بنام ایزد یکتا

دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

گرایش مهندسی آب

۰۹-۳۴۳۱۷

مدیریت آب شهری در مناطق خشک به روش تصمیم گیری چند معیاره

(مطالعه موردی: شهر کاشان)

کتابخانه مرکزی
بخش نمایه سازی
۱۳۸۲/۲/۲

نگارش:
مهدی بشاورد

استاد راهنما:
دکتر احمد ابریشمچی

زمستان ۱۳۸۱

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی عمران

عنوان:

مدیریت آب شهری در مناطق خشک به روش تصمیم گیری چند معیاره (مطالعه موردی: شهر کاشان)

توسط:

مهدی بشاورد

امضاء کنندگان زیر، متن پایان نامه را مطالعه کرده و منطبق بر ضوابط تحصیلات تکمیلی دانشگاه صنعتی شریف، آن را برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مورد تأیید قرار دادند.

استاد راهنما: دکتر احمد ابریشمی — امضاء:

استاد ممتحن داخل دانشکده: دکتر مسعود تجریشی — امضاء:

استاد مدعو: دکتر عباس افشار — امضاء:

تاریخ: ۸۱/۱۱/۹

تقدیم به

محضر مبارک حضرت ولی عصر (عج)

تقدیر و تشکر

وظیفهٔ خود می‌دانم از جناب آقای دکتر احمد ابریشمچی که به‌عنوان استاد راهنما در طول انجام این پایان‌نامه کمک شایانی به اینجانب نموده‌اند تشکر و قدردانی نمایم. همچنین جا دارد از آقایان دکتر مسعود تجریشی و دکتر عباس افشار که قبول زحمت کرده، این پایان‌نامه را مطالعه و داوری نمودند، تشکر نمایم. از مهندس مهدی نظرزاده، مهندس مهدی ضرغامی، مهندس علی حسن‌زاده و مسؤولین و کارشناسان شرکت آب و فاضلاب کاشان (بخصوص آقایان مهندس شکرریز و مدرس‌زاده) که در تهیه این تحقیق بنده را یاری کردند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان از خانواده‌ام و کلیهٔ دوستانی که در طول انجام این پروژه به طرق مختلف نقشی ایفا نموده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده

شرایط محیطی و اقتصادی موجود همراه با خشکسالی‌های اخیر، تلاش‌های آینده را برای اصلاح روش‌های سنتی تأمین و تقاضای آب می‌طلبد. از سالها پیش تا کنون، آب زیرزمینی مهمترین منبع تأمین آب شهری بوده است و بسیاری از کشورها کاملاً وابسته به منابع آب زیرزمینی بوده و هستند. در چند دههٔ اخیر، استفادهٔ پایدار از آب زیرزمینی در معرض تهدید واقع شده و این منبع غالباً در معرض تخلیه و آلودگی قرار گرفته است. با توجه به مشکلاتی که در سالهای اخیر در رابطه با تأمین آب شهری از طریق استخراج آب زیرزمینی پیش آمده، انتقال آب از نقاط و یا حوزه‌های دیگر مورد توجه قرار گرفته است. انتقال آب می‌تواند به اشکال متنوع و به دلایل مختلفی در طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های منابع آب صورت گیرد. به هرحال برای نتیجه‌بخش بودن کار باید انتقالات آب با روش‌های سنتی تأمین، و مدیریت تقاضای آب همراه باشد. آب زیرزمینی کاشان که در حال حاضر تنها منبع تأمین کنندهٔ آب در این شهر می‌باشد، دچار افت شدید سطح آب و کاهش کیفیت شده است و از طرفی تا چند سال دیگر پروژهٔ انتقال آب از زاینده‌رود به کاشان از طریق خط لوله با دبی ۱ متر مکعب در ثانیه به بهره‌برداری خواهد رسید. کیفیت آب انتقالی بسیار بهتر از آب زیرزمینی است، ولی هزینهٔ بیشتری به‌همراه خواهد داشت. از طرفی تأمین آب به میزان ۱ متر مکعب در ثانیه یک فرض ایده‌آل است و ممکن است تحت شرایطی در آینده تمامی این مقدار آب، تأمین نشود. با توجه به موارد فوق، از یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره که معیارهای آن را هزینه، کیفیت و برداشت از خط انتقال آب تشکیل می‌دهند، برای تأمین آب کاشان در یک دورهٔ ۲۵ ساله (معادل عمر مفید لوله) استفاده شده است. اثر استفاده از وسایل کاهندهٔ مصرف به‌عنوان یک روش مدیریت تقاضا نیز در مدل وارد شده است. این مدل با استفاده از برنامه‌ریزی سازش، نوشته شده و در آن اهمیت هر معیار در چهار حالت و میزان حساسیت تصمیم‌گیر نسبت به بیشترین انحراف از ایده‌آل (p) در سه حالت بررسی شده ونتایج آن تحلیل گردیده است. مهمترین نتایج بدست‌آمده به این صورت می‌باشند که: در حالتهای $p=1$، اهداف یا به ماکزیمم مقدار ممکن رسیده‌اند و یا به مینیمم مقدار ممکن. در حالتهای $p=\infty$ هیچ هدفی فدای هدف دیگر نشده و در حالتهای $p=2$ نتایج نسبتاً معقولی حاصل شده است.

