یادداشت فنی

استفاده از مدل‌های ریاضی و GIS در تعیین سیمای طرحهای کنترل سیل

علیرضا شکوهی[1]

(دریافت ۸٤/۱۲/۱ پذیرش ۸۵/٦/٦)

چکیده

هدف از این مقاله نمایش به کارگیری آخرین تحقیقات و پژوهشها در زمینه هیدرولیک و هیدرولوژی آبهای سطحی به منظور تعریف سیمای طرح پروژه‌های کنترل سیل است. در این مقاله بعد از معرفی الگوریتم‌های ردیابی جریان(Flow Tracing) و تشریح منطق مورد استفاده برای برنامه‌نویسی آنها در محیط GIS، نحوه به کارگیری مدل‌های ریاضی متصل به GIS در کنار این الگوریتم‌ها و نهایتاً به کار بستن نتایج حاصله در سیاستگذاری و چیدمان اجزای پروژه‌های آبی نشان داده شده است. در این تحقیق، از پروژه کنترل سیل شهر بهبهان به عنوان مطالعه موردی، از نرم‌افزار HEC- GEOHMS و الگوریتم D8 در محیط ArcView به عنوان نرم‌افزار ردیابی جریان و ازHEC-HMS به عنوان نرم‌افزار هیدرولوژیکی استفاده شده است. مطالعه موردی انجام شده نشان می‌دهد که استفاده توأم یک مدل ریاضی هیدرولوژیکی مناسب و GISهای مجهز به الگوریتم‌های ردیابی جریان، می‌تواند بعد از نشان دادن موقعیت تقریبی خروجیها، علی‌رغم پیچیدگی شرایط مرزی، به برآورد قابل قبولی از میزان جریان مؤثر سیل دست یابد. تغییر فاحش سیمای طرح در مطالعه موردی مزبور بعد از به کارگیری متدولوژی نوین، قابل تأمل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: *سیمای طرح کنترل سیل، الگوریتم ردیابی جریان، D8 ,GIS ,HEC-GEOHMS ,HEC-HMS.*

Application of Mathematical Models and GIS in Flood Control Project Planning

Ali Reza Shokoohi[1]

(Received Feb. 20, 2006 Accepted Aug. 28, 2006)

Abstract

This paper is intended to illustrate the application of the results concerning the latest researches in surface water hydraulics and hydrology for flood control project planning. In this paper, after describing flow tracing algorithms and the logics for programming in GIS environment, the transfer of GIS output to a hydrologic model and its application to a flood control project planning has been demonstrated. In this research, Behbahan flood control project has been used as the case study, HEC-GEOHMS with D8 algorithm in ArcView as flow tracing model and HEC-HMS as the hydrologic mathematical model. Case study results reveal that using a hydrologic mathematical model linked to flow tracing methods embedded in GIS can show approximate locations of outlets and gives an acceptable estimate of design flood magnitude in each node and scenario. The difference in final results before and after the application of the new methodology is noticeable.

Keywords: *Flood Control Project Planning, Flow Tracing Algorithm, D8, GIS, HEC-GEOHMS, HEC-HMS.*

۱- استادیار منابع آب، گروه آبیاری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، shokoohi@ikiu.ac.ir

1- Assistant Professor of Water Resources Engineering, Irrigation Department, Imam Khomeini International University, shokoohi@ikiu.ac.ir

