



## Determining the best management practices of non-point pollutants using ArcSWAT model (Case study: Dashte Bozorg catchment)

Lida Vasel<sup>1</sup> | Ahmad Farrokhian Firouzi<sup>2</sup> | Ataallah Khademalrasoul<sup>3</sup>

1. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz,

Iran. E-mail: [l-vasel@stu.scu.ac.ir](mailto:l-vasel@stu.scu.ac.ir)

2. Corresponding Author, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: [a.farrokhian@scu.ac.ir](mailto:a.farrokhian@scu.ac.ir)

3. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. E-mail: [a.khademalrasoul@scu.ac.ir](mailto:a.khademalrasoul@scu.ac.ir)

### Article Info

**Article type:** Research Article

#### Article history:

**Received:** Oct. 31, 2022

**Revised:** May. 26, 2023

**Accepted:** May. 28, 2023

**Published online:** June. 22, 2023

#### Keywords:

Conservation Tillage,  
Crop Rotation,  
Nitrogen,  
Phosphorous,  
Residue Management.

### ABSTRACT

The best management practices are solutions to reduce non-point pollution in catchments. In many cases, the use of these solutions requires knowing the features of the watershed and investing in this sector. Accordingly, the use of computer models to simulate real catchment conditions can be an effective way to reduce time and cost. This research aimed to investigate the effect of different management scenarios on non-point source pollution losses in Dashte Bozorg catchment in Iran using the ArcSWAT model. To collect observational data, river water was sampled from September 2020 to June 2021. Calibration data were selected from September to March and validation data from April to June. After identifying critical areas, three non-structural scenarios and five structural scenarios were simulated using the model. The results revealed that the ArcSWAT model provides a good prediction in estimating non-point source pollution loads (nitrate, total nitrogen, and total phosphorus). The "wheat-potato-tomato" and "wheat, rice-wheat, mung bean-wheat" rotation scenarios showed the highest total nitrate and nitrogen loss, while the lowest total phosphorus loss was observed in the "wheat-potato-tomato" rotation. The terracing and buffer strip methods were recognized as the best methods of reducing the load of non-point pollution. The findings showed that the application of management practices in dominant land use and reduce the degree of slope can significantly reduce the non-point source pollution loads.

Cite this article: Vasel, L., Farrokhian Firouzi, A., & Khademalrasoul, A. (2023). Determining the best management practices of non-point pollutants using ArcSWAT model (Case study: Dashte Bozorg catchment). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (4),655-673. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350603.669387>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350603.669387>



## تعیین بهترین شیوه‌های مدیریتی آلاینده‌های غیر نقطه‌ای با استفاده از مدل ArcSWAT (مطالعه موردی: حوضه آبریز دشت بزرگ)

لیدا واصل<sup>۱</sup> | احمد فرخیان فیروزی<sup>۲</sup> | عطااله خادم الرسول<sup>۳</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: [l-vasel@stu.scu.ac.ir](mailto:l-vasel@stu.scu.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: [a.farrokhan@scu.ac.ir](mailto:a.farrokhan@scu.ac.ir)

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: [a.khademalrasoul@scu.ac.ir](mailto:a.khademalrasoul@scu.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	بهترین شیوه‌های مدیریتی راهکارهایی در راستای کاهش آلاینده‌های غیر نقطه‌ای در حوضه‌های آبریز هستند. استفاده از این راهکارها مستلزم شناخت ویژگی‌های حوضه و سرمایه‌گذاری در حوضه‌های آبریز است. بر این مبنا کاربرد مدل‌های کامپیوتری به منظور شبیه‌سازی شرایط واقعی حوضه‌های آبریز کمک موثری به کاهش وقت و هزینه می‌کند. هدف از این پژوهش بررسی اثر سناریوهای مدیریتی مختلف بر هدررفت آلاینده‌های غیر نقطه‌ای در حوضه‌ی آبریز دشت بزرگ در ایران با استفاده از مدل ArcSWAT است. برای گردآوری داده‌های مشاهده‌ای، نمونه‌برداری از آب رودخانه از شهریور ماه ۱۳۹۹ تا خرداد ۱۴۰۰ انجام شد. داده‌های مشاهده‌ای ماه‌های شهریور تا اسفند برای واسنجی مدل و داده‌های مشاهده‌ای ماه‌های فروردین تا خرداد برای اعتبار سنجی مدل استفاده گردید. پس از شناسایی مناطق بحرانی، سه سناریو غیر سازه‌ای و پنج سناریو سازه‌ای به مدل اعمال شد. نتایج نشان داد که مدل ArcSWAT پیش‌بینی بسیار خوبی در برآورد بار آلاینده‌های غیر نقطه‌ای (نیتрат، نیتروژن کل و فسفر کل) داشته است. سناریوهای تناوب «گندم-سیب‌زمینی-گوجه‌فرنگی» و «گندم، برنج-گندم، ماش-گندم» بیشترین هدررفت نیترات و نیتروژن کل را نشان دادند درحالی‌که کمترین میزان هدررفت فسفر کل در تناوب «گندم-سیب زمینی-گوجه فرنگی» مشاهده شد. روش‌های ترانس‌بندی و بافر گیاهی به عنوان روش‌های برتر کاهش بار آلاینده‌های غیر نقطه‌ای شناخته شدند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که انجام اقدامات مدیریتی در کاربری‌های غالب و در جهت کاهش درجه شیب می‌تواند بار آلاینده‌های غیر نقطه‌ای را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد.
واژه‌های کلیدی: تناوب زراعی، خاک‌ورزی حفاظتی، فسفر، مدیریت بقایا، نیتروژن.	

استناد: واصل، لیدا؛ فرخیان فیروزی، احمد؛ و خادم الرسول، عطااله (۱۴۰۲). تعیین بهترین شیوه‌های مدیریتی آلاینده‌های غیر نقطه‌ای با استفاده از مدل ArcSWAT (مطالعه

موردی: حوضه آبریز دشت بزرگ)، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۴)، ۶۷۳-۶۸۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350603.669387>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350603.669387>

## مقدمه

آلاینده‌های غیر نقطه‌ای<sup>۱</sup> آلاینده‌هایی با منبع نامشخص هستند که می‌توانند در اثر فرسایش و جابه‌جایی خاک موجب آلودگی و کاهش کیفیت آب رودخانه‌ها شوند (O'Geen et al., 2010; Tokatlı and Varol, 2021). منابع اصلی آلاینده‌های غیر نقطه‌ای اغلب عناصر مغذی مانند نیتروژن، فسفر و نیترات هستند که عمدتاً از زمین‌های کشاورزی ناشی می‌شوند (Peng et al., 2022). غنی شدن رسوبات حاصل از فرسایش با این عناصر، می‌تواند منجر به کمبود عناصر مغذی در یک نقطه و تجمع آن در مکان دیگری گردد (Holz and Augustin., 2021). در دهه‌های اخیر جابه‌جایی و انتقال عناصر مغذی منجر به چالش‌هایی در حوضه زیست محیطی شده است (Oyedotun and Ally, 2021). استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره عامل اصلی بحرانی شدن وضعیت سلامت آبزیان و انسان و ایجاد پدیده اوتروفیکاسیون<sup>۲</sup> در آب می‌باشد (Song et al., 2021; Martínez-Dalmau et al., 2021; Holas et al., 1999; (2022). علاوه بر پدیده اوتروفیکاسیون، فسفر و نیتروژن از عوامل موثر بر رشد و تکثیر سیانوباکتری<sup>۳</sup> هستند که بر سلامت بیولوژیکی آب‌ها نیز تاثیر منفی می‌گذارند (Li et al., 2022). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که غلظت آلاینده‌های غیر نقطه‌ای در رواناب با میزان کود مورد استفاده در مزرعه همبستگی مثبتی دارد بطوریکه کاهش کوددهی می‌تواند منجر به کاهش آلودگی آب‌های سطحی گردد (Liu et al., 2020). سالانه مقادیر زیادی فسفر و نیتروژن از طریق رواناب وارد رودخانه‌ها می‌شوند و عواملی مانند تغییر اقلیم، وقوع سیلاب‌ها و بارش‌های با شدت زیاد نیز این امر را تشدید می‌کنند (Yang et al., 2009; Fouilland et al., 2012; Li et al., 2021).

عوامل مکانی شامل مساحت، ارتفاع، درجه شیب، کاربری اراضی و عواملی همچون فصول مرطوب و خشک در حوضه‌های آبریز تعیین کننده مقدار نیتروژن و فسفر موجود در آب‌های سطحی هستند (Liu et al., 2022). به غیر از عوامل مکانی که بر تولید آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارند، عوامل زمانی نیز می‌توانند باعث افزایش غلظت آلاینده‌های غیر نقطه‌ای در آب‌ها و تجمع روز افزون آن‌ها شوند (Liang et al., 2022). در این راستا، شیوه‌های حفاظتی می‌توانند به عنوان یک راهکار کارآمد در جهت کاهش اثرات منفی فرآیندهای انسانی بر محیط زیست و منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرند (Ashworth et al., 2021). با توجه به اینکه در عمل اجرای اقدامات مدیریتی نیازمند سرمایه‌گذاری و گردآوری اطلاعات دقیق حوضه آبریز است و از سویی وجود شرایط نامطلوب برخی حوضه‌ها امکان دسترسی و اندازه‌گیری پارامترها در برخی مناطق را ناممکن می‌سازد، در این شرایط، استفاده از مدل‌های کامپیوتری مانند مدل SWAT<sup>۴</sup> به عنوان یک ابزار پیش‌بینی جهت تعیین بهترین شیوه‌های مدیریتی می‌تواند مفید باشد (Shope et al., 2014; Ricci et al., 2020). این مدل با اجرای سناریوهای مختلف، امکان شناسایی مناطق بحرانی آلاینده‌های غیر نقطه‌ای را در حوضه‌های آبریز فراهم می‌کند (Merriman et al., 2019; Zhang et al., 2022).

نوری و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل ArcSWAT به بررسی منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای و تعیین مناطق بحرانی برای نیتروژن کل و فسفر کل در رودخانه سیمره در حوضه کرخه پرداختند. در این پژوهش دو سناریوی کاهش ۳۰ و ۵۰ درصد کود و سناریوی نوار بافر گیاهی به عنوان شیوه‌های مدیریتی شبیه‌سازی شدند. در این مطالعه مدل ArcSWAT نتایج خوبی را در تعیین مناطق بحرانی رسوب و بار آلاینده‌های غیر نقطه‌ای شامل نیتروژن کل و فسفر کل ارائه داد. شبیه‌سازی سناریوهای نشان داد که سناریوی نوار بافر اثر بیشتری بر کاهش رسوب در مقایسه با آلاینده‌های غیر نقطه‌ای دارد (Noori et al., 2018). رضازاده و همکاران (۱۳۹۷) دو سناریوی تغییر کاربری و نوارهای بافر گیاهی را برای کاهش بار رسوب مورد استفاده قرار دادند و گزارش کردند که سناریوی نوار بافر گیاهی باعث کاهش ۳۸ درصدی در بار رسوب می‌شود و میزان اثرگذاری، برای سناریوی تغییر کاربری اراضی ناچیز گزارش شد (Rezazadeh et al., 2018).

