

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMİ MODELLENMESİNDE
TASARIM OPTİMİZASYONU**

**DOKTORA TEZİ
Ayşenur USLU**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**OCAK 2015
SAMSUN**



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMİ MODELLENMESİNDE
TASARIM OPTİMİZASYONU

DOKTORA TEZİ

Ayşenur USLU
(07210550)

Tezin Savuma Tarihi : 21.01.2015

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülfem BAKAN

Bu Doktora Tez alışması Ondokuz Mayıs Üniversitesi
PYO.MUH.1904.11.016' nolu Proje ile Desteklenmiştir.

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında

Ayşenur USLU Tarafından Hazırlanan

İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMİ MODELLEMESİNDE

TASARIM OPTİMİZASYONU

**başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 21/01/2015 tarihinde yapılan sınav ile
DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.**

Başkan : Prof. Dr. Gülfem BAKAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Hülya BÖKE ÖZKOÇ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Aziz ŞİŞMAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Doç.Dr. Semra ÇORUH
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Doç.Dr. Selim SANİN
Hacettepe Üniversitesi

....../....../2015

Prof. Dr. Hüseyin DEMİR

Enstitü Müdürü

Çok kıymetli aileme,

ÖNSÖZ

Doktora çalışmalarım sırasında, yardımlarını ve zamanını hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmalarımın her aşamasında değerli önerileri ve eleştirileri ile beni yönlendiren Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Gülfem BAKAN'a,

Tezimin yürütülmesi sırasında hiç sıkılmadan sorularımı cevaplayan, sundukları çözüm yöntemleriyle çalışmalarımı kolaylaştıran değerli hocalarım Sayın Doç.Dr.Hülya ÖZKOÇ ve Sayın Yrd.Doç.Dr. Aziz ŞİŞMAN'a,

Tezin veri toplama ve saha çalışmaları aşamalarında bana zaman ayırarak desteklerini esirgemeyen Ondokuz Mayıs ilçe Belediyesi Çevre Mühendisi Sayın Tolga Erel ve Fen İşleri Müdürlüğü personeli Sayın Yavuz Çuhadar'a,

Yıllardır birlikte çalıştığım, çok sevdiğim ve saydığım çevre mühendisliği bölümü öğretim üyelerine ve dostluklarını ve yardımseverliklerini her zaman hissettiğim asistan arkadaşlarıma,

İş hayatı, akademik hayat ve sosyal hayatta karşılaştığım her zorlukta büyük fedakarlıklarla beni destekleyen, maddi ve manevi anlamda her zaman yanımda olan, verdiğim tüm kararlarda arkamda duran canım annem Cihan Uslu'ya, canım babam Osman Uslu'ya ve

Gerek işyerinde gerekse evde hayatımı kolaylaştıran, mutluluğumu ve üzüntülerimi paylaşan, gergin anlarımda beni neşelendiren onsuz bir hayat düşünemediğim, hayatıma girdiği andan itibaren Allah'a devamlı şükrettiğim canım güzel kardeşim Arş. Grv. Gül Uslu'ya,

Sonsuz teşekkürü bir borç bilirim...

Ocak 2015

Ayşenur USLU
(İnşaat Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMİ MODELLEMESİNDE TASARIM OPTİMİZASYONU	xv
DESIGN OPTIMISATION OF POTABLE WATER DISTRIBUTION SYSTEM MODELS.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 İçme Suyu Dağıtım Sistemlerine Genel Bakış.....	3
2.1.1 İçilebilir su kaynakları ve kullanıcıları	4
2.1.2 İletim olanakları ve şebeke analizleri.....	7
2.1.3 İçme suyu dağıtım sistemi hidroliği ve şebeke analizleri	9
2.1.3.1 Yük kaybı denklemleri.....	9
2.1.3.2 Şebeke çözüm teknikleri	11
2.2 Su Dağıtım Sistemlerinin Modellenmesi	17
2.2.1 Model bileşenleri.....	18
2.2.1.1 Boru şebekesi girdileri	19
2.2.1.3 Topoğrafik girdiler	31
2.2.1.4 Model kontrol girdileri.....	31
2.2.1.5 Çözüm parametreleri.....	31
2.2.2 Model seçimi ve uygulanması kriteri.....	32
2.3 Su Dağıtım Sistemi Benzeşimi	33

2.3.1	Kararlı hal benzeşimleri	33
2.3.2	Uzatılmış süre benzeşimleri	33
2.4	Su Dağıtım Sistemi Modellerinin Uygulama Alanları.....	35
2.5	Su Dağıtım Sistemleri için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Teknolojisi	37
2.5.1	Coğrafi bilgi sisteminde (CBS) temel kavramlar	38
2.5.2	CBS'nin model oluşturmadaki önemi	41
2.6	Su Dağıtım Sistemleri için Kalibrasyon ve Optimizasyon	42
2.6.1	Hidrolik kalibrasyon.....	43
2.6.1.1	Modellemedeki hata kaynakları	51
2.6.1.2	Kalibrasyon için önerilen yöntemler	54
2.6.2	Model Optimizasyonu	55
2.6.2.1	Optimizasyon terminolojisi	56
2.7	Su Dağıtım Sistemi Modellemesinde Kullanılan Yazılımlar.....	58
2.8	Literatür Araştırması	68
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	76
3.1	Çalışma Alanı.....	76
3.1.1	19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sistemi mevcut durumu	78
3.2	CBS Tabanlı 19 Mayıs İlçesi İçmesuyu Şebekesi Bilgi Sistemi	81
3.2.1	Sistemin oluşturulmasında karşılaşılan sorunlar	82
3.2.2	İçmesuyu şebekesi bilgi sistemi işlem adımları	82
3.3	İçmesuyu Dağıtım Sistemi Modelinin Oluşturulması.....	86
3.3.1	Şebeke bileşenlerinin modele girilmesi	87
3.3.2	Şebekede su kullanım (harcama) girdisi tanımlama	90
3.3.3	Topoğrafik girdiler (İçmesuyu dağıtım sistemi düğüm noktası yüksekliklerinin tahmini)	91
3.3.4	Model kontrol girdileri ve çözüm parametreleri	92
3.3.5	Şebeke modelinin kararlı durumda ilk analizi	94
3.4	İçmesuyu Dağıtım Sistemi Modelinin Kalibrasyonu	94
3.5	Modelleme Senaryoları ile Sistem Performans Analizi	101
4.	BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	103
4.1	Modelin ilk analiz sonuçları.....	103
4.2	İçmesuyu Dağıtım Sistemi Modelinin Kalibrasyon Sonuçları.....	107

4.2.1	Hassaslık analizi sonuçları	108
4.2.2	Pürüzlülük katsayılarının mikro kalibrasyon sonuçları.....	109
4.3	İçmesuyu Dağıtım Sistemi Modelleme Senaryoları	112
4.3.1	Maksimum günlük su harcaması durumu senaryosu	112
4.3.2	Maksimum saatlik su harcama durumu senaryosu.....	115
4.3.3	Yangın debisi durumu senaryosu	117
4.3.4	Sistemin eksikliklerinin giderilmesine yönelik uygulamalar	121
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	125
	KAYNAKLAR	133
	ÖZGEÇMİŞ.....	141

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Su tüketimini etkileyen faktörler	7
Çizelge 2.2 Boru yük kaybı hesabında kullanılan hız formülleri	11
Çizelge 2.3 Genel su dağıtım sistemi modelleme elemanları	20
Çizelge 2.4 CBS Konusunda Yaşanan Sorunlar	40
Çizelge 2.5 Borular için boru pürüzlülük değerleri	46
Çizelge 2.6 Optimizasyon modeli oluşturma prosesi	57
Çizelge 2.7 Su dağıtım sistemleri modelleme yazılımları	67
Çizelge 2.8 Anormal durumlar altında geleneksel yöntem ve PDD yönteminin benzeşim sonuçlarının karşılaştırılması	72
Çizelge 3.1 19 Mayıs ilçesi içmesuyu temin kaynakları	79
Çizelge 3.2 Ölçüm noktalarına (yangın hidrantları) ait koordinatlar.....	96
Çizelge 3.3 Yangın hidrantı debisi test sonuçları	99
Çizelge 3.4 Sistem boru grupları	100
Çizelge 4.1 Sistemin dengeye ulaştığı iterasyon sayısı ve göreceli debi değişim değerleri	104
Çizelge 4.2 İlk analiz sonucu negatif basınca sahip model düğüm noktaları	104
Çizelge 4.3 İlk analiz sonucu 100 m’lik basınçtan büyük basınca sahip düğüm noktaları ve basınç değerleri (16 atü’lük borular üzerinde bulunuyor)	105
Çizelge 4.4 İlk analiz sonucu minimum işletme basıncından (20 m) düşük basınca sahip düğüm noktaları ve basınç değerleri.....	107
Çizelge 4.5 Gruplara göre belirlenmiş farklı boru pürüzlülük değerlerine karşı model hassaslık analiz sonuçları	110
Çizelge 4.6 Yangın debisi testlerinin kararlı hal kalibrasyon sonuçları	111
Çizelge 4.7 Kalibre edilmiş Hazen-Williams C pürüzlülük katsayıları.....	111
Çizelge 4.8 Önerilen kararlı durum senaryoları.....	113
Çizelge 4.9 Maksimum günlük su tüketimi ve en kötü durum senaryosu için kabul edilen depolardaki su seviyeleri	114

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 İçme suyu temini ve dağıtım sistemi	3
Şekil 2.2 Türkiye su kaynakları ve kullanılabilir durumu	5
Şekil 2.3 Boru-Düğüm Bağlantıları	8
Şekil 2.4 Hidrolik ve su kalitesi modellerinin gelişim süreci	18
Şekil 2.5 Modelleme prosesi akış diyagramı	19
Şekil 2.6 Su dağıtım sisteminde basit bir düğüm noktası-bağlantı elemanları gösterimi.....	21
Şekil 2.7 Önemli depo yükseklikleri.....	22
Şekil 2.8 Yüzen, basınçlı ve pompalı depolar arasındaki ilişki	23
Şekil 2.9 Bağlantı noktası için yükseklik seçimleri	24
Şekil 2.10 Boruda korozyon ve tortu oluşumu	25
Şekil 2.11 Bağlantı elemanı olarak gösterildiğinde gerçek pompa ve modellenmiş pompa arasındaki fark	26
Şekil 2.12 Düğüm elemanı olarak gösterildiğinde gerçek pompa ve modellenmiş pompa arasındaki fark	26
Şekil 2.13 Maksimum su kullanımı anında şebekede basınç.....	28
Şekil 2.14 Maksimum su kullanım zamanları dışında şebekedeki basınç	28
Şekil 2.15 Su tüketim noktalarının ilgili düğüm noktalarına birleştirilmesi.....	30
Şekil 2.16 Hidrolik modelin sürekliliği	42
Şekil 2.17 Temiz su iletim ve dağıtım şebekeleri uzaktan izleme ve kontrol sistemleri	48
Şekil 2.18 Yangın hidrantı debi testi.....	50
Şekil 2.19 Konumsal tüketim dağılımı	52
Şekil 2.20 EPANET yazılımı ile oluşturulmuş basit bir su dağıtım sistem modeli analiz sonuçları ekran görüntüsü.....	59

Şekil 2.21 H ₂ ONET yazılımı ile oluşturulmuş su dağıtım şebeke modeli analiz sonuçları ekran görüntüsü	60
Şekil 2.22 CROSS yazılımının CROSSPLAN modülü ile oluşturulmuş su dağıtım şebeke modeline ait inşaat planları	62
Şekil 2.23 WaterCAD yazılımına ait modüller.....	63
Şekil 2.24 MIKE URBAN yazılımı su dağıtım şebekesi otomatik haritalandırılmış basınç bölgesi.....	65
Şekil 2.25 Sistemdeki su basıncının yetersiz kaldığı bölgeler.....	68
Şekil 2.26 Acil durum halinde üç gün süresince toplam debi değişimi.....	70
Şekil 2.27 Düğüm debisi minimum 40 m basıç yükü ile temin edilen örnek sistem.	71
Şekil 2.28 Kalibre edilmiş modelde ölçülmüş ve benzeştirilmiş basınç arasındaki ilişki.....	73
Şekil 2.29 Gánovce Belediyesi içmesuyu şebekesindeki sızıntı dağılımı	74
Şekil 2.30 Fuar alanı içmesuyu dağıtım sistemi modeli kirletici yayılım analiz sonuçları.....	75
Şekil 3.1 Çalışma alanını gösterir harita	76
Şekil 3.2 19 Mayıs ilçesi yerleşim yeri krokisi.....	78
Şekil 3.3 19 Mayıs ilçesi ana depo ve filtrasyon üniteleri	79
Şekil 3.4 19 Mayıs İlçesi içmesuyu şebeke krokisi (2014) (T: Terfi, D:Depo, K: Kuyu)	80
Şekil 3.5 NetCAD ortamında bulunan 19 Mayıs ilçesine ait imar planı	83
Şekil 3.6 19 Mayıs ilçesi raster verileri ve üzerinde sayısallaştırılmış su şebeke sistemi	84
Şekil 3.7 Özelliğe bağlı sorgulama (Mutlu Sokak'tan geçen, yangın hidrantı olan ve vanası açık olan borunun sorgulanması - Sorgulama sonucu bulunan boru yeşil renkte görülmektedir).....	86
Şekil 3.8 Proje seçenek özelliklerinin tanımlanması	87
Şekil 3.9 CBS ortamından şebeke elemanları modele dönüştürülürken MIKE URBAN Import/Export Wizard kullanımı.....	88
Şekil 3.10 CBS ortamından modele dönüştürülmüş boru/düğüm noktası katmanları	88
Şekil 3.11 19 Mayıs ilçesi su dağıtım sistemi modeli depo yerleri	89
Şekil 3.12 Pompa karakteristik eğrilerinin modele girilmesi	90
Şekil 3.13 Toplam şebeke su kullanımının düğüm noktalarına otomatik dağıtılması	92

Şekil 3.14 Düğüm noktası yüksekliğini belirlemek için 19 Mayıs ilçesi SAM üzerine bindirilen su dağıtım sistemi düğüm noktası tabakası	93
Şekil 3.15 Kararlı durumda analizi sonrası rapor penceresi	94
Şekil 3.16 Kalıntı hidranta basınç ölçerin yerleştirilmesi ve basınç değerinin okunması	97
Şekil 3.17 Akım hidrantına debiölçerin yerleştirilmesi, hidrantın açılması ve değerlerin okunması.....	98
Şekil 3.18 Akım hidrantı açıldıktan sonra kalıntı hidranttaki basınç değişimlerinin ve nihayi basıncın gözlenmesi	98
Şekil 3.19 Ölçümlerin gerçekleştirildiği düğüm noktaları.....	99
Şekil 3.20 Seçilen beş noktadaki ölçülmüş basınç değerlerinin tanımlanması.....	101
Şekil 4.1 İlk analiz sonucu negatif basınç değerlerinin elde edildiği düğüm noktaları	104
Şekil 4.2 İlk analiz sonucu şebeke modeli düğüm noktalarında basınç dağılımını gösterir harita	106
Şekil 4.3 100 m’lik basınçtan büyük basınca sahip model düğüm noktalarının yerleri	107
Şekil 4.4 Kalibrasyon sonrası statik basınç ve kalıntı basınçlarda model ve ölçüm sonuçları arasındaki % farklar (ϵ)	112
Şekil 4.5 Maksimum günlük su tüketimi benzeşimi için debilerin ayarlanması	114
Şekil 4.6 Maksimum günlük su kullanımında basınç dağılım yüzdesi.....	115
Şekil 4.7 Maksimum saatlik su tüketimi benzeşimi için pompaların devredışı bırakılması.....	116
Şekil 4.8 Maksimum saatlik tüketimde basınç dağılım yüzdesi	117
Şekil 4.9 Tasarım yangın debisini (her düğümde 1900 l/dk) tanımlama editörü.....	119
Şekil 4.10 Yangın debisi kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan analiz seçeneği	120
Şekil 4.11 Yangın debisinin çekilmesi durumunda negatif basınç değerlerinin oluştugu model düğüm noktaları.....	120
Şekil 4.12 Negatif basınç değerlerinin olduğu model düğüm noktalarında basıncın artırılmasına yönelik yapılması önerilen iyileştirmeler	121
Şekil 4.13 Modellenen sistemde basınç azaltıcı vana (PRV) tanımlaması.....	123
Şekil 4.14 Maksimum günlük su tüketimi anında PRV olması durumunda basıncı 80m’den fazla olan yerler	123

Şekil 4.15 Maksimum günlük su tüketimi anında basınç azaltıcı vana kullanılması durumunda modellenen sistemde basınç dağılım yüzdesi	124
Şekil 4.16 Model senaryolarından elde edilmiş basınç dağılımlarının karşılaştırılması	124

KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
WD	: Water Distribution
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
PRV	: Pressure Reducing Valve
mss	: metre su sütunu
L	: Length
T	: Time
CAD	: Computer Aided Design
DHI	: Danish Hydraulic Institute
GPS	: Global Positioning System
AÇB	: Asbest Çimento Boru
PVC	: Polivinil Klorür
AWWA	: Amerikan Water Works Association
KBS	: Kent Bilgi Sistemi
ABS	: Altyapı Bilgi Sistemi
DEM	: Digital Elevation Model
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
EPA	: Environmental Protection Agency

İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMİ MODELLEMESİNDE TASARIM OPTİMİZASYONU

ÖZET

Gerçek bir içmesuyu dağıtım sistemi içinde oluşabilecek durumların sistem inşaatının başlatılmasından önce tam anlamıyla kestirilememesi projelendirilen sistem hizmete sunulduğunda dönüşü olmayan hatalara yol açmaktadır. Bu nedenle su sistemi tasarımcılarına, işletmenlerine ve yöneticilerine yardımcı olmak için zamanla su dağıtım sistemi modellemesi aracı geliştirilmiştir. Su dağıtım sistemleri için hidrolik modellemenin ana hedefi dağıtım sistemi performansını yeteri derecede benzeştiren bir model geliştirmek ve korumaktır.

Tez çalışması kapsamında, Samsun ili 19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sisteminin yeterliliği, modelleme yazılımı kullanılarak hidrolik açıdan irdelenmiştir. İlk aşamada mevcut sistemle ilgili bilgi toplanmış ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak içmesuyu dağıtım sistemi veritabanı oluşturulmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında, gerçek sistemin şebeke bileşenleri MIKE URBAN WD su dağıtım sistemi yazılımı aracılığıyla coğrafi bilgi sistemi veritabanından modele aktarılmış, su tüketim girdisi ve topoğrafik girdiler tanımlanmıştır. Üçüncü aşamada model sonuçları saha gözlemleriyle karşılaştırılmış ve model giriş parametreleri kalibre edilmiştir. İlçedeki içmesuyu dağıtım sistemi davranışının izlenmesine yönelik SCADA veya Telemetri sistemi olmadığından gerçek sisteme ait bilgi edinme işlemi yangın hidrantı debi testleri ile mümkün olmuştur. Gerçek sistem üzerinde 5 farklı bölgeden ölçüm alınmıştır. Çalışmanın dördüncü aşamasında kalibre edilmiş 19 Mayıs ilçesinin içmesuyu dağıtım sistemi modelinin; maksimum günlük su tüketimi, maksimum saatlik su tüketimi ve maksimum günlük su tüketiminin olduğu günde yangın debisi kullanımı senaryolarına göre kararlı hal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre mevcut sistemin yeterliliği irdelenmiş ve sistem eksikliklerinin giderilmesi amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kararlı hal analizi; Senaryo; Yangın hidrantı debi testi; MIKE URBAN WD yazılımı; Yangın debisi analizi.

DESIGN OPTIMISATION OF POTABLE WATER DISTRIBUTION SYSTEM MODELS

ABSTRACT

Before the start of the construction, not to take into account the situations that may occur in a real system causes errors of no return when designed system is presented to service. Therefore in order to help water system designers, operators and managers, modeling tool has been developed by the time. The fundamental goal of hydraulic modeling for water distribution systems is to develop and maintain a model that sufficiently simulates the performance of the distribution system.

In this thesis, Samsun 19 Mayıs district, the adequacy of drinking water distribution system was examined in terms of using hydraulic modeling software. In the first stage, information about the existing system was gathered and database of the drinking water distribution system was created using Geographic Information System (GIS). In the second phase of the study, the network components of the real system is transferred from Geographic Information System database to the model through MIKE URBAN WD water distribution system software, the water demand inputs and topographic inputs have been identified. In the third stage model results were compared with field observations and model input parameters were calibrated. Because there hasn't been SCADA or telemetry system in the district for monitoring the behavior of the drinking water distribution system, processing information about real system has been made possible with the fire hydrant flow tests. In a total of 5 experiments were carried out on real systems. In the fourth stage of the study, steady state analysis of calibrated model of the 19 Mayıs district drinking water distribution system were performed according to maximum daily water consumption, maximum hourly water consumption and maximum daily water consumption with fire flow scenarios. The adequacy of the existing system was examined according to analysis results and suggestions were offered in order to eliminate system deficiencies.

Key Words: Steady state analysis; Scenario; Fire hydrant flow test; MIKE URBAN WD software; Fire flow analysis.

1. GİRİŞ

İnsan yaşamının en önemli unsurlarından birisi sudur. Susuz hayat mümkün olamayacağı için tüm dünyada, mevcut kaynakların daha verimli kullanılması, su kaynaklarının korunması ve su yönetiminin etkili bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bununla birlikte nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşmenin sonucunda su tüketimi artmaktadır. Ayrıca su kaynaklarının kıt olması ve hızla tüketilmesi, mevcut kaynakların ise gün geçtikçe kirlenmesi ve su ihtiyacını karşılayamaması gibi sebeplerden dolayı, günümüzde suyun önemi giderek artmaktadır. İçme suyu şebekeleri, yerleşim yerlerine ihtiyaç duyulan içme ve kullanma suyunu ulaştırmak amacıyla tasarlanmaktadır. İçme suyu temini ve dağıtımını tarih boyunca mühendislik açısından önemli bir uğraş konusu olmuştur. Bir yerleşim için yeterli miktarda ve düzenli su temini öncelikli bir altyapı problemidir.

İletim hattı ile depolara getirilen suyu kullanıcılara dağıtan boru sistemine içmesuyu şebekesi denir. Bir su dağıtım sistemi; besleme boruları, servis boruları, basınç artırıcı pompalar, ana ve tali dağıtım boruları, vanalar, yangın muslukları, basınç kırıcı tesisler ve servis bağlantılarından oluşur (Rossman, 2000).

Su şebekesinin ekonomik ömrü boyunca, gerekli kalitede ve miktarda suyu gerekli basınçta kullanıcılara iletebilmesi ve belli bir güvenilirlik ölçütü çerçevesinde hizmet vermesi istenmektedir. Sistemin, boru patlamaları, pompa ve vanaların bozulması, elektrik kesilmesi, yangın durumu, su kullanımının beklenmedik şekilde artması gibi durumlarda dahi kullanıcılara kesintisiz su iletmesi gerekmektedir.

İçmesuyu şebekelerinin hidrolik modelleri, şebeke kapasitesini ve olası gelişme olanaklarını, sistem operatörlerinin eğitimini ve özel durumlar için şebekenin davranışlarını tahkik etmek için kullanılır (Merzi vd., 1999).

İçme suyu dağıtım sistemlerinin tasarımında alışlagelen elle hesaplamaların yapılması yerine ileri düzeyde hazırlanmış modelleme yazılımları kullanılarak bu sistemlerin modellenmesi insan sağlığını önde tutan ve gitgide yaygınlaşan bir uygulamadır. İçme suyu dağıtım sisteminde oluşabilecek her türlü arıza ve sisteme

yapılabilecek ani saldırılar, projelendirilmesi düşünölen sisteme ait model üzerinde açıkça gösterilebilir.

Mühendislerin elle yapılan hesaplamalar yerine gerçek dünya sistemlerinin karmaşıklığını daha çok hesaba katan ve tasarlanan sistemin bilgisayar ortamında çeşitli durumlar altında alternatiflerini inceleyen model kullanmaları, gerçek sistemi bozmadan birçok durum altında olaylara olan sistem tepkilerinin tahmini için önemlidir. Daha önce gerçek dünya sistemleri modern yazılım paketi kullanılmadan tasarlanmıştır. Fakat gerçek sistemde oluşabilecek durumların sistem inşaatının başlatılmasından önce tam anlamıyla kestirilememesi, projelendirilen sistem hizmete sunulduğunda dönüşü olmayan hatalara yol açmaktadır ve bu durum gereksiz zaman ve para kaybına sebep olmaktadır. Mevcut veya önerilen bir sistemin dinamiğini kopyalayan şebeke simölasyonları, gerçek sistemi doğrudan deneye maruz bırakmak veya bir sistemi gerçekten oluşturmada değerlendirmek pratik olmadığından oluşturulur. Örneğin su kalitesi söz konusu olduğunda sistemi doğrudan test etmek pahalı olabilir ve insan sağlığına tehlike oluşturabilir (Mays, 2000).

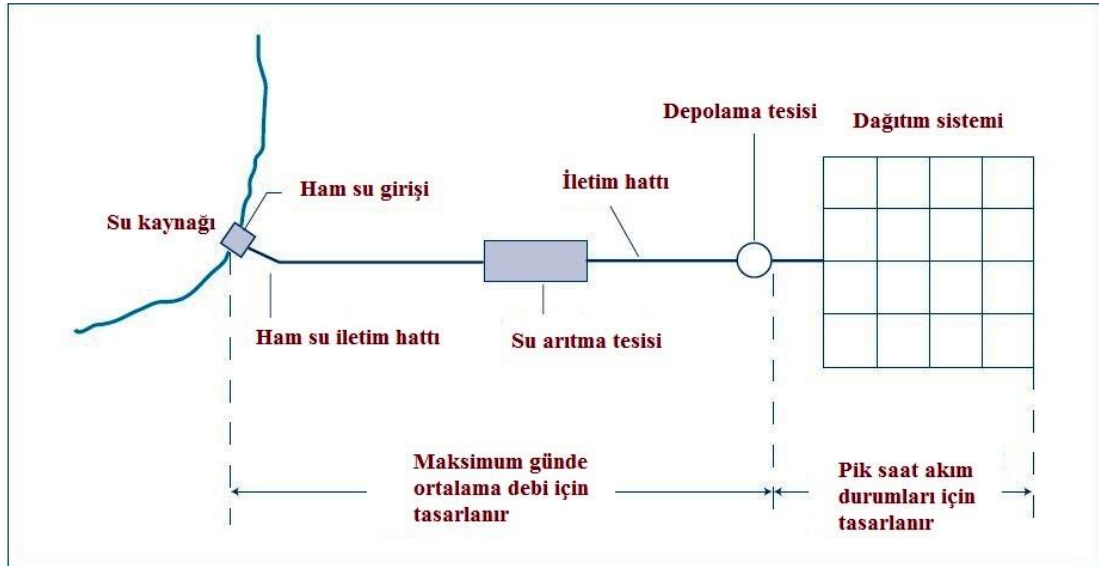
Bu tez çalışmasının amacı, gerçek hayatta var olan içme suyu dağıtım sisteminin modern paket yazılım kullanılarak hidrolik açıdan modellenmesidir. Mevcut içme suyu dağıtım sistemine ait analog ortamdaki şebeke işletme planları coğrafi bilgi sistemi (CBS) ile sayısallaştırılarak dijital ortama geçirilmiştir. Dijital ortamdaki harita içme suyu dağıtım sistemi modeline dönüştürölmüş ve mevcut içme suyu dağıtım sisteminde gerçekleştirilen yangın hidrantı debi testi verileri ile oluşturulan model kalibre edilmiştir.

