



تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در محاسبات عمق آب در زهکش‌های شهری

فخرالدین تخته‌مینا*، سید محمود حسینی**

*کارشناس ارشد بخش سیویل و هیدرولیک، شرکت مهندسی مشاور مشانیر، تهران،
۰۲۱-۸۸۸۵۰۱۱.farokh_54@yahoo.com

**استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد،
۰۵۱۱-۸۸۲۹۵۳۳.shossein@Ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

در این تحقیق، روش‌های تجزیه و تحلیل عدم قطعیت به منظور ارزیابی عملکرد هیدرولیکی یک زهکش اصلی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. زهکش مورد مطالعه یک زهکش اصلی در شهر مشهد می‌باشد که از غرب این شهر منشا می‌گیرد و ضمن حرکت در مسیر غربی-شرقی شهر، دامنه‌های کوههای آب و برق و بخشی از مناطق شهری را زهکشی می‌کند. با توجه به پیچیدگی سیستم هیدرولیکی تحت مطالعه، به منظور تجزیه و تحلیل جریان، در انجام محاسبات بارش-رواناب، مدل TR-20 به کار برده شده است که در آن به منظور تهیه‌ی جداول دی-اشل در مقاطع مختلف مسیر کanal زهکش، از نرم‌افزار هیدرولیکی HEC-RAS استفاده شده است. با توجه به ماهیت پیچیده‌ی مدل‌ها و ترکیب آنها، جهت تجزیه و تحلیل عدم قطعیت از روش مونت‌کارلو با نمونه‌گیری مربع لاتین استفاده شده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل عدم قطعیت نشان داد که ضریب تغییرات در میزان عمق آب محاسبه شده در مقاطع مختلف مسیر زهکش مقداری بین ۴۱ تا ۱۷ درصد می‌باشد. این نتایج می‌تواند در طراحی و تجزیه و تحلیل ریسک مورد استفاده طراحان آبهای سطحی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، روش شبیه‌سازی مونت کارلو با نمونه گیری مربع لاتین، زهکش شهری.

مقدمه

در شکل صحیح آن طراحی یک زهکش اصلی شهری، اعم از یک مسیل طبیعی و یا یک کanal بتی مصنوعی، فرآیندی پیچیده می‌باشد. این امر به دلایل مختلفی چون تعیین منحنی‌های

شدت- مدت- فراوانی بارش‌های منطقه، انتخاب دوره بازگشت مناسب طراحی، انتخاب زمان بارش بحرانی برای مقاطع مختلف مسیر و انتخاب مدل مناسب بارش- رواناب قابل درک می‌باشد. مدل بارش- رواناب در درون خود فرآیندهای پیچیده‌ی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را شبیه‌سازی می‌کند که خود از ساختار مفهومی و ریاضی پیچیده‌ای برخوردارند و به کمیت درآوردن آنها نیاز به تخمین پارامترهای فیزیکی متعددی دارد. مجموع این عوامل نشان می‌دهد که طراحی و تعیین ابعاد مناسب یک زهکش اصلی شهری از عدم قطعیت‌های پنهان و آشکار زیادی برخوردار است.

بهطور معمول در ذهن طراحان و مهندسین مشاور این‌گونه نقش بسته است که به منظور برخورد با این عدم قطعیت‌ها می‌توان ابعاد سیستم هیدرولیکی و یا به عبارتی گنجایش آن را درصدی افزایش داد. اما این سوال مطرح می‌شود که میزان این گنجایش چقدر باید باشد و یا اینکه با بررسی برخی عوامل عدم قطعیت می‌توان حداقلی برای میزان افزایش گنجایش ابعاد یک سیستم هیدرولیکی (در اینجا زهکش اصلی شهری) تعیین نمود؟