Lamba et al. (2016) اثر شیوه‌های مدیریتی را بر بار فسفر کل مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه بیشترین هدررفت فسفر کل از کاربری زراعی رخ داد و پس از اجرای برنامه‌های حفاظتی میزان فسفر کل تا حد قابل توجهی کاهش یافت. (Himanshu et al., 2019) به ارزیابی میزان اثربخشی شیوه‌های مدیریت زراعی شامل مدیریت کود و خاک‌ورزی تحت تناوب چهار محصول زراعی ذرت، برنج، سویا و بادام زمینی و مدیریت اراضی شامل کشت کنتوری و نوار فیلتر بر کاهش رسوب و مواد مغذی پرداختند. تناوب بادام زمینی و

1. Non-point source pollution  
2. Eutrophication  
3. Cyanobacterial  
4. Soil and water assessment tool

سویا به عنوان بهترین تناوب و روش‌های خاک‌ورزی کولتیواتور مزرعه، شخم حفاظتی، کشت کنتوری و نوارهای فیلتر به عنوان روش‌های برتر و موثر بر کاهش رسوب و مواد مغذی معرفی شدند. (Merriman et al. (2019) با استفاده از مدل ArcSWAT به بررسی انواع شیوه‌های مدیریتی در حوضه آبریز رودخانه شرقی، ویسکانسین پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد بهترین شیوه‌های مدیریتی<sup>۱</sup> به صورت تلفیقی در مقایسه با کاربرد منفرد آن، عملکرد بهتری را ارائه می‌دهد. (Briak et al. (2019) سه روش کنتوربندی، تراس‌بندی و کشت نواری را در شمال مراکش مورد بررسی قرار دادند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها با مدل ArcSWAT نشان داد که تراس‌بندی برای حوضه‌های دارای شیب‌های تند، روش موثرتری است و می‌تواند تلفات رسوب را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. (Strauch et al. (2013) با استفاده از مدل ArcSWAT تاثیر شیوه‌های مدیریتی را بر کاهش بار رسوب مورد بررسی قرار دادند نتایج این مطالعه نشان داد که روش‌های سازه‌ای در مقایسه با روش‌های غیرسازه‌ای عملکرد بهتری دارند.

با توجه به وضعیت حوضه آبریز دشت بزرگ به لحاظ فرسایش‌پذیری و ایجاد رواناب و به دنبال آن افزایش آلاینده‌ها در رودخانه، ضرورت دارد که مطالعاتی در راستای مدیریت آلاینده‌ها در جهت اتخاذ تصمیم‌های راهبردی مبتنی بر توسعه پایدار صورت گیرد. لذا هدف از این پژوهش بررسی وضعیت آلاینده‌های غیر نقطه‌ای در بخش‌های مختلف حوضه آبریز دشت بزرگ در استان خوزستان در راستای تعیین بهترین شیوه‌های مدیریت، متناسب با حوضه مورد مطالعه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

حوضه آبریز دشت بزرگ در قسمت مرکزی استان خوزستان در محدوده طول جغرافیایی  $49^{\circ} 00'$  تا  $48^{\circ} 48'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $31^{\circ} 28'$  تا  $32^{\circ} 10'$  شمالی واقع شده است (شکل ۱). وسعت این حوضه  $2564/96$  کیلومتر مربع است و شامل شهرستان‌های مسجدسلیمان ( $64/3$  درصد)، رامهرمز ( $15$  درصد)، باغ ملک ( $14/1$  درصد)، شوشتر ( $6/4$  درصد) و ایذه ( $0/2$  درصد) می‌باشد. شاخه اصلی این حوضه، رودخانه شور است که از به هم پیوستن دو رودخانه شور و بهلول در نزدیکی مرزهای غربی حوضه آبریز دشت بزرگ ایجاد شده است و پس از عبور از ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ در طول جغرافیایی  $37^{\circ} 37'$  تا  $48^{\circ} 55'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $30^{\circ} 06'$  تا  $33^{\circ} 06'$  شمالی به روخانه کارون می‌پیوندد.

در این پژوهش از نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، اطلاعات کاربری اراضی، اطلاعات اقلیمی، اطلاعات خاکشناسی، شبکه آبراهه‌ها و موقعیت ایستگاه آب‌سنجی به عنوان اطلاعات ورودی به مدل ArcSWAT استفاده شد (شکل ۲). نقشه رقومی ارتفاعی با اندازه سلولی  $30$  متر در  $30$  متر از سایت USGS<sup>۲</sup> تهیه شد و سپس در محیط ArcGIS بر اساس مرز حوضه آبریز از سایر بخش‌ها جدا شد. اطلاعات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ تهیه شد و پس از اعمال پردازش‌های لازم در نرم افزار ENVI به محیط برنامه ArcGIS جهت آماده‌سازی مطابق با فرمت ورودی مدل ArcSWAT منتقل شد. اطلاعات اقلیمی شامل بارش و درجه حرارت روزانه از سازمان هواشناسی کشور و سازمان آب و برق استان خوزستان تهیه شد. اطلاعات بارش روزانه از ایستگاه‌های بتوند (باران‌سنج)، مسجدسلیمان (سینوپتیک)، درخزین (باران‌سنج)، گلگیر (باران‌سنج)، شوشتر (تبخیرسنج)، گتوند (تبخیرسنج) و اندیکا (باران‌سنج) تهیه گردید. علاوه بر اطلاعات بارش، اطلاعات حداکثر و حداقل درجه حرارت روزانه از ایستگاه‌های تبخیرسنج گتوند، شوشتر و ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان مورد استفاده قرار گرفت. نقشه خاکشناسی (تهیه شده از سازمان نقشه برداری کشور) در محیط ArcGIS 10.2 ایجاد و اصلاح شد. به منظور تکمیل اطلاعات خاک، حفر پروفیل بر اساس تحت رده موجود در هر واحد اراضی انجام شد و سپس به نقشه خاک اضافه گردید. شایان ذکر است مدل ArcSWAT بر اساس بر مشخصاتی که از هر پروفیل خاک دریافت می‌کند شبیه‌سازی را انجام می‌دهد. لذا در این پژوهش با حفر پروفیل و وارد نمودن اطلاعات دقیق هر پروفیل خاک به مدل، شبیه‌سازی دقیق‌تر بر مبنای اجزای واحد اراضی انجام شد. به منظور حفر پروفیل با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)<sup>۳</sup> موقعیت هر پروفیل شناسایی شد. در مجموع ۱۲ پروفیل (یک پروفیل در هر واحد اراضی) در منطقه حفر شد. پس از شناسایی پروفیل‌ها، بسته به عمق پروفیل مورد نظر، از هر عمق دو نمونه برداشته شد و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید. اطلاعات خاکشناسی شامل درصد شن، سیلت، رس و بافت خاک به روش هیدرومتری پس از حذف ماده آلی، اکسید آهن و آهن اندازه‌گیری شد (Gee and Bauder, 1979). کربن آلی به روش والکلی و بلیک