کلمات کلیدی: تحلیل سیستم، مدیریت آب شهری، تصمیم‌گیری چند معیاره، برنامه‌ریزی سازش.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تاریخچهٔ علم تحقیق در عملیات ۳

۱-۳- آب شیرین، یک منبع محدود ۵

۱-۴- انتقال بین حوزه‌ای آب ۸

۱-۵- اهداف و ساختار پایان‌نامه ۹

فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی تصمیم گیری چند معیاره

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- اصول و تعاریف ۱۲

۲-۲-۱- جوابهای غیرمغلوب ۱۳

۲-۲-۲- نواحی امکان‌پذیر و نتیجه ۱٤

۲-۳- روش‌های بهینه‌سازیِ چندمعیاره ۱٦

۲-۳-۱- روش بهینه‌سازی متوالی ۱۸

۲-۳-۲- قاعدهٔ محدودیت‌دهی ۱۹

۲-۳-۳- روش وزن دهی ۲۰

۲-۳-۴- روش‌های مبتنی بر فاصله ۲۱

۲-۳-۴-۱- برنامه‌ریزی آرمانی ۲۱

۲-۳-۴-۱-۱- روش Minimax Solution ۲۳

۲-۳-۴-۱-۲- روش Weighted Distance Solution ۲٤

۲-۳-۴-۱-۳- روش Least Squares Solution ۲۵

۲-۳-۴-۲- برنامه‌ریزی سازش ۲٦

۲-۴- سوابق استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت منابع آب ۲۸

عنوان | صفحه

فصل سوم: مطالعهٔ موردی و تعریف مسأله

۳-۱- مقدمه ۳۲
۳-۲- مشخصات عمومیِ شهر کاشان ۳۳
۳-۲-۱- مشخصات جغرافیائیِ شهر کاشان ۳۳
۳-۲-۲- وضعیت توپوگرافی شهر ۳٤
۳-۲-۳- دورنمای تاریخی کاشان ۳٤
۳-۲-٤- جمعیت کاشان ۳۵
۳-۲-۵- بررسی وضعیت راهها و ارتباطات شهر و منطقه ۳۵
۳-۲-٦- شرایط جوی و هواشناسی ۳٦
۳-۲-۷- گذری بر وضع آبرسانی شهر کاشان در ادوار گذشته ۳۷
۳-۲-۸- شبکهٔ توزیع آب شهر ۳۸
۳-۳- منابع تأمین آب ۳۹
۳-۳-۱- منابع تأمین آب زیرزمینی ۳۹
۳-۳-۲- منابع تأمین آب سطحی ٤۱

