علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره هشت، آبان ماه ۹۹

مدل‌سازی بار فسفات ورودی به دریای خزر از حوزه آبخیز تجن با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک

فاطمه رجائی [۱]

رضا دهمرده بهروز* [۲]

dahmardehbehrooz@uoz.ac.ir

مصطفی قلی پور [۳]

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۲۱ **تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۲۶**

چکیده

زمینه و هدف: توسعه کشاورزی برای پاسخگویی به نیاز روز افزون غذا سبب مصرف بیشتر کودهای شیمیایی و درنتیجه آلودگی اکوسیستم‌های آبی گردیده است. بنابراین برآورد مواد مغذی منابع غیر نقطه‌ای، بررسی میزان تجاوز آن‌ها از حد مجاز و نیز ارزیابی سهم آلودگی فسفات ورودی از حوزه آبخیز تجن به دریای خزر یک اولویت به‌منظور ارزیابی سلامت حوضه است.

روش بررسی: لذا در این مطالعه از ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) برای شبیه‌سازی فسفات طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ در حوزه آبخیز تجن استفاده شده است.

یافته ها: نتایج مدل واسنجی شده نشان داد بار سالانه فسفات از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ از حدود ۲۹۰۰۰ تا ۱۰۲۹۰۰ کیلوگرم در خروجی حوزه آبخیز متفاوت است. بار فسفات در زمستان و پاییز ۹۸ درصد از کل بار سالانه فسفات را به خود اختصاص داد. بالاترین سطح فسفات در دوره مورد مطالعه در ماه فوریه (به‌طور متوسط ۱۱۶۲۱ کیلوگرم) و کم‌ترین در ماه ژوئن (به‌طور متوسط ۰/۷ کیلوگرم) بود. هم‌چنین از مقایسه غلظت‌های به‌دست‌آمده با استانداردهای کیفیت آب می‌توان نتیجه گرفت که غلظت فسفات در اکثر زیرحوضه‌ها بالاتر از حد استاندارد کیفیت آب آشامیدنی برای سلامت انسانی (۰/۲ میلی‌گرم در لیتر) است. بنابراین اکثرا زیرحوضه‌ها در منطقه مورد مطالعه نیازمند کاهش بار فسفات می‌باشند و می‌بایست این زیرحوضه‌ها در برنامه‌های مدیریتی بهبود کیفیت آب حوضه در اولویت قرار گیرند.

بحث و نتیجه گیری: نتایج نشان داد که مدل SWAT می‌تواند راهنمای خوبی برای استراتژی‌های کاهش بار آلودگی‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی : تغییرات فصلی، حوزه آبخیز، تجن دریای خزر، فسفات، مدل SWAT.

۱- استادیار گروه محیطزیست، دانشکده علوم ، دانشگاه زنجان.

۲- استاد گروه محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل.*(مسوول مکاتبات)

۳- دانش آموخته دکتری گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.8, October, 2020

Modelling of Input Phosphate Load to the Caspian Sea from Tajan Watershed Using Soil and Water Assesment Tool

Fatemeh Rajaei[1]
Reza Dahmardeh Behrooz[2*]
dahmardehbehrooz@uoz.ac.ir
Mostafa Gholipour[3]

Admission Date:August 18, 2018 Date Received: August 11, 2016

Abstract

Background and Objective: The development of agriculture to respond to growing need for food causes more consumption of chemical fertilizers and water ecosystems pollution. Therefore, in this study estimation of nutrients from non-point sources, the amount of exceed than standard level, evaluation of phosphate pollution input from Tajan watershed to the Caspian Sea is a priority for watershed health assessment.

Method: In this study, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) for the simulation of phosphate during the years from 2001 to 2014 were used.

Findings: The results showed that annual phosphate during 2001 to 2014, from about 29,000 to 102,900 kg in watershed output were different. Phosphate in winter and autumn were allocated 98 percent of total annual load. The highest levels of phosphate were in February (an average of 11 621 kg) and lowest in June (average 0.7 kg). Also, phosphate concentration was higher than drinking water quality standards (0.2 mg/l) in most subbasins.

Discussion and Conclusion: It is necessary to reduce the phosphatein in these subbasins. They should be prioritized in water quality management programs. Also, results showed that the SWAT model can be a useful tool for pollution reduction strategies.

Key Words: Caspian Sea, SWAT Model, Season Changes, Tajan Watershed, Phosphate.

1- Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Sciences, Zanjan University, Zanjan, Iran.
2-Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Zabol, Iran. *(Corresponding Author)
3-Ph.D. Graduated in the Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

مقدمه

در حال حاضر آلودگی‌های شیمیایی یکی از تهدیدات جدی اکوسیستم های آبی به شمار می رود. توسعه کشاورزی برای پاسخگویی به نیاز روز افزون غذا و در کنار آن زندگی روزمره مصرفی امروزه باعث شده است که زمین‌های جنگلی بیشتری به کاربری کشاورزی جهت تولید بیشتر مواد غذایی تبدیل گردد، این عامل در ادامه سبب مصرف بیشتر کودهای شیمیایی و درنتیجه آلودگی اکوسیستم‌های آبی گردیده است (۱).

فرسودگی قدرت باروری زمین از یک سو و عدم رعایت اصول فنی کشت باعث شده که برای افزایش بازدهی، کشاورزان به تغذیه مصنوعی خاک از طریق کودهای شیمیایی روی آوردند. براساس گزارش ها تجمع بیش از حد فسفر در خاک های سطحی اراضی کشاورزی ایران رخ داده است (۲). این موضوع بیانگر مصرف بیش از حد کودهای فسفاتی است. مصرف بی رویه ی کودهای فسفاتی و کدهای دامی باعث ورود مواد مغذی به اکوسیستم‌های آبی و خودپروری این اکوسیستم‌های حیاتی را سبب می‌گردد. به‌طوری‌که افزایش مواد مغذی به‌ویژه نیترات و فسفات منجر به برهم خوردن نسبت N/P و در شرایط خاص باعث افزایش سیانوباکترهای سمی در اکوسیتم‌های آبی می‌گردد (۳).