در این تحقیق، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در یک مسیر سیستماتیک به منظور ارزیابی عملکرد یک زهکش اصلی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعه‌ی موردنی بر روی یک زهکش اصلی در شهر مشهد می‌باشد که از غرب این شهر منشا می‌گیرد و ضمن حرکت در مسیر غربی-شرقی شهر، دامنه‌های کوههای آب و برق و بخشی از مناطق شهری را زهکشی می‌کند. با توجه به پیچیدگی‌های سیستم‌های هیدرولیکی موجود و طراحی شده (وجود شبکه شکن‌های متعدد در مسیر)، در این تحقیق به منظور ارزیابی عملکرد سیستم هیدرولیکی و انجام محاسبات بارش- رواناب از مدل هیدرولوژیکی TR-20 و مدل هیدرولیکی HEC-RAS استفاده شده است که استفاده ترکیبی از آنها نتایج قابل توجهی را به دنبال داشت. با توجه به ماهیت ترکیبی و پیچیده‌ی مدل‌ها، به منظور تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، از روش مونت‌کارلو با نمونه‌گیری مربع لاتین استفاده شد.

معرفی مدل‌های مورد استفاده

مدل مورد استفاده در این تحقیق مدل TR-20 می‌باشد که براساس مدل هیدرولوژیکی (بارش - رواناب) ارائه شده توسط SCS عمل می‌کند. روش استخراج هیدروگراف واحد نیز در این مدل، روش هیدروگراف واحد بی‌بعد SCS می‌باشد. مدل TR-20 قادر به این است که هیدروگراف رواناب حاصل از بارش را محاسبه کند، روندیابی جریان در کanal و مخزن را انجام دهد و هیدروگراف‌ها را در محل پیوستن شاخه‌های مختلف در سیستم کanal‌ها ترکیب کند. مدل 20 برای روندیابی از روش Att-Kin که توسط SCS توسعه یافته است (Viessman et al., 1989) استفاده می‌کند. دلیل استفاده از مدل TR-20 در این تحقیق سادگی، پرکاربرد بودن و انطباق داده‌های ورودی مورد نیاز این مدل با اطلاعات موجود مربوط به مطالعه‌ی موردنی می‌باشد. در مدل TR-20 نیاز به این می‌باشد که در نقاط کلیدی مسیر زهکش مورد مطالعه، جداول دبی- اشل معروفی گرددند. نرم‌افزار HEC-RAS مدلی آشنا در محاسبات پروفیل‌های سطح آب است که در این تحقیق از آن برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی روندیابی و تولید جداول دبی- اشل استفاده شده است.

روش تجزیه و تحلیل عدم قطعیت

عدم قطعیت را می‌توان به صورت رخداد پدیده‌هایی که از اختیار ما خارج است تعریف کرد. هدف اصلی از تجزیه و تحلیل عدم قطعیت شناسایی خاصیت‌های آماری خروجی از مدل به عنوان تابعی از پارامترهای تصادفی ورودی می‌باشد. به طور کلی روش‌های تجزیه و تحلیل عدم قطعیت پدیده‌ها را می‌توان به سه دسته کلی روش‌های تحلیلی، روش‌های تقریبی و روش‌های شبیه‌سازی تقسیم کرد. در این تحقیق، با توجه به پیچیدگی مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی استفاده شده و در جهت کاستن از حجم محاسبات، از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو با نمونه‌گیری مربع (LHS) استفاده شده است.

نمونه‌گیری مربع لاتین یک روش نمونه‌گیری لایه‌بندی شده است که تخمین آماره‌های خروجی مدل را ممکن می‌سازد. در این روش توزیع احتمالی هر یک از متغیرهای ورودی به N بازه تقسیم می‌شود که هر یک از این بازه‌ها دارای احتمال رخدادی برابر با $1/N$ می‌باشد. مقادیر تصادفی متغیرهای اولیه به گونه‌ی شبیه‌سازی می‌شوند که از هر بازه فقط یک بار نمونه‌گیری می‌شود. ترتیب انتخاب بازه‌ها به صورت تصادفی می‌باشد و مدل با ترکیب تصادفی از مقادیر متغیرهای ورودی که از هر بازه برای هر متغیر ورودی استخراج شده است، اجرا می‌شود. توزیع‌ها، آماره‌ها و همبستگی‌ها، می‌توانند از مقادیر N خروجی استخراج شوند. N به میزان دو برابر تعداد پارامترهایی که مهم حدس زده می‌شوند، پیشنهاد شده است. این تعداد شبیه‌سازی توازن خوبی بین دقت و اقتصاد، برای مدل‌هایی که تعداد زیادی پارامتر دارند را تأمین می‌کند (Nowak and Collins, 2000).