فصل چهارم: جمعیت و مصرف آب کاشان

٤-۱- مقدمه ٤۳
٤-۲- جمعیت ٤٤
٤-۲-۱- آمار جمعیت در سال‌های گذشته ٤٤
٤-۲-۲- پیش‌بینی جمعیت در سال‌های آینده ٤٤
٤-۳- مصرف آب ٤٦
٤-۳-۱- چگونگیِ مصرف آب ٤٦
٤-۳-۲- عوامل مؤثر در مصرف آب ٤٦
٤-۳-۳- مصارف سرانه ٤۹
٤-۳-۳-۱- روند مصارف سرانه آب در گذشته ٤۹
٤-۳-۳-۱-۱- روند مصرف سرانه آب خانگی در گذشته ٤۹
۴-۳-۳-۱-۲- روند مصرف سرانه آب غیر خانگی در گذشته ۵۰
٤-۳-۳-۲- پیش‌بینی مصارف سرانه آب ۵۲

عنوان **صفحه**

٤-٣-٣-٣- تلفات آب ٥٤

٤-٤- صرفه‌جوئی در مصرف آب ٥٥

٤-٤-١- روشهای صرفه‌جوئی در مصرف آب ٥٦

٤-٤-١-١- آموزش همگانی ٥٦

٤-٤-١-٢- نشت‌یابی و بازسازی شبکه توزیع آب شهری ٥٧

٤-٤-١-٣- متره و اندازه‌گیری دقیق مصارف (نصب کنتور) ٥٨

٤-٤-١-٤- استفاده از سیستم‌های توزیع دوگانه ٥٨

٤-٤-١-٥- جیره‌بندی آب شهری ٦٠

٤-٤-٢- صرفه‌جوئی در آب شهری با استفاده از وسایل کاهندهٔ مصرف ٦٢

فصل پنجم: مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره

٥-١- مقدمه ٦٥

٥-٢- معیارهای تصمیم‌گیری در مدیریت آب شهری کاشان ٦٦

٥-٢-١- معیار کیفیت آب ٦٦

٥-٢-٢- معیار هزینه ٦٧

٥-٢-٣- معیار میزان برداشت از خط انتقال آب ٦٨

٥-٣- قیود و معادلات مورد استفاده در مدل ٦٨

٥-٣-١- معادلهٔ جمعیت ٦٩

٥-٣-٢- معادلهٔ مصرف سرانه ٦٩

٥-٣-٣- معادلهٔ مصرف کل سالانه ٦٩

٥-٣-٤- معادلهٔ میزان آب صرفه‌جوئی شده ٧٠

٥-٣-٥- قید برداشت از خط انتقال آب ٧٠

٥-٣-٦- قید برداشت از آب زیرزمینی ٧١

٥-٣-٧- قید پیوستگی ٧٥

٥-٤- ارائه مدل تصمیم‌گیریِ چندمعیاره ٧٥

٥-٤-١- برنامهٔ محاسبهٔ مقادیر ماکزیمم و مینیمم توابع هدف ٧٦

٥-٤-٢- برنامهٔ اصلیِ تصمیم‌گیریِ چندمعیاره ٨٠

عنوان | صفحه

فصل ششم: نتایج حل مدل

۶-۱- خلاصهٔ فصول قبل ۸۳

٦-۲- ارائهٔ نتایج ۸٤

٦-۳- تحلیل نتایج ۹۳

٦-٤- پیشنهادات برای ادامهٔ کار ۹۹

مراجع ۱۰۱

پیوست «الف» ۱۰۵

پیوست «ب» ۱۰۹

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: سرانهٔ منابع آب تجدیدپذیر در ایران ۷

شکل ۲-۱: ناحیهٔ امکان‌پذیر در مثال ۱ ..... ۱٤

شکل ۲-۲: ناحیهٔ امکان پذیر در مثال ۲ ..... ۱۵

شکل ۲-۳: ناحیهٔ نتیجه در مثال ۲ ..... ۱٦

شکل ۲-٤: ناحیهٔ غیرمغلوب در مثال ۳ ..... ۱۷

شکل ۲-۵: قاعدهٔ محدودیت دهی ۲۰

شکل ۲-٦: روش وزن‌دهی ۲۱

شکل ٤-۱: جمعیت کاشان در طول سالهای ۱۳۷۵- ۱۳۳۵ ..... ٤٤

شکل ٤-۲: نمودار شماتیک رشد مصرف سرانهٔ آب ۵۲

شکل ۵-۱: تعیین میزان برداشت مطمئن به روش Hill ۷۲

شکل ٦-۱: سهم بهینهٔ منابع مورد نظر در سناریوی «الف»
با درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪۱۰۰ ..... ۸۵