1. Best Management Practices (BMPs)

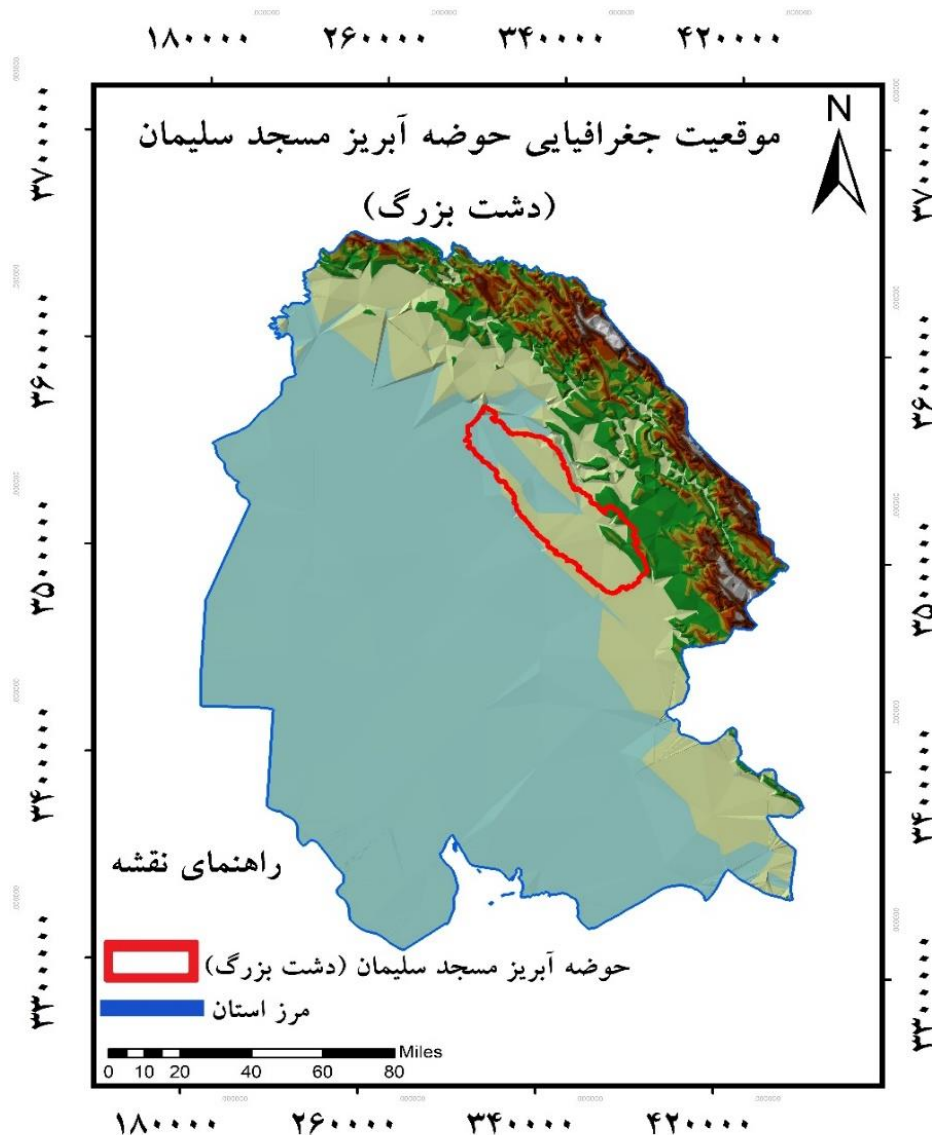
1. United States Geological Survey

3. Global Positioning System

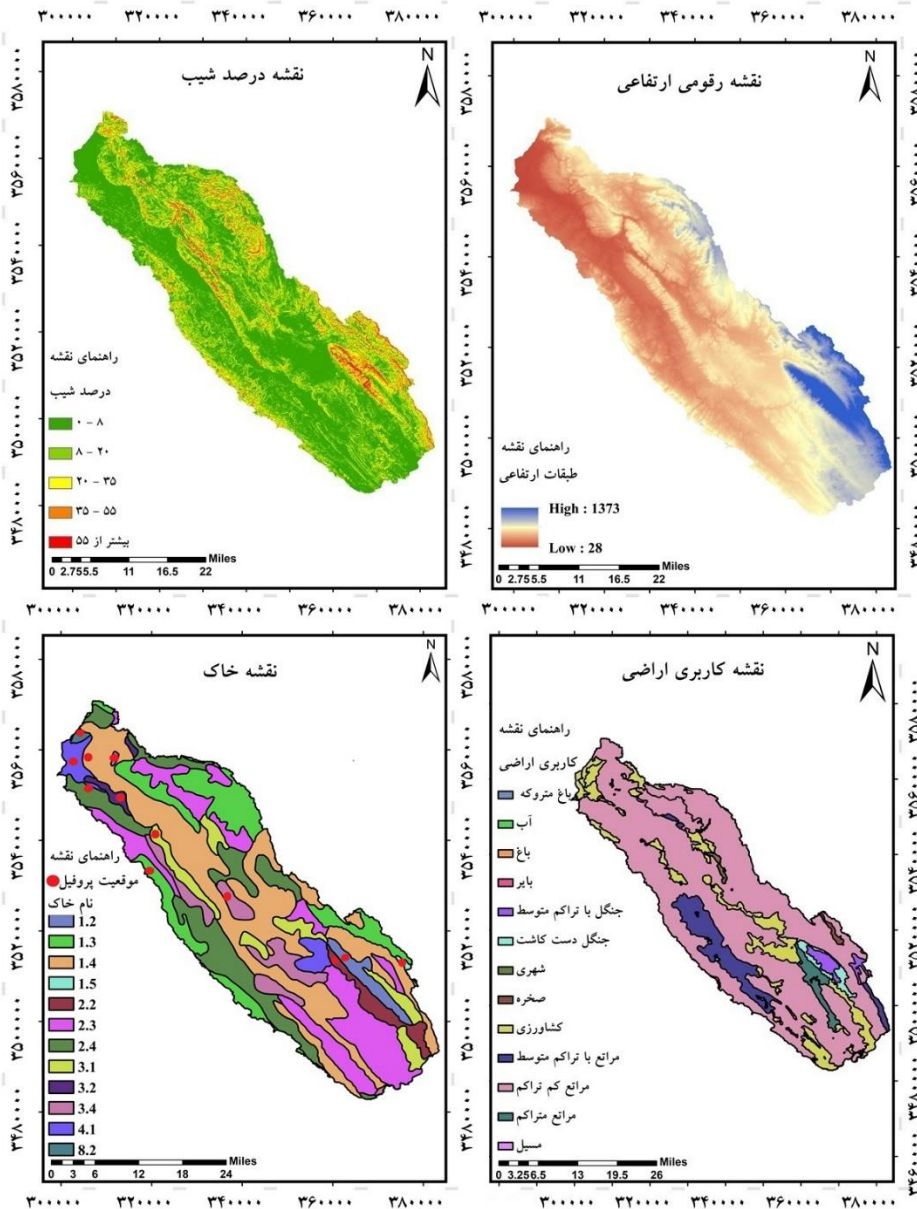
(Walkley and Black, 1934) هدایت الکتریکی در عصاره گل اشیاع و با استفاده از هدایت سنج (Page et al., 1982)، اسیدپته در عصاره گل اشیاع و با استفاده از pH متر (Mclean, 1982)، جرم مخصوص ظاهری خاک با روش کلوخه (Howard and Singer, 1981) و درصد آهک با روش (Elfaki, et al., 2016) در آزمایشگاه تعیین شد. هدایت هیدرولیکی اشیاع با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برنامه RETC برآورد گردید (van Genuchten et al., 1991).

### نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از آب رودخانه با استفاده از بطری‌های یک لیتری انجام شد. پس از نمونه‌برداری بطری‌ها تا زمان انتقال در محل تاریک و خنک نگه‌داری و سپس به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز منتقل شدند. نمونه‌برداری به صورت روزانه از شهریورماه ۹۹ تا خرداد ۱۴۰۰ انجام شد. نیترات آب با استفاده از آلیاژ دواردا و روش نسلریزاسیون<sup>۱</sup> و احیای نیترات به آمونیاک (Baird et al., 2017) و همچنین با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۲۰ و ۲۷۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (Armstrong, 1963). فسفر کل با روش اسید آسکوربیک (Strickland and Parsons, 1965) و در طول موج ۸۸۰ و در صورت غلظت بالا از روش وانادومولیدات و قرائت در طول موج ۴۰۰-۴۹۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد (Baird et al., 2017).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دشت بزرگ در استان خوزستان



شکل ۲. ورودی‌های مدل ArcSWAT، نقشه رقوم، ارتفاعی، اطلاعات درصد شیب، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک. اعداد موجود در نقشه خاک، اجزای واحد اراضی می‌باشند.

### شبیه‌سازی نیترات، نیتروژن کل، فسفر کل

به منظور شبیه‌سازی و تعیین مناطق بحرانی از داده‌های حاصل از آزمایش نمونه‌های آب استفاده شد. داده‌ها پس از نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های لازم به منظور واسنجی و اعتبارسنجی به بسته نرم افزاری SWAT-CUP وارد شدند. مراحل واسنجی و اعتبارسنجی توسط الگوریتم SUFI-2 انجام شد. اندازه‌گیری کربن لایه‌های خاک با استفاده از زیرمدل CSWAT در بخش مدیریت بقایا انجام شد. جهت واسنجی نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل به دلیل تعداد کم داده‌های مشاهده‌ای مطابق با روش (Tang et al., 2012) هیچ داده‌ای برای گرم کردن مدل مورد استفاده قرار نگرفت و داده‌های بدست آمده از آزمایش، از شهریور تا پایان اسفند ماه (۷۰ درصد داده‌ها) برای واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل به ترتیب با ۳۰ و ۷۰ درصد داده‌های اندازه‌گیری شده انجام شد. در این راستا توابع هدف ضریب تبیین ( $R^2$ )، ضریب نش-ساتکلیف (NS)، درصد اریبی (BIAS) و نسبت باقیمانده میانگین مربعات خطا به انحراف از معیار داده‌های مشاهداتی (RSR) در نظر گرفته شد که به ترتیب از روابط ۱ تا ۴ محاسبه می‌شوند (Abbaspour, 2015).

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - \overline{Q_m})(Q_{s,i} - \overline{Q_s})]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \overline{Q_m})^2 \sum_i (Q_{s,i} - \overline{Q_s})^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$



$$NS=1-\frac{\sum_i(Q_m-Q_s)_i^2}{\sum_i(Q_{m,i}-Q_m)^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$BIAS=100 \times \frac{\sum_{i=1}^n(Q_m-Q_s)_i}{\sum_{i=1}^n Q_{m,i}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$RSR=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n(Q_m-Q_s)_i^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n(Q_{m,i}-Q_m)^2}} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن Q متغیر مورد مطالعه است. اندیس m مربوط به مقدار اندازه‌گیری شده و اندیس s مربوط به مقدار شبیه‌سازی شده است.

### شبیه‌سازی سناریوهای مدیریتی

پس از تعیین زیرحوضه‌های بحرانی، سناریوهای مدیریتی در زیرحوضه‌های بحرانی شبیه‌سازی گردید. شبیه‌سازی سناریوی تناوب توسط مدل ArcSWAT در سطح حوضه و با توجه به تناوب‌های رایج منطقه انجام شد. چهار تناوب شامل: سه سال کشت پیاپی گندم (گندم-گندم-گندم)، استفاده از محصولات برنج و ماش بلافاصله پس از کشت گندم (گندم-برنج-گندم-ماش-گندم)، تناوب سه ساله برنج-ماش-گندم و تناوب گندم-سیب زمینی-گوجه فرنگی در نظر گرفته شد.

شبیه‌سازی سناریوی مدیریت بقایا با توجه به کشت گندم به عنوان کشت ثابت در تناوب و بر اساس میزان بقایای گندم (۳/۵ تن در هکتار بقایا) در سطح ۵۰ درصد (۱/۷۵ تن در هکتار) به همراه اثر سه سناریوی خاک‌ورزی معمولی<sup>۱</sup>، خاک‌ورزی حفاظتی<sup>۲</sup> و بدون خاک‌ورزی<sup>۳</sup> در سطح حوضه مورد بررسی قرار گرفت. منظور از سناریوی خاک‌ورزی معمولی، عملیات شخم با گاواهن برگردان دار، دیسک و ماله می‌باشد.

شبیه‌سازی سناریوی کنتوربندی و کشت نواری تا شیب حداکثر ۲۰ درصد اعمال شد. شبیه‌سازی سناریوی تراس‌بندی برای شیب‌های ۰-۸، ۸-۲۰ و ۲۰-۳۰ درصد انجام شد. برای اعمال بافرهای گیاهی ابتدا نسبت مساحت هر زیرحوضه به مساحت بافر، محاسبه و برای هر زیرحوضه اعمال گردید. مساحت بافر به اندازه مساحت آبراهه در همان زیرحوضه در نظر گرفته شد. شبیه‌سازی سناریوی آبراهه چمنی مطابق با USDA و مطالعه (Kalcic et al. (2015) با عرض ۱۰/۴ متر و عمق ۰/۲ متر در میانگین شیب پنج درصد در نظر گرفته شد (USDA-NRCS, 2007). طول هر آبراهه چمنی برابر با طول زمین زراعی در هر زیرحوضه محاسبه و اعمال شد.

### نتایج و بحث

در مرحله تحلیل حساسیت، پارامترهای موثر بر نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل با دو شاخص حساسیت t-stat و p-value شناسایی شدند. تعداد سه پارامتر در شبیه‌سازی نیترات حساسیت نشان دادند که بیشترین حساسیت در پارامتر HLIFE\_NGW (نیمه عمر نیترات در آبخوان کم عمق) با مقدار t-stat برابر با ۸/۵۴- و p-value کمتر از صفر مشاهده شد. در پژوهش (Donmez et al. (2020) یازده پارامتر موثر بر نیترات شناسایی گردید که سه پارامتر حساس در پژوهش حاضر (HLIFE\_NGW، SOL\_NO3 و SOLN\_CON) با پژوهش (Donmez et al. (2020) مشترک است.

پارامتر SOL\_ORGN (غلظت اولیه نیتروژن آلی در لایه خاک)، ERORGN (نسبت غنی‌سازی نیتروژن آلی) و NPERCO (ضریب جریان (percolation) نیتروژن) به ترتیب با مقدار t-stat برابر با ۲۱/۸-، ۵/۶- و ۴/۵- و p-value کمتر از صفر به عنوان حساس‌ترین پارامترهای موثر بر نیتروژن کل شناخته شدند. مقادیر t-stat منفی و p-value کمتر از صفر در مطالعه (Kuti and Ewemoje (2021) نیز به چشم می‌خورد.

در تحلیل حساسیت پارامترهای موثر بر فسفر کل، سه پارامتر در شبیه‌سازی فسفر کل حساس بودند. بیشترین حساسیت مربوط به پارامتر ERORGP (نسبت غنی‌سازی فسفر آلی) با مقدار t-stat برابر با ۳/۷- و p-value کمتر از صفر بود که تغییرات زیادی را در باندهای عدم قطعیت نشان داد. در پژوهشی (Dakhlalla and Parajuli (2019) پارامتر ERORGP را به عنوان پارامتر موثر بر فسفر کل و پارامترهای ERORGN، SOL\_ORGN، NPERCO، CDN و N\_UPDIS را به عنوان پارامترهای موثر بر نیتروژن کل شناسایی کردند که مشابه با نتایج پژوهش حاضر است. همچنین در پژوهش (Me et al. (2015) و (Risal and Parajuli (2019) پارامترهای

مشابه با پژوهش حاضر، برای دیگر پارامترهای حساس در این مطالعه در شبیه‌سازی نیتروژن کل و فسفر کل به چشم می‌خورد. این نتایج نشان می‌دهد که پارامترهای حساس در این مطالعه برای اغلب حوضه‌ها حساس هستند و بهتر است در فرآیند تحلیل حساسیت برای اغلب حوضه‌ها مورد توجه قرار گیرند. مقادیر اولیه و بهینه پارامترها به ترتیب از حساسیت زیاد به کم در جدول (۱) ارائه شده‌است.