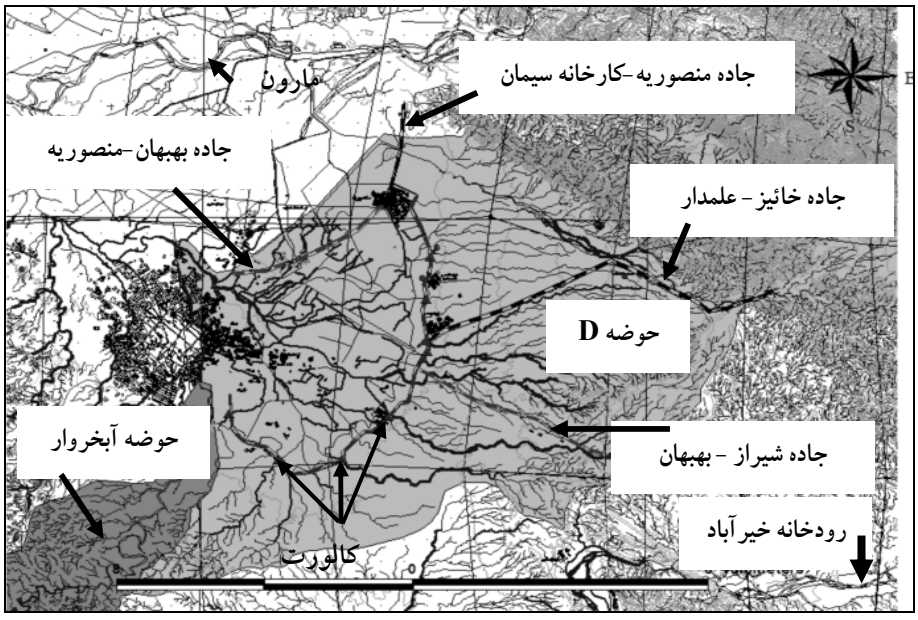
۱- مقدمه

در کنترل سیل شهرها همواره دو گزینه مطرح است. گزینه اول، آزاد گذاشتن سیل برای ورود به شهر و سپس ایجاد سازه‌های حفاظتی نظیر دیواره‌های سیل‌بند و گزینه دوم، ممانعت از ورود سیل به شهر و ایجاد موانعی نظیر سدهای تأخیری و یا انحراف تمام یا بخشی از سیل به یک مسیر دیگر می‌باشد. بدیهی است که ترکیبی از این دو گزینه راه حل بهینه را در اکثر موارد به دست خواهد داد. گزینه کنترل سیل قبل از ورود به شهر، نیازمند دانشی مناسب از نحوه حرکت جریانهای سطحی و تجمع آنها می‌باشد. برای تهیه سیمای طرح معمولاً از نقشه‌های کوچک مقیاس نظیر ۱۰۰۰۰۰ : ۱، ۵۰۰۰۰ : ۱ و نهایتاً از نقشه‌های رقومی ۲۵۰۰۰ : ۱ به همراه نظرات کارشناسی پیمایش صحرایی استفاده می‌شود. این امر علاوه بر اتلاف وقت و تابع نظرات فردی بودن، دارای دو ایراد مهم است: اول آنکه در نقاطی که الگوی جریان پیچیده است و سازه‌های متعدد نظیر جاده، پل، کانال، شبکه زهکشی و ... بر سر راه ورود جریان به شهر قرار دارند، تشخیص الگوی جریان بسیار مشکل و در بسیاری از موارد مشکوک به خطاست. دوم آنکه نمی‌توان در چنین شرایط پیچیده‌ای مقدار سیل را در نقاط مورد نظر با دقت قابل قبول برآورد نمود. بدیهی است که تصمیم‌گیری در مورد سیمای طرح و نوع کنترل قابل اعمال در پروژه، به شدت متأثر از هر دو عامل بزرگی سیل و محل خروج جریانهای سیلابی می‌باشد. بدیهی است که وجود نرم‌افزارهایی که در این مرحله از طرحهای عمرانی و با توجه به دقت مورد انتظار، علاوه بر نشان دادن الگوی جریان، خروجیهای موضعی و مقدار سیل را به دست دهد، بسیار مفید و راهگشا خواهد بود.