مطالعات مختلفی در زمینه تخمین بار آلودگی مواد مغذی توسط مدل SWAT[1]، بررسی مناطق بحرانی و میزان تجاوز از حد مجاز صورت پذیرفته است به طوری که Kang و همکاران در سال ۲۰۰۶ مدل SWAT را با هدف توسعه حداکثر بار مجاز روزانه برای نیتروزن و فسفر در مزارع برنج در سطح حوزه آبخیز استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مقادیر رواناب و کیفیت آب شبیه‌سازی شده به طور قابل قبولی نزدیک داده-های مشاهده‌ای بودند. نتایج نشان داد زیرحوضه‌های با کاربری شهری نیاز بیشتری به کاهش بار آلودگی دارند (۴). در تحقیق Wolterو Schilling در سال ۲۰۰۹ در رودخانه Des Moines مدل SWAT برای بررسی میزان بار آلودگی مواد مغذی و مقایسه آن با مقادیر استاندارد مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که منابع غیرنقطه‌ای ۹۵ درصد از کل بار نیترات خروجی از حوضه را شامل می شوند و کاهش میزان مصرف کود از ۱۰۰ به ۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌تواند کاهش ۳۸ درصدی در بار مواد مغذی را سبب گردد و بیش‌ترین کاهش بار آلودگی هنگامی رخ داد که کاهش کوددهی در مناطق نزدیک خروجی زیرحوضه‌ها انجام گیرد (۵). هم‌چنین Ballantine و همکاران (۶) در مناطق کشاورزی روستایی در انگلستان تأثیرات کاربری اراضی و نوع خاک بر انتقال فسفر در جریانات سطحی را بررسی نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که توزیع مکانی منابع رسوب در سرتاسر منطقه مورد مطالعه یکسان نیست. بعضی از بخش‌های فرسایش‌پذیرتر بوده و نقش بیش‌تری در رسوب و هم‌چنین انتقال مواد مغذی ازجمله فسفر داشتند. برای کاهش مؤثر مواد مغذی ناشی از منابع غیر نقطه‌ای کشاورزی پیشنهاد نمودند که روش‌های کنترلی در این مناطق متمرکز شود . در تحقیقی دیگر مدل SWAT برای پیش‌بینی رسوب و بار مواد مغذی در حوزه آبخیز دریاچه Laurentian در کانادا مورد استفاده قرار گرفت. در مطالعه Natha و همکاران (۷) عمل‌کرد مدل در شش نقطه خروجی منتهی به دریاچه Erie بررسی و بر اساس داده‌های مشاهداتی در دسترس، مدل برای دبی جریان، بار رسوب و مواد مغذی کالیبره شد. نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از توانایی بالای مدل در برآورد بار رسوب و جریان است. از یافته‌های دیگر این مطالعه، عمل‌کرد مناسب مدل در شبیه‌سازی حوزه‌های آبخیز کشاورزی و جنگلی نسبت به حوزه‌های آبخیز شهری بود. بر اساس ارزیابی‌های صورت گرفته در مطالعه Niraula و همکاران در سال ۲۰۱۳ در حالت کلی عمل‌کرد مدل SWAT بهتر از مدل GWLF۲ بیان شد. این مطالعه نشان داد که اگرچه مدل ساده GWLF در پیش‌بینی جریان، کیفیت آب و شناسایی مناطق بحرانی [3] (CSAs) مفید بوده ولی تمام CSAs را در منطقه نتوانست به‌درستی شناسایی نماید (۸). در مطالعه دیگری کارآموز و طاهریون (۷) با استفاده از مدل

1- Soil and Water Assesment Tool

2- Generalized Watershed Loading Function

3- Critical Source Areas

واسنجی شده و صحت‌سنجی شده SWAT، بار فسفر ورودی به مخزن سد ستارخان در حوزه آبخیز اهرچای را تخمین زدند. سپس بار مجاز فسفر کل ورودی به مخزن، برای جلوگیری از ایجاد شرایط تغذیه‌گرایی را محاسبه نمودند. در مطالعه دیگری ایمانی و همکاران (۱۰) از مدل SWAT جهت برآورد بار نیتروژن و فسفر ورودی به دریاچه زریبار و شناسایی اثرات کاربری اراضی و ارزیابی الگوی تغییرات مکانی و زمانی بار آلودگی در سطح حوضه آبخیز دریاچه بررسی شد. نتایج نشان داد ، کشت آبی در ماه مه دارای بیشترین خروجی فسفر کل می باشد. که این افزایش ناشی از افزایش آبیاری می باشد.

