

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

و جعلنا من الماء كل شئ حيا
و از آب هر چیز را زنده گردانیدیم



دانشگاه شهید بهشتی کرمان

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد سازه های آبی

شبیه سازی رفتار هیدرولیکی و هیدرولوژیکی جریان درحوزه
آبریز زیارت گرگانرود

استاد راهنما:

دکتر محمد جواد خانجانی

۱۳۸۷ / ۹ / ۲۳

مؤلف:

سمانه حاجی مشهدی

بهار ۱۳۸۷

۱۰۹۵۷۵



این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی آب

دانشکده کشاورزی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: سمانه حاجی مشهدی

استاد راهنما: دکتر محمد جواد خانجانی

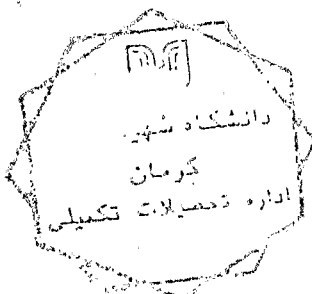
داور ۱: دکتر غلامعباس بارانی

داور ۲: دکتر مجید رحیم پور

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده:

۱۳۸۷ / ۹ / ۲۳

حق چاپ محفوظ و متعلق به مولف است.



تقدیم به پدر و مادر مهربانم

چکیده:

مطالعه رفتار هیدرولیکی و هیدرولوژیکی حوزه های آبریز در مدیریت سیل دارای اهمیت می باشد. در این مطالعه با استفاده از مدل دو بعدی موج سینماتیک منحنی های دبی-اشل در خروجی حوزه محاسبه شده اند. دبی اوج با استفاده از مدل موج سینماتیک محاسبه و معادله رگرسیون آن ارائه گردید. در محاسبات از آمار متوسط شدت بارندگی ۲۷ ساله استفاده شده است. با استفاده از مدل موج سینماتیک و نرم افزارهای HEC-HMS و SWMM منحنی هیدروگراف خروجی برای دوره بازگشت های مختلف برآورد شده و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج این سه مدل از انطباق خوبی برخوردار بودند.

فصل اول - کلیات

۲	۱-۱) تعریف مساله و هدف تحقیق
۳	۲-۱) کلیاتی درباره حوزه آبریز قره سو
۴	۳-۱) مورفولوژی رودخانه زیارت

فصل دوم - موج سینماتیک

۹	۱-۲) موج سینماتیک و معادلات حاکم
۱۰	۲-۲) مدل موج سینماتیک دو بعدی

فصل سوم - بررسی خصوصیات فیزیوگرافی و مورفومتری حوزه

۱۴	۱-۳) خصوصیات حوزه آبریز زیارت
۲۷	۲-۳) ضریب زبری مانینگ رودخانه
۲۸	۳-۳) مقطع عرضی رودخانه

فصل چهارم : اجرای مدل موج سینماتیک یک بعدی و دو بعدی، SWMM , HEC-HMS

۳۰	۱-۴) محاسبه هیدروگراف سیل در خروجی حوزه با استفاده از مدل یک بعدی موج سینماتیک
۳۳	۲-۴) محاسبه هیدروگراف سیل در خروجی حوزه با استفاده از مدل HEC-HMS
۳۸	۳-۴) محاسبه هیدروگراف سیل در خروجی حوزه با استفاده از مدل SWMM
۴۵	۴-۴) تعیین منحنی (عمق-زمان) در خروجی حوزه با مدل دو بعدی موج سینماتیک
۴۹	۵-۴) تعیین منحنی (دبی-اشل) در خروجی حوزه با مدل دو بعدی موج سینماتیک

فصل پنجم : تعیین معادله حداکثر دبی لحظه ای در خروجی حوزه

۵۶	۱-۵) مدل سازی نفوذ در حوزه
۵۹	۲-۵) محاسبه دبی اوج هیدروگراف سیل در خروجی حوزه
۵۹	۳-۵) تعیین مناسب ترین معادلات رگرسیون بین دبی اوج و پارامترهای موثر بر آن

فصل ششم :

