2019, Vol.6, No.2, Pages 39 to 46
Journal of Water and Sustainable Development

سال ششم، شماره ۲، ۱۳۹۸، صفحات ۳۹ تا ٤٦
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Preparation of a Model for Identifying the Required Points for Structural Organizing of Rivers at the level of Vast Areas (Case Study: Golestan Province)

M. Maghrebi[1*], R. Dakhili[2], A. Ghezelsoflo[3]

1- Ph.D. in Environmental engineering-water resources, Faculty of engineering, University of Tehran, Iran. 2- MSc student in remote sensoring, Haraz university, Iran. 3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: maghrebi.mohsen@ut.ac.ir)

Received: 01-09-2018
Accepted: 29-05-2019

تهیه مدل شناسایی نقاط موردنیاز ساماندهی سازه‌ای رودخانه‌ها در سطح مناطق وسیع (مطالعه موردی: استان گلستان)

محسن مغربی[1*]، رسول دخیلی[2]، عباسعلی قزل سوفلو[3]

۱- دکتری مهندسی محیط زیست-منابع آب، دانشکده فنی، دانشگاه تهران. ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از راه دور، دانشگاه غیرانتفاعی هراز. ۳- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: maghrebi.mohsen@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰٦/۱۰
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۸

Abstract

In this paper, a spatial analysis model is developed that identifies the required points for structural organizing operations at the level of large catchments. For this purpose, initially the nature of the organizing operation in the different structural sections is defined by different spatial constraints, Then the Arcmap software receives required base layers including topographic layer, land use layer, geology and communication routes and presents suggested outputs including the required position to organizing. The advantages of this model areincluding the possibility of defining the new constraints, appropriate processing speed, and providing a step-by-step guide in the software environment. To check the accuracy of the model in predicting the required points for organizing, location matching has been done randomly with field visits and database of studies of river organizing plans in Golestan province. The results of this section show that the proposed model is capable of predicting the required structural organizing points with proper accuracy.

Keywords: Organizing the Rivers, Python Modeling, Spatial Processing, Flood Management.

چکیده

در این مقاله یک مدل تحلیل مکانی توسعه داده شده که بر مبنای آن، شناسایی نقاط موردنیاز عملیات ساماندهی سازه‌ای در سطح حوضه‌های آبریز بزرگ، امکان‌پذیر می‌باشد. برای این منظور در ابتدا ماهیت عملیات ساماندهی در بخش‌های مختلف سازه‌ای بر اساس قیود مختلف مکانی تعریف شده، سپس در محیط نرم‌افزار Arcmap، لایه‌های موردنیاز پایه، شامل لایه توپوگرافی، لایه کاربری اراضی، زمین‌شناسی و جاده‌های ارتباطی را دریافت و خروجی‌های پیشنهادی شامل موقعیت موردنیاز جهت ساماندهی را ارائه می‌نماید. از مزایای این مدل می‌توان به امکان تعریف قیود جدید، سرعت پردازش مناسب و ارائه راهنمای گام به گام در محیط نرم‌افزار اشاره نمود. برای بررسی دقت مدل در پیش‌بینی نقاط نیازمند ساماندهی، تطبیق مکانی به صورت تصادفی با بازدیدهای میدانی و بانک اطلاعات مطالعات طرح‌های ساماندهی رودخانه در سطح استان گلستان انجام پذیرفته است. نتایج این بخش نشان می‌دهد که مدل ارائه شده با دقت مناسبی توانایی پیش‌بینی نقاط موردنیاز ساماندهی سازه‌ای را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ساماندهی رودخانه‌ها، مدل‌سازی Python، پردازش مکانی، مدیریت سیل.

DOI: 10.22067/jwsd.v6i2.75074

مقدمه

ساماندهی رودخانه‌ها به عنوان عملیاتی در کاهش خسارات سیل به حساب می‌آید. هر چند امکان محافظت کامل در برابر سیل وجود ندارد، اما امکان روش‌های کاهش خسارات جدی سیلاب با مدیریت و ساماندهی رودخانه فراهم خواهد گردید (Heidari، ۲۰۰۹). به طور معمول شناسایی نقاط نیازمند عملیات ساماندهی در رودخانه‌ها از طریق مطالعات تعیین حد بستر و حریم و از طریق بازدیدهای میدانی و یا مراجعه به سوابق انجام می‌گیرد (مغربی، ۱۳۸۸). اما معمولاً این روش محدود به گسترهٔ مطالعات و یا تکمیل مستندات قبلی در این خصوص بوده و در بعضی از موارد به دلیل عدم دسترسی مناسب به تمامی رودخانه، کامل نمی‌باشد. لذا در سطح استانی و یا منطقه‌ای نیازمند ابزاری هستیم تا در ابتدا یک بازه و یا ناحیه را مورد بررسی قرار داده و تمامی نقاط موردنیاز عملیات ساماندهی را مشخص نموده و با بازدیدهای میدانی به تعیین مناطق نیازمند ساماندهی در رودخانه‌ها پرداخته شود. این روش نسبت به روش‌های سنتی دارای سرعت بیشتر و نیازمند سقف اعتبارات کمتری می‌باشد؛ اما موفقیت این روش بستگی زیادی به دقت لایه‌های مکانی دارد.