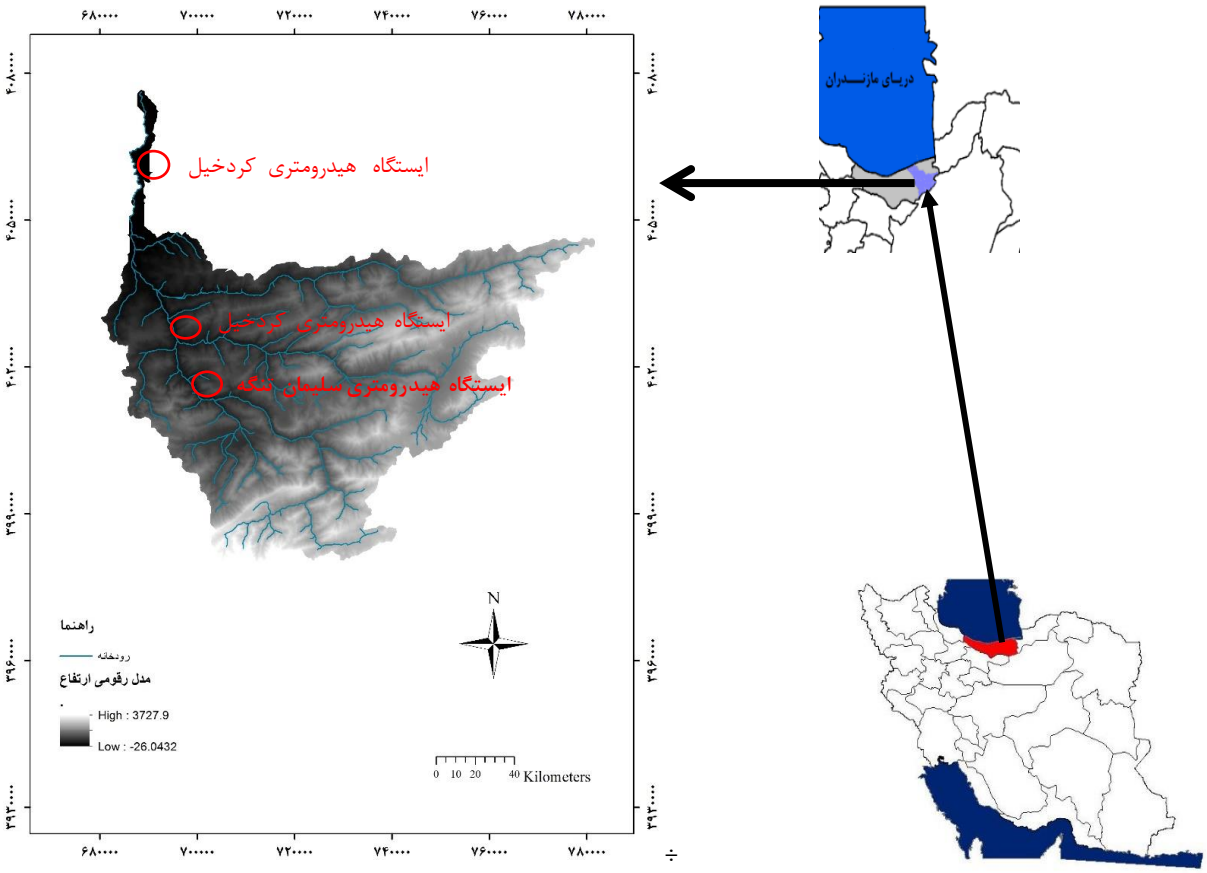
چنان‌که بیان شد مطالعات ذکرشده، از مدل‌های حوزه آبخیز برای شبیه‌سازی آلودگی‌های غیر نقطه‌ای مواد مغذی و شناسایی مناطق بحرانی استفاده‌شده است. واکنش منابع آلاینده غیر نقطه‌ای به شرایط هیدرولوژیکی معمولا به آسانی اندازه گیری نمی‌شوند و شناسایی، کنترل و اندازه گیری آلودگی این منابع نسبت به منابع آلاینده نقطه‌ای به مراتب مشکل تر است. حضور چنین آلاینده هـایی بی شک مشکلاتی برای حوضه های آبخیزِ اغلبِ رودخانه های ایران ایجاد می‌کنند بنابراین، مدیریت یک پارچه و حفظ کیفیت آب به ویـژه در منـاطقی کـه بـا محدودیت نسبی منابع آب مواجه هستند، به عنوان یکی از ارکان برنامه ریزی مطرح می باشد. بنابراین ضروری مـی نمایـد تـا مطالعـات دقیقی در مورد کیفیت منابع آب و عوامل آلوده کننده آن صورت پذیرد و از اقداماتی که سلامت منـابع آبی ما را به خطر می اندازند جلوگیری به عمل آید. اما بـه دلیـل نبـود ابزارهای اساسی مانند شبکه‌ی پایشی و ظرفیت های تدارکاتی و تجزیه‌ای به ندرت مستند می‌شوندو از طرفی مطالعات میدانی نیازمند صرف زمان و هزینه زیادی می‌باشند؛ از این‌رو، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی برای توصیف و تعیین انتقال مواد مغذی به محیط‌های آبی و شناسایی مناطق اولویت‌دار برای حفاظت محیط‌زیستی ضروری است.

لذا هدف تحقیق حاضر، شبیه‌سازی تغییرات طولانی‌مدت فسفات در حوضه رودخانه تجن با استفاده از مدل SWAT، تعیین مناطق بحرانی بر مبنای تولید مواد مغذی و نیز ارزیابی بار آلودگی فسفات ورودی از حوزه آبخیز تجن به دریای خزر است. بنابراین نتایج این مطالعه می‌تواند یک راهنمای مهم در جهت حفاظت از اکوسیستم دریای خزر در برابر تخریب بیشتر و ترویج توسعه پایدار در این منطقه را شامل گردد. هم‌چنین به‌منظور ارزیابی روش‌شناسی، حوضه رودخانه تجن یکی از رودخانه‌های مهم کشور به علت دارا بودن تغییرات نسبتاً شدید کاربری اراضی در طی دهه‌های اخیر و نیز استفاده وسیع از کودهای نیتراته و فسفاته در زمین‌های کشاورزی و به‌ویژه شالیزارها انتخاب گردید .

روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوزه آبخیز تجن با وسعت تقریبی ۴۰۰۰ کیلومترمربع است که توسط کوه‌های البرز در جنوب و دریای خزر در شمال احاطه گردیـده و در اسـتان مازندران واقـع شـده اسـت (شـکل ۱). ایـن منطقـه شـامل جنگل‌های هیرکانی بکر است که شامل ۸۰ گونه از درختان و درختچه‌ها بـا تنـوع زیسـتی بـالا مـی‌باشـد (۱۱). از لحـاظ جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیای ″۵۷ ′۰۴ °۵۳ – ″۲۶ ′۱۸ °۵۳ و عرض جغرافیـایی ″۱۷ ′۰۹ °۳۶ – ″۲۹′۴۹ °۳۶ واقع شده است. میانگین سالانه دما حدود ۱۵ درجه سلسیوس با آب‌وهوای گرم و مرطوب و ارتفاع متوسط بارش ۸۲۲ میلی‌متر در سال است. توپوگرافی محلی از ارتفاع ۲۶- متر تا ۳۶۷۰ متر متغیر اسـت. در این منطقه فعالیـت هـای اقتصـادی، اکثرا در بخـش کشـاورزی و دامداری متمرکز شده است. کشت باغات، گندم و شالیزارها مهم ترین کشت‌های این منطقه اسـت. پرورش دام نیز از اهمیت خاصی برخوردار است.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز تجن

