اصلی بلند مدت اقلیم مانند بارش، دما و تبخیر تاثیر می‌گذارد، تعیین رابطه بین متغیرهای تغییر اقلیم و آب زیرزمینی پیچیده و مشکلتر می‌باشد. بنابراین تعیین کردن تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی نه تنها به پیش‌بینی قابل اطمینان از تغییرات متغیرهای اساسی اقلیمی نیاز دارد، بلکه همچنین به تخمین دقیق تغذیه آب زیرزمینی نیاز دارد. (مردانه، ۱۳۹۱: ۷۲). مطالعات کمتری روی تاثیر تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی انجام پذیرفته و اکثر مطالعات به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تراز آب‌های زیرزمینی مربوط می‌شود. کایو چین و همکاران[1](۲۰۰۰) با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی که اساس آن اطلاعات زمین شناسی، هیدرولوژیکی، اقلیمی و ژئوشیمی است نشان دادند که سطح آب زیرزمینی تحت تاثیر تغییر اقلیم به تدریج کاهش می‌یابد. میکو و همکاران[2] (۲۰۰۷) اثر تغییر اقلیم بر

[1] Kau-chin et al
[2] Mikko

تغییرات مکانی تغذیه آبخوان در حوضه رودخانه گراند در انتاریو کانادا را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HELP3 بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد در اثر تغییر اقلیم جریانات و حجم تغذیه آبخوان افزایش می‌یابد. در شرایطی که بارندگی شدیدتر اتفاق بیفتد و یا تعداد دفعات بارش افزایش یابد رواناب سطحی در حوضه مورد مطالعه افزایش می‌یابد. ایرتورک[۱] و همکاران (۲۰۱۴) اثر تغییر اقلیم کنونی و آینده بر روی منابع آب زیرزمینی را در یک حوضه کوچک مدیترآن‌های با مدل SWAT[۲] ارزیابی نمودند. مطابق با نتایج به دست آمده، تقریباً همه اجزای بیلان آب کاهش یافته و انتظار می‌رود کمبود آب در آینده تبدیل به یک مسئله مهم شود. هوز[۳] و همکاران (۲۰۱۵) به تجزیه و تحلیل تأثیر تغییر آب‌وهوای آینده بر روی سطح آب زیرزمینی در یک حوضه آبریز در انگلستان پرداختند و نتیجه گرفتند که در اثر تغییر متغیرهای اقلیمی نظیر بارش، دما و تبخیروتعرق، سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. شکیبا و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی شرق استان کرمانشاه از بین معیارهای مورد توجه در شاخص SPI، معیار مجموع بزرگی خشکسالی (DM) را مناسب‌ترین معیار جهت نشان دادن وضعیت خشکسالی منطقه معرفی کردند. خلیلی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی اثر تغییر اقلیم در تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوآن‌های ارومیه و کهریز به این نتیجه دست یافتند که متوسط افت سالانه سطح آب زیرزمینی در طی ۲۸ سال (۱۳۹۰-۱۳۶۳) در ۶۱ حلقه چاه محدوده دشت ارومیه برابر ۰/۸۰ متر و در ۱۶ حلقه چاه مورد مطالعه در آبخوان کهریز برابر ۰/۷۷ متر بوده است. برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی لازم است پیش‌بینی دقیقی از نوسانات زمانی تغذیه آب زیرزمینی انجام شود. با توجه به عدم وجود رودخانه دایمی در حوضه آبریز تسوج و وابسته بودن بخشهای کشاورزی، صنعت و شرب به منابع آب زیرزمینی و اهمیت موضوع تغییر اقلیم، تاکنون مطالعه جامعی در زمینه میزان تاثیرپذیری تغذیه آب زیرزمینی در این حوضه در برابر تغییر اقلیم صورت نپذیرفته و مطالعات انجام

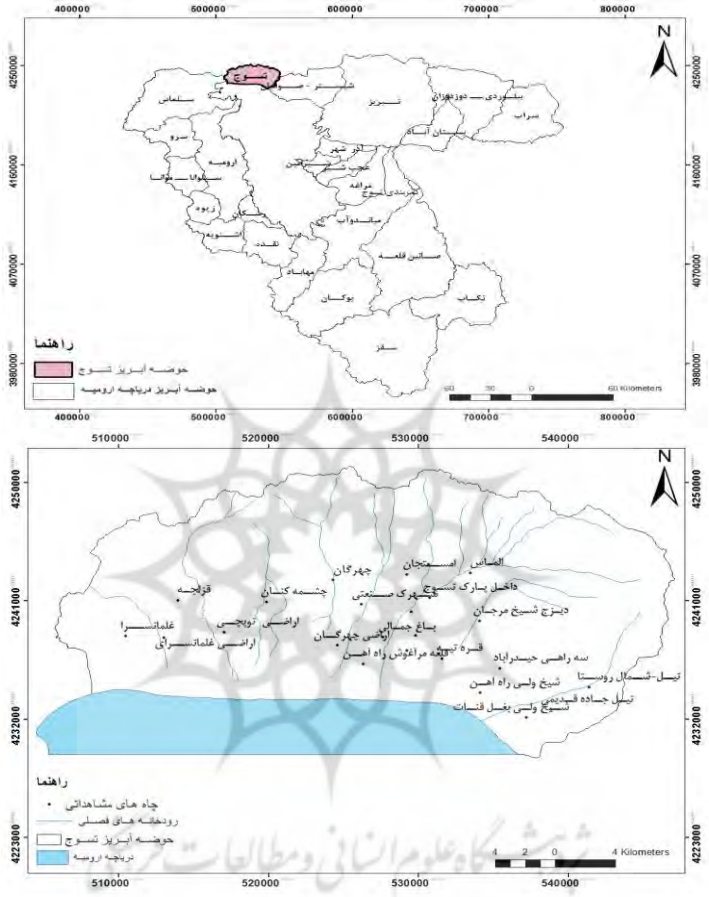
[1] . Ertürk
[5] . Soil and Water Assessment Tool
[3] . House