شکل ٦-۲: سهم بهینهٔ منابع مورد نظر در سناریوی «ب»
با درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪۱۰۰ ..... ۸٦

شکل ٦-۳: سهم بهینهٔ منابع مورد نظر در سناریوی «ج»
با درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪۱۰۰ ..... ۸۷

شکل ٦-٤: سهم بهینهٔ منابع مورد نظر در سناریوی «د»
با درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪۱۰۰ ..... ۸۸

شکل ٦-۵: سهم بهینهٔ منابع مورد نظر در سناریوی «الف»
با درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪۵۰ ..... ۸۹

شکل ٦-٦: سهم بهینهٔ منابع مورد نظر در سناریوی «ب»
با درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪۵۰ ..... ۹۰

عنوان **صفحه**

شکل ٦-٧: سهم بهینهٔ منابع مورد نظر در سناریوی «ج»

با درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪٥٠ ..... ٩١

شکل ٦-٨: سهم بهینهٔ منابع مورد نظر در سناریوی «د»

با درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪٥٠ ..... ٩٢

شکل ٦-٩: بهترین، بدترین و مقادیر بهینهٔ اهداف سه‌گانه (هزینه، کیفیت و برداشت از خط لوله)

در سناریوی «الف» و درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪١٠٠، $P=1$ ٩٥

شکل ٦-١٠: بهترین، بدترین و مقادیر بهینهٔ اهداف سه‌گانه (هزینه، کیفیت و برداشت از خط لوله)

در سناریوی «الف» و درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪١٠٠، $P=\infty$ ٩٦

شکل ٦-١١: بهترین، بدترین و مقادیر بهینهٔ اهداف سه‌گانه (هزینه، کیفیت و برداشت از خط لوله)

در سناریوی «الف» و درنظر گرفتن اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪١٠٠، $P=2$ ٩٧

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: روند افزایش جمعیت و استفاده از آب در جهان ۵

جدول ۱-۲: کمبود آب در برخی کشورها در سال ۱۳۷۰ ..... ٦

جدول ۱-۳: جمعیت تحت تنش بحران‌های آبی در سال ۱۹۹۵ و در آینده (۲۰۲۵) ٦

جدول ۱-۴: جمعیت تحت تنش ناشی از کمبود آب شرب ۷

جدول ۳-۱: جمعیت شهر کاشان طی ۵ سرشماری اخیر ۳۵

جدول ۴-۱: جمعیت شهر کاشان طی ۵ سرشماری اخیر ٤٤

جدول ۴-۲: پیش‌بینی جمعیت کاشان و نرخ رشد آن در طول سالهای ۱۴۱۰ – ۱۳۸۲ ..... ٤٥

جدول ۴-۳: مصرف سرانه خانگی کاشان در طول سالهای ۱۳۶۵-۱۳۷۰ ..... ۵۰

جدول ۴-۴: مقدار مصرف شش ماهه اول سال ۱۳۷۰ شهر به تفکیک نوع مصرف بر حسب متر مکعب ۵۱

جدول ۴-۵: توصیهٔ استاندارد در مورد مصارف خانگی برحسب لیتر در روز بازای هر نفر (تا سال ۱۳۹۰) ۵۴

جدول ۵-۱: مقادیر ماکزیمم و مینیمِ توابع هدف (اثر نشت و پسابِ پریود قبل معادل ٪۱۰۰) ۷۸

جدول ۵-۲: مقادیر ماکزیمم و مینیمِ توابع هدف (اثر نشت و پساب پریود قبل معادل ٪۵۰) ۷۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

مهندسی سیستم‌ها، هنر و علم انتخاب گزینه‌ای از بین گزینه‌های موجود است که به بهترین وجه، اهداف کلی را با توجه به قیودات قانونی، اقتصادی، فنی، منابع، سیاسی و اجتماعی تأمین کند. از مهم‌ترین وظایف یک مدیر، بدلیل محدود بودن منابع، تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی فعالیت‌ها در یک سیستم، به‌منظور رسیدن به اهداف معین می‌باشد.