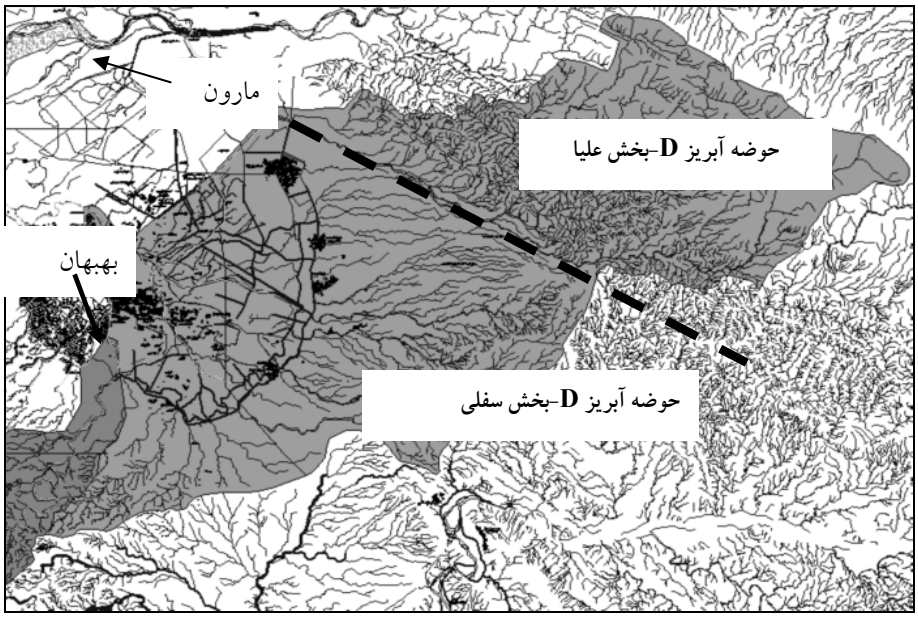
۲- منطقه مورد مطالعه

شهرستان بهبهان واقع در غرب استان خوزستان در این تحقیق مورد مطالعه موردی قرار گرفت. به طور کلی محدوده مطالعاتی در مختصات طول جغرافیایی ۵۰/۱ تا ۵۰/۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰/۵ تا ۳۰/۶ درجه شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط بهبهان ۳۲۰ متر از سطح آزاد دریا می‌باشد. همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌گردد این شهر از دو جناح در معرض سیل‌گیری است. یک جناح معروف به حوضه آبخروار است که در بخش جنوب غربی این شهر قرار دارد و جناح دوم حوضه‌ای است به نام D که از شرق ، جنوب شرقی و جنوب، شهر را مورد هجوم قرار می‌دهد. مطالعات اولیه نشان می‌دهد که قسمت اعظم سیلابهایی که هر چند سال یک‌بار باعث سیل‌گیری بهبهان می‌شوند، سیلابهایی هستند که از حوضه D نشأت گرفته‌اند. در این بخش که در واقع اراضی دشتی بهبهان را تشکیل می‌دهد، شبکه آبیاری و زهکشی بهبهان و کانال آبیاری معروف به کانال D قرار دارد. جاده‌های بهبهان- شیراز، بهبهان- خائیز -علمدار، بهبهان-منصوریه و منصوریه-کارخانه سیمان، از جمله تأسیساتی هستند که در این منطقه وجود دارند. تعداد هفت کالورت[1] ارتباط دو طرف کانال D را برقرار می‌کند. شکل ۱ کلیه تأسیسات مزبور را نشان می‌دهد[۱]. شکل ۲ حوضه مورد نظر را که با کمک نقشه‌های رقومی

[1] Culvert



شکل ۱- موقعیت سازه‌های موجود در مسیر جریانهای سیلابی به سمت بهبهان



شکل ۲- تفکیک حوضه آبریز D بر حسب الگوی آبراهه‌های موجود در نقشه ۱:۲۵۰۰۰

۱:۲۵۰۰۰ تعیین شده است، نشان می‌دهد. برآورد اولیه بر اساس الگوی جریان استخراج شده از نقشه‌های ۲۵۰۰۰ : ۱ نشان دهنده وجود دو بخش متداخل در حوضه می‌باشد؛ بخشی که مربوط به بالادست حوضه بوده و از بالای شهرک منصوریه به سمت رودخانه مارون سرازیر می‌باشد و بخشی که در پایین دست حوضه، جریان را به سمت بهبهان هدایت می‌کند.

۳- روش تحقیق

برای استفاده از یک مدل ریاضی مانند HEC-HMS لازم است که مجموعه‌ای از پارامترهای فیزیوگرافی مانند شیب توزیعی زیرحوضه‌ها، مساحت زیرحوضه‌ها، طول بلندترین مسیر هیدرولیکی، ضرایب نفوذ (مثلاً عدد منحنی قابل استخراج از ضرب نقشه‌های پوشش گیاهی،کاربری اراضی، گروههای هیدرولوژیکی خاکهای هر زیرحوضه) و ... به دست آورده شود[۲و۳]. برای تحلیل چنین سیستمی، با استفاده از مفاهیمی که از مدل‌های توزیعی به عاریت گرفته شده بود [۴، ۵ و۶]، با تشکیل DEM[1] حوضه، ساخت DEM هیدرولوژیکی، تشکیل ماتریس و نقشه جهت و تجمع جریان[۷]، حوضه به بخشها و زیرحوضه‌هایی تقسیم گردید. با تعیین زیرحوضه‌ها، برای به دست آوردن پارامترهای مورد نیاز برای تک تک زیرحوضه‌ها، نقشه‌های TIN[2]، DEM و شیب به دست آورده شد و سپس طول بلندترین مسیر هیدرولیکی، طول آبراهه اصلی و شیب آن به دست آمد. در مورد تشکیل مدل برای دو زیرحوضه علیا و سفلی، یک نکته قابل ذکر است. به منظور تحلیل تمامی حوضه به صورت یکپارچه و همچنین دو زیرحوضه به صورت مجزا، به کمک مفاهیم به عاریت گرفته شده از تفکر و الگوریتم‌های شیءگرا سعی شد که رفتار حوضه علیا به عنوان یک شئ، شبیه‌سازی شده و در پیکربندی بخش سفلی گنجانده شود و اثر نهایی آنها در ترکیب با یکدیگر در نقاط مشخصی که عموماً محل تلاقی اثر عناصر یاد شده می‌باشد، دیده شود.

