

بخش اول

طراحی شبکه آبرسانی شهری

مقدمه:

افزایش روز افزون جمعیت شهرها و پیشرفت صنایع در تمام کشورهای جهان برای آبرسانی شهرها مسئله بسیار مهم و پیچیده ای به وجود آورده که حل آن با کمک متخصصین کار آزموده امکان پذیر است، برای کشور ما که از کمبود آب در تنگنا می باشد مسئله نامبرده اهمیت ویژه ای پیدا می کند. مهاجرت روز افزون مردم از دهات به شهرها و پیشرفت سریع زندگی مدرن و توجه بیشتر به بهداشت همگانی مقدار نیازهای آبی را افزایش می دهد. به وجود آمدن صنایع مادر چون ذوب آهن و پتروشیمی که خود ایجاد یک رشته کارخانه های کوچکتری را سبب می گردند مشکل آبرسانی را دو چندان می سازد. مسئله کمبود آب را در ایران طبعاً نمی توان به سادگی بر طرف نمود بلکه فقط با بهره برداری درست از منابعهای آب کشور، جلوگیری از هدر رفتن آبهای طبیعی و مهار کردن رودخانه ها و ایجاد شبکه های آبرسانی ناحیه ای در نقاط گوناگون کشور می توان نیازهای آینده مردم را تأمین نمود.

شبکه آبرسانی شهرها دارای وظایفی هست که مهمترین آنها عبارتند از :

تأمین آب آشامیدنی مردم شهر، تأمین آب مورد نیاز دستگاهها و تأسیسات بهداشتی از قبیل حمامها، توالتها و غیره ... ، تأمین آب مورد نیاز کارخانه های کوچک و بزرگ و کارخانه های گوناگون، تأمین آب لازم برای آبیاری فضاها و سبزی و شستشوی خیابانها و آبریزگاههای همگانی، تأمین آب مورد نیاز تأسیسات سازمانهای آتش نشانی در مواقع آتش سوزی. و علاوه بر اینها شبکه می بایست قادر باشد وظایف فوق را در بدترین شرایط نیز به درستی انجام دهد.

عوامل مؤثر در برآورد جمعیت آینده یک شهر:

- 1- روند رشد جمعیت شهر در سال های گذشته
- 2- طرح های عمرانی و توسعه صنعتی پیش بینی شده برای آینده
- 3- روند رشد جمعیت در مناطق مجاور شهر
- 4- تنگناهای موجود در برابر توسعه آینده شهر
- 5- پیش بینی جمعیت اشباع و تطابق آن با طرح های جامع
- 6- امکان مهاجرت
- 7- جمعیت فصلی و تغییرات آن

دوره طرح:

نظر به اینکه جمعیت و مقدار مصرف سرانه و نیازمندی های تجاری و صنعتی آب در شهرها و اجتماعات معمولاً در حال افزایش بوده و از طرفی امکانات مالی و اجرایی محدود است لذا در طرح تأسیسات شهر اعم از آب و فاضلاب زمان مناسبی انتخاب می شود تا شرایط و نیازهای آن زمان در تعیین مبنای طرح ملاک عمل قرار گیرد. فاصله بین زمان شروع بهره برداری و زمان مبنای طرح را دوره طرح می نامند. در شرایط کنونی ایران معمولاً دوره طرح را 20 تا 40 سال در نظر می گیرند. مگر اینکه شرایطی خاص و یا عوامل مؤثر در طرح و دوره طرح محدود کننده آن باشند. (آیین نامه: بند 1-4-1)

محاسبه مساحت فعلی شهر:

$$\text{مساحت شهر} = 2850000 \text{ m}^2 = 285 \text{ hec}$$

محاسبه جمعیت فعلی (اولیه) (P_0) :

تراکم در واحد سطح شهر (نفر در هکتار) \times مساحت شهر (هکتار) = جمعیت فعلی

$$36 = \text{تراکم (نفر در هکتار)}$$

$$P_0 = 285 \times 36 = 10260 \text{ نفر}$$

محاسبه جمعیت در پایان دوره طرح (P_n) :

$$P_n = P_0 (1 + \gamma)^n$$

$$n = 40 \quad \text{دوره طرح بر حسب سال}$$

$$\gamma = 2\% \quad \text{ضریب متوسط رشد جمعیت}$$

$$P_0 = 10260 \quad \text{جمعیت فعلی (اولیه) بر حسب نفر}$$

$$P_{n=40} = 10260 \times \left(1 + \frac{2}{100}\right)^{40} \Rightarrow P_{n=40} = 22655 \text{ نفر}$$

$$\Delta P = P_{n=40} - P_0 = 22655 - 10260 = 12395 \text{ نفر}$$

که از این میزان افزایش جمعیت 70 درصد آنها در سطح گسترش یافته شهر جاده می شوند.

$$\text{نفر} = 12395 \times 0.7 = 8677$$

$$\text{نفر} = 12395 \times (1 - 0.7) = 3719$$

$$\text{نفر} = 12395 + 3719 = 16114$$

$$\text{نفر در هکتار} = \frac{16114}{285} = 56.5 \approx 57$$

$$\text{سطح گسترش} = \frac{8677}{57} = 152.2 \approx 153 \text{ hec}$$

متوسط مصرف سرانه آب:

مصرف سرانه یک شهر با توجه به بند 1-5 آیین نامه شامل مصارف زیر می باشد:

- مصارف خانگی
- مصارف عمومی
- مصارف تجاری و صنعتی
- مصارف فضای سبز عمومی
- تلفات آب

مصرف خانگی:

برای به دست آوردن مصرف خانگی روش های مختلفی وجود دارد که از آن جمله عبارتند از:

- استفاده از جداول 2-7 یا 2-6 کتاب آشفته که جمع کل را برای هر نفر 135 lit/day در نظر گرفته است.
- استفاده از جداول 1-2 یا 2-2 کتاب منزوی.
- استفاده از آمار و اطلاعات.
- استفاده از توصیه سازمان مدیریت و برنامه ریزی.

باید توجه شود که در تعیین میزان متوسط مصرف سرانه خانگی (بدون فضای سبز) در آینده، عوامل زیر مؤثرند:

- 1- ارقام اندازه گیری شده فعلی
- 2- رشد مصرف در گذشته و تخمین رشد آتی با توجه به سطح رفاهی مردم در آینده.
- 3- سهولت تامین آب.
- 4- آب و هوای منطقه.
- 5- فشار در شبکه.
- 6- نوع مسکن و قیمت آب.
- 7- نحوه دفع فاضلاب.

تعیین متوسط مصرف سرانه خانگی:

با توجه به جدول 1-5-1 آیین نامه سازمان برنامه و بودجه متوسط مصرف سرانه خانگی (بدون فضای سبز) به صورت زیر انتخاب می شود.

جدول 1-1- تعیین متوسط سرانه خانگی

نوع مصرف	حدود مصرف (آیین نامه) (lit/day)	مقدار انتخابی (lit/day)
آشامیدن	2-5	3
پخت و پز	10-5	8
حمام	25-50	40
لباسشویی	10-20	15
ظرفشویی	5-15	10
دستشویی و توالت	20-30	25
شستشوی خانه	3-10	7
کولر و تهویه مطبوع	2-5	2
متفرقه	3-5	4
جمع	75-150	114

✓ در صورتی که اعداد پیش بینی شده برای مصرف خانگی (بدون فضای سبز) خارج از محدوده جدول فوق (آیین نامه : جدول 1-5-1) باشد ابتدا باید علل این مسئله مشخص و سپس تصمیم مقتضی با نظر کارفرما اتخاذ گردد.

✓ مصرف خانگی به ازای هر نفر برابر $114 lit/day$ می باشد.

تعیین حداکثر مصرف روزانه فضای سبز:

فضای سبز شامل مصرف فضای سبز خانگی و عمومی می باشد که برای تعیین آن یکی از روش های زیر را به کار می گیریم:

1- اگر فضای اختصاص یافته به هر نفر مشخص نبود، بین 1 تا 10 لیتر در روز برای آن در نظر می گیریم.

