



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

# طراحی شبکه‌های آبرسانی

تألیف:

پرابهاتا ک. سوامی  
آشوک ک. شارما

دکتر عاطفه پرورش ریزی  
عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

ترجمه:

مهندس محسن نصر آبادی  
کандیدای دکتری سازه‌های آبی دانشگاه تهران

نشر نوآور

تلفن: ۳-۶۶۴۸۴۹۹۱



نشر نوآور

سرشناسه	سوامی، پرابهاتا کومار، ۱۹۴۰ - م. (Swamee, Prabhata K. Prabhata Kumar)
عنوان و نام پدیدآور	طراحی شبکه‌های آبرسانی/تالیف پرابهاتا ک. سوامی، آشوک ک. شارما؛ ترجمه محسن نصرآبادی، عاطفه پرورش‌ریزی.
مشخصات نشر	تهران: نوآور، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۳۶۰ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۳۰-۱
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	عنوان اصلی: Design of water supply pipe networks, 2008.
یادداشت	کتاب حاضر تحت عنوان "طراحی شبکه‌های تامین آب" با ترجمه حسین بابازاده و محمدرضا بهشتی توسط دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران در سال ۱۳۸۹ ترجمه و منتشر شده است.
یادداشت	: کتابنامه.
عنوان دیگر	: طراحی شبکه‌های تامین آب.
موضوع	: لوله‌های آب
موضوع	: آب بخشی
موضوع	: آب، منابع -- مدیریت
شناسه افزوده	: شارما، آشوک کومار، ۱۹۵۶ - م.
شناسه افزوده	(Sharma, Ashok K. Ashok Kumar)
شناسه افزوده	: نصرآبادی، محسن، ۱۳۶۱ -، مترجم
شناسه افزوده	: پرورش‌ریزی، عاطفه، ۱۳۵۵ - مترجم
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ۴۹۱/س TD
رده بندی دیویی	: ۱۵/۶۲۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۱۰۹۶۷۴

## طراحی شبکه‌های آبرسانی

پرابهاتا کومار سوامی - آشوک کومار شارما  
محسن نصرآبادی - عاطفه پرورش‌ریزی  
نوآور  
نسخه ۱۰۰۰  
محمدرضا نصیرنیا

تألیف:

مترجم:

ناشر:

شمارگان:

مدیر تولید:

نوبت چاپ:

شابک:



نشر نوآور

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۳۰-۱

### نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور - تهران - خ انقلاب، خ فخر رازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان،

پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

تلفن: ۶۶۴۸۴۱۸۹ - ۰۹۱۲۶۰۶۲۳۸۳

فروشگاه ۱: تهران خ انقلاب، نیش خ ۱۲ فروردین پلاک ۱۳۱۰، کتابفروشی ایاس تلفن: ۶۶۹۵۵۸۷۸ - ۶۶۴۰۵۰۸۴

فروشگاه ۲: تهران خ انقلاب، بین خ ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۱۳۱۲، کتابفروشی صانعی تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵

فروشگاه ۳: تهران خ انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، جنب بانک ملت، پلاک ۱۲۱۲، کتابفروشی گوتنبرگ تلفن: ۶۶۴۱۳۹۹۸ - ۶۶۴۰۲۵۷۹

فروشگاه ۴: اصفهان، م انقلاب، خ چهار باغ عباسی ابتدای خ سید علی خان، کتابفروشی مهرگان تلفن: ۰۳۱۱۲۲۱۳۷۵۱

حق چاپ و نشر برای ناشر محفوظ است.