یافته بدون در نظر گرفتن موضوع تغییر اقلیم بوده است. از این رو در تحقیق حاضر در نظر است تا اثرات تغییر اقلیم بر نوسانات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بررسی گردد. با پیش بینی نوسانات تغذیه آب زیرزمینی می‌توان از آن در تعیین میزان حساسیت و آسیب پذیری آبخوان در برابر تغییر اقلیم، برنامه‌ریزی تامین آب قابل اعتماد و نیز در مدیریت منابع آب استفاده نمود.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز تسوج در استان آذربایجان شرقی و در شمال دریاچه ارومیه قرار دارد. این محدوده مطالعاتی از شمال به محدوده مرند و از غرب به محدوده سلماس و از شرق به محدوده شبستر – صوفیان محدود می‌گردد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۵ درجه و ۲ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه الی ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. محدوده تسوج منطقه‌ای کوهپایه‌ای- ساحلی بوده از طرف شمال در ادامه کوه‌های میشو به کوه‌های قاطر اوچان متصل بوده و از طرف جنوب هم به دریاچه ارومیه می‌رسد. مساحت حوضه آبریز تسوج حدود ۵۵۹ کیلومتر مربع و وسعت آبخوان آن حدود ۲۶۲ کیلومتر مربع می‌باشد (ندیری، ۱۳۹۲: ۵۰).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

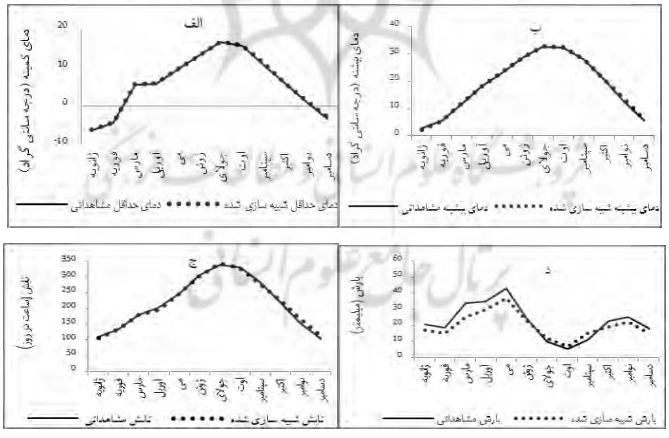
از جمله روش‌هایی که برای برآورد میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود مدل‌سازی ترکیبی است. این روش برای تحقیق اثر کاربری اراضی و تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی مناسب است (رضایی بنفشه و همکار، ۱۳۹۶: ۱۴۶). پارامترهای ورودی اقلیمی متفاوت مانند بارش و دما را می‌توان طبق تغییر اقلیم، و خصوصیات سطح زمین، پتانسیل

رواناب و عمق نفوذ ریشه را می‌توان به علت تغییر در کاربری زمین تغییر داد. از جمله مدل-های ترکیبی، مدل HELP3 می باشد.

مدل HELP3 (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance Model) یک مدل هیدرولوژیک دو بعدی است که بر اساس روش موازنه آبی توسط اسکرودر و همکارانش در سال ۱۹۸۳ ارائه شده است. این مدل تمام فرایندهای هیدرولوژیکی سطحی و زیرسطحی را به منظور تخمین حرکت روزانه آب در زمین شبیه سازی می‌کند و قابلیت الحاق به سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارد. این مدل توسط محققین مختلف به منظور بررسی تغذیه آب‌های زیرزمینی تحت تاثیر اقلیم مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات آلن و همکاران (۲۰۰۴)، جیرکاما و سای‌کس (۲۰۰۷) و آلن و تویس(۲۰۰۹) اشاره نمود. داده‌های مورد نیاز این برنامه شامل اطلاعات هواشناسی، مشخصات خاک و گیاه، کاربری ارضی و پوشش زمین می باشد.