Model yardımıyla acil durum, nüfusun artması ve altyapı yenilenmesi gibi durumlar için senaryolar üretilip gerçek sistemin göstereceği tepkilerin önceden tasarlanması ve gereken önlemlerin alınması amacıyla önerilerde bulunulması ve optimum tasarımın sağlanması hedeflenmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1 İçme Suyu Dağıtım Sistemlerine Genel Bakış

İçmesuyu temininde kaynak olarak başlıca yüzeysel sular (akarsu, göl, vb.) ve yeraltı suları kullanılmakta olup, bu sular arıtıldıktan sonra isale hatları ile şebekeye veya yerleşim alanına yakın su depolarına iletilmektedir. Depolarda debi salınımları dengelenen içmesuyu, dağıtım şebekesi vasıtasıyla kullanıcılara ulaştırılmaktadır (Aydın, 2007) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 İçme suyu temini ve dağıtım sistemi (Trifunovic, 2008)

Su dağıtım sistemleri, genellikle iletim/gövde hattı ve dağıtım hattı olmak üzere ikiye ayrılır. İletim hatları büyük mesafeler üzerinden fazla miktarda suyun taşınması için boyutlandırılan bileşenlerden oluşur. Örneğin iletim hattı birçok şehir ve kasabalar boyunca arıtım yerinden depolama tesisine su taşımak için kullanılabilir. Bireysel alıcılar genellikle iletim hatlarından hizmet göremezler.

Dağıtım hatları uç alıcılara su dağıtmaya uygun orta adımdır. Dağıtım hatları iletim hatlarına göre küçük çaplıdır ve şehir caddelerindeki genel topolojiyi takip eder. Dirsekler, t'ler, y'ler, çapraz elemanlar ve çok sayıda bağlantı elemanları boru

kesitlerini birleştirmek ve yönlendirmek için kullanılır. Yangın hidrantları, izolasyon vanaları, kontrol vanaları, ve diğeri işletim aparatları dağıtım sistemine bağlanır.

Evler, işyerleri ve endüstriler suyu musluklara iletmek için kendi tesisat sistemlerine sahiptirler. Tesisat su dağıtım sistemi modeli içinde yer almaz (Walski vd., 2003).

Ham su, yeraltı su kaynakları veya göller, rezervuarlar ve nehirler gibi yüzey sularından gelebilir. Ham su öncelikle arıtma tesisine iletilir. Arıtılan su, dağıtım sistemine girmeden önce depolama biriminde toplanır. Bu birim üç amaca hizmet etmektedir. İlki arıtım prosesinin sonuna doğru eklenen klor gibi dezenfektanlar için temas süresini sağlamaktır. İkincisi, arıtma tesisi ve dağıtım sistemi arasında tampon olarak görev yapan depolamayı sağlar. Dağıtım sistemlerinde su kullanım süreçleri dalgalanır. Su kullanımının düşük olduğu süreçler boyunca fazla arıtılmış suyu depolar veya pik seviyede kullanımın olduğu süreçte de suyu şebekeye ileterek şebekede sürekliliği sağlar. Üçüncüsü, tesis filtrelerini yıkamak amacıyla geri yıkama suyu için bir kaynak olarak hizmet eder.

Yeraltı suyunun kaynak olarak kullanıldığı durumda dezenfeksiyon olmadan yüksek kalitede su sağlanabilir. Fakat dağıtım sistemlerinde herhangi bir kazara dökülme veya mikrobiyal büyümeye karşı koruma amacıyla dezenfektan bakiyesi gereklidir (Trifunovic, 2008).

2.1.1 İçilebilir su kaynakları ve kullanıcıları

İçme suyu kaynakları; yüzey ve yeraltı su kaynakları olarak ikiye ayrılırlar. Kaynak seçiminde, aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

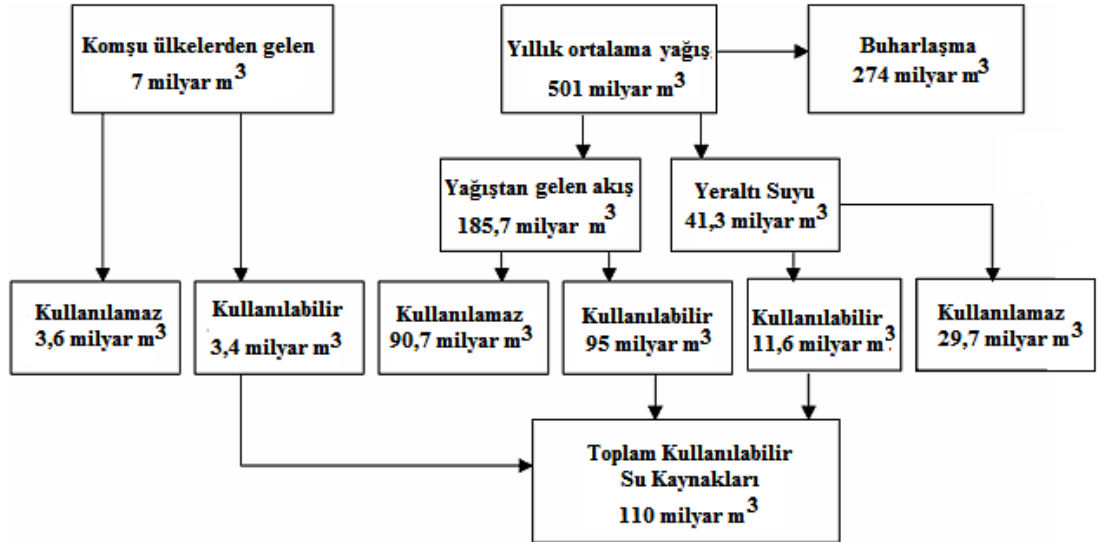
1. Kaynaktaki su kalitesi ve kalitenin sürekliliğinin sağlanabilmesi,
2. Kaynak kapasitesi-temin edilen suyun gelecekteki nüfusa cevap verip veremeyeceği,
3. Laboratuvar bulgularından yararlanılarak ne tür bir arıtma tesisi gereksinimine ihtiyaç olduğunun planlanması,
4. Su kaynağının yeri, suyun kaynaktan alınış şekli, kuyu sayısı, kuyu derinliği, terfi şartları vs.,
5. Ekonomik şartlara uygun olarak sağlanabilirliği.

Mevcut su kaynakları, içme suyu haline getirilmeden önce birçok ön çalışmanın yapılması gerekmektedir. Bu ön işlemler suyun kaynağına göre değişir. Hiçbir arıtma

%100 oranında gerçekleştirilemeyeceğinden su kaynağının cinsi agresiviteye ya da su borularının korozyonuna etkisi açısından önemlidir (Karpuzcu, 1996).

Yüzeysel suların çevresel faktörler ve mevsimsel değişiklikler yüzünden kalite bozukluklarına (bulanıklık, koku ve tat, renk ve görünüş ve bakteriyolojik kirlilik gibi) uğrama riski fazla olmasına karşın, yeraltı suları genelde daha az riskli sulardır. Yüzeysel sulardan, su ihtiyacı çok fazla olan bölgelerde veya yeraltı kaynakları olmayan bölgelerde yararlanılır. Bir akarsuyun su kaynakları yönünden önemi havzanın büyüklüğüne, özelliklerine ve bölgedeki hidrolojik şartlara bağlı olarak değişir. Bir akarsuyun ve havzanın özelliklerini belirleyen en önemli büyüklükler: Havzanın biçimi, drenaj yoğunluğu ve dere frekansı, çatallaşma oranı, havza eğimi, akarsuyun eğimi, havzanın ortalama yüksekliği, havzada depolama, akarsu havzasının büyüklüğüdür (Durhasan, 2006).

Toprak ve Su Kaynaklarının Kullanımı ve Yönetimi ÖİK Raporu (2007)'na göre Şekil 2.2'deki bilgiler elde edilmiştir. Türkiye'nin 2000 yılı itibariyle su kaynakları potansiyeli yılda yaklaşık 501 milyar m³'tür. Bu miktarın 274 milyar m³'ü buharlaşma ve terleme ile atmosfere dönmektedir. Geriye kalan miktarın 41 milyar m³'ü yeraltı suyu rezervini beslemekte, 186 milyar m³'ü ise yüzeysel akışa geçmektedir. Ayrıca komşu ülkelerden 7 milyar m³'lük su ülkemize gelmektedir (URL-1).



Şekil 2.2 Türkiye su kaynakları ve kullanılabilir durumu (URL-1)

Su tüketimi evsel ve evsel olmayan olarak iki bileşene ayrılır: Evsel su tüketimi; tuvalet temizliği, banyo, duş, çamaşırhane, bulaşık yıkama veya pişirme, içme, bahçe sulama, araba yıkama gibi işler içindir. Evsel olmayan su tüketimi;

endüstriyel ve tarımsal alanlarda, tesisler ve ofislerin olduğu yerlerde, turizm yapılan yerlerde oluşur. Bu kategorilerin her biri belirli su tüketimlerine sahiptirler.

Endüstri: Endüstrideki su farklı amaçlar için kullanılabilir: Nihai ürünün bir parçası olarak, üretim proseslerinin bakımı için (temizleme, yıkama, sterilizasyon, taşıma, soğutma vb.) ve kişisel tüketimler için. Toplam miktar, endüstri çeşidine ve proses teknolojisine dayalıdır.

Tarım: Tarımdaki su ihtiyacı sulamayla ve hayvancılık ihtiyacıyla belirlenir. Sulama ihtiyaçları için gereken miktar bitki türü, büyüme aşaması, sulama çeşidi, zemin özellikleri, iklim durumları vb. bağlıdır.

Tesisler: Restoranlar, dükkânlar, okullar ve diğer kuruluşlardaki ticari tüketim, kullanıcı sayısı (öğrenci, işçi, hasta vb.) orantılı toplam su temini olarak değerlendirilebilir. Su temini kuruluşlarındaki yerel kayıtlardan doğru sayılar elde edilebilir.

Turizm: Turist ve rekreasyon aktiviteleri su ihtiyacında dikkate değer etkiye sahip olabilir. Günlük kişi başı (veya yatak başı) miktarlar, konaklama çeşidi ve kategorisine dayalı olarak değişir.

Çeşitli gruplar: Daha önceki listelenmiş grupların hiçbirine ait olmayan su tüketimi çeşitli olarak sınıflandırılır. Bunlar, yangınla mücadele, kamu ihtiyaçları (caddeleri yıkama, yeşil alanları koruma, çeşmelerin temini vb.), su ve kanalizasyon sistemlerinin bakımı (temizleme, yıkama) veya diğer özel kullanımlar (askeri tesisler, spor kompleksleri, hayvanat bahçeler, vb.) için kullanılan miktarlardır. Böyle durumlarda su tüketimi üzerine yeterli bilgi yerel kayıtlardan elde edilmelidir (Trifunović , 2008).

Ülkemiz, küresel ısınmanın potansiyel etkileri açısından, riskli ülkeler arasında yer almaktadır. IPCC 2013 raporuna göre Türkiye'yi kapsayan Akdeniz havzasında, ortalama sıcaklıkların kışın 2 C⁰ ve yaz aylarında 2-3 C⁰ artacağı tahmin edilmektedir. Yağışın yaz aylarında % 15 - 25 azalması kışın ise % 5 -15 artması beklenmektedir. Yapılan araştırmalarda, küresel ısınmadan dolayı oluşacak iklim değişiklikleriyle, özellikle su kaynaklarının azalması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ile bunlara bağlı ekolojik bozulmalardan ülkemizin olumsuz etkileneceği belirtilmektedir. İklim değişikliklerine karşı gerekli önlemler alınmaz ise ülkemizin, kurak ve yarı kurak alanlarındaki su kaynakları özellikle kentlerdeki su kaynaklarının

durumu, sorunlara yenilerini ekleyecek ve içme amaçlı su gereksinimi daha da artacaktır (Öztürk, 2002).

Su tüketimini etkileyen faktörler Çizelge 2.1’de ifade edilmektedir.

Çizelge 2.1 Su tüketimini etkileyen faktörler (URL-2)

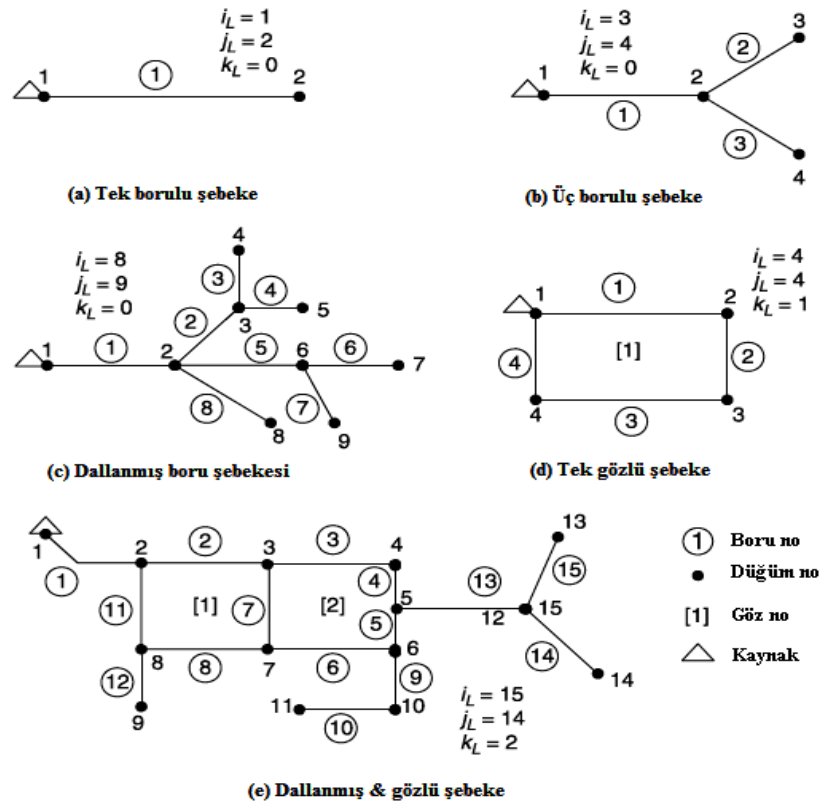
Etkileyen Faktör	Açıklama
<u>Coğrafi Konum</u>	Su tüketimi, özellikle sıcaklığa ve yağış miktarına bağlı olarak coğrafi konuma göre büyük değişim gösterir. Bitkilerin sulanması, yıkanma ihtiyacı ve klima sistemleri için gerekli olan su miktarı sıcak iklime sahip bölgelerde fazladır.
<u>Toplumun Sosyal Yapısı</u>	Kentin; yerleşim, ticaret veya endüstriyel amaç için kullanılış biçimi su tüketimini etkiler. Örneğin mevsimsel faaliyet gösteren konserve fabrikalarının varlığı yıllık su tüketiminde büyük salınımlara neden olur.
<u>Toplumun Ekonomik Yapısı</u>	Toplumun refah seviyesi arttıkça su tüketimi de artar. Zengin kesimde tüketilen su miktarı gecekondü bölgelerinde tüketilenden çok daha fazladır.
<u>Su Basıncı</u>	Yüksek şebeke basıncına sahip bölgelerdeki su tüketimi fazladır. Ayrıca, eski şebekeye uygulanacak yüksek basınç, boruların patlamasına, ek yerlerinden kaçaqlara neden olabilmektedir.
<u>Maliyet</u>	Su tüketimi suyun birim fiyatı ile doğrudan ilgilidir. Su sayaçlarına sahip olmayan yerleşim birimlerinde su tüketimi daha fazladır. Suyun birim fiyatı düşerse su tüketimi artar. Kentsel fazla su kullanımı için ödenen fiyat, şebekenin yenilenmesi, terfi istasyonlarının inşası, arıtma tesisi gibi altyapı yatırımlarına harcanmalıdır.
<u>Suyun Korunumu</u>	Kurak mevsimlerde uygulanacak kesinti su tüketimini azaltır. Toplum, zorunlu koşullarda bu kısıtlamalara uyum gösterebilmelidir. Normalde % 20 ila 30’luk bir su kesintisinin toplum üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi yoktur.

2.1.2 İletim olanakları ve şebeke analizleri

Dağıtım ve iletim sistemleri göz şeklinde, dal şeklinde veya her iki şekilde de olabilir. Gözlü sistemde suyun kaynaktan alıcıya gitmesi için birçok farklı yol vardır. Dalı sistemde su sadece bir yola sahiptir bununla birlikte gözlü sistemler daha caziptir. Çünkü gözlü sistemde ana boruda bir kırılma meydana gelirse bunun tamiri kısa sürede yapılır ve kullanıcılar bu durumdan fazla etkilenmezler. Fakat dalı

sistemde kırılmanın meydana geldiği bölgenin altındaki kullanıcılar tamir bitinceye kadar beklemek zorunda kalacaktır. Gözlü sistemlerin diğer avantajı ise, suyun kullanıcıya ulaşması için birden fazla yolun olması, hızların düşük olması ve sistem kapasitesinin daha fazla olmasıdır (Mays, 2000).

Şebeke geometrisinin toplam boru sayısı (i_L), toplam düğüm noktası sayısı (j_L) ve toplam birincil göz sayısı (k_L) ile bağlantılı olduğu şekillerden görülebilir. Şekil 2.3 a tek bir boru ve iki düğümünden ibaret bir sistemi gösterir. Şekil 2.3 b üç boru ve dört düğüm, şekil 2.3 c sekiz boru ve dokuz düğümünden ibarettir. Benzer şekilde şekil 2.3 d dört boru, dört düğüm ve bir kapalı gözden ibarettir. Şekil 2.3 e ise 15 boru, 14 düğüm ve iki birincil gözden ibarettir. Birincil göz, yüksek dereceden gözler mevcutken veya ikincil göz birden fazla birincil gözden ibaretken en küçük kapalı gözdür. Örneğin şebeke 2.3 e' de 2,7,8 ve 11 boruları birincil gözü oluştururken diğer taraftan 2,3,4,5,6,8 ve 11 boruları ikincil göz oluşturur. Tüm şebeke, boruların toplam sayısının "toplam düğüm sayısı + toplam göz sayısı - 1'e eşit olduğu geometrik ilişkiyi doğrular. Böylece şebekede; $i_L = j_L + k_L - 1$ 'dir (Swamee ve Sharma, 2008).



Şekil 2.3 Boru-Düğüm Bağlantıları (Swamee ve Sharma, 2008)

2.1.3 İçme suyu dağıtım sistemi hidroliği ve şebeke analizleri

Su dağıtım sistemleri için kapsamlı bir hidrolik analiz sistemdeki zayıflıkları ortaya çıkarmaktadır. Hidrolik analiz sonucu elde edilen veri daha sonra gelecekteki ihtiyaçların gözönüne alınması gerektiği şebeke optimizasyonu için temel oluşturmaktadır. İletim ve dağıtım hattının hidrolik olarak uygun şekilde boyutlandırılması ayrıca ekonomik önem taşımaktadır. İçmesuyu dağıtım sistemlerinin hidrolik açıdan hesaplanması amacıyla çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu bölümde içmesuyu dağıtım sistemlerinde kullanılan yük kaybı denklemleri ve şebeke çözüm yöntemlerinden, Ölü nokta metodu, Hardy-Cross metodu, Newton Raphson metodu, Lineer Teori metodu ve Gradient metodu üzerinde durulacaktır.

2.1.3.1 Yük kaybı denklemleri

Boru boyunca sürtünme kayıplarını belirlemek için çeşitli yük kaybı denklemleri mevcuttur. Bunlar içinde en yaygın kullanılanı Manning, Hazen-Williams ve Darcy-Weisbach denklemleridir (Çizelge 2.2). Manning denklemi en genel anlamda açık kanal debisi için kullanılır ve boru uzunluğuna, boru çapına, debiye ve pürüzlülük katsayısına (Manning pürüzlülük katsayısı) bağlıdır. Aşağıdaki denklem Manning denklemidir:

$$h_L = \frac{C_f L (nQ)^2}{D^{5.33}} \quad (2.1)$$

n: pürüzlülük katsayısı

C_f : Birim çevirme katsayısı (İngiliz: 4.66, SI: 10.29)

L: Boru uzunluğu (L)

D: Boru çapı (L)

Q: Debi (L³/T)

Hazen-Williams denklemi en çok Kuzey Amerika'da kullanılmaktadır. C katsayısı borunun taşıma kapasitesini tanımlamak için kullanılır. Yüksek C katsayıları pürüzsüz boruları, düşük C katsayıları ise pürüzlü boruları gösterir. Hazen-Williams denklemi şu şekildedir:

$$h_L = \frac{C_f L}{C^{1.852} D^{4.87}} Q^{1.852} \quad (2.2)$$

Burada C Hazen-Williams katsayısıdır.

Darcy-Weisbach denklemi boyut analizi kullanırken geliştirilmiştir. Hazen-Williams denklemine benzer değişkenleri içerir fakat C katsayısı yerine sürtünme

katsayısı olan f' 'yi (bazı kaynaklarda λ) kullanır. Darcy-Weisbach denklemi şu şekildedir:

$$h_L = \frac{8fLQ^2}{gD^5\pi^2} \quad (2.3)$$

Burada f : Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı ve g : yerçekimi ivmesi (L/T^2)'dir.

Sürtünme katsayısı f 'nin bulunması için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan ikisi Colebrook-White ve Swamee-Jain denklemleridir. Colebrook-White denklemi sürtünme katsayısını Reynolds sayısı ve göreceli pürüzlülüğe göre hesaplayan en erken yaklaşımlardan biridir.

Colebrook-White denklemi şu şekildedir:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,86 \ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (2.4)$$

Burada ε =Eşdeğer pürüzlülük, Re =Reynolds sayısıdır.

Denklemlerle ilgili en önemli durum; denklemin her iki tarafında da sürtünme katsayısının bulunmasıdır. Sürtünme katsayısının eşitlendiği değeri belirlemek için denklem iteratif şekilde çözülür. Çözümün kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi amacıyla Moody diyagramı geliştirilmiştir.

Swamee-Jain denklemi iteratif çözüm gerektiren Colebrook-White denkleminin daha kolay çözülmektedir. Swamee-Jain denklemi şu şekildedir:

$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (2.5)$$

Swamee-Jain denkleminin basitliği ve doğruluğu, sürtünme katsayısının elde edilmesi aşamasında su dağıtım sistemi modelcilerini bu denklemi kullanmaya itmiştir (Newbold, 2009).

Darcy-Weisbach ve Hazen-Williams çözümleri arasındaki belirli avantaj ve dezavantajları daha iyi anlamak için Usman vd. (1988) tarafından yürütülmüş çalışmada iki yük kaybı denklemini kullanarak akım modeli sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada Darcy-Weisbach denklemindeki sürtünme katsayısının belirlenmesinde kullanılan Colebrook-White denklemi değerlendirmeye alınmıştır. Çalışma sonucunda basitliği nedeniyle Hazen-Williams denkleminin Colebrook-White denklemine göre daha avantajlı olduğu, bununla birlikte mevcut su dağıtım şebekesindeki debilerde Hazen-Williams denklemindeki kabullerden dolayı problemler ortaya çıktığı, Colebrook-White denkleminin geniş debi aralıklarında bile

doğru çözüme ulaşmak için daha uygun olduğu neticesine varılmıştır. Ayrıca her ne kadar Hazen-Williams denkleminde, boru dayanım katsayısı (C katsayısı) debinin bir fonksiyonu olmadığından Colebrook-White yönteminden daha fazla zaman avantajına sahip olsa da, Hazen-Williams denklemi su sıcaklığını hesaba katmadığından değişen su koşullarında uygun olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Usman vd. (1988) debi koşullarının değişim gösterdiği gerçek zamanlı bir simülasyonda Colebrook-White denklemi kullanımının daha uygun olacağı görüşünü savunmuşlardır.

Çizelge 2.2 Boru yük kaybı hesabında kullanılan hız formülleri

Denklem isimleri	Formüller
Hazen-Williams	$V = 0.85 C R^{0.63} S^{0.54}$
Darcy-Weisbach	$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} R S$
Manning	$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$

Burada V: ortalama hız (L/T)

n: Manning katsayısı (birimsiz)

R: hidrolik yarıçap (L)

S: hidrolik eğim (L/L)

C: Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (birimsiz)

f: Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı (birimsiz)

g: yerçekimi ivmesi (L/T²)

2.1.3.2 Şebeke çözüm teknikleri

Şebeke çözüm teknikleri, elle yapılan hesaplamalardan bilgisayar yazılımlarıyla desteklenen çözümlere kadar şebekelerin analiz edildiği uygulamalardır.

Ölü noktalar yöntemi

Suyun en kısa hattan dağıtılmasını esas alan ölü noktalar yönteminde, şebeke çeşitli noktalardan kesilerek bir dal şebeke haline getirilmektedir. Kesilmiş kabul edilen noktalarda su akımı yoktur ve bu nedenle bu noktalar “ölü noktalar” olarak adlandırılmaktadır. Şebekedeki ölü nokta sayısı göz sayısına eşit olmaktadır. Daha sonra ölü noktalardan başlanarak her bir borunun uç ve baş debileri

hesaplanmaktadır. Su dağıtım şebekesinde seçilen boru çaplarına göre oluşacak yük kayıpları gözönüne alındığında, düğüm noktalarında farklı yönlerden gelerek hesaplanan basınçların ideal durumda eşit olması gerekir. Ancak genel olarak bunu sağlamak zor olduğundan, İller Bankası yönetmeliğine göre gelecekteki nüfusu 50000'e kadar olan beldelerde 1,0 m'ye kadar olan kapanma hatasına müsaade edilmektedir. Daha büyük beldelerde bu değerin 2 m'ye çıkarılması mümkündür. Farklar daha büyük olduğunda, seçilen boru çaplarını veya ölü noktaların yerlerini değiştirerek, basınç farkları yukarıda verilen sınırlar içinde kalıncaya kadar hesaplar tekrarlanmaktadır (Öziş, 1983; Muslu, 2008; Topacık ve Eroğlu, 1998). Yine yönetmeliğe göre, 50000 kişiden küçük nüfuslarda asgari işletme basıncı 20 m, 50000'den büyük nüfuslarda ise 30 m olarak alınmalıdır.

$$|\sum_{sol} h_k - \sum_{sağ} h_k| \leq 1 \text{ veya } 2 \text{ m} \quad (2.6)$$

$$\left| \left(\frac{P_M}{\gamma} \right)_{sol} - \left(\frac{P_M}{\gamma} \right)_{sağ} \right| \leq 1 \text{ veya } 2 \text{ m} \quad (2.7)$$

Hardy-Cross yöntemi

En erken ve en iyi bilinen çözüm yöntemlerinden biri Hardy-Cross yöntemidir. Yöntem aşağıda verilen debi sürekliliği ve sağlanması gereken yük kaybı denklemlerine dayalıdır.

Düğümde giren ve çıkan akımların toplamı eşit olmalıdır:

$$\sum Q_i = q_j \quad j=1,2,\dots,j_L \quad (2.8)$$

Q_i , j düğümünde birleşen herbir i borusundaki debidir ve q_j , j düğümündeki noktasal çekimdir.