## فهرست مطالب

مقدمه مترجمان

مقدمه مؤلفان

فهرست نمادها

### فصل اول: مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

۲-۱- پیکربندی شبکه آبرسانی

۳-۱- هیدرولیک جریان و تحلیل شبکه

۴-۱- ملاحظات اقتصادی

۵-۱- ملاحظات طراحی

۶-۱- انتخاب سیستم‌های ثقلی و سیستم‌های دارای پمپ

۷-۱- تشکیل شبکه

۱-۷-۱- طراحی جزء به جزء شبکه‌های فرعی

۲-۷-۱- طراحی کامل سیستم

۳-۷-۱- تقسیم ناحیه پروژه به زیرنواحی بهینه برای طراحی

۸-۱- بازسازی سیستم‌های آبرسانی

۹-۱- انتقال ذرات و قطعات جامد به وسیله لوله

۱۰-۱- هدف این کتاب

۱۱-۱- منابع و مراجع

### فصل دوم: اصول جریان در لوله‌ها

۱-۲- افت اصطکاکی

۲-۲- افت موضعی

۱-۲-۲- خم لوله

۲-۲-۲- زانویی‌ها

۳-۲-۲- شیرآلات

۴-۲-۲- تبدیل‌ها

۵-۲-۲- محل تقاطع لوله‌ها

۶-۲-۲- ورودی لوله

۷-۲-۲- خروجی لوله

۸-۲-۲- افت موضعی کلی

۹-۲-۲- جریان در لوله به صورت سیفون

۳-۲- مسایل جریان در لوله‌ها

۱-۳-۲- مسئله بار آبی گره

۲-۳-۲- مسئله دبی جریان

ناشر نوآور

۶۶۴۸۴۱۹۱-۲

تلفن

۳-۲-۲- مسئله تعیین قطر

۴-۲- لوله معادل

۱-۴-۲- لوله‌های سری

۲-۴-۲- لوله‌های موازی

۵-۲- معادله مقاومت برای انتقال مخلوط آب و ذرات جامد

۶-۲- معادله مقاومت برای انتقال کپسول

۷-۲- تمرین‌ها

۸-۲- منابع و مراجع

### فصل سوم: تحلیل شبکه لوله

۱-۳- الگوی مصرف آب

۲-۳- افت فشار در خط لوله

۱-۲-۳- افت فشار در الگوی برداشت تجمعی

۲-۲-۳- افت فشار در الگوی برداشت توزیعی

۳-۳- تحلیل خطوط انتقال آب

۴-۳- تحلیل لوله اصلی توزیع

۵-۳- هندسه شبکه لوله‌ها

۶-۳- تحلیل شبکه‌های شاخه‌ای

۷-۳- تحلیل شبکه حلقوی

۱-۷-۳- روش هاردی-کراس

۲-۷-۳- روش نیوتن-رافسون

۳-۷-۳- روش تئوری خطی

۸-۳- تحلیل شبکه‌های توزیع آب دارای چند منبع ورودی

۱-۸-۳- اطلاعات مربوط به خط لوله

۲-۸-۳- اطلاعات مربوط به نقاط ورودی (منابع ورودی)

۳-۸-۳- اطلاعات مربوط به حلقه

۴-۸-۳- اتصال گره و لوله

۵-۸-۳- تحلیل شبکه

۹-۳- توصیف مسیر جریان

۱۰-۳- تمرین‌ها

۱۱-۳- منابع و مراجع

### فصل چهارم: ملاحظات اقتصادی

۱-۴- توابع هزینه

۱-۱-۴- منبع آبرسانی و توسعه آن

۲-۱-۴- خطوط لوله

۳-۱-۴- مخزن سرویس (مخزن توزیع)

۴-۱-۴- هزینه انشعاب مسکونی

۶۶۴۸۴۱۹۱

۲ - نشر نوآور

- ۴-۱-۵- هزینه انرژی
- ۴-۱-۶- هزینه احداث
- ۴-۲- قیمت‌گذاری دوره عمر
- ۴-۳- یکسان‌سازی هزینه‌ها
- ۴-۳-۱- روش سرمایه‌گذاری
- ۴-۳-۲- روش مستمری سالیانه
- ۴-۳-۳- روش ارزش کنونی خالص یا ارزش خالص
- ۴-۴- پارامترهای تابع هزینه
- ۴-۵- ضریب هزینه نسبی
- ۴-۶- اثر تورم
- ۴-۷- تمرین‌ها
- ۴-۸- منابع و مراجع

## فصل پنجم: اصول تشکیل شبکه

- ۵-۱- محدودیت‌ها
- ۵-۱-۱- محدودیت‌های اطمینان‌پذیری
- ۵-۱-۲- محدودیت‌های سیستم
- ۵-۲- فرمول‌بندی مسئله
- ۵-۳- گرد کردن متغیرهای طراحی
- ۵-۴- پارامترهای ضروری برای تعیین اندازه شبکه
- ۵-۴-۱- میزان مصرف آب
- ۵-۴-۲- نرخ آبرسانی
- ۵-۴-۳- ضریب اوج مصرف
- ۵-۴-۴- حداقل فشار مورد نیاز
- ۵-۴-۵- حداقل قطر لوله اصلی توزیع
- ۵-۴-۶- حداکثر اندازه شبکه توزیع
- ۵-۴-۷- ملاحظات اطمینان‌پذیری
- ۵-۴-۸- دوره طرح شبکه‌های آبرسانی
- ۵-۴-۹- مناطق آبرسانی
- ۵-۴-۱۰- انتخاب کلاس و جنس لوله
- ۵-۵- تمرین‌ها
- ۵-۶- منابع و مراجع