۷۲	۱-۶) نتیجه گیری
۷۳	۲-۶) فهرست منابع

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۳	شکل (۱-۱): درختواره رودخانه قره سو و سرشاخه های آن
۴	شکل (۲-۱): نمایی از حوزه آبریز زیارت - منطقه آبشار
۵	شکل (۳-۱): نمایی از روستای توریستی زیارت
۷	شکل (۴-۱): نمایی از خروجی حوزه آبریز زیارت در محل ایستگاه هیدرومتری ناهارخوران
۱۱	شکل (۱-۲): المان بندی سطح و تجزیه امتداد جریان در هر المان محاسباتی
۱۲	شکل (۲-۲): پلان افقی المان محاسباتی همراه با انتقال محورهای مختصات و نمایش شماره سریال هر المان
۱۴	شکل (۱-۳): موقعیت خروجی حوزه زیارت (ایستگاه ناهارخوران) روی نقشه
۱۹	شکل (۲-۳): پروفیل طولی آبراهه اصلی حوزه آبریز زیارت
۲۰	شکل (۳-۳): رسم منحنی هیسپومتري حوزه آبریز زیارت
۲۳	شکل (۴-۳): حوزه آبریز زیارت و زیرحوزه های آن
۲۴	شکل (۵-۳): هیتوگراف بارش حوزه آبریز زیارت در زمان تداوم های مختلف در ارتفاع ۱۵۰۰ متری
۲۶	شکل (۶-۳): برازش داده های شدت بارندگی در زمان تداوم های مختلف با توزیع لگاریتم پیرسون تیپ ۳
۲۶	شکل (۷-۳): تعیین منحنی های شدت، مدت، دوره بازگشت (IDF) حوزه آبریز زیارت در ارتفاع ۱۵۰۰ متری
۲۷	شکل (۸-۳): منحنی دانه بندی مصالح بستر رودخانه زیارت در ایستگاه هیدرومتری ناهارخوران
۲۸	شکل (۹-۳): مقطع عرضی رودخانه زیارت در نقطه خروجی حوزه
۳۰-۳۲	شکل (۱-۴) تا شکل (۶-۴) هیدروگراف سیل خروجی حوزه برای دوره بازگشت های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله با مدل یک بعدی موج سینماتیک
۳۳	شکل (۷-۴): معرفی مدل حوزه آبریز زیارت در برنامه HEC-HMS
۳۵-۳۷	شکل (۸-۴) تا (۱۳-۴): تعیین هیدروگراف سیل خروجی حوزه برای دوره بازگشت های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله با مدل HEC-HMS
۳۸	شکل (۱۴-۴): معرفی مدل حوزه در SWMM
۳۹-۴۱	شکل (۱۵-۴) تا (۱۷-۴): پنجره طراحی باران سنج، حوزه آبریز و مجرا در مدل SWMM
۴۲-۴۴	شکل (۱۸-۴) تا (۲۳-۴) هیدروگراف سیل خروجی حوزه برای دوره بازگشت های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله با مدل SWMM
۴۶	شکل (۲۴-۴): بهترین مستطیل معادل حوزه آبریز زیارت همراه با جایگاه خطوط تراز
۴۷	شکل (۲۵-۴): المان بندی حوزه آبریز زیارت همراه با رقوم ارتفاعی رؤوس المان ها
۴۹	شکل (۲۶-۴): محاسبه منحنی (عمق-زمان) در خروجی حوزه برای سیل با دوره بازگشت ۱۰ ساله
۵۰	شکل (۲۷-۴): منحنی تغییرات سطح مقطع کانال نسبت به عمق در خروجی حوزه
۵۰	شکل (۲۸-۴): منحنی تغییرات محیط خیس شده کانال نسبت به عمق در خروجی حوزه
۵۱-۵۲	شکل (۲۹-۴) تا (۳۵-۴): منحنی (دبی-اشل) برای سیل با دوره بازگشت های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله با استفاده از مدل دو بعدی موج سینماتیک و SWMM
۵۳	شکل (۳۶-۴): منحنی تغییرات سطح آب نسبت به زمان در پایاب حوزه به ازای ضریب زبری مانینگ متفاوت
۵۴	شکل (۳۷-۴): منحنی تغییرات سطح آب نسبت به زمان در پایاب حوزه به ازای شیب بستر متفاوت
۶۰-۶۳	شکل (۱-۵) تا (۴-۵): تعیین همبستگی بین دبی اوج، دوام بارندگی، ضریب زبری مانینگ، شدت خالص بارندگی و زمان تمرکز با استفاده از نرم افزار SMADA
۶۴-۶۹	شکل (۵-۵) تا (۱۰-۵): هیتوگراف بارش حوزه آبریز زیارت در تاریخ ۲۸ بهمن ماه ۱۳۸۴، ۲ بهمن ماه ۱۳۸۴، ۱ بهمن ماه ۱۳۸۴، ۲۹ فروردین ماه ۱۳۸۳، ۲۵ اسفند ماه ۱۳۸۲، ۲ اسفند ماه ۱۳۸۱

فهرست جداول

صفحه

عنوان

۱۵	جدول (۱-۳): تعیین ضریب شکل حوزه آبریز زیارت به روشهای متفاوت
۱۸	جدول (۲-۳): محاسبه زمان تمرکز حوزه آبریز زیارت با استفاده از نرم افزار SMADA
۲۰	جدول (۳-۳): توزیع فراوانی سطح بر حسب ارتفاع
۲۱	جدول (۴-۳): توزیع شیب - سطح حوزه آبریز زیارت
۲۲	جدول (۵-۳): مشخصات زیر حوزه های حوزه آبریز زیارت
۲۲	جدول (۶-۳): موقعیت ایستگاه های باران سنجی حوزه آبریز زیارت
۲۵	جدول (۷-۳): برآورد شدت بارندگی با توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ با نرم افزار SMADA
۲۷	جدول (۸-۳): برآورد ضریب زبری مانیتگ رودخانه زیارت با استفاده از روش های تجربی
۳۲	جدول (۱-۴): مشخصات هیدروگراف سیل خروجی شبیه سازی شده با مدل یک بعدی موج سینماتیک
۳۴	جدول (۲-۴): محاسبه زمان تاخیر و زمان تمرکز حوزه آبریز زیارت در دوره بازگشت های مختلف
۳۷	جدول (۳-۴): محاسبه دبی اوج سیلاب در خروجی حوزه آبریز زیارت با استفاده از برنامه Hec-Hms
۴۴	جدول (۴-۴): محاسبه دبی اوج سیلاب در خروجی حوزه آبریز زیارت با استفاده از برنامه SWMM
۴۸	جدول (۵-۴): محاسبه مقادیر دبی در واحد عرض جریان با توجه به شدت جریان خالص ورودی به حوزه
۵۳	جدول (۶-۴): مشخصات هیدروگراف جریان خروجی شبیه سازی شده با مدل دو بعدی موج سینماتیک
۵۷	جدول (۱-۵): تعیین معادلات نفوذ حوزه در تداوم های مختلف بارش به روش (scs)
۵۸	جدول (۲-۵): تعیین مقادیر سرعت و ارتفاع آب نفوذی در حوزه با استفاده از معادلات روش (scs)
۵۹	جدول (۳-۵): میزان دبی اوج محاسبه شده در تداوم های مختلف بارش با استفاده از مدل یک بعدی موج سینماتیک