Gözdeki yük kaybının cebirsel toplamı sıfıra eşit olmalıdır:

$$\sum_{k \text{ gözü}} K_i Q_i |Q_i| = 0 \quad k=1,2,3,\dots,k_L \quad (2.9)$$

$$K_i = \frac{8f_i L_i}{\pi^2 g D_i^5} \quad (2.10)$$

K : Boru katsayısı

f : Sürtünme katsayısı (yüzey gerilim katsayısı)

L : Boru uzunluğu (L)

D : Boru çapı (L)

i : k gözündeki boru bağlantı sayısı

Genelde, düğüm süreklilik denklemini sağlayan kabul edilmiş boru debileriyle başlangıçtaki Eşitlik (2.9)'u sağlamak mümkün değildir. ΔQ_k doğrulaması başlangıçtaki kabul edilmiş debilere uygulanır ve debiler düzeltilerek çözüm belirlenir. Böylece;

$$\sum_{k \text{ gözü}} K_i (Q_i + \Delta Q_k) (Q_i + \Delta Q_k) = 0 \quad (2.11)$$

denklemi elde edilir. Eşitlik (2.11)' i açarak, ΔQ_k 'nın ikinci dereceden kuvvetini ihmal ederek ve basitleştirerek aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\Delta Q_k = - \frac{\sum_{k \text{ gözü}} K_i Q_i |Q_i|}{2 \sum_{k \text{ gözü}} K_i |Q_i|} \quad (2.12)$$

ΔQ_k bilindiğinden düzeltmeler şu şekilde uygulanır (Swamee ve Sharma, 2008):

$$Q_{i \text{ yeni}} = Q_{i \text{ eski}} + \Delta Q_k \quad (2.13)$$

Newton-Raphson yöntemi

Boru şebekesi ayrıca Hardy Cross yönteminin aksine tüm şebekenin bütünüyle analiz edildiği Newton Raphson Metodu kullanılarak da analiz edilebilir. Newton Raphson metodu nonlinear denklem sisteminin çözümü için kullanılan güçlü sayısal bir yöntemdir. 3 adet lineer olmayan denklemin olduğu varsayılır:

$$F_1(Q_1, Q_2, Q_3) = 0 \quad F_2(Q_1, Q_2, Q_3) = 0 \quad F_3(Q_1, Q_2, Q_3) = 0 \quad (2.14)$$

Bu denklemler yardımıyla Q_1, Q_2, Q_3 bulunur. Başlangıç çözümünü (Q_1, Q_2, Q_3) seçilir. Ayrıca ($Q_1 + \Delta Q_1, Q_2 + \Delta Q_2, Q_3 + \Delta Q_3$)'ün denklem seti çözümü olduğu düşünülür.

$$\begin{aligned} F_1(Q_1 + \Delta Q_1, Q_2 + \Delta Q_2, Q_3 + \Delta Q_3) &= 0 \\ F_2(Q_1 + \Delta Q_1, Q_2 + \Delta Q_2, Q_3 + \Delta Q_3) &= 0 \\ F_3(Q_1 + \Delta Q_1, Q_2 + \Delta Q_2, Q_3 + \Delta Q_3) &= 0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Yukarıdaki denklemler Taylor serileriyle genişletilir:

$$\begin{aligned} F_1 + [\partial F_1 / \partial Q_1] \Delta Q_1 + [\partial F_1 / \partial Q_2] \Delta Q_2 + [\partial F_1 / \partial Q_3] \Delta Q_3 &= 0 \\ F_2 + [\partial F_2 / \partial Q_1] \Delta Q_1 + [\partial F_2 / \partial Q_2] \Delta Q_2 + [\partial F_2 / \partial Q_3] \Delta Q_3 &= 0 \\ F_3 + [\partial F_3 / \partial Q_1] \Delta Q_1 + [\partial F_3 / \partial Q_2] \Delta Q_2 + [\partial F_3 / \partial Q_3] \Delta Q_3 &= 0 \end{aligned} \quad (2.16)$$

Yukarıdaki denklem seti matris forma dönüştürülür:

$$\begin{bmatrix} \partial F_1 / \partial Q_1 & \partial F_1 / \partial Q_2 & \partial F_1 / \partial Q_3 \\ \partial F_2 / \partial Q_1 & \partial F_2 / \partial Q_2 & \partial F_2 / \partial Q_3 \\ \partial F_3 / \partial Q_1 & \partial F_3 / \partial Q_2 & \partial F_3 / \partial Q_3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Yukarıdaki denklem çözülür:

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \partial F_1 / \partial Q_1 & \partial F_1 / \partial Q_2 & \partial F_1 / \partial Q_3 \\ \partial F_2 / \partial Q_1 & \partial F_2 / \partial Q_2 & \partial F_2 / \partial Q_3 \\ \partial F_3 / \partial Q_1 & \partial F_3 / \partial Q_2 & \partial F_3 / \partial Q_3 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Düzeltilmeler bilindiğinden debiler şu şekilde geliştirilir (Larock vd., 1999):

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Gradient yöntem

Bilgisayar yazılımları yaygın hale gelmeden önce Todini ve Pilati (1987) tarafından geliştirilen bir diğer yöntem de Gradient Yöntem'dir. Bu yöntem kütle ve enerji denklemini açıklayan lineer ve lineer olmayan denklemler sistemini çözerek büyük şebekeleri analiz etmek amacıyla modelciye yön verir. Bu denklemler sistemi n sayıda boru ve n sayıda düğüm denklemlerinin birleşimidir. Aşağıdaki denklem Gradient yöntemi çözmek amacıyla kullanılır:

$$\begin{bmatrix} nA_{11} & A_{12} \\ A_{21} & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} dQ \\ dH \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -dE \\ -dq \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Burada;

n: Kullanılan yük kaybı denklemine bağlı değer (örn. Hazen-Williams için 1,852)

nA_{11} : Boru debisine göre türevlerden oluşan matris

A_{21} : Bağlantı (topoloji) matrisi

A_{12} : A_{21} 'in devriği (transpozu)

dQ : Boru debisindeki değişim (L^3/T)

dH : Düğüm yükündeki değişim (enerji kaybı) (L)

$-dE$: Boru dengeleme hatası (L)

$-dq$: Düğüm dengeleme hatası (L^3/T)

nA_{11} , A_{21} , A_{12} ve 0 Jacobian matrisin bileşenleridir. Bu yöntemde boru debileri ve enerji kayıpları için ilk tahmin gereklidir fakat Hardy-Cross dan farklı olarak debi dengesi gerekmez. Bu yaklaşımın avantajı her iterasyonda tüm boru debileri ve enerji kayıplarının çözülmesidir. Sonuçta gradient yöntemle çözüm esnasında yakınsama

için, Hardy-Cross yönteminde olduğundan daha az iterasyon gereklidir. Bu yöntem Amerika Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından geliştirilmiş EPANET adlı su dağıtım sistemi hidrolik ve su kalitesi modelleme yazılımında kullanılmaktadır ve su dağıtım şebekesindeki hidrolik parametrelerin daha etkin kullanılmasını sağlar.

EPANET, sistemdeki her boru için ilk debi tahminlerini seçerek analize başlar. Bu ilk debi değerleri borulardaki 1feet/s'lik hıza uygun seçilir. Bu yöntemin her iterasyonu için düğüm noktası enerji seviyesi değerleri $AxH=F$ matris denklemi çözülerek belirlenir. A terimi ($N \times N$) Jacobian matris, H ($N \times 1$) bilinmeyen düğüm noktası enerji seviye vektörü, ve F ($N \times 1$) sağ taraf terimlerinin vektörüdür (Rossman, 2000).

Yeni enerji seviyeleri belirlendikten sonra borulardaki yeni debiler belirlenir. Bu yöntemin avantajı sistem içinde ardışık şekilde her düğüm noktasında hidrolik parametreleri çözmesidir. Bu durum çözüme yakınsama olasılığını artırır. Yakınsama kriteri kullanıcı tanımlıdır. Örneğin sistemdeki tüm borular boyunca toplam debiye ait mutlak debi değişimlerinin toplamı önceden tanımlı toleransdan daha azsa, matris denkleminin çözümü ve yeni debilerin belirlenmesi prosesi son bulur.

Lineer teori yöntemi

Lineer Teori Yöntemi, Wood ve Charles (1972) tarafından verilen diğer bir ağ şebeke analizidir. Tüm şebeke Newton Raphson metodundaki gibi analiz edilir. Düğüm akış süreklilik denklemleri lineerdir fakat gözün enerji kaybı denklemleri nonlineerdir. Yöntemde, önceden bilinen debiler için lineer olması amacıyla gözün enerji denklemleri düzenlenir ve iteratif şekilde çözülür. Düğüm noktası debi süreklilik denklemleri:

tüm (düğüm noktaları-1) için

$$F_j = \sum_{n=1}^{j_n} Q_{j_n} - q_j = 0 \quad (2.21)$$

Q_{j_n} j noktasında n.borudaki debidir, q_j düğümdeki çekistir ve j_n j düğümündeki toplam boru sayısıdır.

Yukarıdaki eşitlik tüm şebeke için aşağıdaki şekilde genelleştirilebilir:

$$F_j = \sum_{n=1}^{j_n} a_{j_n} Q_{j_n} - q_j = 0 \quad (2.22)$$

n borusunda pozitif debi akarsa a_{j_n} (+1)'dir, n borusunda negatif debi akarsa a_{j_n} (-1)'dir. n borusu j düğümüne bağlı değilse a_{j_n} 0'dır.

Göz enerji kaybı denklemi:

$$\text{tüm gözler için } F_k = \sum_{n=1}^{k_n} K_n |Q_{kn}| Q_{kn} = 0$$

Yukarıdaki denklem lineerleştirilebilir:

$$F_k = \sum_{n=1}^{k_n} b_{kn} Q_{kn} = 0 \quad (2.24)$$

Q_{kn} k gözüde n.borudaki debidir.

$$b_{kn} = K_n |Q_{kn}| = 0 \text{ bilinen boru deşarjları içindir.}$$

Şebekedeki toplam borular i_L 'dir. Yukarıdaki denklem (2.24) aşağıdaki şekilde tüm şebeke için üretilebilir:

Eğer n borusu k gözü içindeyse, ; eğer değilse $b_{kn} = K_n |Q_{kn}|$ 'dir. b_{kn} katsayısı sonraki iterasyon için mevcut boru debisiyle gözden geçirilir. Sonuç olarak herhangi bir lineer denklem çözme yöntemini kullanarak çözüme gidilir. Böylece i_L bilinmeyen boru deşarjları için gereken toplam denklem seti şunlardır:

- n_{L-1} düğümleri için düğüm noktası süreklilik denklemleri
- k_L gözleri için yük kaybı denklemleri

Todini ve Pilati (1987) tarafından gradient yöntemin neden geliştirildiğini daha iyi anlamak için Salgado vd. (1988), bu yöntemi eşzamanlı yol ve lineer teori yöntemleriyle karşılaştırmışlardır. Eş zamanlı yol ve lineer teori yöntemlerinde dallı bir şebekenin eşdeğer gözlü bir şebekeye dönüştürülmesine ihtiyaç duyulur. Bu üç algoritmayı değerlendirmek için FORTRAN dili kullanılmıştır ve çeşitli şebeke örnekleri kullanılarak algoritmalar test edilmiştir. Şebeke örneklerinden elde edilmiş sonuçlar göstermiştir ki her üç yöntem de sonuca yakınsayabilmiştir. Bununla birlikte gradient yöntem diğer iki çözüm yöntemine göre avantajlar içermektedir. Eşzamanlı yol ve lineer teori yöntemlerinde şebeke küçük çaplı boru ve yarı kapalı vana içeriyorsa düğüm enerji seviyelerinin belirlenmesi zordur. Gradient yöntemi şebeke örneği için iyi bir hızla yakınsama özelliğine sahiptir. Ayrıca, bu yöntem kullanıldığında yarı kapalı vanalar ve yüksek C katsayısına sahip borular varsa yakınsamada zorluk çekilmez, çünkü her adımda hem düğüm enerji seviyeleri hem de boru akımları belirlenir. Gradient yöntemi ayrıca kısmi gözlü ve dallı yapıları da çözebilir fakat eşzamanlı yol ve lineer teori yöntemlerinde eşdeğer göz tanımlaması yapılmalıdır. Diğer iki yöntemden farklı olarak şebekede kesinti olduğunda da simülasyon devam eder (örn. vanaların hareketi nedeniyle). Salgado vd. (1988), olağan dışı durumlar olduğunda bile yakınsama özelliği nedeniyle gradient yöntemin

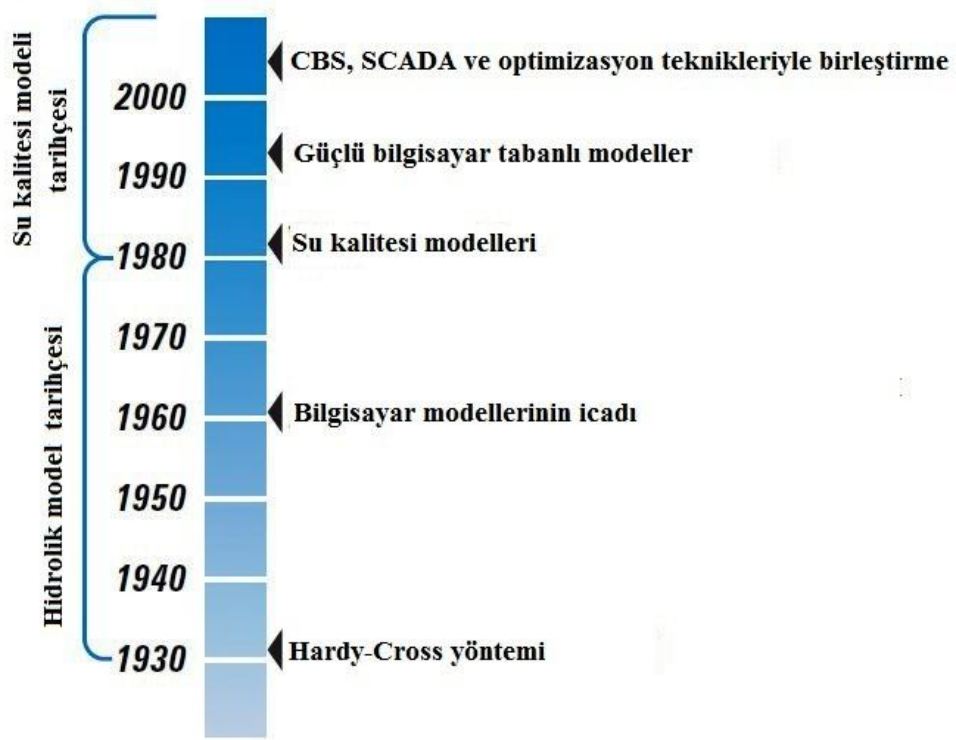
eşzamanlı yol ve lineer teori algoritmalarından daha kabul edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır.

2.2 Su Dağıtım Sistemlerinin Modellenmesi

İçmesuyu dağıtım sistemlerinin hidrolik modellenmesi amacıyla ilk olarak Hardy Cross, karmaşık şebekelerdeki debileri hesaplamak için matematiksel metotların kullanımını önerdi (Cross, 1936). Bu elle hesaplanan ve tekrarlanabilen prosedür yaklaşık 40 yıl su endüstrisi için kullanıldı. Bilgisayarlar ve bilgisayar tabanlı modellemenin icadıyla, geliştirilmiş çözüm yöntemleri Hardy Cross yönteminden yararlanmak için geliştirildi. Bu yöntemin geliştirilmiş uygulamaları 1980’lerde yaygın kullanımdaydı (Wood,1980). Ayrıca 1980’lerin başında su dağıtım sistemi şebekelerinde su kalitesini modelleme kavramı kararlı hal formülasyonlarına dayalı olarak geliştirildi (Clark vd., 1986). 1980’lerin ortalarına doğru su şebekelerinin dinamik hareketini kapsayan su kalitesi modelleri ortaya atıldı (Grayman vd., 1988). Bu modellerin kullanılabilirliği 1990’da Windows tabanlı ticari su dağıtım sistemi modelleriyle artırıldı. İlk olarak, hidrolik modeller, bütün su tüketimleri ve işletimlerin sabit kaldığı kararlı hal durumları altında su dağıtım sisteminde debi ve basınçları simüle ettiler.

Sistem su kullanımları gün boyunca değiştiğinden uzatılmış süre simülasyonu modelleri zamanla değişen su tüketim ve işletim durumları altındaki dağıtım sistemi davranışını simüle etmek için geliştirildi (Şekil 2.4).

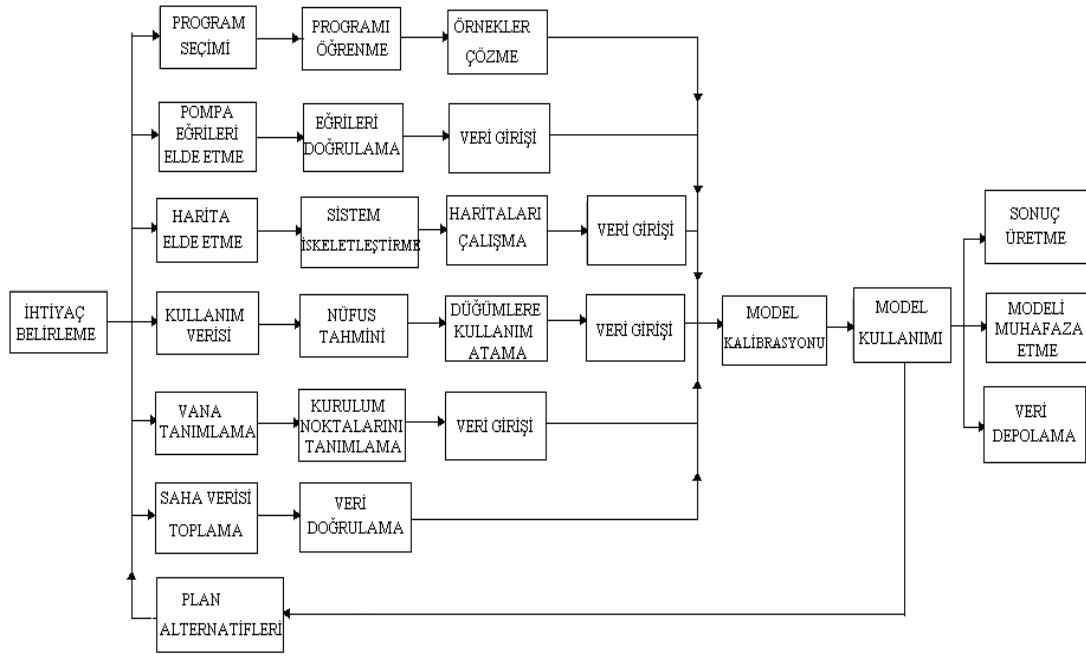
Günümüzde bu modeller, su endüstrisinde sık rastlanır duruma geldi ve birçok su sistemi tasarımı, imar planlama ve yangın debisi analizlerinin tanımlayıcı bir parçası oldu.



Şekil 2.4 Hidrolik ve su kalitesi modellerinin gelişim süreci (USEPA, 2005)

2.2.1 Model bileşenleri

Herhangi bir modelleme projesini işleme geçirmedeki ilk adım, su temin edilmesinde öncü olan kurumlar arasında fikir birliği sağlamak ve kullanılacak model için amaçlar geliştirmektir. Model vizyonu kurumlar tarafından kabul edildikten sonra model iskeletleştirme ve kalibrasyon gibi konular hakkındaki aşamalar takip edilir. Gerçek problemleri çözmek amacıyla, modellemedeki birçok iş model kullanımından önce yapılmalıdır. Bu yüzden ilk olarak modeli geliştirmeden ve kalibre etmeden önce modeli kullanmak için yeterli süre depolamaktır. Birçok modelleme projesi kullanım hedeflerine ulaşamaz çünkü model oluşturma prosesi tüm tahsis edilmiş zaman ve kaynakları işgal eder. Problemin alternatif çözümlerinin tümünü anlamak için modeli kullanmak amacıyla yeterli zaman yoktur. Modelleme sürecini tamamlama yolu, onu bileşenlerine ayırmak ve her adımı boyunca çalıştırmaktır. Bazı görevler seri halde yapılması gerekirken bazı görevler paralel yapılmalıdır. Modelleme tekrarlanabilen bir prosestir. Modelleme prosesini gerçekleştiren görevler Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Modelleme prosesi akış diyagramı (Mays, 2000)

Modelleme prosesi şu aşamalardan oluşur:

İlk olarak sistemdeki gerçek borular ve pompalar, haritaların ve o sistemdeki tesislerin çiziminde gösterilir. Sonra haritalar, tesis bağlantıları ve düğüm noktalarını gösteren modele dönüştürülür. Gerçek sistemdeki elemanların modeldeki temsili olan bağlantı elemanları ve düğüm noktalarının hareketleri matematiksel olarak tanımlanır. Model eşitlikleri çözülür ve çözümler sistem haritalarında veya çizelge çıktılar halinde gösterilir (Mays, 2000).

Eğer çok borulu bir şebeke varsa, şebeke modelini oluşturmak karmaşık bir prosestir. Hidrolik modeli oluşturmak için aşağıdaki bilgiler gereklidir:

- Boru şebekesi bileşenlerinin özellikleri (borular, pompalar, depolar, vanalar),
- Düğümlere atanmış su kullanımı (tüketimler),
- Topoğrafik bilgiler (düğümlere atanmış yükseklikler),
- Sistemin nasıl işlediğini tanımlayan kontrol bilgisi (örneğin pompa işletim biçimi),
- Çözüm parametreleri (zaman adımları, çözüm teknikleriyle istenen toleranslar).

2.2.1.1 Boru şebekesi girdileri

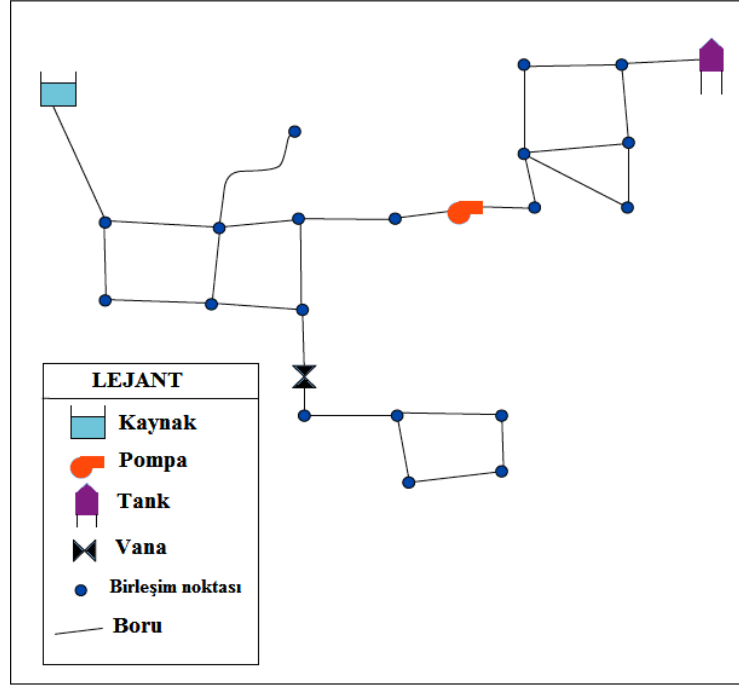
Su dağıtım sistemi modelleri; boruların bağlandığı bağlantı noktaları, su depoları ve rezervuar düğüm noktalarını içeren düğüm çeşitlerine sahiptir. Ayrıca modeller, bu

düğüm noktalarını bağlayan boruları bağlamak için bağlantı elemanlarını kullanır (Şekil 2.6). Vana ve pompa gibi elemanlar model gösteriminde düğüm noktalarından çok bağlantı elemanları olarak sınıflandırılır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 Genel su dağıtım sistemi modelleme elemanları (Walski vd., 2003)

Eleman	Tipi	Modelleme Amacı
Rezervuar	Düğüm	Sisteme su sağlar
Depo	Düğüm	Sistemdeki aşırı suyu depolar ve çok kullanım zamanlarında suyu bırakır
Bağlantı noktası	Düğüm	Sistemden suyu çeker (tüketim) veya sisteme suyu verir
Boru	Bağlantı	Bir düğümden diğerine su iletir
Pompa	Düğüm veya Bağlantı	Yükseklik farkları ve süreklilik kayıplarının üstesinden gelmek için hidrolik seviyeyi artırır
Kontrol vanası	Düğüm veya Bağlantı	Belirlenen kritere göre sistemdeki basınç ve debileri kontrol eder

Rezervuarlar: Büyük kapasitede su temin edilebilen ve suyun temin edildiği esnada rezervuarın hidrolik seviyesinin etkilenmediği veya sabit kaldığı modeldeki bir sınır düğümü temsil eder. Sınır düğüm bilinen hidrolik seviye yükseklikleri olan yerleri göstermek için kullanılan şebeke elemanıdır. Göller, yer altı kuyuları ve su arıtma tesislerindeki havuzlar vb. su dağıtım modellerinde rezervuar olarak gösterilir. Model tanımına göre rezervuarlarda hacimsel depolama verisi gerekmez (Walski vd., 2003).



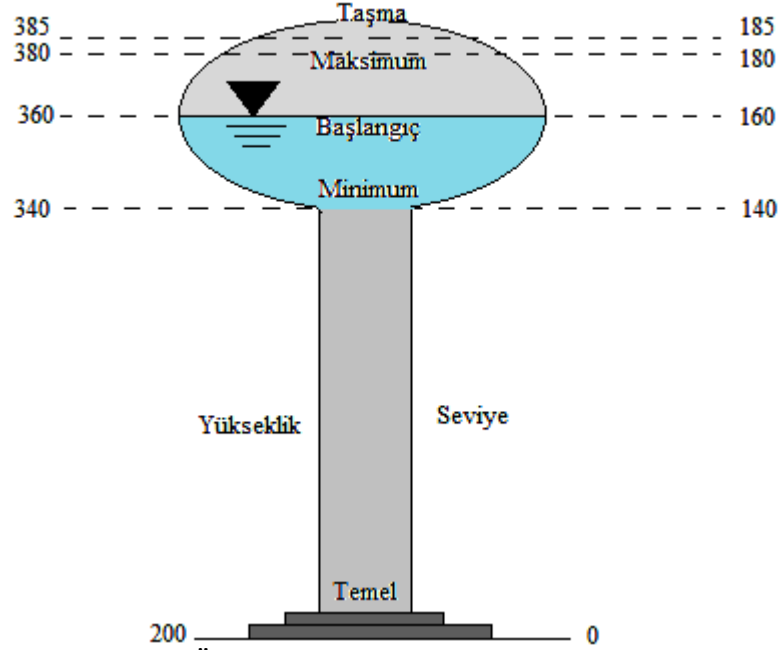
Şekil 2.6 Su dağıtım sisteminde basit bir düğüm noktası-bağlantı elemanları gösterimi (USEPA, 2005)

Depolar: Depolama haznesi rezervuar gibi bir sınır düğümüdür fakat rezervuardan farklı olarak suyun giriş ve çıkışına göre deponun hidrolik seviye çizgisi dalgalanır. Depolar belirlibir hacme sahiptir ve depoları tamamen doldurmak ve boşaltmak mümkündür. Kararlı hal analizleri için depo, bilinen hidrolik seviye yüksekliği olarak izlenir ve model, verilen hidrolik seviyede, depoya suyun ne hızla girdiğini ve oradan çıktığını hesaplar. Verilen aynı hidrolik seviye düzeyi düzenlemesi için depo kararlı hal analizinde bir rezervuara hidrolik açıdan eşittir. Uzatılmış süre simülasyonu modellerinde depodaki su seviyesinin zamanla değişmesine izin verilir (Walski, 2000).

