

بررسی ضریب افت موضعی در شبکه زهکش زیرزمینی در محل اتصال با منهول

رسول عظیمی^۱، اسماعیل بیات^۲، صلاح کوچک‌زاده^۳

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران *Rasoul_Azimi@yahoo.com*
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران *Bayat.Esmaeel@gmail.com*
۳- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران *skzadeh@ut.ac.ir*

چکیده

در بسیاری از شبکه‌های زهکش زیرزمینی در محل اتصال لوله فرعی به لوله اصلی و همچنین جهت بازرسی شبکه، از منهول^۱ استفاده می‌شود. تعیین مشخصات هیدرولیکی این سازه جهت طراحی و تعیین ظرفیت تخلیه الزامی است. در این تحقیق آزمایشگاهی با در نظر گرفتن پارامترهای موثر بر هیدرولیک جریان و روابط حاکم بر آن، تغییرات ضریب افت به کمک مجموعه آزمایشگاهی که با تجهیزات مقیاس واقعی احداث شد، بدست آمد. نتایج بدست آمده رابطه بین ضریب افت و دبی‌های ورودی و خروجی منهول را روشن نمود. در این مقاله علاوه بر گزارش رابطه یاد شده، ضریب افت پیشنهادی طراحی نیز ارائه شده است که این نتایج قابلیت کاربرد در شبکه‌های زهکش زیرزمینی و شبکه‌های فاضلاب شهری را دارد. **واژه‌های کلیدی:** منهول، ضریب افت انرژی، لوله‌های موجدار، زهکش زیر زمینی.

مقدمه

یک سیستم زهکش زیرزمینی شامل مجموعه‌ای از لوله‌های فرعی جهت جمع‌آوری آب اضافی، لوله‌های جمع‌کننده به منظور انتقال و تخلیه آب جمع‌آوری شده توسط لوله‌های فرعی و ملحقیات مورد نیاز برای لوله‌ها می‌باشد. این ملحقیات شامل درپوش‌های انتهایی لوله، رابط‌ها، تبدیل‌ها، حوضچه‌های اتصال، چاهک‌های بازرسی یا منهول‌ها، شیب شکن، خروجی‌های ثقیلی یا غیر ثقیلی و اتصالات لوله‌ها می‌باشد. در محل اتصال لوله فرعی به اصلی می‌توان از گزینه‌های متفاوتی استفاده کرد. سازه‌هایی که در این قسمت می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد شامل اتصال سه‌راهی، اتصال رزوه‌ای و یا منهول می‌باشد.

به منظور بررسی وضعیت جریان در یک سیستم زهکش زیرزمینی در محل‌های مختلف شبکه از سازه منهول استفاده می‌شود تا در صورت بروز مشکل بتوان علت و محل احتمالی آنرا مشخص نموده و برای رفع مشکل اقدامات لازم را انجام داد. تحقیقات صورت گرفته در مورد منهول‌ها اکثراً در شبکه‌های فاضلاب بوده که غالباً دارای شیب نسبتاً زیاد بوده و جریان در لوله‌ها بصورت آزاد یا تحت فشار می‌باشد.

یکی از نخستین مطالعات در خصوص اتصالات شبکه‌های فاضلاب توسط Ackers (۱۹۵۹) صورت گرفته که راهنمای پژوهش‌های دیگر قرار گرفته است. این تحقیق شامل دو منهول کاملاً مستقیم و دو منهول با پیچ ۴۵ و ۵۲ درجه با جریان فوق بحرانی و جریان تحت فشار^۲ بود. بسیاری از مطالعات دیگر در آزمایشگاه‌ها با استفاده از

