نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد9، مهر - آبان 1394، ص. 635-624

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 9, Oct.-Nov. 2015, p. 624-635

برآورد بار آلودگی نیترات و فسفات اراضی شالیزاری با استفاده از مدل WASP و تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: رودخانه پسیخان)

مریم نوابیان[1*]، زهرا محمدپور[2]، مجید وظیفه دوست[3]، مهدی اسمعیلی ورکی[4]، کبری شیخی گراکویی[5]

تاریخ دریافت: 1394/2/17 تاریخ پذیرش: 1394/8/13

چکیده

تخلیه پساب‌های شهری، کشاورزی، بهداشتی و صنعتی به رودخانه‌ها نه تنها باعث کاهش کیفیت آب می‌شود، بلکه تأثیر جبران ناپذیری بر اکوسیستم آن می‌گذارد. برآورد بار آلودگی ناشی از آلاینده‌های مختلف در برنامه‌ریزی کمی و کیفی منابع آب اهمیت به سزایی دارد. رودخانه پسیخان یکی از رودخانه‌های مهم استان گیلان است و به دلیل همجواری با مناطق مسکونی، استخرهای پرورش ماهی و اراضی شالیزاری و نیز تخلیه زهکش‌های این مزارع به آن، از نظر آلودگی در معرض تهدید است. در پژوهش حاضر راهکار جدید کاربرد هم‌زمان مدل شبیه‌سازی کیفی و تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد بار آلودگی ناشی از کشاورزی حاشیه رودخانه پسیخان مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از مدل WASP برای شبیه‌سازی روند تغییرات مکانی و زمانی نیترات و فسفات رودخانه پسیخان استفاده شد. به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل اقدام به نمونه‌برداری کیفی از رودخانه در سال 1390 شد. مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی توانست نیترات و فسفات را به‌ترتیب با ضریب تعیین بین 0/84 و 0/89 شبیه‌سازی نماید. پس از تعیین سطح زیر کشت اراضی شالیزاری در محدوده مورد مطالعه و با استفاده از نقشه‌های طبقه ارتفاعی بار آلودگی نیترات و فسفات ورودی به رودخانه با استفاده از مدل واسنجی شده برآورد شد. مقایسه بار آلودگی مشاهداتی ناشی از زه‌آب اراضی کشاورزی (16 و 1/68 کیلوگرم بر هکتار) و تخمین مدل (14/18 و 1/40 کیلوگرم بر هکتار) به ترتیب برای نیترات و فسفات نشان داد، روش مورد بررسی از دقت مناسبی جهت برآورد بار آلودگی بخش کشاورزی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آب سطحی، آلودگی غیرنقطه‌ای، رواناب، زه‌آب، کاربری اراضی

مقدمه

در بسیاری از نقاط جهان آب‌های سطحی تنها منبع مورد استفاده برای شرب و مصارف خانگی هستند. ترکیبات نیترات و فسفات از جمله عوامل آلاینده منابع آب‌ها محسوب می‌شوند، که در سال‌های اخیر به لحاظ گسترش کشاورزی، صنعت و دیگر فعالیت‌های انسانی غلظت آن‌ها در این منابع رو به افزایش است (Liu et al., 2005) . مطالعات انجام شده در دهه‌های اخیر نشان می‌دهد آلودگی آب‌ها به نیترات و نیتریت در بسیاری از مناطق دنیا به صورت یک مشکل جدی مطرح می‌باشد. تخلیه پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بدون اعمال فرآیندهای نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی بر روی آن‌ها، عامل مهم در آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به نیترات محسوب می‌شود (مهدی‌نیا و نیک‌روش، 1381؛ نیکان و ناصری، 1386). بررسی پارامترهای کیفی نمونه‌هایی که در طی سال‌های 1974 تا 1995 از رودخانه‌هایی در اسکاتلند برداشت شد نشان‌دهنده همبستگی بالایی بین مقادیر نیترات در رودخانه‌ها با زمین‌های کشت شده اطراف و همین طور رابطه بین پوشش علفزار ناحیه و ارتوفسفات و غلظت جامدات معلق است (Ferrier et al., 2001). بررسی‌های انجام شده در خصوص برخی از رودخانه‌های جاری استان گیلان نظیر رودخانه گوهررود نشان داده است که به دلیل برداشت‌های زیادی که از آن انجام می‌گیرد و نیز تخلیه پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، وضعیت کیفی رودخانه به مخاطره افتاده است (باقرزاده، 1388).

تخمین آلودگی منابع آب و حصول به تصمیم‌های منطقی در زمینه مدیریت آلودگی نیازمند مدل‌های شبیه‌ساز است. مدل‌های کیفی QUASAR، MIKE، WASP، QUAL2E، TOMCAT، SIMCAT، SLAM و AGNPS از جمله ابزارهای مفید برای شبیه‌سازی فرآیندهای حاکم بر انتقال آلودگی در منابع آب به شمار می‌روند (Cox., 2003). مدل WASP امکان شبیه‌سازی دو بعدی و سه بعدی منابع آب را دارا می‌باشد و به راحتی می‌تواند در شبیه‌سازی هیدرولیکی و کیفی مخازن و خورها[6] مورد استفاده قرار گیرد. این

1و3و4- استادیاران گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
2و5- دانشجویان کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
(* - نویسنده مسئول: (Email: Navabian@guilan.ac.ir

6- Firth

مدل قابلیت شبیه‌سازی مجموعه‌ای متنوع از متغیرهای کیفی شامل دما، مواد جامد محلول، اکسیژن محلول، چرخه نیتروژن، چرخه فسفر، فیتوپلانکتون‌ها، زئوپلانکتون‌ها، فلزات سنگین، کلیفرم و سموم را دارا می‌باشد و با درنظر گرفتن ضرایب تبدیل در واکنش‌های وابسته به زمان، جریان‌های انتقالی، بار آلودگی و شرایط مرزی قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی فرآیندهای کیفی حاکم بر رودخانه دارد. مدل WASP بر اساس اصل بقای جرم عمل می‌نماید و در آن از دیدگاه لاگرانژی، یعنی دنبال کردن یک ذره آب از نقطه ورود به‌صورت مکانی و زمانی تا نقطه انتها به صورتی که میزان جرم در مکان و زمان ثابت باقی بماند، استفاده شده است. در بخش شبیه‌سازی کیفی دو زیر مدل TOXI و EUTRO به ترتیب انتقال رديآب و رسوبات و انتقال و واکنش¬های تبدیل در حداکثر هشت حالت نیتروژن آمونیاکی، نیتروژن نیتراتی، فسفر به صورت فسفات، کربن فیتوپلانکتونی، اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز کربنی، اکسیژن محلول، نیتروژن آلی و فسفر آلی را انجام می‌دهند. زیر مدل هیدرودینامیکی HYNHYD5 نیز به شبیه‌سازی حرکت آب در مدل WASP می‌پردازد.