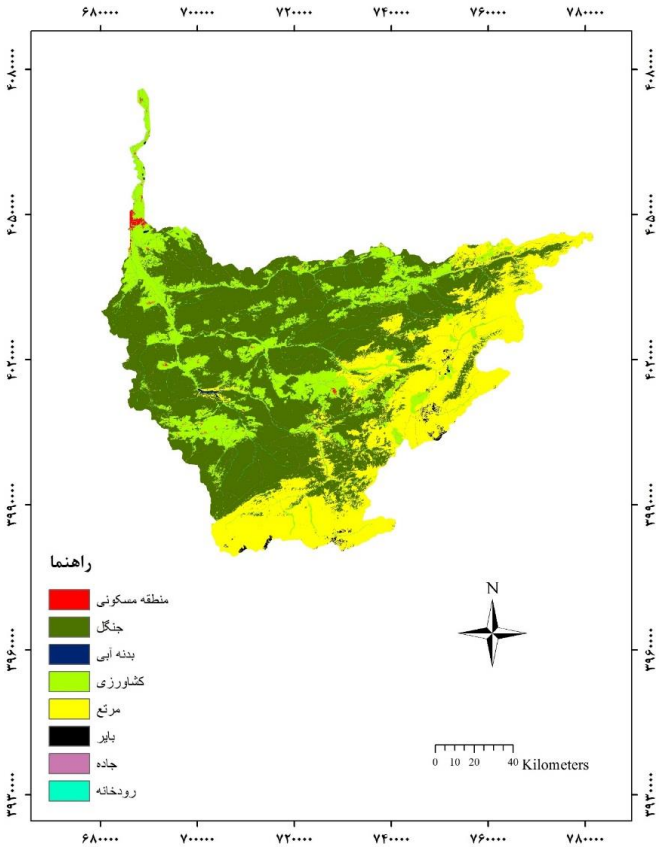
Figure 1. Study area

داده‌های مورد استفاده

- لایه‌های رقومی مورد استفاده

نقشه‌های اصلی مورد نیاز به‌منظور پیکربندی حوزه آبخیز تجن در مدل SWAT شامل نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و مدل رقومی ارتفاعی است. برای لایه رقومی کاربری اراضی، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ (شکل ۲) با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و استفاده از اطلاعات میدانی (۱۲) در سطح حوزه آبخیز اصلاح و مورد استفاده قرار گرفت. مدل رقومی ارتفاع یکی از مهم‌ترین نقشه‌های ورودی مدل است که مبنای تعریف واحدهای هیدرولوژی حوزه آبخیز و تعریف شبکه جریان است. از روی مدل رقومی ارتفاع پارامترهای مختلف فیزیوگرافی حوزه آبخیز که در شبیه‌سازی هیدرولوژی مورد نیاز است استخراج شدند. در این تحقیق نقشه DEM با اندازه سلولی ۳۰ متر از پایگاه ملی هوانوردی و فضایی (NASA)[1] استفاده شد. نقشه کاربری اراضی در شکل ۲ ارائه شده است. نقشه خاک تهیه شده توسط سازمان جهانی‌خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO) استفاده گردید.

1- National Aeronautics and Space Administration



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی استفاده شده در مدل SWAT

Figure 2. Land use map used in the SWAT model

- **داده‌های اقلیمی**

برای معرفی شرایط اقلیمی حوضه به مدل نیاز است که با معرفی ایستگاه‌های حوضه متغیرهای بارندگی، دمای کمینه و دمای بیشینه در مقیاس روزانه به مدل معرفی گردد. اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور و باران‌سنجی و تبخیرسنجی از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران برای دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ اخذ گردید.

- اطلاعات مدیریتی

اطلاعات مدیریتی مربوط به دامپروری سنتی و کشاورزی در قسمت مدیریت مدل اعمال گردید. ورودی‌های کلیدی مربوط به مدیریت محصولات کشاورزی در مدل شامل: کاشت، شخم، برداشت، چرا، کود شیمیایی و کود حیوانی، از سازمان جهاد کشاورزی و بازدید میدانی حاصل شد. بر اساس بازدید های میدانی بخشی از فاضلاب‌های انسانی به طور مستقیم یا غیر مستقیم وارد رودخانه می‌شود. همچنین، فاضلاب های دامی را نیز باید به عنوان بخشی از آلودگی رود به شمار آورد؛ زیرا، مدفوع دام ها برای مصارف سوخت و کود به شیوه ی سنتی و کپه‌ای در منطقه جمع‌آوری می‌شوند و زه‌آب و پساب‌های آن‌ها به مرور به سمت رود جریان می‌یابد. همچنین از دیگر منابع مهم آلودگی غیرنقطه‌ای این حوضه از کاربرد کودهای کشاورزی سرچشمه می‌گیرد به‌طوری‌که در حدود ۲۰ درصد زمین های حوضه، کشاورزی است.

- داده‌های هیدرومتری وکیفیت آب

داده‌های مربوط به پارامترهای فسفات سه ایستگاه هیدرومتری کردخیل، ریگ چشمه و سلیمان تنگه از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران گردآوری شد. هم‌چنین ارزیابی صحت داده-های کیفیت آب مورد بررسی قرار گرفت (۱۳).

