مدل‌سازی آلودگی غیرنقطه‌ای با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارائه بهترین شیوه‌های مدیریت (BMP) در حوضه آبخیز گرگانرود

زهرا پسندیده‌فرد[۱*]، عبدالرسول سلمان ماهینی[۱]، سید حامد میرکریمی[۱]، مرتضی اکبری[۲]، مهدی غلامعلی‌فرد[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۸.)

چکیده

مهم‌ترین آلاینده‌هایی که باعث ایجاد آلودگی آب می‌شوند، نیتروژن و فسفر موجود در رواناب کشاورزی هستند که به آلودگی غیرنقطه‌ای (NPS)، موسوم هستند. برای رفع این مشکل، شیوه‌های مدیریتی به‌کار می‌روند که به BMP ها یا بهترین شیوه‌های مدیریت معروفند. یکی از روش‌های متداول پیش‌بینی آلودگی غیرنقطه‌ای مدل‌سازی آن است. به‌وسیله مدل‌سازی می‌توان راندمان بسیاری از این شیوه‌ها را قبل از به‌کارگیری، آزمایش کرد. در مطالعه حاضر، ابتدا تغییرات کاربری اراضی در سال‌های 1984 تا 2010 بررسی شد که نشان‌دهنده افزایش اراضی کشاورزی از 516908/52 به 630737/19 هکتار، جاده‌ها از 9666/07 به 11430/24 و توسعه شهری از 5237/87 به 15487/59 هکتار بود. با انجام مدل L-THIA (از مدل‌های آلودگی غیرنقطه‌ای) برای هر دو کاربری میزان آلودگی و حجم رواناب محاسبه شد که رشد چشم‌گیری را نشان می‌داد. سپس، با محاسبه آلودگی هر یک از زیرحوضه‌ها، زیرحوضه هفت به‌عنوان یک منطقه بحرانی شناخته شد. در انتها با استفاده از ارزیابی چند معیاره (MCE) به‌منظور مکان‌یابی اراضی کشاورزی، تغییر کاربری به‌عنوان یک BMP مدنظر قرار گرفت و نقشه بهینه کاربری ایجاد شد. پس از تهیه نقشه کاربری جدید مدل L-THIA مجدداً انجام شد و نتیجه مدل با کاربری کنونی مقایسه شد تا اثر این BMP بررسی شود. حجم رواناب از 367/5 به 308/6 مترمکعب در هکتار و میزان نیتروژن موجود در رواناب از 3/26 به 1/58 میلی‌گرم در لیتر و اکسیژن خواهی زیستی یا BOD آب نیز از 3/61 به 2/13 میلی‌گرم در لیتر رسید. سایر آلاینده‌ها از قبیل فسفر، روی کادمیوم و کروم نیز کاهش شدیدی را نشان دادند. در انتها، تغییر کاربری به‌عنوان یک BMP موثر، جهت کاهش آلودگی غیرنقطه‌ای تایید شد.

واژه‌های کلیدی:رواناب، مکان‌یابی، ارزیابی چند معیاره (MCE)، مدل L-THIA

.

۱. گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
۲. گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی، مشهد
۳. گروه محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، نور
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zahra_pasandidehfard@yahoo.com

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]

مقدمه

در بسیاری موارد زمین‌های کشاورزی با میزان آلودگی غیرنقطه‌ای هم‌بستگی دارد که با حمل رواناب سطحی و ته‌نشین شدن مواد در جریان‌های پایین‌دست همراه است(6). آلودگی غیر نقطه‌ای به‌عنوان آلاینده‌های خاک سطحی و زیر سطحی، هوا و آب‌های سطحی و زیر زمینی در طبیعت تعریف می‌شود که نمی‌توان موقعیت مرکزی آن را ردیابی کرد (5). به‌عبارت دیگر منبع این نوع از آلودگی گسترده است و غالباً از اراضی کشاورزی ایجاد می‌شود. رواناب کشاورزی اغلب شامل مجموعه‌ای از اجزای کیفی آب شامل مواد مغذی (نیتروژن و فسفر)، آفت‌کش‌ها، عوامل بیماری‌زا، رسوبات، نمک‌ها، فلزات سنگین است (8). مقادیر بیش از حد فسفر و نیتروژن قابل‌حل باعث پدیده یوتریفیکاسیون در آب‌های سطحی می‌شود. یوتریفیکاسیون به‌عنوان رشد انفجاری جلبک‌ها، افزایش تیرگی، کاهش سطوح اکسیژن، ایجاد مشکلات طعم و بو و کاهش ارزش زیبایی‌شناختی آب تعریف می‌شود (7). بهترین شیوه‌های مدیریت یا BMP (Best Management Practices) در واقع به روش‌های مدیریتی گفته می‌شود که در صورت اجرا باعث حذف یا کاهش آلودگی غیرنقطه‌ای می‌شود. با توجه به اهمیت آلودگی غیرنقطه‌ای و اثر آن بر کیفیت آب مطالعات زیادی در سراسر دنیا در زمینه مدل‌سازی این نوع آلودگی و مدیریت کنترل و کاهش آن، انجام شده است. در ادامه تعدادی از مطالعات انجام شده در این زمینه آمده است:

ژیانگ (17) استقرار و حفاظت از مناطق ضربه‌گیر کنار رودخانه‌ای در طول خطوط ساحلی یا رودها را به‌عنوان یک شیوه معمول از بهترین شیوه‌های مدیریت (BMP) در ایالت متحده معرفی کرد. با این عمل رواناب آلوده قبل از ورود به آب‌های سطحی جذب یا تصفیه می‌شود. در این تحقیق، مطالعه موردی در یک آبخیز در شمال کارولینا انجام شده است که یک ناحیه ضربه‌گیر را بر مبنای GIS آنالیز می‌کند. عرض مطلوب نوار حاشیه و هم‌چنین هزینه‌های استفاده تعیین شد.