ملکی (1385) در مطالعه‌ی خود بر روی رودخانه پسیخان، از مدل یک بعدی WASP و مدل یک بعدی MIKE11 برای شبیه‌سازی پارامترهای نیترات، فسفات، آمونیوم و نیتروژن استفاده کرد و نتایج نشان داد مدل WASP از قابلیت بالایی (ضریب تعیین 0/78-0/63) در شبیه‌سازی مسائل کیفی رودخانه‌ها برخوردار است. مندرز و همکاران (Menendez et al., 2001) میزان مواد مغذی موجود در رودخانه دل لاپلاتا واقع در حد فاصل دو کشور آرژانتین و اروگوئه را با استفاده مدل دو بعدی HYDROBID11 و مدل دو بعدی WASP بررسی کردند. مقادیر پارامترهای نیترات، آمونیاک، نیتروژن آلی، فسفر، فسفر فسفاتی و اکسیژن محلول، توسط مدل شبیه‌سازی شدند و به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی، اگر رودخانه به‌صورت یکپارچه فرض شود، شاخه اصلی آن منبع اصلی ورود مواد مغذی اعلام شد.

رزاق منش (1383)، از مدل ریاضی WASP برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه کر استفاده کرد. اهداف اصلی این شبیه‌سازی تعیین منابع آلاینده رودخانه و تعیین نقاط حساس از نظر آلودگی بود. نتایج نشان داد که مدل از دقت نسبتاً خوبی در برآورد آلاینده‌ها برخوردار است. چونگ و همکاران (Chong et al,. 2010) پارامترهای اکسیژن محلول، آمونیوم، نیتروژن آلی دریاچه بایانگ دین چین را با استفاده از WASP7 شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که هرزآب ورودی به رودخانه مثل پساب صنعتی و فاضلاب خانگی با مواد آلی بالا می‌تواند برای خوراک‌وری دریاچه بسیار مضر باشد. در مطالعه‌ای دو مدل عددی EFDC برای بخش هیدرولیکی و WASP برای بخش انتقال آلاینده‌ها جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه نیجریه ادغام شدند. نتایج نشان داد که این تخمین‌ها اطلاعات وسیعی را در رابطه با تغییرپذیری آلاینده‌ها فراهم می‌کند (Franceschini and Christina., 2010). لای و همکاران (Lie et al., 2011) به وسیله ادغام دو مدل WASP و IWMM به بررسی آلودگی منابع غیرنقطه‌ای و تأثیر آن بر کیفیت آب رودخانه کائوپینگ تایوان پرداختند. آلودگی‌های غیرنقطه‌ای وارد شده به حوضه رودخانه توسط مدل IWMM محاسبه و نتایج این مدل به عنوان داده‌های کیفیت آب رودخانه برای مدل WASP استفاده شد. هم‌چنین الگوهای کاربری اراضی توسط تصاویر SPOT و تکنیک‌های مدل ارزیابی دیجیتال با کمک‌گیری از فرآیند Erdas imagine و سیستم جغرافیایی Arcview تهیه شد. نتایج نشان داد که میزان جریان بالا (بیش‌تر از 200 مترمکعب بر ثانیه) در فصل مرطوب باعث افزایش بار آلودگی نقطه‌ای بود. هم‌چنین الگوهای کاربری اراضی شامل باغستان و مزارع به عنوان عامل اصلی آلودگی مطرح شدند که می‌بایست به طور مؤثر کنترل شوند. هم‌چنین نتایج نشان داد رابطه مستقیم میان تغییر کاربری اراضی بالادست و کیفیت آب پایین وجود دارد.

با توجه به اهمیت تعیین بارآلودگی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و اهمیت رودخانه پسیخان به عنوان منبع آب آبیاری، هدف از پژوهش حاضر برآورد بار آلودگی ناشی از اعمال کودهای نیتراته و فسفاته اراضی شالیزاری متداول منطقه و مقایسه آن با نتایج حاصل از مدل شبیه‌ساز WASP در نظر گرفته شد. در این پژوهش از نقشه کاربری اراضی برای تعیین مساحت زیر کشت اراضی شالیزاری و محدوده تأثیرگذار بر کیفیت آب رودخانه استفاده شد.

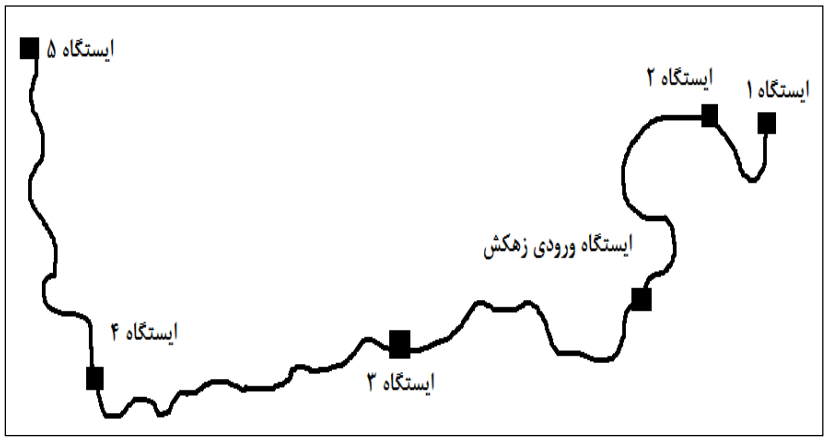
مواد و روش‌ها

رودخانه پسیخان یکی از رودخانه‌های مهم غرب استان گیلان است که پس از عبور از روستای پسیخان وارد قسمت شرقی تالاب انزلی می‌شود. این رودخانه در بین مختصات $49^{\circ}\ 07'$ الی $49^{\circ}\ 33'$ طول شرقی و $36^{\circ}\ 53'$ الی $37^{\circ}\ 21'$ عرض شمالی واقع شده است. طول رودخانه 66 کیلومتر و وسعت حوضه آبریز آن 840 کیلومترمربع می‌باشد. بر اساس بازدید میدانی از رودخانه، بازه‌ای به طول 18 کیلومتر که به تالاب انزلی منتهی می‌شود به عنوان بازه مورد مطالعه در این پژوهش انتخاب شد. این بازه با توجه به شرایط طبیعی رودخانه، حداقل بودن مناطق مسکونی و نبود صنایع و کارخانجات به دلیل امکان بررسی آلایندگی بخش کشاورزی مطابق با هدف این پژوهش، انتخاب گردید.

به‌منظور بررسی کیفیت آب و شبیه‌سازی کیفی و برآورد بار آلودگی نیترات و فسفات رودخانه پسیخان توسط مدل WASP، پارامترهای نیترات و فسفات به مدت 12 ماه از فروردین تا اسفند سال 1390 به طور ماهانه در مقطع رودخانه و یک نهر ورودی زهکش به رودخانه اندازه‌گیری شدند.