آماده‌سازی مدل SWAT

پس از جمع‌آوری اطلاعات و مشخصات حوضه و تهیه فایل‌های ورودی، کار اولیه برای اجرای مدل شروع شد. شبکه آبراهه، مرز حوضه و زیر حوضه‌ها بر اساس نقشه رقومی ارتفاعی تهیه گردید. برای معرفی نقشه خاک نیاز است تا اطلاعات توصیفی هر واحد به بانک داده مدل معرفی شود. نقشه کاربری اراضی نیز که در ۸ کلاس مختلف تهیه شده بود بر اساس راهنمای مدل، کد مربوط به هر کاربری مشخص شد. از تلفیق نقشه‌های فوق با تعریف آستانه درصد مساحت برای هرکدام از نقشه‌ها، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی حوضه ایجاد گردید. سپس در بخش ورود داده‌های اقلیمی با توجه به اینکه مدل SWAT در مقیاس زمانی روزانه شبیه‌سازی انجام می‌دهد، داده‌های روزانه ایستگاه‌ها به مدل معرفی گردید. هم‌چنین در ادامه داده‌های مدیریت کشاورزی نیز برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفت.

واسنجی و اعتبار سنجی در مدل SWAT CUP[1]

واسنجی مدل در سه ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه، ریگ چشمه و کردخیل در نرم‌افزار SWAT-CUP الگوریتم SUFI2[2] صورت پذیرفت. بدین منظور بسته به داده‌های موجود هر ایستگاه تعدادی از سال‌ها به‌عنوان سال‌های واسنجی و تعدادی از سال‌ها برای اعتبار سنجی مدل SWAT-CUP در نظر گرفته شد (جدول ۱). آنالیز حساسیت مدل برای انتخاب پارامترهای حساس در واسنجی نیز با استفاده از رو One- At- A Time انجام شد. به‌منظور واسنجی مدل، در این مطالعه از ۱۸ پارامتر اصلی مؤثر بر رواناب و فسفات بعد از حساسیت سنجی انتخاب گردید. بعد از شناسایی پارامترهای مؤثر بر دبی اقدام به واسنجی فسفات گردید. الگوریتم بهینه‌سازی در روش SUFI2 به صورتی است که در گام نخست تابع هدف تعریف می‌شود. گام بعد اختصاص محدوده‌های مجاز برای هر پارامتر است. در تعیین حدود اولیه بهتر است که حدود تا حد امکان بزرگ و درعین‌حال معنی‌دار باشد. سپس با در نظر گرفتن حدود اولیه، نمونه‌برداری به روش لاتین هایپرکیوب به تعداد نسبتاً زیاد انجام می‌گیرد و در هر بار نمونه‌گیری از حدود پارامترها مقادیر انتخاب‌شده به مدل معرفی و اجرا می‌شود و مقدار تابع هدف محاسبه می‌گردد. این مرحله تا جایی ادامه می‌یابد که نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی برای دبی بر اساس معیارهای ارزیابی مورد استفاده اختلاف ناچیزی داشته باشد. پس از انجام این مرحله، پارامترهای مربوط به دبی و غلظت فسفات تا واسنجی دقیق غلظت در سه ایستگاه مورد بررسی تغییر می‌یابد. معیارها برای ارزیابی نکویی برازش مدل از دو تابع هدف ضریب تعیین (R^2)[3] و نش ساتکلیف (NS)[4] استفاده گردید (۱۴). هم‌چنین پس از دستیابی به ضریب تعیین و نش ساتکلیف مناسب، مقادیر بهینه شده پارامترها را مجدداً در مدل SWAT وارد نموده و مدل مجددا اجرا می گردد. سپس نتایج شبیه سازی شده و مشاهده-ای با یکدیگر مقایسه می‌گردد.

یافته‌ها

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل

حوضه به ۲۶ زیر حوضه و ۴۰۷ واحد پاسخ هیدرولوژیکی تفکیک گردید. نتایج آماری حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل به‌صورت ماهانه با استفاده از آماره‌های ارزیابی ضریب تبیین و نش ساتکلیف در جدول ۱ خلاصه‌شده است. پیش از برنامه‌ریزی و ارائه راهکارهای مناسب فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی می‌بایست منابع آلاینده نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای در حوزه آبخیز شناسایی شده و میزان بار مواد مغذی انتشار یافته از هریک از آن‌ها برآورد شود. به‌منظور ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی بار آلودگی در سطح حوزه آبخیز از نتایج مدل واسنجی شده استفاده شد.

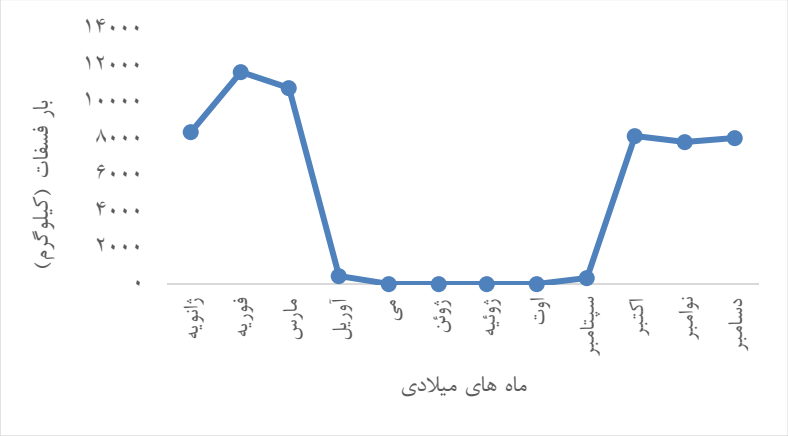
1- SWAT Calibration and Uncertainty Programs
2- Sequential Uncertainty Fitting
3- Coefficient of Determination
4- Nash Sutcliffe

جدول ۱ - نتایج آماره‌های واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای مقادیر فسفات ماهانه در ایستگاه‌ها

Table 1. Model evaluation statistics for calibration and validation of Phosphate

ایستگاه	ایستگاه سلیمان تنگه		ایستگاه ریگ چشمه		ایستگاه کردخیل	
آماره	دوره		دوره		دوره	
	واسنجی (۲۰۰۹-۲۰۱۳)	اعتبارسنجی (۲۰۱۳-۲۰۱۴)	واسنجی (۲۰۰۹-۲۰۱۳)	اعتبارسنجی (۲۰۱۳-۲۰۱۴)	واسنجی (۲۰۰۹-۲۰۱۳)	اعتبارسنجی (۲۰۱۳-۲۰۱۴)
R2	۰/۷۲	۰/۷۹	۰/۷۱	۰/۶۲	۰/۶۶	۰/۷۸
NS	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۵۸