وول (14)، ارزیابی زیستی جریان رودخانه را برای تعیین بهترین شیوه مدیریت موثر در فلوریدا انجام داد. در این مطالعه ارزیابی به‌منظور حفاظت اکوسیستم‌های آبی در جریان عملیات شدید جنگلداری صورت گرفت. درنهایت نتایج مطالعه این فرضیه را تایید کرد که کاربرد شایسته و مناسب BMP ها شرایط حفاظت در اکوسیستم‌های آبی را فراهم می‌کند.

تانگ و همکاران (11)، تغییرات کاربری و اثرات زیست‌محیطی آنها را در مقیاس آبخیز، در آبخیز رودخانه ماسکگون با استفاده از مدل L-THIA و یک مدل تغییر کاربری با نام LTM، بررسی کردند. نتیجه مطالعات نشان داد که آبخیز در معرض اثرات شهرسازی در رابطه با رواناب و بعضی از آلاینده‌های غیرنقطه‌ای قرار دارد. تغییرات فضایی شهرسازی و اثرات آن در مقیاس زیرحوضه ارزیابی شد و نشان داد که زیرحوضه‌های در امتداد ساحل دریاچه و محصور شده در شهرها اثرات مربوط به رواناب و نیتروژن را خواهند داشت.

شرستا و همکاران (10)، با استفاده از مدل AnnAGNPS در آبخیز سوالیک هیلز در نپال میزان حجم رواناب، جریان اوج و حجم رسوبات را محاسبه کردند و در نهایت با مشاهدات میدانی دو سال در آبخیز موردمطالعه مقایسه کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل AnnAGNPS شبیه‌سازی حجم رواناب را در مقایسه با جریان اوج و حجم رسوبات، به‌خوبی انجام می‌دهد و می‌تواند برای تعیین کردن شیوه‌های مدیریتی در آبخیز سوالیک هیلز به‌کار برده شود.

اسن و آسلو (3)، اثرات شیوه‌های کشاورزی بر آلودگی غیرنقطه‌ای را در یک حوضه آبخیز ساحلی در ترکیه ارزیابی کردند. این روش بر مبنای سنجش از دور (RS) وسیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌سازی هیدرولوژی (HM) انجام شد و در انتها مدل (SWRRB-WQ) به‌عنوان وسیله‌ای مؤثر برای انجام بهترین شیوه‌های مدیریت شناخته شد.

رائو و همکاران (9)، مدل‌سازی تاثیر بهترین شیوه‌های مدیریت در یک حوضه آبخیز کشاورزی در نزدیکی شهر نیویورک را بر کاهش میزان رسوب فسفر انجام دادند. در این مطالعه از مدل (VSLF) استفاده شد. نتایج نشان داد که این مدل

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]

می‌تواند برای ارزیابی شیوه‌های مدیریت در سراسر دنیا در آبخیزهایی استفاده شود که خاک‌های کم‌عمق و نفوذناپذیر دارند.

والتون و هانتر (15)، یک روش جدید را برای جداسازی اثرات کاربری از داده‌های پایش کیفیت آب، به‌وسیله مدل HSPF، در آبخیز رودخانه جان استون در شمال استرالیا به‌کار بردند. در نهایت مقدار بارگذاری رسوبات معلق و مواد مغذی در شرایط متفاوت فصلی تعیین شد و سهم هر یک از کاربری‌های اصلی در این بارگذاری‌ها مشخص شد.

تیان و همکاران (12)، با استفاده از مدل AnnAGNPS اثر کاربرد اعمال مدیریتی متفاوت شامل هفت نوع محصول، پنج سطح کود و سه گروه سناریوهای شیوه‌های مدیریتی را در آبخیز TGRA در چین بررسی کردند و از این مدل برای شناسایی نواحی بحرانی برای توسعه شیوه‌های مدیریتی استفاده کردند و نشان دادند که فسفر، نیتروژن و رسوب، بیشترین خطر را برای حفاظت کیفی آب ایجاد می‌کنند.

لی و همکاران (4)، با استفاده از یک مدل ترکیبی شامل یک مدل هیدرولوژیکی و چندین مدل کیفی آب، بارگذاری آلودگی غیرنقطه‌ای را در یک مزرعه پرورش جوجه تخمین زدند. نتایج نشان داد که بارندگی زیادتر آلودگی زیادتری ایجاد می‌کند و این نتایج تایید کرد که میزان آلودگی غیرنقطه‌ای با فصول هم‌بستگی خیلی زیادی دارد و مزارع مذکور، پتانسیل بالایی برای ایجاد آلودگی غیرنقطه‌ای دارند.

وانگ و همکاران (16)، دو مدل بارگذاری آب‌شویی آلاینده‌های شهری را با توجه به عملکردهای آبشویی و تجمع آلاینده‌ها در یک آبخیز شهری در لوس‌آنجلس ارائه دادند. نتایج پژوهش نشان داد که صحت و دقت مدل دو نسبت به مدل یک بیشتر است. مدل دو بیشتر توانایی شبیه‌سازی آلودگی غیرنقطه‌ای از رواناب شهری را داشت.

