کارگاه آموزشی کاربرد RS و GIS در آبیاری و زهکشی
۱۲ آذر ماه ۱۳۸۳

کاربرد GIS در مطالعات مهندسی رودخانه

محمد رستمی[۱]

مقدمه

روند افزایشی خسارات جانی و مالی ناشی از جاری شدن سیلاب طی چند دهه اخیر درجهان، مهندسین آب ودیگر متخصصین مربوطه رابرآن داشته است که بااتکا برابزار مدرن، چاره ای نو جهت کنترل ومدیریت این پدیده طبیعی بیندیشند. ازسوی دیگر برهمگان روشن است که کنترل کامل سیل اگر چه مطلوبست اما امری غیر ممکن می‌باشد وفقط باتمهیداتی می‌توان خسارات ناشی ازجاری شدن آنرا به حداقل رساند. ازاساسی ترین گامها درمدیریت سیلابدشت، کنترل سیلاب، تخمین خسارات سیل وتعیین حق بیمه سیل تعیین دقیق مرزهای سیلابدشت یا همان پهنه بندی سیلاب می‌باشد که دستیابی به این نتایج جز با تحلیل هیدرولیکی امکان پذیر نمی‌باشد. مدلهای ریاضی نقش محوری را در این تحلیل‌ها دارا هستند. با استفاده از این مدلها می‌توان پروفیلهای سطح آب را درطول مسیر رودخانه که هر یک مربوط به شدت جریان خاصی می‌باشد را به سادگی تعیین نمود. اما نقص اکثر این مدلها ناتوانی آنها در مرتبط کردن اطلاعات مربوط به خصوصیات پروفیل سطح آب با موقعیت فیزیکی آنها روی زمین است. معمولاً به منظور مشخص کردن پهنه سیلاب، رقومهای سطح آب را به صورت دستی روی کاغذهای مربوطه ترسیم می‌نمایند. با کامپیوتری کردن عملیات ترسیم پهنه سیلاب می‌توان در وقت و نیروی انسانی به میزان قابل‌توجهی صرفه‌جویی کرد. برای کمک به این روند می‌توان از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از راه دور(RS)که محیط ایده آلی برای این منظور می‌باشند، استفاده نمود. لذا در این تحقیق از مدل هیدرولیکی HEC-RAS جهت محاسبات هیدرولیکی سیلاب و از ArcView GIS بمنظور تجسم و تحلیل داده‌های پهنه‌بندی استفاده شده است.

۱- دانشجوی دکترای عمران– آب، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

آشنایی با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)

با افـزایش قابلیّت دسترسـی به اطلاعات دیجیتال و کـارایی تحـلیل‌های کامپـیوتری، نقـش GIS در مدلـسازی هیـدرولوژیـکی و هیـدرولیـکی همچنـان رو به افـزایش اسـت. در نتـیجهٔ استـفاده از ایـن تکـنولوژی دقـت پروژه‌ها نیز بیشـتر خـواهد شد. در حال حاضر بمـنظور نمایـش رقوم سطـح آب بدسـت آمـده از مدلـهای هیدرولوژیکی و هیـدرولیکی در مدلهای سه‌بعدی فعالیـتهای چشمـگیری انجام شده است تا کاربر قادر باشد نمایی از محدودهٔ سـیلابگیر ناشی از یک بارنـدگی خاص را مشاهده کند.

با پیشرفت سریع GIS در دهۀ ۱۹۸۰، استفاده از این ابزار برای نشان دادن جریان آب سطحی رو به افزایش گذاشت. اکثر کارهایی که در ابتدا با این ابزار انجام شده است عبارتند از تحلـیل مدلـهای رقومی‌دیجیتال[1] (DEM) و شبکه‌های مربعی داده‌های رقومی‌برای استفاده در پروژه‌های هیدرولوژیکی. تا اواخر دهۀ هشتاد استفاده از DEM بمنظور نمایـش عوارض زمـین در مـقیاس بزرگ که برای تحـلیل هیدرولیکی مجاری جریان لازم است، مناسب نبود؛ زیرا به کاربر امکان تغییر ضرایب کیفی مکانی[2] را نمی‌داد و به همین دلیل DEM در تعیـین سطح زمـین در نواحی با عوارض پیچیده[3]، ضعیف عمل می‌کرد (Carter,1988).

اما در سالهای اخیر با ظهور کامپیوترهای قوی‌تر، امکان افزایش دقت DEM نیز در اختیار کاربران قرار گرفته‌است و به این ترتیب DEMهایی با دقت بسیار زیاد (تا یک متر) تولید شده‌اند. DEM را می‌توان در قالب دو ساختار اصلی داده در GIS یعنی رستری و برداری تولید کرد. ارزش هر سلول در DEM با ساختار رستری معادل ارتفاع متوسط قطعهٔ کوچکی از زمین خواهدبود. مدل ارتفاعی رقومی‌در حالت برداری دارای ساختار ویژه‌ای است که شبکهٔ نامنظم مثلثی نام دارد. به این ترتیب DEM را می‌توان به یکی از صورتهای زیر دراختیار داشت :

داده‌های رستری (شبکه‌ای-سلولی)

داده‌های برداری (نقطه، خط، پلی گون)

شبکه‌های نامنظم مثلثی[4] (TIN)

GIS با اسـتفاده از داده‌های مکانی بعنوان مبنا[5] پیـوندهایی بین داده‌هـای گسسته برقـرار می‌سـازد. به این ترتیـب می‌توان از DEM بدست آمده در تسهیل مشاهدهٔ عکس‌العمل‌های زمین و آب که بصورت متغیر مکانی هستند، استفاده کرد.