فصل اول

کلیات

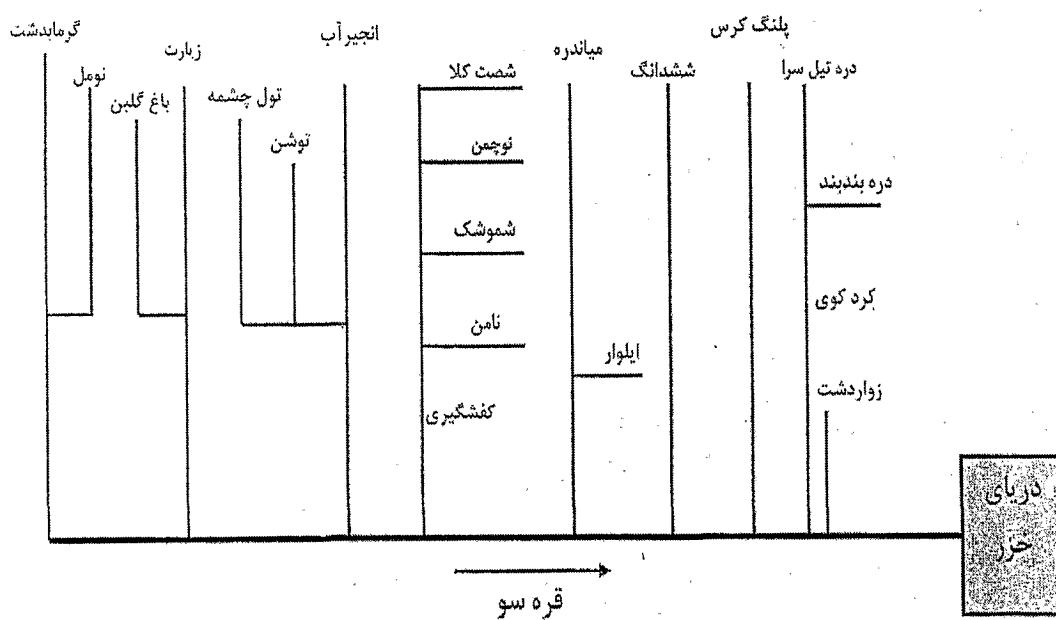
شبیه سازی رفتار هیدرولیکی و هیدرولوژیکی جریان در حوزه آبریز زارت گرگانه

۱-۱) تعریف مساله و هدف تحقیق:

در این تحقیق با توجه به دقت بالای روش های هیدرولیکی از مدل موج سینماتیک جهت روندیابی سیلاب هایی که در سطح حوزه آبریز زیارت گرگانرود واقع در استان گلستان به وقوع پیوستند، استفاده شده است. جهت استفاده از این مدل، نیاز به پارامترهایی بوده که مستلزم محاسبه خصوصیات فیزیوگرافی حوزه می بود. سیلاب های مورد بررسی ناشی از متوسط شدت بارندگی با زمان تداوهای ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ...، ۲۴ ساعت در طول یک دوره آماری ۲۷ ساله (۱۳۸۴-۱۳۵۸) در سطح این حوزه می باشند. ابتدا با تهیه منحنی های (شدت، مدت، دوره بازگشت) حوزه، و با استفاده از بزرگترین مقدار شدت بارندگی برای دوره بازگشت های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله، منحنی های (عمق- زمان) با استفاده از مدل دو بعدی موج سینماتیک در خروجی حوزه شبیه سازی شده اند. در ادامه از روی نتایج منحنی های (عمق-زمان)، اقدام به تهیه منحنی های (دبی- اشل) در این نقطه شده است. همچنین، هیدروگراف های سیلاب خروجی از حوزه با استفاده از مدل یک بعدی موج سینماتیک و نرم افزارهای HEC-HMS و SWMM محاسبه شده اند. در ادامه کار با توجه به نتایج حاصل از روندیابی سیلاب با مدل موج سینماتیک و با تغییر دادن خصوصیات حوزه و بارش در این مدل و برآورد معادله رگرسیون مناسب بین هر یک از این پارامترها و دبی اوج، رابطه ای جهت تخمین دبی اوج در خروجی حوزه آبریز زیارت ارائه داده شده است. جهت بررسی صحت رابطه پیشنهادی، دبی اوج در خروجی حوزه ناشی از چند بارش مجزا محاسبه شده و با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه گردید.