## فصل ششم: خطوط انتقال آب

- ۶-۱- لوله‌های اصلی ثقلی
- ۶-۲- لوله اصلی دارای پمپ
- ۶-۲-۱- فرآیند طراحی تکراری
- ۶-۲-۲- فرآیند طراحی صریح

۶۶۴۸۴۱۹۱

تلفن: ۶۶۴۸۴۱۹۱

## ۶ / طراحی شبکه‌های آبرسانی

### ۳-۶- پمپاژ مرحله به مرحله

۱-۳-۶- خطوط لوله طولانی در توپوگرافی مسطح

۲-۳-۶- طراحی خطوط لوله در توپوگرافی با اختلاف ارتفاع زیاد

### ۴-۶- اثر افزایش جمعیت

۵-۶- انتخاب شبکه‌های ثقلی و شبکه‌های دارای پمپ

۱-۵-۶- معیار انتخاب لوله اصلی ثقلی

۶-۶- تمرین‌ها

۷-۶- منابع و مراجع

## فصل هفتم: لوله‌های اصلی توزیع آب

۱-۷- لوله‌های اصلی توزیع ثقلی

۲-۷- لوله‌های اصلی توزیع دارای پمپ

۳-۷- تمرین‌ها

۴-۷- منابع و مراجع

## فصل هشتم: شبکه‌های شاخه‌ای دارای یک منبع

۱-۸- سیستم شاخه‌ای، ثقلی

۱-۱-۸- سیستم‌های شعاعی

۲-۱-۸- سیستم شاخه‌ای

۲-۸- سیستم‌های شاخه‌ای دارای پمپ

۱-۲-۸- شبکه‌های شعاعی

۲-۲-۸- سیستم‌های شاخه‌ای دارای پمپ

۳-۸- اصول انتخاب جنس و کلاس لوله

۴-۸- تمرین‌ها

۵-۸- منابع و مراجع

## فصل نهم: شبکه‌های حلقوی دارای یک منبع

۱-۹- شبکه‌های حلقوی و ثقلی

۱-۱-۹- روش قطر پیوسته

۲-۱-۹- روش قطر گسسته

۲-۹- سیستم‌های دارای پمپ

۱-۲-۹- روش قطر پیوسته

۲-۲-۹- روش قطر گسسته

۳-۹- تمرین‌ها

۴-۹- منابع و مراجع

۶۶۴۸۴۱۹۱-۲ تلفن

### فصل دهم: شبکه‌های شاخه‌ای دارای چند منبع

۱-۱۰- شبکه‌های شاخه‌ای ثقلی

۱-۱-۱۰- روش قطر پیوسته

۲-۱-۱۰- روش قطر گسسته

۲-۱۰- شبکه‌های دارای پمپ

۱-۲-۱۰- روش قطر پیوسته

۲-۲-۱۰- روش قطر گسسته

۳-۱۰- تمرین‌ها

۴-۱۰- منابع و مراجع

### فصل یازدهم: شبکه‌های حلقوی دارای چند منبع

۱-۱۱- شبکه‌های حلقوی، ثقلی

۱-۱-۱۱- روش قطر پیوسته

۲-۱-۱۱- روش قطر گسسته

۲-۱۱- شبکه‌های توزیع دارای پمپ

۱-۲-۱۱- روش قطر پیوسته

۲-۲-۱۰- روش قطر گسسته

۳-۱۱- تمرین‌ها

۴-۱۱- منابع و مراجع

### فصل دوازدهم: تفکیک سیستم‌های بزرگ و تعیین اندازه بهینه منطقه

۱-۱۲- تفکیک یک شبکه حلقوی بزرگ و دارای چند منبع

۱-۱-۱۲- توصیف شبکه

۲-۱-۱۲- تحلیل مقدماتی شبکه

۳-۱-۱۲- انتخاب مسیر جریان و انتخاب منبع

۴-۱-۱۲- ایجاد مسیر جریان متصل به منابع ورودی

۵-۱-۱۲- تعیین خط لوله ضعیف برای کوتاه کردن (قطع کردن) مسیر

۶-۱-۱۲- تشکیل و ایجاد شبکه

۲-۱۲- اندازه بهینه منطقه آبرسانی

۱-۲-۱۲- مناطق دایره‌ای شکل

۲-۲-۱۲- منطقه نواری (باریک)