در حوضه آبریز تسوج ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری بلند مدت وجود ندارد لذا برای بررسی تغییر پارامترهای اقلیمی از داده‌های ایستگاه سینوپتیک خوی و ایستگاه‌های تبخیر سنجی شرفخانه و چرچر (۲۰۱۲-۱۹۸۴) بدلیل نزدیک بودن به منطقه مورد مطالعه و طولانی بودن طول دوره آماری استفاده شد. از بقیه ایستگاه‌ها به دلیل کوتاه بودن طول دوره آماری صرف نظر شد. قبل از اجرای مدل، نرمال بودن و همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای همگنی داده ها از آزمون RUN-TEST استفاده شد که تصادفی بودن آن‌ها در سطح ۹۵ درصد قابل قبول بود. داده‌های مورد استفاده در این مقاله شامل دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش به صورت روزانه و داده‌های سناریوی A2 مدل گردش عمومی جو HADCM3 می‌باشد. برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز تسوج از روش ریزمقیاس نمایی آماری و مدل تولید داده LARS-WG که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد استفاده گردید. این مدل برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. لازم به ذکر است که مدل HADCM3 از

مدل‌های معتبر برای مدلسازی تغییرات جوی می‌باشد. به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری ۲۰۱۲- ۱۹۸۴ تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید، سپس خروجی‌های مدل با داده‌های دیدبانی شده مقایسه گردیدند. ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و تولید شده توسط مدل با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای انجام شد. با تحلیل نتایج بدست آمده از آزمون‌های آماری (نظیر آزمون دو نمونه‌ای T زوجی) برای حوضه آبریز تسوج ملاحظه گردید که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مقادیر واقعی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد. همچنین مقادیر همبستگی پیرسن بین داده‌های مدلسازی شده و واقعی در سطح معناداری ۰/۰۱ قابل قبول می‌باشند. شکل ۲ نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی را نشان می‌دهد که نشانگر انطباق مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده دوره پایه و توانمندی LARS-WG در مدل‌سازی اقلیم دوره پایه حوضه آبریز تسوج بر اساس سناریوی حالت پایه می‌باشد. لذا با توجه به این موارد، قابلیت و توانایی مدل در داده‌سازی مورد تایید قرار گرفته و پس آن شبیه‌سازی داده‌ها برای دوره آینده صورت گرفت.



شکل۲- مقایسه مقادیر نتایج حاصل از مدل و دیده بانی شده برای دماهای کمینه (الف)، بیشینه (ب) ، تابش (ج) و بارش (د) در حوضه آبریز تسوج (۲۰۱۲-۱۹۸٤)

شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ، نسبت بدون بعدی از سطح فعال برگ در تبخیر، به مساحت سطح اسمی زمینی است که گیاه در آن رشد می‌کند. این پارامتر (LAI)[1] یا به وسیله اندازه‌گیری‌های میدانی بدست می‌آید و یا می‌توان آنرا از پردازش تصاویر ماهواره‌ای بدست آورد. در این مطالعه بعد از دریافت تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با فرمت ژئوتیف و انجام تصحیحات رادیومتری با تلفیق باندهای ۴ و ۵ نقشه‌های NDVI و SAVI به دست آمد. بعد از بدست آوردن نقشه های NDVI و SAVI و با داشتن ارتباط آن‌ها با شاخص سطح برگ، می‌توان نقشه بخش‌بندی شده از LAI را از طریق فرمول زیر بدست آورد (فرج زاده و کریمی، ۱۳۹۲).

$$LAI = \frac{\left(\ln\left(\frac{0.69 - SAVI}{0.59}\right)\right)}{0.91} \quad (۱)$$

عدد منحنی رواناب

عدد منحنی رواناب به نوع گیاهان، سطح زیرکشت آن‌ها، نوع عملیات زراعی، وضعیت هیدرولوژیکی گیاه، شرایط رطوبتی خاک و همچنین نوع خاک از نظر نفوذ پذیری بستگی دارد (علیزاده، ۱۳۸۱، ۴۳). محاسبات تعیین شماره منحنی (CN) بصورت میانگین وزنی بر اساس خصوصیات پوشش سطح منطقه مورد مطالعه و گروه هیدرولوژیک خاک در شرایط رطوبتی متوسط بر اساس فرمول زیر محاسبه شده و نتایج آن در جدول شماره ۱ آورده شده است.

$$\overline{CN} = \left[\sum (A_i / 100)(CN_i)\right] \quad (۲)$$

[1] . Leaf Area Index

که در این معادله

$\bar{CN}$= میانگین وزنیCN در سطح حوضه

A_i= درصد مساحتی از حوضه که شماره منحنی آن CN_i است

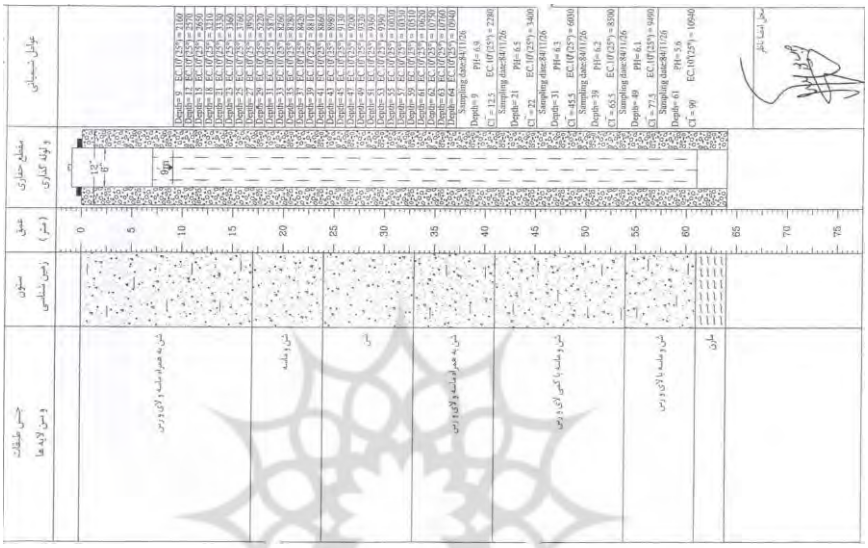
جدول ۱ - شماره منحنی در حالت رطوبت متوسط متوسط برای حوضه آبریز تسوج