1- Digital Elevation Model
2- Spatial Resolution
3- Complex Relief
4- Triangular Irregular Networks
5- Geo-Referencing

کاربرد GIS در مدلسازی هیدرولیکی

مزیت استفاده از GIS در مدلسازی هیدرولیکی، پتانسیل بالای آن برای بدست آوردن اطلاعات توپوگرافی مربوط به مقاطع با دقت بسیار زیاد از DTM است؛ یکی از کاربردهای این ابزار نمایش رودخانه[1] و حدود پهنهٔ سیل می‌باشد که در بسته‌های نرم‌افزاری هیدرولیکی محاسبه می‌شوند. Beavers در سال ۱۹۹۴ اولین فعالیتها را در زمینهٔ برقراری پیوند بین مدلهای هیدرولیکی و GIS انجام داد. به این ترتیب ابزاری به نام ARC/HEC2 بمنظور کمک به هیدرولوژیستها در تحلیلهای مربوط به پهنه‌بندی سیلاب تهیه گردید. ARC/HEC2 شامل ترکیبی از متن‌های زبان ماکرونویسی برنامهٔ Arc/Info (AML)[2]؛ و برنامه‌های نوشته‌شده در محیط C می‌باشد که برای پیش‌پردازش و پس‌پردازش داده‌های مربوط به عوارض زمین و اطلاعات مربوط به مدل هیدرولیکی HEC-2 از آنها استفاده می‌شود. این برنامه قادر است اطلاعات مربوط به عوارض زمین را از پوششهای روی نقشه استخراج نموده وسپس داده‌هایی را که توسط کاربر به عنوان ورودی سیستم معرفی می‌شود، بر روی آن درج نماید. این ورودی‌ها می‌توانند مقادیر ضریب زبری مانینگ، ثابتهای انقباض و انبساط کانال و... باشد. درنهایت این اطلاعات را به نحوی تغییر می‌دهد که بتوان آنها را بعنوان ورودی برنامهٔ HEC-2 بکار برد.

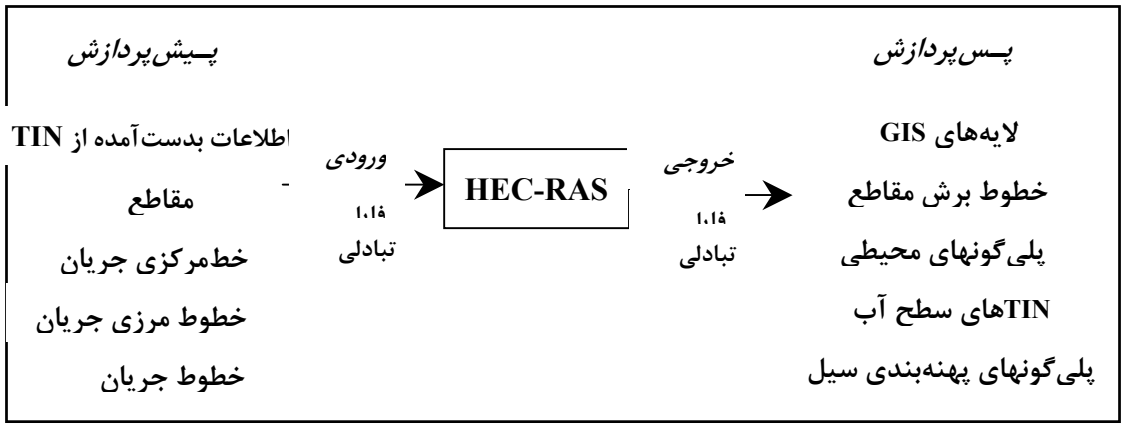
پس از اجرای HEC-2 ، ARC/HEC2 نتایج خروجی را در قالب رقوم سطح آب در هر سطح مقطع نمایش می‌دهد و پهنهٔ سیل ترسیم می‌گردد. برای اجرای ARC/HEC2 باید یک رویه[3] از اطلاعات مربوط به عوارض زمین را در آن وارد نمود. به این ترتیب پروفیلهای دقیق سطح‌مقطع‌های رودخانه توسط آن رسم می‌شود. این رویه‌ها که در قالب شبکه‌های مربعی یا مثلثی هستند، بر اساس اطلاعات خطوط تراز زمین یا اطلاعات پیمایش زمین یا سایر وسایل برداشت عوارض زمین در برنامهٔ Arc/Info ساخته می‌شوند. دقت محاسبات پهنهٔ سیل در HEC-2 به دقت نمایش سطوح بستگی دارد.

در سالهای اخیر، اکثر هیدرولوژیستها برنامهٔ مورد استفادهٔ خود را از HEC-2 به مدل هیدرولیکی HEC-RAS که یک برنامهٔ تحت ویندوز است، تغییر داده‌اند. مدل HEC-RAS با HEC-2 تفاوتهایی از نظر قابلیت وارد کردن و همچنین استخراج داده‌ها برای نرم افزار GIS دارد. نسخهٔ ۳ برنامهٔ HEC-RAS به کاربر امکان وارد کردن و بکارگیری نمایش سه‌بعدی رودخانه و همچنین داده‌های مربوط به سطح مقطع‌ها از فایلهای عمومی[4] را می‌دهد. قابلیت محاسبهٔ جریانات غیرماندگار نیز در این نسخه از برنامه به آن افزوده شده‌است. می‌توان در داده‌های مربوط به عوارض زمین که در GIS ذخیره می‌شود بمنظور مطابقت دادن آن با داده‌های برنامهٔ HEC-RAS تغییراتی ایجاد کرده و آنها را بصورت قابل کاربرد در این نرم‌افزار درآورد.

1- River Stage
2- ArcInfo Macro Language
3- Surface
4- General-Purpose

در سال ۱۹۹۷، Tom Evans که از اصلاح‌کنندگان تحقیقات Beavers در پروژه مربوط به HEC بود، دسته ای از ماکروهای زبان AML که در هر دو مورد پیش‌پردازش و پس‌پردازش برای HEC-RAS قابل استفاده بودند را بررسی نمود. عمل پیش‌پردازش با استفاده از AML، یک فایل تبادلی از داده‌ها می‌سازد که شامل توضیحات هندسهٔ رودخانه می‌باشد. این توضیحات، نتیجهٔ مدل شبکهٔ نامنظم مثلثی (TIN) سطح زمین می‌باشند. در نرم‌افزار HEC-RAS کاربر باید یک سری اطلاعات جانبی مانند ضریب مانینگ؛ n، ثابتهای انقباض و انبساط و توضیحات هندسی سازه‌های هیدرولیکی (مانند پلها، کالورتها و...) در سطح‌مقطع‌ها و ایستگاه‌های ساحلی[1] و طولهای هر بازه از رودخانه (البته در صورتی که در فایل تبادلی ذکرشده موجود نباشد) را وارد نماید.