۲-۱) کلیاتی درباره حوزه آبریز قره سو:

رودخانه قره سو واقع در استان گلستان دارای مساحت ۱۶۶۷ کیلومتر مربع بوده و از رودخانه های مستقل حوزه آبریز دریای خزر می باشد. این رودخانه از دامنه های شمالی رشته کوه های البرز سرچشمه گرفته و در مسیری شرقی- غربی به موازات رودخانه گرگانرود به دریای خزر هدایت می شود. طول مسیر این رودخانه تا رسیدن به خلیج گرگان ۹۵/۵ کیلومتر می باشد. اولین و اصلی ترین سرشاخه این رودخانه، گرمابدشت نام دارد که از دامنه های کوه پیرگرده با ارتفاع حداکثر ۳۲۰۰ متر و در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی گرگان سرچشمه می گیرد. جهت حرکت این رودخانه، شمالی- جنوبی بوده که پس از ورود به دشت گرگان با تغییر مسیر به سمت غرب به نام رودخانه قره سو معروف می باشد.



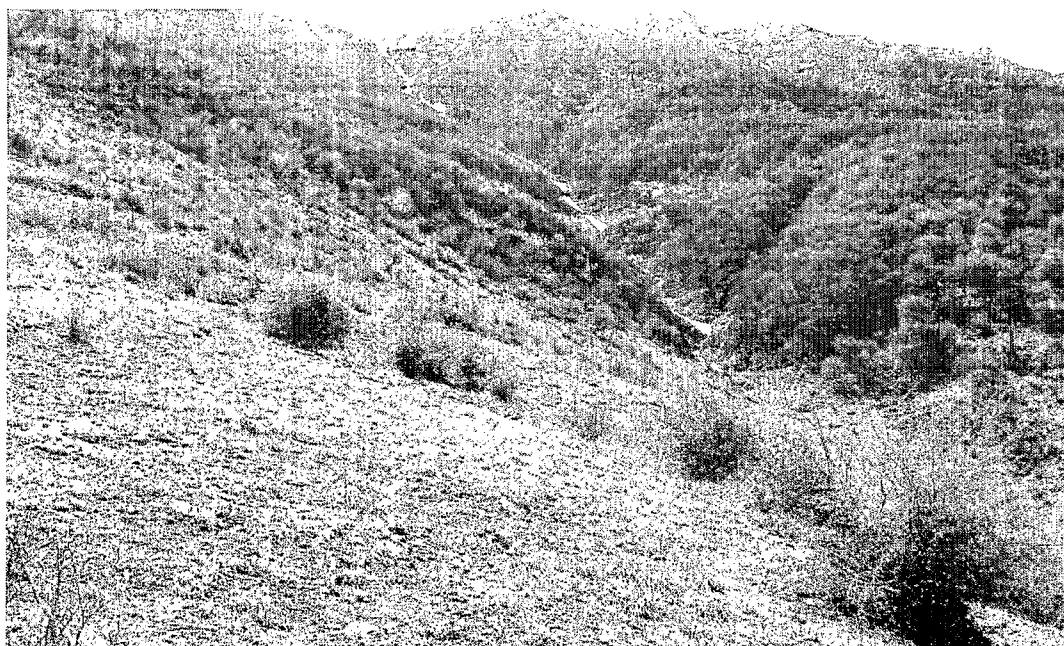
شکل (۱-۱): درختواره رودخانه قره سو و سرشاخه های آن (مشاور آب نیرو، ۱۳۸۰).

این رودخانه پس از پیمایش حدود ۹۵/۵ کیلومتر از محل سرچشمه (سرشاخه گرمابدشت) به خلیج گرگان ملحق می شود. در طول مسیر این رودخانه، ۱۷ سرشاخه بزرگ و کوچک در جهت شمال به جنوب به سوی این رودخانه سرازیر می شوند که مطابق شکل (۱-۱) به ترتیب از سمت شرق به غرب عبارتند از: گرمابدشت، نومل، باغ گلبن، زیارت، تول چشمه، توشن، انجیرآب، شصت کلا، نوچمن، شמושک، نامن، میاندره، ایلوار، ششدانگ، پلنگ کرس، کردکوی و زواردهشت.

۱-۳) مورفولوژی رودخانه زیارت:

رودخانه زیارت از مناطق کوهستانی سرچشمه گرفته و از سمت جنوب وارد شهرستان گرگان شده و پس از عبور از داخل شهر در انتهای مسیر به رودخانه قره سو می پیوندد. این رودخانه در گروه رودخانه های پرشیب قرار داشته و از نظر ارائه طرح های ساماندهی و شرایط حفاظتی می تواند به ۴ بازه تقسیم بندی شود:

۱- بازه اول از شروع آن تا محل رسیدن به محدوده روستای زیارت که از نظر شیب نسبتاً تند بوده و دارای بستر کم عرض و مصالح درشت دانه می باشد. این بازه به دلیل واقع شدن در منطقه کوهستانی و همچنین در بستر درشت دانه سنگی، عمدتاً نقش انتقال رسوبات حوزه بالادست را برعهده دارد. در این بازه به دلیل مشرف بودن شیب های تند مناطق کوهستانی که به دلیل پوشش گیاهی کم دارای پتانسیل فرسایش پذیری زیاد می باشند، بارندگی باعث ایجاد جریان واریزه ای از شیب های اطراف به داخل رودخانه شده و رسوبات با غلظت بالایی را وارد رودخانه می کند. که رودخانه نیز به لحاظ داشتن شیب تند و پتانسیل بالای انتقال رسوب، رسوبات را به پایین دست انتقال می دهد. طول رودخانه در این بازه حدود ۱۴ کیلومتر می باشد.