نوع کاربری	سطح	شماره منحنی	گروه هیدرولوژیک	سطح*شماره منحنی	عدد منحنی متوسط حوضه آبریز تسوج
مرتع	۰/۷	۶۹	B	۴۸/۳	۷۰/۸۲
اراضی کشاورزی	۰/۲	۷۶	B	۱۵/۲	
مسکونی	۰/۰۵	۷۶.۵	B	۳/۸۲	
تاکستان و مجتمع درختی	۰/۰۵	۷۰	A	۳/۵	

داده‌های خاک‌شناسی

مدل هیدرولوژیکی HELP3 نیاز به مقادیر مختلف داده‌های خاک برای هر یک از لایه‌های پروفیل خاک تا سطح آب زیرزمینی در آن منطقه دارد. که در این مطالعه اطلاعات خاک از گزارش‌های خاک‌شناسی مربوط به موسسه تحقیقات آب‌وخاک و لوگ‌های حفاری موجود در منطقه که نمونه‌ای از آن در شکل ۳ آورده شده است استخراج شد.

پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۳- لوگ حفاری چاه مشاهده‌ای جنوب روستای الوانق (سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی

تاریخ شروع و اتمام فصل رشد

شروع فصل رشد به میانگین دمای روزانه و نوع گیاه وابسته است. در این مطالعه از شرایط حداقل دما جهت تعیین فصل رشد استفاده شد. زمان شروع فصل رشد برابر با میانگین دمای روزانه بالای ۱۰ درجه سانتی گراد و پایان فصل رشد متوسط دمای روزانه پایین‌تر از دمای ذکر شده در نظر گرفته شد. بر اساس اطلاعات موجود در جهاد کشاورزی شهرستان تسوج بیشترین مساحت زمین‌های زراعی این شهرستان از بین محصولات زراعی نخود، جو و گندم به کشت گندم به میزان ۱۰۴۷ هکتار اختصاص دارد. مطالعات سوبدی و همکاران (۱۹۹۸) و سایتا (۱۹۹۹)، در مورد اثرات دما بر رشد و نمو، فیزیولوژی، مورفولوژی

و فنولوژی گیاه گندم نشان‌دهنده شروع رشد گیاه گندم از دماهای بالای ۱۰ درجه می‌باشد. لذا زمان شروع فصل رشد بر اساس گیاه گندم برابر با میانگین دمای روزانه بالای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و پایان فصل رشد متوسط دمای روزانه پایین‌تر از دمای ذکر شده در نظر گرفته شد.

عمق منطقه تبخیری

حداکثر عمقی است که تبخیر و تعرق می تواند آب را مصرف کند. به عبارت دیگر عمقی است که آب موجود در خاک می‌تواند توسط تبخیر از خاک حذف شود یا اینکه توسط ریشه گیاه جذب شده و به سطح زمین منتقل گردد و در معرض فرایند تبخیر و تعرق قرار گیرد. در جایی که پوشش گیاهی وجود دارد، این عمق باید حداقل برابر متوسط عمق مورد انتظار نفوذ ریشه گیاه باشد. تاثیر ریشه گیاه معمولاً تا زیر عمق نفوذ ریشه گیاه، بعلت مکش کاپیلاریته وجود دارد. در این مطالعه با توجه به اینکه سطح آب پایین‌تر از ریشه گیاهان موجود در منطقه می‌باشد و عملاً هیچ اندرکنشی بین آن‌ها وجود ندارد، عمق منطقه تبخیری برابر با ریشه گیاهان موجود در منطقه در نظر گرفته شد. از آنجایی که کشت غالب در منطقه تسوج گیاه گندم می‌باشد، لذا جهت تعیین عمق نفوذ ریشه گیاه گندم از مطالعات صورت گرفته توسط کانادل و همکاران (۱۹۹۶) در تعیین عمق نفوذ ریشه در مقیاس جهانی و همچنین نظرات کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان تسوج استفاده و مقدار آن با توجه به نوع خاک سطحی حدود یک متر برآورد شد. در جدول ۲ حداکثر عمق نفوذ ریشه برای برخی محصولات زراعی و باغی آورده شده است.

پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۲- حداکثر عمق نفوذ ریشه برای برخی محصولات زراعی و باغی(انصاری و همکاران، ۱۳۹۳)

نوع محصول	اسفناج	یونجه	سیب	زردآلو	لوبیا	هویج	گیلاس	شبدر	ذرت	خیار	انگور	نخود	گندم	گوجه‌فرنگی	آفتاب‌گردان	سیب‌زمینی
حداکثر عمق نفوذ ریشه	۶۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۹۰	۹۰	۱۸۰	۶۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۸۰	۶۰	۱۰۰	۹۰	۱۸۰	۹۰

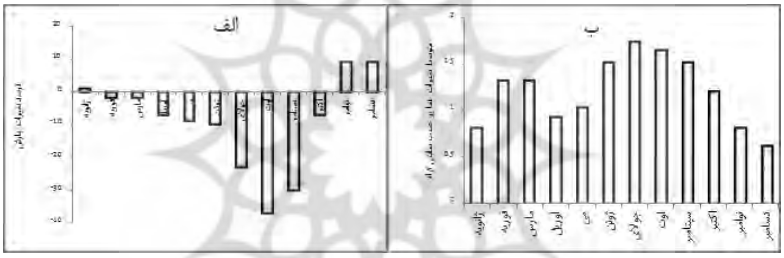
یافته‌ها و بحث

در تحقیق حاضر، جهت ارزیابی تغییرات اقلیمی از خروجی مدل گردش عمومی *HADCM3* تحت سناریوی *A2* استفاده شده است. دو دلیل مهم برای این انتخاب بدین شرح است: اول اینکه مطابق مطالعات معتبر این مدل رفتار نرمال و مناسبی برای برآورد تغییر اقلیم ارائه می‌دهد و از حالت افراط و تفریط به دور است. برای اثبات این ادعا می‌توان به مراجع مختلف از جمله به مطالعه Jakson & Sen (2009) مراجعه کرد. دلیل دوم اینکه مطابق با تحقیقات مختلف از جمله آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۸) در حوضه آیدوغموش، گودرزی (۱۳۹۰) در زیرحوضه کرخه علیا و جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳) در ایستگاه سینوپتیک تبریز مدل HADCM3 عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. ارقام جدول ۳ نشان‌دهنده کاهش بارش و افزایش دما تحت سناریوی A2 در سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۳ می‌باشد. در این سناریو در مقیاس ماهانه بارش در ماه ژانویه ۱ درصد و در ماه‌های نوامبر و دسامبر ۹ درصد افزایشی می‌باشد ولی در سایر ماه‌ها کاهشی می‌باشد. بالاترین درصد کاهش بارش مربوط به ماه اوت می‌باشد که در مقایسه با نرمال ۳۷ درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که کاهش بارش در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال خواهد افتاد. همچنین در این سناریو دما در تمامی ماه‌ها افزایشی می‌باشد که بیشترین افزایش دما در ماه جولای و حدود ۱/۷۴ درجه سانتی گراد اتفاق خواهد افتاد (شکل ۴). نتایج این

قسمت از مطالعه با کار بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) تطابق دارد. ایشان نیز با بررسی تغییر اقلیم بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ به این نتیجه دست یافتند که بارش در اکثر ایستگاه‌ها کاهش و دما افزایش خواهد یافت.

جدول ۳- تغییرات میانگین سالانه دما و بارش در حوضه آبریز تسوج تحت مدل HADCM3 و سناریوی A2

ایستگاه چرچر	ایستگاه شرفخانه	ایستگاه خوی	دوره آماری (۲۰۳۰-۲۰۱۳)
-۴/۶۴ (٪۱/۶)	-۱۰/۳۶ (٪۴)	-۶/۷۲ (٪۲/۳)	بارش بر حسب میلی متر
۰/۹	۱/۳	۱/۲	دما بر حسب درجه سانتی‌گراد

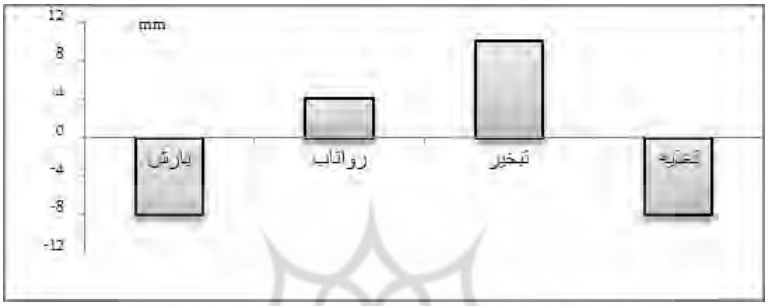


شکل ٤- تغییرات پیش بینی شده برای بارش (الف) و دما (ب) برای دوره ۲۰۳۰- ۲۰۱۳ نسبت به دوره مبنا در حوضه آبریز تسوج با استفاده از مدل HADCM3 و سناریوی A2