نتایج پژوهش‌های انجام شده، سود مدل‌سازی آلودگی غیرنقطه‌ای و ایجاد برنامه‌ای مدیریتی در جهت کنترل آلودگی غیرنقطه‌ای را به‌خوبی نشان دادند. متاسفانه در ایران مطالعات محدودی در زمینه مدل‌سازی آلودگی غیرنقطه‌ای انجام شده است و از طرفی در اکثر مطالعات مذکور، به بهترین شیوه‌های مدیریتی (BMP) و هم‌چنین اثر کاربری و مکان‌یابی آنها به‌صورت یک BMP موثر، توجهی نشده است. یکی از بهترین شیوه‌های مدیریت یا BMP طرح‌ریزی کاربری است. طرح‌ریزی کاربری یکی از عناصر مهم در مدیریت آبخیز است. برای نایل شدن به این هدف، مکان‌یابی مناسب برای کاربری کشاورزی، ضروری است. از آنجا که کشاورزی در حوضه آبخیز گرگانرود یکی از مهم‌ترین کاربری‌های منطقه است، ایجاد آلودگی غیرنقطه‌ای در منطقه مطالعاتی کاملا طبیعی و منطقی است. بنابراین مدل‌سازی آلودگی غیرنقطه‌ای و به‌کارگیری بهترین شیوه‌های مدیریت (BMP) در این مکان لازم و ضروری است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه گرگانرود تقریبا نیمه جنوبی استان گلستان را پوشش می‌دهد. مساحت منطقه مورد مطالعه 13066 /82 کیلومتر مربع است که بیش از نیمی از کل استان (20125/48 کیلومترمربع) را تشکیل می‌دهد. این منطقه در بین عرض‌های جغرافیایی ''54 '35 °36 تا ''37 '47 °37 شمالی و طول‌های جغرافیایی ''59 '59 °53 تا ''36 '28 °56 شرقی قرار دارد. آبراهه یا رودخانه اصلی آن به نام گرگانرود از ارتفاعات گلی داغ و کور داغ و قلعه‌ماران و ارتفاعات یک تکالان و دست شاه در جنوب کله‌سر سرچشمه گرفته و پس از الحاق شاخه‌هایی به آن در نزدیکی روستای چاپاقلی به دریای خزر می‌ریزد (1).

نرم‌افزارهای مورد استفاده

نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی هم‌چون Idrisi، ArcMap، ArcView3.2 و مدل L-THIA برای آماده‌سازی نقشه‌ها و فرآیند مدل‌سازی، نرم‌افزار Google Earth جهت بررسی صحت نقشه‌های کاربری، نرم‌افزار Erdas، به‌منظور موزاییک کردن تصاویر ماهواره برای ایجاد نقشه تراکم پوشش گیاهی NDVI در حوضه آبخیز مطالعاتی.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]

مدل L-THIA نسبت به سایر مدل‌های آلودگی غیرنقطه‌ای از مزایای زیادی از قبیل سهولت دسترسی، استفاده آسان و تعداد کم ورودی‌ها برخوردار است. ورودی‌های لازم برای این مدل عبارتند از: نقشه کاربری، نقشه خاک‌شناسی (گروه‌های هیدرولوژیکی خاک)، فایل متنی بارندگی سی‌سال گذشته و فایل متنی cn-table. اصلاحات فایل متنی cn-table مشابه راهنمای TR-55 (13) انجام شد. مدل L-THIA محاسبه آلودگی غیرنقطه‌ای را بر اساس حجم رواناب و هم‌چنین پارامتری تحت عنوان EMC یا میانگین غلظت در یک واقعه بارندگی انجام می‌دهد. EMC به‌عنوان کل اجزای سازنده حجم تخلیه شده تقسیم بر کل حجم رواناب تعریف می‌شود که برای هر کاربری جداگانه محاسبه می‌شود. بانک اطلاعاتی نقشه‌های کاربری و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک مطابق راهنمای استفاده از مدل L-THIA تغییر یافت (2).

مدل‌سازی در این تحقیق شامل سه مرحله است: مرحله اول بررسی تغییرات کاربری و میزان آلودگی غیرنقطه‌ای در سال‌های 1984 و 2010. مرحله دوم پیدا کردن نواحی بحرانی (زیر حوضه‌های منطقه). مرحله سوم ارائه مدل مکان‌یابی اراضی کشاورزی به‌عنوان یک BMP در جهت کاهش آلودگی غیر نقطه‌ای (شکل 1).

ابتدا مساحت کاربری‌ها در دو سال مذکور مقایسه شد. سپس با استفاده از دو نقشه کاربری سال‌های 1984 و 2010 مدل L-THIA اجرا شد و نتایج مقایسه شد. در مرحله دوم برای شناسایی مناطق بحرانی در حوضه مطالعاتی، نقشه کاربری کنونی به زیرحوضه‌ها تقسیم شد و برای هر یک از هفت زیرحوضه، مدل L-THIA به‌طور جداگانه‌ای اجرا شد. زیرحوضه‌ای که بیشترین میزان آلودگی غیرنقطه‌ای را توسط این مدل نشان داد زیرحوضه بحرانی شناخته شد. شکل 2 در ادامه نشان‌دهنده نقشه زیرحوضه-های منطقه مطالعاتی است. در مرحله سوم، برای ایجاد نقشه کاربری مناسب، یک مدل حرفی تعریف شد. مدل حرفی پیشنهادی برای یافتن اراضی مناسب کشاورزی، به‌صورت زیر است:

فاصله تا رودخانه بین 100 تا 10000 متر

فاصله تا جاده 100 تا 15000 متر

فاصله تا مناطق مسکونی 500 تا 35000 متر

حتی‌الامکان جزء اراضی جنگلی نباشد (به‌منظور جلوگیری از جنگل‌تراشی).