2- توصیه آیین نامه بند 1-5-2-3

فضای سبز شهر را با توجه به کوهستانی بودن شهر بسطام $\frac{1}{7}$ فضای کل شهر در نظر می گیریم. با توجه به نقشه مناطق آب و

هوایی در آیین نامه، بسطام در منطقه 7 آب و هوایی (نیمه صحرايي سرد) می باشد و همچنین با توجه به جدول 1-5-2

آیین نامه حداکثر مقدار مصرف روزانه فضای سبز بین 4 تا 10 لیتر بر روز است که این مقدار را برابر 7 لیتر بر روز به ازای هر

متر مربع در نظر می گیریم:

مقدار آب مصرفی در واحد سطح \times مساحت فضای سبز شهر و سطح گسترش = مقدار آب مصرفی فضای سبز

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

$$\text{مقدار آب مصرفی فضای سبز} = \left\{ \frac{1}{7} \times [(285+153) \times 10000] \right\} \times 7 = 4380000 \text{ lit/day}$$

$$\text{مقدار مصرف سرانه فضای سبز به ازای هر نفر} = \frac{V_{wg}}{P_n} = \frac{4380000}{22655} = 193.3 \text{ lit/day}$$

✓ مصرف روزانه فضای سبز به ازای هر نفر برابر 193.3 lit/day می باشد.

تعیین متوسط مصرف سرانه عمومی و همگانی:

مصرف عمومی و همگانی شامل آب مصرفی در هتل ها، مدارس، مساجد و فروشگاه ها است. برای محاسبه این مصرف یکی از روش های زیر را به کار می گیریم:

1- استفاده از جداول، مانند جدول 8-2 کتاب آشفته

2- وقتی که از شهر اطلاعاتی در دست نداریم، می توان از توصیه سازمان برنامه و بودجه استفاده کرد. بنابراین با توجه به توصیه آیین نامه بند 1-5-2-3-4 مقدار حداقل و حداکثر به شرح زیر است:

-مقدار حداقل مصرف همگانی 10 lit/day به ازای هر نفر

-مقدار حداکثر مصرف همگانی 20 lit/day به ازای هر نفر

✓ مصرف همگانی و عمومی به ازای هر نفر برابر 16 lit/day در نظر می گیریم.

تعیین متوسط مصرف سرانه تجاری و صنعتی:

که شامل:

1- مصرف صنایع بزرگ مانند کارخانه ها

2- مصرف صنایع کوچک مانند کارگاه ها

3- مصرف در دامداری ها

می باشد و با توجه به توصیه آیین نامه بند 1-5-2-3-5 مقدار حداقل و حداکثر تا سال 1395 به شرح زیر است:

- مقدار حداقل مصارف صنعتی 10 lit/day به ازای هر نفر

- مقدار حداکثر مصارف صنعتی 45 lit/day به ازای هر نفر

✓ مصرف سرانه تجاری و صنعتی به ازای هر نفر را برابر 25 lit/day در نظر می گیریم.

تلفات آب:

مقدار تلفات آب عبارت است از مقدار آبی که به صورت نشت از محل اتصالات، پیوندی ها و همچنین چکه نمودن شیر آلات به هدر می رود. این مقدار بستگی به کیفیت شبکه، فشار آب، جنس لوله ها، تراکم و روش بهره برداری آن دارد.

طبق بند 1-5-2-3-6 آیین نامه مقدار متوسط تلفات سرانه آب نباید بیش از 20 درصد متوسط مجموع مصارف خانگی، عمومی، تجاری و صنعتی و فضای سبز عمومی منظور گردد.

از آنجایی که شبکه آبرسانی به تازگی طراحی می شود و لوله های نو به کار می رود، لذا میزان تلفات آب بسیار کم بوده و آن را برابر 8٪ در نظر می گیریم.

(مصرف فضای سبز + مصرف صنعتی + مصرف همگانی + مصرف خانگی) × در صد تلفات = میزان تلفات آب

$$\text{میزان تلفات آب} = \frac{8}{100} \times (114 + 16 + 25 + 193.3) = 27.9 \text{ lit/day}$$

✓ تلفات آب به ازای هر نفر برابر 27.9 lit/day می باشد.

تعیین متوسط مصرف سرانه روزانه آب و آب مصرفی شهر:

با توجه به مجموع متوسط مصارف آب و مقدار تلفات آن، متوسط مصرف سرانه به ازای هر نفر به صورت ذیل قابل محاسبه است.

+ مصرف سرانه صنعتی + مصرف سرانه همگانی + مصرف سرانه خانگی = مقدار متوسط مصرف سرانه کل بازای هر نفر
تلفات آب + مصرف سرانه فضای سبز

$$Q_m^d = 114 + 16 + 25 + 193.3 + 27.9 = 376.2 \text{ lit/day cap}$$

متوسط مصرف سرانه کل × جمعیت شهردر پایان دوره طراحی = متوسط مصرف آب شهر بدون آب آتش نشانی

$$V_m = P_n \times Q_m^d = 22655 \times 376.2 \Rightarrow V_m = 8522811 \text{ lit/day}$$

تعیین حداکثر مصرف سرانه روزانه آب و آب مصرفی شهر:

با توجه به منطقه آب و هوایی شهر بسطام در نقشه پیوست آیین نامه و جدول 1-5-3 آیین نامه ضریب C_1 برای منطقه 7 بین 1.3 تا 1.6 می باشد که آن را برابر 1.5 در نظر می گیریم. سپس با داشتن ضریب C_1 و متوسط مصرف سرانه روزانه می توان حداکثر مصرف سرانه روزانه را به صورت ذیل محاسبه کرد:

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

متوسط مصرف سرانه روزانه = حداکثر مصرف سرانه روزانه $\times C_1$

$$Q_{\max}^d = C_1 \times Q_m^d = 1.5 \times 376.2 \Rightarrow Q_{\max}^d = 564.3 \text{ lit/day cap}$$

حداکثر مصرف سرانه روزانه \times جمعیت شهر در پایان دوره طرح = حداکثر مصرف آب شهر بدون آب آتش نشانی

$$V_{\max}^d = P_n \times Q_{\max}^d = 22655 \times 564.3 \Rightarrow V_{\max}^d = 12784216.5 \text{ lit/day}$$

تعیین حداکثر مصرف سرانه ساعتی:

برای محاسبه حداکثر مصرف سرانه ساعتی با توجه به بند 1-5-2-3-10 آیین نامه، باید ضریب حداکثر ساعتی (C_2) را از جدول 1-5-4 آیین نامه، با توجه به جمعیت شهر مورد نظر به دست آورد.

$$P_{n=40} = 22655 \Rightarrow 20000 < 22655 < 100000 \Rightarrow C_2 = 1.60$$

$$Q_{\max}^h = C_2 \times Q_{\max}^d = 1.60 \times \frac{564.3}{24} \Rightarrow Q_{\max}^h = 37.6 \text{ lit/hr cap}$$

حداکثر مصرف سرانه لحظه ای (ثانیه ای) \times جمعیت شهر در پایان دوره طرح = دبی لحظه ای ماکسیمم (دبی طراحی)

$$Q_d = Q_{\max}^s = P_n \times \left(Q_{\max}^h \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ sec}} \right) = 22655 \times \left(37.6 \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ sec}} \right) \Rightarrow Q_d = Q_{\max}^s = 236.6 \text{ lit/sec}$$

مخازن آب:

با توجه به اینکه در قسمت غرب شهر بسطام (کوهستانی)، ارتفاع مناسبی جهت اجرای مخازن وجود دارد در نتیجه می توان از مخازن زمینی بلند استفاده کرد.

نحوه تعیین حجم مفید مخازن آب تصفیه شده زمینی:

حجم مفید مخازن با توجه به بند 2-5-1 آیین نامه، شامل سه قسمت ذیل می شود:

- 1- حجم مورد نیاز برای جبران نوسانات ساعتی.
- 2- حجم مورد نیاز برای تأمین نیازهای آتش نشانی.
- 3- حجم مورد نیاز برای تأمین آب در مواقعی که آب ورودی به مخازن قطع می شود.