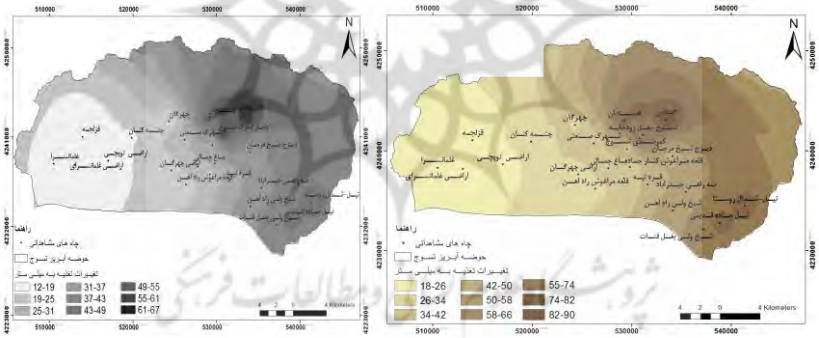
اختلاف میانگین سالانه بارش، رواناب، تبخیر و تعرق و تغذیه آب زیرزمینی تحت سناریوهای A2 از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۳۰ در مقایسه با دوره تاریخی (۲۰۱۲-۱۹۸۴) در حوضه آبریز تسوج در شکل ۵ نشان داده شده است. در نتیجه افزایش دما و تبخیر و تعرق مقدار میانگین تغذیه در دروه ۲۰۳۰-۲۰۱۳ در این سناریو کمتر از دوره تاریخی خواهد بود. تغذیه آب زیرزمینی نه تنها تحت تاثیر چرخه هیدرولوژیکی، بلکه تحت تاثیر خصوصیات فیزیکی کاربری زمین و پروفیل خاک قرار دارد. مطالعات زیادی در تغییر اقلیم، بر مدل کردن تغییرات زمانی در فرایندهای هیدرولوژیکی متمرکز شده‌اند و تغییرات مکانی از خصوصیات فیزیکی در طول منطقه را نادیده گرفته‌اند. در حالیکه دانستن تغییر متوسط تغذیه و سطح آب زیرزمینی در طول زمان مهم است، این تغییرات بطور یکسان در طول حوضه رخ

نمی‌دهد. برنامه ریزی بلند مدت آب به هر دو اطلاعات تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی نیاز دارد تا بتواند، نه تنها در استفاده و بکارگیری آب، بلکه همچنین در کاربری و توسعه زمین، بطور صحیح مدیریت کند. بنابراین مطالعات مربوط به تغییر اقلیم همچنین باید تغییرات مکانی در تغذیه آب زیرزمینی را در نظر بگیرد. شکل ۶ تغییرات مکانی تغذیه آب زیرزمینی را برای دوره پایه و سالهای ۲۰۳۰-۲۰۱۳ نشان می‌دهد. برای دوره پایه تغذیه از حداقل ۱۸ میلی‌متر تا حداکثر ۹۰ میلی‌متر در نوسان می باشد در حالی که برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۳ حداقل تغذیه ۱۲ و حداکثر ۶۷ میلی‌متر می‌باشد. اختلاف حداقل و حداکثر تغذیه دوره پایه با دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۳ به ترتیب ۶ و ۲۳ میلی متر می باشد. برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۳ مطابق شکل تغذیه سالانه ۴۹-۴۳ و ۱۹-۱۲میلی‌متر به ترتیب بیشترین مساحت از کل مساحت حوضه آبریز تسوج (حدود ۲۴۵/۹۶ کیلومتر مربع) را به خود اختصاص داده است. تغذیه سالانه ۶۷-۶۱ حدود ۳ کیلومتر مربع و کمترین مساحت حوضه را به خود اختصاص داده است. لازم به ذکر است این مقدار از تغذیه در پیرامون چاه مشاهده‌ای الماس اتفاق خواهد افتاد. با توجه به اینکه ناحیه شمال شرق دارای کاهش بارش و افزایش دمای پایین‌تری نسبت به سایر قسمت‌های حوضه می‌باشد لذا این منطقه دارای تغذیه آب زیرزمینی بالاتری بین سالهای ۲۰۳۰-۲۰۱۳ خواهد بود. در آینده نیمه غربی منطقه مورد مطالعه تغذیه کمتری نسبت به سایر قسمت‌های حوضه خواهد داشت دلیل این امر افزایش بالای ۱ درجه‌ای دمای هوا و در نتیجه افزایش توان تبخیری منطقه در کنار کاهش بارش خواهد بود. برای هر دو دوره مطالعاتی بیشترین درصد تغذیه به چاه‌های مشاهده‌ای الماس، چاه اکتشافی امستجان، انگشتجان، داخل پارک تسوج، تیل شمال روستا و تیل کنار جاده قدیمی و پایین‌ترین درصد تغذیه به چاه‌های مشاهده‌ای قزلجه جاده روستا، اراضی غلمانسرا، غلمانسرا اول جاده، چشمه‌کنان نرسیده به روستا و اراضی پایین دست تعلق دارد. با توجه به اینکه پاسخ آب زیرزمینی به تغییر آب و هوا همراه با تاخیر زمانی می‌باشد در ادامه کار اقدام به برقراری همبستگی متقاطع جهت محاسبه تاخیر زمانی بین تغییرات بارندگی با تغذیه ماهانه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج در طی سالهای ۲۰۳۰-۲۰۱۳ گردید (شکل ۷). نتایج نشان داد که کمترین تاخیر زمانی بین بارندگی و تغذیه آب زیرزمینی

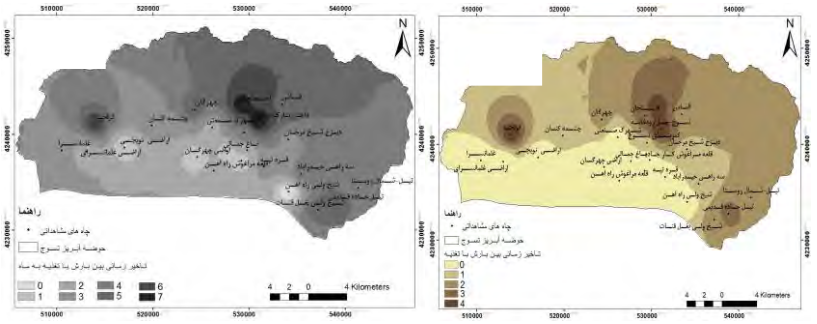
برای هر دو دوره مطالعاتی همزمان با شروع بارش با ضریب همبستگی ۰/۸ و بالاترین تاخیر زمانی بین بارندگی و تغذیه آبزیرزمینی برای دوره پایه ۴ ماه و برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۳ حدود ۷ ماه از شروع بارش می‌باشد.