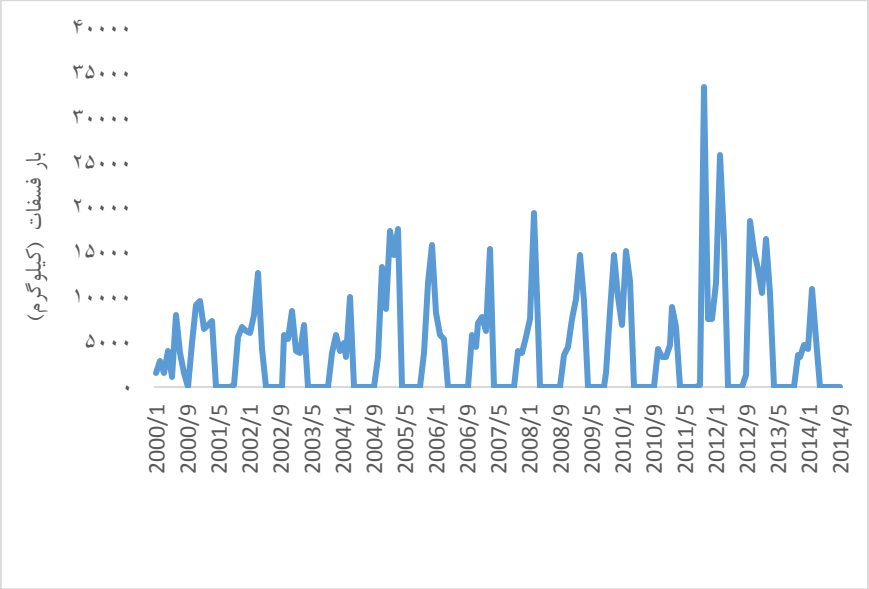
نمودار ۱ نشان دهنده میانگین بار فسفات خروجی از حوزه آبخیز تجن در طی ماه‌های سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ است. میانگین بار سالانه فسفات کل ورودی به دریای خزر از حوزه آبخیز تجن در ماه‌های زمستان و پاییز بالاتر بود. بار فسفات در زمستان و پاییز ۹۸ درصد از کل بار سالانه فسفات را به خود اختصاص داد. بالاترین سطح فسفات در دوره مورد مطالعه در ماه فوریه (به‌طور متوسط ۱۱۶۲۱ کیلوگرم) و کم‌ترین در ماه ژوئن (به‌طور متوسط ۰/۷ کیلوگرم) بود.



نمودار ۱- میانگین بار فسفات خروجی از حوزه آبخیز تجن در طی ماه‌های سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴

Diagram 1. Monthly phosphate load mean from the Tajan watershed during 2001 to 2014

سری زمانی شبیه‌سازی‌شده غلظت فسفات در نمودار ۲ نمایش داده‌شده است. نتایج مدل واسنجی شده نشان داد بار سالانه فسفات از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ از حدود ۲۹۰۰۰ تا ۱۰۲۹۰۰ کیلوگرم در خروجی حوزه آبخیز متفاوت است. سال‌های ۲۰۱۲ دارای بیش‌ترین بار فسفات بودند. وقوع این امر می‌تواند به‌دلیل افزایش رواناب خروجی از حوضه در این سال باشد.

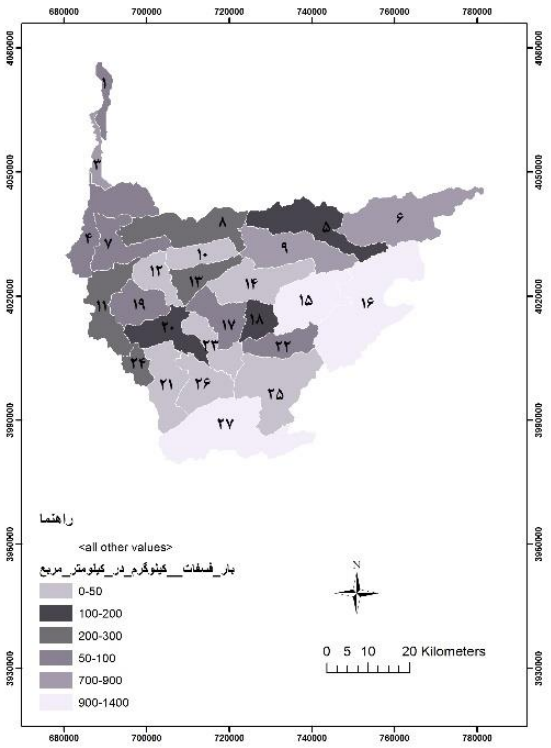


نمودار ۲- سری زمانی بار فسفات خروجی از حوزه آبخیز تجن در طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴

Diagram 2. Time series of output phosphate load of Tajan watershed during the years 2001 to 2014

شناسایی مناطق بحرانی

به‌منظور تعیین مناطق بحرانی کیفیت آب و نیز ارزیابی تغییرات مکانی آلودگی در سطح حوزه آبخیز پس از شبیه‌سازی فسفات برای دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ ، بار فسفات (کیلوگرم بر هکتار) و غلظت فسفات (میلی‌گرم بر لیتر) در خروجی هر زیرحوضه محاسبه شد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود متوسط بار سالانه فسفات از ۱۳۸۰ کیلوگرم در کیلومتر مربع در زیرحوضه ۲۷ تا ۱۴ کیلوگرم در کیلومتر مربع در زیر حوضه شماره ۱۴ متفاوت است. زیرحوضه های شماره ۵، ۱۸ و ۲۰ و سپس زیرحوضه‌های ۸، ۱۱، ۱۳ و ۲۴ دارای بیش‌ترین بار آلودگی بودند.