تعیین الگوی جریان در واقع به مفهوم استخراج مصنوعی آبراهه‌ها هم می‌باشد. این امر در یک مفهوم جامع‌تر، در واقع روندیابی جریانهای سطحی می‌باشد که از دیرباز مورد توجه مهندسین هیدرولیک و هیدرولوژی که مفاهیم امواج کم عمق و جریانهای صفحه‌ای را بررسی می‌کنند، بوده است. آنچه که عملاً در این مطالعه صورت گرفته، استفاده از همین ایده استخراج مصنوعی آبراهه‌ها برای تشخیص و ردیابی جریان می‌باشد. در این تحقیق برای ردیابی جریانهای سطحی از نرم‌افزار GEO-HMS که به عنوان یک نرم‌افزار الحاقی در محیط ArcView_GIS عمل می‌کند استفاده شده است. دراین نرم‌افزار الگوریتمی به نام D8[3] به کار گرفته شده است[۷]. روشهای متعددی برای تعیین مسیر جریان و به دنبال آن تعیین ماتریس یا تابع تجمع جریان ابداع شده که برخی از مهمترین آنها D8، Rho8، Lea(Aspect Driven)، MS، DEMON و D∞ می‌باشند. این واقعیت که D8 سریع‌ترین و در

[1] Digital Elevation Model
[2] Triangulated Irregular Network
[3] Deterministic – eight node

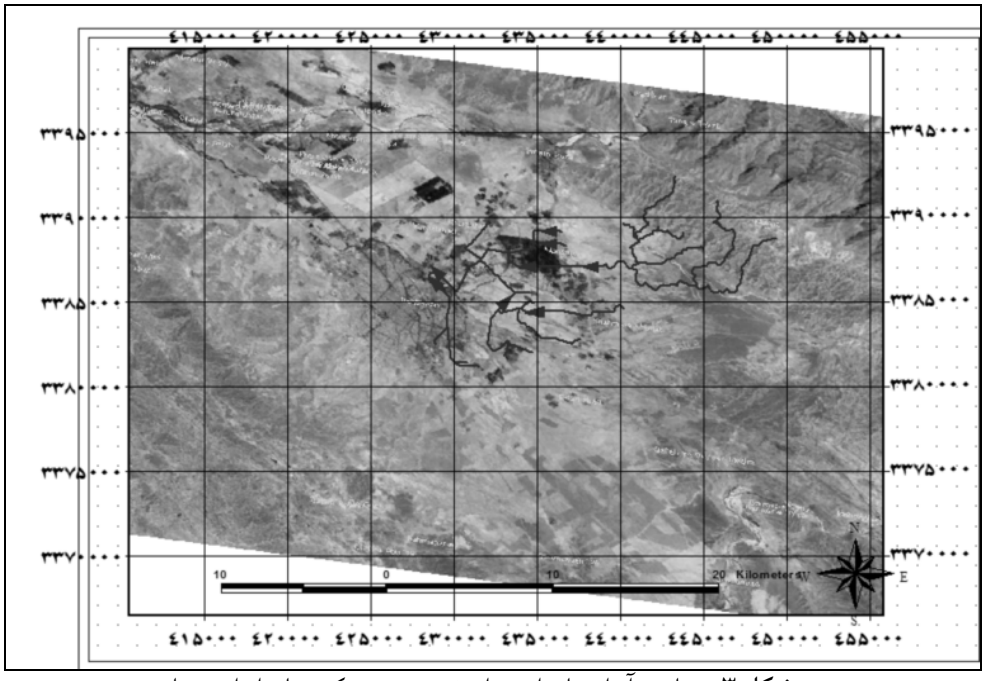
عین حال ساده‌ترین روشی است که تا کنون برای انواع مختلف DEMها به جواب رسیده، منجر به این امر شده است که الگوریتم مزبور علی‌رغم همه مشکلات ذاتی خود، به عنوان الگوریتم ردیابی جریانهای سطح‌الارضی در GISهای استاندارد مورد استفاده قرار گیرد[۸].