پس از اجرای برنامه، HEC-RAS می‌تواند داده‌های خروجی را در قالبی مشابه با فایل تبادلی دیجیتال در اختیار کاربر قرار دهد. سپس می‌توان با استفاده از ماکروهای پس‌پردازندهٔ AML یک فایل تبادلی TIN از این سطح آب در اختیار داشت. مراحل این عمل در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: مراحل پیش پردازش و پس پردازش پهنه بندی سیلاب با استفاده از GIS و HEC-RAS

با استفاده از این نمونه‌ها، کاربران قادر به انتقال توضیحات فیزیکی رودخانه مورد مطالعه به نرم‌افزار GIS بودند (HEC, 1997). همچنین امکان واردکردن موقعیت مقاطع از DTMها در مختصات سه‌بعدی (x,y,z) و بدست‌آوردن مشخصات هندسی کانال و نواحی رودخانه نیز وجود داشت. مطالعات انجام‌شده در این تحقیق تا حدودی مشابه کارهای Beavers که در سال ۱۹۹۴ انجام شده‌است می‌باشد؛ با این تفاوت که کاربران می‌توانستند اطلاعات را بین ArcView GIS و HEC-RAS رد و بدل کنند.

در عمل، کار Evans تقریباً مشابه کاری است که توسط Beavers و Djokic انجام گردید. تنها تفاوت موجود بین کارآنها، درنوع نرم‌افزارهای مورد استفاده بود که در پروژهٔ Evans از مدل HEC-RAS بجای HEC-2 استفاده گردید. کدهایی که به زبان AML نوشته شده بود، امکان آماده‌سازی داده‌های GIS برای واردشدن در HEC-RAS و قالب‌بندی خروجی مدل برای نمایش در GIS را فراهم می‌ساخت.

1- Bank Stations

در سال ۱۹۹۸ مؤسسهٔ تحقیقات سیستمهای زیست محیطی (ESRI) یک ویرایش محدود از ابزارهای[1] فرعی ArcView به نام AVRAS را ارائه نمود. بر خلاف نرم افزارهای GIS قبلی که در محیط Arc/Info بکار برده می‌شد، AVRAS به این منظور طراحی شده بود که از ArcView بعنوان یک محیط پیش‌پردازشی و پس‌پردازشی برای مدلسازی هیدرولیکی در HEC-RAS استفاده می‌کرد. AVRAS در ابتدا با ترجمهٔ کدی به نام Avenue (زبان برنامه‌نویسی در ArcView) که Evans به زبان AML نوشته بود تهیه گردید.

در سال ۱۹۹۹ Azagra از این ابزار در حوضهٔ آبریز رود Waller در Austin استفاده کرد که در آن از TIN استفاده شده بود. در تحقیقی که توسط وی انجام شد اطلاعات توپوگرافیکی از TIN استخراج شده، از نتایج آن بعنوان فایل ورودی HEC-RAS استفاده شده بود. De Camargo نیز در سال ۲۰۰۰ از AVRAS برای مقایسهٔ نتایج پهنهٔ سیل حاصل از مدل با محدودهٔ واقعی آن در شهر Uniao da Vitoria در(Parana (Brazil استفاده کرد. در سال ۱۹۹۹، AVRAS توسط Dodson و شرکا در قالب یک محصول تجارتی تحت عنوان GIS StreamPro عرضه شد.

Kraus در سال ۱۹۹۹ روشی را برای بدست آوردن داده‌های هندسی رود از TIN با استفاده از GIS StreamPro در حوضهٔ آبریزی به مساحت ۳/۴۲ مایل‌مربع ارائه کرد. همچنین در سال ۱۹۹۹ برنامهٔ HEC-GeoRAS بعنوان نسخهٔ تکمیلی GIS StreamPro توسط HEC ارائه شد. Ackerman و همکاران در سال ۱۹۹۹ از HEC-GeoRAS بعنوان برنامهٔ مرتبط‌کنندهٔ ArcInfo و HEC-RAS استفاده کردند. این نگارش خاص GeoRAS از ArcInfo برای بدست آوردن اطلاعات جغرافیایی که در HEC-RAS مورد نیاز است استفاده می‌کند. در این تحقیق از مدل TIN برای DTM استفاده شده بود و کاربر می‌توانست با استفاده از آن اطلاعات پروفیل سطح آب را مشاهده کند.

مطالعه موردی

انجام مطالعه هیدرولیک در تحقیق حاضر که با هدف بررسی حد بستر و حریم یکی از سرشاخه‌های رودخانه جاجرود بنام بوجان تعریف گردیده از جایگاه ویژه ای برخوردار می‌باشد چرا که مطابق قانون توزیع عادلانه آب، بستر انهار طبیعی و کانالهای عمومی‌و رودخانه‌ها و همچنین اراضی ساحلی که در اثر پایین رفتن سطح آب دریاها ودریاچه‌ها ویا خشک شدن مردابها و باتلاقها پدید آمده باشد درصورت عدم احیا قبل از تصویب قانون نحوه احیا اراضی در اختیار حکومت جمهوری اسلامی‌می‌باشد. به همین منظور برای مشخص نمودن بستر واقعی رودخانه‌ها معیارهایی تعیین شده است که برای تحقق این معیارها نیازبه بررسی شرایط جریان در طول مسیر رودخانه می‌باشد که این کار نیز جز با انجام مطالعه هیدرولیک جریان میسر نخواهد شد.