جدول ۱. مقادیر اولیه و بهینه پارامترهای موثر بر نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل

پارامتر	علامت اختصاری	مقادیر اولیه	مقادیر اولیه	مقادیر بهینه	مقادیر بهینه
پارامترهای موثر بر نیترات		بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه
نیمه عمر نیترات در آبخوان کم عمق	v_HLIFE_NGW.gw	۲۰۰	۰	۹۷/۵	۷۵/۲
غلظت اولیه NO3 در لایه خاک	v_SOL_NO3.chm	۱۰۰	۰	۲۴/۳۶	۱۶/۸۹
غلظت نیتروژن محلول بدون رواناب، پس از اعمال BMP شهری	v_SOLN_CON.hru	۱۰	۰	۰/۲۳	۰/۰۷
پارامترهای موثر بر نیتروژن کل		بیشینه	کمینه	برازش شده	
غلظت اولیه نیتروژن آلی در لایه خاک	v_SOL_ORGN.chm	۱۰۰	۰	۳۱/۳	
نسبت غنی‌سازی نیتروژن آلی	v_ERORGN.hru	۵	۰	۰/۳۳	
ضریب جریان (percolation) نیتروژن	v_NPERCO.bsn	۱	۰	۰/۰۰۳	
پارامتر توزیع جذب نیتروژن	v_N_UPDIS.bsn	۱۰۰	۰	۸۰/۹	
میزان منبع رسوب NH4-N در آبراهه در ۲۰ درجه سانتی‌گراد	v_RS3.swq	۱	۰	۰/۴۵	
غلظت نیتروژن در بارندگی	v_RCN.bsn	۱۵	۰	۲/۷۱	
ضریب نمایی دنیتریفیکاسیون	v_CDN.bsn	۳	۰	۲/۸۸	
فاکتور میزان معدنی شدن نیتروژن آلی فعال	v_CMN.bsn	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	
ضریب سرعت ته نشینی نیتروژن آلی در آبراهه در محدوده ۲۰ درجه سانتی‌گراد	v_RS4.swq	۰/۱	۰/۰۰۱	۰/۰۸	
پارامترهای موثر بر فسفر کل		بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه
نسبت غنی‌سازی فسفر آلی	v_ERORGP.hru	۵	۰	۰/۰۴	۰
ثابت سرعت برای معدنی شدن فسفر آلی به فسفر محلول در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد	v_BC4.swq	۰/۷	۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۰۷
نرخ منبع عمقی (رسوب) برای فسفر محلول در آبراهه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد	v_RS2.swq	۰/۱	۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۰۶

v: مقدار مطلق پارامتر می‌باشد.

### واسنجی و اعتبارسنجی

واسنجی نیتروژن کل با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای ۷ ماه از شهر یور تا اسفند ۱۳۹۹ انجام شد. مقادیر اولیه و بهینه پارامترهای موثر بر نیتروژن کل در جدول (۱) ارائه شده است. شاخص‌های ارزیابی مدل در جدول (۲) برای شبیه‌سازی نیترات در مرحله واسنجی (NS = ۰/۸۲ و  $R^2 = ۰/۸۲$ ) و اعتبارسنجی (NS = ۰/۹۹ و  $R^2 = ۰/۹۹$ ) بیانگر عملکرد بسیار خوب مدل در هر دو مرحله است. همچنین تعداد ۲۲۶



راه حل رفتاری<sup>۱</sup> برای مرحله واسنجی با  $R\text{-factor} = 0/82$  و بدون تغییر در  $P\text{-factor}$  و  $28$  راه حل رفتاری با  $R\text{-factor} = 0/68$  و بدون تغییر در  $P\text{-factor}$  مشاهده گردید. راه حل‌های رفتاری راه حل‌هایی هستند که تابع هدفی بهتر از آستانه انتخاب شده دارند (Abbaspour, 2015).

شاخص‌های ارائه شده در جدول (۲) در مرحله واسنجی برای نیتروژن کل، بیانگر عملکرد خیلی خوب مدل در این مرحله هستند. مقدار  $R\text{-factor}$  در مرحله اعتبارسنجی برای ماه‌های فروردین تا خرداد مقدار بالایی را نشان می‌دهد. با این حال شاخص‌های  $R^2$ ،  $NS$  و  $RSR$  نشان دهنده عملکرد خوب مدل هستند. پایین‌ترین مقدار در میان شاخص‌ها، مربوط به ضریب  $BIAS$  در مرحله اعتبارسنجی ( $3/18 -$ ) می‌باشد و نشان می‌دهد که این ضریب نیز در محدوده رضایت‌بخش قرار گرفته است. مشابه با این پژوهش، Carlos Mendoza et al. (2020) در مقایسه شاخص‌های ارزیابی مدل، مقادیر بالاتری را برای ضریب  $R^2$  در مقایسه با ضریب  $BIAS$  بدست آوردند. ایشان همچنین کاهش عدم قطعیت مدل را وابسته به کیفیت داده‌ها دانستند.

یکی از دلایل افزایش  $R\text{-factor}$  در مرحله اعتبارسنجی، تعداد کم داده در این مرحله می‌باشد (Abbaspour et al., 2007). به همین دلیل داده‌ها در محدوده آستانه تابع هدف  $0/5$  قرار گرفتند. شاخص‌ها برای نیتروژن کل در جدول (۲) نشان می‌دهد که با قرار گرفتن داده‌ها در آستانه  $0/5$ ، میزان  $R\text{-factor}$  به حد مطلوبی ( $24/0$ ) رسیده است. در پژوهشی مشابه (Shannak 2017) آستانه تابع هدف  $0/5$  را برای راه حل‌های رفتاری در نظر گرفتند در این مطالعه شاخص‌های ارزیابی در محدوده بهتری برآورد شدند.

شاخص‌های ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی فسفر کل (جدول ۲) در دوره‌های واسنجی بیانگر قرار گرفتن بیش از  $70\%$  داده‌ها در بازه پیش‌بینی عدم قطعیت در هر دو مرحله واسنجی ( $P\text{-factor} = 0/71$ ) و اعتبارسنجی ( $P\text{-factor} = 1/00$ ) است. در مجموع  $44$  راه حل رفتاری با  $R\text{-factor} = 0/68$  در آستانه تابع هدف  $0/5$  در مرحله واسنجی و  $160$  راه حل رفتاری با  $R\text{-factor} = 0/46$  نیز مشاهده گردید. ضرایب  $R^2$  و  $NS$  مقداری بیش برآورد را در محاسبه تابع هدف نشان دادند. این حالت به دلیل کمبود داده مشاهده‌ای در هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی برای فسفر کل رخ داد. علاوه بر این، همزمان با  $R^2$  برابر با یک، مقداری عدم قطعیت در نتایج مشاهده گردید. با این حال به نظر می‌رسد که فسفر کل، واسنجی و اعتبارسنجی بهتری را در مقایسه با نیتروژن کل نشان می‌دهد. در پژوهشی مشابه (Dakhlalla and Parajuli 2019) در برآورد بار عناصر مغذی، شاخص‌های مناسب‌تری را برای فسفر کل در مقایسه با نیتروژن کل بدست آوردند که حاکی از برتری شبیه‌سازی فسفر کل در مقایسه با نیتروژن کل می‌باشد.

جدول ۲. شاخص‌های ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی

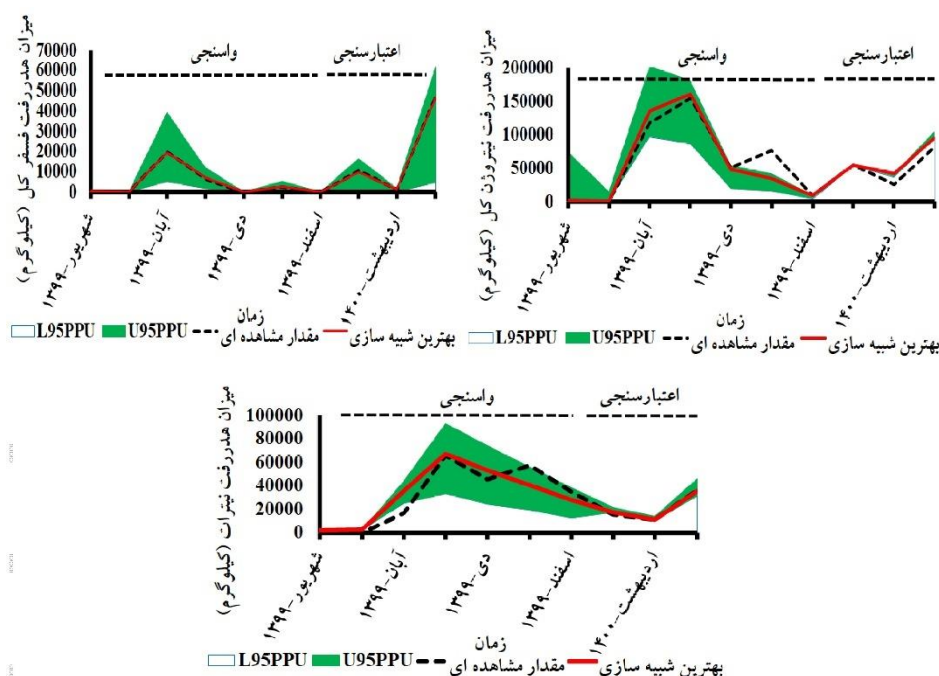
مرآحل	$R^2$	$NS$	$R\text{-factor}$	$P\text{-factor}$	$BIAS$	$RSR$
واسنجی (نیترات)	$0/82$	$0/82$	$1/11$	$0/57$	$-3/8$	$0/43$
اعتبارسنجی (نیترات)	$0/99$	$0/99$	$2/45$	$0/67$	$-2/9$	$0/11$
اعتبارسنجی نیترات (آستانه تابع هدف = $0/5$ )	$0/99$	$0/99$	$0/68$	$0/67$	$-2/9$	$0/11$
واسنجی (نیتروژن کل)	$0/92$	$0/9$	$2/00$	$0/71$	$4/3$	$0/31$
اعتبارسنجی (نیتروژن کل)	$0/9$	$0/7$	$61/74$	$1/00$	$-18/3$	$0/55$
واسنجی نیتروژن کل (آستانه تابع هدف = $0/5$ )	$0/92$	$0/9$	$0/9$	$0/57$	$4/3$	$0/31$
اعتبارسنجی نیتروژن کل (آستانه تابع هدف = $0/5$ )	$0/9$	$0/7$	$0/24$	$0/33$	$-18/3$	$0/55$
واسنجی (فسفر کل)	$1/00$	$1/00$	$1/05$	$0/71$	$-1/8$	$0/05$
اعتبارسنجی (فسفر کل)	$1/00$	$1/00$	$1/26$	$1/00$	$0/5$	$0/01$

مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در بازه  $95\%$  درصد برای هدررفت نیترات در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین عدم قطعیت در فواصل ماه‌های آذر تا اسفند رخ داده است و داده‌ها در مرحله اعتبارسنجی با عدم قطعیت کمتری در پارامترها مواجه شده‌اند. همچنین بیشترین غلظت نیترات در ماه‌های آذر تا اسفند بوده است. افزایش بارش در این بازه زمانی سبب افزایش غلظت نیترات شده است. همچنان که (Donmez et al. 2020) روند غلظت نیترات را با نزدیک شدن به ماه‌های پرباران افزایشی گزارش کرده‌اند. افزایش ضخامت باند عدم قطعیت در شبیه‌سازی نیترات با تعداد مشاهدات کم مورد انتظار است چنان که در پژوهش Akhavan

et al. (2010) شبیه‌سازی دوره پنج ماهه نیترات و تعداد کم داده‌های مشاهده‌ای جهت واسنجی مدل، سبب افزایش ضخامت باند قطعیت گردید.

مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در بازه ۹۵ درصد برای هدررفت نیتروژن کل در شکل (۳) نشان می‌دهد که در مرحله واسنجی با کاهش آستانه تابع هدف، مقداری عدم قطعیت در پارامترها مشاهده می‌شود اما در مرحله اعتبارسنجی با کاهش آستانه تابع هدف به ۰/۵، عدم قطعیت به شدت کاهش یافته است و همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برازش خوبی با یکدیگر نشان داده‌اند. مشابه با مطالعه حاضر (Tang et al. (2012) با وجود دستیابی به ضرایب مطلوب، عدم قطعیت پارامترها را گزارش کردند. نتایج ایشان نشان داد که در صورت مطلوب بودن ضرایب، عدم قطعیت پارامترها قابل اغماض است.

مقایسه نمودارها در شکل (۳) برای هدررفت فسفر کل نشان می‌دهد که داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به خوبی برازش یافته‌اند. با این حال مقداری عدم قطعیت در پارامترها قابل مشاهده است. بررسی شاخص R-factor در مرحله واسنجی (R-factor = ۱/۰۵) و اعتبارسنجی (R-factor = ۱/۲۶) و مقایسه این شاخص با محدوده‌های در نظر گرفته شده در مطالعه Carlos Mendoza et al. (2020) نشان می‌دهد که میزان این فاکتور در محدوده قابل قبول است.



شکل ۳. مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در بازه عدم قطعیت برای هدررفت فسفر کل

### تعیین مناطق بحرانی هدررفت نیترات

به منظور تعیین مناطق بحرانی هدررفت نیترات، میزان هدررفت برای هر منطقه برآورد و زیرحوضه‌ها از لحاظ مناطق بحرانی طبقه‌بندی شد. مطابق با شکل (۴) میانگین هدررفت نیترات در زیرحوضه‌های ۵ و ۷ به‌طور میانگین ۰/۰۸ کیلوگرم در هکتار در سال و کمترین میزان هدررفت نیترات در زیرحوضه‌های شماره ۲۱، ۲۶ و ۲۳ به ترتیب با میزان ۰/۰۳۷، ۰/۰۴۲ و ۰/۰۴۶ کیلوگرم در هکتار در سال می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مناطق بحرانی هدررفت نیترات با مناطق بحرانی دیگر عناصر (نیتروژن کل و فسفر کل)، منطبق است. این انطباق به دلیل متاثر بودن انتقال نیترات از رواناب است (Akhavan et al., 2010). وجود شیب‌های با درجه کمتر (۲۰-۰) در این مناطق نسبت به مناطق جنوب شرقی حوضه، سبب شده است که مناطق کشاورزی در این نواحی تمرکز یابند. مصارف کود در این زیرحوضه‌ها سبب ورود رواناب حامل عناصر مغذی به آبراهه‌های اصلی شده و غلظت عناصر را در مسیر آبراهه‌های اصلی افزایش می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت روندیابی عناصر در این حوضه بیشتر تحت تاثیر شیب و مسیر آبراهه‌های اصلی می‌باشد که در نهایت به دلیل تمرکز جریان در زیرحوضه شماره ۵، این ناحیه را به بحرانی‌ترین بخش حوضه تبدیل کرده است.

از سویی وجود پوشش گیاهی پراکنده و علفی در مراتع سبب ورود بیشتر رواناب به رودخانه می‌شود. در پژوهشی مشابه Mahzari

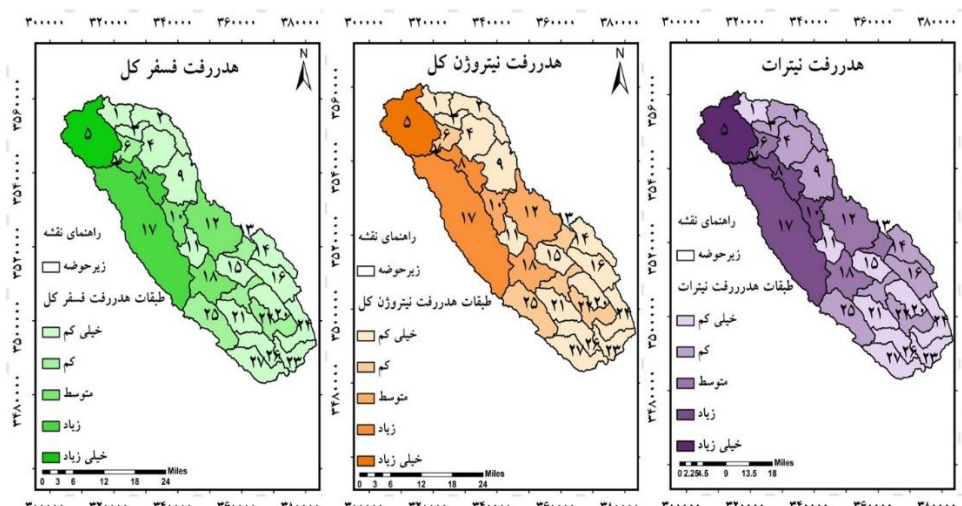
et al. (2016) کاربری‌های کشاورزی و کمبود پوشش گیاهی بر روی خاک را عامل اصلی هدررفت نیترات در حوضه‌های آبریز دانستند.

#### تعیین مناطق بحرانی هدررفت نیتروژن کل

همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود زیرحوضه شماره ۵ و ۷ در طبقه خیلی زیاد و پس از آن زیرحوضه‌های ۸ و ۱۷ در طبقه زیاد قرار گرفتند. بر اساس نقشه کاربری اراضی و برآورد مدل، زیرحوضه شماره ۷ دارای وسعت ۱۲۳/۴۸ هکتار می‌باشد که از این مساحت بخش زیادی (۱۱۴/۰۱ هکتار) مربوط به مناطق کشاورزی است و مصرف کود در این زیرحوضه بالاست. در زیرحوضه شماره ۵، حدود ۱۰ درصد مساحت دارای کاربری کشاورزی می‌باشد. از سویی این زیرحوضه در نقطه خروجی و پایین دست حوضه قرار دارد و دریافت کننده رواناب تمامی زیرحوضه‌ها است. بنابراین بیشترین غلظت نیتروژن کل در آبراهه را نیز دارا می‌باشد.

#### تعیین مناطق بحرانی هدررفت فسفر کل

در مناطق با خاک‌های آهکی، کشت و کار زیاد و به دنبال آن افزودن کودهای فسفوره به دلیل کارایی کم این کودها، منجر به تجمع فسفر و تثبیت آن در خاک و نهایتاً شستشو و انتقال آن توسط رواناب به رودخانه‌ها می‌شود که خطر تجمع فسفر در آب را در پی دارد (Jalali and Jalali., 2017). تعیین مناطق بحرانی هدررفت فسفر کل در شکل (۴) نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های شماره ۵ و ۷ و پس از آن ۸ و ۱۸ در شرایط بحرانی به لحاظ فسفر کل می‌باشند. با توجه به اینکه این مناطق به دلیل دارا بودن شیب‌های با درجه کمتر (۸-۰ درجه)، مناسب کشت و کار هستند و از سویی به علت قرار گرفتن در نقطه خروجی، در معرض خطر بیشتری از لحاظ دریافت رواناب می‌باشند، لازم است که این مناطق در اجرای اقدامات مدیریتی مورد توجه قرار گیرند.



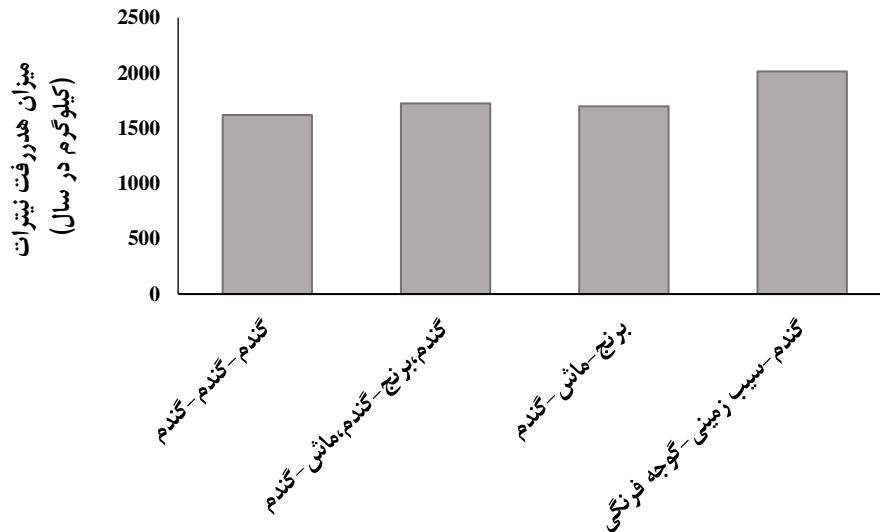
شکل ۴. مناطق بحرانی هدررفت نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل در زیرحوضه‌های حوضه آبریز دشت بزرگ

#### بررسی اثر تناوب بر میزان هدررفت نیترات و نیتروژن کل

در شکل‌های (۵) و (۶) اثر تناوب بر میزان هدررفت نیترات و نیتروژن کل نشان داده شده است. در تناوب «گندم- سیب زمینی- گوجه فرنگی» علاوه بر کودهای شیمیایی رایج از کودهای آلی نیز در کشت گوجه فرنگی استفاده می‌شود که سبب افزایش هدررفت نیتروژن کل در حوضه مورد مطالعه شده است. ضمن اینکه در شکل (۵) هدررفت نیترات نیز در این تناوب بیشتر از سایر تناوب‌ها است. نتایج مطالعات (Akhavan et al. 2010) بیانگر میزان تلفات بیشتر نیترات در تناوب‌های دارای کشت سیب زمینی نسبت به کشت گندم است. مطالعات (Liang et al. 2020) نیز افزایش هدررفت نیترات در تناوب‌های دارای کشت سیب زمینی را تایید می‌کند.