جدول 1- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه پسیخان

شماره ایستگاه	فاصله از ایستگاه اول (کیلومتر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
1	0/0	49° 28′ 19/42″	37° 16′ 52/69″
2	0/5	49° 28′ 19/69″	37° 17′ 4/89″
ورودی زهکش	6/0	49° 27′ 11/97″	37° 17′ 33/96″
3	8/5	49° 27′ 17/05″	37° 18′ 43/57″
4	13/5	49° 27′ 5/69″	37° 20′ 53/13″
5	18/0	49° 29′ 17/42″	37° 21′ 21/67″



شکل 1-بازه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه پسیخان

در جدول 1 مختصات جغرافیایی مقاطع نمونه‌برداری و زهکش و در شکل 1 موقعیت نقاط نسبت به هم آورده شده است. در هرمقطع نمونه‌برداری، تعداد 4 تا 6 نمونه در عرض رودخانه در عمق 0/6 متر از سطح آب برداشت شد. پس از انجام نمونه‌برداری، نمونه در مجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل و پارامترهای نیترات و فسفات آن‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری دبی جریان بسته به تغییرات عمق و سرعت در هر مقطع عرضی تعداد 7 تا 12 نیمرخ قائم سرعت اندازه‌گیری شد. سرعت‌های لحظه‌ای جریان با استفاده از سرعت‌سنج پروانه‌ای با محور افقی اندازه‌گیری و پس از رسم منحنی‌های دبی- اشل در هر مقطع نمونه‌برداری، با اندازه‌گیری عمق آب در ماه‌های بعد مقدار دبی مرتبط برآورد گردید.

برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل داده‌های مشاهداتی به دو دسته تقسیم شدند که دسته اول، 70 درصد داده‌ها برای واسنجی و 30 درصد باقی‌مانده برای اعتبارسنجی به کار گرفته شدند. مبنای تفکیک ماه‌های واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفتن مقادیر کمینه و بیشینه پارامترهای کیفی در مرحله واسنجی بود تا مدل با شرایط وقوع حداکثر و حداقل نیترات و فسفات تطبیق پیدا کند. به این ترتیب ماه‌های مرداد، شهریور، مهر، آبان، آذر، بهمن و اسفند برای واسنجی نیترات و ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، آذر، بهمن و اسفند برای واسنجی فسفات استفاده شد. برای ارزیابی دقت مدل در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی، ضریب تعیین (R^2)، متوسط خطای مطلق (MAE) و ضریب عملکرد (C_P) محاسبه شدند.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_p - x_0)^2}{\sum_{i=1}^{N}(x_0 - \bar{x}_{ave})^2} \quad (3)$$

$$MAE = {}^{1}/_{N}\sum_{i=1}^{N}|(x_p - x_0)| \quad (4)$$

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_p - x_0)^2}{\sum_{i=1}^{N}(x_0 - \bar{x}_{ave})^2} \quad (5)$$

که در آن؛ x_o داده‌های مشاهداتی، x_p داده‌های شبیه‌سازی شده، $\bar{x}_{ave}$ میانگین داده‌های مشاهداتی و N تعداد کل داده‌ها هستند.

بر اساس فرآیندهای حاکم بر نیترات و فسفات و نتایج آنالیز حساسیت (رابطه 6) در رودخانه مورد بررسی، پارامترهای نرخ نیترات‌زدایی و ضریب تفکیک فسفات در ستون آب به عنوان ضریب واسنجی با استفاده از روش حداقل‌سازی مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی فسفات و نیترات با برنامه‌نویسی در محیط فرترن به دست آمدند. همچنین ضریب پخشیدگی رودخانه با استفاده از رابطه فیشر (1979) تعیین شد (رابطه 7 و 8).

$$S = \frac{\frac{\Delta Y}{Y}}{\frac{\Delta b}{b}} \quad (6)$$

$$D = 0.011\frac{U^2B^2}{HU^*} \quad (7)$$

$$U^* = \sqrt{gHs} \quad (8)$$

که در آن S مقدار ضریب حساسیت، ΔY تفاوت خروجی مدل شبیه‌سازی در شرایط قبل و بعد از اعمال اغتشاش، Y مقدار خروجی مدل در شرایط قبل از اعمال اغتشاش، Δb میزان اغتشاش اعمال شده و b مقدار پارامتر مورد بررسی بدون اغتشاش، D ضریب پخشیدگی (m^2/s)، H عمق متوسط (m)، B عرض کف (m) U سرعت متوسط (m/s)، U^* سرعت برشی (m/s) و S شیب متوسط می‌باشند.

برای معرفی بازه مطالعاتی به مدل، حدفاصل هر مقطع نمونه‌برداری به عنوان یک قطعه از مسیر رودخانه تعریف شد. بنابراین مسیر رودخانه در بازه مورد مطالعه به 5 قطعه تقسیم شد و اطلاعات ورودی آن‌ها شامل، اطلاعات هندسی، ژئومتری، بار آلودگی ورودی از زهکش در ماه‌های مختلف، دبی قطعات و مقادیر نیترات و فسفات در قطعات مرزی به عنوان شرایط مرزی بالا و پایین اعمال شد. پس از تکمیل اطلاعات ورودی، شبیه‌سازی توسط زیر مدل Eutro که شبیه‌سازی بخش مواد مغذی را در مدل WASP بر عهده دارد، انجام گرفت. پس از اطمینان از اعتبار مدل، مدل به طور روزانه برای سال 1390 اجرا شد تا وضعیت کیفی رودخانه پسیخان در سال مورد نظر مشخص و در تعیین سهم بار آلودگی مورد بررسی و استفاده قرارگیرد.

برای تعیین بارآلودگی رودخانه پسیخان و تفکیک آلودگی ناشی از بخش کشاورزی از فاضلاب منطقه مسکونی، منطقه تحت پوشش هر یک از مقاطع انتخابی با کاربری کشاورزی که رواناب ناشی از بارندگی در آن مقاطع تخلیه می‌شد، با استفاده از روی هم قراردادن نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه رقومی ارتفاع استخراج گردید. بدین منظور ناحیه تأثیرگذار بر کیفیت رودخانه، با استفاده از نرم‌افزار WMS و نقشه رقومی حوضه و در نظر گرفتن مقاطع یک تا پنج به عنوان نقطه خروجی زیر حوضه‌ها، مرز نواحی تأثیرگذار در هر یک از پنج زیر حوضه دربرگیرنده مقاطع یک تا پنج تعیین شد. سپس جهت تعیین کاربری اراضی این نواحی و مساحت تحت پوشش کشاورزی در آن‌ها، جداسازی آن‌ها از نقشه کاربری اراضی حوضه پسیخان توسط نرم‌افزار ERDAS IMAGING انجام شد.

نقشه کاربری اراضی در زیر حوضه رودخانه پسیخان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست 5 در مرز حوضه‌های آبریز استان گیلان تهیه گردید. در این پژوهش نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش نظارت نشده و الگوریتم Isodata با 15 کلاس کاربری ایجاد شد. سپس با تطبیق تصویر طبقه‌بندی شده حوضه پسیخان و تصویر Google Earth در محدوده مورد نظر، نوع هر یک از کاربری‌ها مشخص گردید (شکل2). در شکل 2 رنگ مایل به سبز فسفری اراضی دارای کاربری شالیزار را نشان می‌دهد که در هر زیر حوضه به طور متوسط 54 درصد را به خود اختصاص داده است.