مطالعه موردی

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق بخشی از حوضه‌ی آبریز آب و برق شهر مشهد می‌باشد. این منطقه دارای مساحتی حدود ۱۲۱۸ هکتار و شامل ۱۰ زیر حوضه می‌باشد که از طریق کانالی به طول حدود ۲۴۰۰ متر زهکشی می‌شود. قسمت جنوبی منطقه دارای بافت کوهستانی با ارتفاع حداقل ۱۴۷۷ متر از سطح دریا می‌باشد و قسمت‌های شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه دارای بافت کاملاً شهری است. در شکل ۱ کروکی منطقه مورد مطالعه که در آن موقعیت تقریبی زیر‌حوضه‌ها، زهکش اصلی و محل قرارگیری منطقه مورد مطالعه در شهر مشهد مشخص شده است. در شرایط فعلی مسیل موجود در این منطقه طبیعی است ولی طرح کامل آن توسط شرکت مهندسین مشاور طوس آب انجام شده است. در این تحقیق، از اطلاعات زهکش طراحی شده استفاده شده است (شرکت مهندسی مشاور طوس آب، ۱۳۸۱).

تجزیه و تحلیل جریان در کanal با تکیه بر جنبه‌های عدم قطعیت

در این بخش ابتدا به تعیین پارامترهای نامطمئن هیدرولیکی و هیدرولوژیکی ورودی و میزان عدم قطعیت مستتر در آنها و بعد از آن به تولید مقادیر تصادفی پارامترهای نامطمئن براساس توزیع آماری مربوط و با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو با نمونه‌گیری مربع لاتین پرداخته می‌شود. در این قسمت در مورد مفاهیمی چون زمان بارش بحرانی و استخراج هایتوگراف بارش طراحی نیز

بحث خواهد شد. در گام بعدی با انتخاب سیستم اجرای رواناب مناسب، منحنی های دبی- اشل تصادفی در مقاطع مختلف زهکش اصلی تولید می گردد و در آخر برای هر سناریوی تصادفی تولید شده، پروفیل سطح آب در مسیر کanal زهکش اصلی محاسبه و اعماق جریان در مقاطع مختلف مسیر به دست می آیند



شکل ۱ کروکی منطقه مورد مطالعه

۱- تعیین پارامترهای نامطمئن هیدرولیکی و هیدرولوژیکی ورودی و میزان عدم قطعیت مستتر در آنها عدم قطعیت مرتبط با پارامترهای ورودی به مدل می باشد بر اساس تجربه و قضاوت شخصی و یا به صورت آماری و با اندازه گیری ها و تئوری های آماری مناسب ارزیابی گردد. در این قسمت، به ارزیابی پارامترهای مختلف نامطمئن ورودی به مدل که هر کدام چندین بارتوسط کارشناس های مختلف تعیین شده است، پرداخته می شود و در گام بعدی توزیع آماری سازگار با پارامتر نامطمئن تعیین می گردد. این مسیر محاسباتی در تحقیق Yeh و Tung (1993) توضیح کامل داده شده است.

الف- پارامترهای مرتبط با بارش

در محاسبات، داده های بارش (جداول شدت - مدت - فراوانی) مربوط به دوره بازگشت ۵۰ سال انتخاب شده است که بر مبنای استاندارد کشوری دوره پیشنهادی برای طراحی مسیل های شهری است و در طراحی مسیل مورد مطالعه نیز اعمال شده است. به منظور تعیین رابطه بین شدت و مدت بارش با دوره بازگشت ۵۰ سال ایستگاه مشهد، از قابلیت رگرسیون غیرخطی نرم افزار SPSS استفاده شده است. بدین معنی که بر اساس روابط پایه، بهترین رابطه که بر داده ها برآش شده، انتخاب گردیده است. این انتخاب بر اساس گزینه های بالاترین ضریب تعیین، حداقل بودن مجموع مربعات خطاهای وحداقل بودن ضریب تغییرات پارامترهای a و b صورت گرفته است و بر این اساس پارامترهای (a) و (b)، انحراف معیار آنها (σ_a و σ_b) و ضریب تعیین (R^2) و جمع مربعات باقیمانده های (SSR) رابطه رگرسیونی انتخاب شده در جدول ۱ ارائه گردیده است. توزیع آماری خطای پارامترهای رابطه نرمال می باشد.