۴- نتایج و بحث

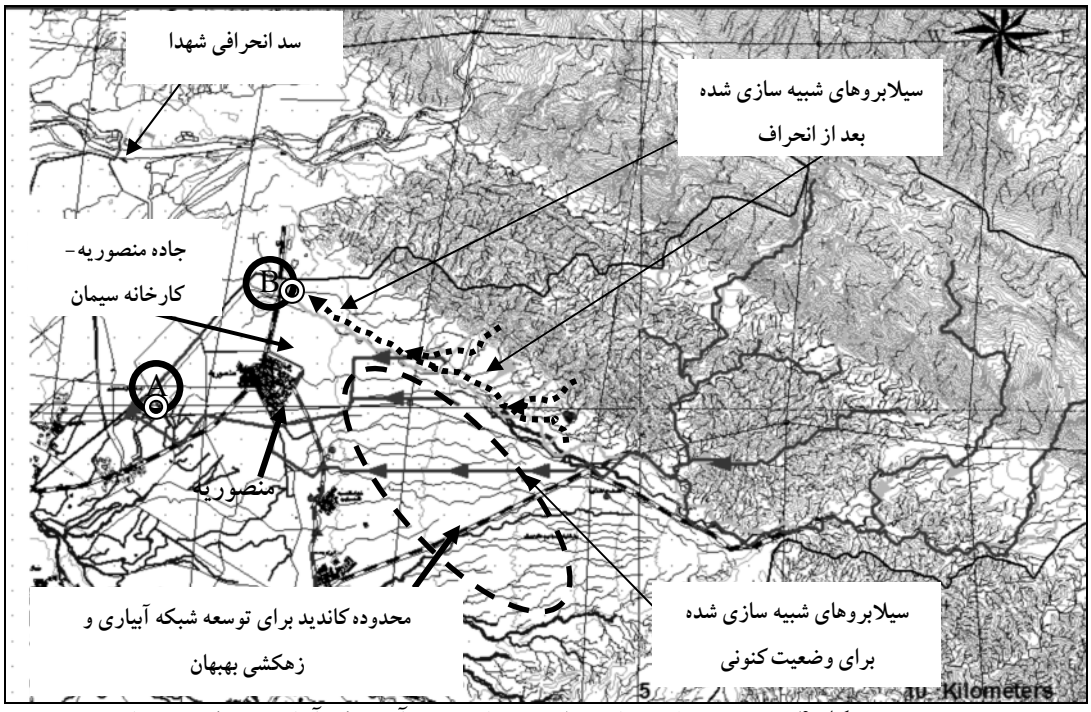
همان طور که در بخش پیش گفته شد برآورد اولیه از مسیر جریانهای سیلابی در بخشی که عامل اصلی تولید سیلابهای منطقه به شمار می‌رود (بخش علیای حوضه D)، آن است که این سیلابها در حاشیه کوههای خائیز و از بالادست شهرک منصوریه به سمت مارون روان می‌شوند. بخشی از این جریان (مقداری در حدود ۳۰ مترمکعب بر ثانیه) بعد از برخورد به جاده منصوریه-کارخانه سیمان که به عنوان یک مقطع کنترل عمل می‌نماید، به سمت مارون حرکت کرده و مازاد آن با دور زدن منصوریه، از طریق زهکشهای مصنوعی و طبیعی به سمت بهبهان منحرف می‌شود. در صورتی که این برداشت از الگوی جریان صحیح باشد، یک گزینه غیرقابل رقابت برای کنترل سیل بهبهان مطرح می‌شود. با کمترین تفحص می‌توان در محدوده یاد شده جایی را یافت که بتوان در آن نقطه، جریان سیلابی را کنترل و با تأمین سازه‌های انحراف و انتقال که مطالعات پیچیده‌ای را نمی‌طلبد- تا سقفی که مطالعات اقتصادی و اجتماعی و ... آن را تعیین می‌کند- به مارون منحرف نمود و مازاد آن را که ممکن است صفر باشد به سمت بهبهان روانه کرد.