در این مقاله به توسعه مدل پردازش مکانی بر اساس قابلیت‌های زبان برنامه‌نویسی Python در محیط نرم‌افزار Arcmap پرداخته شده که امکان پردازش‌های مکانی مختلفی را برای تعیین نقاط نیازمند ساماندهی در رودخانه‌ها فراهم می‌آورد. در ادامه خروجی‌های این مدل عددی به صورت تصادفی، با بازدیدهای میدانی و سازه‌های پیشنهادی در بانک اطلاعات مطالعات طرح‌های ساماندهی رودخانه، در سطح استان گلستان مورد ارزیابی قرار گرفته است.

ناحیهٔ مورد بررسی و داده‌های اولیه

ناحیهٔ مورد بررسی شامل محدودهٔ استان گلستان به مساحت تقریبی ۲۰۳۶۷ کیلومترمربع، شامل ۱۴ شهرستان، ۲۶ شهر، ۲۷ بخش، ۶۰ دهستان و ۹۲۷ روستا می‌باشد. حوضه‌های آبریز استان از دو بخش مهم سیل‌خیز (مناطق کوهستانی و مرتفع) بامساحت ۹۵۰ هزار هکتار و سیل‌گیر (مناطق دشتی، نواحی مجاور دامنه کوه‌ها و اراضی واقع شده در داخل دره‌ها و مسیل‌های طبیعی) با مساحت ۶۸۰ هزار هکتار تشکیل شده است. تعداد وقوع سیل در استان از تاریخ ۱۳۷۰/۱/۱ تا ۱۳۹۳/۱/۱ به میزان ۱۰۶ بارش بوده که از نظر مکانی در ۵۴۸ مورد از حوضه‌های آبخیز استان رخداده است (ثقفیان، ۱۳۸۵). به منظور تحلیل مکانی نیاز به داده‌های پایه شامل توپوگرافی، لایه کاربری اراضی، لایه زمین‌شناسی و لایه جاده‌های ارتباطی در محدودهٔ مورد بررسی می‌باشد که این داده‌ها بر مبنای داده‌های بزرگ مقیاس با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده است.

معرفی مدل توسعه یافته

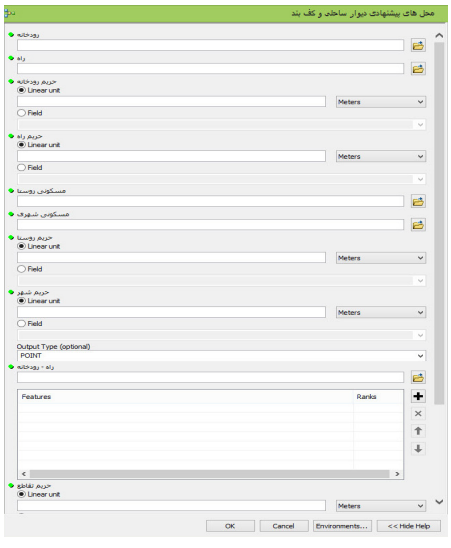
Python یک زبان برنامه‌نویسی منبع باز است که به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته و پشتیبانی می‌گردد. این زبان برنامه‌نویسی از نسخه Arcmap9.0 با ابزارهای جعبه ابزار geoprocessing توسط ESRI در محیط Arcgis قابل دسترسی می‌باشد. در این مقاله به منظور مشخص کردن نوع سازه‌های موردنیاز در ساماندهی از روش مدل‌سازی در محیط GIS استفاده شده است. برای این منظور در ابتدا برای تعیین نقاط موردنیاز ساماندهی، نوع سازه‌های موردنیاز بر اساس قیود فنی و اجتماعی و مصاحبه با کارشناسان آب منطقه‌ای استان گلستان تعیین گردیده است. جدول (۱) نشان‌دهندهٔ انواع سازه‌های ساماندهی در نظر گرفته شده در این تحقیق می‌باشد.

جدول ۱- انواع سازه‌های ساماندهی رودخانه بر اساس قیود فنی و اجتماعی و ...