شیب منطقه 0 تا 12 درصد

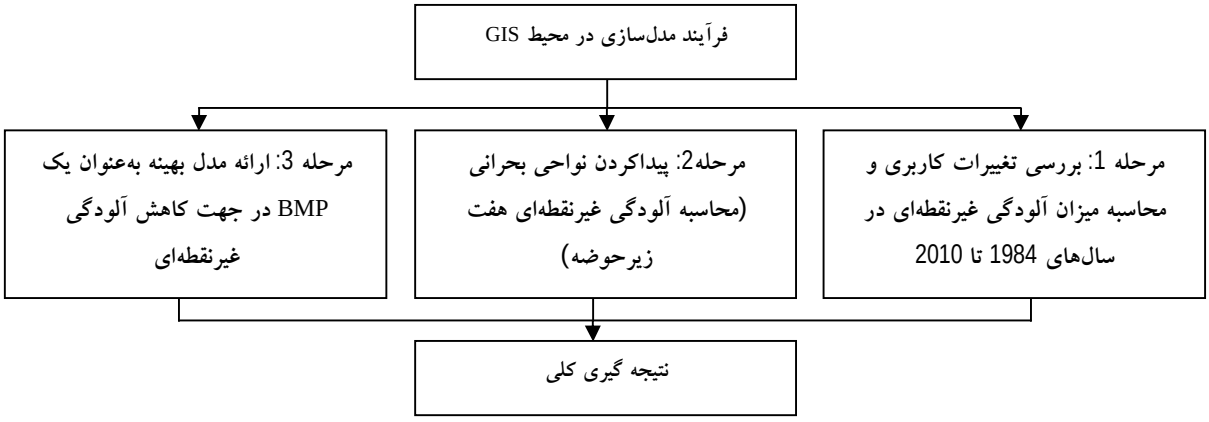
از آنجا که گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه، C و D است مناطقی با خاک C در اولویت است زیرا نسبت به گروه D فرسایش‌پذیری کمتری دارد.

مکان‌یابی کشاورزی منطقه به شیوه MCE یا ارزیابی چندمعیاره و به‌روش ترکیب خطی وزن‌دار یا WLC در نرم افزار Idrisi صورت گرفت. برای انجام این روش تعدادی لایه به‌عنوان محدودیت و تعدادی لایه به‌عنوان فاکتور تهیه شد و در نهایت به روش AHP وزن‌دهی لازم برای فاکتورها صورت گرفت. محدودیت‌ها به‌صورت نقشه‌های بولین (در این نوع نقشه‌ها ارزش‌ها به‌صورت 0 و 1 نشان داده می‌شوند) تهیه شد و فاکتورها به مقیاس پیوسته مطلوبیت از صفر تا 255 (حداکثر مطلوبیت) استاندارد شدند. با توجه به مدل حرفی پیشنهادی، شش فاکتور و چهار محدودیت تهیه شد که فاکتورها شامل نقشه شیب، نقشه خاک‌شناسی و نقشه‌های فاصله از سه عارضه مناطق مسکونی، جاده و رودخانه (به‌صورت جداگانه) و هم‌چنین نقشه تراکم پوشش گیاهی (با استفاده از تصاویر ماهواره landsat سال 2010) و محدودیت‌ها شامل نقشه‌های نوار حاشیه (Buffer) برای سه عارضه مناطق مسکونی، جاده و رودخانه هر کدام به‌صورت جداگانه (نوار حاشیه و عارضه مورد نظر با ارزش صفر و بقیه منطقه با ارزش یک) و نقشه بولین جنگل و مراتع (جنگل و مراتع با ارزش صفر و سایر بخش‌های منطقه با ارزش یک) است. سپس وزن‌دهی به شیوه AHP یا فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. وزن‌های تعریف شده در جدول 1آمده است.

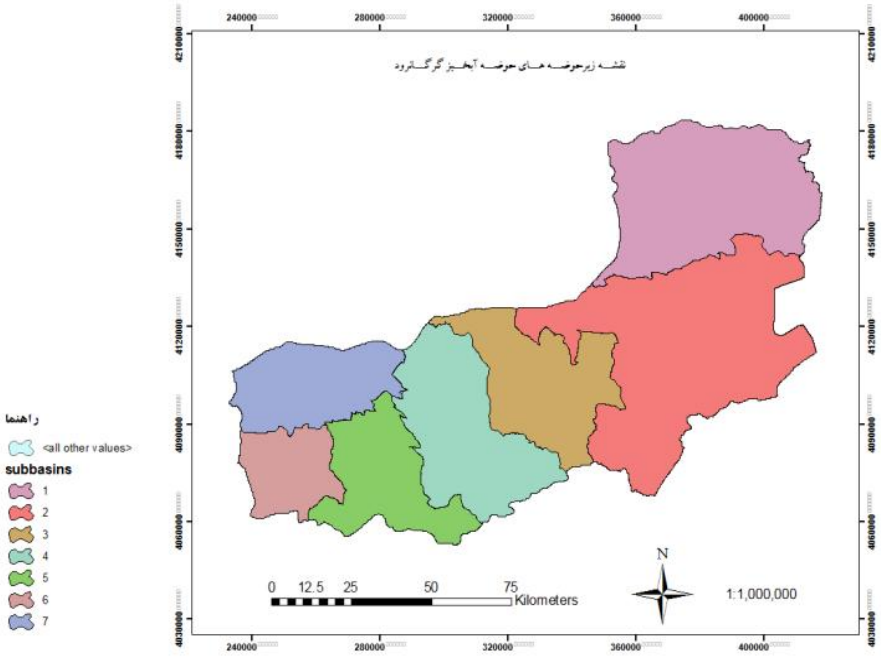
در نقشه حاصل از MCE، ارزش‌ها به‌صورت بایت است. به‌منظور تفسیر راحت‌تر، به مناطق با کیفیت بالاتر برای کشاورزی ارزش یک و به سایر مناطق ارزش صفر داده شد. در این

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]