محاسبه حجم مفید مخازن در انتهای دوره طرح و تعداد مخازن:

حجم مفید مخازن با توجه به سه قسمت بند فوق الذکر تعیین می شود و در صورت نبودن اطلاعات کافی، در شرایط معمولی این حجم بین 50 تا 75 درصد حداکثر مصرف روزانه پیش بینی شده در پایان دوره طرح توصیه می گردد. (آیین نامه: بند 2-4-5)

برای محاسبه حجم مخازن با توجه به سه قسمت بند فوق رابطه ذیل را داریم:

آب مصرفی مورد نیاز آتش نشانی + حداکثر آب مصرفی روزانه شهر × ضریب آلفا = حجم مخزن

$$V = \alpha V_{\max}^d + V_F$$

برای تعیین در رابطه فوق از جدول 6-1 کتاب منزوی استفاده می شود.

$$P_{n=40} = 22655 > 10000 \Rightarrow \alpha = \%50, V_F = 350m^3$$

$$V = \%50 \times (12784216.5 \times 10^{-3}) + 350 \Rightarrow V = 6742m^3$$

چون حجم محاسبه شده مخزن بزرگ تر از $3000m^3$ می باشد، لذا مخزن باید به صورت چندگانه طراحی گردد تا بتوان در موقع شستشو و یا تعمیر یک مخزن از آب مخزن دیگر برای آبرسانی شهری استفاده نمود. با در نظر گرفتن فضا و ملاحظات اقتصادی از 2 مخزن برای ذخیره آب شهر استفاده می کنیم:

$2 \div$ حجم مخزن محاسبه شده = حجم هر یک از مخازن

$$V' = \frac{V}{n} = \frac{6742}{2} \Rightarrow V' = 3371m^3$$

شکل مخازن و تعیین ابعاد مخازن:

به دلیل اینکه حجم محاسبه شده هر یک از مخازن بزرگ تر از $3000m^3$ می باشد، مخازن باید به شکل مکعب مستطیل طراحی شوند. با توجه به جزوه جناب آقای دکتر قادری ارتفاع مخازن را برای حجم تا 100 برابر 2 الی 3، حجم 100 تا 1000 برابر 3 الی 4، حجم 1000 تا 5000 برابر 4 الی 5 و برای حجم بیش از 5000 برابر 6.5 متر در نظر می گیریم. در نتیجه ارتفاع آب در مخازن را برابر $6.50m$ در نظر می گیریم. در مخازن مکعب مستطیلی برای محاسبه طول و عرض آن از رابطه

$$W = \frac{3}{4}L \quad (L, \text{ طول مخزن و } W, \text{ عرض مخزن) استفاده می کنیم.}$$

حدود 30 سانتی متر سر لوله برداشت آب را بالاتر از کف مخزن در نظر می گیریم.

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

$$\left\{ \begin{array}{l} V' = L \times W \times h \\ W = \frac{3}{4}L \\ h = 6.20m \\ V' = 3371m^3 \end{array} \right. \Rightarrow V' = L \times \frac{3}{4}L \times h \Rightarrow 3371 = L \times \frac{3}{4}L \times 6.20 \Rightarrow \begin{array}{l} L = 26.9 \approx 27m \\ W = 20.2 \approx 20.5m \end{array}$$

- ✓ چند نکته اجرایی که در طراحی مخازن باید در نظر گرفت، عبارتند از:
- کف مخزن باید شیبی برابر 1 تا 2 درصد داشته باشد.
- در بالای مخزن باید دریچه هایی جهت هوادهی تعبیه گردد.
- در انتهای مخزن باید لوله ای جهت دفع مواد لجنی و رسوبات موجود تعبیه گردد.
- لوله برداشت باید 20 تا 30 سانتیمتر بالاتر از کف مخزن قرار گیرد.
- لوله تغذیه باید 20 تا 30 سانتیمتر بالاتر از بالاترین سطح آب در مخزن باشد.
- مخزن باید دارای سرریز باشد، تا آب اضافی تخلیه شود.
- جهت قرائت ارتفاع آب داخل مخزن باید داخل آن اشل نصب گردد.
- نقاط تغذیه و برداشت مخزن باید طوری در نظر گرفته شوند که آب همیشه در مخزن جریان داشته باشد.
- ✓ لذا از مخازنی مکعب مستطیلی با مشخصات ذیل استفاده می شود:

$$\therefore 2 \times [20.5m \times 27m \times 6.5m]$$

شبکه آبرسانی شاخه ای:

یکی از انواع شبکه های آبرسانی شبکه آبرسانی شاخه ای می باشد که یکی از ساده ترین شبکه ها به لحاظ محاسبات است، که این سادگی محاسبات ناشی از یک طرفه بودن جریان آب در لوله ها است. یکی دیگر از مزایای این نوع شبکه این است که دارای لوازم و متعلقات کمی می باشد در نتیجه از نظر اقتصادی هزینه کمتری صرف لوازم و متعلقات می شود. این نوع شبکه دارای معایبی نیز می باشد از جمله اینکه از آنجاییکه جریان در لوله ها یک طرفه است در انتهای خطوط اصلی به علت کم بودن سرعت جریان، آب در آن نقاط تقریباً ساکن می شود و همین امر باعث بو گرفتن آب و همچنین ته نشین شدن مواد معلق در آب می شود و دیگر اینکه هرگاه در نقاط بالا دست این شبکه ها خرابی یا شکستگی در لوله ها به وجود بیاید قسمت های پایین دست شبکه در مدت زمان تعمیر بدون آب هستند.

تعیین دبی مصرفی در واحد طول لوله و دبی مصرفی لوله ها:

برای طراحی شبکه آبرسانی باید با توجه به سطح گسترش شهر و خیابان های اصلی مسیر لوله های اصلی و همچنین دبی مصرفی لوله های را به دست آورد که برای این منظور باید ابتدا دبی واحد طول لوله را به دست آورد. همچنین از آنجاییکه 70

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

درصد جمعیت افزایش یافته در پایان دروه طرح در سطح گسترش جاده می شوند باید برای آن قسمت ها نیز لوله (خیابان) مورد نیاز را مشخص کرد که در این پروژ لوله شماره های 75 تا 89 برای سطح گسترش شهر در نظر گرفته شده است. پس از تعیین دبی مصرفی در واحد طول لوله دبی مصرفی هر لوله از حاصل ضرب طول لوله در دبی واحد طول حاصل می شود.

طول کل لوله ها ÷ دبی لحظه ای ماکسیمم = دبی مصرفی در واحد طول لوله

جدول 1-2- طول لوله ها در شبکه آبرسانی شاخه ای

شماره لوله	طول (m)	شماره لوله	طول (m)	شماره لوله	طول (m)
1	160	31	123	61	127
2	160	32	118	62	196
3	109	33	229	63	140
4	345	34	145	64	287
5	140	35	140	65	94
6	230	36	118	66	240
7	60	37	203	67	140
8	330	38	220	68	167
9	314	39	174	69	405
10	160	40	114	70	183
11	124	41	211	71	280
12	160	42	180	72	56
13	124	43	196	73	205
14	124	44	360	74	158
15	134	45	356	75	323
16	278	46	118	76	305
17	145	47	400	77	260
18	174	48	143	78	267
19	60	49	74	79	242
20	282	50	211	80	269
21	180	51	98	81	269
22	394	52	156	82	442
23	376	53	205	83	269
24	311	54	198	84	342
25	94	55	169	85	538
26	127	56	207	86	294
27	194	57	269	87	387
28	78	58	505	88	200
29	118	59	385	89	262
30	47	60	325	طول کل لوله ها	19229

نمونه محاسبه :

$$q_L = \frac{Q_{max}^s}{\sum L_i} = \frac{236.6}{19229} \Rightarrow q_L = 0.0123 \text{ lit/sec.m}$$

$$Q_1 = q_L \times L_1 = 0.0123 \times 160 \Rightarrow Q_1 = 1.968 \text{ lit/sec}$$

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

جدول 1-3- دبی مصرفی لوله ها در شبکه آبرسانی شاخه ای

شماره لوله	دبی مصرفی (lit/sec)	شماره لوله	دبی مصرفی (lit/sec)	شماره لوله	دبی مصرفی (lit/sec)
1	1.968	31	1.513	61	1.562
2	1.968	32	1.451	62	2.411
3	1.341	33	2.817	63	1.722
4	4.244	34	1.784	64	3.530
5	1.722	35	1.722	65	1.156
6	2.829	36	1.451	66	2.952
7	0.738	37	2.497	67	1.722
8	4.059	38	2.706	68	2.054
9	3.862	39	2.140	69	4.982
10	1.968	40	1.402	70	2.251
11	1.525	41	2.595	71	3.444
12	1.968	42	2.214	72	0.689
13	1.525	43	2.411	73	2.522
14	1.525	44	4.428	74	1.943
15	1.648	45	4.379	75	3.973
16	3.419	46	1.451	76	3.752
17	1.784	47	4.920	77	3.198
18	2.140	48	1.759	78	3.284
19	0.738	49	0.910	79	2.977
20	3.469	50	2.595	80	3.309
21	2.214	51	1.205	81	3.309
22	4.846	52	1.919	82	5.437
23	4.625	53	2.522	83	3.309
24	3.825	54	2.435	84	4.207
25	1.156	55	2.079	85	6.617
26	1.562	56	2.546	86	3.616
27	2.386	57	3.309	87	4.760
28	0.959	58	6.212	88	2.460
29	1.451	59	4.736	89	3.223
30	0.578	60	3.998		

تعیین دبی تجمعی لوله ها:

دبی تجمعی هر یک از لوله ها با توجه به رابطه ذیل تعیین می شود:

نصف دبی مصرفی لوله + مجموع دبی مصرفی لوله های پایین دست = دبی تجمعی لوله

نمونه محاسبه:

$$Q'_{28} = (Q_{29} + Q_{30} + Q_{31} + Q_{32}) + \frac{1}{2}Q_{28}$$

$$Q'_{28} = (1.45 + 0.59 + 1.51 + 1.45) + \frac{1}{2} \times 0.96$$

$$Q'_{28} = 5.47 \text{ lit/sec} = 0.0055 \text{ m}^3/\text{sec}$$

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

جدول 1-4- دبی تجمعی لوله ها در شبکه آبرسانی شاخه ای

شماره لوله	دبی تجمعی (m ³ /sec)	شماره لوله	دبی تجمعی (m ³ /sec)	شماره لوله	دبی تجمعی (m ³ /sec)
1	0.2355	31	0.0007	61	0.0008
2	0.2011	32	0.0007	62	0.0076
3	0.145	33	0.0416	63	0.0009
4	0.0021	34	0.0009	64	0.0029
5	0.0493	35	0.0375	65	0.0006
6	0.0014	36	0.0032	66	0.0191
7	0.0453	37	0.0013	67	0.0009
8	0.0021	38	0.0314	68	0.0149
9	0.0389	39	0.0011	69	0.0025
10	0.001	40	0.0055	70	0.0011
11	0.0343	41	0.0013	71	0.0165
12	0.001	42	0.0011	72	0.0004
13	0.0242	43	0.0205	73	0.0013
14	0.0058	44	0.0127	74	0.001
15	0.00083	45	0.0022	75	0.0122
16	0.0017	46	0.0533	76	0.0019
17	0.0095	47	0.03	77	0.0016
18	0.0011	48	0.0009	78	0.0017
19	0.0061	49	0.0087	79	0.0081
20	0.0017	50	0.0025	80	0.0017
21	0.0011	51	0.0006	81	0.0017
22	0.0107	52	0.001	82	0.0102
23	0.0023	53	0.0013	83	0.0017
24	0.884	54	0.0154	84	0.0021
25	0.0535	55	0.0011	85	0.0033
26	0.0091	56	0.0108	86	0.0018
27	0.0012	57	0.0017	87	0.0024
28	0.0055	58	0.0031	88	0.0012
29	0.0007	59	0.0167	89	0.0016
30	0.0033	60	0.0036		

تعیین طول مسیر بحرانی و حداکثر شیب خط انرژی:

مسیر بحرانی:

- در مناطق و شهر های نسبتاً هموار در محل دورترین مشترک یا طولانی ترین مسیر می باشد.
 - در مناطق با پستی و بلندی قابل توجه در محلی است که فشار کم تر از نقاط دیگر است.
- از آنجاییکه شهر نسبتاً هموار فرض شده است در نتیجه مسیر بحرانی شامل طولانی ترین مسیر است.

$$L_c = L_1 + L_2 + L_3 + L_{25} + L_{33} + L_{35} + L_{38} + L_{43} + L_{44} + L_{87}$$

$$= 160 + 160 + 109 + 94 + 229 + 140 + 220 + 196 + 360 + 387 = 2055m$$

طول مسیر بحرانی

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

برای جبران افت فشار ناشی از شیرها و متعلقات و ... در مسیر بحرانی از افت معادل استفاده می کنیم. برای این پروژه افت معادل را 10 درصد در نظر گرفته شده است:

درصد افت معادل \times طول مسیر بحرانی = طول معادل

$$L = 2055 \times 1.1 = 2260.5m$$

حداکثر شیب خط انرژی از رابطه ذیل محاسبه می شود:

$$S_c = \frac{Z_{hw} - H_{\min}}{L}$$

ارتفاع پایین ترین سطح آب در مخزن : Z_{hw}

حداقل فشار مجاز در شبکه : H_{\min}

ارتفاع پایین ترین سطح آب در مخزن را برابر 25 متر در نظر می گیریم.

حداقل فشار لازم برای آخرین مشترک را طبق صفحه 316 کتاب منزوی برابر 15 متر در نظر می گیریم.

$$S_c = \frac{25 - 15}{2260.5} \Rightarrow S_c = 0.0044$$

تعیین قطر بهینه و قطر تجاری لوله ها:

قطر بهینه لوله ها با استفاده از رابطه دارسی - وایسباخ محاسبه می شود. مقدار ضریب اصطکاک (f) طبق شرایط بهینه اقتصادی برابر 0.02 فرض می شود.

نمونه محاسبات:
حساب متر آب
حداکثر شیب خط انرژی \times طول لوله = افت فشار لوله بر

$$(h_L)_{28} = L_{28} \times S_c = 78 \times 0.0044 \Rightarrow (h_L)_1 = 0.3432 mH_2O$$

$$D_i = \sqrt[5]{\frac{8fL_i Q_i^2}{g\pi^2 \times (h_L)_i}} \quad \text{رابطه دارسی - وایسباخ}$$

D_i : قطر بهینه بر حسب متر

L_i : طول لوله بر حسب متر

Q_i : دبی تجمعی لوله بر حسب متر مکعب بر ثانیه

$(h_L)_i$: افت فشار لوله بر حسب متر آب

شتاب ثقل زمین که برابر 9/81 متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته می شود : g

$$D_1 = \sqrt[5]{\frac{8 \times 0.02 \times 160 \times (0.0055)^2}{9.81 \times \pi^2 \times 0.3432}} \Rightarrow D_1 = 0.102m$$

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

با توجه به قطر بهینه یا قطر محاسبه شده در مرحله قبل و همچنین قطر های موجود در بازار قطر تجاری لوله ها را انتخاب می کنیم.

$$D_1 = 0.102m = 102mm \rightarrow D_1 = 100mm \text{ قطر تجاری لوله شماره 1}$$

محاسبه سرعت و افت فشار در لوله:

در این مرحله با توجه به مشخص بودن قطر لوله ها می توان با توجه به روابط زیر سرعت و افت فشار در لوله ها را محاسبه کرد:

$$\begin{cases} Q_i = A_i V_i \\ A_i = \frac{\pi D_i^2}{4} \end{cases} \Rightarrow V_i = \frac{4Q_i}{\pi D_i^2} \Rightarrow V_1 = \frac{4 \times 0.0055}{\pi \times (0.100)^2} \Rightarrow V_1 = 0.7 \text{ m/s}$$

$$(h_L)_i = \frac{8fL_i Q_i^2}{g \pi^2 D_i^5} \Rightarrow (h_L)_1 = \frac{8 \times 0.02 \times (78 \times 1.1) \times (0.0055)^2}{9.81 \times \pi^2 \times (0.100)^5} \Rightarrow (h_L)_1 = 0.4289 \text{ mH}_2\text{O}$$

محدودیت های سرعت:

- سرعت ماکسیمم (V_{\max}):

✓ سرعت در لوله های شبکه شهری نباید از حدودی بیشتر شود، زیرا زیاد شدن سرعت سبب افزایش فشار و در نتیجه ایجاد فشار در شبکه می گردد، همچنین امکان شکسته شدن لوله ها به ویژه اتصالات زیاد می گردد.

✓ ماکسیمم سرعت آب در لوله های با قطر کوچکتر از 500 میلیمتر در حالت معمولی 2 متر بر ثانیه و در حالت موقتی آتش نشانی 2.5 متر بر ثانیه و در لوله هایی با قطر برابر یا بزرگتر از 500 میلیمتر حداکثر 1.5 متر بر ثانیه می باشد.

- سرعت مینیمم (V_{\min}):

✓ حداقل سرعت آب در شبکه شهری 0.3 متر بر ثانیه می باشد. چون اگر سرعت کمتر از این مقدار گردد موجب رسوب گذاری در لوله می شود و گاز های محلول در آن فرصت پیدا می کنند تا در نقاط بلند و مرتفع شبکه به صورت حباب هایی ظاهر شوند و جریان آب را مختل کنند.