شکل۵- اختلاف میانگین سالانه بارش، رواناب، تبخیر و تغذیه برای دوره ۲۰۲۲- ۲۰۱۳ نسبت به دوره مبنا در حوضه آبریز تسوج با استفاده از مدل HADCM3 و سناریوی A2



شکل ٦- تغییرات سالانه تغذیه آب زیرزمینی برای دوره پایه (الف) و دوره ۲۰۳۰- ۲۰۱۳ (ب) با استفاده از مدل HADCM3 و سناریوی A2



شکل ۷- تاخیر زمانی بین بارش با تغذیه آب زیرزمینی برای دوره پایه (الف) و دوره ۲۰۳۰- ۲۰۱۳ (ب)

نتیجه‌گیری

حوضه آبریز تسوج از نظر فعالیت کشاورزی و تراکم جمعیت از اهمیت زیادی برخوردار است و به دلیل کمبود منابع آب سطحی، بخش اعظم آب کشاورزی و نیاز سایر بخشها از آب زیرزمینی تامین می‌شود لذا آب زیرزمینی در این حوضه از اهمیت بالایی برخوردار است ولی کاهش بارندگی و افزایش دما در طی سالهای ۲۰۳۰-۲۰۱۳ باعث کاهش تغذیه و افزایش افت بار هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی تسوج و تنزل کیفیت و نفوذ آب شور را در پی خواهد داشت. اختلاف میانگین سالانه بارش، رواناب، تبخیر و تغذیه آب زیرزمینی برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۳ در مقایسه با دوره پایه نشاندهنده این است که در آینده از بین این ۴ عنصر ذکر شده تبخیر و رواناب افزایش خواهد یافت اما بارش و به تبع آن تغذیه ناشی از بارش کاهش خواهد یافت. در دوره پایه، تغذیه از ۱۸ میلی‌متر در غرب حوضه تا ۹۰ میلی‌متر در شمال شرق حوضه متفاوت می‌باشد. از نظر مکانی تغییرات تغذیه برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۳ مانند دوره پایه می‌باشد. اما از نظر کمیت، میزان تغذیه در سناریوی مورد بررسی کاهش خواهد یافت. میزان کلی متوسط تغذیه آب زیرزمینی سالانه در این حوضه از مقدار ۱۲ تا ۶۷ میلی متر در سال در نوسان خواهد بود. با توجه به اینکه ناحیه شمال‌شرق در کنار کاهش بارش و افزایش دمای پایین‌تر در ایستگاه چرچر، دارای رسوبات درشت دانه‌تری (شن و گراول) نسبت به سایر قسمت‌های حوضه می‌باشد؛ لذا در سناریوی مورد بررسی این منطقه دارای تغذیه آب زیرزمینی بالاتری بین سالهای ۲۰۳۰-۲۰۱۳ خواهد بود. در آینده

ناحیه غربی منطقه مورد مطالعه تغذیه کمتری نسبت به سایر قسمت‌های حوضه خواهد داشت؛ دلیل این امر تأثیر توأمان عوامل زمین‌شناسی و اقلیمی خواهد بود. چرا که در کنار افزایش دما، افزایش توان تبخیر و کاهش بارش، عامل ریزدانه بودن رسوبات در کاهش تغذیه این منطقه نقش موثری خواهد داشت. حبیب‌زاده (۱۳۹۰) نیز در بررسی خشکسالی و اثرات آن در افت آب‌های زیرزمینی منطقه تسوج کاهش بارش و برداشت بی‌رویه را از جمله عوامل افت تراز آن در این منطقه معرفی نموده است. لذا با توجه به تاثیرات انکارناپذیر تغییر اقلیم بر آب‌های زیرزمینی بایستی با اجرای برنامه‌های به تعادل رساندن آبخوان‌ها از مخاطرات ناشی از افت سطح آب زیرزمینی جلوگیری نمود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- آشفته، پریساسادات، مساح بوانی، علیرضا، (۱۳۸۸)، تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر رژیم سیلابی: مطالعه موردی حوضه آیدوغموش آذربایجان شرقی. ***تحقیقات منابع آب ایران***. سال پنجم، شماره ۲: ۳۹-۲۷.

- بابائیان، ایمان، نجفی‌نیک، زهرا، زابل عباسی، فاطمه، حبیبی نوخندان، مجید، ادب، حامد، ملبوسی، فاطمه، (۱۳۸۸)، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلاددی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو *ECHO-G*. ***جغرافیا و توسعه***، شماره ۱۶. صص ۱۵۱-۱۳۵.

- بیگی، احسان، (۱۳۸۸)، بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم و گرم شدن زمین بر تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

- جعفرزاده، جعفر، رستم‌زاده، هاشم، نیکجو، محمدرضا، اسدی، اسماعیل، (۱۳۹۵)، ارزیابی پتانسیل منابع آب دشت اردبیل با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی در محیط GIS، **نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی**، سال ۲۱، شماره ۶۱، صص ۱۶۴-۱۴۵.