نوع سازه	قیود فنی و اجتماعی و ...
آبشکن	در مناطقی که شیب رودخانه کوچکتر از ۰/۰۱ و عرض رودخانه بیش از ۱۰۰ متر، در زمین‌های لوسی نباشد و فاصله مکانی تا محل تقاطع رودخانه و راه ارتباطی حداقل ۸۰۰ متر
دیواره ساحلی و کف‌بند	محل تقاطع شبکه رودخانه با مناطق مسکونی با شبکه رودخانه و یا راه ارتباطی
لایروبی	محل تقاطع شبکه رودخانه با جاده در حالی که شیب کمتر از ۰/۰۰۵ باشد
بند تسکین سیلاب	شیب رودخانه بزرگتر از ۰/۰۱ و بالادست مناطق مسکونی با مساحت حوزه بزرگتر از ۲۰۰ کیلومتر مربع
سازه‌های آشغالگیر	شیب بیش از ۰/۰۱ در بالادست مناطق مسکونی و محل تقاطع جاده ارتباطی با رودخانه

بر مبنای فلسفه وجودی تعریف شده برای هر یک از سازه‌ها، مدل‌های جداگانه‌ای تهیه شده است. این مدل‌ها در محیط نرم‌افزار Arcmap از طریق Toolbox وارد شده و با کلیک کردن بر روی هر کدام از زیر بخش‌های مدل عددی، محیط گرافیکی متناسب با آن باز شده که امکان ورود داده‌های مرتبط با آن بخش را دارا می‌باشد.

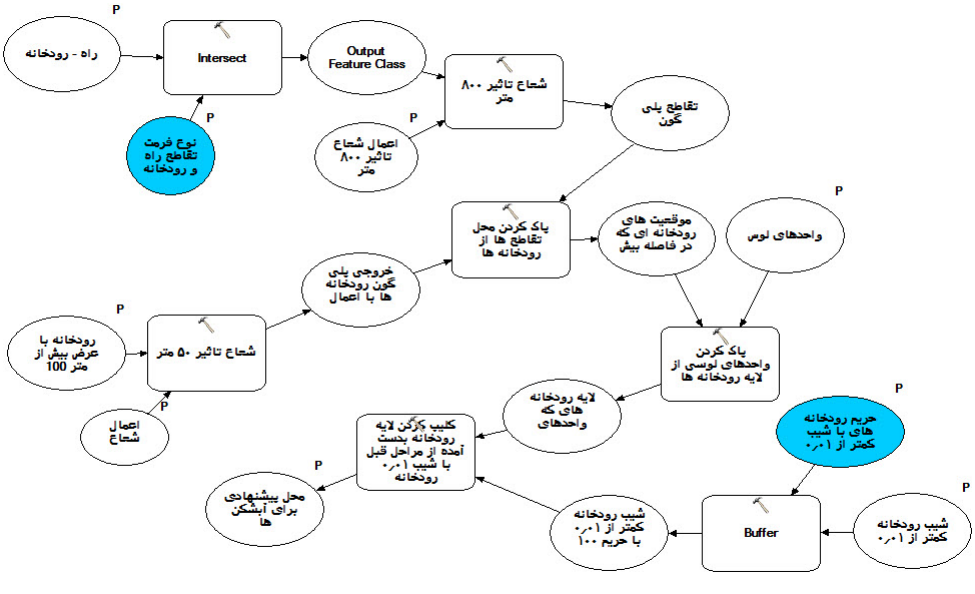
شکل (۱) نشان دهندهٔ نمایی از محیط برنامه پس از اجرا در نرم‌افزار Arcmap می‌باشد. همان طور که در این شکل مشخص است، محیط برنامه دارای دو بخش کلی در چپ و راست می‌باشد. در بخش سمت چپ، کاربر می‌تواند داده‌های موردنیاز مشخص شده را وارد نموده و در بخش سمت راست در برابر هر ردیف اطلاعاتی انتخاب شده، توضیحات و راهنمایی‌های لازم مرتبط با آن بخش ارائه می‌گردد.



شکل ۱- نمایی از فرم مدل محل‌های پیشنهادی جهت دیوار ساحلی

شکل (۲) نشان‌دهندهٔ الگوریتم پیشنهادی مکان‌های قرارگیری سازه‌های آبشکن در محدودهٔ مورد بررسی، در محیط نرم‌افزار Model Builder می‌باشد. بر اساس این شکل، آبشکن‌های پیشنهادی در بخش‌هایی از رودخانه قرار خواهند گرفت که شیب در آن کمتر از ۱ درصد و عرض رودخانه بیش از ۱۰۰ متر می‌باشد، به شرطی که در این نقاط فاصله با تقاطع جاده و آبراهه بیش از ۸۰۰ متر و در واحدهای زمین‌شناسی لوسی در شرق استان قرار نگیرد.