۳-۱۲- تمرین‌ها

۴-۱۲- منابع و مراجع

### فصل سیزدهم: بازسازی سیستم‌های توزیع آب

۱-۱۳- شبکه‌های موازی

۱-۱-۱۳- لوله‌های اصلی ثقلی موازی

- ۱۳-۱-۲- لوله‌های اصلی توزیع دارای پمپ
- ۱۳-۱-۳- لوله‌های اصلی توزیع موازی و دارای پمپ
- ۱۳-۱-۴- سیستم‌های شعاعی موازی و دارای پمپ
- ۱۳-۲- بازسازی سیستم‌های توزیع آب
  - ۱۳-۱-۲- اصلاح دبی
  - ۱۳-۲-۲- بازسازی لوله اصلی دارای پمپ
  - ۱۳-۲-۳- بازسازی یک لوله اصلی توزیع
  - ۱۳-۲-۴- بازسازی شبکه‌های توزیع آب
- ۱۳-۳- تمرین‌ها
- ۱۳-۴- منابع و مراجع

### فصل چهاردهم: انتقال ذرات جامد به وسیله خطوط لوله

- ۱۴-۱- خطوط لوله انتقال مخلوط آب و ذرات جامد
  - ۱۴-۱-۱- لوله‌های اصلی ثقلی انتقال مخلوط آب و ذرات جامد
  - ۱۴-۲-۲- لوله‌های اصلی دارای پمپ برای انتقال مخلوط آب و ذرات جامد
- ۱۴-۲- خطوط لوله انتقال کپسول
  - ۱۴-۱-۲- خطوط لوله انتقال ثقلی کپسول
  - ۱۴-۲-۲- لوله‌های اصلی دارای پمپ برای انتقال کپسول
- ۱۴-۳- تمرین‌ها
- ۱۴-۴- منابع و مر

### پیوست‌ها

#### پیوست ۱: روش برنامه‌ریزی خطی

- پ ۱-۱- فرمول‌بندی مسئله
- پ ۱-۲- الگوریتم سیمپلکس

#### پیوست ۲: روش برنامه‌ریزی هندسی

#### پیوست ۳: برنامه تحلیل شبکه توزیع آب

- پ ۳-۱- برنامه تحلیل شبکه توزیع آب دارای یک منبع ورودی
- پ ۳-۲- مجموعه داده‌ها
- پ ۳-۳- کد منبع و توسعه آن
- پ ۳-۴- برنامه تحلیل شبکه توزیع آب دارای چند منبع ورودی
- پ ۳-۵- کد منبع و توسعه آن

#### پیوست ۴: واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

#### پیوست ۵: واژه‌نامه فارسی به انگلیسی



## مقدمه مترجمان

جهان در حال تجربه بحران آب است و تأمین آب در حال و آینده، یکی از محورهای اصلی چالش‌های جهانی است. بر اساس آمار بانک جهانی، اکنون بیش از یک میلیارد نفر از مردم جهان به آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند و طبق پیش‌بینی‌ها، تا سال ۲۰۳۰ میلادی، بیش از پنج میلیارد نفر به نحوی با کمبود آب درگیر خواهند شد. ایران نیز با توجه به محدودیت منابع آب، آهنگ رشد جمعیت و مسائل مدیریتی، در معرض بحران جدی آب قرار دارد. از جمله اقدامات قابل بررسی در مقابله با این بحران، بازسازی، ساماندهی و استانداردسازی شبکه‌های آبرسانی، تفکیک شبکه‌های آب شرب از آب غیرآشامیدنی و اتخاذ رویکردهای جدید در مسائل طراحی و اجرای سامانه‌های آبرسانی، متناسب با شرایط هر منطقه است. از این رو، آشنایی با نحوه طراحی شبکه‌های آبرسانی با ساختارهای گوناگون، تحلیل اقتصادی و همچنین بازسازی این شبکه‌ها اهمیت بسزایی دارد. آموزش صحیح و کافی در این زمینه و استفاده از تجارب کشورهای دیگر در این زمینه، البته می‌تواند بسترساز رفع مشکلات موجود کشور در فرایند توسعه و بهبود آبرسانی باشد.

در این راستا، ترجمه حاضر که در ۱۴ فصل تدوین شده است، علاوه بر پوشش بخش‌هایی از سرفصل‌های درسی دانشگاهی، با نیازهای روز طراحی برای دانش‌آموختگان و کارشناسان مطابقت دارد. مطالب این کتاب با بیانی گویا و روان تدوین شده‌اند، به طوری که مخاطبان آن به طور کامل با جنبه‌های طراحی، اجرایی و اقتصادی شبکه‌های آبرسانی آشنا شوند. از سوی دیگر، دو مبحث ملاحظات اقتصادی طراحی و همچنین توسعه و بازسازی شبکه‌های آبرسانی، که در حال حاضر از مسائل جامعه هستند، در این کتاب مورد توجه قرار گرفته‌اند که در منابع فارسی دیگر، کمتر به آنها پرداخته شده است.