شکل ۱. مراحل مدل‌سازی آلودگی غیرنقطه‌ای در محیط GIS



شکل ۲. نقشه زیرحوضه‌های حوضه آبخیز گرگانرود

جدول1. وزن‌های تعریف شده برای هر یک از لایه‌ها

	شیب	رودخانه	جنگل	مناطق مسکونی	جاده	خاک
شیب	۱					
رودخانه	۱/۲	۱				
جنگل	۱/۵	۱/۴	1			
مناطق مسکونی	۱/۴	۱/۳	۲	۱		
جاده	۱/۳	۱/۲	۳	۲	۱	
خاک	۱/۳	۱/۲	۳	۲	۱	۱

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]

جدول 2. مقایسه مساحت کاربری‌ها در دو سال 1984 و 2010

نام کاربری	مساحت در سال ۱۹۸۴ (هکتار)	مساحت در سال ۲۰۱۰ (هکتار)
مناطق مسکونی	5237/87	15487/59
جنگل	485264/76	331883/04
کشاورزی	516908/52	630737/19
مرتع	159107/61	185558/02
بایر	23506/93	23522/26
جاده	9666/07	11430/24
رودخانه	5416/98	5487/18

مطالعه، مطابق نظر کارشناسی به ارزش 140 به بالا ارزش یک و به ارزش‌های 140 به پایین ارزش صفر داده شد. با به‌دست آمدن لکه‌های مناسب کشاورزی، مناطقی که در حال حاضر به کاربری کشاورزی اختصاص یافته اما توان لازم را دارا نیست به مرتع تغییر یافت. به این ترتیب نقشه کاربری مناسب ایجاد شد و در مرحله بعد نقشه کاربری پیشنهادی و نقشه کاربری کنونی به‌طور جداگانه در مدل L-THIA قرار داده شد ونتایج آلودگی ناشی از هر یک به‌دست آمد و در انتها با یکدیگر قیاس شد.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی در این مطالعه، بررسی اثر تغییر کاربری بر میزان آلودگی غیر نقطه‌ای آب حوضه گرگانرود و در نهایت ارائه یک مدل بهینه برای مکان‌یابی کاربری کشاورزی است. مقایسه مساحت کاربری‌ها در سال‌های 1984 و 2010 نشان‌دهنده افزایش بی‌رویه اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و جاده‌ها و کاهش کاربری جنگلی در بین سال‌های مذکور است (جدول 2) جدول 3 نیز مقایسه بین حجم رواناب سال‌های 1984 و 2010 (نتیجه حاصل از مدل L-THIA) را نشان می‌دهد. حجم رواناب در طی این سال‌ها 30537213/8 متر مکعب، در کل حوضه افزایش یافته است. به‌عبارتی دیگر، حجم رواناب کل از 342/33 متر مکعب در هکتار در سال 1984 به 367/50 متر مکعب در هکتار در سال 2010 افزایش یافته است که با عنایت به افزایش کاربری کشاورزی کاملا منطقی است.

در جدول 4 نیز مقایسه‌ای بین آلاینده‌های محاسبه شده توسط مدل L-THIA برای سال‌های 1984 و 2010 صورت گرفته است که حاکی از افزایش آلودگی در این سال‌ها است.

با محاسبه آلودگی غیرنقطه‌ای توسط مدل L-THIA در هفت زیرحوضه اصلی منطقه، زیرحوضه هفت به¬عنوان منطقه بحرانی شناخته می‌شود (جدول5). در این زیرحوضه کاربری غالب، کشاورزی است.

BMP پیشنهادی در این تحقیق مدل حرفی ارائه شده برای مکان‌یابی کشاورزی است. در مدل حرفی، برای رودخانه نوار حاشیه ایجاد شد تا انتقال آلاینده‌های ناشی از کشاورزی و رواناب کشاورزی به آب به حداقل ممکن، برسد. مناطق مسکونی و جاده‌ها بیشترین پتانسیل ایجاد آلودگی را به‌دلیل تردد وسایل نقلیه و وجود سطوح آسفالت دارند که این مسئله می‌تواند در تشدید اثر آلودگی غیرنقطه‌ای نقش داشته باشد. بنابراین برای لایه‌های جاده‌ها و مناطق مسکونی نیز بافر ایجاد شد. حداکثر فاصله تعریف شده برای هر یک از لایه‌های رودخانه، مناطق مسکونی و جاده‌ها نیز به‌دلیل قابلیت دسترسی مردم است. در این مدل برای اراضی جنگلی ارزش صفر درنظرگرفته شد. از آنجا که مناطق جنگلی در کاهش حجم رواناب ناشی از بارندگی نقش به‌سزایی را ایفا می‌کنند جلوگیری از کاهش مساحت این کاربری (جلوگیری از جنگل‌تراشی) می‌تواند باعث کاهش آلودگی غیرنقطه‌ای شود. شیب کم (صفر تا دوازده) و هم‌چنین الویت گروه هیدرولوژیکی C نسبت به گروه هیدرولوژیکی D خاک نیز

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]

جدول 3. مقایسه حجم رواناب در مساحت کل هر کاربری در سال‌های 1984 و 2010

کاربری	حجم رواناب (M^3) سال ۱۹۸۴	حجم رواناب (M^3) سال ۲۰۱۰
جنگل	۱۱۵۰۵۴۵۱۳/۹	۷۹۴۸۵۹۵۹/۷
علفزار/ مرتع	۴۱۰۱۶۵۶۲/۱	۴۸۰۹۶۸۲۱/۵۴
کشاورزی	۲۵۰۵۰۵۸۱۱/۱	۳۰۳۷۷۳۰۷۲/۷
آب	۱۵۳۲۵۳۱/۱۲	۱۶۳۵۳۸۷/۰۲
جاده‌ها	۵۰۹۷۳۲۴/۳۲	۶۸۵۴۴۳۴/۳۵
مناطق مسکونی	۲۰۷۱۹۰۷/۷۱	۵۹۷۱۶۲۷/۵۴
حجم کل رواناب (M^3) در کل حوضه	۴۱۵۲۷۸۶۵۰/۲	۴۴۵۸۱۵۸۶۴