در جدول (۲) تعداد نقاط پیشنهادی جهت آبشکن در محدودهٔ استان گلستان ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشخص است، بیشترین آبشکن‌های پیشنهادی در شرق استان گلستان و محدودهٔ شهرستان گنبد کاووس و کمترین آن در غرب استان و در محدودهٔ شهرستان کردکوی پیش‌بینی گردیده است. این پیش‌بینی به طور عمومی با ماهیت شبکه رودخانه‌ها در سطح استان هماهنگ می‌باشد؛ چرا که رودخانه‌ها در محدودهٔ کردکوی، دارای سطح حوضه و عرض ناوه کمتر و پوشش جنگلی متراکم‌تری نسبت به شرق استان می‌باشد (مهندسین مشاور ساز آب گلستان، ۱۳۹۳).

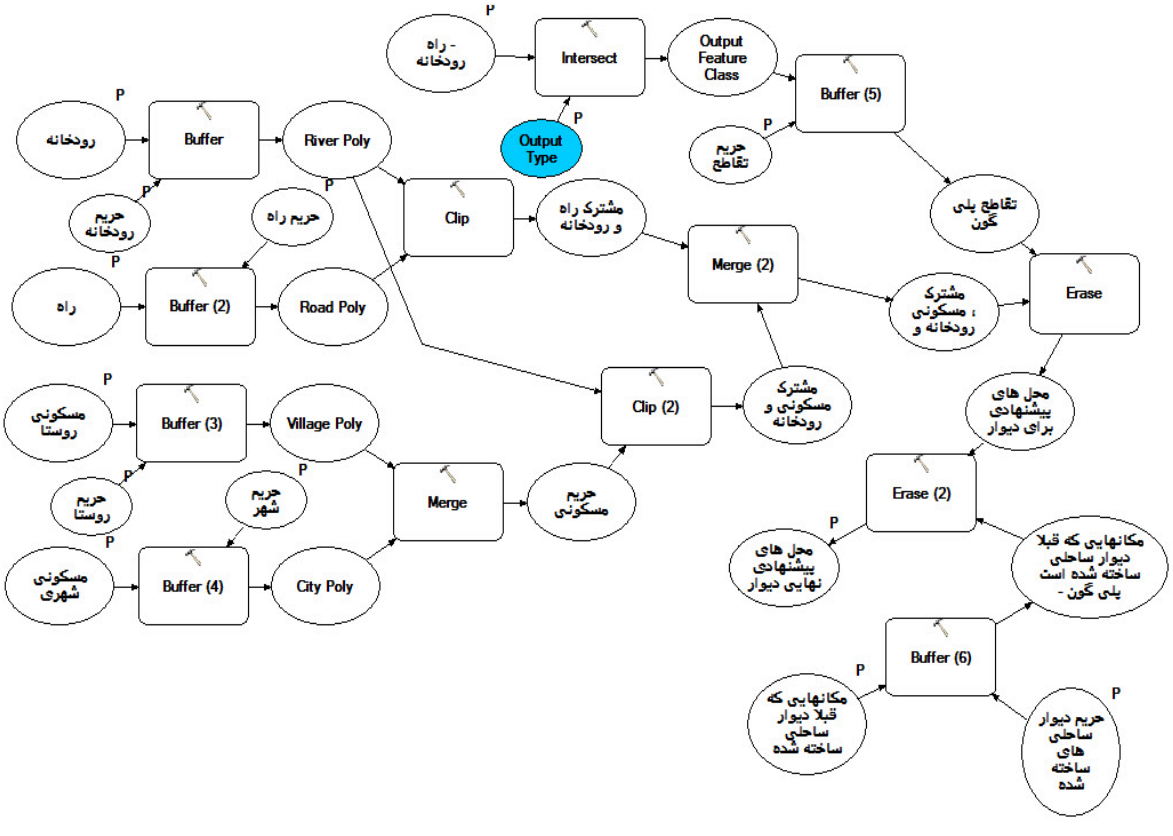


شکل ۲- الگوریتم محل‌های پیشنهادی جهت آبشکن

جدول ۲- آبشکن پیشنهادی برای هر یک از شهرستان‌های استان گلستان

شهرستان	تعداد نقاط پیشنهادی برای آبشکن
آزادشهر	۱۵
آق قلا	۲۳
رامیان	۲۳
کردکوی	۱
گالیکش	۱
گرگان	۵
گمیشان	۱۰
گنبدکاووس	۱۲۷
مینودشت	۴