شکل (۱-۲): نمایی از حوزه آبریز زیارت - منطقه آبشار (آب منطقه ای گلستان).

۲- بازه دوم از پایین دست روستای زیارت شروع و به منطقه ناهار خوران ختم می شود. رودخانه در این بازه نیز شیب تند خود را حفظ کرده و لذا دارای سرعت جریان شدید و فرساینده می باشد. در این محدوده، رودخانه از یک طرف به کوه ها و از طرف دیگر به یک جاده آسفالتی محدود شده است. حدود ۶ کیلومتر جاده آسفالتی در کنار آن و در امتداد مسیر آن وجود دارد که عمدتاً به دلیل فرسایش کناری رودخانه در معرض خطر تخریب قرار دارد. برای حفاظت از جاده آسفالتی، دیوارحایل سنگی در ساحل رودخانه از طرف جاده احداث شده است.



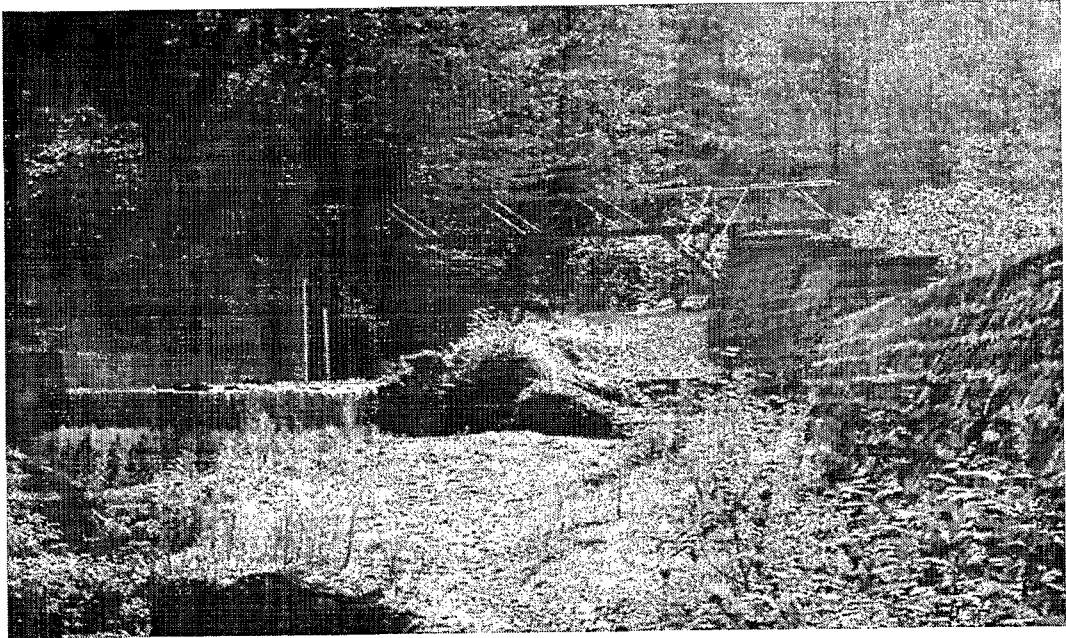
شکل (۱-۳): نمایی از روستای توریستی زیارت (آب منطقه ای گلستان).

۳- بازه سوم از پل ناهارخوران تا پل سرخنکلاته بوده، که به طور کامل در محدوده شهری گرگان قرار دارد و از نظر مورفولوژی بسیار حائز اهمیت است. در این بازه ساخت و ساز غیر مجاز در حریم رودخانه بسیار به چشم می خورد و در بعضی از نقاط، عرض رودخانه از دو طرف آن قدر محدود شده که تبدیل به یک کانال کوچک شده است و ظرفیت انتقال حتی سیلاب های کوچک را نیز ندارد. بستر و حاشیه رودخانه در این بازه فوق العاده فرسایش پذیر است. با توجه به اینکه بیشتر حاشیه رودخانه در این بازه از خاک های سیلت و رس تشکیل شده و سرعت جریان زیاد می باشد، لذا سواحل نسبتاً بلند با تراس های عریض، تراکم گیاهی نسبتاً کم و عمقی در حدود ۶ تا ۱۰ متر و کف کنی بستر از مشخصات بارز این