جدول ۱ نتایج حاصل از برآش رابطه پایه بر داده های شدت- مدت بارش مشهد با دوره بازگشت ۵۰ سال

R^2	SSR	σ_b	σ_a	b	a	رابطه رگرسیونی پایه
۰/۹۸۴	۹۴/۹۴	۲/۲	۱۵۴/۹۴	۲۸/۵۱۲	۲۴۷۵/۰۳	$i = \frac{a}{b + t}$

ب- تعیین میزان عدم قطعیت موجود در پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی
پارامترهای هیدرولوژیکی زیرحوضه‌ها، که به طور مستقیم در ساخت هیدروگراف‌های خروجی از زیرحوضه‌ها دخالت دارند شامل مساحت، طول هیدرولیکی، شبیب، شماره منحنی و شرایط رطوبتی در فاصله‌ی پنج روز قبل از بارش طرح مربوط به هر زیرحوضه می‌باشند. عدم قطعیت مربوط به این پارامترها با ارزیابی آنها توسط اشخاص مختلف قابل دستیابی است. به این صورت که، با انجام عملیات حوضه‌بندی توسط کارشناسان مختلف و تغییر مرزهای زیرحوضه‌ها تمامی پارامترهای هیدرولوژیکی دست‌خوش تغییر می‌شوند. انجام عملیات اندازه‌گیری مساحت و طول هیدرولیکی زیرحوضه‌ها توسط نرم‌افزار اتوکد و از روی نقشه‌ی ۱:۲۰۰۰ منطقه صورت گرفته است.

در برآورد شماره منحنی مربوط به هر زیرحوضه دو پارامتر اصلی دخالت دارند که یکی نوع خاک منطقه و دیگری نوع کاربری اراضی موجود در زیرحوضه می‌باشد. در تعیین انواع کاربری اراضی در هر زیرحوضه توسعه آینده شهری مدنظر بوده است (این کاربری‌ها با استفاده از طرح تفضیلی شهر مشهد مشخص شده است). با توجه به اینکه بیشتر باران‌های شدید در مشهد در فصل بهار می‌بارد شرایط رطوبتی خاک منطقه بین دو کلاس خشک (I) و معمولی (II) در نظر گرفته شده است. بعد از مشخص شدن انواع کاربری اراضی و درصدهای مربوط به مناطق شهری موجود در آینده در هر زیرحوضه و با در نظر گرفتن گروه خاکی منطقه با شناسی یکسان بین دو گروه B و C، شماره منحنی مرتبط به هر کاربری اراضی با میزان درصد سطح اشغال شده مربوطه محاسبه شده است. با ادامه محاسبات، شماره منحنی ترکیبی مربوط به هر زیرحوضه در هر یک از شرایط رطوبتی خشک و معمولی به دست آمده است. به این ترتیب، پارامتر شماره منحنی در هر زیرحوضه دارای دو توزیع یکنواخت، یکی برای شرایط رطوبتی خشک و دیگری برای شرایط رطوبتی معمولی خواهد بود. جدول ۲ مشخصات آماری شماره منحنی مربوط به برخی زیرحوضه‌ها (به عنوان نمونه) را در شرایط رطوبتی مختلف نشان می‌دهد. حد پایینی بازه توزیع احتمال هر یک از زیرحوضه‌ها مربوط به گروه خاکی B و حد بالایی آنها مربوط به گروه خاکی C می‌باشد. پارامترهای هیدرولیکی که در روندیابی جریان و محاسبه پروفیل سطح آب نقش دارند، هندسه و ضریب زبری مانینگ کanal و زهکش اصلی می‌باشند. در این تحقیق، کد ارتفاعی کف کanal، که در تعیین میزان شبیب کanal نقش دارد به عنوان تنها پارامتر نامطمئن هندسی در نظر گرفته شده است. عدم قطعیت مربوط به این پارامتر از خطای موجود در ساخت کanal ناشی می‌شود. توزیع مربوط به این پارامتر نرمال با مقدار میانگین به دست آمده از نقشه‌های پروفیل طولی و با انحراف معیار ۱۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است، مقاطع عرضی در محل شبیشکن‌ها، محل تنگ شدگی و بازشدگی مقطع، پل‌ها و محل‌های افزایش دبی انتخاب شده‌اند.