¹ Manhole

² Surcharged flow

مدل کردن اتصالات در جریان‌های زیربحرانی یا فوق بحرانی صورت پذیرفته است. Marsalek (۱۹۸۴) اتصالات مستقیم با منهول مربعی و دایره‌ای را بررسی کرد و اثرات طراحی گذر سازی^۳ (تمهیداتی که جهت هدایت جریان در داخل منهول بکار می رود) بر کاهش افت‌های انرژی را گزارش نمود. Marsalek (۱۹۸۵) افت بار در جریان‌های زیربحرانی و فوق بحرانی در منهول با اتصال مرکب ۹۰ درجه را مورد بررسی قرار داد و طراحی گذر سازی را پیشنهاد نمود. مطالعات آزمایشگاهی Hager و Gargano (۲۰۰۲) روی اتصال مستقیم و Del Giudice و همکاران (۲۰۰۰) بر روی اتصال زانویی انجام شد. همچنین یک اتصال مرکب ۴۵ درجه توسط Del Giudice و Hager (۲۰۰۱) و یک اتصال مرکب ۹۰ درجه توسط Gisonni و Hager (۲۰۰۱) مورد مطالعه قرار گرفتند. این مطالعات به مشاهدات وضعیت‌های موج و اندازگیری‌های پروفیل سطح آب در اتصال فاضلاب محدود می‌شد. Hager و Del Giudice (۲۰۰۱) و Hager و Gisonni (۲۰۰۲) شکل موج را در کانال باز در جریان فوق بحرانی در اتصال منهول مورد بررسی قرار دادند. Zhao و همکاران (۲۰۰۴) جریان فوق بحرانی در یک اتصال مرکب منهول با استفاده از مدل فیزیکی را مورد بررسی قرار دادند. هدف از مطالعه ایشان بهبود طراحی یکی از اتصالات شبکه فاضلاب شهر البرتا (کانادا) بوده است.

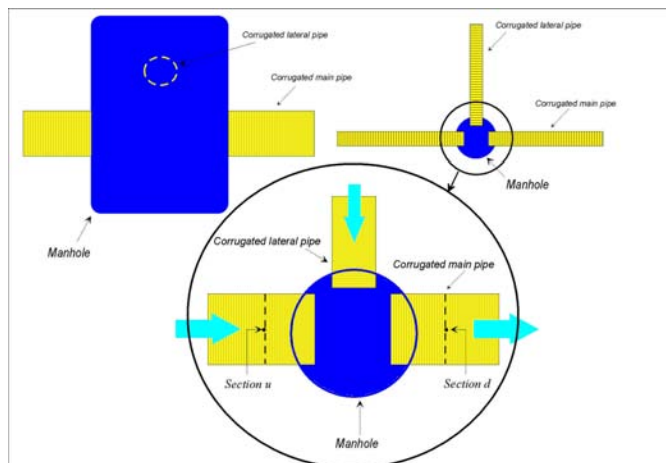
از آنجایی که شرایط هیدرولیک حاکم بر جریان در شبکه‌های زهکش زیرزمینی با مشخصات هیدرولیکی منهول در شبکه‌های فاضلاب متفاوت است و همچنین در احداث این نوع شبکه‌ها از لوله‌های موجدار که در داخل کشور ساخت می‌شود استفاده می‌شود و عملکرد این لوله‌ها در محل اتصال با منهول گزارش نشده است، نیاز به تحقیقات بیشتر کاملاً محسوس می‌باشد. در این تحقیق با ایجاد یک مجموعه آزمایشگاهی در مقیاس واقعی، تاثیر منهول بر روی مشخصات جریان و ظرفیت تخلیه زهکش‌های اصلی مورد مطالعه قرار گرفت و ضرایب افت انرژی در محل این نوع اتصال برای دامنه وسیعی از دبی‌ها و شیب‌های طولی متداول در طراحی تعیین و گزارش شد.

مواد و روشها

با استفاده از تئوری انتقال رینولدز^۴ و انتخاب حجم مشخص مناسب، روابط هیدرولیکی حاکم را می‌توان بدست آورد. محدوده حجم کنترل با توجه به ریزش آزاد آب از لوله فرعی به منهول مطابق شکل ۱ مشخص می‌شود. مرز حجم کنترل در بالادست منهول در لوله اصلی (مقطع u) بلافاصله در بالادست محل ورود لوله اصلی به منهول، مرز حجم کنترل در پایین دست منهول در لوله اصلی (مقطع d) با فاصله کمی از محل خروج لوله اصلی از منهول و مرز حجم کنترل در بالادست در لوله فرعی (مقطع b) بلافاصله در بالادست محل ورود لوله فرعی به منهول انتخاب گردید.

³ benching

⁴ - Reynolds transport theorem



شکل-۱: حجم کنترل انتخاب شده

برای جریانهای دائمی معادله پیوستگی برای حجم کنترل انتخاب شده بصورت رابطه (۱) در می آید:

$$Q_d = Q_u + Q_b \quad (1)$$

که در این رابطه Q_d ، دبی خروجی از حجم کنترل از مقطع d در پایین دست اتصال در لوله اصلی؛ Q_u ، دبی ورودی به حجم کنترل از مقطع u در بالادست اتصال در لوله اصلی و Q_b ، دبی ورودی به حجم کنترل از مقطع b در بالادست اتصال در لوله فرعی، می باشد.