جهت تعیین آلایندگی ناشی از فاضلاب مسکونی در رودخانه، مقادیر نیترات تولید شده توسط ساکنین حاشیه رودخانه محاسبه شد. با توجه به متوسط نیتروژن کل 35 میلی‌گرم بر لیتر (حسینیان، 1381) در فاضلاب شهری و وجود نسبت یک به سه مابین فاضلاب روستایی و شهری (گزارش مطالعات طرح، نیاز آبی شرب، صنعت و کشاورزی استان گیلان، 1391)، مقدار نیتروژن کل حاصل از فاضلاب روستایی اطراف رودخانه، 10/5 میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد. با فرض یکسان بودن فرم‌های مختلف نیتروژن در نیتروژن کل، مقدار نیترات موجود در فاضلاب انسانی، 3/5 میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد. به علت ناچیز بودن مقادیر فسفات در فاضلاب انسانی، در محاسبه آلودگی رودخانه پسیخان در نظر گرفته نشد. در نهایت برای محاسبه مقدار آلایندگی بخش اراضی شالیزاری (سهم آلایندگی بخش کشاورزی) بر رودخانه پسیخان، مقادیر نیترات و فسفات رودخانه (مقادیر مشاهده‌ای این پارامترها در روش مستقیم محاسبه بار آلودگی و مقادیر تخمینی این پارامترها توسط مدل در روش استفاده از WASP در محاسبه بار آلودگی) از آلودگی ناشی از فاضلاب انسانی که مقادیر آن در منطقه ذکر شد، کم شد.

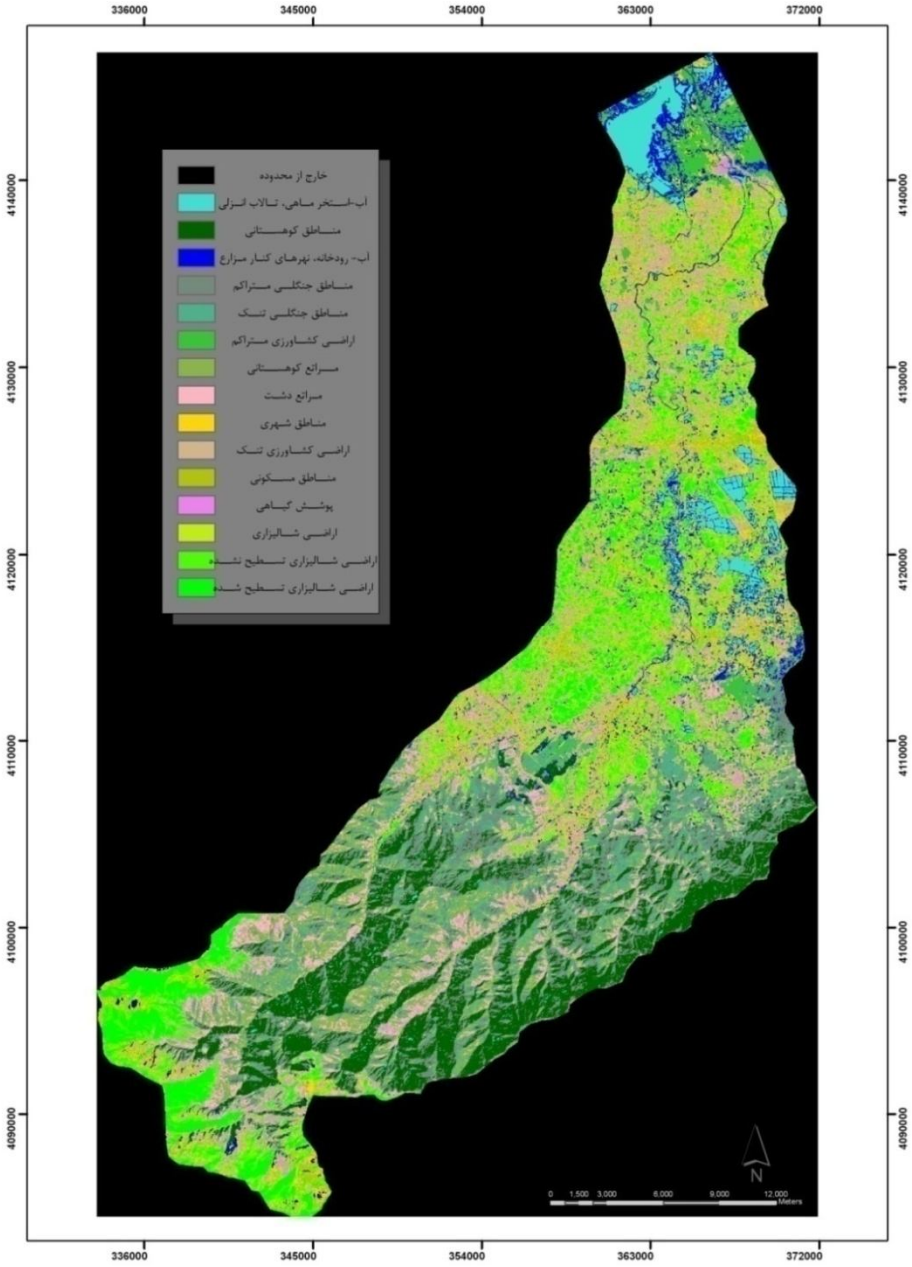
نتایج و بحث

واسنجی و اعتبارسنجی مدل WASP در رودخانه پسیخان

نتایج آنالیز حساسیت مدل WASP در رودخانه پسیخان با اعمال اغتشاش 10 درصد در پارامترهای ورودی مدل نشان داد که شبیه‌سازی نیترات به پارامترهای دبی، ضریب پخشیدگی و نرخ نیتراتزدایی و شبیه‌سازی فسفات به دبی، ضریب پخشیدگی و ضریب تفکیک فسفات در ستون آب حساس است. مقادیر ضریب حساسیت پارامترهای مذکور در جدول 2 آمده است. ونگ و موریسون [Wang and Morrison, 1999] نیز از ضریب پخشیدگی و پارامترهای شبیه‌سازی چرخه‌های اکسیژن محلول، فسفر و نیتروژن برای واسنجی مدل WASP در شبیه‌سازی مکانیسم انتقال بین بار ورودی و کیفیت آب خلیج تامپا در آمریکا استفاده نمود.

در مرحله واسنجی نیترات، ضریب واسنجی نرخ نیتراتزدایی به روش بهینه‌یابی، مقدار 0/09 بر روز در سراسر رودخانه به‌دست آمد. هم‌چنین در مرحله واسنجی مدل برای شبیه‌سازی فسفات، ضریب واسنجی تفکیک فسفات در ستون آب 600 لیتر بر کیلوگرم به‌دست آمد.

جدول 3 مقادیر ضریب تعیین، خطای مطلق و ضریب عملکرد مدل را برای پارامترهای نیترات و فسفات در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. مطابق جدول ضریب تعیین برای فسفات از نیترات بیش‌تر و متوسط خطای محاسبه آن کم‌تر بود.