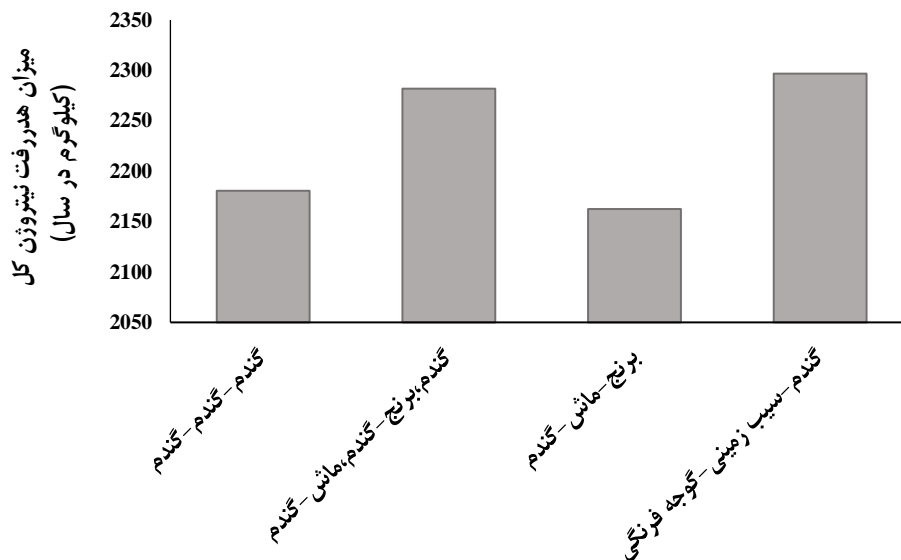
در تناوب «گندم، برنج- گندم، ماش- گندم» نیز از کودهای آلی قبل از کشت برنج استفاده می‌شود. وجود دو عامل موثر یعنی انجام دو بار کوددهی در طول سال در این تناوب و استفاده از کودهای آلی به همراه کودهای شیمیایی در کشت برنج منجر به تشدید هدررفت نیتروژن کل در تناوب «گندم، برنج- گندم، ماش- گندم» شده است. همان‌طور که در بخش تحلیل حساسیت پارامترها اشاره شد پارامتر H\_LIFE\_NGW (نیمه عمر نیترات در آبخوان کم عمق) که یک پارامتر آب زیرزمینی است، حساسیت بالایی را در مرحله تحلیل حساسیت نشان داد. این مسئله نشان از تجمع نیترات در آبخوان‌های کم عمق در طول فصل خشک در کشت‌های آبی منطقه مورد مطالعه دارد.

Epelde et al. (2015) گزارش کردند که تجمع نیترات در آبخوان در مدل ArcSWAT تحت تاثیر شرایط فصول خشک و مرطوب قرار می‌گیرد. این نتایج بیانگر تجمع نیترات در آبخوان در فصول خشک و رهاسازی آن در فصول مرطوب می‌باشد که به نظر می‌رسد در حوضه مورد مطالعه نیز به دلیل فصول خشک طولانی رخ می‌دهد.



تیمارهای تناوب

شکل ۵. اثر تناوب بر میزان هدررفت نیترات در خروجی حوضه آبریز

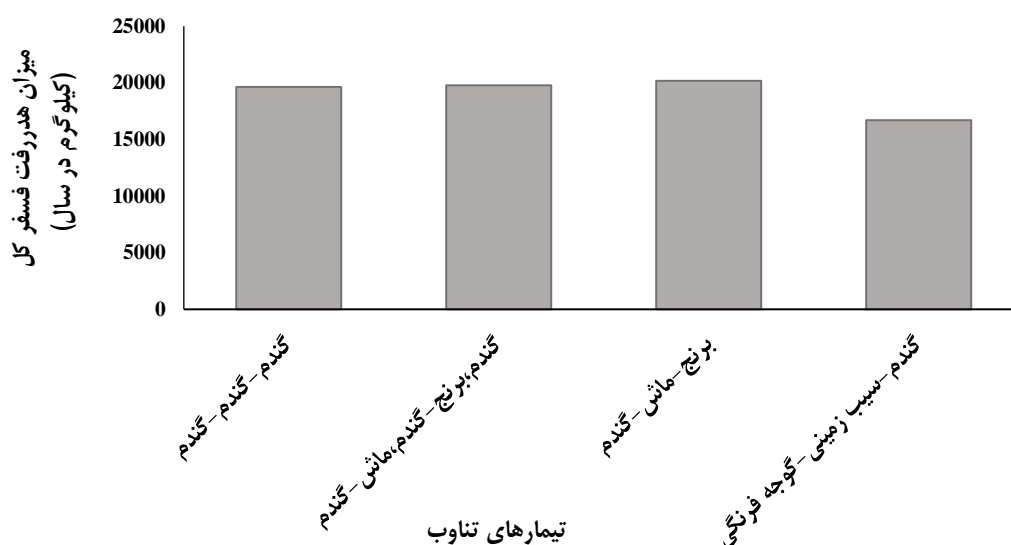


تیمارهای تناوب

شکل ۶. اثر تناوب بر میزان هدررفت نیتروژن کل در خروجی حوضه آبریز

#### بررسی اثر تناوب بر میزان هدررفت فسفر کل

نتایج بررسی اثر تناوب بر میزان فسفر کل نشان می‌دهد که تناوب گندم-سیب زمینی-گوجه فرنگی دارای کمترین میزان هدررفت فسفر کل می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود کمترین تلفات فسفر کل مربوط به تناوب «گندم-سیب زمینی-گوجه فرنگی» می‌باشد این نتایج با مطالعات Panagopoulos et al. (2007) مطابقت دارد.



شکل ۷. اثر تناوب بر میزان هدررفت فسفر کل در خروجی حوضه آبریز

### بررسی اثر مدیریت بقایا و خاک‌ورزی بر میزان هدررفت نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل

مدیریت بقایا در سطح ۵۰ درصد (۱/۷۵ تن در هکتار) در چهار کشت رایج به همراه اثر سه سناریوی خاک‌ورزی معمولی، خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی انجام شد. در جدول (۳) درصد تغییر در سناریوهای مدیریت خاک‌ورزی و بقایا تحت تناوب‌های مختلف ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدیریت خاک‌ورزی در همه تناوب‌ها به استثنای تناوب شماره ۲ منجر به کاهش هدررفت نیترات شده است.

جدول ۳. درصد تغییر در سناریوهای مدیریت خاک‌ورزی تحت تناوب‌های مختلف (حروف i و d به ترتیب نشان دهنده افزایش و کاهش می‌باشند)

نوع عملیات	گندم-گندم- گندم (۱)	گندم، برنج- ماش- گندم (۲)	برنج-ماش- گندم (۳)	گندم-سیب زمینی-گوجه فرنگی (۴)
هدررفت نیترات	درصد تغییر	درصد تغییر	درصد تغییر	درصد تغییر
خاک‌ورزی حفاظتی	۰/۷۵ d	۷/۷ i	۲/۶۱ d	۱/۱۶ d
بدون خاک‌ورزی	۰/۹۷ d	۹/۱ i	۲/۷۶ d	۱/۶۵ d
هدررفت نیتروژن کل				
خاک‌ورزی حفاظتی	۰/۹ d	۶/۰۱ i	۲/۰۸ d	۱/۱ d
بدون خاک‌ورزی	۱/۰۸ d	۷/۱ i	۲/۲۱ d	۱/۵۵ d
هدررفت فسفر کل				
خاک‌ورزی حفاظتی	۱/۶۲ i	۵/۲ i	۰/۱۲ i	۱/۱۴ i
بدون خاک‌ورزی	۱/۹۵ i	۷/۰۵ i	۰/۱۳ i	۴/۰۴ i
کربن کل در لایه‌های خاک				
خاک‌ورزی حفاظتی	۰/۰۰۶ i	۰/۰۱ i	۰/۰۱ i	۰/۰۱ i
بدون خاک‌ورزی	۰/۰۰۸ i	۰/۰۲ i	۰/۰۱ i	۰/۵۶ i

کشت‌های بدون فاصله با کوددهی فشرده، منجر به هدررفت بیشتر نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل می‌شوند و همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود تناوب «گندم، برنج-گندم، ماش-گندم» تحت سناریوهای خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی منجر به افزایش ۶ تا ۷ درصدی و ۷ تا ۹ درصدی به ترتیب در هدررفت نیتروژن کل و نیترات شده‌اند. اگرچه در کشت برنج سناریوی خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی مزیت محسوب می‌شود با این حال نوع تناوب و مدیریت کشت اثر بیشتری بر هدررفت عناصر مغذی داشته

است. افزایش در تلفات نیتروژن و فسفر کل در سناریوی خاک‌ورزی حفاظتی با مطالعات (Uribe et al. (2018) و در سناریوی بدون خاک‌ورزی با مطالعات (Risal and Parajuli (2022) مطابقت دارد.

بیشترین کاهش هدررفت نیترات در سناریوی بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی به ترتیب ۲/۷۶ و ۲/۶۱ درصد تحت تناوب شماره ۳ می‌باشد. بیشترین کاهش هدررفت نیتروژن کل در سناریوی بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی به ترتیب ۲/۲۱ و ۲/۰۸ درصد تحت تناوب شماره ۳ می‌باشد. در این رابطه (Moriasi et al. (2022) گزارش کردند که تغییر سیستم خاک‌ورزی به سمت بدون خاک‌ورزی، کاهش تلفات نیتروژن کل و فسفر کل را تا حد زیادی تحت تاثیر قرار می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که هدررفت فسفر کل تحت همه تناوب‌ها افزایش یافته است. بیشترین افزایش هدررفت فسفر کل در سناریوی بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی به ترتیب ۷/۰۵ و ۵/۲ درصد تحت تناوب شماره ۲ می‌باشد.

نتایج جدول (۳) در میزان کربن کل در لایه‌های خاک حاکی از آن است که میزان کربن کل لایه‌های خاک در این تناوب در مقایسه با سناریوهای دیگر حفظ شده است. بیشترین ذخیره کربن در لایه‌های خاک در سناریوی بدون خاک‌ورزی با ۰/۵۶ افزایش و تحت تناوب شماره ۴ رخ داده است و کمترین ذخیره کربن تحت کشت پی‌پی گندم (تناوب ۱) در سناریوی خاک‌ورزی رایج (بدون تغییر در میزان کربن) بوده است.

#### بررسی روش‌های حفاظتی بر کنترل نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل

جدول (۴) نشان می‌دهد که سناریوهای ترانس‌بندی و بافر گیاهی موثرترین روش برای کنترل نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل نسبت به سایر سناریوها هستند. اگرچه در کاهش نیترات و نیتروژن کل، سناریوهای دیگر نیز خوب عمل کرده‌اند، مقایسه تفاوت در میزان کاهش فسفر کل نشان دهنده برتری عملکرد این دو سناریو در حالت کلی می‌باشد. مطالعات (Cibin et al. (2018) نشان داد که بافرهای گیاهی می‌توانند بیش از ۸۰ درصد در کاهش میزان فسفر کل و بیش از ۵۰ درصد در کاهش نیترات موثر باشند. یافته‌های ایمانی امیرآباد و همکاران (۱۳۹۶) در کاهش آلاینده‌های غیرنقطه‌ای نیز حاکی از برتری روش نوارهای بافر است (Imani et al., 2017). با این حال شبیه‌سازی سناریوها در خروجی حوضه آبریز معنی‌دار نشد. با توجه به اینکه حوضه دشت بزرگ مساحت زیادی دارد و این نتایج در خروجی حوضه بدست آمده‌اند احتمالاً فاصله زیاد برخی زیرحوضه‌ها تا نقطه خروجی حوضه سبب معنی‌دار نشدن نتایج پنج روش حفاظتی شده است.