ضریب زبری یک پارامتر مفهومی است که به صورت فیزیکی قابل محاسبه نمی‌باشد. به همین دلیل، برآورد آن براساس شرایط کanal اجرا شده در محل و استفاده از مراجع و کتب هیدرولیکی مختلف، که میزان ضریب زبری را توصیه کرده‌اند و توسط کارشناسان مختلف صورت می‌پذیرد. شرایط

کanal اجرا شده در محل، کanal بتنی ریخته شده در قالب چوبی می‌باشد. با انجام آزمون K.S ببروی مقادیر ارزیابی شده شیب، طول هیدرولیکی، مساحت زیرحوضه‌ها و ضریب زبری، توزیع نرمال برای این پارامترها مناسب تشخیص داده شد. در جدول ۳، مقادیر میانگین و انحراف معیار پارامترهای شیب، طول هیدرولیکی، مساحت برخی زیرحوضه‌ها (به عنوان نمونه) و ضریب زبری آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات آماری پارامتر شماره منحنی در برخی زیرحوضه‌ها

شماره زیرحوضه	شرایط رطوبتی خشک			شرایط رطوبتی متوسط		
	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر
زیرحوضه ۱	۶۷	۷۲/۵	۷۸	۸۳	۸۶	۸۹
زیرحوضه ۲	۶۵	۷۱/۵	۷۸	۸۲	۸۵/۵	۸۹

جدول ۳- مقادیر میانگین و انحراف معیار شیب(٪)، طول هیدرولیکی (متر) و مساحت (هکتار) برخی زیر حوضه‌ها و ضریب زبری

n	A ₂	L ₂	S ₂	A ₁	L ₁	S ₁	
۰/۰۲	۲۵/۰۴	۱۰۹۹/۰۹	۱۹/۹۲	۲۲۹/۶۰	۳۵۸۵/۸۷	۱۳/۷۸	میانگین
۰/۰۰۱	۳/۷۵	۸۸/۰۰	۰/۸۶	۱۱/۱۸	۶۶/۷۸	۰/۴۰	انحراف معیار

۲- تولید مقادیر تصادفی پارامترهای نامطمئن براساس توزیع آماری آنها و آماده‌سازی آنها براساس روش LHS

بعد از اینکه پارامترهای نامطمئن هیدرولیکی و هیدرولوژیکی و همین‌طور عدم قطعیت مستتر در آنها مشخص شدند، می‌بایست اقدام به تولید مطابق با نیاز پارامترها بر اساس روش نمونه‌گیری مربع لاتین کرد. تعداد پارامترهای ورودی (دارای عدم قطعیت) ۷۶ عدد است که شامل مساحت، شیب، طول هیدرولیکی، شماره منحنی در ۱۰ زیر حوضه، دو پارامتر مربوط به رابطه رگرسیونی شدت-مدت-فرآوانی بارش، رقوم ارتفاعی کف زهکش اصلی در ۳۳ مقطع انتخابی در طول مسیر و ضریب زبری زهکش اصلی می‌باشد. براساس مبانی روش مونت‌کارلو با نمونه‌گیری مربع لاتین حداقل تعداد اجرای مدل برای دقت بهتر نتایج ۱۷۲ سناریو می‌باشد. در این تحقیق، برای دقت بیشتر در نتایج خروجی تعداد ۲۰۰ سناریو در نظر گرفته شده است. با استفاده از نرم‌افزار EXCEL و با توجه به مشخصات توزیع آماری مرتبط با هر پارامتر، ابتدا تعداد ۲۰۰۰ مقدار تصادفی برای هر پارامتر تولید گردید.