سیستم، مجموعه‌ای از عواملی است که با هم مرتبط بوده و به شکل خاصی عمل می‌کنند. چون نمی‌توان کلیهٔ مؤلفه‌های سیستم را که بصورت ارگانیک با هم در ارتباط‌اند جدا کرد، باید به مجموعهٔ آنها بطور یکجا به‌عنوان یک سیستم نگاه کرد . در مدیریت یک سیستم، مقدار سرمایه، نیروی کار، ماشین‌آلات، مواد اولیه، فضای انبارها، وسائل حمل ونقل و غیره محدود می‌باشند. این محدودیت‌ها هستندکه باعث می‌شوند مدیر، مجبور به اخذ تصمیم شود و یا به‌عبارتی دیگر یک راهکار را از میان راهکارهای مختلف، به‌منظور رسیدن به هدف، مشخص نماید. حال مسأله این است که باید

دید، یک مدیر برای رسیدن به اهداف خود چگونه تصمیماتی را اتخاذ می‌کند تا به مطلوب نهائی در چارچوب محدودیت‌های موجود نایل آید. بنظر می‌رسد که در مرحلهٔ اول، مدیر باید موضوع مورد تصمیم‌گیری را به‌عنوان یک مسأله در نظر بگیرد و آن مسأله را به روشی اصولی تدوین و حل نماید. این مهم، یعنی روش اصولی تدوین و حل مسایل تصمیم‌گیری، بوسیلهٔ تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی در قالب سیستم‌های مدرن ارائه شده است. در تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی ریاضی، بیشترِ تصمیمات در حالت اطمینان یا نزدیک به اطمینان اخذ می‌شوند. اطلاعات راجع به منابع در دسترس و رابطهٔ بین متغیرها معلوم است، بنابراین تصمیماتی که اخذ می‌گردند ما را به جواب مطلوب یا تقریباً مطلوب می‌رسانند.

در حقیقت برنامه‌ریزی ریاضی را می‌توان بنام علم مدیریت و تصمیم‌گیری مهندسی نامید. وظیفهٔ این علم همانا عبارتست از یافتن راه‌حل برای مسایل مدیریت. روش مشخصِ آن، این است که با مسایل مدیریت برخوردی همانند مسایل علمی بعمل آید. به این علمِ مدیریت، «تحقیق در عملیات»[1] گفته می‌شود.

تحقیق در عملیات، علم مدیریت کمّی است و اساس آن نیز عوامل کمّی بوده و دلایل آن نیز بر جنبه‌های علمی استوار است. همانطور که گفته شده، کاربرد این علم باعث صرفه‌جوئی در هزینه‌ها یا ارائه خدمات مناسب‌تر خواهد بود. ذکر این نکته جالب است که علم تحقیق در عملیات، قادر به پیدا کردن راه‌حل مشکلات در هر زمینه از قبیل مسایل صنعتی، تجاری و حتی امور مملکتی و دولتی می‌باشد، بطوریکه امروزه در بسیاری از کشورهای صنعتی، از بعضی روش‌های موجود در آن برای برنامه‌ریزی و بستن بودجهٔ سالیانه استفاده می‌گردد [۱].