Bazı modeller silindirik olmayan depoları desteklemez. Bu nedenle modelci böyle durumlarda depo yüksekliği ve kapasitesine dayalı eşdeğer bir çap belirleyerek depoyu yaklaşık olarak modeller. Bu yaklaşım elbette ki hidrolik seviyede önemli hatalara yol açar. Her ne kadar bu durum için gereken tam veri seti modelden modele değişse de, birçok model şans eseri silindirik olmayan depoları da modelleyebilir. Modelde depoları tanımlayan yükseklikler bilinmelidir (Şekil 2.7):

- 1) Maksimum yükseklik; deponun suyla doldurulabileceği en yüksek seviyeyi gösterir.
- 2) Taşkın yüksekliği; deponun taşmaya başladığı, dolu savak yüksekliğidir.

- 3) Minimum yükseklik; depoda tahliye vanasının bulunduğu en düşük su seviyesidir.
- 4) Temel veya referans yüksekliği; depo seviyelerinin ölçüldüğü kıyas düzlemidir.
- 5) Başlangıç yüksekliği; Simülasyona başlama anındaki su yüksekliğidir.



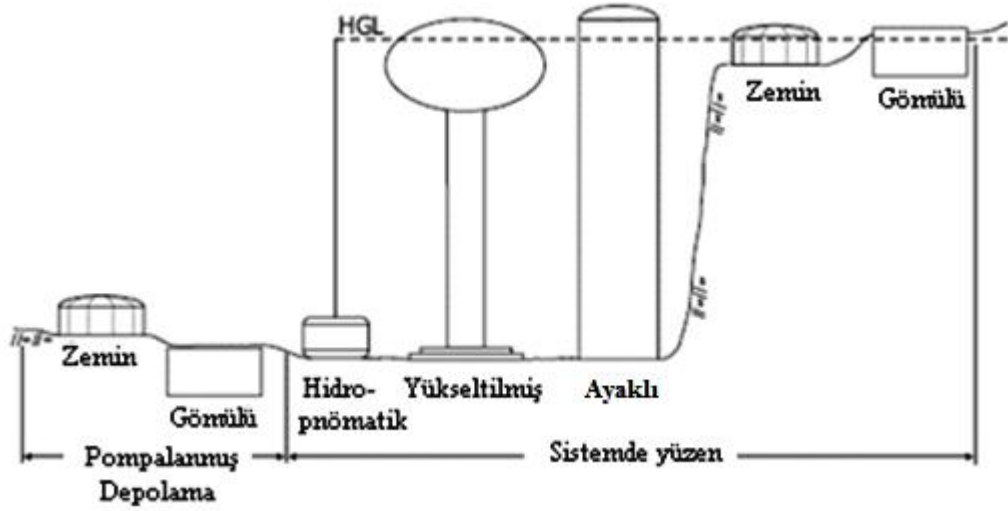
Şekil 2.7 Önemli depo yükseklikleri (Walski, 2000)

Su depoları yapı malzemesine (kaynaklı çelik, civatalı çelik, betonarme, öngerilmeli beton), şekillerine (silindirik, küresel, halka şekilli, dikdörtgen), modellerine (yükseltilmiş, zeminde, gömülü) ve mülkiyetlerine göre (kamusal, özel) sınıflandırılabilir. Boru şebeke modellemesi için en önemli sınıflandırma deponun “sistem yüzer” olup olmadığıdır. Eğer deponun içindeki hidrolik seviye düzeyi, hemen dışındaki su dağıtım sistemindeki hidrolik seviye çizgisi ile aynı ise deponun sistemde yüzdüğü söylenir. Depolarla ilgili olarak modelcinin karşılaştığı üç gerçek durum vardır:

1. Sistemde yüzen serbest yüzeyli depo
2. Sistemde yüzen basınçlı (hidropnömatik) depo
3. Depoda pompalaması gereken suyun olduğu pompalı depolama

Şekil 2.8 sistemde yüzen yükseltilmiş depoları göstermektedir çünkü hidrolik seviye çizgileri sisteminkiyle aynıdır. Zemindeki depolar ve gömülü depolar yüksekliklerine göre sistemde yüzebilir veya yüzemeyebilir. Eğer bu depolardan birinin hidrolik seviye çizgisi sistem hidrolik seviye çizgisinden düşükse depodan

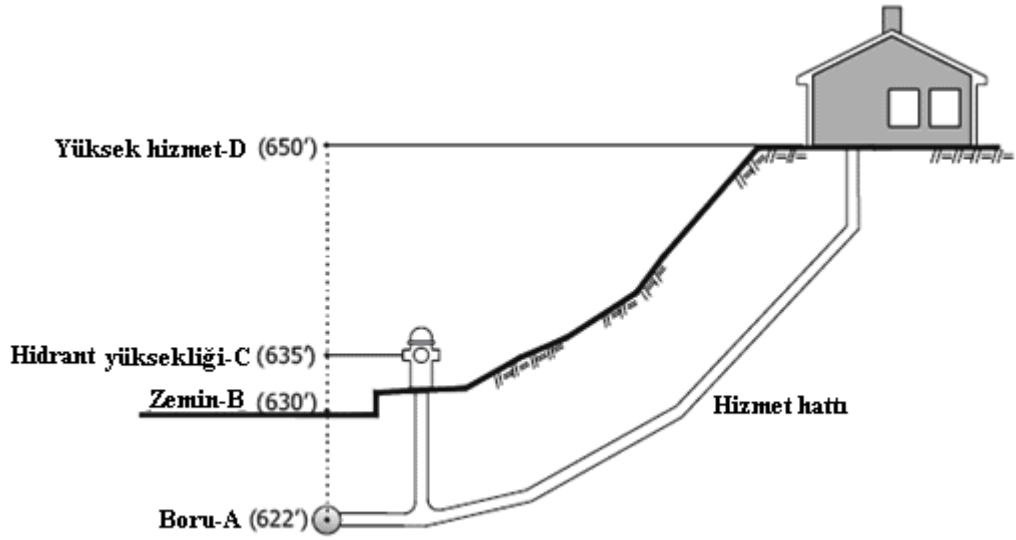
suyun pompalanması gerekir. Sistemde serbest yüzeyli yüzen depo en basit ve en çok kullanılan hazne çeşididir. Pompalanacak suyun birikmesi durumunda depo, suyu sisteme pompalama ihtiyacı duyar.



Şekil 2.8 Yüzen, basınçlı ve pompalı depolar arasındaki ilişki (Walski vd., 2003)

Basınç depoları yani hidropnömatik depolar kısmen basınçlı havayla doludur. Çünkü depodaki su basınçlıdır ve hidrolik seviye çizgisi su yüzeyi yüksekliğinden büyüktür. Kararlı durumda modellerde, hidropnömatik depo bu hidrolik seviye çizgisine sahip depo veya rezervuar ile gösterilebilir. Uzatılmış süre simülasyonu modelinde sistem yüzen eşdeğer serbest yüzeyli depo ile gösterilebilir.

Bağlantı noktası: Model üzerinde iki veya daha fazla borunun birleştiği yer olarak bilinir. Bir bağlantı noktası tek bir borunun sonunda olabilir (ölü nokta olarak bilinir). Bağlantı noktası ayrıca sistemden ihtiyaç duyulan suyun çekildiği veya sisteme katılan giriş akımlarının olduğu bir yer olarak da bilinir. Bağlantı noktaları, mevcut yada projelendirilecek su dağıtım sistemi bileşenlerinde genellikle mevcut değildir çünkü borular çoğunlukla bağlantı elemanlarıyla (dirsek, T vb.) birleştirilir ve debiler, boru boyunca herhangi sayıda kullanıcı tarafından bağlantı noktasından çekilir. Bağlantı noktasında tanımlanan fiziksel bir özellik onun yüksekliğidir. Şekil 2.9 tipik bir bağlantı noktasını gösterir. Burada A noktası yani borunun eksen yükseklik olarak alınabilir. Diğer alternatif, boru üzerindeki zemin yüksekliği yani B noktasıdır. Hidrant yüksekliği C noktası da modelde kullanılmak üzere seçilebilir. Son seçenek olarak da en yüksek hizmet seviyesi D noktası olabilir (Walski, 1999).



Şekil 2.9 Bağlantı noktası için yükseklik seçimleri (Walski, 1999)

Borular: Boru, şebekedeki bir bağlantı elemanından diğerine akımı yönlendiren elemandır. Modelleme için borunun ayrı ayrı bölümleri ve ilgili bağlantı elemanları tekil bir boru elemanına tümüyle dönüştürülebilir. Model boru, uzunluğu boyunca benzer özelliklere (boyut, malzeme vb.) sahiptir. Modelde bir boru elemanına atanan uzunluk bir noktadan diğerine suyun aktığı tam uzunluğu gösterir. İç çap, borunun iç duvarından karşı duvara olan mesafedir (ECAC, 1999). Boru içinde korozyon, yumrulaşma ve tortu oluşukça iç çapta değişiklik meydana gelir (Şekil 2.10). Borunun iç yüzeyinde korozyon reaksiyonları oldukça yumrulaşma meydana gelir. Tortu, sudaki kimyasal durumlar nedeniyle boru duvarları boyunca oluşan kimyasal depolama prosesidir. Örneğin kireç tortusu kalsiyum karbonatın çökmesiyle oluşur. Tortulaştırma olayı korozyonu önlemek amacıyla kullanılır fakat kontrolsüz olursa boru iç çapını küçültür. Gerçekte boru çapı anma çapından farklıdır fakat ölçmek zor olacağından borunun anma çapı modelde kullanılabilir. Fakat gerçek çap yerine anma çapı kullanmak su kalitesi modellemesi oluştururken önemli farklara yol açar. Çünkü akış hızı debiye bağlıdır, debi boru iç çapına bağlıdır ve borunun taşınım özellikleri etkilenir (Volk vd., 2000). Sistemde mevcut olan her bağlantı elemanı ve donanımı göstermek için ayrı ayrı modelleme elemanlarının modele dahil edilmesi gereksiz ve can sıkıcı bir konudur. Bunun yerine bağlantı elemanlarının oluşturduğu minör kayıplar borularla birleştirilir (yani boru özellikleri olarak atanır). Birçok hidrolik simülasyonlarda minör kayıplar ihmal edilir çünkü tüm sistem boyunca olan yük kayıplarına büyük ölçüde katkıda bulunmaz. Bazı durumlarda boru içindeki hızlar ve bağlantı elemanlarının şekilleri minör kayıpları dikkate değer kılabilir

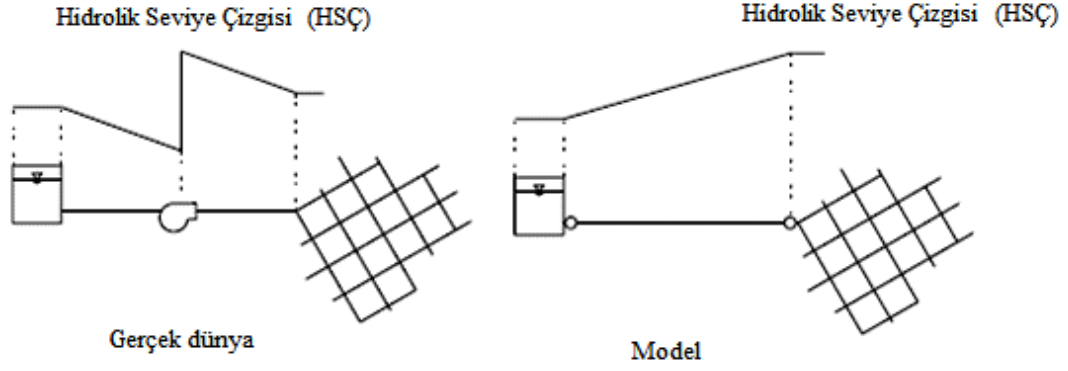
(örneğin pompa istasyonları). Minör terimi görecelidir yani bu kayıpların etkisi farklı durumlar için değişiktir (Walski vd., 2003).



Şekil 2.10 Boruda korozyon ve tortu oluşumu (ECAC, 1999)

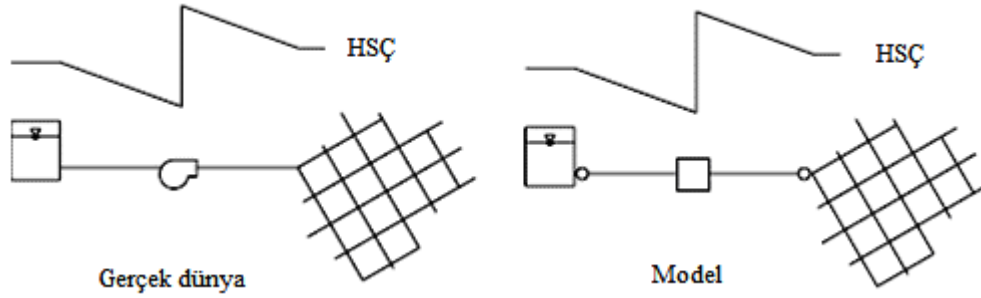
Pompalar: Pompalar boru yük kayıpları ve fiziksel yükseklik farklarının üstesinden gelmek amacıyla su dağıtım sisteminde gerekli görülen yerlerde enerjiyi arttırmak amacıyla kullanılır. Sistem tamamen cazibeli değilse, pompalar dağıtım sistemlerinin tamamlayıcı bir parçasıdır. Su temini ile ilgilenen kurumların (belediyeler, ilbank vb.) sistemdeki her pompa için dosyasında pompa işletim eğrilerine sahip olması gereklidir. Enerji maliyetlerini hesaplamak için, pompa verim eğrileri de elde edilmelidir. Her pompa kendi katalog modelinden farklıdır ve amortismanı pompa performansının zamanla değişimine neden olacaktır. Bunun için pompalar, kayıta olan eğrilerin sahadaki performansla uyumunu doğrulamak amacıyla kontrol edilmelidir. Eğer işletme noktası karakteristik eğriyle uyumlu değilse, gerçek hareketi yansıtmak için yeni bir eğri geliştirilebilir. Her ne kadar kayıttaki pompa eğrisi gerçek pompa karakteristikleriyle tam anlamıyla uyuşmasa da, birçok kurum pompa eğrisi için katalog değerlerinin modellemede yeterli olduğu düşüncesindedir.

Bir pompa, yazılım paketine bağlı olarak düğüm veya bağlantı elemanı olarak gösterilebilir. Pompaları bağlantılar olarak gösteren yazılımlarda, pompa sistemdeki memba ve mansap noktalarını bağlar. Bağlantı gösterimi pompanın iç matematiksel gösterimini daha yakın yansıtır fakat yanlışlıklar getirebilir. Şekil 2.11'deki gibi pompa çekişi ve deşarjını yok sayabilir ve içlerinde meydana gelen yük kayıpları ihmal edilebilir.



Şekil 2.11 Bağlantı elemanı olarak gösterildiğinde gerçek pompa ve modellenmiş pompa arasındaki fark (Walski vd., 2003)

Belirli bağlantı kurallarıyla pompaları düğüm noktası olarak gösteren modeller de vardır. Düğüm noktaları daha az hatalı, daha gerçekçi ve uygulanması modelci için daha kolaydır. Gerçek hayatta pompanın genellikle iki ayrı hidrolik seviyeli (biri alış, diğeri deşarj tarafında olmak üzere) ve tek bir yerde bulunduğu düşünülür. Şekil 2.12 pompanın düğüm noktası şeklinde gösterimidir.



Şekil 2.12 Düğüm elemanı olarak gösterildiğinde gerçek pompa ve modellenmiş pompa arasındaki fark (Walski vd., 2003)

Vanalar: Vana farklı boyutlarda açılabilen veya kapanabilen bir elemandır. Böylece akış hızını değiştirerek boru hattı boyunca suyun hareketini kontrol eder. Vanalar kendi aralarında izolasyon vanaları, yön vanaları, yükseklik vanaları, hava bırakan veya vakumlayıcı vanalar ve kontrol vanaları olmak üzere 5 genel kategoriye ayrılırlar. Bazı vanalar basınç veya debilere bağlı olarak suyun akışına göre otomatik olarak tasarlanır yada manüel olarak sistemin parçalarını tamamen kapatmak için kullanılır.

Birçok hidrolik modelde izolasyon vanası gereksiz bir detaydır. Bunun yerine izolasyon vanasının tasarlanmış hareketi (minör kayıpları) borunun bir parçası olarak tanımlanabilir.

Çoğu model her pompanın otomatik olarak bir yön vanasına sahip olduğunu kabul eder, yani açıkça birini modele dâhil etmeye ihtiyaç yoktur. Eğer pompa deşarj yönünde bir kontrol vanasına sahip değilse, güç kesildiğinde su pompa boyunca geri akabilir. Bu durum sadece pompa kapalı durumdayken açılan pompaya paralel bir boruyla modellenebilir.

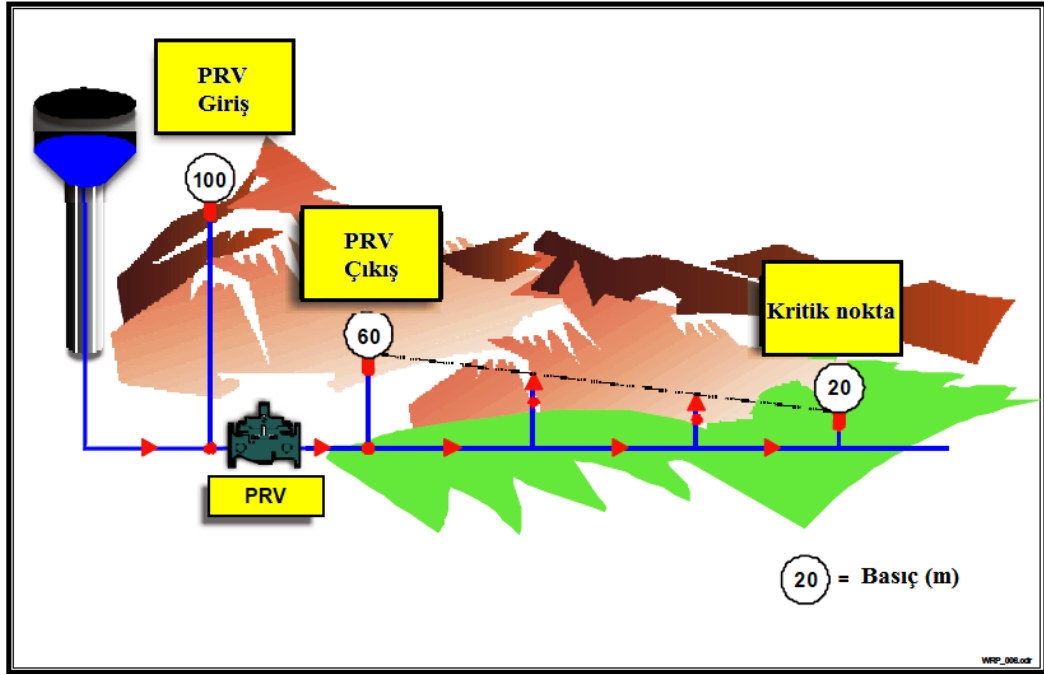
Suyu temin eden kurumlar, projelendirme esnasında, boru hattının depoya girdiği noktada yükseklik vanaları olarak adlandırılan aletleri kullanır. Depo seviyesi belirlenen üst sınıra kadar dolarsa, girecek daha fazla akımı engellemek için vana kapanır, böylece taşma önlenir. Akım yönü tersine döndüğünde vana tekrar açılır ve sistemin kullanım ihtiyacını temin etmek için deponun boşalmasına izin verir. Birçok yazılım paketi otomatik olarak hem minimum hem de maksimum depo seviyelerinde yükseklik vanalarının hareketini tayin eder.

Hava bırakma ve hava/vakum vanaları standart su dağıtım sistemi modellemesinde yer almaz. Böyle elemanların önemi ileri seviyede çalışmalar için fazladır.

Model gösterimindeki kontrol vanalarının ayarı ya basınçlardır ya da hidrolik seviye değerleridir. Modeller, hidrolik seviye çizgileriyle hesaplama yapar. Eğer basınç ayarı kullanılırsa yalnızca doğru basınç ayarını değil ayrıca doğru vana yüksekliğini de modele dahil etmek önemlidir. Kontrol vanaları; basıncı azaltan vanalar, basıncı koruyan vanalar, debi kontrol vanaları ve kısma kontrol vanaları olarak sınıflandırılabilir (Walski vd., 2003).

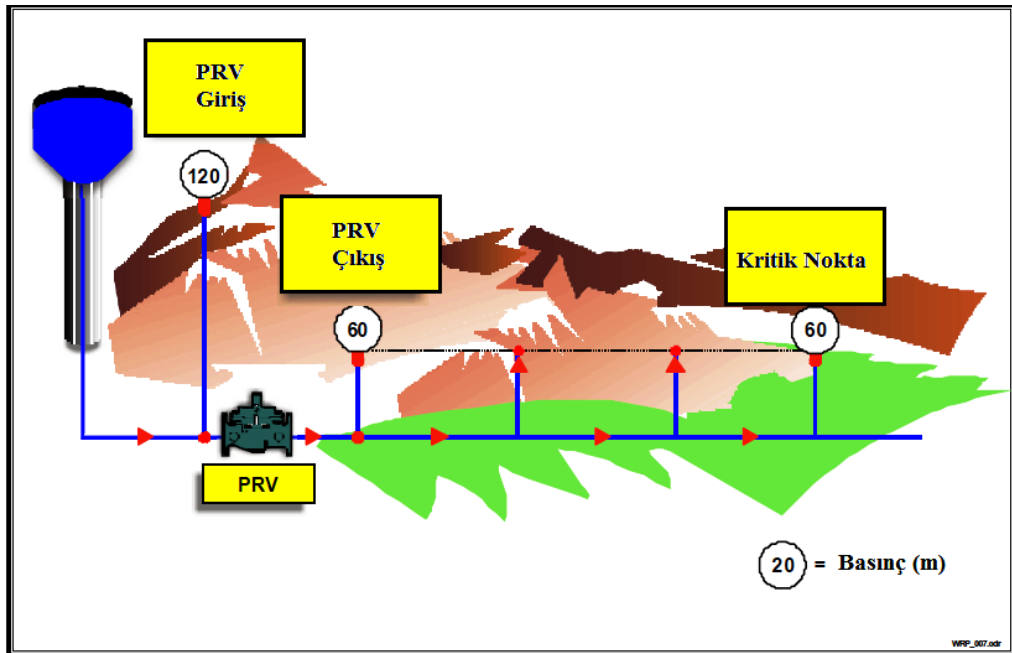
Basınç yönetimi için genellikle basıncı azaltan vanalar (PRV:Pressure Reducing Valve) kullanılmaktadır. Basınç yönetimi, fazla olan basınç nedeniyle yüksek su kayıplarını ve boru patlama sayısını azaltmak, aboneler için gerekli ve yasal mevzuatlara göre düzenlenmiş yeterli olan minimum basınç düzeyinde şebekenin işletilmesini sağlamaktır.

Bilindiği üzere, çoğu sistemler maksimum kullanım esnasında, şebekenin en kritik noktasında belirli bir minimum su basıncının sağlanması kriterine göre tasarlanır. Maksimum su kullanımına ilişkin örnek bir durum Şekil 2.13'te sunulduğu gibi şebeke için gerekli minimum su basıncının 20 mss olduğu varsayılarak çizilmiştir.



Şekil 2.13 Maksimum su kullanımı anında şebekede basınç (McKenzie, 2001)

Su tüketiminin (debinin) nispeten az olduğu dönemlerdeki basınç, maksimum kullanım olan dönemlere göre çok daha fazla olacak ve sistem önemli ölçüde yüksek basınçla işletilecektir (Şekil 2.14) (McKenzie, 2001).



Şekil 2.14 Maksimum su kullanım zamanları dışında şebekedeki basınç (McKenzie, 2001)

2.2.1.2 Su kullanım girdileri

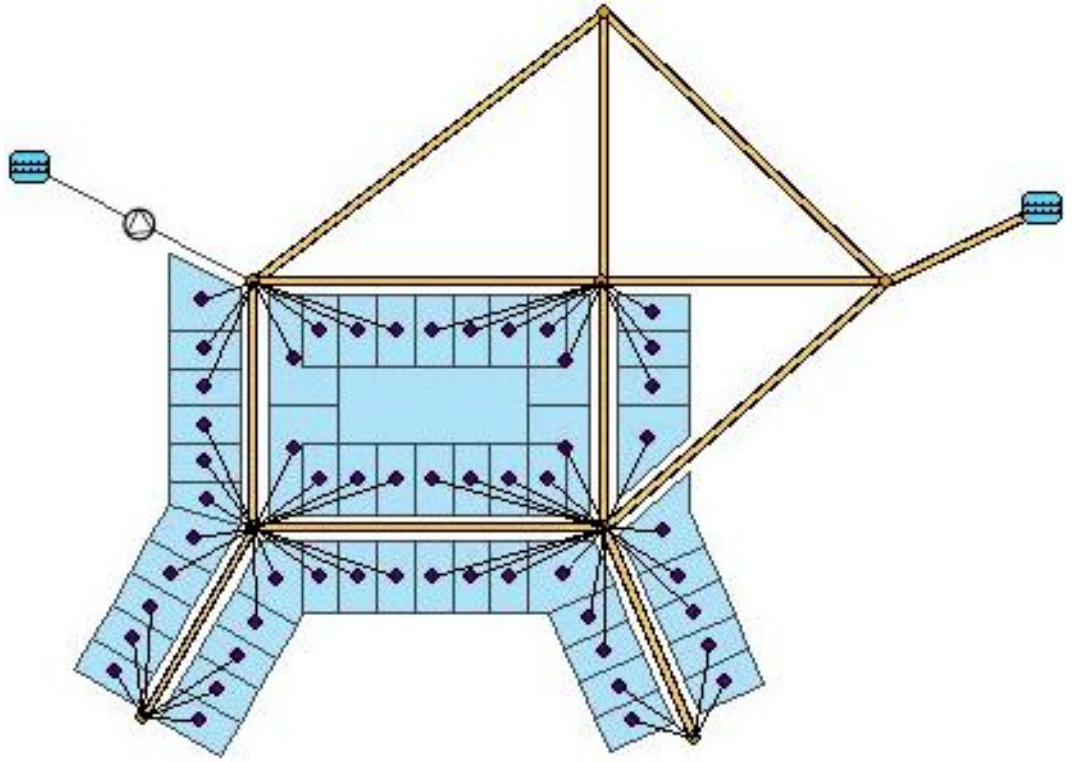
Model veri girişinin en zor yönlerinden biri düğüm noktası su tüketimini belirlemektir. Suyun sistemi terk ettiği herhangi bir yer modelde bir su tüketim noktası olarak tanımlanmaktadır. Su kullanımları toplanır ve düğüm noktalarına atanır. Kullanılan suyun, nerede kullanıldığının ve zamanla bu kullanımın nasıl değiştiğinin belirlenebilmesi önemlidir (Walski vd., 2003). Kayıpları ve diğer gözardı edilmiş su kullanımını hesaba katmak için evrensel bir ayarlama katsayısı kullanılmalıdır yani modeldeki toplam su tüketimi toplam üretime denk düşmelidir.