همچنین معادله انرژی واحد وزن سیال برای مقاطع u و d به صورت زیر در می آید:

$$\frac{p_u}{\gamma} + Z_u + \frac{V_u^2}{2g} = \frac{p_d}{\gamma} + Z_d + \frac{V_d^2}{2g} + h_{f_{ud}} \quad (2)$$

در معادله (۲)، p فشار؛ γ ، وزن واحد حجم آب؛ Z ، ارتفاع نسبت به سطح مبنای اختیاری؛ V ، سرعت متوسط؛ g ، شتاب ثقل و $h_{f_{ud}}$ افت انرژی بین مقطع u و مقطع d می باشد.

مقدار $h_{f_{ud}}$ بصورت حاصلضرب ضریب افت انرژی در ارتفاع معادل سرعت مقطع پایین دست اتصال در لوله اصلی، مقطع d ، ارائه می شود. یعنی داریم:

$$h_{f_{ud}} = k_{ud} \frac{V_d^2}{2g} \quad (3)$$

با در نظر گرفتن هد پیزومتریک بصورت $h = \frac{p}{\gamma} + Z$ و با جایگذاری $h_{f_{ud}}$ در رابطه (۲) نتیجه زیر بدست می آید:

$$k_{ud} = \frac{(h_u + \frac{V_u^2}{2g}) - (h_d + \frac{V_d^2}{2g})}{\frac{V_d^2}{2g}} \quad (4)$$

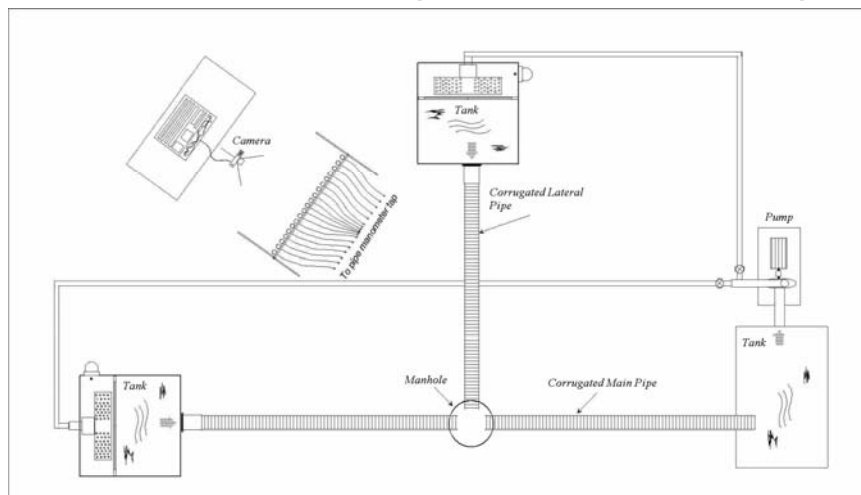
حال می توان به کمک داده های آزمایشگاهی و روابط فوق ضریب مورد نیاز را تعیین کرد.

تجهیزات آزمایشگاهی و چگونگی انجام آزمایش‌ها

پلان کلی مجموعه آزمایشگاهی در شکل ۲ ارائه شده است. اجزای این مجموعه عبارتند از: لوله‌های زهکش موجدار، سکوی استقرار لوله‌ها، منهول، مخازن تغذیه کننده لوله فرعی و اصلی، پمپ و مخزن ذخیره. لوله‌های زهکش موجدار، که با قطرهای داخلی ۰/۱۱۵ و ۰/۱۸۲ متر و طول‌های ۵/۴ و ۱۰ متر به ترتیب برای لوله فرعی و لوله اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سکوی استقرار لوله‌ها دارای ارتفاع ۰/۶ متر از سطح زمین می‌باشد و لوله‌ها بر روی آن طوری قرار گرفته‌اند که بتوان پیزومترها را به لوله‌ها نصب کرد. در محل برخورد لوله اصلی به فرعی از یک عدد منهول استوانه‌ای شکل از جنس پلاستیک فشرده به قطر ۰/۵۵ متر و ارتفاع ۱ متر استفاده گردید. اما مخازن تغذیه کننده لوله فرعی و اصلی که در بالادست لوله‌ها قرار دارد مجهز به یک سرریز مثلی با زاویه راس ۱۳۵ درجه شده تا به کمک آن دبی ورودی به لوله‌ها اندازه‌گیری شود. سرریزهای یاد شده با استفاده از روش حجمی و در محل نصب کالیبره شده‌اند.