جدول ۴. درصد کاهش نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل خروجی از حوضه پس از اعمال عملیات حفاظتی در حوضه آبریز دشت بزرگ

نام متغیر	آبراهه چمنی	بافر گیاهی	کشت نواری	کتوربندی	ترانس‌بندی
نیترات	۵۸/۶	۵۹/۴	۵۸/۳	۵۸/۳	۶۱/۱
نیتروژن کل	۹۶/۸	۹۷/۲	۹۶/۸	۹۶/۸	۹۷/۵
فسفر کل	۳۱/۰	۶۱/۷	۳۰/۴	۲۹/۰	۷۱/۷
کربن کل لایه‌های خاک	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶

#### نتیجه‌گیری

در این پژوهش از مدل ArcSWAT برای بررسی اثر سناریوهای مدیریتی مختلف بر هدررفت آلاینده‌های غیر نقطه‌ای در حوضه آبریز دشت بزرگ در ایران استفاده شد. یافته‌های حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی توسط الگوریتم SUFI-2 بیانگر این است که علی‌رغم نتایج خوب مدل برای دوره‌های کوتاه مدت، استفاده از تعداد داده مشاهده‌ای کم می‌تواند دقت محاسبه توابع هدف را تا حدودی تحت تاثیر قرار دهد و منجر به بزرگ شدن ضرایب تبیین و نش-ساتکلیف تا میزان ۱ گردد.

با توجه به اینکه در این مطالعه هفت داده ماهانه برای واسنجی، سه داده ماهانه برای اعتبارسنجی و هیچ داده‌ای برای دوره آموزش در نظر گرفته نشد، حالت پیش آمده برای ضرایب تبیین و نش-ساتکلیف مورد انتظار است. این حالت نوعی سنجش کارایی مدل برای دوره‌های کوتاه مدت است که می‌تواند برای سایر محققان در کاربرد مدل برای دوره‌های کوتاه مدت مفید باشد. از سویی با توجه به اینکه در اغلب نواحی کشور داده‌های مشاهده‌ای برای آلاینده‌های غیر نقطه‌ای موجود نمی‌باشد، داده‌برداری کمتر از ۴ سال، منجر به کوتاه شدن دوره‌های آموزش، واسنجی و اعتبارسنجی می‌گردد و مدل را با کمبود داده مشاهده‌ای مواجه می‌کند که در این حالت اگر همه داده‌ها در



بازه ۹۵ درصد قرار بگیرند مدل خطا را بین همان چند داده محاسبه کرده و علی‌رغم برازش داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای، مقداری عدم قطعیت در باندهای ۹۵ درصد مشاهده می‌گردد.

شبیه‌سازی سناریوهای مدیریتی نشان داد که دو سناریوی تراس‌بندی و بافر گیاهی بیشترین کاهش تلفات نیترات، نیتروژن کل و فسفر کل را نسبت به سایر سناریوها نشان دادند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که موفقیت روش‌های مدیریت زراعی یا حفاظتی در حوضه مورد مطالعه بیش از هر چیز وابسته به وسعت کاربری اراضی، درصد شیب و ارتفاعات حوضه است. بنابراین با توجه به اینکه وسعت زیادی از حوضه آبریز دشت بزرگ را کاربری اراضی مرتع تشکیل می‌دهد و از سویی ارتفاعات و شیب‌های با درجات بالا نقش مهمی در فرسایش و هدررفت در حوضه آبریز دشت بزرگ دارند استفاده از روش‌های حفاظتی می‌تواند اثربخشی بیشتری در کاهش هدررفت آلاینده‌های غیر نقطه‌ای داشته باشد. ضمن اینکه رعایت اصول مدیریت زراعی در کنار کاربرد روش‌های حفاظتی می‌تواند به اثربخشی بیشتر این روش‌ها کمک کند.

## سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز جهت تأمین هزینه مورد نیاز این تحقیق که قسمتی از قرارداد پژوهانه به شماره SCU.AS1401.97 می‌باشد، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## منابع

ایمانی امیرآباد، سمیه؛ دلاور، مجید و نیک سخن، محمدحسین (۱۳۹۶). شبیه‌سازی و ارزیابی راهکارهای مدیریتی برای کاهش مواد مغذی ورودی به دریاچه زریبار با استفاده از مدل SWAT. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۳(۱)، ۶۹-۸۷.

نوری، زهرا؛ سلاجقه، علی؛ ملکیان، آرش و مقدم نیا، علیرضا (۱۳۹۶). بررسی تأثیر بهترین اقدامات مدیریتی در کاهش منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای آب با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سیمره، رودخانه سیمره). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۸(۵)، ۹۹۵-۱۰۰۶.

رضازاده، محمد سهیل؛ بختیاری، بهرام؛ عباسپور، کریم و احمدی، محمد مهدی. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی رواناب، رسوب و تبخیر-تعرق با استفاده از سناریوهای مدیریتی برای کاهش بار رسوب با استفاده از مدل SWAT. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۲(۴۰)، ۴۱-۵۰.

## REFERENCES

- Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., & Srinivasan, R. (2007). Modeling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 413–430. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.014>
- Abbaspour, K.C. (2015). *SWAT-Calibration and Uncertainty Programs (CUP)—A User Manual*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Duebendorf, 1-100.
- Akhavan, S., Abedi-Koupai, J., Mousavi, F., Afyuni, M., Eslamian, S., & Abbaspour, K.C. (2010). Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan-Bahar Watershed, Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139(4), 675–688. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.10.015>
- Armstrong, F.A.J. (1963). Determination of nitrate in water by ultraviolet spectrophotometry. *Analytical Chemistry*, 35(9), 1292-1294. <https://doi.org/10.1021/ac60202a036>
- Ashworth, A. J., Moore, P. A., Pote, D. H., Owens, P. R., Martin, J. W., & Anderson, K. R. (2021). Conservation management practices reduce non-point source pollution from grazed pastures. *Heliyon*, 7(2), e06238. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E06238>
- Baird, R.B., Eaton, A.D., & Rice, E.W. eds (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington D.C.
- Briak, H., Mrabet, R., Moussadek, R., Aboumaria, K. (2019). Use of a calibrated SWAT model to evaluate the effects of agricultural BMPs on sediments of the Kalaya river basin (North of Morocco). *International Soil and Water Conservation Research*, 7(2), 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.002>
- Carlos Mendoza, J. A., Chavez Alcazar, T. A., & Zuñiga Medina, S. A. (2020). Calibration and Uncertainty Analysis for Modelling Runoff in the Tambo River Basin, Peru, Using Sequential Uncertainty Fitting Ver-2 (SUFI-2) Algorithm. *Air, Soil and Water Research*, 14, 1–13. DOI: 10.1177/1178622120988707



- Cibin, R., Chaubey, I., Helmers, M. J., Sudheer, K. P., White, M.J., & Arnold, J. G. (2018). An Improved Representation of Vegetative Filter Strips in SWAT. *Transactions of the ASABE*, 61(3), 1017–1024. <https://doi.org/10.13031/trans.12661>
- Dakhlalla, A.O., & Parajuli, P.B. (2019). Assessing model parameters sensitivity and uncertainty of streamflow, sediment, and nutrient transport using SWAT. *Information Processing in Agriculture*, 6(1), 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.08.007>
- Donmez, C., Sari, O., Berberoglu, S., Cilek, A., Satir, O., & Volk, M. (2020). Improving the Applicability of the SWAT Model to Simulate Flow and Nitrate Dynamics in a Flat Data-Scarce Agricultural Region in the Mediterranean. *Water*, 12(12), 3479. <https://doi.org/10.3390/w12123479>
- Elfaki, J., Gafei, M., Sulieman, M., & Ali, M. (2016). Assessment of Calcimetric and Titrimetric Methods for Calcium Carbonate Estimation of Five Soil Types in Central Sudan. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4(1), 120-127. doi: 10.4236/gep.2016.41014.
- Epelde, A. M., Cerro, I., Sánchez-Pérez, J. M., Sauvage, S., Srinivasan, R., & Antiguédad, I. (2015). Application of the SWAT model to assess the impact of changes in agricultural management practices on water quality. *Hydrological Sciences Journal*, 60(5), 825-843. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.967692>
- Fouilland, E., Trottet, A., Bancon-Montigny, C., Bouvy, M., le Floch, E., Gonzalez, J. L., Hatey, E., Mas, S., Mostajir, B., Nougier, J., Pecqueur, D., Rochelle-Newall, E., Rodier, C., Roques, C., Salles, C., Tournoud, M. G., & Vidussi, F. (2012). Impact of a river flash flood on microbial carbon and nitrogen production in a Mediterranean Lagoon (Thau Lagoon, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 113, 192–204. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2012.08.004>
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1979). Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters 1. *Soil Science Society of America Journal*, 43(5), 1004-1007.
- Himanshu, S. K., Pandey, A., Yadav, B., & Gupta, A. (2019). Evaluation of best management practices for sediment and nutrient loss control using SWAT model. *Soil and Tillage Research*, 192, 42-58. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.016>
- Holas, J., Holas, M., & Chour, V. (1999). Pollution by phosphorus and nitrogen in water streams feeding the Zelivka drinking water reservoir. *Water Science and Technology*, 39(12), 207–214. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00337-6](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00337-6)
- Holz, M., & Augustin, J. (2021). Erosion effects on soil carbon and nitrogen dynamics on cultivated slopes: A meta-analysis. *Geoderma*, 397(4), 115045. doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115045
- Howard, R.F., & Singer, M. J., (1981). Measuring Forest Soil Bulk Density using Irregular Hole, Paraffin Clod, and Air Permeability. *Forest Science*, 27(2), 316–322. <https://doi.org/10.1093/forestscience/27.2.316>
- Imani, S., Delavar, M., & Niksokhan, M.H. (2017). Simulation and Assessment of Management Practices for Reduction of Nutrients Discharge to the Zrebar Lake Using SWAT Model. *Iran-Water Resources Research*, 13(1), 69-87. (In Persian)
- Jalali, M., & Jalali, M. (2017). Assessment risk of phosphorus leaching from calcareous soils using soil test phosphorus. *Chemosphere*, 171, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.042>
- Kuti, I.A., & Ewemoje, T.A. (2021). Modelling of sediment yield using the soil and water assessment tool (SWAT) model: A case study of the Chanchaga Watersheds, Nigeria. *Scientific African*, 13: e00936. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00936>.
- Lamba, J., Thompson, A. M., Karthikeyan, K. G., Panuska, J. C., & Good, L. W. (2016). Effect of best management practice implementation on sediment and phosphorus load reductions at subwatershed and watershed scale using SWAT model. *International Journal of Sediment Research*, 31(4), 386-394. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2016.06.004>
- Li, S., Liu, C., Sun, P., & Ni, T. (2022). Response of cyanobacterial bloom risk to nitrogen and phosphorus concentrations in large shallow lakes determined through geographical detector: A case study of Taihu Lake, China. *Science of The Total Environment*, 816, 151617. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.151617>
- Li, X. na, Zhang, W. wei, Wu, J. ying, Li, H. jie, Zhao, T. kai, Zhao, C. qiao, Shi, R. shuang, Li, Z. shuang, Wang, C., & Li, C. (2021). Loss of nitrogen and phosphorus from farmland runoff and the interception effect of an ecological drainage ditch in the North China Plain—A field study in a modern agricultural park. *Ecological Engineering*, 169, 106310. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2021.106310>
- Liang, K., Jiang, Y., Qi, J., Fuller, K., Nyiraneza, J., & Meng, F.-R. (2020). Characterizing the impacts of land