شکل ۳- بار فسفات خروجی از زیرحوزه‌های آبخیز تجن

Figure 3. Output phosphate load from subbasins in Tajan watershed

بحث و نتیجه‌گیری

پیش نیاز توسعه پایدار منابع آب، در اختیار داشتن اطلاعات مطمئن در مورد کیفیت و کمیت آب و نیازهای کاربران مختلف است. به منظور بررسی وضعیت آب و هم‌چنین تهیه طرح های توسعه بهره برداری و تخصیص آب به مصارف مختلف لازم است غلظت و نوع املاح موجود در آب رودخانه ها بررسی شود. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی و شناسایی زیرحوضه‌های بحرانی اولویت‌دار در سطح حوزه آبخیز در جهت کاهش هزینه‌های اجرایی مدیریتی کیفیت آب در منطقه صورت پذیرفت.

توانایی مدل در شبیه‌سازی فسفات در حوضه‌های با ابعاد مختلف در مطالعات مختلف نیز اثبات گردیده است (۴، ۵، ۶) به طوری‌که طبق گزارش Moriasi و همکاران (۱۵) نتایج آماره‌های ارزیابی ضریب تبیین و نش ساتکلیف حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای هر سه ایستگاه مورد بررسی، مورد تأیید می‌باشد. این شرایط نشان‌دهنده توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی فسفات در حوزه آبخیز تجن است.

چنان‌که در بخش نتایج بیان گردید میانگین بار سالانه فسفات کل ورودی به دریای خزر از حوزه آبخیز تجن در فصول زمستان و پاییز افزایش و در فصل بهار و تابستان کاهش یافته است. افزایش بار فسفات در فصول سرد سال به نوسانات فصلی در میزان بارش و به دنبال آن افزایش رواناب در زمستان و پاییز نسبت داده شده است (۱۶) از طرف دیگر مصرف فسفات به وسیله گیاهان و میکروب‌ها در طی زمستان کاهش می‌یابد (۱۶). هم‌چنین در این دو فصل خاک تقریباً بدون پوشش بوده و مستقیماً در معرض نیروهای فرسایشی قرار دارد و با توجه به این‌که جابه‌جایی فسفر عمدتاً به شکل متصل به رسوبات صورت می‌گیرد (۱۷) این عامل می تواند در انتقال فسفر موثر باشد، به طوری که در مطالعه Somur و همکاران (۱۶) نوسان بار

فسفات روند مشابهی با بار مواد معلق جامد نشان داد. نتایج این بخش با تحقیق Turner و Rabalais (۱۷) مطابقت دارد. به علاوه در مطالعه Somura و همکاران (۱۶) تفاوت بزرگی در بار مواد مغذی بین روزهای بارانی و آفتابی وجود داشت. بین سال ۱۹۸۸ و ۲۰۰۹ حداکثر بار TP در روزهای بارانی به ترتیب در جنگل، ۳۰۶ برابر (سال ۱۹۹۲)، شالیزار، ۲۸۱ برابر (۱۹۹۸) و مناطق مسکونی، ۱۰۳ برابر (۱۹۹۸) روزهای آفتابی بود. هم‌چنین در مطالعه آن‌ها میزان بار فسفات در ژوئن، جولای و سپتامبر بالاترین و در آوریل پایین‌ترین میزان را دارا بود که روند عکس با این تحقیق داشت. که رشد هیدروفیت ها در طول فصل مرطوب در امتداد رودخانه ها را دلیلی بر کاهش بار بیان کردند. درهمین راستا، مطالعهٔ منابع علمی داخلی نشان می دهد که موضوع کیفیت منابع آب رودخانه های مهمی مثل تجن، به خصوص در سال های اخیر به عنوان یک دغدغه در دستورکار شماری از پژوهش های میدانی قرارداشته است. به‌طوی‌که مهردادی و قبادی (۱۸) در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی کیفیت و پتانسیل خودپالایی رودخانه تجن با استفاده از مدل QUAL2E[1] نشان داده‌اند که میزان BOD[2] و COD[3] رودخانهٔ تجن در نیمهٔ دوم هر سال بیشتر از نیمهٔ اول است. هم‌چنین تحقیق ممقانی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که غلظت فسفات و آمونیاک بالاتر از استانداردهای موجود است و مشکلاتی را برای رودخانه و موجودات ایجاد می نماید (۱۹). رضویان نیز در سال ۱۳۸۳ طی تحقیقی با عنوان "بررسی اثرات کارخانه چوب و کاغذ مازندران بر رودخانه تجن" برنقش راه اندازی کارخانهٔ مزبور بر افزایش بار آلودگی رودخانه تجن تأکید داشته است. وی با نتایج خود نشان داد که در سا ل ها ی ۸۲ و ۸۳ ، تمام قسمت های رودخانه برای مصارف شرب، صنایع غذایی و سایر استفاده های بهداشتی نامناسب بوده است (۲۰).

کیفیت آب حوزه آبخیز تجن به‌وسیله دامنه وسیعی از ویژگی‌های حوزه آبخیز شامل کاربری اراضی، بارندگی، دبی رودخانه، توپوگرافی، ویژگی‌های خاک و زمین‌شناسی سطحی تأثیر می‌پذیرد. شناسایی مناطق بحرانی و تعیین پتانسیل کاهش مواد مغذی در آن‌ها می‌تواند نقطه عطفی برای اولویت‌بندی مناطق از لحاظ اقتصادی و رسیدن به استانداردهای کیفیت آب در پیکره‌های آبی باشد. اختلاف در بار و غلظت آلودگی فسفات می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد به‌طوری‌که افزایش بار فسفات در زیر حوضه‌های شماره ۱۳ و ۲۴ می‌تواند احتمالا به دلیل غالبیت کاربری کشاورزی باشد. در زیرحوضه شماره ۸ ، ۲۰ و ۱۸ علاوه بر وجود زمین‌های کشاورزی، تمرکز مراکز جمعیتی و استخرهای پرورش ماهی می تواند دلیل دیگری بر این امر باشد. به طوری که فعالیت-های مربوط به شهرنشینی سبب افزایش نیتروژن و فسفر در آبهای سطحی می شوند (۲۱). هم‌چنین زیرحوضه ۱۱ هم دارای بار بالایی بود. زیرحوضه ۲۱ با وجود درصد بالای کشاورزی آلودگی فسفات کم‌تری ایجاد کرد که به نظر می‌رسد شیب در این زیرحوضه تأثیر به‌سزایی در کاهش بار آلودگی داشته است به طوری که در مطالعه Shen و همکاران (۲۲) نیز ویژگی های توپوگرافی یک حوزه آبخیز، مانند شیب، و اندازه حوضه،از عوامل مهم و موثر در تعیین سهم کاربری در کیفیت آب شناخته شدند.