در گام بعدی هر یک از سری مقادیر تولید شده برای هر پارامتر به ۲۰۰ قسمت تقسیم گردید به گونه‌ایکه احتمال وقوع هر یک ۱:۲۰۰ باشد، یا به عبارتی هر قسمت حاوی ۱۰ مقدار باشد. بعد از تکرار این عملیات برای تمامی پارامترها، به صورت کاملاً تصادفی از هر قسمت که دارای ۱۰ مقدار می‌باشد یک مقدار برای هر پارامتر انتخاب شد. لازم به ذکر است که طریقه انتخاب هر بازه ۱۰ تایی برای نمونه‌گیری هر پارامتر نیز به صورت تصادفی می‌باشد. نحوه انتخاب و کنار هم گذاری

پارامترها بایستی به گونه‌ای باشد که برای یک پارامتر، هر قسمت ۱۰ تایی فقط و فقط یکبار انتخاب شود.

در مورد شرایط رطوبتی خاک منطقه با استفاده از یک عدد تاس که فقط دارای شماره‌ی ۲ و ۱ (شماره ۲ نشانگر شرایط رطوبتی معمولی و شماره‌ی ۱ نشانگر شرایط رطوبتی خاک خشک) می‌باشد، استفاده شد. در این مرحله ۲۰۰ بار عمل پرتاب تاس صورت گرفت که ۱۲۶ بار شرایط رطوبتی معمولی و ۷۴ بار شرایط رطوبتی خشک حاصل شد. به عبارت دیگر در ۱۲۶ سناریوی اول از ۲۰۰ سناریو، از شماره منحنی با توزیع آماری مربوط به شرایط رطوبتی معمولی و در ۷۴ سناریوی باقیمانده از شماره منحنی با توزیع آماری مربوط به شرایط رطوبتی خشک استفاده گردیده است. در فرآیند آماده‌سازی اطلاعات باید چندین نکته مورد بحث بیشتری قرار گیرند. این نکات شامل انتخاب زمان بحرانی بارش برای هر مقطع از مسیر، انتخاب هایتوگراف بارش مربوطه و انتخاب سیستم اجرای رواناب مناسب (با توجه به تغییرات لحظه‌ای و مکانی دبی در مسیر جریان) به منظور تولید منحنی‌های دبی-اشنل مورد استفاده در نرمافزار TR-20 می‌باشند. از آنجا که این نکات و بحث‌ها مستقل از یکدیگر نمی‌باشند و به یکدیگر وابستگی دارند، سعی شده است که هر یک از نکات به تفکیک در زیربخش‌های ادامه با یک روال منطقی معرفی گردد.

الف- استخراج هایتوگراف بارش طراحی از روابط شدت - مدت - فراوانی

روش بلوك تناوبی (Chow et al., 1988)، راهی ساده برای استخراج هایتوگراف بارش طراحی از روابط یا منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی می‌باشد. هایتوگراف طراحی که به وسیله‌ی این روش تولید شده است، عمق بارش را در n بازه زمانی به مدت زمان Δt به گونه‌ای مشخص می‌کند که کل زمان بارش $T_d = n \Delta t$ باشد. با استفاده از رابطه شدت-مدت-فراوانی بارش انتخابی و مقادیر تولید شده برای ثابت‌های رگرسیونی رابطه توسط روش مونت‌کارلو با نمونه‌گیری مربع لاتین، به تعداد ۲۰۰ هایتوگراف بارش ۱۳۰ دقیقه‌ای برای منطقه‌ی مورد مطالعه استخراج شد. چگونگی انتخاب مدت زمان ۱۳۰ دقیقه برای بارش در ادامه توضیح داده می‌شود.