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

جدول 1-5- محاسبات شبکه آبرسانی شاخه ای

شماره لوله	طول (m)	دبی مصرفی (lit/sec)	دبی تجمعی (m ³ /sec)	قطر (m)	قطر تجاری (m)	افت فشار (mH ₂ O)	سرعت (m/sec)
1	160	1.968	0.2355	0.461	0.5	0.516	1.2
2	160	1.968	0.2011	0.433	0.45	0.637	1.3
3	109	1.341	0.145	0.380	0.4	0.407	1.2
4	345	4.244	0.0021	0.070	0.08	0.844	0.4
5	140	1.722	0.0493	0.247	0.25	0.633	1.0
6	230	2.829	0.0014	0.059	0.08	0.250	0.3
7	60	0.738	0.0453	0.238	0.25	0.229	0.9
8	330	4.059	0.0021	0.070	0.08	0.807	0.4
9	314	3.862	0.0389	0.224	0.25	0.884	0.8
10	160	1.968	0.001	0.052	0.08	0.089	0.2
11	124	1.525	0.0343	0.213	0.25	0.272	0.7
12	160	1.968	0.001	0.052	0.08	0.089	0.2
13	124	1.525	0.0242	0.186	0.2	0.413	0.8
14	124	1.525	0.0058	0.105	0.1	0.758	0.7
15	134	1.648	0.00083	0.048	0.08	0.051	0.2
16	278	3.419	0.0017	0.064	0.08	0.446	0.3
17	145	1.784	0.0095	0.128	0.15	0.313	0.5
18	174	2.140	0.0011	0.054	0.08	0.117	0.2
19	60	0.738	0.0061	0.107	0.15	0.053	0.3
20	282	3.469	0.0017	0.064	0.08	0.452	0.3
21	180	2.214	0.0011	0.054	0.08	0.121	0.2
22	394	4.846	0.0107	0.134	0.15	1.080	0.6
23	376	4.625	0.0023	0.072	0.08	1.103	0.5
24	311	3.825	0.0884	0.312	0.35	0.841	0.9
25	94	1.156	0.0535	0.255	0.25	0.501	1.1
26	127	1.562	0.0091	0.125	0.15	0.252	0.5
27	194	2.386	0.0012	0.056	0.08	0.155	0.2
28	78	0.959	0.0055	0.103	0.1	0.429	0.7
29	118	1.451	0.0007	0.045	0.08	0.032	0.1
30	47	0.578	0.0033	0.084	0.1	0.093	0.4
31	123	1.513	0.0007	0.045	0.08	0.033	0.1
32	118	1.451	0.0007	0.045	0.08	0.032	0.1
33	229	2.817	0.0416	0.230	0.25	0.738	0.8
34	145	1.784	0.0009	0.050	0.08	0.065	0.2
35	140	1.722	0.0375	0.221	0.25	0.366	0.8
36	118	1.451	0.0032	0.083	0.1	0.220	0.4
37	203	2.497	0.0013	0.058	0.08	0.190	0.3
38	220	2.706	0.0314	0.206	0.2	1.232	1.0
39	174	2.140	0.0011	0.054	0.08	0.117	0.2
40	114	1.402	0.0055	0.103	0.1	0.627	0.7
41	211	2.595	0.0013	0.058	0.08	0.198	0.3
42	180	2.214	0.0011	0.054	0.08	0.121	0.2
43	196	2.411	0.0205	0.174	0.2	0.468	0.7
44	360	4.428	0.0127	0.143	0.15	1.390	0.7
45	356	4.379	0.0022	0.071	0.08	0.956	0.4

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

شماره لوله	طول (m)	دبی مصرفی (lit/sec)	دبی تجمعی (m ³ /sec)	قطر (m)	قطر تجاری (m)	افت فشار (mH ₂ O)	سرعت (m/sec)
46	118	1.451	0.0533	0.254	0.25	0.624	1.1
47	400	4.920	0.03	0.202	0.2	2.045	1.0
48	143	1.759	0.0009	0.050	0.08	0.064	0.2
49	74	0.910	0.0087	0.123	0.15	0.134	0.5
50	211	2.595	0.0025	0.075	0.08	0.732	0.5
51	98	1.205	0.0006	0.042	0.08	0.020	0.1
52	156	1.919	0.001	0.052	0.08	0.087	0.2
53	205	2.522	0.0013	0.058	0.08	0.192	0.3
54	198	2.435	0.0154	0.155	0.15	1.124	0.9
55	169	2.079	0.0011	0.054	0.08	0.113	0.2
56	207	2.546	0.0108	0.134	0.15	0.578	0.6
57	269	3.309	0.0017	0.064	0.08	0.431	0.3
58	505	6.212	0.0031	0.082	0.1	0.882	0.4
59	385	4.736	0.0167	0.160	0.2	0.610	0.5
60	325	3.998	0.0036	0.087	0.1	0.766	0.5
61	127	1.562	0.0008	0.047	0.08	0.045	0.2
62	196	2.411	0.0076	0.117	0.15	0.271	0.4
63	140	1.722	0.0009	0.050	0.08	0.063	0.2
64	287	3.530	0.0029	0.079	0.08	1.339	0.6
65	94	1.156	0.0006	0.042	0.08	0.019	0.1
66	240	2.952	0.0191	0.169	0.2	0.497	0.6
67	140	1.722	0.0009	0.050	0.08	0.063	0.2
68	167	2.054	0.0149	0.153	0.15	0.888	0.8
69	405	4.982	0.0025	0.075	0.08	1.404	0.5
70	183	2.251	0.0011	0.054	0.08	0.123	0.2
71	280	3.444	0.0165	0.159	0.2	0.433	0.5
72	56	0.689	0.0004	0.036	0.08	0.005	0.1
73	205	2.522	0.0013	0.058	0.08	0.192	0.3
74	158	1.943	0.001	0.052	0.08	0.088	0.2
75	323	3.973	0.0122	0.141	0.15	1.151	0.7
76	305	3.752	0.0019	0.067	0.08	0.611	0.4
77	260	3.198	0.0016	0.063	0.08	0.369	0.3
78	267	3.284	0.0017	0.064	0.08	0.428	0.3
79	242	2.977	0.0081	0.120	0.15	0.380	0.5
80	269	3.309	0.0017	0.064	0.08	0.431	0.3
81	269	3.309	0.0017	0.064	0.08	0.431	0.3
82	442	5.437	0.0102	0.131	0.15	1.101	0.6
83	269	3.309	0.0017	0.064	0.08	0.431	0.3
84	342	4.207	0.0021	0.070	0.08	0.837	0.4
85	538	6.617	0.0033	0.084	0.1	1.065	0.4
86	294	3.616	0.0018	0.066	0.08	0.528	0.4
87	387	4.760	0.0024	0.074	0.08	1.237	0.5
88	200	2.460	0.0012	0.056	0.08	0.160	0.2
89	262	3.223	0.0016	0.063	0.08	0.372	0.3

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

تعیین فشار در گره ها:

فشار در هر گره از رابطه ذیل محاسبه می شود:

$$\text{فشار در هر گره} = H_{hw} - \sum h_L$$

فاصله پایین ترین سطح آب در مخزن : H_{hw} ، مجموع افت فشار های لوله های بالا دست : $\sum h_L$

ارتفاع پایین ترین سطح آب در مخزن را برابر 25 متر در نظر می گیریم.

$$P_{77} = H_{hw} - (h_{L1} + h_{L75} + h_{L77}) = 25 - (0.516 + 1.151 + 0.369) \Rightarrow P_{77} = 22.964 \text{ mH}_2\text{O}$$

نمونه محاسبه:

جدول 1-6- فشار در گره ها در شبکه آبرسانی شاخه ای

شماره گره	فشار گره (mH ₂ O)	شماره گره	فشار گره (mH ₂ O)	شماره گره	فشار گره (mH ₂ O)
1	24.484	31	22.132	61	20.554
2	23.847	32	22.133	62	21.094
3	23.440	33	22.201	63	21.031
4	23.003	34	22.136	64	19.755
5	23.214	35	21.835	65	19.736
6	22.964	36	21.615	66	21.478
7	22.985	37	21.425	67	21.415
8	22.178	38	20.603	68	20.590
9	22.101	39	20.486	69	19.186
10	22.012	40	19.976	70	20.467
11	21.829	41	19.778	71	24.051
12	21.740	42	19.855	72	24.046
13	21.416	43	20.135	73	23.854
14	21.071	44	18.745	74	23.958
15	21.020	45	19.179	75	23.333
16	20.625	46	21.975	76	22.722
17	21.103	47	20.554	77	22.964
18	20.986	48	20.490	78	22.905
19	21.050	49	20.420	79	23.671
20	20.598	50	19.688	80	23.240
21	20.929	51	19.668	81	23.240
22	20.336	52	20.333	82	20.874
23	19.233	53	20.228	83	20.443
24	22.599	54	19.430	84	20.037
25	22.939	55	19.317	85	19.525
26	22.687	56	18.852	86	19.808
27	22.532	57	18.421	87	17.508
28	22.258	58	17.970	88	18.585
29	22.226	59	21.365	89	18.373
30	22.165	60	20.599		

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

شبکه آبرسانی حلقوی:

ابتدا با توجه به موقعیت خیابان های اصلی 10 حلقه ایجاد می کنیم و سپس با روش تعیین دبی واحد طول لوله دبی تقریبی برای لوله ها تعیین کرده و دبی گره ها با توجه به نصف لوله های متصل به آن گره و دبی واحد طول لوله به دست می آید.