1- Operation Research

۱-۲- تاریخچهٔ علم تحقیق در عملیات [۱]

آغاز تاریخ مدیریت مهندسی و تحقیق در عملیات به اوایل جنگ جهانی دوم می‌رسد. در سال ۱۹٤۰ میلادی، ارتش انگلیس مجمعی از دانشمندان به سرپرستی پروفسور «بلاکت»[1] (برنده جایزهٔ نوبل در فیزیک) تشکیل داد که در تعدادی از مسایل تصمیم‌گیری پیچیدهٔ نظامی تحقیق نمایند. این گروه شامل محقّقینی در زمینه‌های فیزیک، ریاضی، روان‌شناسی، آمار، فیزیک نجومی، افسران عالی‌رتبه و محققین ارتش بودند. این دانشمندان توانستند چنان مسایل پیچیده‌ای را بررسی نمایند که حل آن توسط تک‌تک آنها غیرعملی بود. این گروه در پیدا کردن راه‌حل مسایل استراتژیکی و تاکتیکی از طریق علمی، فوق‌العاده موفق شدند. موفقیت چشم‌گیر این گروه باعث شد که گروه‌های مشابه در سایر سازمانهای ارتش انگلیس به‌فاصلهٔ کمتر از دو سال پس از شروع جنگ تشکیل گردد. پس از آن، دولت آمریکا گروه‌های مشابهی مرکّب از دانشمندان مختلف در تمام شاخه‌های نظامیِ خود بوجود آورد. بدون شک، نتایج تحقیقات این گروه‌ها فوق‌العاده مؤثّر و درخشان بود که از آن‌جمله‌اند: پیروزی جنگ هوائی انگلیس، جنگ شمال آتلانتیک، برنامه‌های تاکتیک دفاعی علیه عملیات کامی‌کازی و همچنین تصمیم‌گیری در زمینه منسلح‌نمودن کشتی‌های تجاری با سلاح‌های ضدهوائی.

براساس نتایج آشکار و موفقیت‌آمیز تحقیق در عملیات در امور جنگ، پای صنعت نیز بتدریج در این رشتهٔ جدید کشیده شد. بعلّت پیشرفت صنعت بعد از جنگ جهانی دوّم، پیچیدگی و تخصّص آن باعث شد تا نیاز فراوانی به تحقیق در عملیات احساس گردد. ضمناً گروه‌های تحقیق در عملیات متوجه شدند که همان مسایلی که در جنگ مطرح بوده، به بیان دیگر در امور مهندسی، صنعتی، تجاری و دولتی نیز وجود دارند؛ لذا میدان وسیعی برای رشد این علم گشوده شد. حداقل دو عامل دیگر را می‌توان نام برد که نقش کلیدی در رشد سریع علم تحقیق در عملیات در این دوره داشته‌اند.

1- Blackett

اولین عامل، تکنیک‌هائی بود که در اختیار تحقیق در عملیات قرار گرفت. بعد از جنگ، بسیاری از دانشمندانی که در اختیار گروه‌های تحقیق بودند و یا آنهائی که در مورد این علم جدید مطالبی شنیده بودند، برای هنرنمائی و پیشتاز بودن در تئوری‌های این علم، نبوغ خود را بکار گرفتند. دیری نپائید که روش‌های استانداردی در زمینه‌های دیگر تحقیق در عملیات، نظیر برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی پویا، مدل‌های احتمالی و ... قبل از سال ۱۹۵۰ میلادی عرضه گردیدند. عامل دیگری که باعث رشد سریع این علم گردید، پیشرفت محیّرالعقول کامپیوتر بود. مسایل پیشرفته و مشکلی که عموماً تحقیق در عملیات با آنها سروکار دارد نیازمند انجام محاسبات فوق‌العاده زیادی است. اغلب اوقات، انجام این عملیات به روش دستی اصلاً امکان ندارد، در نتیجه با توسعه کامپیوترها انفجار عجیبی در شکوفائی این علم جدید بوجود آمد.

بطور کلّی سابقهٔ تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی به تئوری‌های معادلات و نامعادلات خطی و غیرخطی می‌رسد. جُرج دانتزیگ[1] که به‌عنوان پدر برنامه‌ریزی خطی شناخته شده است، برای اولین بار در دههٔ ۱۹٤۰ شروع به جستجوی تکنیک‌هائی برای حل مسایل و برنامه‌ریزی‌های نظامی نمود [۲]. تحقیقات وسیعی توسط جی فان نیومن[2]، هارویز[3] و کوپمن[4] ادامه یافت که به برنامه‌ریزی خطی منتج گردید. از سال ۱۹٤۸ دیگران نیز شروع به بسط تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی نمودند؛ ازجمله کارنس[5] و کوپر[6] که نقش مهمی را در توسعهٔ کاربرد برنامه‌ریزی خطی در مسایل صنعتی داشتند. ازجمله تحقیقات این دو نفر، روشی در برنامه‌ریزی بود که به‌منظور حل مسایل حل‌نشدنی برنامه‌ریزی خطی ابداع شد؛ ایشان این روش را برنامه‌ریزی هدف نامیدند. توضیح بیشتر در مورد این روش در فصل دوم آمده است.