شکل 2- نقشه کاربری اراضی حوضه پسیخان استخراج شده از تصاویر لندست TM

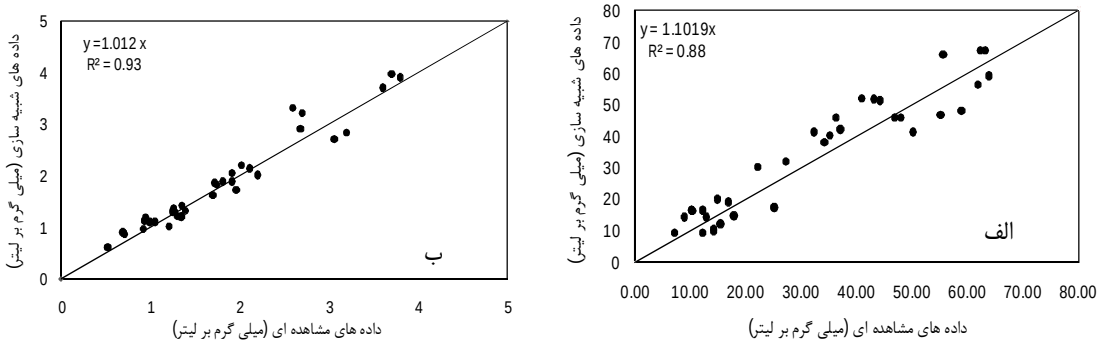
جدول 2- میزان ضریب حساسیت پارامترهای ورودی مدل WASP

پارامتر شبیه‌سازی	پارامتر ورودی	ضریب حساسیت
نیترات	دبی	0/032
	ضریب پخشیدگی	0/026
	ثابت میزان نیتراتزدایی	0/029
فسفات	دبی	0/034
	ضریب پخشیدگی	0/025
	ضریب تفکیک فسفات در ستون آب	0/023

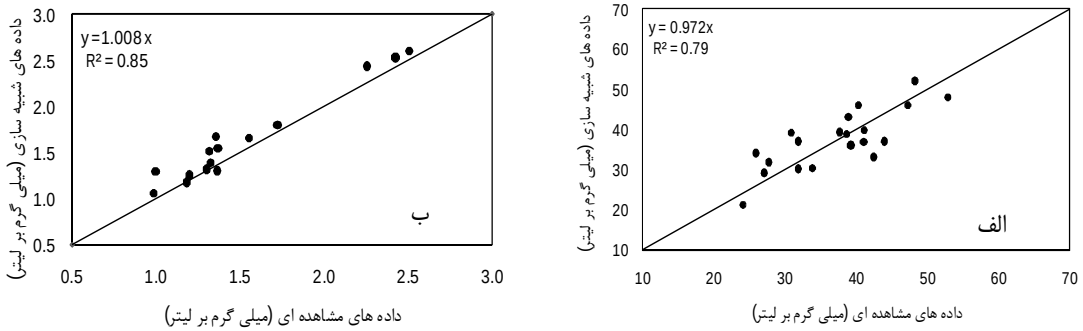
مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی نیتـرات و فسـفات در دو مرحلـه واسنجی و اعتبارسنجی در شکل 3 و 4 ارائه شده است. همان‌طور کـه در شکل‌ها مشخص است، در پارامتر فسـفات مقـادیر شـبیه‌سـازی و مشاهده‌ای بیش‌تر به هم نزدیک هستند.

جدول 3- آنالیز آماری نتایج مدل WASP در مرحله واسنجی

مرحله ارزیابی	پارامتر کیفی	R^2	MAE (mg/l)	C_P
مرحله واسنجی	نیترات	0/88	0/37	0/38
	فسفات	0/93	0/18	0/15
مرحله اعتبارسنجی	نیترات	0/79	0/68	0/59
	فسفات	0/85	0/28	0/23



شکل 3- مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی الف) نیترات و ب) فسفات در مرحله واسنجی مدل WASP در رودخانه پسیخان در سال 1390



شکل 4 - مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی الف) نیترات و ب) فسفات در مرحله اعتبارسنجی مدل WASP در رودخانه پسیخان در سال 1390