جدول 1-7- طول لوله ها (خیابان ها) در شبکه آبرسانی حلقوی

شماره لوله	طول (m)	شماره لوله	طول (m)	شماره لوله	طول (m)
1	107	13	429	25	445
2	462	14	407	26	587
3	411	15	698	27	487
4	622	16	269	28	140
5	394	17	269	29	296
6	411	18	311	30	445
7	411	19	365	31	229
8	394	20	358		
9	238	21	407		
10	356	22	274		
11	545	23	285		
12	380	24	367	طول کل لوله ها	11699

طول کل لوله ها ÷ دبی لحظه ای ماکسیمم = دبی مصرفی در واحد طول لوله

$$q_L = \frac{Q_{max}^s}{\sum L_i} = \frac{236.6}{11699} \Rightarrow q_L = 0.02022 \text{ lit/sec.m}$$

طول لوله × دبی مصرفی در واحد طول لوله = دبی مصرفی لوله

$$Q_{12} = q_L \times L_{12} = 0.02022 \times 380 \Rightarrow Q_{12} = 7.685 \text{ lit/sec}$$

جدول 1-8- دبی مصرفی لوله ها در شبکه آبرسانی حلقوی

شماره لوله	دبی مصرفی (lit/sec)	شماره لوله	دبی مصرفی (lit/sec)	شماره لوله	دبی مصرفی (lit/sec)
1	2.164	13	8.676	25	9.000
2	9.343	14	8.231	26	11.871
3	8.312	15	14.116	27	9.849
4	12.579	16	5.440	28	2.831
5	7.968	17	5.440	29	5.986
6	8.312	18	6.290	30	9.000
7	8.312	19	5.359	31	4.631
8	7.968	20	7.240		
9	4.813	21	8.231		
10	7.200	22	5.541		
11	11.022	23	5.764		
12	7.685	24	7.422	دبی مصرفی کل	236.600

مجموع نصف دبی مصرفی هر یک از لوله های متصل به گره = دبی مصرفی گره

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

$$Q_{12} = \frac{1}{2}(Q_{14} + Q_{15} + Q_{23}) = \frac{1}{2}(8.231 + 14.116 + 5.746) \Rightarrow Q_{12} = 14.06 \text{ lit/sec}$$

جدول 1-9- دبی مصرفی گره ها در شبکه آبرسانی حلقوی

شماره لوله	دبی مصرفی گره (lit/sec)	شماره لوله	دبی مصرفی گره (lit/sec)	شماره لوله	دبی مصرفی گره (lit/sec)
1	7.42	11	16.80	21	7.49
2	10.02	12	14.06	22	6.82
3	14.43	13	9.78		
4	18.49	14	6.89		
5	10.09	15	10.42		
6	10.91	16	5.82		
7	15.92	17	5.86		
8	9.11	18	6.59		
9	8.73	19	14.15		
10	12.95	20	13.85	دبی مصرفی کل گره	236.600

✓ تذکر این که قطر اولیه لوله ها را می توان با استفاده از جدول دبی تقریبی لوله ها و از رابطه ذیل و با توجه به سرعت بهینه یا اقتصادی که حدود 1.2 متر بر ثانیه می باشد.

جدول 1-10- دبی تقریبی لوله ها در شبکه آبرسانی حلقوی

شماره لوله	دبی تقریبی لوله (lit/sec)	شماره لوله	دبی تقریبی لوله (lit/sec)	شماره لوله	دبی تقریبی لوله (lit/sec)
1	105	13	46.94	25	7.75
2	47.97	14	17.34	26	40
3	5.92	15	14.79	27	46.5
4	46	16	5.01	28	77.68
5	25.65	17	9.19	29	7.35
6	4.06	18	3.33	30	14.84
7	24.39	19	2.49	31	21.66
8	3.41	20	9.12		
9	14.89	21	3.79		
10	18.61	22	10.68		
11	11.01	23	11.51		
12	20.55	24	18.1	دبی مصرفی کل	236.600

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = AV \Rightarrow A \\ A = \frac{\pi D^2}{4} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q}{V} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \Rightarrow D_{12} = \sqrt{\frac{4 \times 7.685 \times 10^{-3}}{\pi \times 1.2}} \Rightarrow D_{12} = 0.148m$$

قطر به دست آمده برای لوله را به قطر تجاری موجود در بازار تبدیل می کنیم:

$$D_{12} = 0.15m \rightarrow D_{12} = 150mm$$

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

لازم به ذکر است که با توجه به آبرسانی شهری منزوی کمترین قطر قابل قبول برای لوله ها 80 میلی متر بوده و برای مقدار محاسبه شده حداقل 80 در نظر می گیریم.

جدول 1-11 - قطر تجاری لوله ها در شبکه آبرسانی حلقوی

شماره لوله	قطر تجاری (mm)	شماره لوله	قطر تجاری (mm)	شماره لوله	قطر تجاری (mm)
1	0.35	13	0.25	25	0.1
2	0.25	14	0.15	26	0.2
3	0.08	15	0.15	27	0.25
4	0.25	16	0.08	28	0.3
5	0.2	17	0.1	29	0.1
6	0.08	18	0.08	30	0.15
7	0.2	19	0.08	31	0.15
8	0.08	20	0.1	32	0.5
9	0.15	21	0.08		
10	0.15	22	0.1		
11	0.1	23	0.15		
12	0.15	24	0.15		

از روش هاردی کراس استفاده کرده و مقادیر α_i را از رابطه ذیل به دست آورد.

$$\alpha_i = \frac{8fL_i}{g\pi^2 D^5} \Rightarrow \alpha_{12} = \frac{8 \times 0.02 \times 380 \times 1.1}{9.81 \times \pi^2 \times (0.150)^5} \Rightarrow \alpha_{12} = 9096.44$$

که در آن L_i طول معادل می باشد. سپس با در اختیار داشتن مقادیر α_i برای تمامی لوله های یک حلقه مقادیر h_i و h'_i را از روابط ذیل به دست می آوریم :

$$h_i = \alpha_i Q_i^2 \Rightarrow h_{12} = 9096.44 \times (20.55 \times 10^{-3})^2 \Rightarrow h_{12} = 3.841$$

$$h'_i = 2\alpha_i Q_i \Rightarrow h'_{12} = 2 \times 9096.4 \times (20.55 \times 10^{-3}) \Rightarrow h'_{12} = 373.862$$

با استفاده از مقادیر h_i و h'_i و رابطه روبرو مقدار ΔQ (خطای محاسباتی) را به دست می آوریم:

$$\Delta Q_i = - \frac{\sum h_i}{\sum h'_i}$$

حال این مقدار خطای ΔQ_i را به Q_i اولیه فرضی اضافه می کنیم:

$$Q_{i+1} = Q_i + \Delta Q$$

پس از اتمام عملیات یک حلقه سراغ حلقه بعدی رفته، عملیات فوق را بروی حلقه بعدی انجام می دهیم و در نظر داریم که آخرین دبی های جدید حلقه های قبل که مشترک با حلقه جدید هستند، در حلقه مورد محاسبه قرار می دهیم.

محاسبات فوق تا زمانی ادامه خواهد داشت که مقدار ΔQ_i بسیار کوچک شود و قابل چشم پوشی شود.

✓ توجه شود که علامت Q_i وابسته به جهت های فرضی است.

در پروژه حاضر عملیات فوق را تا 9 سیکل با برنامه Excel انجام داده و تنها دو سیکل آخر را در جداول ذیل می آوریم.