شکل (۳) نشان‌دهندهٔ الگوریتم محل‌های پیشنهادی جهت احداث دیوار ساحلی و کف‌بند در محیط نرم‌افزار Model Builder می‌باشد. طبق این شکل، مکان قرارگیری دیوارهای ساحلی در محل تقاطع شبکه رودخانه با منطقهٔ شهری یا شبکهٔ رودخانه با مسیر راه‌های ارتباطی خواهد بود. همچنین بر اساس مطالعات انجام گرفته در سطح استان، بیشترین خرابی در دیوارهای ساحلی در سطح استان ناشی از زیرشویی و فرسایش بستر در محدودهٔ دیوارهای ساحلی بوده است. بنابراین به منظور جلوگیری از فرسایش و زیرشویی در محدودهٔ دیوارهای پیشنهادی، قرارگیری کف‌بند نیز در این مناطق پیشنهاد گردیده است. تعداد نقاط پیشنهادی در هر یک از شهرستان‌های استان در جدول (۳) آمده است. بر اساس این جدول، دیوارهٔ ساحلی و کف‌بند در رودخانه‌ها جزء پرتواترترین سازه‌های ساماندهی در محدودهٔ مورد بررسی بوده، بطوریکه در تمامی شهرستان‌های استان نیازمند احداث دیواره‌های ساحلی می‌باشیم.



شکل ۳- الگوریتم محل‌های پیشنهادی جهت دیوار ساحلی و کف‌بند

شکل (۴) نشان‌دهندهٔ الگوریتم قرارگیری بندهای تسکین سیلاب در محیط نرم‌افزار Model Builder می‌باشد. طبق این شکل، بندهای تسکین سیلاب در حداقل ۲۰۰۰ متری بالادست مناطق مسکونی که در این مناطق شیب بیش از ۱ درصد و مساحت حوضه‌آبریز نیز حداقل ۲۰۰ کیلومتر مربع باشد، جانمایی گردیده است.

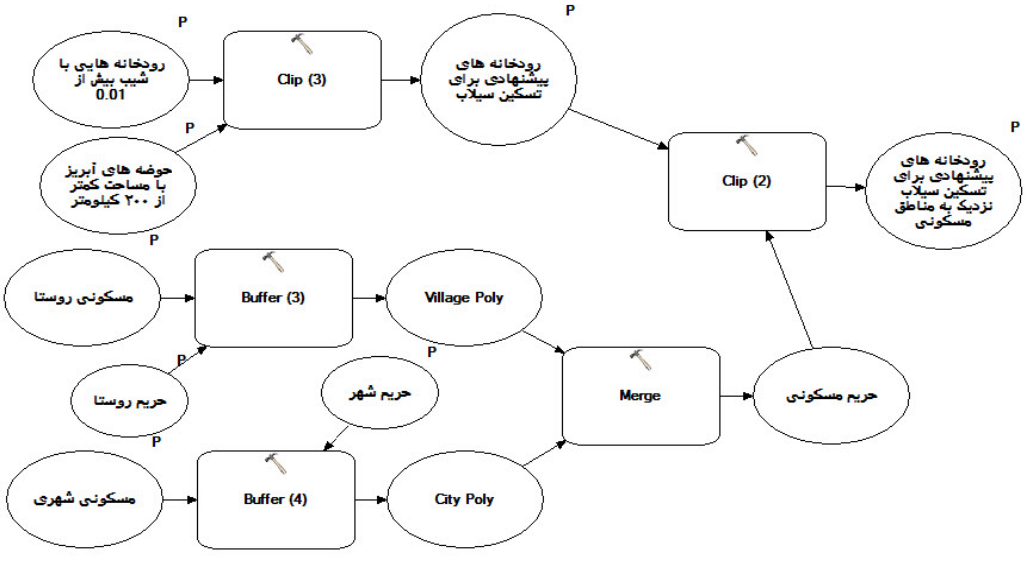
جدول ۳- تعداد دیوار ساحلی پیشنهادی برای هر یک از شهرستان‌های استان گلستان

نام شهرستان	تعداد نقاط پیشنهادی برای دیوار ساحلی
آزادشهر	۱۰۲
آق قلا	۹۰
بندر گز	۳۴
ترکمن	۱۹
رامیان	۲۹
علی آباد	۵۹
کردکوی	۵۲
کلاله	۱۷۷
گالیکش	۵۲
گرگان	۱۷۸
گمیشان	۶۵
گنبدکاووس	۱۰۰
مراوه تپه	۱۳۱
مینودشت	۱۲۷

تعداد نقاط پیشنهادی برای بندهای تسکین سیلاب در استان گلستان نیز در جدول (۴) ارائه شده است. طبق این جدول، بیشترین نقاط پیشنهادی برای جانمایی بندهای تسکین سیلاب در سطح شهرستان مراوه تپه قرار گرفته است که این با خروجی‌های اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان هماهنگ می‌باشد.