1- Extentions

مطالعات هیدرولیک جریان پیش نیاز انجام کلیه مطالعات مهندسی رودخانه محسوب میگردد. شناخت وضعیت جریان و تحلیل پارامترهای هیدرولیکی رودخانه در شرایط مختلف و بویژه سیلابی در نهایت مبنای آنالیز رفتار رودخانه و تصمیم گیری در خصوص اقدامات مهندسی و تاثیر گذار بر رودخانه می‌باشد. به همین منظور سعی شده است در این مطالعات، بعضی جنبه‌های رفتاری رودخانه جاجرودوسرشاخه‌های آن از دیدگاه هیدرولیک در طول بازه‌های مورد مطالعه با بهره گیری از اطلاعات موجود مورد بررسی قرار گیرد.

مراحل شبیه سازی هیدرولیکی جریان

به منظور تحلیل هیدرولیکی توسط نرم افزار HEC-RAS لازم است مراحل زیرانجام گیرد:

- تهیه پلان ومقاطع عرضی شبکه رودخانه
- تعیین مشخصات سازه‌های متقاطع نظیر پلها
- ارزیابی ضریب زبری مانینگ
- انتخاب مقادیر سیلاب طراحی با توجه به شرایط طرح
- تعیین شرایط مرزی در بالادست و پایین دست رودخانه
- اجرای برنامه
- واسنجی مدل
- پهنه بندی سیلاب

در این تحقیق آن بخش از مراحل که مربوط به کاربرد GIS در مطالعات هیدرولیک مهندسی رودخانه می‌باشد ارائه شده است.

تهیه پلان و مقاطع عرضی شبکه رودخانه

شکل رودخانه و سیلابدشت آن در واقع تعیین کننده ظرفیت عبور جریان از مسیر اصلی و نیز کناره‌های آن است. در واقع نیازمندی اولیه جهت تعیین مسیررودخانه و دشت‌های سیلابی آن، تهیه مقاطع عرضی از رودخانه می‌باشد. بدلیل ارائه نقشه‌های توپوگرافی محدوده رودخانه مورد مطالعه توسط کارفرمای محترم، استخراج پلان ومقاطع عرضی رودخانه مستلزم استفاده از مدلهای GIS می‌باشد که در ادامه شرح مختصری از این مدلها و نحوه استخراج این اطلاعات بیان شده است.

مشخصات نرم افزار پهنه بندی سیلاب

مزیت استفاده از Arc View درمدلسازی هیدرولیکی، پتانسیل بالای آن برای بدست آوردن اطلاعات توپوگرافی مربوط به مقاطع با دقت بسیاربالا از مدل رقومی‌زمین (Digital Terrain Model -DTM) است. یکی ازکاربردهای این نرم افزار تعیین حدود پهنه سیلاب می‌باشد که در بسته‌های نرم افزاری

هیدرولیکی استفاده می‌شود. در سالهای اخیر به دلیل توسعه اهداف مطالعات مهندسی رودخانه(پهنه بندی سیلاب، تعیین بستروحریم و...) ، تهیه نقشه‌های رقومی(توپوگرافی) به جای مقاطع عرضی از محدوده رودخانه‌ها بطور قابل توجهی گسترش یافته تا ضمن تهیه مقاطع عرضی از این نقشه‌ها، بتوان پهنه سیلاب و بستر و حریم رودخانه‌هارا برروی آنها مشخص نمود. به همین منظور در سال ۱۹۹۹ موسسه HEC برنامه ای را تحت عنوان HEC-GeoRAS درمحیط Arc View برای استخراج فایل ورودی موردنیاز مدل هیدرولیکی HEC-RAS تهیه نمود. اطلاعاتی که برنامه HEC-GeoRAS در فایل ورودی ذخیره می‌کند عبارتند از: لایه‌های خط مرکزی جریان ، سواحل رودخانه، مقاطع عرضی و مرزهای رودخانه با سیلابدشت واقع درچپ و راست رودخانه. همچنین از این برنامه می‌توان برای تجزیه وتحلیل نتایج حاصل از محاسبات هیدرولیک جریان توسط HEC-RAS استفاده نمود.

آماده‌سازی مدل رقومی زمین (DEM)

از جمله مشخصات مورد نیاز به منظور ارزیابی خصوصیات هیدرولیک جریان رودخانه، تعیین مقاطع عرضی در طول مسیر رودخانه می‌باشد. این فایل دربردارندۀ خصوصیات جغرافیایی مورد نیاز بمنظور انجام محاسبات در مدل HEC-RAS می‌باشد. اطلاعات جغرافیایی مقاطع از مدل رقومی زمین که در قالب شبکه نامنظم مثلثی (TIN) می‌باشد استخراج می‌شوند. بمنظور تهیۀ TIN منطقۀ مورد مطالعه از نقشه‌های ۱:۵۰۰ استفاده شده است. به این ترتیب که پس از تعریف یک پروژۀ جدید در ArcView، وارد کردن نقشه‌های مذکور(شکل ۲) در آن و فراخوانی ابزارهای لازم ،مدل رقومی زمین درقالب TIN مطابق شکل (۳) تهیه شده است.

تهیۀ فایل ورودی HEC-RAS

- تهیۀ خط مرکزی جریان

اولین گام در تهیه فایل ورودی HEC-RAS مشخص نمودن رودخانه توسط لایۀ خط مرکزی جریان می‌باشد. این لایه بصورت ناحیه به ناحیه از بالادست به پایین‌دست ساخته می‌شود که هر ناحیه دربردارندۀ نام رود خانه و بازه مربوطه است. از این لایه بمنظور تعیین محدودۀ قرارگیری مقاطع، نمایش موقعیت رودخانه در مدل HEC-RAS و تعریف جهت جریان در رودخانه استفاده می‌شود. شکل (۴) لایه خط مرکزی جریان رودخانه بوجان را نشان می‌دهد.