بازه است. این امر باعث شده است که تمام تأسیسات و مستحدمات حاشیه رودخانه و حتی مناطق مسکونی در معرض خطر ریزش قرار بگیرند. همچنین راستای رودخانه دارای پیچ و خم نسبتاً زیاد است که دلیل آن نیز ریزش های مکرر سواحل رودخانه به داخل آن در اثر پدیده فوق الذکر و تغییر مسیر رودخانه می باشد. در این بازه شیب طولی بستر رودخانه نسبتاً تند و به طور متوسط در حدود ۲/۸ درصد می باشد. و جنس بستر نیز عمدتاً از نوع آبرفت درشت دانه می باشد. اما سواحل جز در نواحی معدودی عموماً از نوع ریزدانه با پتانسیل فرسایش نسبتاً زیاد بوده که عامل اصلی ایجاد پیچان رود در رودخانه نیز همین جنس دیواره ها و ریزش آنها می باشد. نزدیکی بعضی از این پیچان رودها به برخی از ساختمان های حاشیه رودخانه، تهدیدی جدی برای آنها محسوب می گردد. به طور کلی، می توان گفت که رودخانه در این بازه بسیار پویا و ناپایدار بوده و در هر سیلی پیچاب های جدیدی را ایجاد می نماید. لذا، در این محدوده حفاظت بستر و هر دو ساحل رودخانه هم از نظر فنی، کنترل سیلاب، فرسایش و حفاظت تأسیسات حاشیه آن و هم از نظر زیبا سازی حاشیه رودخانه و به دلیل واقع شدن در داخل شهر اجتناب ناپذیر است. برای نیل به این هدف، طرح حفاظتی دیوار حایل سنگی برای دو کناره رودخانه و ایجاد یک مقطع صغیر در بستر رودخانه طراحی و اجرا شده است. طول این بازه ۱۱ کیلومتر می باشد.

۴- بازه چهارم از پایین دست پل سرخنکلاته تا محل الحاق به رودخانه قره سو می باشد. این بازه دارای شیب متوسط کمی نسبت به بازه های بالادست خود می باشد. به طوری که در حدود ۵ کیلومتر مانده به محل الحاق به رودخانه قره سو شیب آن از نظر هیدرولیکی در حد قابل قبول بوده (۰/۲٪) و نیاز به شیب شکن ندارد. این بازه در محدوده خارج از شهر قرار دارد. بستر و کناره های رودخانه در این بازه عمدتاً ریز دانه بوده و از جنس سیلت و رس می باشند. بیشتر حاشیه رودخانه در این بازه اراضی کشاورزی می باشند. طول این بازه حدود ۸ کیلومتر می باشد. (مشاور پارس پیاب، ۱۳۸۴)

در این پروژه حوزه آبریز زیارت از ابتدای بازه اول تا انتهای بازه دوم در محل ایستگاه هیدرومتری درجه ۳ نهارخوران که مجهز به اشل و پل تله فریک می باشد مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.



شکل (۴-۱): نمایی از خروجی حوزه آبریز زیارت در محل ایستگاه هیدرومتری ناهارخوران (آب منطقه ای گلستان).

فصل دوم

موج سینماتیک

شبهه سازی رفتار هیدرولیکی و هیدرولوژیکی جریان در عوزنه آبریز باریک گردانیده

۱-۲) موج سینماتیک و معادلات حاکم:

هر تفاوتی در جریان می تواند سبب ایجاد موج شود که می تواند به صورت تابعی از مکان یا

زمان توصیف شود. سیستم معادلات سنت-وانانت به صورت معادله (۱-۲) می باشد:

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \\ \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} = S_o - S_f \end{cases} \quad (1-2)$$

که در آن، A سطح مقطع جریان، Q دبی جریان، q_L دبی جانبی ورودی به سیستم بر حسب (m^2/s) ، S_o شیب کف کانال، S_f شیب اصطحکاک، V سرعت جریان، h عمق جریان، g شتاب جاذبه،

x مشخصه طولی کانال، t زمان، $\frac{\partial h}{\partial x}$ شیب سطح آب، $\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$ و $\frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x}$ جملات اینرسی می باشند.

با صرف نظر از شتاب محلی، شتاب جا به جایی و ترم های فشاری، معادله اندازه حرکت در سیستم

معادلات (۱-۲) به معادله $S_o = S_f$ تبدیل شده و به مدل موج سینماتیک کاهش داده می شود.

با نوشتن معادله مانینگ و معادله پیوستگی براساس دبی در واحد عرض جریان و فرض $\alpha = \frac{S_o^{1/2}}{n}$ داریم:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \alpha m h^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = I - i = I_o \quad (2-2)$$

که در آن، q ، شدت جریان در واحد عرض، n ، ضریب زبری مانینگ، I ، شدت بارندگی، i ، شدت تلفات

جریان در سطح حوزه و I_o ، شدت خالص بارندگی است که بر حسب (m/s) می باشند. و مقدار m نیز

برابر $\frac{5}{3}$ در نظر گرفته می شود. (Cristina, C & San Salome, J. (2003))

یک را حل تحلیلی برای معادله (۲-۲) به شرح زیر می باشد، (عثمان، آ، ۱۳۸۱)