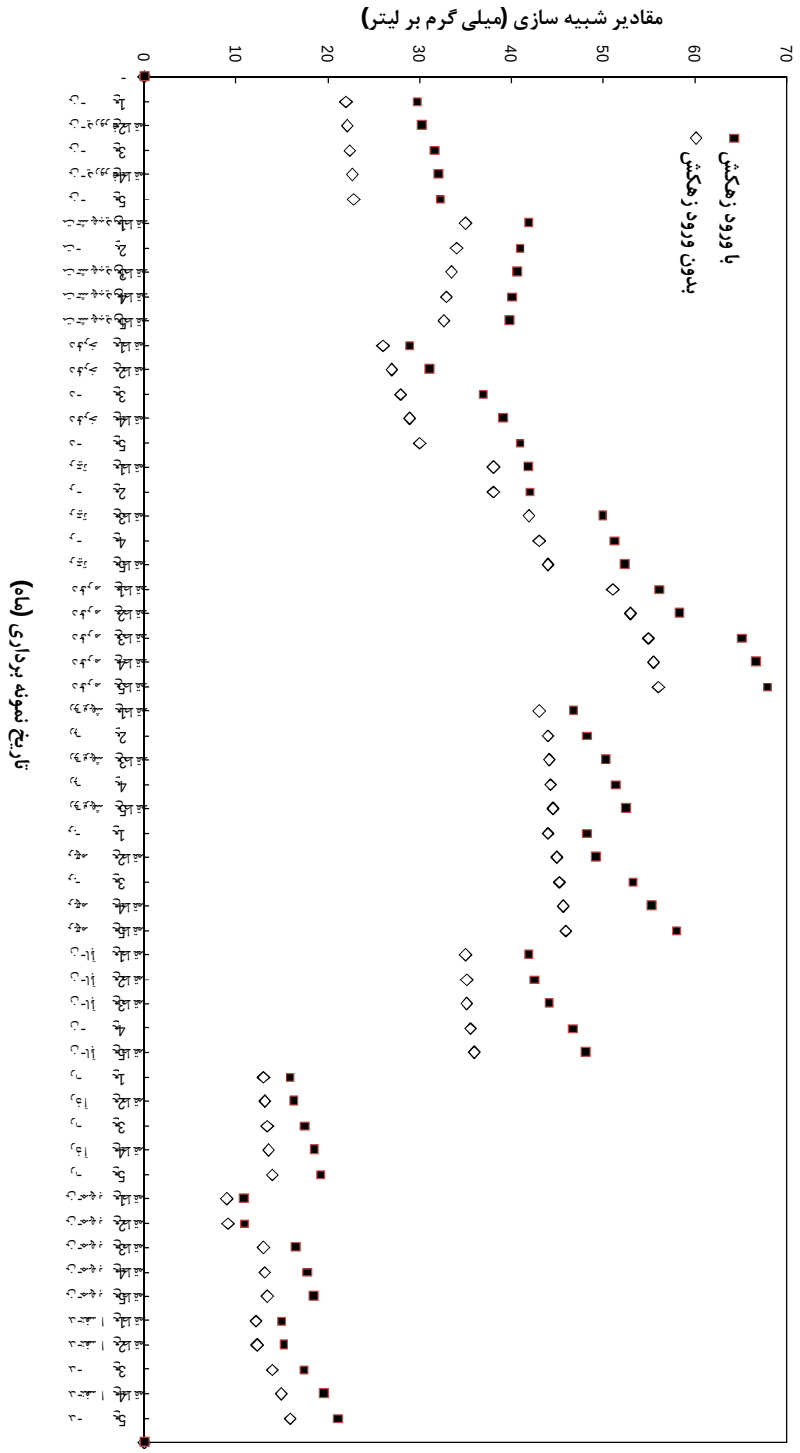
تعیین بار آلودگی ناشی از اراضی کشاورزی

بررسی اثرپذیری کیفیـت رودخانـه پسـیخان از زهکـش اراضـی شالیزاری موجود در محدوده مطالعاتی، برای مدل اعتبارسنجی شده در دو حالت: 1- تخلیه زهکش به رودخانه و 2- عدم تخلیه زهکـش بـه رودخانه، اجرا شد و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت.

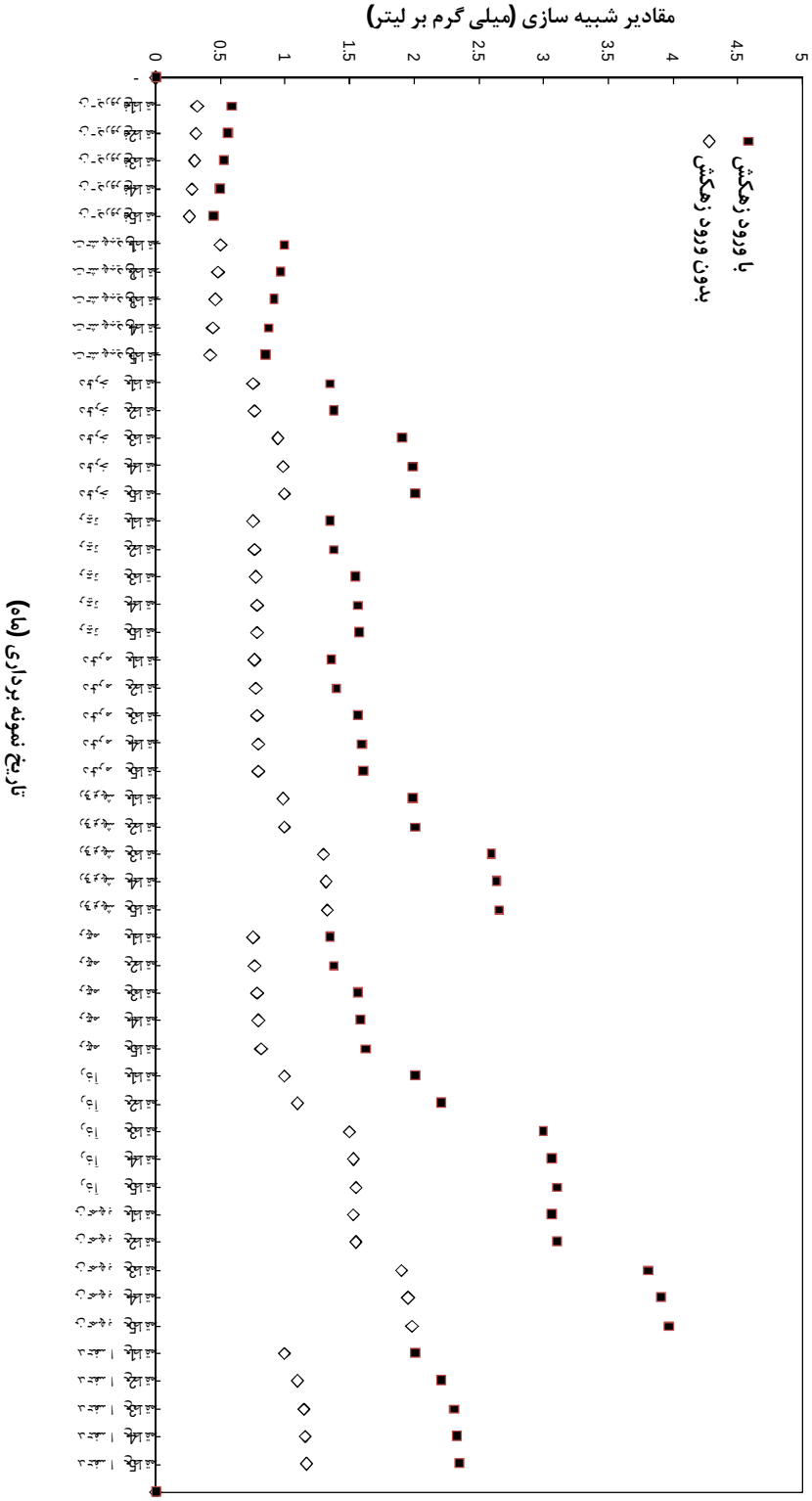
نتایج این دو حالت شبیه‌سازی در شـکل‌هـای 5 و 6 آورده شـده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در صورت عدم تخلیـه زهکـش، رودخانه یک روند یکنواختی را طی کرد و در مقادیر پارامترها تغییرات محسوسی در طول رودخانه مشاهده نشد اما با ورود زهکش تغییـرات قابل توجهی در وضعیت کیفی رودخانه دیده شد.

در همه ماه‌ها به جزء فروردین ماه بار آلودگی نیترات در ایسـتگاه 3 (مقادیر 2 تا 3) از مابقی ایستگاه‌ها به‌دست آمـد. ایـن امـر ناشـی از زهکش تخلیه شونده به آن محل می‌باشد. با توجه به اینکـه زهکـش بین دو ایستگاه نمونه‌برداری 2 و 3 تخلیه می‌شود، باعـث بـالا رفـتن مقدار نیترات در ایستگاه‌های بعدی نمونه‌برداری شد. پارامتر نیترات در خرداد، تیر و مرداد دارای بیش‌ترین مقادیر بار آلودگی بود که این سـه ماه، ماه‌های رونق کشاورزی منطقه می‌باشد. هم‌چنین مقـدار نیتـرات در ماه‌های آبان، آذر، بهمن و اسفند نیز دارای مقادیر بالایی بـوده کـه به دلیل بارندگی زیاد و در نتیجه ورود رواناب بـه رودخانـه اسـت. بـا توجه به این نکته که طولی از رودخانه که جهت تحقیق مورد بررسـی

قرار گرفته، مناطق مسکونی در اطراف آن کم بوده می‌تـوان آلـودگی رودخانه را ناشی از اراضی کشاورزی مجاور رودخانه دانسـت. مقایسـه مقادیر نیترات مشاهده شده با مقدار مجاز نیترات در منابع آب سطحی (45 میلی‌گرم بر لیتر)، نشان از وضعیت بحرانی رودخانـه در خصـوص مقدار نیترات دارد و با توجه به تناسب ماه‌های بحرانی (تیر تا آبان ماه) با شرایط کشت و بارندگی در منطقـه، مـدیریت بخـش کشـاورزی از اهمیت به سزایی برخوردار خواهد بود.