1- George B. Dantzig
2- J. Von. Neuman
3- L. Hurwiez
4- T. C. Koopmans
5- A. Charnes
6- W. W. Cooper

۱-۳- آب شیرین، یک منبع محدود

آب منبعی اساسی و عنصری ضروری برای فعالیت‌های محیطی و اجتماعی است. همانطور که می‌دانیم آب شیرین درصد بسیار کمی از منابع آب کرهٔ زمین را تشکیل می‌دهد. از طرفی تمامی این آبِ شیرین نیز در چرخه طبیعی آب شرکت نمی‌کند و با وجود یخچالها و پوشش‌های برفی، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، مخازن و سفره‌های آب زیرزمینی کمتر از یک‌سوّم کل آب شیرین را تشکیل می‌دهند [۳]. مناطق خشک ونیمه‌خشک، مناطق متغیری با تنوع اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و مسائل محیطی هستند و ویژگی معمول آنها کمبود آب در زمانهای معین است. خطر رفتار با مناطق خشک به‌عنوان یک منطقهٔ ساده جغرافیائی این است که یک تجربه و آزمایش در یک منطقهٔ خشکِ معمولی، ممکن است بطور غیرمناسبی برای دیگر مناطق خشک با خصوصیات متفاوت بکار رود.

استفاده بشر از آب شیرین در قرن گذشته رشد زیادی داشته است. این افزایش مصرف آب رابطهٔ تنگاتنگی با انقلاب صنعتی (که طلیعهٔ دوران رشد بی‌سابقهٔ جمعیت، مصرف و استفاده از آب بوده است) داشته است. با توجه به جدول ۱-۱ ملاحظه می‌شود که مجموع آب مصرفی از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۰ پنج برابر شده است و این امر به‌علّت افزایش جمعیت و افزایش سهمیهٔ سرانه هر فرد در سال بوده است. از سال ۱۹۵۰ به‌بَعد، جمعیت کرهٔ زمین و مصرف آب بیش از دو برابر شده است. هزاران نوع استفاده انسانی و طبیعی از آب شیرین وابسته به سیکل طبیعی آب است[٤].

جدول ۱-۱: روند افزایش جمعیت و استفاده از آب در جهان [۳]

سال	۱۹۰۰	۱۹۵۰	۱۹۹۰
جمعیت (میلیارد نفر)	۱/٦	۲/۵	۵/۳
میزان سرانه آب (متر مکعب در سال)	۳٦۰	۵٤۰	۵۷۰
میزان سرانه کل (کیلومتر مکعب در سال)	٦۰۰	۱٤۰۰	۳۰۰۰

با توجه به جدول ۱-۲ ملاحظه می‌شود که تفاوت و فاصله بین رشد جمعیت و مصرف کل آب در سال‌های آخر قرن بیستم افزایش یافته است. به همین دلیل کمبود آب برای بعضی از کشورها امری حیاتی شده است. مسأله مهم دیگر، مشکلاتی است که در آینده پیش‌روی کشورهاست. جدول ۱-۳، میزان جمعیت تحت تنش کمبود آب را برای سال ۱۹۹۵ و پیش‌بینی سال ۲۰۲۵ را آورده است.