آب خروجی از لوله اصلی بصورت ریزش آزاد در منبع ذخیره که در انتهای سیستم گذاشته شده است، جمع‌آوری می‌شود. آب از مخزن ذخیره توسط پمپ به دو مخزن تغذیه کننده لوله‌های فرعی و اصلی پمپاژ می‌شود و پس از عبور از لوله‌ها مجدداً به مخزن ذخیره باز می‌گردد. جهت بررسی شرایط جریان در لوله‌ها و منهول تعداد ۴۹ پیزومتر در لوله اصلی، ۱۰ عدد پیزومتر در کف منهول و تعداد ۲۷ پیزومتر در لوله فرعی نصب گردید. کلیه پیزومترهای یاد شده به تابلوی پیزومتری ختم می‌شد. ثبت اطلاعات از طریق تصویر برداری و رقومی کردن تصاویر صورت می‌گرفت. با این سیستم امکان سرعت بخشیدن به انجام آزمایش‌ها و ثبت و استخراج داده‌ها با دقت بسیار مطلوب فراهم شد.

آزمایش‌ها برای دامنه وسیعی از شیب‌های طولی (از ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۷) لوله‌های فرعی و اصلی انجام گردید. با تنظیم شیب طولی لوله‌ها بوسیله تراز یاب دقیق، برای لوله فرعی بدهای معین انتخاب می‌شد. سپس در لوله اصلی، بده از صفر تا مقدار ماکزیمم عبور داده می‌شد. پس از به تعادل رسیدن جریان، وضعیت پیزومترها ثبت می‌شد. سپس با افزایش تدریجی بده لوله اصلی، ثبت داده‌ها برای هر بده صورت می‌گرفت و این روند تا رسیدن به حداکثر مقدار بده لوله اصلی تکرار می‌شد. با رسیدن به حداکثر بده لوله اصلی مجدداً با قطع کردن بده لوله اصلی، بده لوله فرعی تغییر و روند ثبت داده‌ها ادامه پیدا می‌کرد.



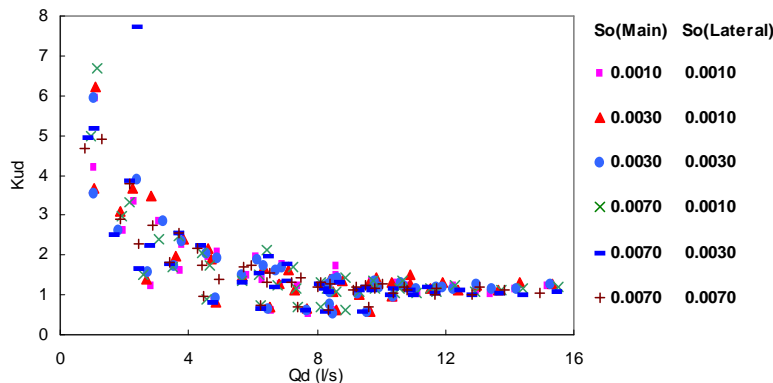
شکل-۲: پلان مجموعه آزمایشگاهی به کار رفته در این تحقیق

نتایج و بحث

تعیین نوع جریان جهت بررسی شرایط هیدرولیکی در لوله‌ها اهمیت زیادی دارد. جهت طبقه بندی شیب‌های طولی بکار رفته در آزمایش‌ها و تشخیص نوع جریان (زیربحرانی یا فوق بحرانی) در لوله‌ها، نمودار دبی-شیب بحرانی ترسیم شد و مشخص گردید که کلیه شیب‌های آزمون شده کمتر از شیب بحرانی برای محدوده دبی‌های مورد استفاده می‌باشد. بنابراین لوله‌ها دارای شیب ملایم هستند و پروفیل سطح آب آنها در تمام دامنه دبی‌ها همه از نوع M می‌باشد و در نتیجه جریان در سراسر لوله به صورت زیربحرانی خواهد بود. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که نوع جریان در لوله اصلی و لوله فرعی آشفته بوده و عمدتاً در منطقه انتقالی و یا از نظر هیدرولیکی زبر می‌باشد.