جدول 4. مقایسه آلاینده‌های آب در سال‌های 1984 و 2010

آلاینده	نرخ آلاینده در سال ۱۹۸۴ (Kg/ha)	نرخ آلاینده در سال ۲۰۱۰ (Kg/ha)
نیترات	۰/۳۸۶	۰/۴۴۶
فسفر	۰/۲۷۸	۰/۳۳۳
روی	۰/۰۵۰	۰/۰۵۵
کادمیوم	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۶
کروم	۰/۰۳۰	۰/۰۳۳
BOD	۱/۲۱	۱/۳۳

جدول 5. مقایسه آلودگی نیتروژن زیرحوضه‌های حوضه آبخیز گرگانرود

نام زیر حوضه	میزان آلودگی غیرنقطه‌ای (برحسب نیتروژن کل kg/ha)
زیرحوضه یک	1/19
زیرحوضه دو	0/87
زیرحوضه سه	1/01
زیرحوضه چهار	1/18
زیرحوضه پنج	0/99
زیرحوضه شش	0/14
زیرحوضه هفت	2/13

جدول 6. مقایسه مساحت دو کاربری کشاورزی و مرتع در کاربری کنونی و پیشنهادی

کاربری	مساحت (ha) کاربری کنونی	مساحت (ha) کاربری پیشنهادی
کشاورزی	۶۳۰۷۳۷/۱۹	۱۹۱۳۰۳/۳۷
مرتع/علفزار	۱۸۵۵۵۸/۰۲	۶۲۸۸۵۵/۹۷

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]

جدول 7. مقایسه حجم رواناب در کاربری کنونی و در کاربری پیشنهادی

کاربری	حجم رواناب (M^3) با کاربری کنونی	حجم رواناب (M^3) با کاربری پیشنهادی
جنگل	۷۹۴۸۵۹۵۹/۷	۷۹۳۹۷۱۵۶/۹
علفزار/ مرتع	۴۸۰۹۵۳۸۲/۸	۱۹۳۵۳۶۴۴۰/۷
کشاورزی	۳۰۳۷۷۳۰۷۲/۷	۸۵۷۹۳۳۶۶/۶
جاده	۶۸۵۴۴۳۴/۴	۷۵۷۷۳۱۰/۹
مناطق مسکونی	۵۹۷۱۶۲۷/۵	۶۲۹۲۲۹۹/۳
حجم کل رواناب (M^3) در کل حوضه	۴۴۵۸۱۵۸۶۴/۱	۳۷۴۳۵۱۲۹۹/۲

جدول 8 . مقایسه آلاینده‌ها بین کاربری کنونی و کاربری پیشنهادی

آلاینده	نرخ آلاینده در کاربری حاضر (Kg/ha)	نرخ آلاینده در کاربری پیشنهادی (Kg/ha)
نیترات	۰/۵	۰/۲۱
فسفر	۰/۳۳	۰/۱۰۱
روی	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳
کادمیوم	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳۰
کروم	۰/۰۳۳	۰/۰۲۴
BOD	۱/۳۳	۰/۶۶

به‌منظور کاهش فرسایش‌پذیری است. فرسایش یکی از دلایل اصلی آلودگی غیرنقطه‌ای است.

در جدول 6 مقایسه‌ای بین دو کاربری کشاورزی و مرتع و علفزار در کاربری پیشنهادی (حاصل مدل حرفی تعریف شده) و کاربری حاضر انجام شده است که تفاوت قابل توجهی را نشان می‌دهد.

با اجرای مدل L-THIA برای کاربری کنونی و کاربری پیشنهادی و مقایسه نتایج، کاهش شدیدی در حجم رواناب، میزان نیتروژن و BOD و سایر آلاینده‌ها مشاهده شد (جدول‌های 7 و 8).

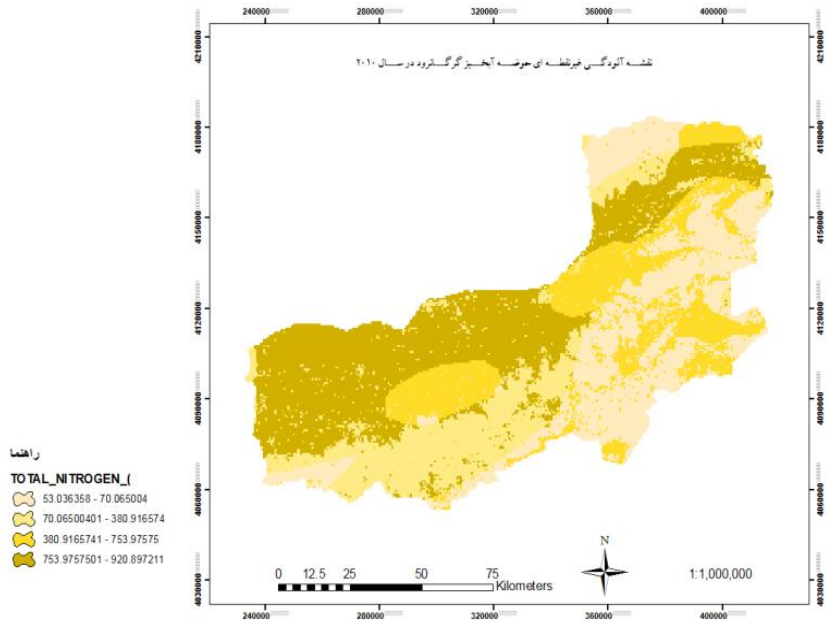
میزان نیتروژن موجود در رواناب از 3/26 میلی‌گرم بر لیتر در کاربری کنونی به 1/58 میلی‌گرم در لیتر در کاربری پیشنهادی و اکسیژن خواهی بیولوژیکی یا BOD آب نیز از 3/61 به 2/13 میلی-گرم در لیتر رسید. سایر آلاینده‌ها نیز کاهش را نشان دادند. از آنجا که بعضی از آلاینده‌ها به میزان کمی در رواناب مشاهده می‌شوند برحسب کیلوگرم بر هکتار در جدول 8 محاسبه شده‌اند. نقشه‌های آلودگی غیرنقطه‌ای حاصل از مدل L·THIA برای کاربری کنونی و کاربری پیشنهادی در شکل 3 و 4 نشان داده شده است.