- تهیه لایۀ سواحل رودخانه

جداسازی مجرای جریان اصلی در رودخانه از سواحل آن توسط این لایه انجام می‌شود. موقعیت سواحل هر مقطع محل برخورد این لایه با لایۀ سطح‌مقطع‌ها خواهدبود. شکل (۵) لایه سواحل رودخانه بوجان را نشان می‌دهد.

- تهیهٔ لایه ابعاد مسیر جریان

از این لایه بمنظور تعیین ابعاد مسیر هیدرولیکی جریان در مجرای اصلی جریان و سواحل راست و چپ آن در ناحیهٔ سیلابگیر استفاده می‌شود. در صورت تهیهٔ لایه مسیر جریان در مراحل قبل می‌توان از کپی خط مرکزی جریان برای تعریف مسیر در مجرای اصلی جریان استفاده کرد. لایهٔ مسیر جریان نیز باید در جهت جریان از بالادست به پایین‌دست ایجاد شود. طول سواحل چپ و راست با محاسبه فاصلهٔ بین دو مقطع متوالی در امتداد خطوط مسیر جریان برای مجرای اصلی جریان و سواحل راست و چپ در فایل ورودی HEC-RAS درج می‌شود. شکل (۶) لایه ابعاد مسیر جریان رودخانه بوجان را نشان می دهد.

- ترسیم لایهٔ مقاطع

موقعیت، وضعیت و پهنای مقاطع در این لایه معرفی می‌شود. HEC-GeoRAS با توجه به خطوط ترسیم شده در این لایه، اطلاعات مربوط به نقاط برداشت شده در هر مقطع را از مدل رقومی زمین در فایل HEC-RAS درج می‌کند. برای ترسیم در این لایه باید موارد زیر را مدنظر داشت :

خطوط معرف مقاطع باید از ساحل چپ به سمت ساحل راست رسم شوند.

این خطوط می‌توانند فقط یک نقطهٔ تقاطع با خط مرکزی رودخانه و خطوط نشان‌دهندهٔ مسیر جریان داشته باشند.

- این خطوط باید عمود بر جهت جریان در کانال اصلی رسم شوند.
- خطوطی که در این لایه رسم می‌شوند نباید متقاطع باشند.

شکل (۷) لایه مقاطع رودخانه بوجان را نشان می دهد.

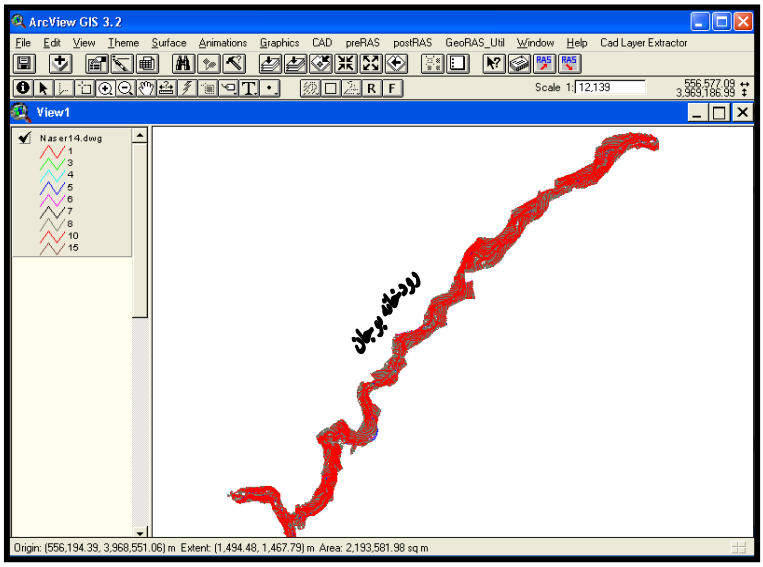
آماده‌سازی فایل ورودی HEC-RAS

پس از تهیهٔ لایه‌های مورد نیاز می‌توان فایل ورودی را که در نتیجه یک تجزیه وتحلیل حاصل شده است به مدل HEC-RAS معرفی نمود. شکل (۸) نتیجه مراحل قبل که شامل پلان و موقعیت مقاطع عرضی رودخانه بوجان می باشد را در مدل HEC-RAS نشان می دهد.

تعیین پهنه سیلاب

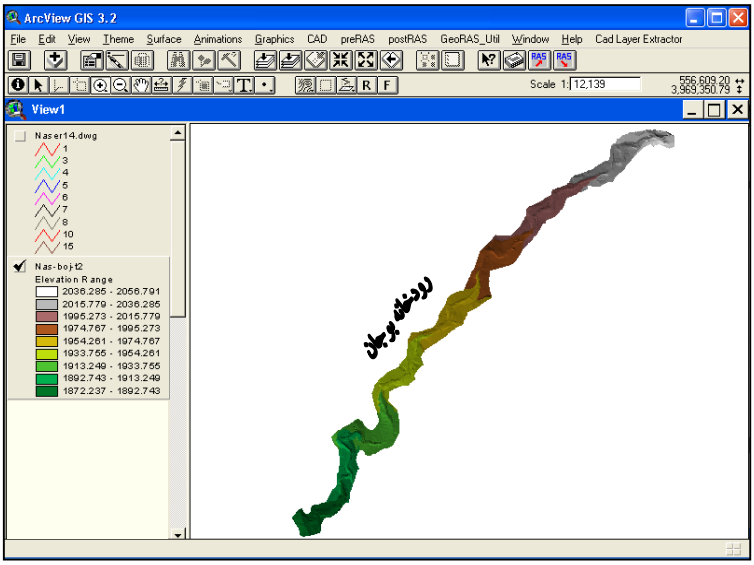
آخرین گام پس از تهیه مدل هیدرولیکی رودخانه درHEC-RAS و اجرای آن، تعیین پهنه سیلاب می‌باشد. در مدل ریاضی HEC-RAS پهنه سیلاب بصورت رقوم سطح آب محاسبه شده ودرمحل مقاطع عرضی نشان داده می‌شود. با استفاده از رقوم سطح آب در هر یک از مقاطع عرضی وماکروهای پس‌پردازنده الحاقیه HEC-GEO-RAS ، یک فایل تبادلی TIN که بتواند سطح آب گرفتگی را نشان دهد، تهیه می‌گردد. از تلفیق TIN سطح آب با TIN زمین، پهنه سیلاب در محیط Arcview GIS نمایش داده می‌شود. شکل (۹) نمایش سه بعدی پهنه بندی سیلاب رودخانه بوجان را نمایش می‌دهد. تصویر نشان داده شده در شکل