Düğüm noktası su tüketimi dağılımı konumsal ve zaman değişimli olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Konumsal dağılım: Sistemde coğrafi olarak dağıtılan debidir. Su dağıtım sistemi içinde konumsal dağılan düğüm noktası su tüketiminin hesaplanması için kullanılabilen yöntemler şunlardır:

a. Müşteri ücretlendirme verisi

Dağıtım sistemi içinde su tüketimini dağıtmanın en doğru yollarından biri müşteri ücretlendirme verisi veya ölçülmüş veri kullanılmasıdır. Müşteri ücretlendirme verisini modele dahil etmek için farklı yollar vardır. CBS yazılımları, ölçülmüş veriyi modele dönüştürmek için uygun bir araçtır. Kullanıcı, ödeme bilgisine göre adres bilgisini CBS programında coğrafi olarak kodlar. Daha sonra her su tüketim noktasını dağıtım sistemi modelindeki ilgili düğüm noktasıyla birleştirir (Şekil 2.15). Çoğu zaman su dağıtım sistemi modelindeki her düğüm noktası bir tüketimden fazlasına sahip olabilmektedir. Bu durumda o düğüm noktasındaki tüm tüketim değerleri toplanmalıdır.



Şekil 2.15 Su tüketim noktalarının ilgili düğüm noktalarına birleştirilmesi (DHI, 2011)

b. Arazi kullanım haritası

Bu yöntemde, kullanıcı model için arka zemin olarak ister arazi kullanım haritasını isterse de dijital fotoğrafı modele dahil edebilir. Arazi kullanım haritası tercih edilirse, kullanıcı haritayı tarayarak modele aktarabilir ve uygun şekilde tüketim değerlerini girebilir. Kullanıcı dijital fotoğrafı tercih ederse, bunu modelin arkasına yerleştirerek arazideki tüm evleri sayma yoluna da gidebilir. Ardından toplam ev sayısını bir evin ortalama su tüketim değeriyle çarpar ve bulunan değeri modele girer. Kullanıcı aynısını endüstriyel veya ticari bölgeler için de yapabilir.

c. Otomatik su tüketimi dağılımı

Büyük şebeke sistemleri için su tüketim verisini tek tek atamak can sıkıcı ve zaman alıcıdır. Bu nedenle modelleme yazılımlarında mevcut olan otomatik su kullanımı dağılımı özelliği ile toplam şebeke tüketiminin tüm düğüm noktalarına otomatik olarak dağıtılması mümkündür (DHI, 2011).

Zaman değişimli dağılım: Belirli zaman aralıkları için su kullanım miktarının nasıl dalgalanacağına bakılan dağılımdır. Bu dağılım, kullanıcı yaz veya kış aylarında olabilecek herhangi bir olayı modellemek için kullanışlı olabilmektedir. Ayrıca tüm konumsal su tüketim dağılımını geri almadan pik durumların modellenmesi mümkün olmaktadır. Zaman değişimli dağılım kütle dengesi yaklaşımıyla hesaplanabilir.

Kullanıcı alana girecek su girişini kaydetmeli ve suyun depolanması sırasındaki seviye değişimini eklemelidir. Kullanıcı, sistemdeki her düğüm noktasına ortalama su kullanım değeri atayacaktır. Böylece eğer belirli bir birim zaman için hesaplanan su tüketimi ortalama su tüketiminden büyük veya küçük olursa kullanıcı o birim zaman için tüketime bir katsayı dahil edecektir.

2.2.1.3 Topoğrafik girdiler

Hidrolik modeller, enerji kayıplarını basınca dönüştürmek için yükseklik verileri kullanır. Gerçek boru yükseklikleri, doğru hidrolik seviye çizgisini oluşturmak için kullanılmalıdır. Basınç bilgisinin gerektiği şebekede her düğüm noktasına yükseklik verisi atanır. Yükseklik bilgilerini belirlemek için mevcut topoğrafik haritalar, sayısal yükseklik modelleri (SYM) veya araziden farklı ölçme yöntemleri ile (GPS: Global positioning systems, Total Station ile yersel ölçü vb.) elde edilen yükseklik verileri kullanılır.

2.2.1.4 Model kontrol girdileri

Su dağıtım sisteminin nasıl işlediğini modele aktaran kurallar dizinini tanımlamak gerekir. Bu, belli bir pompanın her gün saat 7.00'den 10.00'a kadar çalıştığını belirlemek gibidir. Ayrıca da depo su seviyesi, düğüm basınçları, sistem su tüketimi gibi faktörler için “if-then-else” mantığı kullanılarak pompa açma/kapama, pompa hızı, veya vana durumları kompleks “mantıksal kontroller” setiyle ayarlanır (Grayman ve Rossman, 1994).

2.2.1.5 Çözüm parametreleri

Lineer olmayan denklem setinin tekrarlı olarak çözümü için kullanılan çözüm teknikleri, bu teknikleri kontrol eden farklı global parametrelere sahiptir. Bu parametreler uzatılmış süre simülasyonu çözümleri için zaman adımı uzunlukları veya çözümün yakınsadığını modele bildiren tolerans faktörleri olabilir. Kullanıcı, çözüm parametreleri için değer belirlemelidir veya yazılım paketlerine dahil edilen varsayım değerleri kabul edilmelidir. Belirli çözüm parametreleri, çözüm teknikleri ve belirli yazılım ürünleri arasında değişiklik gösterir (USEPA, 2005).

2.2.2 Model seçimi ve uygulanması kriteri

Modellemedeki ilk adım, temel faaliyet alanı ve modelleme işleminin gereksinimlerini tanımlamak ve hem yürürlükteki projenin belirli ihtiyaçlarını hem de gelecekteki olası gereksinimleri karşılayacak bir yazılım paketi seçmektir. Yazılım paketi seçiminde; teknik özellikler, eğitim/destek ve kılavuzlar, kullanıcı arayüzü (GUI: Graphical User Interface), diğer yazılımlarla bütünleşme (CBS, CAD gibi), fiyatı ve mevcut kullanıcıların tepkisi gibi etkenlere dikkat edilmelidir.

Öncelikle uygun bir model seçilir, ardından aşağıdaki adımlar şebeke modellerini uygulamada takip edilmelidir (USEPA, 2005):

1. Esas şebeke modeli geliştirilir; Esas şebeke modeline ait güncel ve doğru bilgi dikkatlice girilmeli ve sıkça kontrol edilmelidir. Veri girişini takiben modelin ilk analizi uygunluğun kontrolü amacıyla yapılmalıdır.
2. Model kalibre edilir ve doğrulanır; Kalibrasyon, su dağıtım sistemlerini modellemede tamamlayıcı bir parçadır. Model kalibrasyonu model giriş verilerini (veya bazı durumlarda model yapısını) ayarlama işlemidir. Yani simüle edilmiş hidrolik ve su kalitesi çıktıları gözlenmiş saha verilerini yeteri derecede yansıtmalıdır. Model doğrulama, kalibrasyonu takip eden ve modelin iyi kalibre edildiğini doğrulamak için bağımsız saha verisi setini kullanan bir adımdır. Doğrulama adımı, kalibre edilmiş model, kalibrasyonda kullanılanlardan farklı durumlar ve saha verisiyle karşılaştırılan sonuçlar altında çalıştırılır. Eğer model sonuçları yeterli zaman periyodu için saha sonuçlarına oldukça yakınsa kalibre edilmiş modelin geçerli olduğu düşünülür. Önemli sapmalar daha fazla kalibrasyonunun gerekli olduğunu gösterir.
3. Hedefler açıkça belirlenir ve hedefleri karşılamak için modele uygulanır; Model uygulamasından önce, belirli modelleme hedeflerinin açıkça tespit edilmesi gereklidir. Amaçlar, su kullanımı ve işletme biçimlerinin belirlenmesini içerebilir. Bu belirlemelere göre, bir dizi senaryo tanımlanabilir ve modele uygulanabilir. Bazı yazılım ürünleri çok sayıda belirli model analizlerini tanımlamak ve yönetmek için kullanıcıya yardımcı olan senaryo yöneticisini içerir.
4. Analiz yapılır ve sonuçlar gösterilir; Su dağıtım sistemi modelleri çok fazla miktarda çıktı üretir. Modern su dağıtım sistemi analizi yazılımı, kullanıcıya yardımcı olan grafiksel gösterimler ve çizelge gösterimleri temin eder, yani

model etkili bir şekilde analiz edilebilir. Çıktılar modelin uygun biçimde çalıştığını sağlamak ve çalışılan belirli problemin analizi için gereken bilgiyi çıkarmak için analiz edilmelidir (Clark ve Grayman, 1998).

2.3 Su Dağıtım Sistemi Benzeşimi

Benzeşim (simülasyon) terimi, gerçek sistemin matematiksel gösterimini (modelini) kullanma işlemine başvurmadır. Mevcut veya önerilen bir sistemin dinamiğini kopyalayan şebeke benzeşimleri, gerçek sistemi doğrudan deneye maruz bırakmak veya bir sistemi gerçekten oluşturmadan değerlendirmek pratik olmadığından oluşturulur. Buna ek olarak, su kalitesi söz konusu olduğunda sistemi doğrudan test etmek pahalı olabilir ve insan sağlığına tehlike oluşturabilir. Benzeşimler, gerçek sistemi bozmadan birçok durum altında olaylara olan sistem tepkilerinin tahmini için kullanılabilir. Benzeşimleri kullanarak, problemler gerçek veya önerilen sistemlerde kestirilir ve gerçek dünya projelerine zaman, para ve malzeme yatırmadan önce çözümleri değerlendirilebilir. Simülasyonlar kararlı hal veya uzatılmış süre benzeşimleri olabilir.

2.3.1 Kararlı hal benzeşimleri

Kararlı hal, sistemin dengelenmiş uzun süreli hareketine, zamanla değişmeyen sistem durumuna karşılık gelir. Depo ve rezervuar seviyeleri, debiler, pompa ve vana işletimi sabittir ve simülasyonun sınır koşullarını tanımlar. Gerçek su dağıtım sistemleri nadiren kararlı haldedir. Bu yüzden kararlı hal kavramı matematiksel bir kurgudur. Debiler ve depo su seviyeleri sürekli değişir ve pompalar sürekli olarak çalışır ya da çalışmaz. Kararlı hal benzeşimleri diğer çeşit benzeşimler için yapım bloklarıdır. Kararlı hal modelleri pik su tüketim süreleri, yangından korunma kullanımı ve zaman etkilerinin kısmen önemli olmadığı sistem bileşen kusurları gibi belirli en kötü hal durumlarını analiz etmek için kullanılır (AWWA M32, 2012).

2.3.2 Uzatılmış süre benzeşimleri

Kararlı hal analizleriyle alınan sonuçlar hidrolik modellemede geniş bir uygulama alanı için kullanışlıdır. Bununla birlikte kararlı hal benzeşimlerinin geçersiz olduğu veya bir süre boyunca sistemin değişmesine izin veren benzeşime ihtiyaç duyulması gibi birçok durum vardır. Uzatılmış süre benzeşimlerinin hidrolik zaman adımları

gerçekte birbiri ardına sıralanan kararlı hal benzeşimleridir. Her kararlı hal adımından sonra sistem sınır koşulları; düğüm noktası kullanımları, depo seviyeleri, pompa işletmeleri vb.'deki değişimleri yansıtmak için yeniden değerlendirilir ve güncellenir. Sonra, diğer bir hidrolik zaman adımı alınır ve bu proses benzeşimin sonuna kadar devam eder. En genel benzeşim süreci 24 saattir çünkü tüketimler ve işletimler için en ayırt edilebilir düzen bir günlüktür. Uzatılmış süre benzeşimini çalıştırırken en önemli karar hidrolik zaman adımıdır. Zaman adımı, uzatılmış süre benzeşiminin bir kararlı hal parçası için zaman uzunluğudur. Çok büyük zaman adımı modelin iyi sonuçlar vermesini güçleştiren ani hidrolik değişimlerin meydana gelmesine sebep olabilir. Genel olarak modelciler bir saatlik zaman adımlarını kabul ederek benzeşime başlarlar (Walski vd., 2003; AWWA M32, 2012).

Uzatılmış süre benzeşimleri için kullanılan boru hidrolik denklemleri (gerçek bir akışkanın hareket denklemi) aşağıdaki şekildedir (Larock vd., 1999):

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial l} + g \frac{\partial z}{\partial l} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial z}{\partial l} + \frac{f}{D} \frac{v^2}{2} = 0 \quad (2.26)$$

Yukarıdaki denklemde ortalama hız;

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.27)$$

Boru eksenli boyunca Darcy-Weisbach denklemine göre enerji çizgisi gradyanı;

$$J_e = \frac{f}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.28)$$

Akım eksenli boyunca boru yükseklik gradyanı;

$$J_0 = -\frac{\partial z}{\partial l} \quad (2.29)$$

Buna göre hareket denklemi aşağıdaki şekle dönüşür;

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial z}{\partial l} + g(J_e - J_0) = 0 \quad (2.30)$$

Yukarıdaki denklem aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial l} \frac{v^2}{2g} + \frac{\partial z}{\partial l} + \frac{1}{g\rho} \frac{\partial p}{\partial l} + J_e = 0 \quad (2.31)$$

Kararlı hal benzeşim denklemleri, uzatılmış süre benzeşimleri için kullanılan hareket denklemi içindeki zaman teriminin denklemde sıfır alınmasıyla aşağıdaki eşitliğe dönüştürülmüştür:

(2.31) denkleminde $Q(l)=\text{sabit}$, $\rho=\text{sabit}$ ve $\frac{\partial \dots}{\partial t} = 0$ kabul edildiği için;

$$\frac{\partial}{\partial l} \left(z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{g\rho} \right) + J_e = 0 \quad (2.32)$$

veya

$$\frac{\partial H}{\partial l} + J_e = 0 \quad (2.33)$$

(2.33) denkleminin integrali alınarak;

$$H_2 - H_1 + \int_{l_1}^{l_2} J_e \cdot dl = 0 \quad (2.34)$$

denklemini elde edilir.

2.4 Su Dağıtım Sistemi Modellerinin Uygulama Alanları

Modeller karmaşık topolojileri, sıkça büyümeleri ve değişimleri nedeniyle dağıtım sistemleri için önemlidir. Su dağıtım şebeke simülasyonları aşağıdaki amaçlar için kullanılır (Walski vd., 2003):

1. Yeni değişim ve gelişimleri içeren uzun vadede imar planlaması yapma
2. Yangından korunma çalışmaları,
3. Su kalitesi araştırmaları,
4. Enerji yönetimi,
5. Sistem boyutlandırma,
6. İşletmeci eğitimi, acil tepki ve arıza tespiti içeren günlük işlemsel kullanımlar.

Uzun süreli imar planlaması: Planlamacılar, su dağıtım sistemini tüm açıdan inceler ve gelecek için hizmet kalitesini sağlamak amacıyla gereken büyük mali gelişim projelerini belirlemeye çalışırlar. İmar planlaması olarak adlandırılan bu proses sistem büyümesini ve sonraki 5,10 veya 20 sene için su kullanımını değerlendirmek amacıyla kullanılır. Nüfus büyümesi, ilaveler, kazançlar veya su temin eden kurumlar arasındaki toplu anlaşmalar nedeniyle sistem büyümesi meydana gelebilir. Bu durumda alıcılara yeterince hizmet için hidrolik şebekenin kapasitesi değerlendirilmelidir.

Bir modelde sadece potansiyel problemliler belirlenmez (gelecekteki düşük basınç bölgeleri, su kalitesi problemleri olan bölgeler), ayrıca tahmin edilen problemlerin oluşmaması için yeni iletim hatları, pompa istasyonları ve depolama tesisleri boyutlandırılabilir ve yerleştirilebilir. Bir sistemi kabul edilebilir seviyede tutmak, problemliler hale gelen bir sistemi iyileştirmekten daha çok tercih edilir.

İyileştirme: Tüm mühendislik sistemlerinde olduğu gibi, su dağıtım sistemlerindeki aşınma ve eskime er ya da geç borular, pompalar, vanalar ve rezervuarlar gibi sistem parçalarının iyileştirilmesini gerekli kılar. Genellikle daha eski, astarsız, metal borular, mineral çökelti ve sudaki kimyasal reaksiyonlar yüzünden içsel birikimlere

uğrar. Bu birikme taşıma kapasitesinin kaybına, azalan basınçlara ve daha zayıf su kalitesine sebep olur. Bu yılanma etkilerini yok saymak için, su temin eden kurum boruyu temizleme ve astarlamayı tercih edebilir. Alternatif olarak boru yenisiyle (tercihen daha büyüğüyle) değiştirilir veya paralel olarak başka bir boru yerleştirilir. Hidrolik simülasyonlar bu gibi iyileştirme etkilerini değerlendirmek için ve en ekonomik gelişmeyi belirlemek için kullanılır.

Yangınla mücadele çalışmaları: Su dağıtım sistemleri yangınla mücadele amacıyla su temin etmek için de gereklidir. Yangınla mücadele tüm şebekenin boyutlandırılmasında büyük etkiye sahiptir. Mühendis yangınla mücadele gereksinimlerini belirler ve denemek için model kullanır. Eğer sistem belirli debileri sağlayamazsa ve yeterli basıncı sürdüremezse, model bu problemi doğrulamak için hidrolik elemanları (pompalar, borular vb. gibi) boyutlandırma amacıyla da kullanılabilir.

Su kalitesi araştırmaları: Bazı su dağıtım sistemi modelleme yazılımları hidrolik simülasyon kapasitesine ek olarak su kalitesi modellemesi de sağlar. Su kalitesi modeli kullanılarak, kullanıcı şebeke boyunca su yaşı, kaynak izleme ve içerik konsantrasyon analizlerini modelleyebilir. Örneğin, klor kalıntısı çalışılabilir ve daha etkin şekilde planlanabilir, şebekedeki ürünle dezenfeksiyon oluşumu analiz edilebilir veya depolama haznelerinin su kalitesine etkisi değerlendirilebilir.

Enerji yönetimi: Altyapı bakım ve tamir maliyetlerinin yanısıra pompalama için enerji kullanımı su temin eden kurumların en büyük işletim masrafıdır. Hidrolik simülasyonlar pompaların işletim karakteristikleri ve enerji kullanımını değerlendirmek için kullanılabilir. Farklı pompalama stratejileri geliştirilerek ve test edilerek enerji tüketimindeki etkiler değerlendirilir ve kurumlar enerji maliyetlerini koruma amacıyla eğitim hizmetleri gerçekleştirebilir.

Günlük işletim: Su dağıtım sistemlerini işleten kişiler genellikle sistem boyu basınçlar, debiler ve depo su seviyelerini kabul edilebilir limitler arasında tutmayı sağlamakla sorumludurlar. İşletmen bu işaretleri görüntülemek zorundadır ve değerler kabul edilebilir sınırların dışına çıktığında müdahale etmelidir. Bir pompayı açarak veya bir vanayı ayarlayarak, işletmen sistemi ayarlayabilir. Farklı mümkün durumların etkisini belirlemek için günlük işlerde hidrolik simülasyon kullanılabilir. İşletmecilerin eğitimi: Birçok su dağıtım sistemi işletmecisi uzun sürelerde sistemi işleterek deneyim kazanır ve bazen birçok kritik deneyim ekstrem durumlarda

kazanılır. Hidrolik simülasyonlar, farklı yükleme durumları altında, farklı kontrol stratejileriyle ve acil durumlarda sistemin nasıl davranacağı hakkında sistem işletmecisini eğitmek için mükemmel bir imkân sunar.

Acil tepki: Acil durumlar, bir su dağıtım sisteminin işletiminde çok önemlidir ve işletmenler ana borudaki kırılmalardan güç kesilmelerine her şeyi ele almak için hazırlanmaya ihtiyaç duyarlar. Bu acil durumlar için model kullanarak planlama yapmak, servis hizmetini tehlikeye sokmaktan korur veya kullanıcıların etkilenmesini en aza indirir. Modelleme acil tepki planlaması için mükemmel bir araçtır.

Sistem arıza tespiti: Mevcut sistemde hidrolik veya su kalitesi karakteristikleri standarda uymadığında, model simülasyonu ortaya çıkabilecek durumları belirlemek için kullanılabilir. Ani (kronik) düşük basınçlardan sıkıntı çeken bir bölge için simülasyon serileri, örneğin, bölgede kapalı bir vananın olması olasılığına işaret edebilir. Saha ekibi bu bölge civarındaki vanaların kontrolü için gönderilir (Mays, 2000; AWWA M32, 2012).

2.5 Su Dağıtım Sistemleri için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Teknolojisi

Bilgi hayatımızın her anında kullanılan bir olgu olmasına rağmen doğru bilgiye ulaşmak ve onu kullanabilmek oldukça zordur. Bu yüzden insanlar karar destek sistemleri, yönetim bilgi sistemleri ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi, veriyi belirli bir standartta depolayarak istenilen sorgu ve analizler yapan bilgi sistemlerini geliştirmiştir.

Yeryüzüne ait doğal, kültürel ve konumsal değişimlerin araştırılması ve öğrenilmesi amacıyla kullanılan oldukça hızlı ve doğru bilginin elde edilebildiği yazılımlar ve sistemler mevcuttur. Periyodik olarak bu sistemler aracılığı ile yeryüzüne ilişkin milyonlarca veri elde edilmektedir. Bu verinin organizasyonunu sağlayacak sistem ise CBS'dir. Son yıllarda bu sisteme ait teknoloji ülkemizde daha yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Üniversiteler, özel şirketler ve belediyeler başta olmak üzere birçok kurum ve kuruluş artık CBS'den yararlanmaktadır (Yomralıoğlu, 2000). CBS güncel verilerle, planlama ve veri yönetimi gibi karmaşık işlemleri anlaşılır ve hızlı hale getirmektedir. Böylelikle alınacak kararlar için karar destek sistemini oluşturmakta ve hızlı ve doğru çözümler üretmeyi sağlamaktadır. Veriler, veri yönetim sistemleri ile daha güvenli depolanabilmektedir. Veri yönetim

sistemleri bütün verilere anında erişmeyi ve verileri analiz etmeyi sağlamaktadır. Coğrafi bilgi teknolojileri sayesinde verilerin yönetimi ile birlikte veri paylaşımı da mümkün olmaktadır. Böylelikle veriler, yapılabilecek her türlü uygulamaya ve geliştirilmeye açık olmaktadır (Tecim, 2008).

2.5.1 CBS' de temel kavramlar

Coğrafi Bilgi Sistemleri; konum ile ilgili bilgilerin kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayacak biçimde çeşitli kaynaklardan toplanması, bilgisayar ortamında depolanması, işlenmesi, güncelleştirilmesi, analiz edilmesi, yönetilmesi ve sunulması amacıyla düzenli şekilde bir araya getirilmiş bilgisayar donanımı, yazılım, personel ve coğrafi bilgilerden oluşan bir bütündür, şeklinde tanımlanabilir (Maraş, 1999).

CBS; verilerin saklanması ve yeniden düzenlenmesi; mekânsal verilerin gerçek dünyadan alınıp belirli amaçlar için dönüştürülmesi ve görüntülenmesini sağlayan güçlü bir araç setidir (Burrough, 1998). CBS teknolojisi sorgulama, görüntüleme, istatistiksel analiz ve coğrafi analiz gibi ortak veri tabanı işlemlerini birleştirir. Bütün bu özellikler strateji planlamada, sonuçları tahmin etmede ve olayları açıklamada genel ve özel işlemlere cevap vermesi ile CBS'yi diğer bilgi sistemlerinden ayırarak önemli hale getirir (Maguire vd., 1991).

Coğrafi Bilgi Sistemleri, CAD (Computer Aided Design - Bilgisayar Destekli Tasarım) ortamı ve veritabanı olmak üzere iki temel kısımdan oluşur. CAD ortamında grafik bilgiler tutulurken, veritabanında sözel-tablosal (öznitelik) bilgiler saklanır. CBS, sözel bilgilerle bu bilgilere ait grafik-harita bilgilerinin bağlantılı çalıştığı, akıllı objelerin oluşturulduğu bir bilgi sistemini ifade eder (Aydın, 2007). Yerel yönetimler, planlama, parselizasyon, kamu güvenliği ve çevreyle ilgili çalışmalarda coğrafi bilgi sistemlerini etkin olarak kullanmaktadırlar. Diğer yandan CBS, hızlı nüfus artışına paralel olarak mekân kavramının önem kazanması, doğal kaynakların tahmini ve yönetimin gerekliliğini ön plana çıkarmıştır (Dinç, 2000).

CBS için daha birçok tanım yapılmıştır. Bu tanımlardan;

1. CBS'nin konuma dayalı bir sistem olduğu,
2. Grafik ve grafik olmayan verileri birlikte işlediği,
3. Verilerin toplanıp depolandığı, ilişkilendirildiği, sorgulandığı, analiz edildiği ve bu verilerden problemlerin çözümlerinin üretildiği bir sistem olduğu,
4. Coğrafi bilgiye hızlı, doğru ve kolay ulaşmayı sağladığı

5. Farklı amaçlar için hazırlanmış verileri birbirleri ile ilişkilendirerek daha doğru cevaplar verebilen bir sistem olduğu vb. sonuçlarına varılmıştır (Ağuş, 2011).

Kent Bilgi Sistemi (KBS); Coğrafi Bilgi Sistemlerinin daha özelleştirilmiş bir alt kategorisidir. Kent Bilgi Sistemleri (KBS), kentsel faaliyetlerin yerine getirilmesinde optimum-karar verebilmek için ihtiyaç duyulan planlama, altyapı, mühendislik, temel hizmet ve yönetsel bilgileri hızlı ve sağlıklı bir şekilde irdelenmek amacıyla oluşturulan, konumsal bilgi sistemlerinden biridir (Yomralıoğlu, 2000).

Kent Bilgi Sisteminin, kentin altyapısı için (içme suyu, doğalgaz, yağmursuyu, atık su, elektrik, telefon vb...) uygulanmasına Altyapı Bilgi Sistemi (ABS) denmektedir. Altyapının yeterliliğinin denetlenmesi, oluşabilecek muhtemel sorunların gözden geçirilmesi ve oluşmuş sorunların çözülmesi olabildiğince hızlı yapılmalıdır, çünkü altyapı şebekesi bilindiği gibi şehrin su, iletişim ve enerji ihtiyaçlarının aktarımını yapmakta ve bunların her hangi bir sorun ile eksik kalması günlük yaşamı ve aktiviteleri olumsuz etkileyebilmektedir. ABS de bu gibi sorunlar karşısında hızlı çözümler üretebilmek amacıyla oluşturulmakta ve bu sebeple Kent Bilgi Sisteminin en önemli parçasını teşkil etmektedir (Ağuş, 2011).

Ülkemizde yerel yönetimlerde CBS kurulumunun ve uygulamalarının önündeki engeller genel olarak; CBS'ye bakış ve farklı algılamadan kaynaklanan sorunlar, yasal-yönetsel, teknik altyapı ve mali kaynaklar konusunda yaşanan sorunlar sıralanabilir (Çizelge 2.4) (Bensghir ve Akay, 2004).

Türkiye'de kent bazında kurum ve kuruluşlar tarafından oluşturulan dijital sistemlerin birbirinden bağımsız olması ve her kurumun ihtiyaç duyduğu veriyi kendi veritabanlarında saklaması ve güncellemesi sonucunda önümüzdeki yıllarda ülkemizde bir veri çöplüğü oluşması beklenmektedir (Yıldırım vd., 2014).