نویسندگان این کتاب تجربه‌های علمی و عملی فراوانی در زمینه شبکه‌های آبرسانی دارند. پرابهاتا سوامی، استاد دانشکده فنی دانشگاه رورکی هندوستان، به عنوان یکی از استادان برجسته علم هیدرولیک در سطح جهانی، ۴۵ سال سابقه تدریس و پژوهش در زمینه مهندسی عمران و آب دارد و مقالات متعددی را در منابع معتبر به چاپ رسانده است. آشوک شارما نیز طراح سیستم‌های آبرسانی در کشور استرالیاست و پژوهش‌هایی را در زمینه طراحی سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی، فاضلاب و آبرسانی راهبری می‌کند. وی بیش از ۲۵ سال در صنعت آب، پژوهش و تدریس سابقه دارد. با توجه به مطالب به نسبت جامع و به روز این کتاب و سابقه علمی نویسندگان، این کتاب با هدف تأمین یک منبع مناسب در زمینه طراحی شبکه‌های تحت فشار در اختیار پژوهشگران، دانشجویان رشته‌های آب و فاضلاب، سازه‌های هیدرولیکی، عمران و آبیاری و همچنین مهندسان مشاور فعال در زمینه مهندسی آب ترجمه شده است. از آنجا که نگارش کتاب بر تجربه‌های اجرایی نویسندگان نیز متکی بوده، جنبه کاربردی آن نیز قوی و ملموس است و مطالعه آن می‌تواند به خلق ایده‌های پژوهشی نیز کمک کند. باید اشاره کرد که کمبود منابع فارسی در زمینه طراحی شبکه‌های آبرسانی و اهمیت احداث و بازسازی شبکه‌های آبرسانی از دیدگاه علمی و عملی نیز یکی از انگیزه‌های ترجمه این کتاب بوده است و مترجمان امیدوارند که توانسته باشند مطالب را با کمترین کاستی به مخاطبان منتقل کنند. بی‌تردید اشکالاتی در متن و ترجمه کتاب موجود است که از دید خوانندگان محترم پنهان نخواهد ماند و مترجمان در انتظار انعکاس این نقایص یا پیشنهادهای مخاطبان عزیز هستند تا در اصلاحات بعدی کتاب از آنها استفاده شود.

عاطفه پرورش‌ریزی - محسن نصرآبادی

گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

## مقدمه مؤلفان

در سراسر دنیا، هزینه‌های زیادی صرف ایجاد و بازسازی تأسیسات آبرسانی و تأمین آب می‌شود. با این حال، جمعیت زیادی در دنیا از داشتن تأسیسات آبرسانی سالم و امن محروم هستند. حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد کل هزینه شبکه‌های آبرسانی مربوط به انتقال آب و شبکه‌های توزیع آب است. به دلیل هزینه‌های اقتصادی، طراحی شبکه‌های آبرسانی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. هدف این کتاب، ارائه مفهومی از جنبه‌های طراحی و تحلیل شبکه‌های توزیع آب است. این کتاب موضوعات مربوط به تحلیل و طراحی شبکه‌های آبرسانی با کاربرد انتقال رسوبات به وسیله لوله‌ها را نیز پوشش می‌دهد. مطالب این کتاب شامل اصول جریان در لوله‌ها و کاربرد آنها در تحلیل شبکه‌های آبرسانی است. برای تأکید بر جنبه‌های اقتصادی و پارامترهای مورد نیاز برای طراحی یک شبکه توزیع آب، اصول و مبانی کلی طراحی شبکه‌های بیان شده است. موضوعات دیگر این کتاب مربوط به تعیین اندازه بهینه شبکه‌های آبرسانی ثقلی و دارای پمپ، بازسازی و تفکیک شبکه‌های آبرسانی و انتقال ذرات جامد (به عنوان مثال رسوبات) به وسیله خطوط لوله هستند. برنامه‌های رایانه‌ای مربوطه نیز با تشریح خط به خط آنها در انتهای کتاب ارائه شده است تا به خوانندگان در توسعه مهارت‌های برنامه‌نویسی به منظور تحلیل شبکه‌های توزیع آب کمک کند. کاربرد روش‌های برنامه‌ریزی هندسی و خطی در طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب نیز توصیف شده است.