شکل 5- مدل‌سازی نیترات در دو حالت وجود و عدم وجود زهکش در رودخانه پسیخان در سال 1390

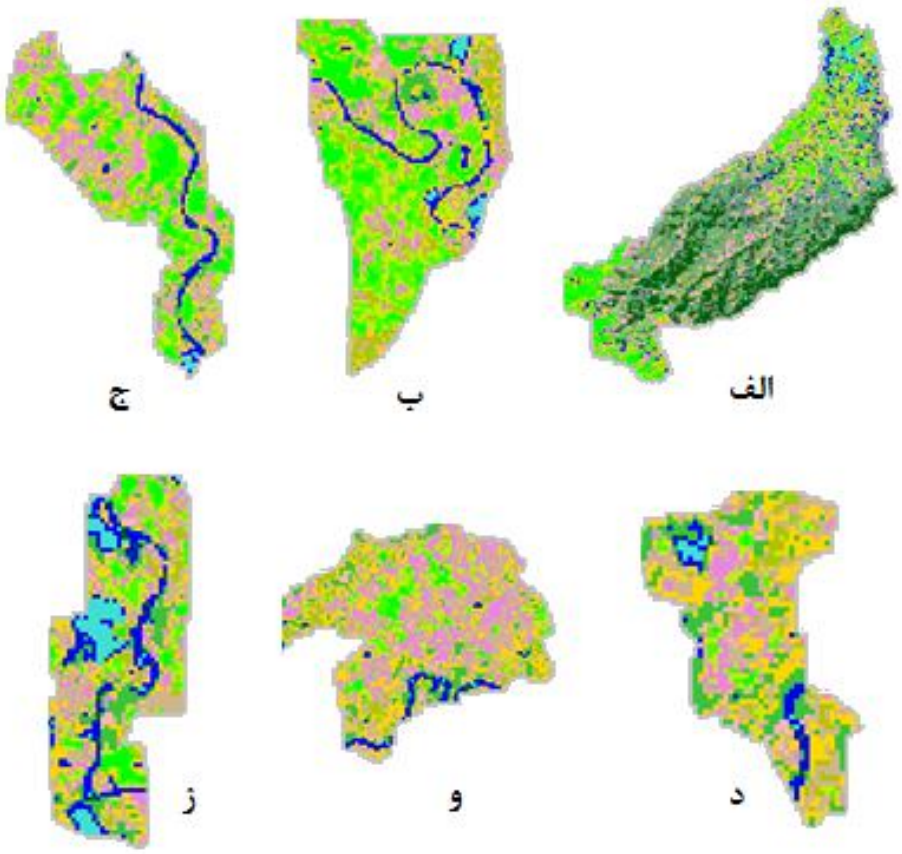


شکل 6- مدل‌سازی فسفات در دو حالت وجود و عدم وجود زهکش در رودخانه پسیخان در سال 1390

مقادیر فسفات در طول رودخانه تنها در ماه‌های فروردین و اردیبهشت روند کاهشی داشت (عدم ورود آلاینده). بیش‌ترین بار آلودگی فسفات در ماه های خرداد، شهریور، آذر، بهمن و اسفند مشاهده شد که ناشی از بارندگی‌های زیاد در روزهای قبل نمونه‌برداری می‌باشد. پارامتر فسفات نیز مانند نیترات با توجه به بالا بودن بار آلودگی 2 تا 3، در ایستگاه نمونه‌برداری 3 دارای بیش‌ترین

مقدار بود که به دلیل تخلیه زهکش به این ایستگاه می‌باشد. مقایسه مقادیر فسفات مشاهده شده با مقدار مجاز آن در منابع آب سطحی (6 میلی‌گرم بر لیتر) نشان از وضعیت نسبتاً مناسب رودخانه در خصوص آلاینده فسفات دارد و به دلیل فاصله با مقدار مجاز، خطر آلودگی فسفات رودخانه را تهدید نمی‌نماید.

برای برآورد بار آلودگی نیترات و فسفات، محدوده تاثیرگذار بر هر یک از مقاطع نمونه‌برداری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه رقوم ارتفاعی مشخص شد که نتایج آن در شکل 7 آمده است. مطابق این نقشه‌ها، مساحت هر یک از محدوده‌ها مشخص و مقادیر آن در جدول 4 ارائه شده است.



شکل 7- اراضی تاثیر گذار در نقاط نمونه‌برداری رودخانه پسیخان (الف) اراضی اثرگذار بر نقطه 1 نمونه‌برداری، (ب) اراضی اثرگذار بر نقطه 2 نمونه‌برداری، (ج) اراضی اثرگذار بر نقطه 3 نمونه‌برداری (د) اراضی اثرگذار بر نقطه 4 نمونه‌برداری، (و) اراضی اثرگذار بر نقطه 5 نمونه‌برداری و (ز) اراضی اثرگذار بر زهکش موجود در بازه مطالعاتی

جدول 4- مساحت تحت پوشش با کاربری کشاورزی در نواحی متاثر بر نقاط نمونه‌برداری

ناحیه	مساحت کل (هکتار)	مساحت تحت پوشش کشاورزی (هکتار)	درصد مساحت کشاورزی از مساحت کل
1	600	163/5	27
2	3/9	2/6	67
ورودی زهکش	1/9	1/0	53
3	2/4	1/6	69
4	1/3	0/7	53
5	3/4	2	58

میانگین ماهانه مقادیر بار آلودگی ناشی از آلودگی نیترات و فسفات در سال 1390 دو روش استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و استفاده از مدل WASP در جدول 5 نشان داده شده است. تفاوت این دو روش در برآورد بار آلودگی را می‌توان به قابلیت مدل در

شبیه‌سازی نیترات و فسفات در هر مقیاس زمانی نسبت داد بدین صورت که مدل به طور پیوسته به شبیه‌سازی نیترات و فسفات می‌پردازد و از مقادیر آن‌ها (حتی در مقیاس روزانه) می‌توان در محاسبات بار آلودگی بهره جست. در حالی که روش مستقیم محاسبه بار آلودگی نیازمند نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی کوچک است و مقدار اندازه‌گیری شده به عنوان میانگین بازه نمونه‌برداری در محاسبات به کار می‌رود. از آنجا که نمونه‌برداری میدانی به دلیل مسائل اقتصادی و مشکلات اجرایی کاری دشوار و هزینه بردار است، هزینه محاسبه بار آلودگی دقیق با استفاده از بازه زمانی نمونه‌برداری کوچک را افزایش می‌دهد. نتایج مقایسه برآورد بار آلودگی در دو روش مستقیم و استفاده از مدل شبیه‌ساز WASP نشان داد که نتایج مدل تطابق مناسبی با نتایج حاصل از داده‌های مشاهده‌ای دارد و می‌تواند جایگذین مناسبی برای برآورد بارآلودگی باشد.