(۹) چیزی بیشتر تصویر گستره آبگرفتگی را نشان نمی‌دهد. برای برطرف کردن این مشکل لایه‌های ساختمانها ، سازه‌های طولی و عرضی در طول مسیر رودخانه را می‌توان به این View اضافه نمود ودرنهایت محدوده آبگرفتگی قابل فهم تر و واقعی تری را نمایش داد. اشکال (۱۰) و (۱۱) نمونه ای از نمایش سه بعدی رودخانه بوجان به همراه لایه سازه‌های موجود در داخل و حاشیه آن را نشان می‌دهند.



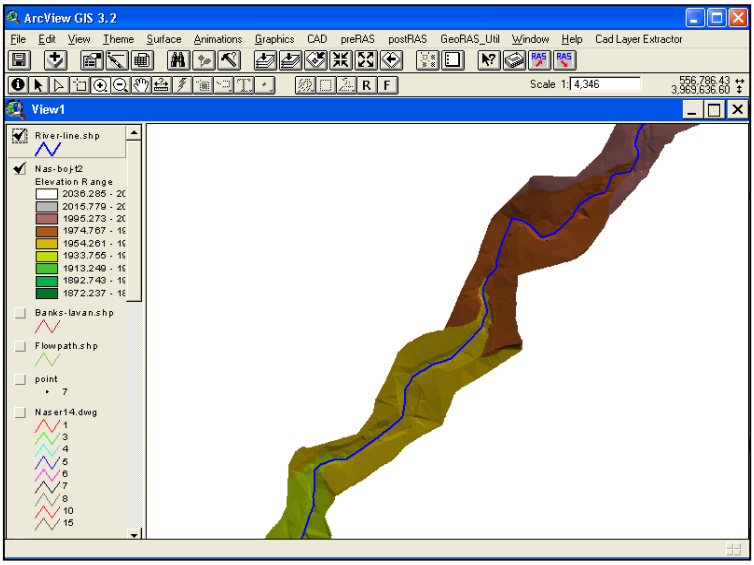
شکل ۲ : مدل رقومی زمین نقشه برداری شده