بیشتر طراحی‌های انجام شده به گونه‌ای بیان شده‌اند که می‌تواند مورد قبول مهندسان طراح قرار بگیرد. مثال‌های عددی زیادی در بخش‌های مختلف این کتاب ارائه شده است. در این مثال‌ها، محاسبات بسیار دشوار و زمان‌بر هستند. تجربه نشان داده است که تسلط کامل بر پروژه تنها در صورتی بدست می‌آید که خود شخص آشنایی کاملی نسبت به روش‌های عددی داشته باشد.

پرابهاتا کومار سوامی و آشوک کومار شارما

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

## فهرست نمادها

هزینه برگشت سالانه، مستمری سالانه	$A$
هزینه سالانه برق	$A_e$
قسط سالانه	$A_r$
عامل طول کپسول	$a$
عرض یک ناحیه نوار	$B$
ضریب هزینه	$C$
هزینه اولیه اجزا	$C_0$
هزینه سرمایه‌ای	$C_A$
هزینه سرمایه‌ای کل	$C_c$
ضریب درگ ذرات	$C_D$
هزینه سرمایه‌ای انرژی	$C_e$
هزینه لوله	$C_m$
هزینه نگهداری سرمایه	$C_{ma}$
هزینه خالص	$C_N$

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

## فصل اول

### مقدمه

#### ۱-۱- پیشگفتار

آب و هوا عناصر ضروری برای زندگی بشر به شمار می‌آیند. با این حال، جمعیت زیادی در دنیا از داشتن شبکه‌های آبرسانی مطمئن و بهداشتی محروم هستند. آب آشامیدنی به عنوان یک منبع فیزیکی، فرهنگی، اجتماعی، سیاسی و اقتصادی توصیف شده است (سالزمن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶). تاریخ انتقال آب به وسیله لوله برای مصرف بشر به حدود ۳۵۰۰ سال پیش برمی‌گردد، زمانی که برای اولین بار در جزیره کریت از لوله‌ها استفاده شد. پیشینه تاریخی توسعه سیستم‌های آبرسانی شهری به هزاره چهارم برمی‌گردد، زمانی که حمام‌ها و فاضلاب‌ها در دره ایندوس<sup>۲</sup> رواج یافته بودند (جیمز<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶). جسپرسون<sup>۴</sup> (۲۰۰۱) تاریخچه مختصری را از سیستم‌های آبرسانی عمومی در ۷۰۰ سال پیش از میلاد، زمانی که قنات‌ها در دامنه‌های شیب‌دار برای انتقال آب به دشت‌ها ساخته شدند، بیان کرده است. والسکی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۱) نیز تاریخچه کوتاهی از شروع فناوری انتقال آب به وسیله لوله در ۱۵۰۰ سال پیش از میلاد، منتشر کردند. رامالینگام<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۲) به لوله‌هایی که با سنگ‌های حفاری، رس، چوب و سرب ساخته می‌شدند، اشاره کرده‌اند. در قرن هجدهم میلادی لوله‌های چدنی جایگزین لوله‌های اولیه شده و در قرن نوزدهم پیشرفت‌های قابل توجهی در ساخت اتصالات بوجود آمد. در قرن بیستم میلادی استفاده از مواد مختلف در ساخت لوله‌ها افزایش یافت.

انتقال سیال از طریق خطوط لوله کاربردهای مختلفی دارد که این کاربردها شامل انتقال آب در یک فاصله طولانی برای آبرسانی به شهرها، سیستم‌های توزیع آب در بخش‌های روستایی، شبکه توزیع آب شهری و ... است. ذرات جامد را نیز می‌توان از طریق خطوط لوله انتقال داد. برای مثال، می‌توان به حمل کانی فلزات و زغال سنگ به صورت معلق و انتقال نیوماتیک<sup>۷</sup> ذرات و مواد زائد در صنایع اشاره کرد. انتقال ذرات جامد با استفاده از کپسول برای انتقال بذرها، مواد شیمیایی واکنش‌دهنده با سیال حامل و مواد سمی و خطرناک بسیار مناسب است. در مقایسه با انتقال مخلوط آب و ذرات معلق، بار حمل شده به وسیله کپسول، خیس یا آلوده نمی‌شود و همچنین ساز و کاری برای جدایی مواد انتقال یافته از سیال مورد نیاز نیست و مهم‌تر اینکه نیازمند نیرو و انرژی کمتری برای برقراری جریان است. برای محموله‌های حجیم،

<sup>۱</sup> Salzman

<sup>۲</sup> Indus

<sup>۳</sup> James

<sup>۴</sup> Jespersen

<sup>۵</sup> Walski

<sup>۶</sup> Ramalingam

<sup>۷</sup> Pneumatic

انتقال به وسیله خطوط لوله در مقایسه با انتقال به وسیله راه‌آهن اقتصادی‌تر است. انتقال به وسیله خطوط لوله مشکلات ترافیک و تصادف‌های جاده‌ای را نداشته و همچنین به دلیل دفن شدن خطوط لوله در زیر خاک، آلودگی‌های شیمیایی، زیست محیطی، گرمایی و صوتی را ندارد.