یکی از پارمترهای مهم در جریان جنبشی، زمان رسیدن جریان به حالت تعادل مطابق رابطه (۲-۳) است:

$$t_e = \frac{L^m}{(\alpha I_o^{m-1})^{\frac{1}{m}}} \quad (3-2)$$

t_e زمان تعادل جریان و L طول جریان روی زمینی می باشد. اگر $t_e \leq t_d$ باشد، شاخه بالا رونده منحنی از معادله (۴-۲) محاسبه می شود:

$$q = \alpha(I_o t)^m \quad (۴-۲)$$

اگر در معادله (۴-۲) به جای t مقدار دوام بارش t_d قرار داده شود، آنگاه مقدار دبی در واحد عرض جریان در نقطه اوج هیدروگراف محاسبه می شود. برای $t_e < t < t_d$ ، شاخه صعودی هیدروگراف با استفاده از رابطه (۴-۲) محاسبه می شود. و شبیه سازی شاخه نزولی هیدروگراف از رابطه (۵-۲) انجام می شود.

$$t = t_d + \frac{\left(\frac{L}{\alpha y_L^{m-1}} - \frac{y_L}{I_o}\right)}{m} \quad (۵-۲)$$

که در آن $y_L = \left(\frac{q}{\alpha}\right)^{\frac{1}{m}}$ بوده و عمق جریان در پایین دست حوزه می باشد. اگر $t_e > t_d$ باشد، توقف باران، قبل از رسیدن به حالت تعادل اتفاق می افتد، در این حالت شاخه بالا رونده هیدروگراف از رابطه (۴-۲) محاسبه شده و برای $t_d < t \leq t_p$ ، آبدهی ثابت و برابر مقدار دبی اوج جریان می باشد. و از رابطه (۶-۲) محاسبه می شود:

$$q = \alpha(I_o t_d)^m \quad (۶-۲)$$

زمان رسیدن هیدروگراف به نقطه اوج نیز با استفاده از معادله (۷-۲) محاسبه می شود:

$$t_p = t_d - \left(\frac{t_d}{m}\right) + \frac{L}{m\alpha(I_o t_d)^{m-1}} \quad (۷-۲)$$

۲-۲ مدل موج سینماتیک دو بعدی:

در مدل دو بعدی معادله پیوستگی به صورت معادله (۸-۲) نوشته می شود:

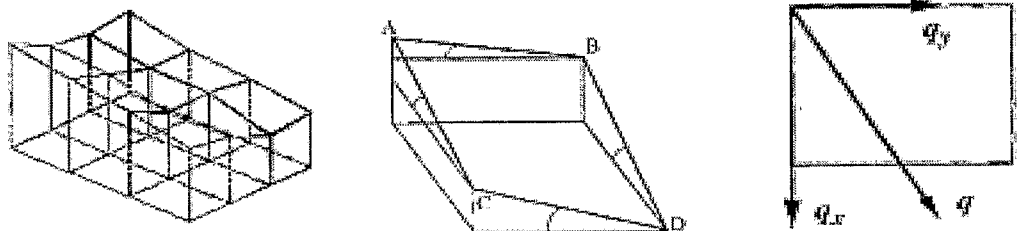
(Liu, Q. Q., Chen, L & Singh, V.P. (2004))

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = I \cos \theta - i \quad (۸-۲)$$

که در آن: q_x و q_y مولفه های دبی در واحد عرض جریان در راستای محورهای مختصات x و y بر حسب (m^2/s) و θ زاویه شیب بر حسب درجه می باشد. با استفاده از معادله مانینگ داریم:

$$\left\{ \begin{aligned} q_x &= \frac{1}{n} h^{5/3} S_{ox}^{1/2} \left(\frac{S_{ox}}{S_o}\right)^{1/2} = \frac{1}{n} h^{5/3} S_o^{1/2} \frac{S_{ox}}{S_o} \\ &= Uh \frac{S_{ox}}{S_o} = hU \cos \gamma = q \cos \gamma \\ q_y &= \frac{1}{n} h^{5/3} S_{oy}^{1/2} \left(\frac{S_{oy}}{S_o}\right)^{1/2} = \frac{1}{n} h^{5/3} S_o^{1/2} \frac{S_{oy}}{S_o} \\ &= Uh \frac{S_{oy}}{S_o} = hU \sin \gamma = q \sin \gamma \end{aligned} \right. \quad (9-2)$$

که در آن، U_x و U_y به ترتیب مولفه های بردار سرعت در راستای محورهای مختصات x و y بر حسب S_{ox} ، S_{oy} ، (m/s) به ترتیب مولفه های بردار شیب در راستای محورهای مختصات x و y بوده و γ زاویه بین امتداد حقیقی جریان با راستای محور مختصات x می باشد. بدست آوردن یک راه حل تحلیلی برای معادله موج سینماتیک دو بعدی در سطوح نامنظم و دارای توپوگرافی شدید مشکل می باشد. بنابراین از یک روش عددی استفاده می گردد. در این روش سطح مورد نظر مطابق شکل (۱-۲) به المان های کوچکتری تقسیم بندی و جریان در هر المان محاسباتی شبیه سازی می شود. سپس با توجه به هندسه توپوگرافی هر المان، جریان در دو امتداد محورهای مختصات x و y تجزیه می شود. همچنین میزان جریان های ورودی و خروجی از هر المان و نهایتاً در خروجی سطح مورد نظر محاسبه می شود.