جدول 5- میزان آلودگی محدوده مورد مطالعه رودخانه پسیخان در سال 1390 (کیلوگرم بر هکتار)

پارامتر کیفی	داده‌های مشاهده‌ای	مدل WASP
نیترات	16/00	14/18
فسفات	1/66	1/40

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های مشاهده‌ای نشان داد که مدل WASP توانایی خوبی در شبیه‌سازی پارامترهای نیترات و فسفات دارد (رزاق‌منش، 1383؛ ملکی و همکاران 1385؛ Chong et al., 2010). میزان ضریب تعیین برای فسفات بیش‌تر از نیترات به دست آمد که پایدار بودن فسفات نسبت به نیترات و امکان تبدیل نیتروژن، آمونیوم و نیترات به یکدیگر یکی از دلایل اصلی این امر می‌تواند باشد. نتایج حاصل پس از اجرای مدل بر روی رودخانه پسیخان نشانگر وضعیت آلوده رودخانه در فصول کشاورزی منطقه (خرداد، تیر و مرداد)، پس از بارش زیاد در نیمه دوم سال و در نتیجه ورود رواناب به رودخانه و همین‌طور پس از تخلیه زهکش به رودخانه است. بنابراین کنترل ورود زه‌آب‌ها به آب رودخانه به خصوص در فصول کشاورزی و بارندگی باید همواره مد نظر قرار گیرد. در مقایسه با نتیجه پژوهش لای و همکاران (Lai et al., 2011) که ترکیب مدل WASP با یک مدل جامع مدیریت حوضه را جهت بررسی بارآلودگی غیر نقطه‌ای توصیه می‌نماید، نتیجه این پژوهش موفقیت برآورد بارآلودگی نقطه‌ای را نشان داد. بنابراین در صورتی که بخش کشاورزی نقطه ورودی مشخصی به رودخانه یا منابع آب سطحی داشته باشد (مانند نهر زهکش که رواناب یا زه‌آب زهکشی زیرزمینی را منتقل می‌کند) استفاده از مدل WASP در ترکیب با فن سنجش از دور و تصاویر کاربری اراضی، توصیه می‌شود.

منابع

اسفندیاری،پ. 1385. بررسی منابع آلاینده رودخانه جاجرود و ارائه راه حل برای کاهش یا حذف آن‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیطزیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

باقرزاده،آ.، پیروز،ب و ثابت رفتار،ع. 1388. اثرات منابع آلاینده شهری، صنعتی و کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه گوهررود در شهرستان رشت- استان گیلان- هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، بهمن ماه 1388.

حسینیان،م. 1381. مصارف مجدد فاضلاب‌های تصفیه شده در کشاورزی، پرورش ماهی و تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی. انتشارات علوم روز، 240 صفحه.

رزاق منش،م. 1383. بررسی اثر منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه کر به وسیله مدل WASP و GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

گزارش مطالعات طرح نیاز آبی شرب، صنعت و کشاورزی استان گیلان، کیفیت منابع آب سطحی استان گیلان. 1391. معاونت پژوهشی دانشگاه گیلان.

ملکی،ر.، سامانی،ج.م. و محمدی،ک. 1385. بررسی اثر زهکش‌ها بر کیفیت آب رودخانه پسیخان به وسیله مدل WASP6. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، 13 الی 14 اردیبهشت ماه.

مهدی‌نیا،م و نیک روش،ش. 1381. بررسی میزان آلودگی شبکه توزیع آب شرب شهر دامغان به نیترات در بهار سال 1380. فصلنامه آب و فاضلاب اصفهان، 43، ص 63-60.

نیک آئین، و.، ناصری،س. 1386. ارزیابی کاربرد فلز آهن بر حسب آلوده کننده نیترات. مجله آب و فاضلاب. شماره 60، ص 21-15.

Chong,Z., Wei,Y and Zhifeng,Y. 2010. Environment flows management strategies based on the spatial distribution of water quality, a case study of Baiyangdian Lake, a shallow freshwater lake in china. Procedia Environment Sciences Journal. 2: 896-905.

Cox,B.A. 2003. A review of currently available in stream water quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. 314: 335- 337.

Ferrier,R.C., Edwards,A.C., Hirst,D., Littlewood,I.G., Watts,C.D and Morris,R. 2001. Water quality of Scottish rivers: spatial and temporal trends. The

river water quality using a multimedia two-model system. Journal of Hydrology. 409: 583-595.

Liu,A., Ming,J and Ankumah,R. 2005. Nitrate contamination in private wells in rural Alabama, United States. Science of the Total Environment Journal. 346: 112-120.

Menendez,A.N., Natale,P and Jaime,O. 2001. Nutrient balance in the Rio de la Plata river using mathematical modeling. Journal of Environment Management. 61: 123-132.

Science of the Total Environment Journal. 265: 327-342.

Fischer,H.B., List,E.J., Koh,R.C.Y., Imberger,J., Brooks,N.H.1979. Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press, New York. 483.

Franceschini,S and ChristinaT. 2010. Assessment of uncertainly sources in water quality modeling in the Niagara river. Advances in Water Resources Journal.33: 493-503.

Lai,Y.C., Yang,C.P., Wu,C.Y and Kao,C.M. 2011. Evaluation of non-point source pollution and

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 9, Oct.-Nov. 2015, p. 624-635

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد9، مهر - آبان 1394، ص. 635-624

Predicting nitrate and Phosphate Load from Paddy field Using WASP Model and Remote sensing (Case study: Pasikhan river)

M. Navabian[1*], Z. Mohamadpor[2], M. Vazifeh Doost[3], M. Esmaeili Varaki[4], K. Shaykhi Garakoee[5]
Recived: May.07, 2015 Accepted: Nov.04, 2015

Abstract

Discharges of urban, hospital, industrial and agricultural drainage wastes into rivers not only reduce the quality of river, but also it has irreversible effect on ecosystems. Estimation of pollution loads from various contaminants is important in quality and quantity planning of water resources. Pasikhan River is one of the major rivers of Guilan that is at risk of pollution due to adjoining to residential areas, fish ponds and paddy fields and their discharge of drains. In this research a new approach include of simultaneous application of water quality model and satellite images were studied to estimate the loading of pollution from agricultural activities in Pasikhan River. For this purpose, the WASP model was used to simulate spatial and temporal trend of nitrate and phosphate in Pasikhan River. For model calibration and validation, the quality of the river including of nitrate and phosphate was analyzed in 1390. The model simulated nitrate and phosphate with a determination coefficient 0.84 and 0.89 respectively. After determining the cultivation area of paddy fields in the study area and using the DEM map, nitrate and phosphate pollution loads into the river was estimated by calibrated model. Comparing observed pollution load (16.0 and 1.68 kg/ha) and model estimation (14.18 and 1.40 kg/ha) in terms of nitrate and phosphate, show appropriate accuracy of method for estimating pollution in agricultural land.

Keywords: Surface water, Non point pollution, Run off, Agricultural waste, Land use

1,3,4- Assistant Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan
2,5- MSC Student of Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan
(*- Corresponding Author Email: Navabian@guilan.ac.ir)