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

جدول 1-12- محاسبه ی شبکه حلقه ای با روش هاردی کراس (سیکل 8)

شماره حلقه	نام لوله	قطر لوله (mm)	طول لوله (m)	α_i	Q_i	$h_i = \alpha_i Q_i^2$	$h_i = 2\alpha_i Q_i$	Q_{i+1}
I	1	350	107	37.033	-123.316	-0.56315	9.13	-123.300
	2	250	462	859.975	-53.292	-2.44236	91.66	-53.276
	3	80	411	228000.394	1.756	0.70305	800.74	1.772
	4	250	622	1157.801	40.172	1.86843	93.02	40.188
	28	300	140	104.729	63.177	0.41801	13.23	63.193
						-0.01603	1007.79	
						0.00002	0.02	
II	3	80	411	228000.394	-1.772	-0.71592	808.03	-1.755
	5	200	394	2238.154	23.985	1.28752	107.36	24.001
	6	80	411	228000.394	2.482	1.40456	1131.79	2.499
	7	200	411	2334.724	-29.362	-2.01283	137.10	-29.345
						-0.03667	2184.29	
						0.00002	0.02	
III	7	200	411	2334.724	29.345	2.01050	137.02	29.357
	8	80	394	218569.720	5.361	6.28176	2343.50	5.373
	9	150	234	5601.486	-11.583	-0.75147	129.76	-11.570
	10	150	356	8521.919	-17.004	-2.46399	289.81	-16.992
	11	100	545	99069.555	-7.196	-5.13006	1425.81	-7.184
						-0.05327	4325.91	
						0.00001	0.01	
IV	2	250	462	859.975	53.276	2.44089	91.63	53.285
	11	100	545	99069.555	7.184	5.11297	1423.43	7.193
	12	150	380	9096.431	-22.740	-4.70383	413.71	-22.731
	13	250	429	798.548	-59.934	-2.86845	95.72	-59.925
						-0.01843	2024.49	
						0.00001	0.01	
V	10	150	356	8521.919	16.992	2.46052	289.61	16.995
	12	150	380	9096.431	22.731	4.70011	413.54	22.734
	14	150	407	9742.756	-16.477	-2.64508	321.06	-16.474
	15	150	698	16708.707	-13.107	-2.87045	438.00	-13.104
	16	80	269	149226.535	-3.327	-1.65179	992.96	-3.324
						-0.00669	2455.17	
						0.00000	0.00	
VI	6	80	411	228000.394	-2.499	-1.42386	1139.55	-2.493
	20	100	358	65076.882	-10.584	-7.28998	1377.55	-10.578
	21	80	407	225781.412	3.702	3.09407	1671.63	3.708
	22	100	274	49807.446	10.592	5.58778	1055.11	10.598
						-0.03199	5243.83	
						0.00001	0.01	
VII	8	80	394	218569.720	-5.373	-6.30992	2348.75	-5.368
	17	100	269	48898.551	-7.944	-3.08558	776.87	-7.938
	18	80	311	172525.845	-2.084	-0.74904	718.97	-2.078
	19	80	365	202482.101	3.736	2.82671	1513.09	3.742
	20	100	358	65076.882	10.578	7.28172	1376.77	10.583
						-0.03611	6734.44	
						0.00001	0.01	

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

شماره حلقه	نام لوله	قطر لوله (mm)	طول لوله (m)	α_i	Q_i	$h_i=\alpha_i Q_i^2$	$h_i=2\alpha_i Q_i$	Q_{i+1}
VIII	14	150	407	9742.756	16.474	2.64411	321.00	16.474
	23	150	285	6822.323	-10.656	-0.77474	145.40	-10.657
	24	150	367	8785.237	-17.246	-2.61308	303.03	-17.247
	25	100	445	80891.655	3.033	0.74413	490.69	3.033
						0.00041	1260.13	
						0.00000	0.00	
IX	1	350	107	37.033	123.300	0.56301	9.13	123.301
	13	250	429	798.548	59.925	2.86759	95.71	59.926
	25	100	445	80891.655	3.033	0.74437	490.77	3.035
	26	200	587	3334.509	-27.513	-2.52416	183.49	-27.512
	27	250	487	906.510	-42.688	-1.65186	77.39	-42.686
						0.00000	0.00	
X	27	250	487	906.510	42.686	1.65175	77.39	42.687
	28	300	140	104.729	-63.193	-0.41822	13.24	-63.192
	29	100	296	53806.584	1.327	0.09473	142.79	1.328
	30	150	445	10652.399	-6.163	-0.40463	131.30	-6.162
	31	150	229	5481.796	-12.983	-0.92402	142.34	-12.982
						-0.00039	507.06	
						0.00000	0.00	

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

جدول 1-13- محاسبه ی شبکه حلقه ای با روش هاردی کراس (سیکل 9)

شماره حلقه	نام لوله	قطر لوله (mm)	طول لوله (m)	α_i	Q_i	$h_i = \alpha_i Q_i^2$	$h_i = 2\alpha_i Q_i$	Q_{i+1}
I	1	350	107	37.033	-123.301	-0.56302	9.13	-123.303
	2	250	462	859.975	-53.285	-2.44172	91.65	-53.287
	3	80	411	228000.394	1.775	0.71834	809.40	1.773
	4	250	622	1157.801	40.188	1.86991	93.06	40.185
	28	300	140	104.729	63.192	0.41821	13.24	63.190
						0.00172	1016.48	
						0.00000	0.00	
II	3	80	411	228000.394	-1.773	-0.71673	808.49	-1.744
	5	200	394	2238.154	24.001	1.28932	107.44	24.011
	6	80	411	228000.394	2.493	1.41703	1136.81	2.499
	7	200	411	2334.724	-29.357	-2.01214	137.08	-29.354
						-0.02252	2189.82	
						0.00001	0.01	
III	7	200	411	2334.724	29.347	2.01077	137.03	29.353
	8	80	394	218569.720	5.368	6.29818	2346.56	5.374
	9	150	234	5601.486	-11.570	-0.74988	129.62	-11.565
	10	150	356	8521.919	-16.995	-2.46139	289.66	-16.989
	11	100	545	99069.555	-7.193	-5.12578	1425.21	-7.187
						-0.02810	4328.09	
						0.00001	0.01	
IV	2	250	462	859.975	53.287	2.44190	91.65	53.292
	11	100	545	99069.555	7.187	5.11724	1424.03	7.192
	12	150	380	9096.431	-22.734	-4.70135	413.60	-22.729
	13	250	429	798.548	-59.926	-2.86769	95.71	-59.921
						-0.00990	2024.98	
						0.00000	0.00	
V	10	150	356	8521.919	16.989	2.45965	289.56	16.972
	12	150	380	9096.431	22.729	4.69928	413.51	22.730
	14	150	407	9742.756	-16.474	-2.64411	321.00	-16.473
	15	150	698	16708.707	-13.104	-2.86926	437.91	-13.103
	16	80	269	149226.535	-3.324	-1.64909	992.14	-3.323
						-0.00353	2454.12	
						0.00000	0.00	
VI	6	80	411	228000.394	-2.503	-1.42842	1141.37	-2.499
	20	100	358	65076.882	-10.583	-7.28860	1377.42	-10.579
	21	80	407	225781.412	3.708	3.10428	1674.38	3.712
	22	100	274	49807.446	10.598	5.59422	1055.72	10.602
						-0.01853	5248.88	
						0.00000	0.00	
VII	8	80	394	218569.720	-5.374	-6.31227	2349.19	-5.348
	17	100	269	48898.551	-7.938	-3.08141	776.34	-7.935
	18	80	311	172525.845	-2.078	-0.74519	717.12	-2.075
	19	80	365	202482.101	3.742	2.83483	1515.26	3.745
	20	100	358	65076.882	10.579	7.28309	1376.90	10.453
						-0.02095	6734.80	
						0.00000	0.00	

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

شماره حلقه	نام لوله	قطر لوله (mm)	طول لوله (m)	α_i	Q_i	$h_i=\alpha_i Q_i^2$	$h_i=2\alpha_i Q_i$	Q_{i+1}
VIII	14	150	407	9742.756	16.473	2.64379	320.98	16.505
	23	150	285	6822.323	-10.657	-0.77479	145.41	-10.658
	24	150	367	8785.237	-17.247	-2.61318	303.03	-17.248
	25	100	445	80891.655	3.035	0.74511	491.01	3.887
						0.00093	1260.44	
						0.00000	0.00	
IX	1	350	107	37.033	123.303	0.56303	9.13	123.304
	13	250	429	798.548	59.921	2.86721	95.70	59.922
	25	100	445	80891.655	3.034	0.74462	490.85	3.035
	26	200	587	3334.509	-27.512	-2.52393	183.48	-27.511
	27	250	487	906.510	-42.687	-1.65182	77.39	-42.686
						-0.00089	856.55	
						0.00000	0.00	
X	27	250	487	906.510	42.686	1.65175	77.39	42.689
	28	300	140	104.729	-63.190	-0.41818	13.24	-63.188
	29	100	296	53806.584	1.328	0.09484	142.87	1.328
	30	150	445	10652.399	-6.162	-0.40452	131.29	-6.162
	31	150	229	5481.796	-12.982	-0.92391	142.33	-12.982
						-0.00003	507.12	
						0.00000	0.00	

آخرین دبی ثبت شده برای هر لوله را به عنوان دبی نهایی لوله در نظر می گیریم.