- جهانبخش اصل، سعید، خورشیددوست، علی محمد، دین‌پژوه، یعقوب، سرافروزه، فاطمه،(۱۳۹۳)، تحلیل روند و تخمین دوره‌های بازگشت دما و بارش‌های حدی در تبریز، **نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی**، شماره ۱۸، صص ۱۳۳-۱۰۷.

- حبیب‌زاده، احد، مجیدی، علیرضا، مصطفایی، اباذر، (۱۳۹۰)، خشکسالی و اثرات آن در افت آب-های زیرزمینی، مطالعه موردی: منطقه تسوج در شمال دریاچه ارومیه. اولین کنفرانس ملی خشکسالی و تغییر اقلیم، مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی، کرج.

- خلیلی، کیوان، رسولی‌مجد، نگار، جباری، آناهیتا، (۱۳۹۳)، ارزیابی اثر تغییر اقلیم در تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های ارومیه و کهریز). همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی، شرکت علم و صنعت طلوع فرزین، تهران.

-رزاق‌منش، مصطفی، سالمی، تلما، سراج، مانی، (۱۳۸۵)، بررسی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز، همایش مللی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

– رضایی بنفشه، مجید، جلالی عنصرودی، طاهره، (۱۳۹۶)، ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج، **نشریه جغرافیا و برنامه ریزی**، سال ۲۱، شماره ۶۰، صص ۱۶۰–۱۴۳.

- شکیبا، علیرضا، میر باقری، بابک، خیری، افسانه،(۱۳۸۹)، خشکسالی و تاثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از SPI، فصلنامه انجمن جغرافیایی ایران، شماره ۲۵، صص ۱۲۳–۱۰۶.

-علیزاده، امین، (۱۳۸۱)، ***اصول هیدرولوژی کاربردی***، چاپ چهلم، انتشارات آستان قدس رضوی.

فرج زاده، منوچهر، کریمی، نعمت الله، (۱۳۹۲)، ***مبانی هواشناسی ماهواره‌ای***، چاپ اول، انتشارات سمت.

-گودرزی، مسعود، (۱۳۹۰)، بررسی و ارزیابی تأثیرات وقوع پدیده دگرگونی اقلیمی روی منابع آب سطحی: مطالعه موردی زیر حوضه کرخه علیا. رساله دکتری جغرافیای طبیعی گرایش آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز.

-ندیری، عطاالله، (۱۳۹۲)، مقایسه کارایی مدل‌های عددی و هوش مصنوعی در مدیریت آبخوآن-ها (مطالعه موردی: دشت تسوج). رساله دکتری، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

-مردانه، مهدی،افلاطونی، محمد، بوستانی، فردین، (۱۳۹۱)، بررسی همبستگی بین بارندگی و سطح آب زیرزمینی در دشت شیراز، ***مجله مهندسی منابع آب***، شماره نهم، ص ۷۲.

- Allen, D.M., D.c., Wei, M ,2004, Groundwater and climate change: a sensitivity analysis for the Grand Froks aquifer, southern British Columbia, Canada, ***Hydrogeology Journal*** 12, 270-290.

- Allen, D.M, Michael W. Toews ,2009, Evaluating different GCMs for Predicting spatial recharge in an irrigated arid region, ***Journal of Hydrology*** 374, 265-281.

- Canadell, J., Jakson, R.B., Ehleniger, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E., Schulze, E.D. 1996. Maximum rooting depth of vegetation type at the global scale**,** ***Oecologia***, 108: 583-595
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Guzel, C., Gönenç, E. 2014 Evaluating the impact of climate change on groundwater resources in a small Mediterranean watershed, Sci Total Environ 499: 437-47; doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.07.001.
- House, A., Acreman, M., Sorensen, J., Thompson, J. 2015. Hydroecological impacts of climate change modelled for a lowland UK wetland. ***Geophysical Research Abstracts***, Vol. 17, EGU2015-4671.
- Jakson C., Sen M. 2009. Stochaastic Representation of Parameter Uncertainties Within Model Prediction of Future Climate**,** ***Institute of Geophysics***, University of Texas at Austin
- Jykama, M.I., Sykes, J.F ,2007, The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the Grand River watershed (Ontario), ***Journal of Hydrology*** 338, 237-250.
- Kauo-Chin, H., Chug-Ho, W., Kuan-Chin, C., Chien-Tai, C., Kai-Wei, M. ,2000, Climateinduced hydrological impacts on the groundwater system the pingtung plain, Taiwan.
- Mikko, I. , Jyrkam, J. Sykes, F. 2007, The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the grand river watershed Ontario, ***Journal of Hydrology*** 338, 237– 250, Elsevier publisher.
- Sayta, P. 1999. GIS-Based Spatial Crop Yield Modeling. http://www.GISdevelopment.net
- Scibek, J., Allen, D.M ,2006, Comparing modeled responses of two high-permeability unconfined aquifers to predicted Climate Change, ***Global and Planetary change*** 50, 50-62.
- Subedi, K.D. 1998. Cold temperature and boron deficiency caused grain set failure in spring wheat**.** ***Field. Crops***. Rrs. 57: 277-288.