Çizelge 2.4 CBS Konusunda Yaşanan Sorunlar (Bensghir ve Akay, 2004)

CBS'ye bakış ve algılama	Yöneticilerin CBS'ye bakış açılarının olumsuz olması nedeniyle sistemin uygulanabilirliğinin etkilenmesi, Yöneticilerin personeli yeterince teşvik etmemeleri,
Yasal-Yönetmelik Sorunlar	Uzman personelin sayıca yetersiz olması, Uzman personelin nitelik olarak yetersiz olması, Personelin yabancı dil açısından yetersiz kalması, Personelin yeni sistemler konusunda gereksinim duyduğu eğitimin sağlanamaması, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin yaygınlaşması konusunda teşviklerin yetersiz olması, CBS uygulamalarının kurumsal bazda kalıp geniş bir kesim tarafından kullanımının sağlanamaması, Kurumlar arasında yeterince eşgüdüm olmaması, CBS konusunda belirlenmiş standartların olmaması, Yapılan uygulamaların birbirinden kopuk ve bağımsız olması, Bürokratik engellerden dolayı bilgiye ulaşımın güç olması,
Teknik Altyapı	Veri güncellemesinde yaşanan sorunlar,
Konusunda Yaşanan Sorunlar	Verilerin temininde yaşanan sorunlar, Donanım ve yazılımların etkili kullanımı açısından yaşanan sorunlar, Donanım, yazılım, ağ yapısından kaynaklanan sorunları çözmede teknik destek alınabilecek kurum/kuruluşların yetersiz olması,
Mali Kaynak Açısından Yaşanan Sorunlar	Lisanslı yazılımların çok pahalı olması nedeniyle sistemin kurulmasında kaynak sorunu yaşanması, Donanımların pahalı olması yüzünden teknolojik yenilemede karşılaşılan güçlükler, Uydu görüntülerinin, sayısal verilerin vb. pahalı olması

Altyapı tesisleri düzensiz yapılaşma nedeniyle ülkemizde çok zayıftır. Bunun sonucunda altyapı tesislerinde sık sık arızalar meydana gelmekte, can ve mal kayıpları oluşmaktadır. Meydana gelen arızaların kısa zamanda çözümü ise mümkün olmamakta, karar alma ve destek verme süreçleri uzun zaman almaktadır. Altyapı tesislerinin bakım ve onarımında yaşanan sorunların ortadan kaldırılması amacıyla

hükümetlere, yerel yönetimlere ve altyapı kuruluşlarına önemli görevler düşmektedir. Özellikle ABS kurmaları zorunlu hale getirilmeli, verilerin bir havuz içinde toplanarak diğer kurum ve kuruluşlar tarafından paylaşılması sağlanmalıdır (Keskin vd., 2006).

Şebeke elemanları, CBS veya CAD formatlarındaki çizimler yardımıyla doğrudan aktarılabilceği gibi interaktif olarak da modele girilebilmektedir. CBS coğrafi olarak birbirine bağlanmış tematik katmanlarda veriyi depolar, veriler arası ilişkiyi belirlemek ve yeni bilgiyi sentezlemek için ayrık veri kaynaklarını birleştirir. Bu nedenle mevcut içmesuyu dağıtım sistemlerinin optimum biçimde kullanılabilmesi ve yönetilebilmesi için yerleşim birimlerindeki yerel yönetim organlarının şebeke modelini kolayca oluşturmalarına yardımcı olacak CBS tabanlı içmesuyu şebekesi Altyapı Bilgi Sistemini kurmaları gerekmektedir (Uslu vd., 2014).

2.5.2 CBS'nin model oluşturmadaki önemi

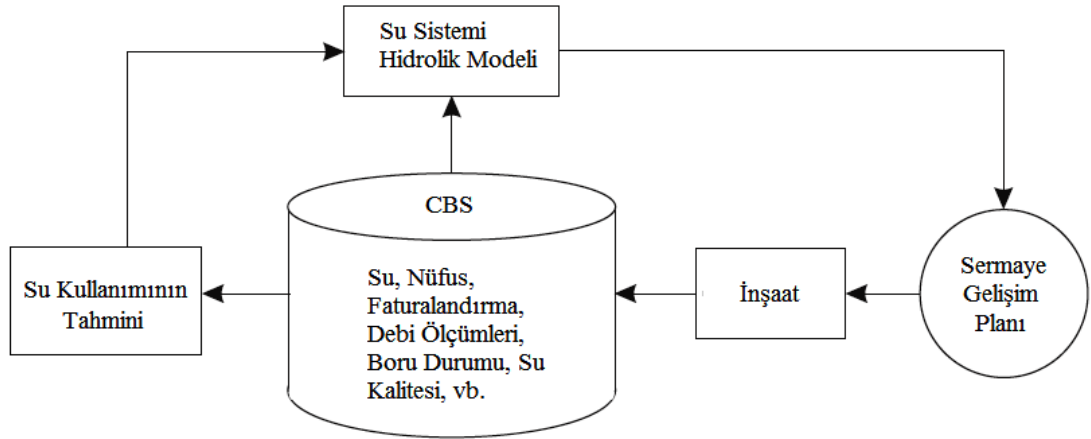
CBS ve modellemenin integrasyonundan önce, CAD verisini modelleme verisine otomatik olarak dönüştürülecek araçlar içeren hidrolik modelleme yazılımlarındaki hızlı ilerlemelere rağmen, su temin eden çoğu kurum modelleri oluşturma, güncelleme ve sürdürmede zorluk çekmişlerdir. Çok büyük hacimli veriyi elde etmek ve yönetmek için elle yapılan yöntemlerin kullanılması pratik olmadığından su temin eden kurum sıradan modelleme işlemini gerçekleştirmeyerek su modeli sürdürülebildiği için mekanizmaya sahip olamamıştır. Her ne kadar modeller güncel tutulmaya çalışılsa da her daim zaman ve iş yoğunluğu konuları ortaya çıkmıştır. CAD katmanları güncelleştirilmiş olsa da model sürdürülebilirliği genellikle ihmal edilmiştir çünkü model giriş verisi sistem çizimlerinden ayrı şekilde yönetilmektedir. Böylece, hızlı gelişmeleri deneyen toplumlarda su modelleri hızla eskimiş hale gelmiştir. Mevcut sistem modeline ihtiyaç duyulduğunda çizimlerden yeniden oluşturulması gerekmiştir. CBS, modeli daha etkin, daha doğru ve daha ekonomik oluşturmak adına kullanılmaya başlanmıştır.

Model oluşumunda CBS'nin faydaları şu şekilde sıralanmaktadır:

1. CBS araçlarının prosesi otomatik hale getirmesi nedeniyle, model yapımı özellikle büyük modeller için daha hızlı ve verimli olabilir.
2. CBS'nin çok büyük hacimde veriyi yönetmesi nedeniyle, model çok fazla detayı dahil edebilir.

3. Diğer uygulamalar için öncelikli olarak CBS’de toplanan ve depolanan veri gerekirse model giriş dosyasına aktarılabilir.
4. CBS rutin olarak yenilendiği sürece model giriş dosyasını yeniden oluşturan CBS verisi de rutin olarak yenilenecektir.
5. CBS’deki sayısal yükseklik modelleri (SYM) model düğümlerine otomatik olarak yükseklik atamada kullanılır.
6. CBS’de mevcut sayısal ortofotolar, harita altlığı olarak kullanılarak modelle çakıştırılır.
7. Müşteri ödeme kayıtları model için su kullanım verisi üretebilir.
8. Eğer modelleme sonuçları CBS’ye geri aktarılırsa, daha çok analiz yapılabilir ve planlamacılar ve geliştiriciler gibi diğer kullanıcılar CBS verisiyle uyumlu olarak model verisine yön verebilir (Shamsi, 2005).

Sonuçta model yapımı için CBS ile çalışarak mühendis su modelini oluşturmaktan çok su sistemini değerlendirmek ve karar destek mekanizmasını geliştirmek için zaman harcama imkanını yakalar. Güncel CBS verisi yardımıyla modelin tekrar oluşturulması çok daha kolay olmaktadır (Şekil 2.16) (Walski vd., 2003).



Şekil 2.16 Hidrolik modelin sürekliliği (Walski vd., 2003)

2.6 Su Dağıtım Sistemleri için Kalibrasyon ve Optimizasyon

Hidrolik modeller su sisteminin matematiksel gösterimidir. Bu modeller sistemdeki su kullanımını, boru ve diğer tesislerin fiziksel karakteristiklerini ve ekipmanların kontrol ayarlarını tanımlayan doğru veriyi içermelidir. Model elde edilmiş veriye göre simülasyonu tanımlayabilir fakat bu bilgi analiz edilen sistemi doğru şekilde yansıtmazsa sistemden sınırlı düzeyde yarar sağlanacak ve hatalı sonuçlar ortaya

çıkacaktır. Kalibrasyon can sıkıcı ve zaman alıcı olabilir. Fakat mühendislik kararlarını doğru almak için iyi kalibre edilmiş modelin potansiyel faydaları yanlış model sonuçlarının sebep olacağı hata maliyetine ağır basacaktır (AWWA M32, 2012).

İçmesuyu sistemlerinin tasarımı için kullanılan formüllerin üstel işlevlerden oluşması ve sistemlerin bilinmeyenlerinin fazla olması nedeniyle, matematiksel çözüm zahmetli ve zaman alıcı olmaktadır. Bu nedenle çözüm kümesine ulaşabilmek için çeşitli matematiksel yaklaşım yöntemleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bir sistemin tasarımında hidrolik açıdan kabul edilebilir sınırlar içinde kalan onlarca çözüm bulunabilmektedir. Su dağıtım şebekelerinin optimizasyonu problemi doğrusal olmayan bir problemidir. 1960'lerden beri güncelliğini koruyan bu problemin en uygun çözümünü amaçlayan farklı optimizasyon tekniklerini kullanan modeller geliştirilmiştir. Bu modeller dinamik, doğrusal, doğrusal olmayan programlama, tüm olasılıkları deneme gibi deterministik optimizasyon tekniklerinin yanı sıra genetik algoritmalar, tavlama benzetimi (simulated annealing), karınca kolonisi algoritması, yapay sinir ağları vb. stokastik optimizasyon tekniklerini de içermektedir.

Bu bölümde içmesuyu dağıtım sistemi modellerinin hidrolik kalibrasyonu ve optimizasyonu hakkında genel bilgi verilecektir.

2.6.1 Hidrolik kalibrasyon

Hidrolik benzeşim yazılımı su dağıtım sistemi ile ilgili temin edilmiş veriyi kullanarak süreklilik ve enerji denklemlerini çözer. Burada benzeşimin kalitesi verinin kalitesine bağlıdır. Yani benzeşim yazılımının doğruluğu onun nasıl kalibre edildiğine bağlıdır. Kalibrasyon, model sonuçlarının saha gözlemleriyle karşılaştırılması prosesi olarak tanımlanabilir. Eğer gerekirse sistemi tanımlayan giriş parametreleri model tahminleri ölçülen değerlerle oldukça uyum sağlayıncaya kadar ayarlanabilir. Modelin tümüyle kalibrasyonu dağıtım sistemini daha iyi anlamayı sağlar ve model tahminlerindeki güveni artırır (Walski vd., 2003).

Su dağıtım sistemi modelinin kalibrasyonu modelin kullanımı için oldukça önemli bir adımdır. Detaylı bir kalibrasyon, modelin doğru ve güvenilir sonuçlar ürettiğini garantiler. Modelin doğru kalibrasyonu için çeşitli parametreler gereklidir; bunlar sadece boyut, yer ve boru pürüzlülükleriyle sınırlı değildir. Boru boyutları ve boru yerleri sahadaki ölçümlerle veya mevcut çizimlerle belirlenebilir fakat

pürüzlülük değerlerinin sistem içindeki debi test sonuçlarından geri hesaplanarak bulunması gereklidir, çünkü pürüzlülük değerleri doğrudan ölçümlerle bulunamaz (Meier ve Brakdoll, 2000).

Su temini ve dağıtımı ile ilgilenen araştırmacılar, 1980'lerin başından beri su dağıtım sistemlerini değerlendiren kalibre edilmiş hidrolik modelleme çalışmalarının önemini farkındadırlar. Günümüzde halen model kalibrasyonu için yöntemler geliştirilmektedir.

Çalışmalarda kalibrasyon ile ilgili farklı tanımlamalar yapılmıştır. Shamir ve Howard (1977) kalibrasyonu mevcut sistemin ve hidrolik model giriş verisinin fiziksel ve işletimsel karakteristiklerinin belirlenmesi olarak tanımlamışlardır. Walski vd. (2003) kalibrasyonu iki aşamaya ayırmışlardır. İlk aşama pompa işletimi, depo seviyeleri, basınç azaltıcı vana ayarlamaları gibi bilinen işletim durumları için gözlenmiş basınç ve debilerle tahmin edilen basınç ve debilerin karşılaştırılmasıdır. İkinci aşama gözlenmiş ve tahmin edilen değerler arasındaki uyumu artırmak için giriş verilerinin ayarlanmasıdır. Cesario ve Davis (1984)'e göre kalibrasyon, sahadaki durumları doğru biçimde simüle edinceye kadar modelin ince ayarlanmasıdır. Speight ve Khanal (2009)'a göre model kalibrasyonu gerçek durumların yansıtılması amacıyla parametrelerin doğru bir şekilde ayarlanmasıdır.

Sonuç olarak, kalibrasyon işlemi su dağıtım şebekesinin gerçek karakteristiklerini yansıtan daha doğru bir şebeke modeline neden olur.

Ormsbee ve Lingireddy (1997)'nin çalışmasında su dağıtım şebekesi model kalibrasyonu için önerilen temel adımlar aşağıdaki şekildedir:

1.Modelin kullanım amacının belirlenmesi: Kalibrasyon prosesine başlamadan önce modelin ne amaçla kullanılacağını belirlemek önemlidir. Modelin kullanım amacı veya uygulanması, modelin istenen doğruluk seviyesini oluşturmak için gerekecek zaman ve çabayı belirleyecektir. Örneğin izleyici verisi toplamak eğer modelci, modeli su kalitesi analizleri için kullanmak isterse iyi fikir olacaktır. Fakat genel planlama amaçları için kullanılacaksa gereksiz olabilir.

Genel olarak oluşturulabilecek 3 çeşit analiz vardır. Bunlar;

- a) Kararlı hal analizi,
- b) Uzatılmış süre analizi,
- c) Su kalitesi analizi,

Kararlı hal analizleri; Sistem verimini artırmak (eski isale hattını yenisiyle değiştirerek veya yeni bir pompa ekleyerek debilerin ve basıncın nasıl etkileneceğine bakılır), master planlama (yeni gelişimlerin ve artan tüketimlerin tüm sistemi nasıl etkileyeceğine bakılır), alt bölge planlaması (ek debi ve ihtiyacın yeni alt bölgelerde nasıl bir basınç değişimi oluşturacağına bakılır), iletim hattının iyileştirilmesi (belirli bir alana ait basınç veya debiyi arttırmak için korozyona uğramış boruların değiştirilmesi), yangın debisi analizi (mevcut durumda ne kadar yangın debisinin olduğuna veya sistemin nasıl etkileneceğine bakılır), yeni endüstriyel veya ticari kullanımlar (yeni endüstriyel veya ticari bir kullanıcı için ne kadar su ve basıncın mevcut olduğunu görmek amacıyla model kontrol edilir), kesinti planlaması (belirli vanaların kapatılması, pompanın kapatılması veya deponun sökülmesi durumunda sistemin nasıl davranış sergileyeceğine bakılır) gibi model kullanımları için tercih edilir.

Uzatılmış süre analizleri; İşletimsel eğitim (Su dağıtım sistemi işletmelerinin eğitimi), depo temizleme (deponun temizlenme amacıyla devreden çıkarılması sonucu sistemin nasıl işletilebileceğine bakılır), güvenilirlik analizi (eğer bir kirleticisi sisteme girmişse sistem içinde nasıl yol alacağı izlenir), enerji optimizasyonu (Enerji etkinliğini yönetmek için en uygun pompa kombinasyonuna bakılır), deponun boyutlandırılması (yeni bir deponun eklenmesi halinde belirli durumlar altında nasıl dolup boşaldığını belirler) gibi model kullanımları için gereklidir.

Su kalitesi analizlerinin yapıldığı model kullanım amaçları ise; Su yaşı (suyun sistemde ne kadar kaldığına bakılır), kirleticisi büyümesi azalması (kirleticinin nerede azalıp arttığına bakılır), depo karışımı (depoya bir karıştırıcı koymanın iyi mi yoksa zararlı mı olup olmadığına bakılır) şeklinde sıralanmaktadır.

2.Model parametre tahmini: Şebeke modelini kalibre etmedeki ikinci adım, model parametrelerinin ilk tahminlerini belirlemektir. En yüksek derecede belirsizliğe sahip olan parametreler yükseklik verileri, boru pürüzlülük katsayıları ve her düğüm noktasına atanan su kullanımlarıdır.

Yükseklik verisi veya toğografik veri model düğüm noktalarına yükseklik değeri atamak için kullanılır. Halihazır haritalar, GPS verisi, topoğrafik haritalar ve sayısal yükseklik modelleri gibi farklı kaynaklardan elde edilebilir.

Farklı araştırmacılar ve boru üreticileri çap, yaş ve boru malzemesinin bir fonksiyonu olarak boru pürüzlülük değerlerinin tahminini sağlayan tablolar

geliştirmişlerdir. Her ne kadar bu tablolar yeni borular için kullanılsa da boru yaşıyla birlikte eski borulara uygulanabilirliği azalır. Eski borulardaki değerin bulunması için saha testlerinin yapılması önerilir. Boru pürüzlülük katsayılarının bulunması için kullanılması önerilen birçok tablo mevcuttur. Aşağıdaki çizelgede, MIKE URBAN yazılımı içinde de tanımlı olan boru pürüzlülük katsayılarına ait minimum ve maksimum değer aralığı verilmektedir (Çizelge 2.5). Bu değerler modeldeki boruların Hazen-Williams C pürüzlülük katsayılarını atamak için yön gösterici olmaktadır.

Çizelge 2.5 Borular için boru pürüzlülük değerleri (Rossman, 2000; DHI, 2011)

Boru malzemesi	Hazen-Williams (C)	Darcy-Weisbach (ε)	Manning (n)
Pik demir	64-130	0.01-5.5	0.012-0.013
Beton	69-140	0.5-15	0.011
Galvenize demir	120-133	0.01-4.5	0.012-0.017
Plastik	134-150	0.005-0.025	0.009-0.025
Çelik	129-150	0.01-2.5	0.009-0.019
Camlaşmış kil	110	0.3-10	0.013-0.015
Asbestli çimento boru	130-150	---	---

3.Kalibrasyon verisinin toplanması: Kalibrasyondaki üçüncü adım kalibrasyon verisi toplamaktır. Öncelikle model parametreleri tahmin edilir, ardından model analiz edilir ve model sonuçları gerçek saha ölçümlerinden alınan sonuçlarla karşılaştırılır. Veri toplamak için doğru yöntemi anlamak önemlidir. Veri toplama amacıyla Yangın debisi testleri, SCADA veya Telemetri veri kaynakları kullanılır.

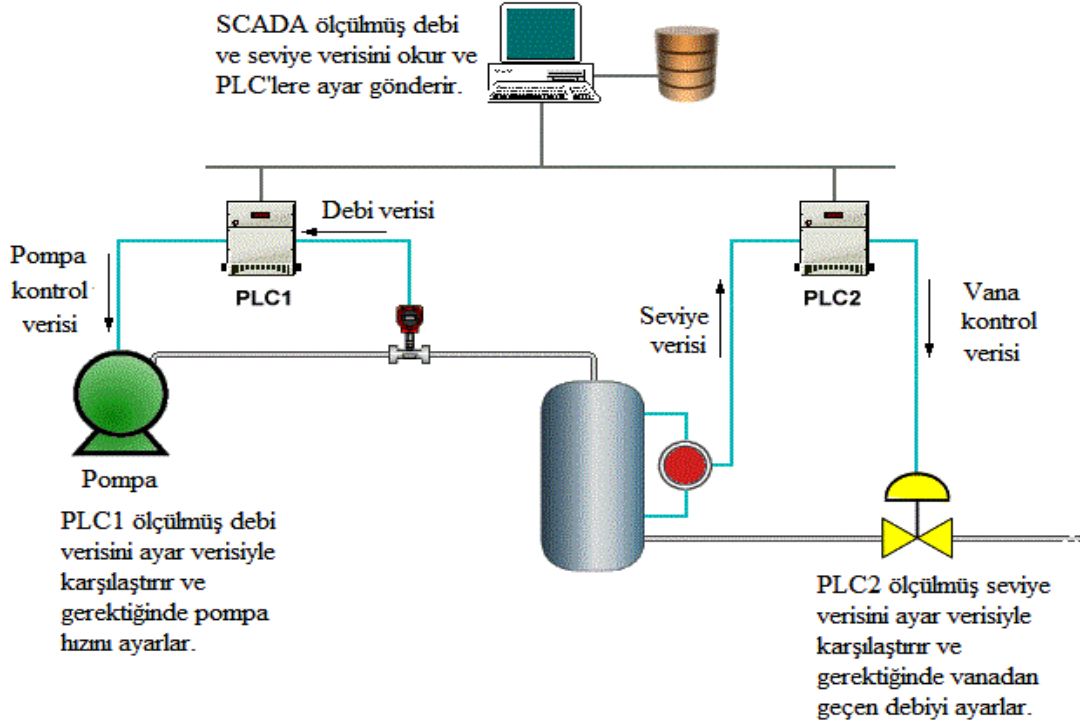
Telemetri; modern üretimde, endüstriyel işlemlerde, maden endüstrisinde, özel ve genel kullanımlarda, güvenlik endüstrisinde, su dağıtım ve arıtım sistemlerinde birbirinden uzak olan sistemlerin ve aletlerin bağlanmasında kullanılır. Bu uzaklık, birkaç metre ile binlerce kilometre arasında değişebilir. Telemetri, komut ve program göndermede ve bu uzak yerlerdeki monitor bilgilerini almada kullanılır. SCADA, telemetri ve veri kazanımı anlamına gelir. SCADA, analiz ve kontrol için gerekli bilgileri toplayıp bunları merkezdeki yazılıma iletir. Daha sonra bu bilgileri çok fazla ekran ve gösterge operatorü üzerinde gösterir. Gerekli kontrol işlemleri bu süreçten sonra, prosese dahil edilir (EMO, 2012).

Telemetri verisi; debi verisi, depo su seviyesi bilgisi ve pompa işletim düzenleri olarak depolanır. Telemetri verisi sınır koşulları olarak da adlandırılır. Depo verisi mümkün oldukça kaydedilmelidir. Eğer kullanıcı depo seviyesini kaydetme imkanı bulamazsa işletmenlerin önceki deneyimlerine bakılarak uygun şekilde tahmin edilmelidir.

SCADA terimi; “Supervisory Control And Data Acquisition” kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuştur. Türkçe’ ye “Danışmalı Kontrol ve Veri Toplama Sistemi” veya “Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi” olarak çevrilebilir. SCADA, veri toplama ve merkezden veri gönderme, analiz yapma ve daha sonra bu verilerin bir operatör ekranında gösterilmesi işlevlerini gerçekleştirir (Şahin, 2000). SCADA sistemi saha ekipmanlarını görüntüler ve aynı zamanda denetler. SCADA sistemleri alarm temellidir. Bu özellik, SCADA sistemini diğer sistemlerden ayırt eden en temel özelliktir. Bu yüzden SCADA sistemleri denetlenen sistemin anlık değerlerinin görüntülenmesi yerine, sahada meydana gelen herhangi bir istenmeyen durumu merkeze tarih ve saat belirterek rapor etmesi ve operatörlere gerekli uyarıları iletmesi için kullanılmaktadır. Saha, cihaz ve çeşitli noktalardan elde edilen gerçek zamanlı bilgiler ile arızanın işletmenin hangi bölgesinde olduğunun belirlenmesi, arıza bilgisinin önem derecesine göre filtrelenebilmesi ve öncelik sırasının tespit edilmesi, arızanın giderilmesi ile ilgili yapılan çalışmaların operatör tarafından not olarak belirtilebilmesi, arıza ve arıza ihbarlarının bir ekranda görüntülenebilmesi veya bir yazıcıdan alınabilmesi, arıza ile ilgili tarihsel özetin bir sabit diske veya sunucuya kaydedilebilmesi arıza ihbar işlemlerini yerine getiren bir kontrol sisteminden beklenen özelliklerdir (Zecevic, 1998).

Su dağıtım sistem endüstrisinde, SCADA sistemleri dağıtımda kullanılan şebeke hatları, vanalar, depolar ve pompa istasyonlarında kurulu olan sensörlerden bilgi toplama ve operatörler tarafından istenen kumanda işlemlerini uzak terminaller aracılığıyla gerçekleştirmek için kullanılır. Bu endüstri uygulamaları için SCADA merkezinde bulunan ana kontrol bilgisayarı, sahada bulunan sensörlere (debimetre, basınç, sıcaklık, kimyasal sensörler vb.), ve dağıtım elemanlarına (pompalar, vanalar, kontrol birimleri vb.) haberleşme vasıtasıyla bağlanır. Bu haberleşme bağlantısı kiralık telefon hatları, GPRS, uydu ve radyo gibi yöntemlerle yapılır. SCADA sistemleri depodaki su seviyesi gibi gerçek zamanlı ölçümleri uzaktan izlemek ve pompa ve vana gibi şebeke elemanlarının işletimlerini uzaktan göstermek için

işletmene olanak sağlar. SCADA sistemleri, su temin sisteminde bir hata tanımlandığında merkezi ana bilgisayarda alarm almasını için kurulabilir. Ayrıca depo ve rezervuar seviyeleri gibi sistemde farklı değişkenlerin geçici hareketlerinin geçmişe dayalı kayıtlarını tutmak için de kullanılabilirler (şekil 2.17) (Walski vd., 2003).