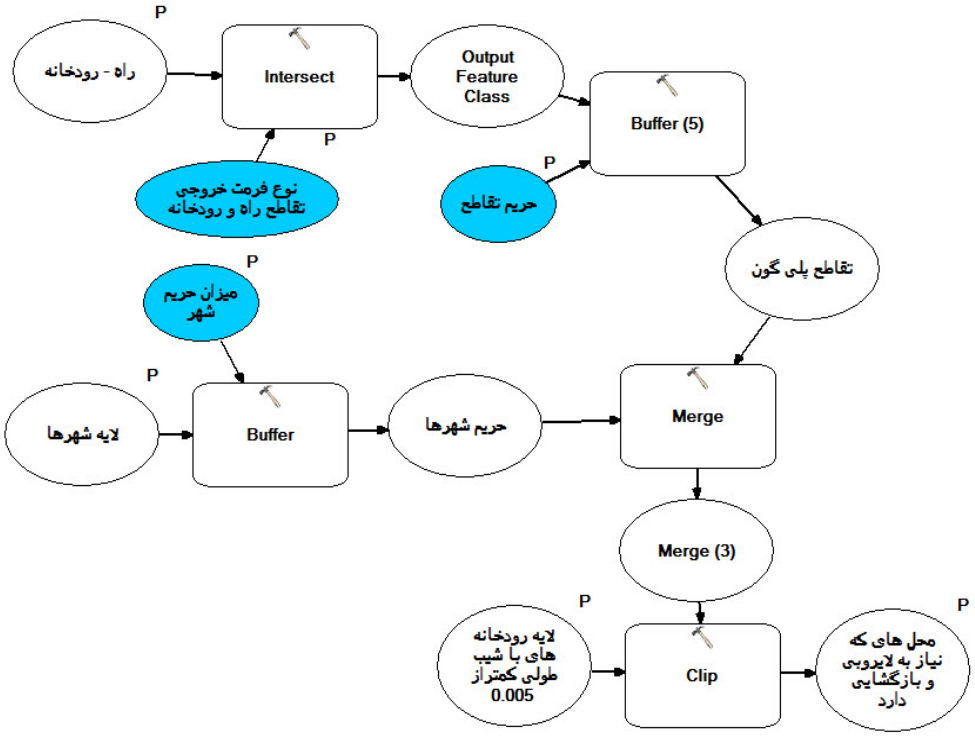
جدول ۴- تعداد بندهای تسکین سیلاب پیشنهادی برای هر یک از شهرستان‌های استان گلستان

نام شهرستان	تعداد نقاط پیشنهادی برای بندهای تسکین سیلاب
آزادشهر	۱۵
رامیان	۱۷
علی آباد	۱۶
کردکوی	۳
کلاله	۲۷
گالیکش	۳
گرگان	۶
گنبدکاووس	۵
مراوه تپه	۱۱۸
مینودشت	۱۰



شکل ۴- الگوریتم محل‌های پیشنهادی جهت بند تسکین سیلاب

شکل (۵) نشان‌دهندهٔ الگوریتم قرارگیری لایروبی و بازگشایی در محیط نرم‌افزار Model Builder می‌باشد. طبق این شکل، مکان‌های پیشنهادی لایروبی و بازگشایی در محل تقاطع شبکه رودخانه با شبکه ارتباطی راه‌ها و جاده‌ها جانمایی گردیده است، به شرطی که در این نواحی، شیب رودخانه کمتر از ۰/۰۰۵ باشد.



شکل ۵- الگوریتم محل‌های پیشنهادی جهت احداث سازهٔ لایروبی و بازگشایی

در جدول (۵) نیز تعداد نقاط پیشنهادی برای لایروبی و بازگشایی در استان گلستان آمده است. طبق این جدول، بیشترین نیاز به عملیات لایروبی و بازگشایی، در گنبد کاووس و آق‌قلا مشاهده می‌شود.

جدول ۵- سازه‌های پیشنهادی برای لایروبی و بازگشایی برای هر یک از شهرستان‌های استان گلستان