انتقال آب آشامیدنی سالم و بهداشتی مهم‌ترین نیاز بشر در جامعه صنعتی است، بنابراین شبکه‌های آبرسانی یکی از مهم‌ترین خدمات عمومی هستند. هر ساله هزینه‌های بسیار زیادی در سراسر دنیا برای ایجاد یا ارتقای تأسیسات آب آشامیدنی صرف می‌شود، که بیشتر آنها مربوط به انتقال آب و شبکه‌های توزیع آب است. حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد هزینه پروژه آبرسانی در شبکه توزیع استفاده می‌شود. بنابراین استفاده از روش‌های منطقی و قابل قبول برای طراحی شبکه‌های توزیع آب، منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه خواهد شد.

مسائل زیربنایی تأمین آب از یک سیستم ساده در بخش‌های روستایی، تا یک سیستم کنترل از راه دور رایانه‌ای و دارای چند منبع در شهرهای بزرگ متفاوت است. در هر صورت، هدف از طراحی تمامی شبکه‌های آبرسانی، رساندن آب به مصرف‌کننده با حداقل هزینه و اعمال ملاحظات اطمینان‌پذیری است.

## ۱-۲- پیکربندی شبکه آبرسانی

به طور کلی، سیستم‌های توزیع آب به چهار بخش اصلی تقسیم می‌شوند: ۱- منابع آب و تأسیسات آبرسانی؛ ۲- تأسیسات تصفیه و ذخیره آب؛ ۳- لوله‌های اصلی انتقال و ۴- شبکه توزیع. منابع معمول آب‌های تصفیه نشده و ناخالص<sup>۱</sup>، شامل آب‌های سطحی مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مخازن ساخت بشر است و منابع آب زیرزمینی شامل چاه‌ها و قنات‌ها هستند. سازه‌های آبرسانی و ایستگاه‌های پمپاژ برای استخراج آب از این منابع احداث می‌شوند. آب ناخالص و تصفیه نشده به وسیله لوله‌های اصلی انتقال برای فرآوری به واحد تصفیه انتقال داده شده و پس از تصفیه، در مخازن آب تمیز ذخیره و نگهداری می‌شوند. درجه تصفیه آب به کیفیت آب ناخالص و شرایط مورد نیاز برای کیفیت نهایی آب بستگی دارد. گاهی کیفیت آب زیرزمینی آنقدر خوب است که برای مصرف، فقط گندزدایی کافیتست. از آنجاکه واحدهای تصفیه برای مصرف متوسط روزانه طراحی می‌شوند، مخازن آب تصفیه شده در زمان نوسان‌های مصرف آب نیز جوابگو هستند.

آب در فواصل طولانی به وسیله لوله‌های اصلی انتقال حمل می‌شود. اگر جریان آب در لوله اصلی انتقال، با ایجاد بار فشاری به وسیله پمپاژ برقرار شود، به آن خط لوله اصلی دارای پمپ<sup>۲</sup> گفته می‌شود. از سوی دیگر، اگر جریان در خط لوله اصلی انتقال به وسیله نیروی ثقل موجود و به دلیل اختلاف ارتفاع برقرار شود، به آن خط لوله اصلی ثقلی<sup>۳</sup> گفته می‌شود. به طور معمول در طول خط لوله اصلی، برداشت آب صورت نمی‌گیرد. همانند خط لوله اصلی انتقال، جریان در شبکه‌های توزیع آب نیز به وسیله پمپاژ یا با نیروی ثقل برقرار می‌شود. به طور کلی، در زمین‌های مسطح، فشار آب در یک شبکه توزیع آب بزرگ به وسیله پمپاژ برقرار می‌شود. اما در زمین‌های شیب‌دار، نیروی ثقل سبب ایجاد هد فشاری در شبکه لوله‌ها می‌شود.