با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی چند معیاره (MCE) این فرضیه که "مکان مناسب برای کشاورزی با کاربری کنونی تفاوت دارد." تایید می‌شود. به‌عبارتی مساحت کاربری کشاورزی بر مبنای ارزیابی چند معیاره، بسیار کمتر از مساحت اراضی کشاورزی در کاربری کنونی است. مطابق جدول 6 اراضی کشاورزی از 630737/19 هکتار در کاربری کنونی به 191303/37 هکتار در کاربری پیشنهادی می‌رسد که کاهشی در حدود 439433/82 هکتار را نشان می‌دهد.این ارقام نشان می‌دهد که کشاورزی صورت گرفته در منطقه به‌صورت کاملاً غیراصولی بوده است و باعث ایجاد مشکلات و معضلات محیط زیستی فراوانی از جمله آلودگی غیرنقطه‌ای آب شده است. در ادامه، پیشنهادهایی به‌صورت پژوهشی و اجرایی به‌منظور کاهش این اثرات مخرب محیط زیستی ارائه شده است:

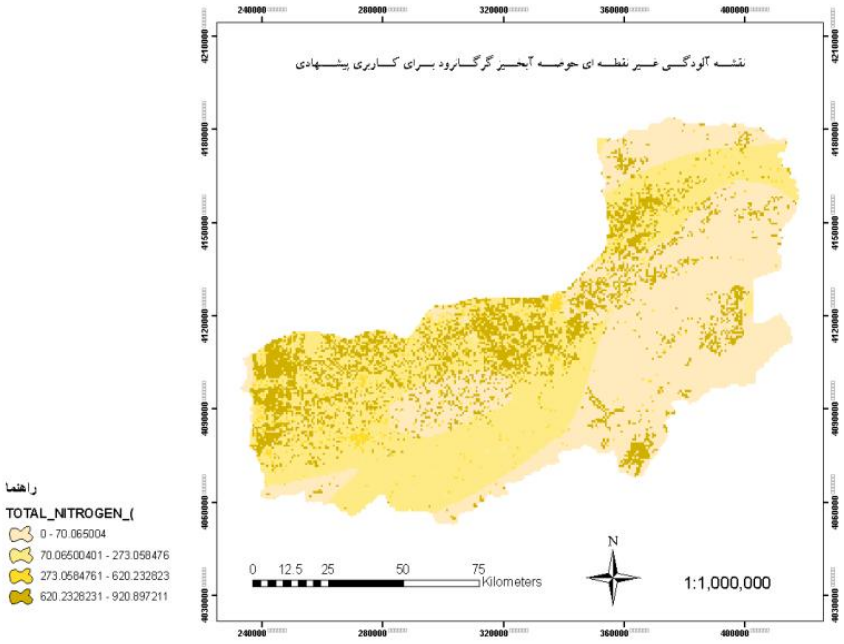
1. مطالعه انواع دیگر بهترین شیوه‌های مدیریت (BMP) و تعیین اثرات آنها بر آلودگی آب در حوضه آبخیز گرگانرود.
2. مطالعه و بررسی در مورد کارایی سایر مدل‌های آلودگی غیرنقطه‌ای.
3. ایجاد نوار حاشیه‌ای ضربه‌گیر در اطراف رودخانه‌ها به‌منظور ته‌نشینی مواد مغذی و رسوبات در این مناطق و جلوگیری

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]



شکل 3. نقشه آلودگی غیرنقطه‌ای حوضه آبخیز گرگانرود در سال 2010



شکل 4. نقشه آلودگی غیرنقطه‌ای کاربری پیشنهادی حوضه آبخیز گرگانرود

از ورودشان به آب.

4. ایجاد مناطق حاشیه‌ای ضربه‌گیر نزدیک مناطق مسکونی و جاده‌ها، برای جلوگیری از ورود مواد مغذی به داخل آب.
5. جلوگیری از گسترش بی‌رویه اراضی کشاورزی.
6. جلوگیری از جنگل‌تراشی و حفاظت بیشتر از جنگل‌ها و مراتع.
7. در صورت امکان تبدیل اراضی کشاورزی به علفزار و اشتغال کشاورزان به فعالیت‌هایی دیگر.

لازم به‌ذکر است که تبدیل اراضی کشاورزی به مرتع و تشویق کشاورزان به سایر مشاغل، معضلات زیادی از جمله

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]

مقاومت کشاورزان را به همراه خواهد داشت که در این زمینه باید مطالعات زیادی از جمله مطالعات اجتماعی و مطالعات محیط زیستی انجام شود ضمن این‌که با آگاهی دادن به مردم از خود مردم بومی منطقه نیز هم‌فکری‌های لازم صورت گیرد. برای این منظور، لازم است تا نشست‌های زیادی بین مردم و مسئولین صورت گیرد تا مردم راحت‌تر متقاعد شوند و بتوانند به مسئولین اعتماد کنند.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، مقایسه بین مساحت کاربری‌ها در سال‌های 1980 و 2010 و محاسبه آلودگی غیرنقطه‌ای هر یک از کاربری‌ها توسط مدل L-THIA نشان‌دهنده روند افزایشی مساحت کاربری کشاورزی و افزایش بی‌رویه آلودگی غیرنقطه‌ای در سال‌های مذکور بود ضمن این‌که کاهش اراضی جنگلی نیز حاکی از جنگل‌تراشی به‌منظور ایجاد اراضی بیشتر کشاورزی بود. محاسبه آلودگی غیرنقطه‌ای هر یک از زیرحوضه‌ها در سال 2010 زیرحوضه هفت را به‌عنوان زیرحوضه بحرانی نشان داد که البته کاربری غالب این زیرحوضه نیز کشاورزی است.