جدول ۱-۲: کمبود آب در برخی کشورها در سال ۱۳۷۰، [۵]

کشور	کمبود آب (میلیارد متر مکعب)
هند	۱۰۴
چین	۳۰
آمریکا	۱۳/۶
عربستان	۶
حداقل کمبود برای دنیا	۱۶۳/۶

جدول ۱-۳: جمعیت تحت تنش بحران‌های آبی در سال ۱۹۹۵ و در آینده (۲۰۲۵)، [۵]

منطقه	سال ۱۹۹۵ (میلیون نفر)	سال ۲۰۲۵ (میلیون نفر)	ضریب افزایش
آفریقا	۲۹۵	۹۰۸	۳/۱
آسیا	۸۶	۱۹۵۷	۲۲/۸
خاورمیانه	۸۶	۱۸۵	۱/۲
کل دنیا	۴۶۷	۳۰۵۰	۶/۵

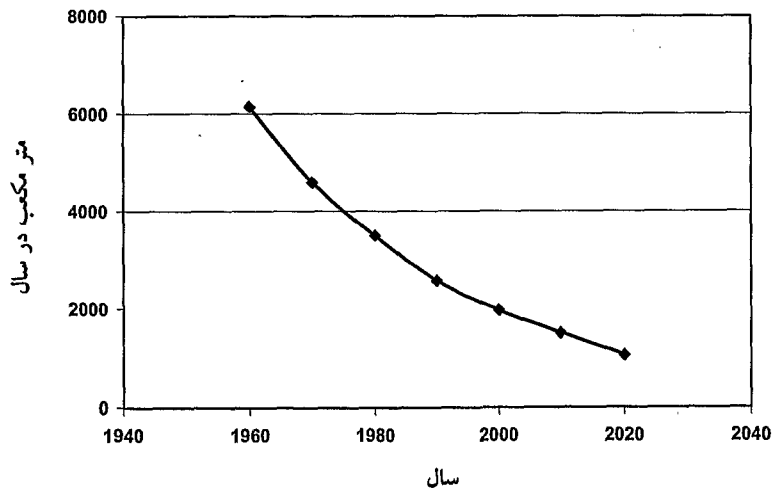
علاوه بر مشکل تأمین آب کافی بهداشتی، تأمین آب شرب سالم یکی دیگر از مشکلات مدیریت آب در کشورها می‌باشد. به‌عنوان نمونه می‌توان به تحقیق آقای گلیک[1] در سال ۱۹۹۸ (جدول ۱-٤) اشاره کرد. رقم یک میلیارد نفر برای افرادی که تحت تنش‌های ناشی از عدم دسترسی به آب شرب سالم قرار دارند قابل توجه می‌باشد. بررسی وضعیت بحران

1- Gleick

جدول ۱-٤: جمعیت تحت تنش ناشی از کمبود آب شرب [٥]

منطقه	سال ۱۹۸۰ (میلیون نفر)	سال ۱۹۹۴ (میلیون نفر)
آفریقا	۲۴۳	۳۸۱
آمریکای لاتین و مناطق کارائیب	۱۰۹	۹۷
آسیا و اقیانوسیه	۱۴۷۳	۶۳۷
کل دنیا	۱۸۲۵	۱۱۱۵

آب در کشور ایران نیز نشانگر آن است که بخاطر رشد بی‌رویهٔ جمعیت و مصرف آب، در آیندهٔ نه‌چندان دور، مشکلات عدیده‌ای در حل مسایل آب، بخصوص آب شهری خواهیم داشت. ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک است و میانگین بارش آن در حدود ۲۵۰ میلیمتر در سال است. این مقدار، درحدود ۳۰٪ میانگین بارش سالانه در دنیاست. رشد سریع جمعیت، باعث کاهش میزان سرانه آب تجدیدپذیر شده است. این روند نزولی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. با توجه به روند مزبور، ایران در سال ۲۰۲۵ در ردیف کشورهای بحرانی از نظر آب قرار خواهد گرفت. استفاده و سوء استفاده از آب در یک محل اثرات وسیعی بر تغییرات مخازن آب پائین‌دست، قابلیت اعتماد، کاهش کیفیت آب و اکوسیستم‌های آبزی دارد. با افزایش رقابت بر سر مصرف منابع محدود آب، کیفیت آب اغلب کاهش می‌یابد و بقای



شکل ۱-۱: سرانهٔ منابع آب تجدیدپذیر در ایران