مطالعات انجام شده با متدولوژی مشروح در بخش قبل، منجر به تولید الگویی غیر از آنچه که در نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ دیده می‌شود گردید. به منظور درک بهتر نحوه عملکرد مدل، آبراهه‌های استخراج شده، بر روی عکس ماهواره‌ای منطقه منتقل شده است (شکل ۳). در صورتی که الگوی استخراج شده توسط مدل درست باشد، سیمای طرح با آنچه که در سطور فوق بدان اشاره شد به کلی متفاوت خواهد بود. در این حالت، قسمت اعظم جریان سیلابی ناشی از کوههای خائیز و بخش علیای حوضه D، به سمت کانال D هجوم آورده و این کانال همچون یک سد خاکی طویل با مخزن قابل توجه و چندین خروجی[1] در مقابل جریان، نقش منحصر به فردی را ایفا خواهد نمود. با استخراج اطلاعات هیدرولوژیکی مورد نیاز و همچنین منحنی سطح-حجم-ارتفاع برای مخازن ایجاد شده در اطراف کانال، مدل HEC-HMS بعد از کالیبراسیون به کمک وقایع تاریخی ثبت شده، اجرا شد و نتایج جالب توجهی حاصل گردید. سیلاب حاصل از بخش علیای حوضه آبریز D تا دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به شدت تحت تأثیر مخازن ایجاد شده قرار گرفته و با روندیابی در فضای پشت کانال و سپس عبور از کالورت‌ها خود را به بهبهان می‌رسانند. رقم سیل ۱۰۰ ساله پس از عبور از کانال و در نقطه A (شکل ۴)، ۴۵ متر مکعب بر ثانیه است. همین عدد برای سیل ۲۰۰ ساله رقم ۱۷۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که به وضوح نشان دهنده سرریز شدن جریان از روی کانال و اثر ضعیف مخزن در روندیابی سیل در دبی‌های بزرگ می‌باشد.

[1] Bottom Outlet



شکل ۳ - نمایش آبراهه‌های استخراج شده بر روی عکس ماهواره‌ای بهبهان



شکل ۴- موقعیت سیلابروهای منطقه در زمان توسعه آتی شبکه آبیاری و زهکشی بهبهان

وضعیت توپوگرافی منطقه چنان است که جریان از نقطه A به صورت ثقلی قابل سوار شدن به مارون نمی‌باشد و این امر بدان مفهوم است که عملاً برای کنترل جریان رسیده به نقطه A کاری نمی‌توان کرد. براین اساس می‌بایست برای حفاظت شهر در مقابل سیلابهای بزرگتر از ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه، اقدامات حفاظتی را قبل از کانال D انجام داد. یکی از این گزینه‌ها می‌تواند افزایش تاج جاده سرویس کانال تا رقوم محاسبه شده برای سطح آب ۲۰۰ ساله (به اضافه عمق آزاد)، ایجاد سدهای کوچک آبخیزداری در شاخه‌های اصلی، ایجاد سدهای رودخانه‌ای[1] در آبراهه‌های دامنه‌ای و... باشد. یک گزینه دیگر، ایجاد یک خاکریز حفاظتی[2] سراسری در حاشیه بیرونی شبکه آبیاری و زهکشی در حال توسعه بهبهان و هدایت جریان به سمت جاده کارخانه سیمان می‌باشد. ایجاد چنین هندسه جریانی به کمک افزودن یک خط سه بُعدی به عنوان Hard break line به نقشه TIN حوضه امکان‌پذیر می‌باشد. بعد از چنین کاری و انجام مجدد محاسبات در محیط GIS و همچنین HEC-HMS، دبی سیلابی منطقه در نقطه B در شکل ۴ معادل ۱۸۷ مترمکعب برثانیه به دست می‌آید. نقطه B در شکل ۴ دارای این امتیاز است که از نظر ارتفاعی بالاتر از رودخانه مارون و موقعیت سد انحرافی شهدا قرار داشته و لذا می‌توان با تمرکز بیشتری، بر گزینه انحراف برای کنترل سیل بهبهان و همچنین حفاظت از شبکه آبیاری و زهکشی در فازهای بعدی مطالعاتی، تعمق و برنامه‌ریزی کرد.