مکان‌یابی اراضی کشاورزی. به‌وسیله ارزیابی چند معیاره (MCE)، به‌عنوان یک BMP در منطقه مطالعاتی کاهش زیادی در میزان آلودگی غیرنقطه‌ای را نشان داد و فرضیه کاهش میزان آلودگی در آب‌های حوضه آبخیز گرگانرود به‌سبب تغییر کاربری تایید شد. فعالیت‌های کشاورزی به‌صورت کنترل شده می‌تواند از میزان آلودگی غیرنقطه‌ای آب بکاهد. ضمن این‌که حفظ جنگل‌ها نیز از یک سو موجب کاهش میزان آلودگی غیرنقطه‌ای و در نتیجه حفظ اکوسیستم‌های آبی و از سوی دیگر باعث ایجاد زیستگاهی برای بسیاری از گونه‌ها می‌شود. بنابراین به‌کارگیری بهترین شیوه‌های مدیریت (BMP) جهت رسیدن به اهدافی از قبیل حفاظت از اکوسیستم‌های آبی و جنگلی و تامین نیازهایی چون آب آشامیدنی سالم، ضروری است اما همان‌طور که در بخش نتایج نیز آمده است، به‌منظور موفقیت بیشتر در تمامی این مباحث مدیریتی لازم است مردم بومی منطقه و عقاید آنها در نظر گرفته شود.

این پژوهش نیز مانند سایر مطالعات پیشین، مزیت مدل-سازی آلودگی غیرنقطه‌ای در پیش‌بینی این نوع آلودگی و سودمندی اجرای بهترین شیوه‌های مدیریت BMP را نشان داد.

منابع مورد استفاده

1. معاونت برنامه‌ریزی استانداری گلستان، وزارت کشور. 1386. طرح مدیریت و پایش محیط زیستی رودخانه گرگانرود. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
2. EPA. 2005. L-HTIA NPS. Available from: United States Environmental Protection Agency (EPA). http://www.ecn.purdue.edu/runoff/. Site visited on 04.02.11.
3. Esen, E. and O. Uslu. 2008. Assessment of the effects of agricultural practices on non-point source pollution for a coastal watershed: A case study Nif Watershed, Turkey. *Ocean and Coastal Management* 51: 601-611.
4. Lee, C. S., C. H. Chang, C. G. Wen and S. P. Chang. 2010. Comprehensive nonpoint source pollution models for a free-range chicken farm in a rural watershed in Taiwan. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: 23–32 .
5. Loague, K. and D. L. Corwin. 2005. Point and nonpoint source pollution. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*: 1427-1439.
6. Luo, B., J. B. Li, G. H. Huang and H. L. Li. 2006. A simulation-based interval two-stage stochastic model for agricultural nonpoint source pollution control through land retirement. *Science of the Total Environment* 361: 38–56.
7. Mostaghimi, S., S.W. Park, R. A. Cooke and S.Y. Wang. 1997. Assessment of management alternatives on a small agricultural watershed. *Elsevier Science* 31(8): 1867-1878.
8. O'Geen, A. T., R. Budd, J. Gan, J. J. Maynard, S. J. Parikh and R. A. Dahlgren. 2010. Mitigating nonpoint source pollution in agriculture with constructed and Restored Wetlands. *Advances in Agronomy* 108(10): 1-76.
9. Rao, N. S., Z. M. Easton, E .M. Schneiderman, M .S. Zion, D .R. Lee and T. S. Steenhuis. 2009. Modelling

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]

watershed-scale effectiveness of agricultural best management practices to reduce phosphorus loading. *Journal of Environmental Management* 90: 1385-1395.
10. Shrestha, S., M. Babel, A. D. Gupta and F. Kazama. 2005. Evaluation of annualized agricultural nonpoint source model for a watershed in the Siwalik Hills of Nepal. *Environmental Modelling & Software* 21: 961-975.
11. Tang, Z., B. A. Engel, B. C. Pijanowski and K. J. Lim. 2005. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of Environmental Management* 76: 35–45.
12. Tian, Y., Z. Huage and W. Xiao. 2010. Reductions in non-point source pollution through different management practices for an agricultural watershed in the three Gorges Resesrvoir Area. *Journal of Environmental Sciences* 22(2): 184-191.
13.USDA. 1986. Urban Hydrology for small watersheds. www.cpesc.org/reference/tr55.pdf . Site visited on 09.04.12.
14.Vowell, J. L. 2001. Using stream bioassessment to monitor best management practice effectiveness. *Forest Ecology and Management* 143: 237-244.
15. Walton, R. S. and H. M. Hunter. 2009. Isolating the water quality response of multiple land use from stream monitoring data through model calibration. *Journal of Hydrology* 378: 29-45.
16. Wang, L., J. Wei, Y. Huang, G. Wang and E. Maqsood. 2011. Urban nonpoint source pollution buildup and washoff models for simulating storm runoff quality in the Los Angeles County. *Environmental Pollution* 159: 1932-1940.
17. Xiang, W. N. 1996. GIS-based riparian buffer analysis: injection geographic information into landscape planning. *Landscape and Urban Planning* 34: 1-10.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1393.3.8.4.4]