جدول 1-14- دبی های نهایی بدست آمده از روش هاردی کراس

شماره لوله	دبی نهایی لوله (lit/sec)	شماره لوله	دبی نهایی لوله (lit/sec)	شماره لوله	دبی نهایی لوله (lit/sec)
1	123.305	13	59.922	25	3.887
2	53.292	14	16.505	26	27.511
3	1.744	15	13.103	27	42.689
4	40.185	16	3.323	28	63.188
5	24.011	17	7.935	29	1.328
6	2.499	18	2.075	30	6.162
7	29.354	19	3.745	31	12.982
8	5.480	20	10.453		
9	11.565	21	3.712		
10	16.972	22	10.602		
11	7.192	23	10.658		
12	22.730	24	17.248		

در مرحله بعد با توجه به دبی های به دست آمده برای لوله ها سرعت را برای لوله ها به دست می آوریم و در مرحله بعد با توجه به افت فشارهای در لوله ها، فشار در گره ها به دست می آوریم. سرعت ها و فشار های به دست آمده را با حداقل ها و حداکثر ها مقایسه کرده تا در رنج مورد نظر قرار داشته باشند.

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = AV \Rightarrow A \\ A = \frac{\pi D^2}{4} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q}{V} \Rightarrow V = \frac{4Q}{\pi D^2} \Rightarrow V_{12} = \frac{4 \times 22.73 \times 10^{-3}}{\pi \times (0.15)^2} \Rightarrow V_{12} = 1.29 \text{ m/s}$$

جدول 1-14- سرعت لوله ها در شبکه آبرسانی حلقوی

شماره لوله	سرعت (m/s)	شماره لوله	سرعت (m/s)	شماره لوله	سرعت (m/s)
1	1.28	13	1.22	25	0.49
2	1.09	14	0.93	26	0.88
3	0.35	15	0.74	27	0.87
4	0.82	16	0.66	28	0.89
5	0.76	17	1.01	29	0.17
6	0.50	18	0.41	30	0.35
7	0.93	19	0.75	31	0.73
8	1.09	20	1.33		
9	0.65	21	0.74		
10	0.96	22	1.35		
11	0.92	23	0.60		
12	1.29	24	0.98		

جدول 1-51- قطر تجاری نهایی لوله ها در شبکه آبرسانی حلقوی

شماره لوله	قطر تجاری (mm)	شماره لوله	قطر تجاری (mm)	شماره لوله	قطر تجاری (mm)
1	0.35	13	0.25	25	0.1
2	0.25	14	0.15	26	0.2
3	0.08	15	0.15	27	0.25
4	0.25	16	0.08	28	0.3
5	0.2	17	0.1	29	0.1
6	0.08	18	0.08	30	0.15
7	0.2	19	0.08	31	0.15
8	0.08	20	0.1	32	0.5
9	0.15	21	0.08		
10	0.15	22	0.1		
11	0.1	23	0.15		
12	0.15	24	0.15		

تجهیزات شبکه آبرسانی:

- شیرهای آتش نشانی:

به طور کلی استفاده از شیرهای ایستاده (روی زمینی) توصیه می شود، ولی در مواردی که توجیه کافی وجود داشته باشد،

استفاده از شیرهای زیر زمینی نیز بلامانع است. (آیین نامه: بند 2-3-1)

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

✓ در چهارراه های اصلی لااقل یک شیر آتش نشانی وجود داشته باشد، در چهارراه های بزرگ با ترافیک سنگین حداقل دو شیر در دو سمت متقابل چهارراه نصب گردد.

✓ در مجاورت مراکز عمومی بزرگ از قبیل بیمارستان ها، سینماها، مدارس و غیره، باید شیرهای آتش نشانی نصب گردد.

- شیرهای قطع و وصل:

شیرهای قطع و وصل بایستی به تعداد کافی و به نحوی روی خطوط لوله پیش بینی گردند که هنگام تعمیرات و قطع آب، احتمال آلودگی به حداقل ممکن برسد.

به منظور تامین این هدف ضمن در نظر گرفتن راه حل های مختلف و مقایسه اقتصادی رعایت نکات ذیل ضروری است. (آیین نامه: بند 3-6-1)

1- معمولاً در هر چهارراه دو عدد شیر و در هر سه راه یک عدد شیر در نظر گرفته شود مگر در مواردی که با توجهات کافی ضرورت شیرهای اضافه تری ایجاب نماید.

2- شیرها طوری در نظر گرفته شوند که ترکیدگی یک لوله باعث قطع آب در لوله های تغذیه کننده اصلی نشود مگر آنکه قطع آب در اثر خرابی خود تغذیه کننده باشد.

3- شیرها به نحوی تعبیه شوند که ترکیدگی یک لوله باعث قطع آب در طول بیش از 200 تا 400 متر (بسته به درجه تراکم شهر) نشوند.

4- توصیه می شود شیرهای قطع و وصل در اقطار بزرگ (بیش از 400 میلیمتر) و شیرهای مجهز به کنارگذر و چرخ دنده در داخل حوضچه نصب گردند.

- شیرهای تخلیه:

در نقاط پست شبکه و خطوط انتقال، تعبیه شیر جهت تخلیه آب داخل لوله ضروری می باشد.

(آیین نامه: بند 3-6-4)

- شیرهای تخلیه هوا:

در نقاط مرتفع خطوط شبکه شهری که امکان تخلیه هوا از طریق انشعابات منازل میسر نباشد، وسائل لازم جهت تخلیه هوا می باید پیش بینی گردد. (آیین نامه: بند 3-6-3)

✓ در مسیر های با شیب کم نیز در فواصل حدود 800 متر شیر هوا می باید در نظر گرفته شود.

- شیرهای فشار شکن:

بخش اول : طراحی شبکه آبرسانی شهری

با توجه به مشکلات دوره بهره برداری، توصیه می شود که استفاده از شیرهای فشار شکن در خطوط انتقال و شبکه توزیع به حداقل ممکن تقلیل یابد.

در نقاطی که تعبیه شیر های فشار شکن ضروری است دو شیر فشار شکن (یکی به عنوان یدک) به منظور انجام تعمیرات و سایر مسائل بهره برداری در نظر گرفته شود. (آیین نامه: بند 3-6-5)

- زهکشی و تهویه حوضچه ها:

جهت جلوگیری از آلودگی آب مشروب شبکه، زهکش حوضچه شیرها، کنتورها و سایر لوازم نباید مستقیماً به مجاری آب های سطحی و فاضلابروها متصل گردند.

در ساختمان حوضچه ها تدابیر لازم جهت تهویه هوا می باید پیش بینی گردد. (آیین نامه: بند 3-6-6)

چگونگی ترسیم خطوط فشار :

- خط فشار استاتیکی:

خطی است که در لوله ها هیچگونه جریانی برقرار نیست این خط ماکزیمم خط فشار را داراست و در آن هیچگونه افتی ایجاد نمی شود. طبق کتاب منزوی ماکزیمم فشار استاتیکی بین 50 تا 60 متر می باشد. که در نقشه مشخص شده است.

- خط فشار دینامیکی:

این خط، خطی است که در لوله ها آب جریان دارد و میزان افت در هر لوله ایجاد می گردد که طبقه رسم آن به دو روش زیر است ضمناً خط مزبور در هر نقطه فشار آب را نشان می دهد.

الف- فشار هر نقطه را داریم و رقوم ارتفاعی آن را با توجه به این و فاصله نقطه ابتدا نقطه رقوم ارتفاعی و فاصله را پیاده کرده و از نقطه ارتفاعی به اندازه فشار روی نقطه بالا رفته و نقطه فشار را بدست می آوریم.

ب- با توجه به خط فشار استاتیکی و میزان افت هر نقطه به این ترتیب که ابتدا فاصله نقطه را روی خط فشار استاتیکی مشخص کرده و به میزان افت نقطه از آن پایین می آییم، نقطه بدست آمده نقطه فشار دینامیکی می باشد.

✓ خط فشار دینامیکی در حالت آتش نشانی که در این حالت دبی آتش نشانی یعنی 30 lit/sec بر دبی های هر لوله

اضافه شده و آن را ترسیم می نمائیم که در شکل نشان داده شده است.

✓ رقوم ارتفاعی و فاصله هر نقطه را نیز پیاده می نمائیم تا خط زمین طبیعی بدست بیاید و بروی آن فشار حداقل که

15 متر می باشد را مشخص می نمائیم.

طراحی شبکه های آبرسانی توسط نرم افزار های کامپیوتری:

برای طراحی شبکه حلقوی از نرم افزار LOOP version 4.0 استفاده شده است که درانتها خروجی این نرم افزار قرار دارد.