شکل (۱-۲): المان بندی سطح و تجزیه امتداد جریان در هر المان محاسباتی (Liu, Q. Q., Chen, L & Singh, V.P. (2004)).

با فرض اینکه گرادیان شیب در مرکز سطح المان با گرادیان شیب در تمام سطح المان برابر بوده و $Z = f(x, y) = F(\varepsilon, \eta)$ باشد، آنگاه:

$$\tan \theta = |\text{Grad } f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial \varepsilon}\right)^2 \frac{4}{dx^2} + \left(\frac{\partial F}{\partial \eta}\right)^2 \frac{4}{dy^2}} \quad (10-2)$$

$$\tan \gamma = \frac{\partial f}{\partial y} / \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{dx}{dy} \frac{\partial F}{\partial \eta} / \frac{\partial F}{\partial \varepsilon} \quad (11-2)$$

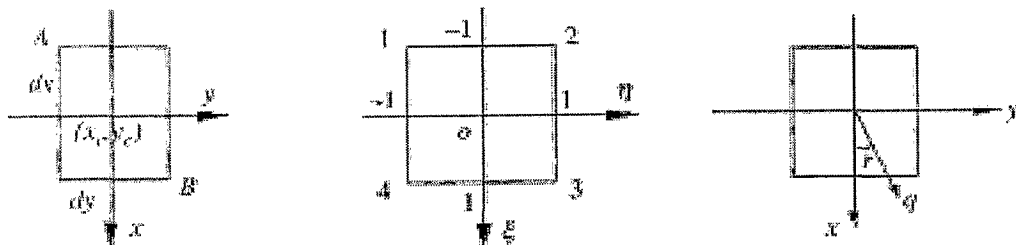
$$\frac{\partial F}{\partial \varepsilon} = \sum_{i=1}^4 \frac{1}{4} \varepsilon_i (1 + \eta_i \eta) z_i = \frac{1}{4} (z_1 + z_2 - z_3 - z_4) \quad (12-2)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \eta} = \sum_{i=1}^4 \frac{1}{4} \eta_i (1 + \varepsilon_i \varepsilon) z_i = \frac{1}{4} (z_1 - z_2 - z_3 + z_4) \quad (13-2)$$

همچنین، ابعاد متوسط هر المان در فضا می تواند با استفاده از روابط (۱۴-۲) و (۱۵-۲) محاسبه شود:

$$\Delta x = dx / \text{arc Tan} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right) \quad (14-2)$$

$$\Delta y = dy / \text{arc Tan} \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right) \quad (15-2)$$



شکل (۲-۲): پلان المان محاسباتی همراه با انتقال محورهای مختصات و نمایش شماره سریال هر المان (Liu, Q. Q., Chen, L & Singh, V.P. (2004)).

با استفاده از روش عددی حجم محدود معادله (۲-۸) به معادله (۲-۱۶) تبدیل می شود.

$$h_{i,j}^{n+1} = h_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{dx \times dy} (q_{xi+1,j} \Delta Y_{i+1,j} - q_{xi-1,j} \Delta Y_{i-1,j} + q_{yi,j+1} \Delta X_{i,j+1} - q_{yi,j-1} \Delta X_{i,j-1}) + (I \cos \theta - i) \Delta t \quad (16-2)$$

در معادله (۲-۱۶)، Δt گام زمانی محاسباتی می باشد. دبی واحد عرض جریان ورودی در طول گام

زمانی Δt در راستای محور مختصات X به شرح معادله (۲-۱۷) بیان می شود:

$$q_{xi-1,j} \Delta Y_{i-1,j} \Delta t = \left[\max(q_{xi-1,j}, 0) \Delta Y_{i-1,j} - \min(q_{xi+1,j}, 0) \Delta Y_{i+1,j} \right] \Delta t \quad (17-2)$$

و دبی واحد عرض جریان ورودی در طول گام زمانی Δt در راستای محور مختصات Y به صورت معادله (۲-۱۸) است:

$$q_{yi,j-1} \Delta X_{i,j-1} \Delta t = \left[\max(q_{yi,j-1}, 0) \Delta X_{i,j-1} - \min(q_{yi,j+1}, 0) \Delta X_{i,j+1} \right] \Delta t \quad (18-2)$$

در طول گام زمانی Δt ، دبی واحد عرض جریان خروجی در امتداد محور مختصات X به صورت معادله (۲-۱۹) می باشد:

$$q_{xi+1,j} \Delta Y_{i+1,j} \Delta t = q_{xi,j} \Delta t \begin{cases} \Delta Y_{i+1,j} & q_{xi,j} \geq 0 \\ \Delta Y_{i-1,j} & q_{xi,j} < 0 \end{cases} \quad (19-2)$$

همچنین در طول گام زمانی Δt ، دبی واحد عرض جریان خروجی در امتداد محور مختصات Y به صورت معادله (۲-۲۰) است:

$$q_{yi,j+1} \Delta X_{i,j+1} \Delta t = q_{yi,j} \Delta t \begin{cases} \Delta X_{i,j+1} & q_{yi,j} \geq 0 \\ \Delta X_{i,j-1} & q_{yi,j} < 0 \end{cases} \quad (20-2)$$