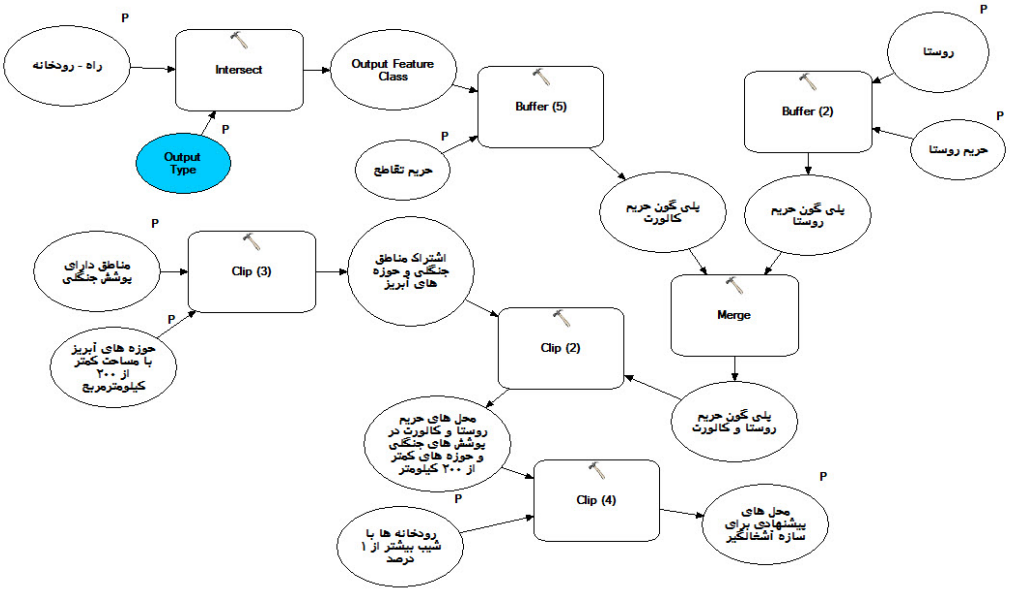
نام شهرستان	تعداد نقاط پیشنهادی برای لایروبی و بازگشایی
آزادشهر	۲
آق قلا	۷
بندر گز	۳
رامیان	۳
علی آباد	۱
کردکوی	۲
گرگان	۴
گمیشان	۲
گنبدکاووس	۲۸

شکل (۶) نشان‌دهندهٔ الگوریتم محل‌های پیشنهادی جهت احداث سازه‌های آشغال‌گیر در محیط نرم‌افزار Model Builder می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، سازه‌های پیشنهادی آشغالگیر در سرشاخه‌های رودخانه با شیب بیش از ۱ درصد و در بالادست مناطق مسکونی واقع شده باشد، جانمایی خواهد گردید.

در جدول (۶) تعداد نقاط پیشنهادی برای احداث سازهٔ آشغال‌گیر در سطح استان گلستان ارائه شده است. طبق این جدول، بیشترین سازه‌های آشغال‌گیر پیشنهادی در محدودهٔ شهرستان علی‌آباد پیشنهاد شده است.

جدول ۶- تعداد سازهٔ آشغال‌گیر پیشنهادی برای هر یک از شهرستان‌های استان گلستان

نام شهرستان	تعداد نقاط پیشنهادی برای سازه آشغالگیر
آزادشهر	۶
رامیان	۱۴
علی آباد	۲۸
کردکوی	۲
کلاله	۱
گالیکش	۴
گرگان	۶
مراوه تپه	۹
مینودشت	۴

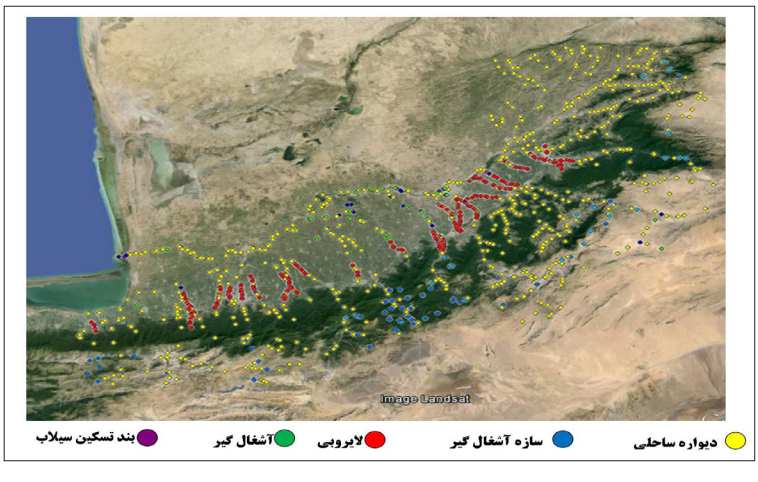


شکل ۶- الگوریتم محل‌های پیشنهادی جهت سازهٔ آشغال‌گیر

بحث و بررسی

نتایج مدل شامل ۱۷۴۰ سازه در بخش‌های مختلف شامل ۱۱۸۵ دیوارهٔ ساحلی و کف بند، ۷۴ سازهٔ آشغال‌گیر، ۲۲۰ بند تسکین سیلاب، ۵۲ بازهٔ نیازمند لایروبی و ۲۰۹ ناحیهٔ نیازمند احداث سازهٔ آبشکن می‌باشد. توزیع مکانی پیشنهادی سازه‌های مختلف در سطح استان، در شکل (۷) نمایش داده شده است. طبق این شکل، بیشترین پروژهٔ پیشنهادی مربوط به احداث دیواره ساحلی و کف‌بندها در مسیر رودخانه به منظور کاهش فرآیندهای مخرب تولید رسوبات و همچنین کاهش ورود مواد واریزه‌ای به رودخانه‌ها است. کمترین پروژهٔ پیشنهادی نیز در بخش لایروبی و بازگشایی رودخانه‌ها ارائه گردیده است؛ به این دلیل که اصولاً بازگشایی‌های رودخانه‌ای خود یک عارضهٔ ثانویه در رودخانه‌ها ناشی از عدم بهره‌برداری صحیح و عدم ساماندهی در رودخانه‌ها می‌باشد و در صورتی که شرایط عمومی رودخانه‌ها با تکمیل و احداث سازه‌های پیشنهادی افزایش پیدا نماید، به طور طبیعی نیاز به لایروبی در رودخانه‌ها نیز کاهش پیدا خواهد نمود.