ب- انتخاب سیستم اجرای رواناب مناسب برای به دست آوردن جداول دبی-اشنل تصادفی

یکی از پارامترهای ورودی به نرمافزار TR-20 جداول دبی-اشنل برای کلیه مقاطع عرضی مختلف در طول زهکش اصلی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این جداول، در حقیقت تغییرات تراز سطح آب و مساحت مقطع عرضی را به ازاء تغییرات دبی در مقاطع مختلف نشان می‌دهند و در صورتی که صحیح انتخاب شوند در عملیات روندیابی توسط TR-20 می‌توانند اثرات پس زدگی‌های سطح آب را به خوبی منعکس نمایند. در حقیقت این جداول در تخمین پارامترهای روندیابی در روش مورد استفاده در نرمافزار TR-20 کاربرد دارند. با توجه به پیچیدگی سیستم هیدرولیکی، از نرمافزار HEC-RAS در تولید جداول دبی-اشنل استفاده شد تا بتوان وابستگی هیدرولیکی جریان در مقاطع مختلف به یکدیگر را بهتر مدل‌سازی نمود. ولی از آنجا که دبی در مقاطع مختلف در طول مسیر تغییر می‌کند می‌بایست چگونگی وابستگی هیدرولیکی مقاطع مختلف را روشن‌تر نمود و سیستم اجرای رواناب

مناسب در تولید جداول دبی-اشن را تعیین کرد. به منظور تحقق این امر محاسبات طولانی انجام شد ولی به اختصار می‌توان گفت که تجمع اثرات هیدروگراف‌های خروجی از زیر حوضه‌ها در مقاطع مختلف در نظر گرفته شد و در یک فرآیند تکرار، تغییر منحنی‌های دبی-اشن در نرمافزار TR-20 تا ثبت نتایج خروجی در آن مقطع انجام گرفت.

ج- انتخاب زمان بحرانی بارش

برای تخمین سیل طراحی با فراوانی وقوع مشخص، یک زمان بارش بحرانی وجود دارد که میزان دبی را در یک مقطع مورد نظر (تحت طراحی) حداکثر می‌کند. در حالت‌هایی که روش طراحی زمان مشخصی را برای زمان بارش طراحی مشخص نمی‌کند، سیل طراحی می‌باشد از بارش‌های طراحی با زمان‌های متفاوت و فراوانی وقوع مشخص محاسبه شوند. بدین منظور می‌توان منحنی تغییرات دبی بهازاء زمان بارش‌های مختلف را ترسیم و زمان بارش منطبق بر حداکثر دبی را به عنوان زمان بحرانی بارش برای آن مقطع تعیین نمود (Maidment, 1988).

با توجه به مطالب ذکر شده، در این تحقیق جهت تعیین زمان بحرانی بارش سه مقطع در ابتداء، میانه و انتهای بازه مطالعاتی انتخاب گردیدند و در آنها روند تغییرات منحنی دبی بهازاء زمان بارندگی‌های مختلف به دست آمد. با بررسی این منحنی‌ها و از آن جایی که تغییرات پروفیل سطح آب به ازاء یک زمان بارش مورد نظر این تحقیق بود و به دلیل نزدیک بودن زمان‌های بحرانی بارش برای مقاطع انتخابی در بازه مطالعاتی، زمان بارشی ثابت برابر با 130 دقیقه در کل مطالعات انتخاب گردید. لازم به ذکر است که دبی محاسبه شده در هر مقطع با استفاده از اطلاعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی متوسط صورت گرفته است. این امر به این معنی است که از مقادیر میانگین مساحت، شب، طول هیدرولیکی و شماره منحنی مربوط به هر زیرحوضه استفاده شده است. همچنین، از مقادیر متوسط رقوم کف در مسیر زهکش اصلی و از مقدار میانگین ضریب زبری مانینگ استفاده شده است. در استخراج هایتوگراف بارش نیز از مقادیر میانگین ضرایب a و b در رابطه‌ی رگرسیونی شدت-مدت-فراوانی استفاده شده است.

د- تولید منحنی‌های دبی-اشن تصادفی در مقاطع مختلف زهکش اصلی

با انتخاب سیستم اجرای رواناب مناسب در مسیر کanal که، با استفاده از مقادیر تصادفی ضریب زبری و کد ارتفاعی مربوط به کف کanal در زهکش اصلی تولید شدند و به کمک نرمافزار HEC-RAS، 200 جدول دبی-اشن تصادفی برای 33 مقطع در طول مسیر تولید گردید.