جهت بررسی روند تغییرات ضریب افت انرژی در منهول، دبی در بالادست و پایین‌دست منهول بعنوان پارامترهای تأثیرگذار که در آزمایش‌های مختلف مقادیرشان متغیر است و کاربردی‌تر نیز می‌باشند، در نظر گرفته شدند. از آنجایی که مجموعه آزمایشگاهی در ابعاد واقعی ساخته شده است می‌توان تغییرات ضریب افت را با مقادیر دبی‌های ذکر شده بررسی کرده و از نتایج حاصله مستقیماً در عمل استفاده کرد.

ارتباط بین ضریب افت و دبی در پایین دست منهول در لوله اصلی که هم شامل دبی بالادست منهول در لوله اصلی و هم دبی لوله فرعی است، بررسی شد. تغییرات ضرایب افت با مقدار دبی در پایین دست منهول در لوله اصلی برای شیب‌های مختلف در شکل ۳ مشاهده می‌شود. همانگونه که ملاحظه می‌شود با افزایش دبی پایین دست منهول ضریب افت روند کاهشی داشته و در نهایت تقریباً به مقدار نسبتاً ثابتی می‌رسد. شیب طولی لوله‌ها در هر سری از داده‌ها بعنوان یک عامل کم اثر در نحوه تغییرات داده‌ها خود را نشان می‌دهد.

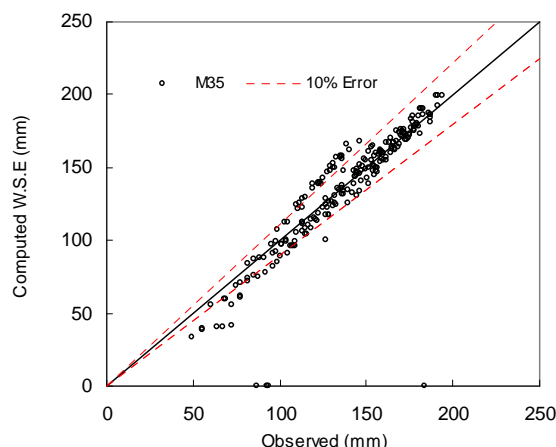


شکل-۳: تغییرات ضریب افت با دبی در پایین دست منهول Q_d

مقدار متوسط ضرایب افت

برای کاربردی کردن نتایج آزمایش‌ها و با توجه به اینکه طراحی بر اساس دبی حداکثر صورت می‌گیرد و همچنین روند تغییرات ضریب افت به سمت مقدار نسبتاً ثابتی می‌رسد، تصمیم گرفته شد تا مقدار متوسط و ثابتی برای ضریب افت منهول پیشنهاد شود. با استناد به روند تغییرات مشاهده شده در شکل ۳ مقدار ضریب افت متوسط $Kud = 1$ پیشنهاد شده است. برای مطالعه اثر چنین انتخابی بر تمام داده‌ها تصمیم گرفته شد تا ارتفاع پیزومتری مشاهده شده در بالادست منهول با مقادیر محاسبه شده به کمک این ضریب مقایسه و گزارش شود.