<sup>۱</sup> Raw Water

<sup>۲</sup> Pumping Main

<sup>۳</sup> Gravity Main

در یک شبکه توزیع، آب به وسیله انشعاب‌ها به مصرف‌کنندگان تحویل داده می‌شود. این نوع شبکه‌های توزیع، با توجه به طرح کلی منطقه، شکل و پیکربندی متفاوتی دارند. به طور کلی شبکه‌های توزیع آب دارای پیکربندی حلقوی<sup>۱</sup> یا شاخه‌ای<sup>۲</sup> هستند، اما گاهی بسته به طرح کلی معابر و خیابان‌های شهر، هر دو نوع پیکربندی ایجاد می‌شوند. شبکه‌های توزیع آب شهری اغلب پیکربندی حلقوی دارند، در حالی که شبکه‌های آب روستایی، اغلب دارای شکل شاخه‌ای هستند. هزینه یک شبکه توزیع آب به انتخاب مناسب هندسه شبکه بستگی دارد. انتخاب جانمایی خیابان‌ها مطابق با برنامه‌ریزی و طراحی شهری برای به حداقل رسانی هزینه سیستم آبرسانی اهمیت زیادی دارد. دو نوع از رایج‌ترین پیکربندی شبکه‌های آبرسانی حلقوی، الگوی مشبک<sup>۳</sup> و الگوی حلقوی و شعاعی<sup>۴</sup> هستند. اگرچه اغلب دستیابی به یک الگوی هندسی بهینه با حداقل هزینه امکان‌پذیر نخواهد بود.

### ۱-۳- هیدرولیک جریان و تحلیل شبکه

هیدرولیک جریان در مجاری بسته شامل اصول اساسی جریان مانند معادله پیوستگی، معادله‌های اندازه حرکت و برنولی<sup>۵</sup> است. مبحث مهم دیگر در مورد جریان در لوله‌ها، محاسبه افت‌های اصطکاکی<sup>۶</sup> و افت‌های موضعی<sup>۷</sup> به دلیل وجود اتصالات در لوله‌ها (خم‌ها، زانویی‌ها، شیرها، بازشده‌ها و تنگ‌شدگی‌ها) است که قسمت‌های اصلی یک شبکه لوله را تشکیل می‌دهند. از آنجا که وجود اتصالات افت‌های قابل توجهی را به سیستم تحمیل می‌کند، برای محاسبه افت کل به معادله‌های مناسبی برای محاسبه افت‌های موضعی نیاز است. این مبحث در فصل ۲ به تفصیل بحث خواهد شد. هیدرولیک جریان سیال و رسوبات معلق در آن یا انتقال کپسول‌ها به وسیله خطوط لوله در طبیعت پیچیده است و نیازمند در نظر گرفتن ملاحظات خاصی در محاسبات افت فشار خواهد بود. این مبحث جریان سیال، بیشتر مورد توجه مهندسان و طراحان صنعتی در پروژه‌های انتقال سیالات قرار گرفته است. در فصل دوم مبنای انتقال رسوبات و کپسول‌ها به وسیله خطوط لوله بیان شده است. تحلیل یک شبکه لوله برای درک یا ارزیابی یک سیستم توزیع آب ضروری است، لذا انجام این تحلیل، قسمت اصلی روند ساخت و تشکیل یک شبکه محسوب می‌شود. در مورد سیستم‌های دارای یک منبع ورودی، دبی ورودی از منبع، با مجموع برداشت‌ها برابر است. پارامترهای معلوم در این سیستم عبارتند از اندازه لوله‌ها و دبی خروجی از گره‌ها. هر سیستم باید برای محاسبه دبی در گره‌های ورودی (گره تغذیه)، دبی لوله‌ها و هد فشار در گره‌ها تحلیل شود. در یک سیستم شاخه‌ای، با شروع از گره‌های انتهایی شبکه<sup>۸</sup> و به طور متناوب با بکار بردن معادله پیوستگی جریان در گره‌ها، دبی تمامی لوله‌ها به راحتی محاسبه می‌شود. با معلوم بودن دبی لوله‌ها و با بکار بردن رابطه افت فشار، در حالی که هد یک گره تغذیه ورودی معلوم است، می‌توان هد فشاری را در گره‌های دیگر محاسبه کرد. در ی

<sup>۱</sup> Looped Networks

<sup>۲</sup> Branched Networks

<sup>۳</sup> Gridiron Pattern

<sup>۴</sup> Ring and Radial Pattern

<sup>۵</sup> Bernoulli's Equation

<sup>۶</sup> Resistance Losses

<sup>۷</sup> Form Losses

<sup>۸</sup> Dead-end Node