۳- تولید هیدروگراف‌های تصادفی خروجی از زیرحوضه‌ها و محاسبه پروفیل سطح آب با استفاده از نرمافزار TR-20

با به کارگیری نرمافزار TR-20 و استفاده از هایتوگراف‌های بارش استخراج شده، پارامترهای نامطمئن هیدرولیکی و هیدرولوژیکی مربوط به زهکش اصلی و زیرحوضه‌ها و منحنی‌های دبی-اشن مربوط به مقاطع مختلف، در ابتداء 200 هیدروگراف تصادفی خروجی برای هر یک از زیرحوضه‌ها تولید شد و در گام بعدی این هیدروگراف‌ها روندیابی و پروفیل‌های سطح آب محاسبه گردیدند. مقادیر

حداکثر، حداقل، میانگین، انحراف معیار، دامنه و ضریب تغییرات نتایج حاصل از انجام تجزیه و تحلیل عدم قطعیت که مستخرج از ۲۰۰ عدد ارتفاع حداکثر سطح آب در هر مقطع انتخابی از زهکش اصلی می‌باشد، برای برخی از مقاطع در جدول ۴ آمده است (نام‌گذاریهای مقاطع قراردادی است و در راستای مسیر افزایش می‌یابد).

جدول ۴- مشخصات آماری پروفیل سطح آب در برخی مقاطع مسیر

شماره مقطع	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
XSECTN5	۰/۴۶	۰/۰۱	۰/۴۷	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۶۲
XSECTN12	۰/۶۱	۰/۰۱	۰/۶۲	۰/۳۰	۰/۱۸	۰/۶۰
XSECTN41	۱۳/۵۴	۰/۰۳	۱۳/۵۷	۱/۷۴	۱/۵۲	۰/۸۷
XSECTN50	۱/۳۹	۰/۱۵	۱/۵۴	۰/۶۸	۰/۲۸	۰/۴۱

نتیجه‌گیری

مطلوب ارائه شده خلاصه‌ای از یک محاسبات طولانی و پیچیده به منظور تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در محاسبات عمق در طراحی یک زهکش آبهای سطحی بود که نتایج فشرده زیر را می‌توان از آن استخراج نمود.

- با دقت در نتایج تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در جدول ۴ می‌توان دریافت که ضریب تغییرات عمق حداکثر در مقاطع مختلف بین ۰/۰۴۱ تا ۰/۰۸۷ متغیر است. این دامنه تغییرات می‌تواند مورد توجه طراحان زهکش‌های شهری قرار گیرد.
- این نتایج می‌توانند در تجزیه و تحلیل ریسک طراحی مورد استفاده قرار گیرد. نتایج تجزیه و تحلیل ریسک نشان داد (در این تحقیق نیامده است) که با پذیرش اینکه عدم قطعیت، در محاسبات پروفیل سطح آب، ناشی از پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی موردنظر در این تحقیق باشد، بر مبنای عمق آزادی معادل ۲۰ درصد عمق آب در مقطع، ریسک شکستی در حدود ۳۶ درصد حاصل می‌شود.
- این نتایج می‌توانند در تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترها مورد استفاده قرار گیرند.

فهرست منابع

شرکت مهندسی مشاور طوس آب. ۱۳۸۱. مطالعات مرحله‌ی دوم طرح جمع‌آوری و دفع آبهای سطحی شهر مشهد. گزارش فنی مسیل آب و برق.

- Chow, V.T., Maidment, D.R., and L.W. Mays. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill.
 Maidment, D.R. 1988. Handbook of Hydrology. First Edition, McGraw-Hill Inc.
 Nowak, A.S., and K.R. Collins. 2000. Reliability of Structures. McGraw-Hill Inc.
 Viessman, W., Lewis, G.L., and J.W. Knapp. 1989. Introduction to Hydrology. Third Edition, Harper & Row.
 Yeh, K.C., and Y.K. Tung. 1993. Uncertainty and Sensitivity Analysis of Pit-Migration Model. J. Hydr. Engrg., ASCE, 119(2), 262-283.