این مقایسه به دو صورت می‌تواند ارائه شود. در روش اول رقوم مورد نیاز انرژی در بالادست منهول را می‌توان به کمک ارتفاع پیزومتر مشاهد شده در پایین دست منهول و اعمال ضریب افت به دست آورد و نتیجه را با مقدار مشاهده شده ارتفاع پیزومتر بالادست مقایسه نمود. اما در روش دوم پروفیل M2 سطح آب در لوله اصلی از محل ریزش تا نقطه اتصال به منهول محاسبه نمود و سپس با اعمال ضریب افت توصیه شده، انرژی مورد نیاز در بالادست منهول را به دست آورد و با مقادیر مشاهده شده در آن مقطع مورد مقایسه قرار داد. از آنجا که روش دوم می‌تواند کاربرد بیشتری در طراحی داشته باشد تصمیم گرفته شد تا از روش دوم استفاده شود. شایان ذکر است که نتایج روش اول انطباق بهتری از نتایج روش دوم خواهد داشت زیرا که اساساً در روش اول از رقوم مشاهده شده اتصال پایین دست منهول برای محاسبه انرژی مورد نیاز در اتصال بالادست آن استفاده می‌شود در حالی که در روش دوم محاسبه نیمرخ سطح آب از عمق بحرانی محاسبه شده نقطه ریزش استفاده می‌شود. بنابراین محاسبه پروفیل سطح آب به روش گام به گام استاندارد محاسبه عمق برحسب فاصله صورت گرفت و نتایج به دست آمده برای پیزومتر M35 که در محل اتصال لوله اصلی به منهول و در بالادست آن است با مقادیر مشاهده شده ارتفاع پیزومتر آن پیزومتر مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۴). در شکل ۴ محور طولها رقوم سطح آب مشاهده شده و محور عرضها رقوم سطح آب محاسبه شده می‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه رقوم سطح آب مشاهده شده و محاسبه شده برای پیزومتر یاد شده مشخص نمود که میزان خطا در پیش بینی رقوم سطح آب در بالا دست منهول در لوله اصلی روی مرز حجم کنترل با استفاده از ضریب افت متوسط پیشنهادی ($Kud = 1$) در محدوده $\pm 10\%$ می‌باشد.



شکل ۴: مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده رقوم سطح آب برای پیزومتر M35

در مرز حجم کنترل بالادست منهول برای $Kud = 1$

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ویژگی‌های افت موضعی منهول در امتداد لوله اصلی در سیستم زهکش زیرزمینی به طور آزمایشگاهی بررسی شد. تجهیزات آزمایشگاهی با لوله‌ها و منهول مقیاس واقعی احداث شد طوری که نتایج به دست آمده مستقیماً قابل کاربرد می‌باشند. آزمایشها برای دامنه وسیعی از دبی و شیب‌های طولی انجام گردید و ضرایب افت به دست آمده در برابر بده پایین دست محل اتصال لوله اصلی به منهول ترسیم شد.

نتایج نشان داد که برای دبی‌های کم ضرایب افت بالایی به دست آمد اما با زیاد شدن دبی و نزدیک شدن به دبی‌های طراحی ضرایب افت به مقدار معینی نزدیک می‌شود. با عنایت به نحوه تغییرات ضریب افت مقدار متوسط $K_{ud}=1$ برای کاربرد در طراحی پیشنهاد شد. نتایج کاربرد این مقدار متوسط بر داده‌های مشاهده شد نشان داد که مقدار پیشنهادی مجموعه داده‌ها را با حداکثر میزان خطای ده درصد پیش بینی می‌کند و بنابراین کاربرد آن توصیه می‌شود.

منابع

- [۱] گروه کار زهکشی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۳. مواد و مصالح سامانه‌های زهکشی زیرزمینی. " شماره انتشار : ۸۱ .
- [۲] گروه کار زهکشی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۱. "نگرشی بر مسائل و مشکلات مطالعات و اجرای زهکشی زیرزمینی در ایران." شماره انتشار : ۵۹ .
- [3] Ackers, P. (1959). "An investigation of head losses at sewer manholes." *Civil Engineering and Public Works Review*, 54(637):882-884 and 1033-1036.
- [4] Ben Chie Yen. , A.Osman Akan. 2004. Hydraulic design handbook, Chapter 14 Hydraulic design of urban drainage system. *MacGrow-Hill Pub. Co. New York*.
- [5] Del Giudice, G. and Hager, W. H. (2001). "Supercritical flow in 45 degree junction manhole." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 127(2): 100-108.
- [6] Gargano, R. and Hager, W. H. (2002). "Supercritical acrss sewer manholes." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 128(11): 1014-1017.
- [7] Marsalek, J. (1984). "Head losses at sewer junction manholes." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 110(8): 1150-1154.
- [8] Marsalek, J. (1985). "Head losses at selected sewer manholes." *National Water Research Institute, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ontario*.
- [9] Streeter V.L., Wylie E.B, Translated by Entezari A.R. 2000. *Fluid Mechanics. Nourpardazan, Tehran*.
- [10] Zhao, C.H., Zhu, D.z. and N.Rajaratnam (2004). "Supercritical sewer flows at a combining junction: a case study of Edworthy Trunk Junction, Calgary, Alberta." *Journal of Environmental Engineering and Science*, NRC, 3(5): 343-353.