رودخانه بوجان

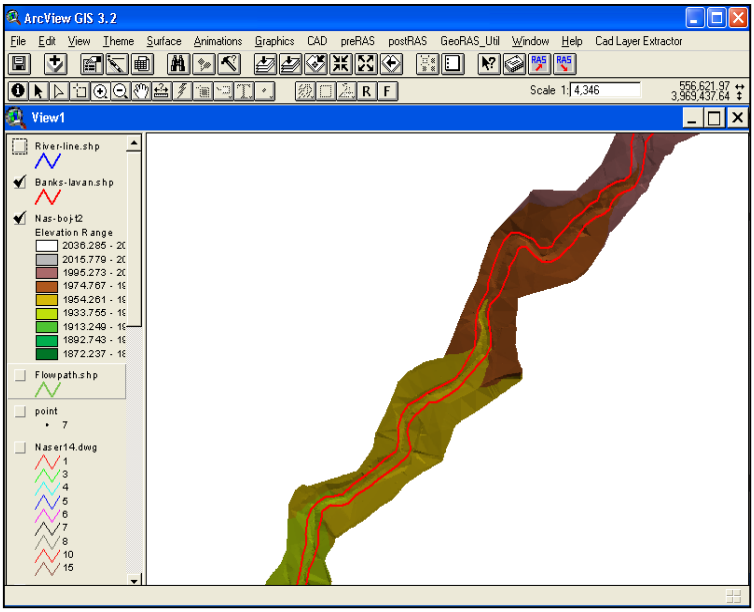


شکل ۳ : مدل رقومی زمین در قالب TIN

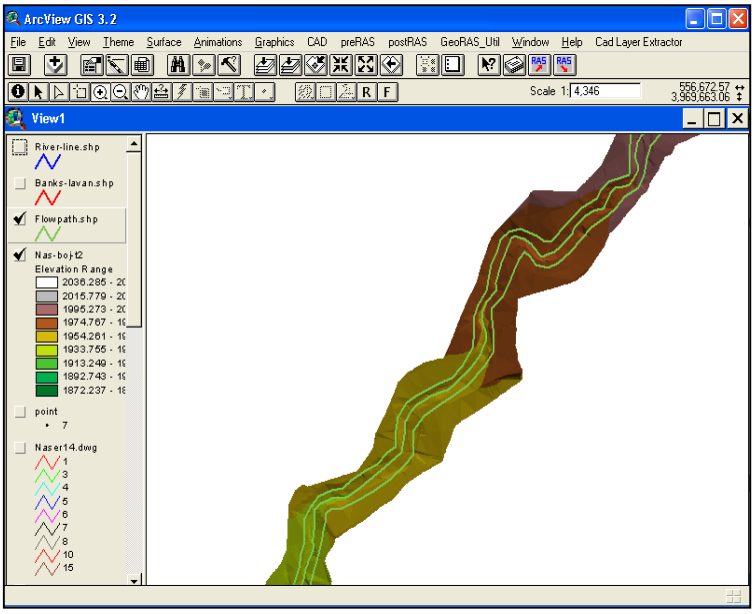
رودخانه بوجان



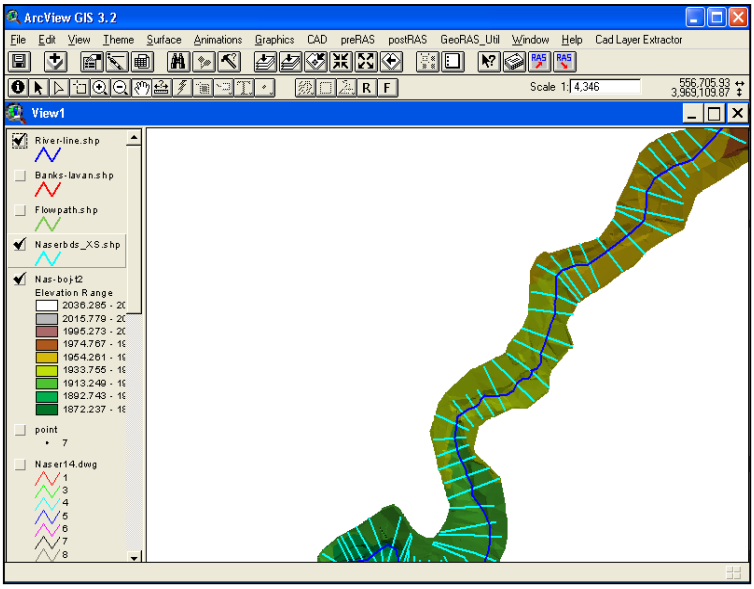
شکل ۴ : تهیه لایه خط مرکزی جریان رودخانه بوجان



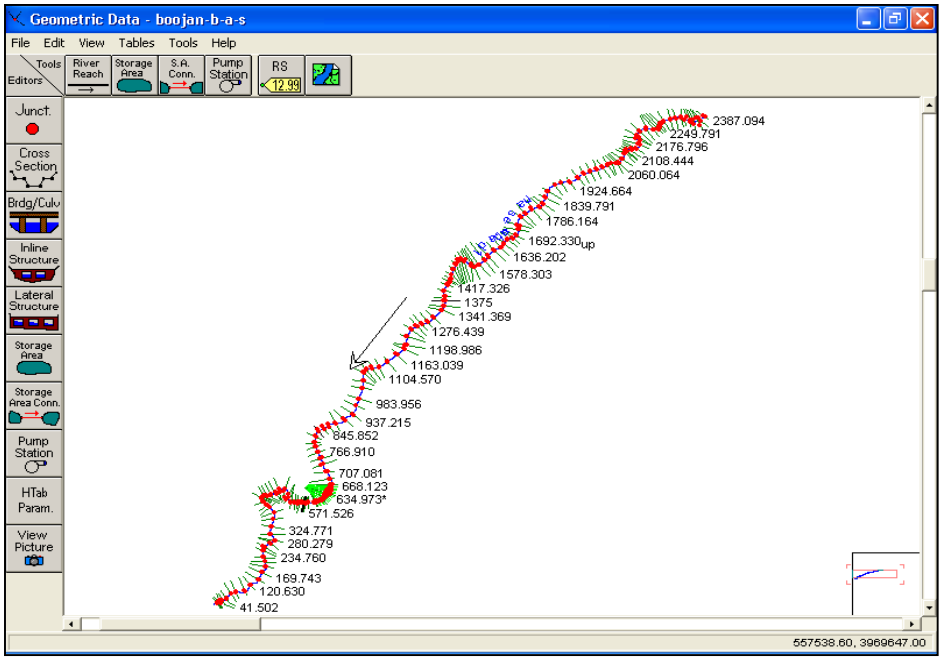
شکل ۵ : تهیه لایه سواحل رودخانه بوجان



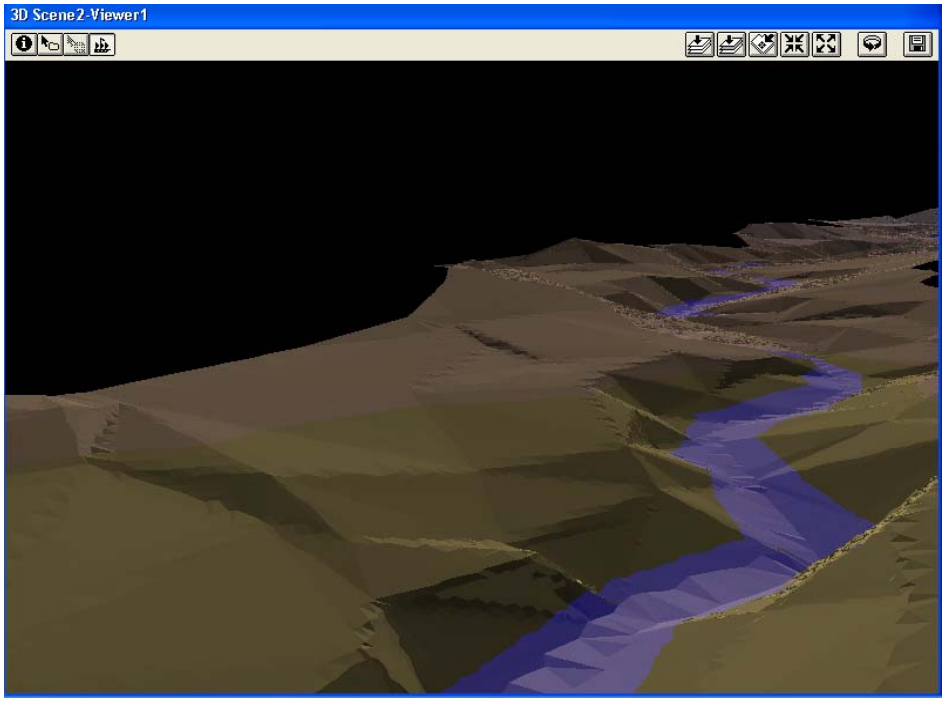
شکل ۶ : تهیه لایه ابعاد مسیر جریان رودخانه بوجان