۵- نتیجه‌گیری

تکیه بر روشهای متعارف یعنی نقشه‌های توپوگرافی، فرمول‌های تجربی و نظرات کارشناسی در مورد مسائل پیچیده مطرح در طرحهای آبی و به خصوص کنترل سیلاب می‌تواند منجر به خطاهای عمده‌ای در سیمای طرح گردد. وجود GIS و مدل‌های ریاضی که متصل به GIS عمل می‌کنند می‌تواند در این گونه مسائل راهگشا باشد. تاکنون الگوریتم‌های روندیابی جریان متعددی توسعه یافته که متداول‌ترین آنها D8 است. این الگوریتم در نرم‌افزارهای زیادی و از جمله GEO-HMS که نرم‌افزار الحاقی به ArcView-GIS می‌باشد تعبیه شده است. به کمک این الگوریتم جهت‌های محتمل جریانهای سطحی، قابل شناسایی است. ترکیب این عوامل و مدل‌های ریاضی می‌تواند سیمای طرح را برای شرایط مرزی پیچیده و برای انواع مختلف سناریوها تعیین نماید. مطالعه موردی طرح کنترل سیل بهبهان نشان می‌دهد که استفاده از متدهای نوین فوق‌الذکر تا چه حد می‌تواند بر سرنوشت طرح اثر گذاشته و راه صحیح را در همان ابتدای پروژه روشن نماید که این امر هم از نظر اقتصادی و هم از نظر کارآیی سیستم طراحی شده، دارای اهمیت ویژه‌ای است. الگوریتم D8 از نقطه نظر حرکت جریان، یک الگوریتم یک بُعدی بوده و جریان ورودی به سلول در مرکز آن

[1] Turkey Nest
[2] Dike

جمع می‌شود. این الگوریتم ممکن است در مناطق کم‌شیب دچار مشکل گردد و احتمالاً مسیر جریان را درست تشخیص نداده و دچار خطای عمده‌ای گردد. مدل HEC-HMS یک مدل فله‌ای[1] است که از وقایع درون حجم کنترل تأثیر نمی‌پذیرد. استفاده از الگوریتمی دو بُعدی و یا شبه دوبُعدی به جای D8 و مدل‌های توزیعی به جای مدل‌های فله‌ای مطمئناً می‌تواند منجر به ارائه سیمای طرح بهتر و راه‌حلهای دقیق‌تری گردد. چنین الگوریتم و چنین مدلی در سطح کاربردهای مهندسی هنوز وجود ندارد ولی راهی که در پیش روست مطمئناً از این شاهراه خواهد گذشت.

[1] Lumped

۶- قدردانی

این تحقیق با حمایت همه جانبه شرکت مهندسین مشاور آبکاوش سرزمین و سازمان آب و برق خوزستان فراهم شد. دیدگاههای عمیق آقای مهندس اردشیر آرین و راهنماییهای ارزنده آقایان حقیقت طلب، نحوی و نوعی در شکل‌گیری این تحقیق نقش به سزایی داشته است؛ لذا بدین وسیله از ایشان قدردانی می‌گردد.

۷- مراجع

۱- ***گزارش کنترل سیلاب شهرستان بهبهان***، (۱۳۸۴). **شرکت مهندسین مشاور آبکاوش سرزمین، تهران، ۱۶۵.**

2- De Vantier, B.A., and Feldman, A.D. (1993). "Review of GIS applications hydrologic modeling." *J. Water Resource Planning and Management*, 119(2), 246-261.

3- HEC-HMS, (2005). *Hydrologic modeling system, User's manual*, U.S. Army Crop of Engineers, Hydrologic Eng., Davis, Calif.

4- Singh, V.P., and Fiorentino, M. (1996). "Geographical information system in hydrology." Singh, V.P., and Fiorentino, M., chief editors, *Proc., Hydrologic Modeling with GIS*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

5- Maidment, D.R. (1992). *Grid-based computation of runoff: A preliminary assessment*, Report to U.S. Army Crop of Engineers, HEC, Under Contract DACW05-92-P-1983.

6- Maidment,D.R. (1993). "Developing a spatially distributed unit hydrology using GIS." *Proc., HydroGIS 93,* Vienna, 181-192.

7- HEC-GEOHMS, (2003). *An extension for support of HEC-HMS using ArcView, User's manual*, U.S. Army Crop of Engineers, Hydrologic Eng., Davis, Calif.

8- Tarboton, D.C. (1997). "A new method for determination of flow directions and upslope area in grid digital elevation models." *J. Water Resource Research*, 33(2), 309-319.