şekil 2.17 Temiz su iletim ve dağıtım şebekeleri uzaktan izleme ve kontrol sistemleri (URL-3)

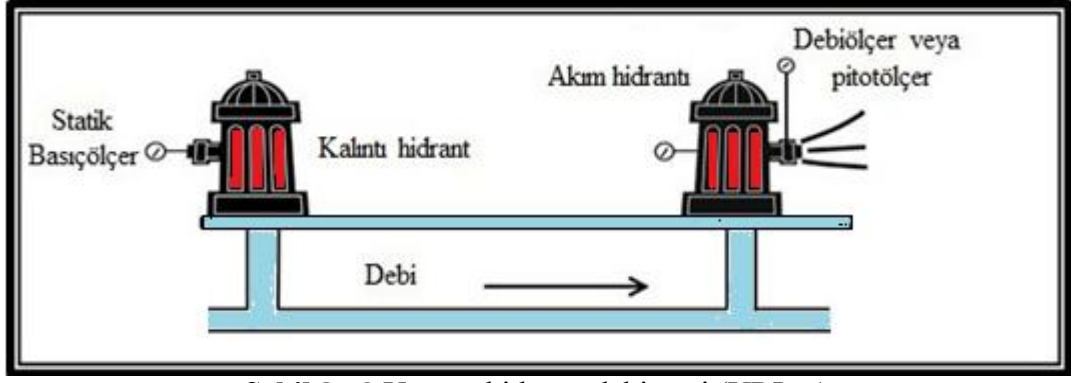
Yangın debisi testi: hidrolik şebeke modellerinin kalibrasyonunda kullanmak için debi ve basınç verisi toplamada kullanılır. Yangın hidrantı debisi testleri yüksek debi durumlarını simüle etmek için kullanılabilir ve aşırı yüklemeler altında sistem davranışını analiz etmeye izin verir. Bu testler statik durumlar (hidrantlar akmazken) ve gerilimli durumlar (hidrantlardaki yüksek debiler) altında sistemdeki basınç verilerini temin etmeye yardımcıdır ve boru pürüzlölükleri gibi parametreleri kalibre etmek için hidrolik modelle birlikte kullanılabilir. Yangın hidrantı debi testini yapmak için iki ya da daha fazla hidranta ihtiyaç vardır. Biri kalıntı hidrant olarak belirlenir ve tüm basınç ölçümleri buradan alınır, diğeri ise akım hidrantı olarak adlandırılır ve tüm debi ölçümleri buradan alınır. Akım hidrantı kapatıldığında (statik durum göz önüne alındığında), kalıntı hidranttaki basınç statik basınç olarak adlandırılır. Bir ya da daha çok akım hidrantı açıldığında (akımlı durum göz önüne alındığında), kalıntı hidranttaki basınç kalıntı basınç olarak adlandırılır. Yangın

hidrantı debisi testini yürütmek kolay bir prosedürdür. Bir gün içerisinde sistem içerisinde birçok deney yürütülebilir. Her ne kadar gerekli olmasa da birçok kamu kuruluşu kalıntı hidrantın açılması ve basınç ölçer bağlamadan önce akıtılması gerektiğini savunan yönergeye sahiptir (Walski vd., 2003). Bu tedbir son açıldığından beri hidrantın yan kanal ve namlusunda birikmiş parçacıkların uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Bundan sonra basınç ölçer kalıntı hidranta bağlanır ve statik basınç ölçülür. Sonra, ilk akım hidrantı açılır ve akıtılır. Okumalar sabit olur olmaz (stabil hal) elde taşınabilen veya kenetlenen pitot ölçer veya pitot difüzör kullanılarak akım hidrantındaki okuma alınır. Bu sırada diğer bir basınç okuması kalıntı hidranttan alınır (Şekil 2.18). Önce kalıntı basınç alınır ve akım hidrantı debisi kaydedilir, aynı prosedür gerekirse diğer ek hidrantlar için yapılır. 150-200 mm borularda tek bir akım hidrantı yeterli olacaktır. Daha büyüklerinde daha fazla sayıda gerekebilir. Eğer hidrant debisi testi model kalibrasyonu için yürütülürse test anındaki sınır koşullarını not etmek gereklidir. Sınır koşulları statik ve akımlı durumlar için pompalar veya vanaların işletim durumları ile depolar ve rezervuarlardaki su seviyeleridir. Bu sınır koşulları hidrolik modelde tanımlanmalıdır (Ormsbee ve Lingireddy, 1997).

Yangın debisi testini yürütmek için yöntem şu şekildedir:

1. Kalıntı hidranta basınç ölçer yerleştirilir ve statik basınç kaydedilir.
2. Akım hidrantının kapalı kapağı alınır (64 mm).
3. Hidrant ağzının geometrisi dokunarak belirlenir.
4. Yavaşça akım başlatılır.
5. Okumalar stabilize olur olmaz akım hidrantındaki pitot ölçer okuması alınır.
6. Aynı anda kalıntı hidranttaki kalıntı basınç ölçülür.
7. Yavaşça hidrant kapatılır.
8. Hidrant ağzı geometrisine bağlı olarak deşarj katsayısı belirlenir.
9. $Q = C_f C_d D^2 \sqrt{P}$ denklemi kullanılarak hidrant debisi belirlenir.

Burada Q: hidrant debisi (lt/sn, gpm), Cd: Deşarj katsayısı, D: boşaltma ağzı çapı (in., cm), P: pitot ölçerlerden okunan basınç (psi, kPa), C: birim çevirme katsayısı (29,8 İngiliz, 0,111 SI)



Şekil 2.18 Yangın hidrantı debi testi (URL-4)

4.Makro seviye kalibrasyon: Makro seviye kalibrasyon sistemi kalibre etmek için yapılması gereken ilk adımdır. Öncelikle saha verisi toplanır ve mevcut durumu gösteren model senaryosu oluşturulur. Elde edilen benzeşim verileriyle karşılaştırıldığında, basınçlar arası fark büyükse (örn. %25-30'dan fazla), muhtemel farkın nedeni boru pürüzlülüğü ve düğüm debilerinin tahmindeki hatanın ötesindedir. Makro seviye kalibrasyon, veriyi karşılaştırma amacından çok, modeldeki ilk büyük hatayı belirlemek içindir. Yanlış boru çapları, yanlış boru uzunlukları, yanlış şebeke geometrisi, unutulmuş borular, yanlış depo verisi, kapalı veya kısmi kapalı vanalar, aşırı sızıntı, ölçüm ekipmanındaki hatalar veya raporlamadaki hatalar, depodaki donma, yanlış yükseklik verisi, yanlış hat üzerinde yangın debisi tanımlama, tanımlanan yangın debisinin ölçülenden az veya fazla olması vb. nedenler, değerler arasında %30'dan büyük farka neden olur.

5.Hassaslık analizi: Mikro kalibrasyondan önce en olası hata kaynağını belirlemek amacıyla modelde hassaslık analizi yapmak önemlidir. Hassaslık analizi model su tüketimindeki ve boru pürüzlülük, yükseklik, çap vb. değerlerdeki değişimin basınca olan etkilerini içermektedir. Örneğin modelin temel hali olarak mevcut durumlar altında 1. benzeşim gerçekleştirilebilir. Daha sonra ikinci senaryo olarak global su tüketim değerleri 1,2 ve/veya 0,8 ile çarpılabilir. Bu sistemin su tüketim dalgalanmalarına ne kadar hassas olduğunu gösterecektir. Basıncın sistem su tüketimlerine bağlı olarak nasıl değişebileceği hakkında fikir sahibi olunduktan sonra tüm pürüzlülük değerlerini artırarak veya tüm boru pürüzlülüklerini belirli bir katsayıyla azaltarak 3 numaralı senaryo için boru pürüzlülük değerlerinin ayarlanması sağlanır. Senaryolar oluşturulduktan sonra bunlar kendi aralarında karşılaştırılır ve hangi parametrelerin sistemde daha büyük etki yaratacağı incelenir.

6.Mikro seviye kalibrasyon: Model sonuçları ve saha gözlemleri kabul edilebilir bir uyuma içindeyse mikro seviye kalibrasyon gerekir. Bu noktada iki parametre genel

olarak ayarlanmalıdır: boru pürüzlülük değerleri ve düğüm noktası su tüketim değerleri. Kararlı hal kalibrasyonu yangın debisi verisinden toplanmış statik gözlemlerle birleştirilmiş basınç ve debi değerlerini karşılaştırmak için model parametreleri ayarlamaktır. Kararlı hal kalibrasyonu genellikle boru pürüzlülüğündeki değişimlere hassas olacaktır.

2.6.1.1 Modellemedeki hata kaynakları

ECAC (1999), şebeke modellemedeki mümkün olabilecek hata kaynaklarını ortaya çıkarmıştır. Su dağıtım sistemleri için hatasız çalışma yapmak imkansızdır çünkü birçok belirsizlik vardır. Bu hatalar kalibrasyon sonuçlarındaki çok yüksek veya düşük C katsayıları gibi yanlışlıkların mümkün sebepleridir. Hata kaynakları aşağıdaki nedenlerden olabilir:

1.Anma çapına karşılık gerçek boru çapı: Bir borunun gerçek ve anılan çapları farklılık gösterir. Bir borunun gerçek çapını belirlemek, boru takıldıktan sonra zamanla oluşan korozyon ve birikim (yumrulaşma) yüzünden daha karmaşıktır. Bu yüzden, nominal boru çapları genel olarak model gelişimi için kullanılır ve pürüzlülük katsayısı boru cidarındaki büyümeler yüzünden çaptaki değişim için telafi amacıyla ayarlanır. Boru çapı, boru boyunca olan yük kaybı üzerinde boru pürüzlülük değerinin yaptığından daha büyük etkiye sahiptir. Hazen-Williams denkleminde göre yük kaybı, boru çapının yaklaşık beşinci dereceden bir fonksiyonudur, pürüzlülük değerinin de ikinci dereceden bir fonksiyonudur. Boru çapındaki %10 artış yük kaybını yaklaşık %40 azaltacak, pürüzlülük katsayısındaki %10 artış yük kaybını yaklaşık %20 azaltacaktır. Kullanıcı kalibrasyonda, ayarlama yapmak için değişken sayısını azaltmak ister ve her boru çapı bilinmeyen olarak göz önüne alındığında, belirlenmesi gereken değişken sayısı iki katına çıkar. Bu yüzden pürüzlülük katsayılarına ayarlama yapmak (model kalibrasyonu için ince ayar anlamına gelir) daha tercih edilir bir durumdur.

2.İşsel boru pürüzlülük değeri: Boru pürüzlülük değerlerinin tahmininde yapılan araştırmalar göstermektedir ki aynı boyut, malzeme ve yaşa sahip iki boru, boru boyunca takip eden suyun kalitesine dayalı olarak farklı etkin çap ve pürüzlülüklere sahip olabilmektedir. Bhave (1988)' e göre, şebekelerin kalibrasyonundaki en zor konu, borular için yük kaybı katsayılarının seçimidir. Boru yük kaybı katsayıları yük kayıp katsayısına karşı boru yaşı ve malzeme grafiğini kullanarak tahmin edilebilir. Bununla birlikte, yük kaybı katsayıları vanalar, bağlantı ve hizmet elemanları gibi

haritalarından elde edilebilir. Su sistem haritalarının kalite ve biçimi çok detaylandırılmış ve düzenli şekilde güncellenmiş CAD ve CBS sistemlerinden düzenlenir. Eğer modelin bağlantı hataları şüpheliyse boruların nasıl bağlandığını belirlemek için detaylı kesişme hattı haritalarına bakmak veya sistem işletenleri veya bakımdan sorumlu personelle sistemdeki vanaların yeri ve durumunu belirlemek amacıyla konuşmak gerekebilir.

Bhave (1988) iskeletleştirmeyi modeli daha kolay yönetebilmek amacıyla eşdeğer borularla yerdeğiştirme ve gruplandırma ya da gerçek sistemde mevcut olan küçük çaplı boruları modelde ihmal etme olarak tanımlamıştır. Eğer aşırı sayıda boru iskeletleştirme esnasında kaldırılırsa, model şebekeyi yeterince temsil edemez.

5. Geçici Sınır Koşulları: Kalibrasyon için bir simülasyon yürütüldüğünde model sınır koşullarının (depo piyezometrik seviyesi, pompa işletim durumu vb.), basınç ölçümlerinin alındığı zamandaki gerçek durumları yansıtmaları ve sınır koşulları ölçümlerinin basınç ölçümlerindeki gibi aynı doğrulukla bilinmesi gerekmektedir. Kalibrasyon sonuçları, eğer sınır koşulları tam olarak bilinmezse yanılabilir.

Kaynak noktalarındaki (depo, rezervuar) enerji seviyesinin belirlenmesi kolaydır. Hidrolik seviye çizgisi (piyezometre çizgisi) depolarda kurulan seviye ölçerler kullanılarak veya depolardaki su seviyesi yüksekliği ölçülerek belirlenebilir. Pompalardaki enerji seviyeleri ise basınç ölçerlerle gözlemlenir (Bhave, 1988). Depodan çıkan veya depoya gelen debi aşağıdaki eşitliğe göre belirlenebilir:

$$Q_i = A \frac{H_{i+1} - H_i}{\Delta t} \quad (2.35)$$

Q_i : i. zaman adımında depoya giren debi (m^3/s)

A : Deponun kesit alanı (m^2)

H_i : i. zaman adımı başlangıcında su seviyesi (m)

Δt : i. zaman adımının uzunluğu (s)

6. Pompa karakteristik eğrileri: Eskidikçe (örneğin 25 yıllık santrifüj pompalar kullanan bir sistemin modellenmesinde) pompanın normal aşınma ve yıpranması, saha performansının pompa karakteristik eğrisinde gösterilen performanstan sapmasına neden olabilir. Özellikle gerçek istemde pompa çarklarının, pompalar kurulduklarından itibaren birkaç kez yenilenmesi önerilmektedir. Aksi halde, yeni eğriler saha testlerine dayalı olarak belirlenmesi gerekecektir.

2.6.1.2 Kalibrasyon için önerilen yöntemler

Literatürdeki şebeke modellerini kalibre etmek için 1970 yılından beri birçok farklı teknik bulunmaktadır.

Savic vd. (2009), su dağıtım sistemlerinin kalibrasyonu için üç esas yöntemi gruplandırmıştır:

1.İteratif Yöntemler: Kalibrasyon için geleneksel yöntemler deneme-yanılma işlemleridir (Walski vd., 2003). Modelciler gözlenmiş veriler ve simüle edilen değerler birbirleriyle uyum sağlayıncaya kadar pürüzlülük ve debi değerlerini değiştirmelidirler. Walski (1983) ve Bhave (1988) deneme-yanılma işlemlerine göre yöntemler önermişlerdir. Walski (1983) düşük (normal kullanım) ve yüksek (yangın debisi durumu) akım durumlarında basınç verisi toplayarak düğüm noktası debisi ve boruların pürüzlülük değerini tahmin eden iteratif bir yöntem geliştirmiştir.

Bu yöntemde sisteme giren toplam debi de bilinmeyen parametredir ve boru pürüzlülük katsayısıyla (C-katsayısı) birlikte ayarlanır. Hidrolik simülasyon sonuçları ve saha gözlemleri kullanılarak debi ve C-katsayı değerlerini kalibre etmek amacıyla düzeltme katsayıları hesaplanır. Bhave (1988), Walski (1983)'nin çalışmasına benzer şekilde şebeke parametrelerini ayarlamak için bir teknik önermiştir. Bununla birlikte çalışmasında sisteme giren debinin kesin olarak ölçülebildiğini kabul etmiştir. Bu yöntemde boru gruplandırmalarına izin verilmiştir yani boru dayanım katsayıları ve düğüm noktası debileri için ayarlama katsayıları tüm şebekede tek bir global katsayı olarak genelleştirilmemiştir.

2.Açık yöntemler: Ormsbee ve Wood (1986), kalibrasyon algoritmasını yük kaybı katsayılarına göre formüllemiş ve temel şebeke denklemlerini yeniden düzenleyerek geliştirmişlerdir. Yöntemde basınç ve debi ölçümlerini tam olarak karşılamak amacıyla yük kaybı ayarlamaları için verilen şebeke yükleme ve işletme durumlarında temel şebeke denklemleri, açık olarak çözülmüştür. Bu şekilde yapılan ayarlamalar ölçülmüş durumları karşılamak amacıyla boru pürüzlülükleri veya minör yük kayıplarını yeniden incelemek için kullanılır. Ormsbee ve Wood (1986)'un çalışmalarında geliştirdikleri algortima örnek bir şebekeye uygulanarak yaklaşımın uygulanabilirliği geliştirilmiştir.

3.Kapalı yöntemler: Kapalı yöntemler ölçülmüş veya tahmin edilmiş değerler arasındaki fark olarak tanımlanan amaç fonksiyonunu minimize etmek için optimizasyon tekniklerini kullanır. Optimizasyon aracı hidrolik çözüm aracı ile

birlikte çalışır yani hesaplanmış hidrolik sonuçlar optimizasyon aracına geçer ve güncellenmiş değişken parametreleri devirli şekilde hidrolik çözüm aracına geçer. Sistem denklemleri (enerji denklemleri vb.) ve kalibrasyon parametre limitleri amaç fonksiyonunun kısıtlamaları olarak tanımlanır (Savic vd., 2009). Kapalı yöntemler evrimsel ve evrimsel olmayan teknikler olarak sınıflandırılabilir.

Kalibrasyon yöntemlerindeki son gelişmeler evrim tekniklerinin (özellikle GA (genetik algoritma)) kullanılması yönündedir. Boyutları ve doğrusal olmamaları nedeniyle hidrolik modeller karmaşık olduğundan geleneksel optimizasyon uygulamaları ve analitik yaklaşımlarla problemlerin çözümü için birçok basitleştirme esastır (Savic ve Walters, 1995). Genetik algoritma, genetik teorisine bağlı olarak potansiyel çözümler üretir, her potansiyel çözümün uygunluğunu değerlendirir/tekrarlar ve ürün çözümlere çıkarır (Walski vd., 2003). Genetik algoritma henüz yeni olduğu halde birçok bilgisayar uygulamaları bu teknik üzerine kuruludur.

Evrimsel yöntemler, evrimsel olmayan yöntemlere göre belirgin avantajlar içerir:

- 1- Genetik algoritma kalibrasyonu kolaydır çünkü hassaslıkları veya ters matrisleri değerlendirmek için karmaşık matematiksel işlemlere ihtiyaç duymaz.
- 2- Genetik algoritma büyük kalibrasyon problemlerini idare edebilir (örn. gerçek boyutta büyük şebekeler)
- 3- Genetik algoritma ek kalibrasyon parametre çeşitlerinin kolayca dahil edilmesine izin verir ve optimizasyon prosesine dahil eder (Savic vd., 2009).

2.6.2 Model Optimizasyonu

Su dağıtım sistemi modellemesine uygulandığı anlamda optimizasyon, su dağıtım sistemi problemine en iyi veya optimum çözümü bulmaktır. Tasarım uygulamaları için model kullanımı belirli bir prosesi takip eder. Bu proses başlamadan önce mühendis farklı durumlar altında sistem davranışını tahmin eden tanımlayıcı bir şebeke modeli veya simülasyonu geliştirmelidir. Model gelişiminin bir parçası olarak kalibrasyon, hesaplanmış ve gözlenmiş değerler arasındaki farkın azalmasıyla sonuçlanan giriş parametrelerindeki otomatik ayarlamalara izin veren optimizasyon teknikleriyle desteklenebilir. Analiz edilen problem için simülasyon hazır olduğunda, mühendisler karar destek modelinin girdilerini değiştirerek alternatif çözümleri formüle eder, test eder, maliyetlendirir ve sonuçları karar verene sunar. Karar verene

sunulan alternatifler benzer seviye teknik ve ekonomik uyumu sağlayacak (örn; basınç uyumu, maliyet, güvenilirlik vb.) fakat tasarım parametrelerinde değişiklik gösterecektir (boru çapı, pompa karakteristikleri, vana ayarlamaları ve depo boyutları vb.). Optimizasyon teknikleri yeni çözümler üretmek için sistemin detaylarını otomatik olarak değiştirerek alternatif çözümleri geniş çapta etkili değerlendirmek amacıyla bir yol sağlar. Otomatik teknikleri kullanan karar alma modeli optimizasyon modeli olarak adlandırılır. Genel olarak optimizasyon problemi kısıtlara bağlı olarak amaç fonksiyonunun maksimum veya minimum değerini bulmayı içerir (deNeufville vd., 1971).

2.6.2.1 Optimizasyon terminolojisi

Optimizasyon terimi sistemin detaylarını otomatik olarak ayarlamak için kullanılan matematiksel teknik olarak adlandırılır (örneğin mümkün en iyi sistem performansı (amaç fonksiyonlarının en iyi değeri) veya belirli performans seviyelerini başaran en az maliyet tasarımı). En iyi veya en avantajlı çözüm (veya çok amaçlı analizde çözümler) optimum çözüm olarak adlandırılır.

Amaç fonksiyonu: Amaç fonksiyonu olarak adlandırılan matematiksel fonksiyon sistem performansını ölçmek ve hangi amaçların kazanıldığını göstermek için kullanılır. Eğer çok fazla amaç mevcutsa çoklu amaç fonksiyonları olacaktır.

Karar değişkenleri: Sistem performansını arttırmak amacıyla değiştirilmesi gereken parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bu ölçülebilir parametreler karar değişkenleri olarak adlandırılır ve değerleri belirlenir. Örneğin boru boyutu optimizasyonunda, gözönüne alınan her boru için karar değişkenleri çaplardır. Karar değişkenlerine atanabilen değerlerdeki kısıtlamalar optimizasyon modelinde açıkça belirtilmelidir.

Kısıtlar: Sistemlere ve çözümlere karar verilirken, sistemin işletilmesi gereken sınırlamaların dikkate alınması gerekir. Bu sınırlamalar kısıtlar olarak adlandırılır. Kısıtlar amaç fonksiyonunun değerlerini aldığı karar uzayını tanımlamak için imkan tanır.

Sistemin yapısal bütünlüğünü tehlikeye atmadan borunun karşı koyabildiği maksimum basınç sert kısıta örnektir. Tüm sistem düğümleri için maksimum basınç ihtiyacı ve borular için maksimum izin verilen hız mümkün yumuşak kısıtlardır. Kısıtlar karar değişkenlerine açıkça veya diğer sistem parametrelerine dolaylı olarak uygulanabilir.

Sistem değerlendirmelerinde ve m¼mk¼n ¼z¼mlerde farklı kısıtların nasıl birbirini etkilediğini anlamak önemlidir. Verilen bir kısıt için sınırlar çoğu kez birini diğerindeki en iyi değeri elde etmeden korur. Örneğin daha b¼y¼k boru boyutu gerekli yangın debilerini karşılamada yardımcıdır fakat aynı zamanda su kalitesine zararlı olabilir.

Aşağıdaki izelgede optimizasyon modelini oluşturmada (form¼le etmede) temel adımlar g¼stermektedir.

Çizelge 2.6 Optimizasyon modeli oluşturma prosesi (Walski vd., 2003)

Sorulan Sorular	rnekler	Optimizasyon Modeli
Ne değişebilir?	Boru apları	Karar değişkenleri
Sistem performansı nasıl l¼lmelidir?	Maliyetin azalması	Amaç fonksiyonu
Sınırlamalar nelerdir?	D¼ę¼m basınçları	Kısıtlar

Çizelgeye g¼re optimizasyon şunları içermektedir:

1. Karar alternatiflerini tanımlamak için karar değişkenleri k¼mesini seçme,
2. Tek bir amacın veya birkaç amacın seçilmesi,
3. Kısıtlar k¼mesinin belirlenmesi,
4. Amaç fonksiyonunu minimize veya maksimize etmek için karar değişkenlerinin değer k¼mesini belirleme (Walski vd., 2003).

Matematiksel anlamda optimizasyon problemi standart biçimde şöyle tanımlanmaktadır:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Amaç Fonksiyonu} & \max f(x) \\
 \text{Kısıtlar} & \begin{cases} g(x) \leq 0 \\ h(x) = 0 \\ x \in X \end{cases}
 \end{array} \tag{2.36}$$

f: amaç fonksiyonu

x: karar değişkenlerinin vekt¼r¼

f,g,h: x'in fonksiyonları

X: olası ¼z¼mler k¼mesi

2.7 Su Dağıtım Sistemi Modellemesinde Kullanılan Yazılımlar

Son yıllarda, dağıtım şebekelerinin tasarımı ve analizi için kullanılan yazılım uygulamalarının sayısında önemli bir artış gözlenmektedir. Bu yazılımlar hem ticari amaçlı hem de kamu malı olarak hizmete sunulmuştur. Bu nedenle yazılım paketinin seçimi kullanıcılar için oldukça zor hale gelmiştir. Bu yazılımlardan birkaçına ait genel bilgi aşağıda sunulmuştur (Çizelge 2.7).

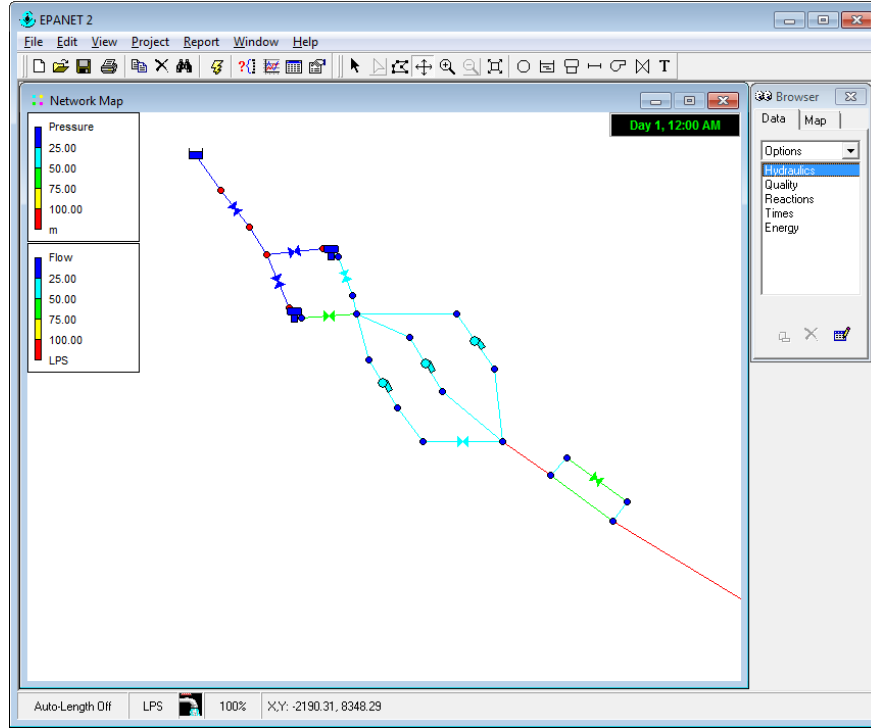
EPANET

EPANET, basınçlı boru şebekeleri içinde meydana gelebilecek hidrolik ve su kalitesi hareketlerinin dinamik benzeşimini gerçekleştirebilen Windows tabanlı bir programdır. Şebeke borular, düğüm noktaları, pompalar, vanalar ve depolar veya rezervuarları içermektedir. EPANET her borudaki akışı, her düğüm noktasındaki basıncı, her depodaki su yüksekliğini ve şebeke boyunca kimyasal çeşitlerinin konsantrasyonunu çoklu zaman adımlarını içeren simülasyon periyodu boyunca takip eder. Ayrıca su yaşı ve kaynak izleme özelliklerine de sahiptir.

EPANET'in Windows versiyonu (Şekil 2.20), şebeke giriş verisini eklemek, hidrolik ve su kalitesi simülasyonlarını gerçekleştirmek ve farklı formatlarda sonuçları izlemek için entegre bir ortama sahiptir. Çıktı olarak renklendirilmiş şebeke haritaları, veri tabloları, zaman serisi grafikleri ve kontür çizimlerini elde etmek mümkündür. EPANET Amerikan Çevre Koruma Ajansı (USEPA)'nın Su Temini ve Su Kaynakları Bölümü tarafından geliştirilmiştir. EPANET, su kurumlarının sorumlu oldukları dağıtım sistemleri aracılığıyla kullanıcılarına sundukları suyun kalitesini artırmak ve sürdürmek için özel olarak geliştirilmiştir. Dezenfektan kayıplarını ve yan ürün oluşumunu çalışmak ve tüketicilerin maruz kalmalarının değerlendirilmesi için kullanılabilir. Su kalitesi artırılması için alternatif stratejilerin değerlendirilmesini destekler. Bu alternatifler çoklu kaynak sistemlerinde kaynak kullanımını değiştirmek, su yaşını azaltmak için pompa ve depo doldurma/boşaltma düzenlerinin değiştirilmesi, hedef kalıntının sürdürülmesi amacıyla kilit noktalarda dezenfektan istasyonlarının kullanılması, hedef boru temizliği için verimli maliyet programının planlanmasını içermektedir.