برای مدیریت مواد مغذی در جهت بهبود کیفیت آب، زیرحوضه‌های نامبرده در الویت قرار دارند که می‌بایست در انتخاب راهکارهای مدیریتی، این مناطق موردتوجه قرار گیرند. هم‌چنین مدیریت کیفی منابع آب را می‌توان با افزایش طرح-های آبخیزداری، تهیه الگوی کشت مناسب، احداث شبکه های جمع آوری فاضلاب، آگاهی رسانی و ترویج فرهنگ مصرف بهینه آب بهبود بخشید.

1- Enhanced Sream Water Quality Model
2- Bioloical Oxygen Demand
3- Chemical Oxygen Demand

Reference

1. Jafarian, W., Badripour, H., Nayeb Abbasi, M., 2013. Green exploitation in agriculture with emphasis on environmental issues and natural

resources, forests and rangelands, No. 98, 6-11.

2. Malakouti, M. J., 2010. The relationship between optimal fertilizer use and production of healthy agricultural products, Journal of Crop and Weed Ecophysiology, 16, 133-150.
3. National Action Caspian.2005.Caspian Environment Program (CEP). Pollution.ı st Ed.
4. Kang, MS., Park, SW., Lee, J.J. 2006. Yoo KH. Applying SWAT for TMDL programs to a small watershed containing rice paddy field. Agricultural Water Management, 79, 72–92.
5. Schilling, K. E., Wolter, C.F. 2009. Modeling nitrate-nitrogen load reduction strategies for the Des Moines River, Iowa Using SWAT. Environmental Management, 44 (4), 671–682.
6. Ballantine, D., Walling, D.E., Leeks, G.J. 2009. Mobilization and transport of sediment- associated phosphorus by surface runoff. Water, Air and Soil Pollution, 196, 311-320.
7. Natha, S.B., Allan, J.D., Dolan, D.M., et al. 2011. Application of the Soil and Water Assessment Tool for six watersheds of Lake Erie: Model parameterization and calibration. Journal of Great Lakes Research, 37 (2), 263–271.
8. Niraula, R., Kalin, L., Srivastava, P., Anderson, Ch. 2013. Identifying critical source areas of Nonpoint source pollution with SWAT and GWLF. Ecological Modelling, 268, 123–133.
9. Karamooz, M., Ahmadi, A., Taheriun, M., 2009. Evaluating the effects of the best management strategies in the watershed on the quantitative and qualitative exploitation of the reservoir, Iranian watershed management science and engineering, 3 (9), 9-16.
10. Imani Amirabad, S., Delavar, M., Nikoskhan, M.H., 2010. The temporal effect of different land uses on the water quality of Zaribar Lake Iranian Geological Quarterly, No. 36, 44-57.
11. Mohammadi, J., Shataee, S. 2010. Possibility investigation of tree diversity mapping using Landsat ETM data in the Hyrcanian forests of Iran. Remote Sens. Environ, 114, 1504–1512.
12. Salman Mahini, A., Fazli, H., Daryanbard, R., Kamyab, H., Fenderski, F., Davar, L., Azarmodel, H., Mehri, A., Khairabadi, V., 1390. Zoning and determining the degree of ecological sensitivity of coastal areas, Environmental Protection Organization, 231 pages
13. American Public Health Association (APHA). 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
14. Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., etal. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. J. Hydrol, 333, 413-430.
15. Moriasi, D.N., Arnold, J.G. 2007. Model evaluation guideline for systematic quantification of accuracy in watershed simulation. T. ASABE, 50 (3), 885- 900.
16. Somura, H., TakedaI, Arnold, J.G., Mori, Y., Jeong, J., Kannan, N.,

Hoffman, D. 2012. Impact of suspended sediment and nutrient loading from land uses against water quality in the Hii River basin, Japan. Journal of Hydrology, 450–451 (5), 25–35.

17. Turner, R.E., Rabalais, N.N. 2003. Linking landscape and water quality in the Mississippi River Basin for 200 years. BioScience, 53 (6), 563-572.
18. Mehrdadi, N., Ghobadi, M., Nasrabadi, T., Hoveidi, H. 2006. Evaluation of the quality and self-purification potential of Tajan River using qual2E model. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng, 3, 199-204.
19. Ahmadi Mamghani, Y., Khorasani, N., Rafiei, G.R., 1389. Study of pollutants and water quality of Tajan River, Iranian Journal of Natural Resources, 317 (4), 357-363.
20. Razavian M.1383. Effects of Mazandaran Wood and Paper Factory on Water Quality of Tajan River. Azad University of Research Sciences. Master Thesis.
21. Shi, Z.H., Ai, L., Yin, W., Huang, X. 2015. Spatial and seasonal patterns in stream water contamination across mountainous watersheds: Linkage with landscape characteristics. Journal of Hydrology, 2013, 523, 398–408.
22. Shen, Z., Hou, X., Li, W., Ainia, G., Chen, L., Gong, Y. 2015. Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: A case study in a typical urbanised watershed in China. Ecological Indicators, 48, 417–427.
23. Rast, W., Thornton, J. 1996. Trend in Eutrophivation research and control. Hydrological Process, (10), 295-313.