- use on nitrate load and water yield in an agricultural watershed in Atlantic Canada. *Science of the Total Environment*, 729, 138793. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138793>
- Liang, X., Zhao, H., He, Y., Zhu, L., Zou, Y., & Ye, C. (2022). Spatiotemporal characteristics of agricultural nitrogen and phosphorus emissions to water and its source identification: A case in Bamen Bay, China. *Journal of Contaminant Hydrology*, 245, 103936. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2021.103936>
- Liu, G., Deng, L., Wu, R., Guo, S., Du, W., Yang, M., Bian, J., Liu, Y., Li, B., & Chen, F. (2020). Determination of nitrogen and phosphorus fertilisation rates for tobacco based on economic response and nutrient concentrations in local stream water. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 304, 107136. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2020.107136>
- Liu, J., Liu, X., Wang, Y., Li, Y., Li, Y., Yuan, H., Fang, L., & Wu, J. (2022). Upstream 2000 ha is the boundary of the stream water nitrogen and phosphorus saturation concentration threshold in the subtropical agricultural catchment. *CATENA*, 211, 105960. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105960>
- Mahzari, S., Kiani, F., sadatAzimi, M., & Khormali, F. (2016). Using SWAT Model to Determine Runoff, Sediment Yield and Nitrate Loss in Gorganrood Watershed, Iran. *Ecopersia*, 4(2), 1359-1377. <http://ecopersia.modares.ac.ir/article-24-7489-en.html>
- Martínez-Dalmau, J., Berbel, J., & Ordóñez-Fernández, R. (2021). Nitrogen Fertilization. A Review of the Risks Associated with the Inefficiency of Its Use and Policy Responses. *Sustainability*, 13(10), 5625; <https://doi.org/10.3390/su13105625>
- Mclean, E.O. (1982). Soil pH and Lime Requirement, Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, *Soil Science Society of America*, edited by Page, A. L. Madison, 199-224.
- Me, W., Abell, J. M., & Hamilton, D. P. (2015). Effects of hydrologic conditions on SWAT model performance and parameter sensitivity for a small, mixed land use catchment in New Zealand. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 4127–4147, 2015
- Merriman, K. R., Daggupati, P., Srinivasan, R., & Hayhurst, B. (2019). Assessment of site-specific agricultural Best Management Practices in the Upper East River watershed, Wisconsin, using a field-scale SWAT model. *Journal of Great Lakes Research*, 45(3), 619–641. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.02.004>
- Moriasi, D. N., Verser, J. A., & Cram, A. C. (2022). Using SWAT-MEA to determine optimal placement of crop management systems under no-till. *Agronomy Journal*, 114(2), 1115-1127. <https://doi.org/10.1002/agj2.20996>
- Noori, Z., Salajegheh, A., Malekian, A., & Moghadamnia, A. (2018). Investigating the effects of best management practices on the reduction of point and non-point source pollution of water using SWAT model (Case Study: Seimareh River). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(5), 995–1006. doi: 10.22059/ijswr.2018.225610.667617. (In Persian)
- O'Geen, A. T., Budd, R., Gan, J., Maynard, J. J., Parikh, S. J., & Dahlgren, R. A. (2010). Chapter One- Mitigating Nonpoint Source Pollution in Agriculture with Constructed and Restored Wetlands. *Advances in Agronomy*, 108, 1–76. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08001-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08001-6)
- Oyedotun, T. D. T., & Ally, N. (2021). Environmental issues and challenges confronting surface waters in South America: A review. *Environmental Challenges*, 3, 100049. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2021.100049>
- Panagopoulos, I., Mimikou, M., & Kapetanaki, M. (2007). Estimation of Nitrogen and Phosphorus Losses to Surface Water and Groundwater Through the Implementation of the SWAT Model for Norwegian Soils. *Journal of Soils and Sediments*, 7(4), 223–231. <https://doi.org/10.1065/jss2007.04.219>
- Page, A. L., Miller R. H., & Keeney. D. R. (1982). Methods of Soil Analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties. *American Society of Agronomy*, Wisconsin, USA.
- Peng, K., Li, J. K., Hao, G.R., Liu, Y. W., Zhou, X., & Xie, W. F. (2022). Characteristics of non-point source pollution based on monitoring experiment in the Yingwugou small watershed, China, *Ecohydrology & Hydrobiology*, <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2022.09.001>.
- Rezazadeh, M .S., Bakhriari, B., Abbaspour, K., & Ahmadi M. M. (2018) .Simulation of Runoff, sediment and evapotranspiration through management scenarios to reduce sediment load using SWAT model. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*; 12 (40) :41-50. <http://jwmsei.ir/article-1-492-fa.html>. (In Persian)
- Ricci, G. F., Jeong, J., de Girolamo, A. M., & Gentile, F. (2020). Effectiveness and feasibility of different management practices to reduce soil erosion in an agricultural watershed. *Land Use Policy*, 90, 104306. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104306>



- Risal, A., & Parajuli, P.B. (2022). Evaluation of the Impact of Best Management Practices on Streamflow, Sediment and Nutrient Yield at Field and Watershed Scales. *Water Resources Management*, 36, 1093–1105. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03075-7>
- Risal, A., & Parajuli, P. B. (2019). Quantification and simulation of nutrient sources at watershed scale in Mississippi. *Science of The Total Environment*, 670, 633-643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.233>.
- Strickland, J.D.H., & Parsons, T.R. (1965). *A Manual of Sea Water Analysis*, 2nd ed. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- Shannak, S. (2017). Calibration and Validation of Swat for Sub-Hourly Time Steps Using Swat-Cup. *International Journal of Sustainable Water and Environmental Systems*, 9(1): 21-27.
- Shope, C. L., Maharjan, G. R., Tenhunen, J., Seo, B., Kim, K., Riley, J., Arnhold, S., Koellner, T., Ok, Y. S., Peiffer, S., Kim, B., Park, J. H., & Huwe, B. (2014). Using the SWAT model to improve process descriptions and define hydrologic partitioning in South Korea. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 539–557. <https://doi.org/10.5194/HESS-18-539-2014>
- Song, K., Lu, Y., Dao, G., Chen, Z., Wu, Y., Wang, S., Liu, J., & Hu, H. Y. (2022). Reclaimed water for landscape water replenishment: Threshold nitrogen and phosphorus concentrations values for bloom control. *Algal Research*, 62, 102608. <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2021.102608>
- Strauch, M., Lima, J.E., Volk, M., Lorz, C., & Makeschin, F. (2013). The impact of Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment. *Journal of Environmental Management*, 127, S24-S36. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.01.014
- Tang, F.F., Xu, H.S., & Xu, Z.X. (2012). Model calibration and uncertainty analysis for runoff in the Chao River Basin using sequential uncertainty fitting. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1760 – 1770. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.170>
- Tokatlı, C., & Varol, M. (2021). Variations, health risks, pollution status and possible sources of dissolved toxic metal(oids) in stagnant water bodies located in an intensive agricultural region of Turkey. *Environmental Research*, 201, 111571. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.111571>
- Uribe, N., Corzo, G., Quintero, M., van Griensven, A., & Solomatine, D. (2018). Impact of conservation tillage on nitrogen and phosphorus runoff losses in a potato crop system in Fuquene watershed, Colombia. *Agricultural Water Management*, 209, 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.006>
- USDA-NRCS. (2007). *Engineering Field Handbook, Part 650, Chapter 7: Grassed waterways*. Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service.
- van Genuchten, M. Th., Leij, F.J. & Yates, S.R. (1991). *The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils, Version 1.0*. (EPA Report 600/2-91/065), U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California.
- Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Yang, J. L., Zhang, G. L., Shi, X. Z., Wang, H. J., Cao, Z. H., & Ritsema, C. J. (2009). Dynamic changes of nitrogen and phosphorus losses in ephemeral runoff processes by typical storm events in Sichuan Basin, Southwest China. *Soil and Tillage Research*, 105(2), 292–299. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2009.04.003>
- Zhang, X., Chen, P., Dai, S., & Han, Y. (2022). Analysis of non-point source nitrogen pollution in watersheds based on SWAT model. *Ecological Indicators*, 138, 108881. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.108881>

## Determining the best management practices of non-point pollutants using ArcSWAT model (Case study: Dashte Bozorg catchment)

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction

The best management practices are methods to reduce non-point source pollution in catchments. The use of these methods requires knowing the features and investing in catchments. Accordingly, the use of computer models to simulate the actual condition of catchments effectively helps to reduce time and cost. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) is a semi-distributed model to estimate nutrient losses in large watersheds. This research has aimed to investigate the effect of different management scenarios on the loss of non-point source pollutions (nitrate, total nitrogen, and total phosphorus) in Dashte Bozorg catchment in Iran using the ArcSWAT model.

#### Materials and Methods

To collect observational data, river water was sampled from September 2020 to June 2021. Calibration data were selected from September to March and validation data from April to June. SUFI-2 algorithm was applied to sensitivity analysis, calibration, validation, and uncertainty analysis. Critical areas of non-point source pollution loads were also identified, and three agricultural scenarios including residue management, tillage, and crop rotation were applied. Furthermore, five structural scenarios were simulated including grassed waterway, vegetated buffer strip, strip cropping, contouring, and terracing. The effect of different scenarios on nitrate, total nitrogen, and total phosphorus losses in the catchment was investigated.

#### Results

The values of  $R^2$ ,  $NS$ , and  $BIAS$  statistical indices for the monthly nitrate were 0.82, 0.82, and -3.8 for the calibration period and 0.99, 0.99, and -2.9 for the validation period, respectively. For total nitrogen,  $R^2$ ,  $NS$ , and  $BIAS$  were 0.92, 0.9 and 4.3 for the calibration and 0.9, 0.7 and -18.3 for the validation, respectively. For total phosphorus,  $R^2$ ,  $NS$ , and  $BIAS$  were 1.00, 1.00, and -1.8 for the calibration; and 1.00, 1.00, and 0.5 for validation, respectively. The results showed that the ArcSWAT model provides a good prediction in estimating non-point source pollutant loads. The "wheat-potato-tomato" and "wheat, rice-wheat, mung bean-wheat" rotation scenarios showed the highest nitrate and total nitrogen loss, while the lowest total phosphorus loss was observed in the "wheat-potato-tomato" rotation. The highest reduction of nitrate loss in the no-tillage and minimum tillage scenarios were obtained under rotation number 3 by 2.76 and 2.61 percent, respectively. The amount of total nitrogen loss in no-tillage and minimum-tillage scenarios under rotation number 3 was reduced to 2.21 and 2.08%, respectively. The methods of terracing and vegetated buffer strips were recognized as the best strategies for reducing non-point pollution loads. However, other structural methods were also effective.

#### Conclusion

This study has shown that identifying critical areas can be a suitable strategy for implementing management practices in those areas. The application of management practices in dominant land use can significantly reduce the non-point source pollution loads.

**Keywords:** Conservation Tillage, Crop Rotation, Nitrogen, Phosphorous, Residue Management.