به منظور بررسی تطابق خروجی‌های مدل عددی با واقعیت‌های رودخانه‌ای از بانک اطلاعات رودخانه‌های استان در بخش سازه‌های پیشنهادی و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. جدول (۷) نشان‌دهندهٔ تعداد بازدیدهای میدانی و تعداد سازه‌های پیشنهادی در هر بخش عملیات سازه‌ای در بانک داده‌های سیل استان می‌باشد. طبق این جدول، بیشترین تطابق مکانی مربوط به دیواره‌های ساحلی و کف‌بند با ۹۶/۳ درصد و کمترین دقت پیش‌بینی مربوط به عملیات لایروبی در محدودهٔ مورد بررسی می‌باشد.



شکل ۷- توزیع مکانی پیشنهادی برای سازه‌های مختلف در سطح استان

جدول ۷- بررسی میزان تطابق‌پذیری خروجی مدل با بانک داده‌های ساماندهی و بازدیدهای میدانی

نوع ساماندهی	تعدا سازه موجود در بانک اطلاعاتی	تعداد تطابق با بانک اطلاعاتی	تعداد بازدید میدانی	تعداد تطابق با شرایط رودخانه‌ای	تعداد سازه پیشنهادی	دقت پیش‌بینی
آبشکن	۴۰	۳۸	۱۰	۱۰	۲۰۹	۹۶
دیوارۀ ساحلی و کف‌بند	۱۹۳	۱۸۵	۲۵	۲۵	۱۱۸۵	۹۶,۳
لایروبی	۲۵	۲۰	۱۰	۸	۵۲	۸۰
بندهای تسکین سیلاب	۷۹	۷۱	۱۰	۷	۲۲۰	۸۷/۶
آشغال‌گیر	۱۶	۱۴	۱۰	۷	۷۴	۸۰/۷

نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل شناسایی نقاط موردنیاز ساماندهی سازه‌ای در سطح حوضه‌های آبریز بر اساس قابلیت‌های برنامه‌نویسی Python در محیط نرم‌افزار Arcmap ارائه گردیده و در ادامه کاربرد این مدل عددی در سطح استان گلستان ارزیابی شد. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که مدل ارائه شده با دقت مناسبی توانایی پیش‌بینی نقاط موردنیاز ساماندهی سازه‌ای در رودخانه‌ها را دارا می‌باشد. این توانایی می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های فنی و مالی در سطح استان در جهت ساماندهی رودخانه و کاهش خسارات سیل مورد استفاده قرار گیرد. از مزایای این مدل عددی می‌توان به پیمایش تمامی شبکه رودخانه‌های استان حتی مناطق غیر قابل دسترس و سرعت بالای ارائه نتایج و همچنین ارائه نتایج در محیط نرم‌افزار Arc map اشاره نمود. اما از معایب استفاده از این نرم‌افزار، وجود قیود استاتیک در تعریف ماهیت پروژه‌های ساماندهی و نبود بستر کاملی از لایه‌های اطلاعات مدون در بخش سیلاب در تمامی حوضه‌های آبریز کشور است. همچنین برای انطابق با نیازهای صنعت لازم است که این مدل توانایی اولویت‌بندی سازه‌های پیشنهادی را در لایه‌های استانی، منطقه‌ای و شهرستانی دارا باشد.

منابع

ثقفیان، ب. و فرازجو، ح. ۱۳۸۵. بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوزه آبریز سد گلستان. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۲(۱): ۱۸-۲۸.

مغربی، م. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی عددی مهاجرت در پیچانرودها، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه تربیت مدرس.۱۱۲ص.

مهندسین مشاور ساز آب گلستان. ۱۳۹۳. گزارش مطالعات طرح جامع سیلاب در استان گلستان. به سفارش شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان. ۲۱۵ص.

Pianosi F., Sarrazin F. and Wagener T. 2015. A Matlab toolbox for global sensitivity analysis. Environmental Modelling & Software, 70: 80-85.

Heidari A. 2009. structural master plan of flood mitigation measures. Natural hazards and earth system science, 9: 61-75.