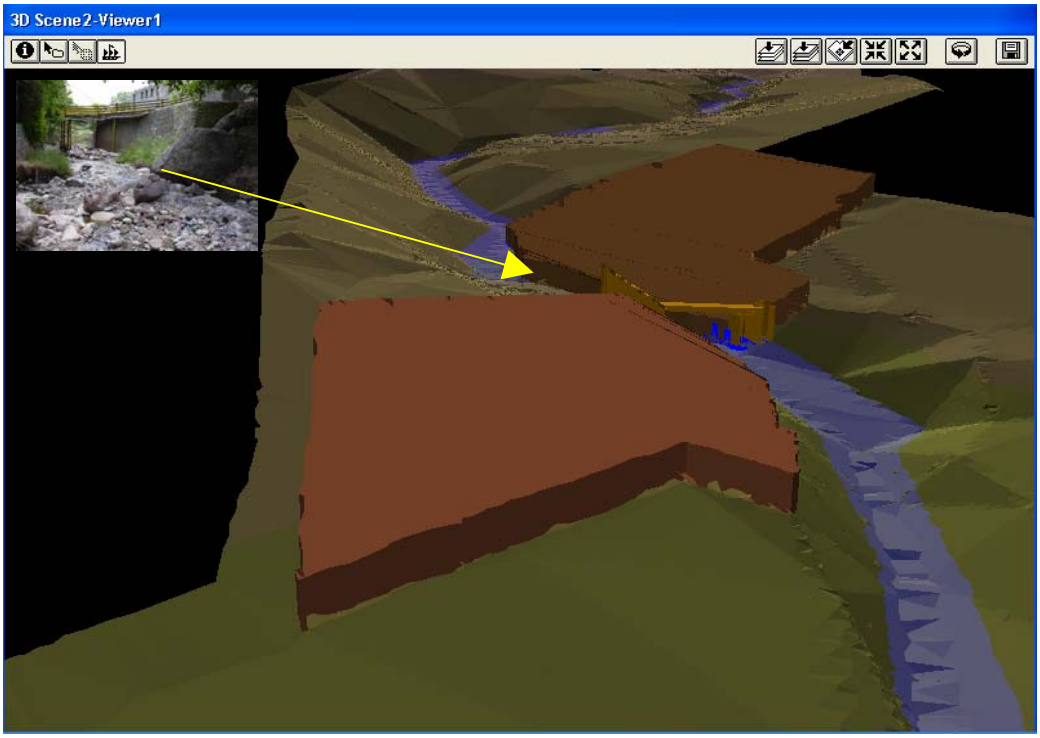
شکل ۷: تهیه لایه مقاطع عرضی رودخانه بوجان



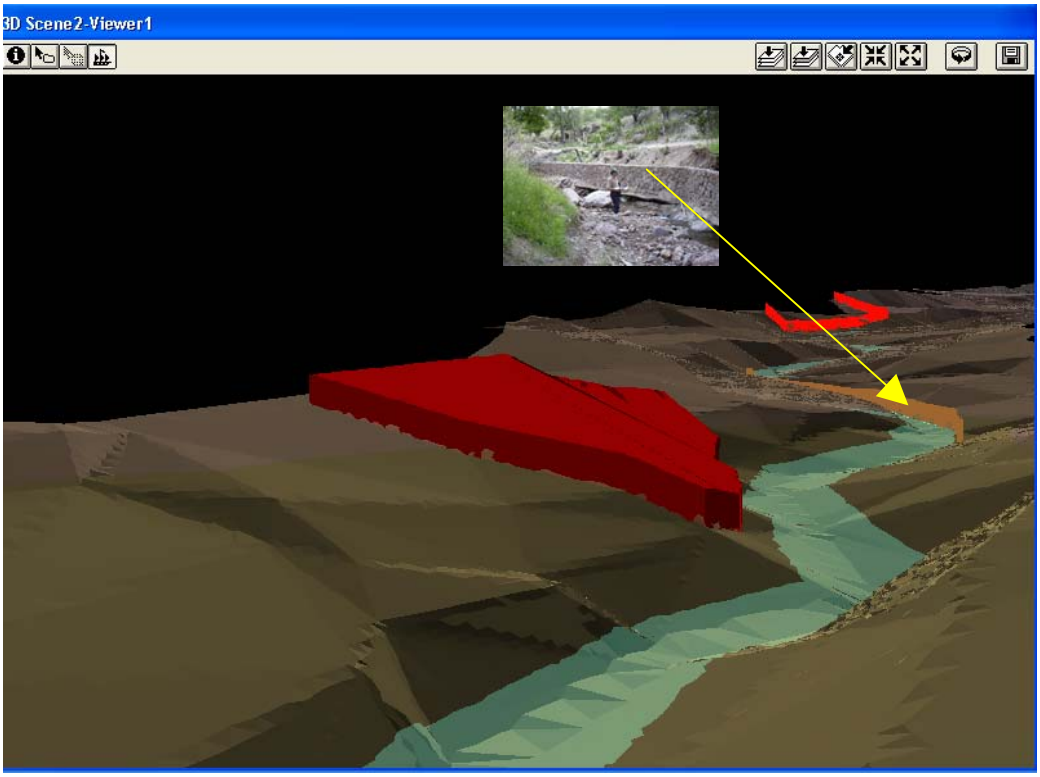
شکل ۸: شمای کلی رودخانه بوجان در مدل هیدرولیکی HEC-RAS



شکل ۹: نمایش سه بعدی پهنه سیلاب در محیط GIS



شکل ۱۰: نمایش سه بعدی پهنه سیلاب در محیط GIS بادرنظرگرفتن لایه سازه‌های عرضی(پل) و ساختمان‌های موجود درحاشیه رودخانه



شکل ۱۱: نمایش سه بعدی پهنه سیلاب در محیط GIS بادرنظرگرفتن لایه سازه‌های طولی(دیواره حفاظتی قوس رودخانه) وساختمان‌های موجود درحاشیه رودخانه