EPANET ayrıca sistemin hidrolik performansını arttırmak için de kullanılır. Boru, pompa ve vana yerleştirilmesi, enerji minimasyonu, yangın debisi analizi, işletme eğitimleri EPANET'in desteklediği aktivitelerdir. CBS, diğer veri tabanları

veya CAD sistemleriyle doğrudan bağlantısı yoktur. Otomatik kalibrasyon ve optimizasyon çalışmaları için EPANET'in hesaplama motoru yazılım geliştiriciler için açıktır. Daha sonra farklı ticari yazılım paketlerine adapte edilmiştir (DHI MIKE, Bentley Haestad Methods, KYPipe vd.). Hazen Williams, Darcy Weisbach, Chezy Manning hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Limitsiz düğüm noktası, boru, pompa, vana ve rezervuar tanımlaması yapılabilmektedir. Dili İngilizcedir (URL-5).



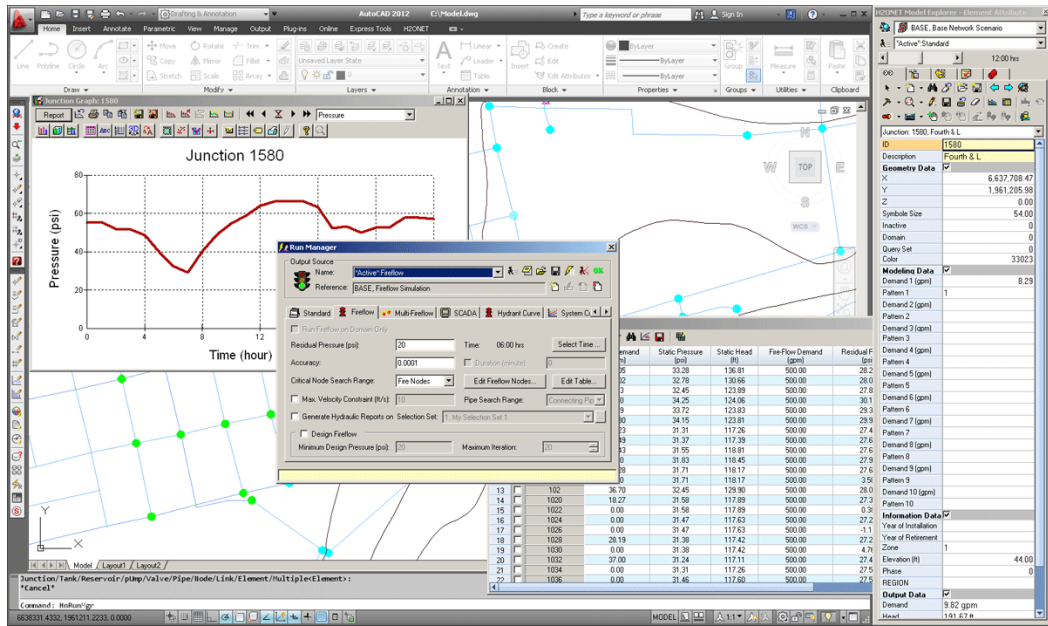
Şekil 2.20 EPANET yazılımı ile oluşturulmuş basit bir su dağıtım sistem modeli analiz sonuçları ekran görüntüsü (URL-5)

H₂ONET/H₂OMAP

H₂ONET/H₂OMAP bağımsız, veri tabanı sürümlü, CBS olanaklı su dağıtım ve temini sistemlerinin modellemesi, analizi, tasarımı, iyileştirilmesi ve optimizasyonu için kullanılan bir yazılımdır. 1996 yılında ticari bir ürün olarak ortaya çıkmıştır. Program hızlı, güvenli ve kapsamlı hidrolik ve dinamik su kalitesi modellemesi, enerji tüketimi/maliyet değerlendirme, sızıntı yönetimi, vana izleme, gerçek zamanlı simülasyon ve kontrol, yangın debisi ve hidrant analizi ve otomatik çevrimiçi SCADA arayüzü özelliklerini içermektedir. Otomatik şebeke iskeletleştirme, indirgeme ve kalibrasyon, en uygun pompa işletim düzeni ve tasarım ve iyileştirme kapasitesine sahiptir. Program tecrübeli ve doğru tüm altyapı planlaması ve yönetimi

için optimizasyon ve şebeke modellemesiyle konumsal analiz araçları ve haritalandırma fonksiyonlarını birleştiren güçlü bir karar destek uygulaması sunmak amacıyla CBS'nin açık mimari ortamındaki nesne tabanlı teknolojiyi ve ESRI MapObject'i kullanarak geliştirilmektedir. Borular, pompalar (sabit/değişken hızlı), türbinler, statik ve kontrol vanaları (kontrol, basınç düzenleyici, basınç sürdürücü, basınç kırıcı, debi kontrol, debi ölçerler, genel amaçlı), depolar (silindirik/ değişken alan) ve rezervuarları içeren şebeke elemanları gözönüne alınabilir (Şekil 2.21).

Program, master planlama, yangın debisi değerlendirme, tesis boyutlandırma, işletim çalışması, iyileştirme, acil tepki, gerçek zamanlı simülasyon, hassaslık analizi, su kalitesi artırma, kaynak izleme, model kalibrasyonu, işletmecî eğitimi, enerji yönetimi, pompa düzeni, sızıntı kontrolü, sistem genişletme, yeni sistem tasarımı, vana izleme vb. su dağıtım sistemi analizlerinde birçok uygulama çeşidini desteklemek amacıyla şebeke modeli ve CBS yazılımı arasında ilişki kurmaktadır. Dili İngilizcedir. Ticari bir yazılımdır. MWH Soft Yazılım Şirketi tarafından geliştirilmiştir. Hazen Williams, Colebrook White/Darcy Weisbach ve Manning hesaplama yöntemlerini kullanmaktadır (URL-6).



Şekil 2.21 H₂ONET yazılımı ile oluşturulmuş su dağıtım şebeke modeli analiz sonuçları ekran görüntüsü (URL-6)

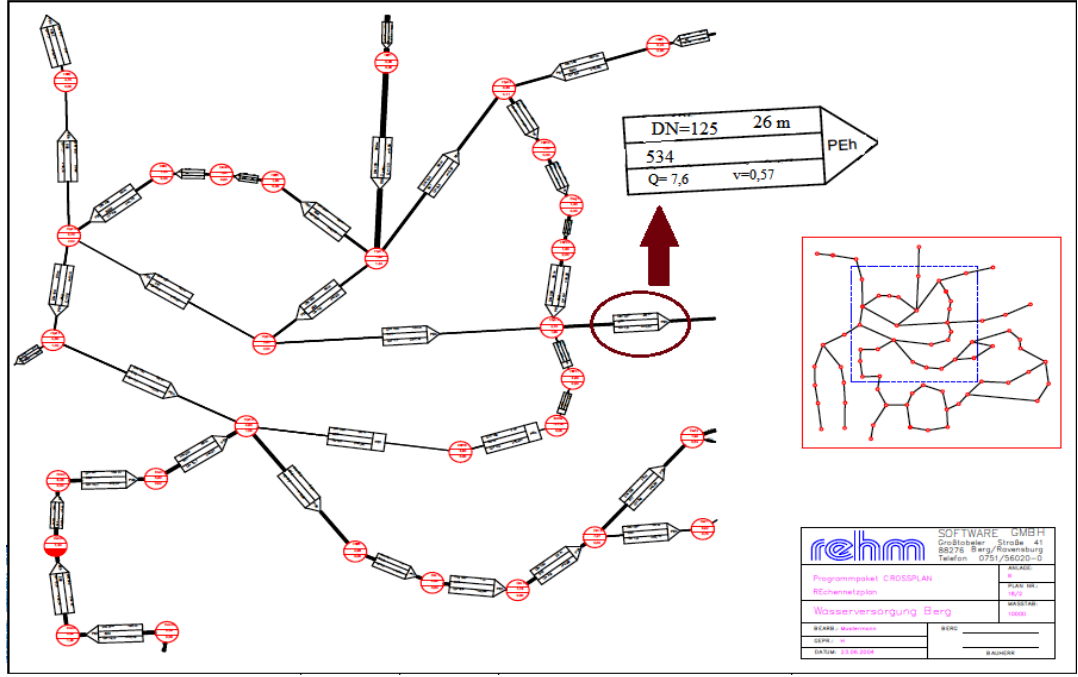
PIPE 2014

Pipe 2014, kararlı durum ve geçici durum analizlerini kullanan genel amaçlı boru şebekesi hidrolik modelleme programıdır. Pipe 2014: KYPipe 2014 içmesuyu dağıtım sistemleri için hem hidrolik hem de su kalitesi modellemesini sağlar.

KYPipe 2014 genellikle kentsel ve kırsal su dağıtım sistemlerinin kararlı hal ve geçici durum modellemesi için kullanılır. Sistem eğrilerinin geliştirilmesi, optimize edilmiş kalibrasyon (GA), boru pürüzlülüklerinin ayarlanması ve diğer birçok özelliğe sahiptir. Sıcak, soğuk ve proses su sistemleri, yangından koruma sistemleri ve sulama sistemleri için de genel ölçüde kullanılmaktadır. Diğer sıvılar için de (yağ vb.) kullanılması önerilmektedir. Aynı zamanda, Pipe 2014 diğer hesaplama motorlarına da uyarlanabilmektedir. Bu motorlar gazların analizi için (Pipe 2014: GAS), buhar analizi için (Pipe 2014: STEAM), yangın söndürme sistemlerinin analizi için (Pipe 2014: GOFLOW) ve yağmur suyu sistemlerinin analizi için (Pipe 2014: SWMM) kullanılmaktadır. 20000 boruya kadar hesaplama kapasitesi vardır. Dili İngilizcedir. Manning, Darcy-Weisbach ve Hazen Williams hesaplama yöntemlerine göre çözüm yapılmaktadır. Diğer önemli uygulamalar (CAD ve CBS) veri değişim araçlarına sahiptir. Bu araçlar doğrudan Pipe 2014 verisini oluşturmak için mevcut veriyi kullanır. Ticari amaçlı üretilmiş bir yazılımdır (URL-7).

CROSS (WATERPAC)

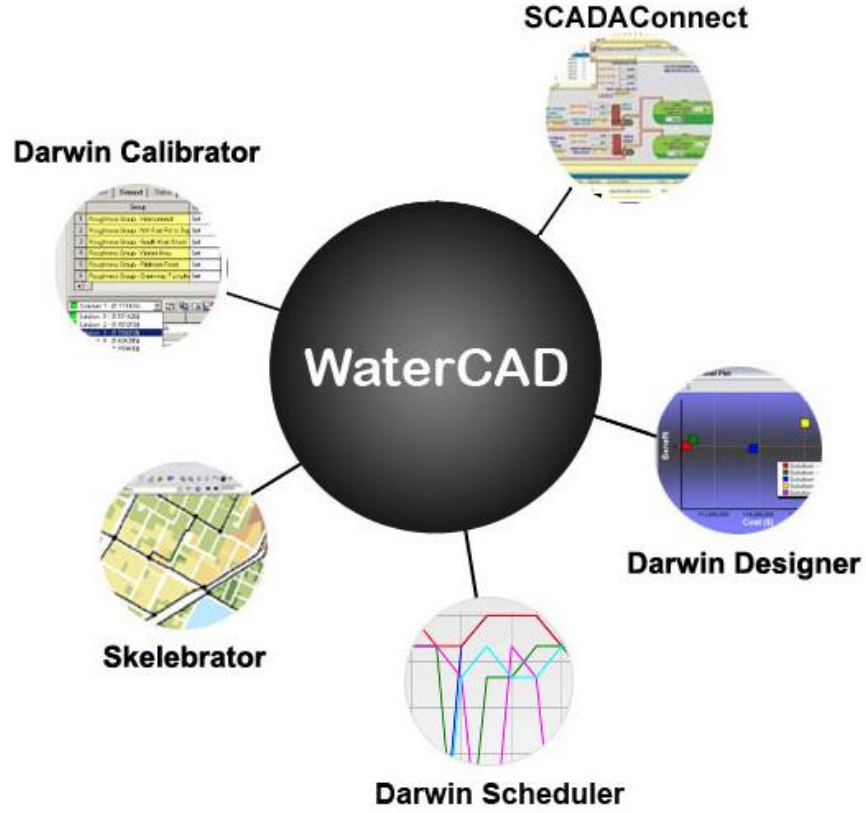
CROSS su temini şebekelerinin hidrolik hesaplaması amacıyla tasarlanmış bir yazılımdır. Tüm mevcut şebeke elemanları (rezervuarlar, pompalar, hidrolik olarak işletilebilen vanalar, basınç kontrolleri vb.) dallı, gözlü veya her iki tür dağıtım sistemini çözebilmek mümkündür. Gözlü yapılar program tarafından otomatik olarak oluşturulmaktadır. Su girişi düğüm noktası girişi, bölme girişi yada her ikisinin de bileşeni olarak tanımlanabilir. Su, dönel pompalar, piston pompalar ve yükseklik depoları tarafından beslenmektedir. Program, debileri, hızı, basınç yüklerini ve basınç kayıplarını hesaplamaktadır. Basınç azaltıcılar, basınç düzenleyiciler ve basınç azaltıcılar aracılığıyla farklı basınç bölgeleri hesaplamalarda göz önüne alınabilir. Ek olarak program, eğer koordinatlar mevcutsa konum planı oluşturulabilir. Tüm veri Microsoft Access veri tabanı formatında depolanır ve CBS uygulamalarıyla kolaylıkla bağlantı kurulabilir. CROSSDESIGN (Grafiksel ekran planlama, çizim çıktıları ve veri yöntemi), CROSSPLOT (Boyuna kesit çizimleri için kullanılır) ve CROSSPLAN (İnşa planları çizilebilir semboller gösterilir) modüllerine sahiptir (Şekil 2.22). Rehm Yazılım GmbH Firması tarafından ticari amaçlı olarak üretilmiştir. Almanca, İngilizce ve Fransızca dillerinde mevcuttur. Prandtl-Colebrook ve Hardy-Cross yöntemlerini kullanır (URL-8).



Şekil 2.22 CROSS yazılımının CROSSPLAN modülü ile oluşturulmuş su dağıtım şebeke modeline ait inşaat planları (URL-8)

WATERCAD/WATERGEMS

WaterCAD su şebekelerinde hidrolik ve su kalitesi modellemelerinde geniş çözümler sunan dünyanın önde gelen su şebekesi modelleme programlarından biridir. WaterCAD güçlü hidrolik analiz altyapısı, model yönetimi, sonuçların sunulması ve kolay kullanımı sayesinde su otoritelerinin, belediyelerin ve mühendislerin güvenebileceği, kaynak kullanımını azaltabilecekleri ve karar destekli çözümler sağlayabilecekleri bir araçtır. Statik ve dinamik hidrolik çözümlerinin yanı sıra kullanıcılara yangın suyu analizinden içerik-konsantrasyon analizlerine, enerji hesaplarından maliyet hesaplarına kadar geniş bir yelpaze de çözümler sunar. Böylelikle su şebekelerinin tasarımı ve analizi dışında, şebekelerin optimizasyonunda sağlanabilir. WaterCAD kendine özgü kolay kullanımlı arayüzü ve çizim özelliklerini arttırmaya yönelik AutoCAD arayüzü ile kullanılabilir. Ayrıca Darwin Calibrator (Darwin Kalibrasyon modülü), Darwin Designer (Darwin Tasarım modülü), Skelebrator (İskeletleştirme modülü) ve SCADAConnect (SCADA Bağlantı Modülü) gibi modüllerle yazılım kullanıcıya özel hale getirilerek daha gelişmiş ve özel çözümler sunar (Şekil 2.23). Pik, ortalama, minimum debi senaryoları, pompa kontrolleri ile enerji tasarrufu senaryoları, acil eylem zamanlarında alternatif üretme gibi pek çok senaryo ve alternatif oluşturulup çözümler yapılabilir (URL-9).



Şekil 2.23 WaterCAD yazılımına ait modüller (URL-9)

WaterCAD yazılımına aşağıdaki özellikler de dahil edilmiştir:

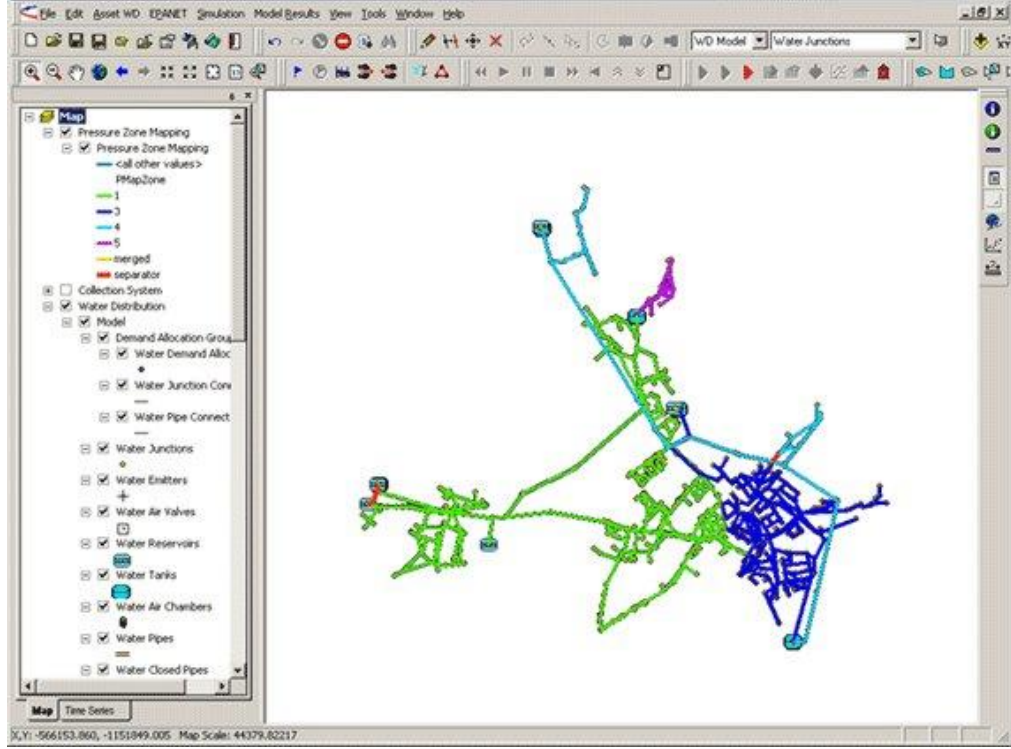
1. Şebeke çözümleri için istenilen zaman aralığına uygun dinamik çözüm yapar.
2. Klor ve su içeriklerinin şebekedeki dağılımlarının analizini yapar.
3. Herbir su kaynağından etkilenen bölgeleri görüntüler.
4. Depodan kaynaklı su kalitesi problemlerinin benzeşimlerini gerçekleştirir.
5. Şebekenin herhangi bir yerindeki yaşımlı belileye su kalitesini arttırıcı önlemler alınmasını sağlar.
6. Otomatik olarak basınç ve debi kısıtlamalarına uygun olarak hidrantlarda ne kadarlık bir debinin mevcut olduğunun hesabını yapar.
7. Pompalar ve vanalar için elemanlara ya da zamana bağlı olarak kontroller koyulmasını sağlar.

WaterGEMS yazılımı ise kendine özgü kolay kullanımlı arayüzünün yanı sıra AutoCAD arayüzü ve ArcGIS arayüzü ile de kullanılabilir. ArcGIS içerisinde analiz yapması WaterCAD'den ayıran özelliğidir.

Yük kaybı hesaplamalarında, Darcy-Weisbach, Manning ve Hazen-Williams denklemleri isteğe bağlı kullanılır. İngilizce, İspanyolca, Portekizce ve Çince dillerinde mevcuttur (URL-9).

MIKE URBAN

MIKE URBAN, EPANET esaslı modelleme yazılımlarının en gelişmişidir. İçmesuyu şebekesinin bütün ya da parçalar halinde analiz edilmesine olanak sağlar. Şebeke modelleri, farklı yöntemlerle oldukça kolay kurulabilmektedir. Örneğin, şebeke elemanları ArcInfo®, ArcFM®, ArcView® veya MapInfo® CBS'den direk aktarılabileceği gibi "fare" yardımıyla seç-tıkla yöntemiyle interaktif bir şekilde de girilebilmektedir. Borular, düğüm noktaları, pompalar, kontrol vanaları, depo ve rezervuarlar gibi şebeke elemanlarının gösterimi grafiksel sembollerle yapılmaktadır (Şekil 2.24). MIKE URBAN herhangi bir anda şebekeye yeni eleman eklemeye, mevcut bir elemanı silmeye veya yerini değiştirmeye izin verir ve model veritabanını otomatik olarak günceller. Örnek olarak, herhangi bir düğüm noktasını seçmek ve kaydırmak, o düğüm noktasına bağlı tüm boruların, vana ve pompaların da bilgilerini otomatik olarak değiştirir. Bunlara ilave olarak, herhangi bir standart Windows hesap sayfası yazılımı (Microsoft Excel gibi) veya ilişkisel veritabanı (Oracle®, Microsoft SQL Server, Informix®, Sybase® gibi) ile direk olarak veya kes-yapıştır yapmak suretiyle veri alış verişinde bulunulabilir. MIKE URBAN matematiksel motoru oldukça geniş yeteneklere sahiptir. Program her türlü şebeke için ve her türlü karmaşık talep tipleri için kullanılabilir. MIKE URBAN, her büyüklükteki ve birden fazla basınç bölgesine sahip karmaşık şebekelerdeki her türlü hidrolik koşulu çözebilecek güçtedir. MIKE URBAN bir endüstri standardı olan EPANET 2.0 su kalitesi modelini kullanmaktadır. Boru sürtünme kayıpları isteğe göre Hazen Williams, Darcy Weisbach ya da Manning denklemlerinden biriyle çözülebilmektedir. MIKE URBAN, şebekenin gerçekçi modellenmesini sağlamak için vana, pompa ve depo gibi kontrol elemanlarında "çalışma kuralı" esasına dayalı bir yöntem kullanmaktadır.



Şekil 2.24 MIKE URBAN yazılımı su dağıtım şebekesi otomatik haritalandırılmış basınç bölgesi (URL-10)

Model algoritması, aynı şebeke üzerinde alternatif durumların denenmesine olanak sağlayacak şekilde "senaryo analizi" olanağı sağlamaktadır. Bu alternatif durumlar, şebeke plan farklılıkları, talep düzeninde değişiklikler ya da fiziksel parametrelerdeki değişiklikler olabilir.

Şebekenin tamamının yerine, sadece bir bölümünün analiz edilmesi şebeke modellemesinde çok sık karşılaşılan ve ihtiyaç duyulan bir durumdur. Bu duruma bir örnek olarak, şebeke üzerinde bir bölgede (ya da bir semtte) iyileştirme çalışmasının yapılması hali verilebilir. Bu tür bir çalışmaya yardımcı olmak üzere, MIKE URBAN'ın şebekenin bir bölümüne "zoom" yapma ve sadece o bölümü modelleme özelliği bulunmaktadır. Teleskopik modelleme olarak adlandırılan bu özellik sayesinde şebeke modelinde sadece bir kısmın çıkarılıp alınması ve analizlerin bu bölüm üzerinde yapılması mümkün olur.

MIKE URBAN içinde, genetik algoritma (GA) esaslı otomatikleştirilmiş model kalibrasyon ve optimizasyon modülü bulunmaktadır. Bu modül sayesinde, modelin saha ölçümlerine göre hızla kalibre edilmesi mümkün olabilmektedir. Model kalibrasyonun başarısı, modelin planlama ve mühendislik çalışmalarında kullanılmasındaki güvenilirliğini arttırmaktadır. Kullanıcı, kalibrasyon aşamasında hangi boru parçalarının pürüzlülük değerlerinin hangi limitler içinde

değiştirilebileceğini tanımlayabilir. Kalibrasyon modülü, kalibrasyon dışında sorun tespiti için de başarıyla kullanılabilir. Modül, kesiti daralmış, hasarlı ve kaçak oluşan bölümlerin tespit edilmesini sağlar (URL-10) .

MIKE URBAN ayrıca şebeke içindeki su yaşı ve su kalitesini izleyerek, şebeke suyunun yüzde olarak ne kadarlık bir kısmının düşük kaliteli kaynaktan sağlandığını düğüm noktası renkleri ve boyutlarını değiştirerek görüntüleme özelliğine sahiptir. İngilizce, Fransızca, Almanca, Rusça ve İspanyolca dillerinde mevcuttur. Kullanıcı isteğine bağlı olarak Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ve Chezy-Manning yöntemlerine göre hesaplama yapar (URL-10).

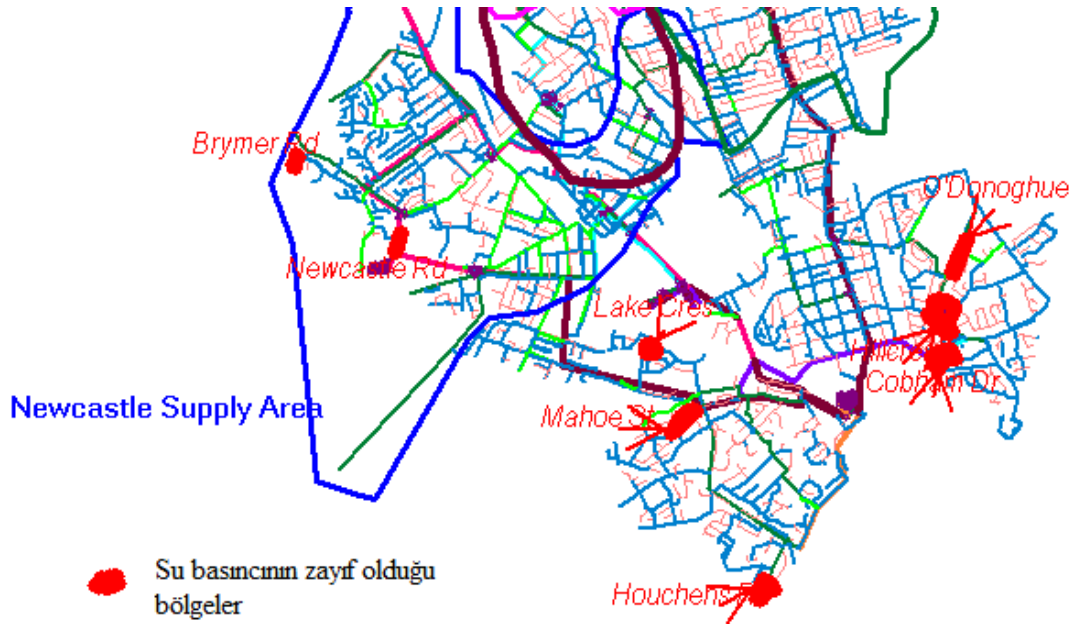
Çizelge 2.7 Su dağıtım sistemleri modelleme yazılımları

Program	Amaç	İnternet adresi	Su kalitesi analizleri	Firma	Sınırlama Maks. düğüm noktası	Demo
EPANET	Basınçlı borularda hidrolik ve su kalitesi davranışının uzatılmış süre benzeşimi	http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html	VAR	U.S. Environmental Protection Agency (EPA)	Sınırsız	ÜCRETSİZ
H₂ONET/H₂OMAP	Kapsamlı CBS tabanlı su dağıtım sistemi analizi, tasarımı ve optimizasyonu	http://www.innovyze.com/products/h2onet/	VAR	Innovyze	1000-Sınırsız	YOK
PIPE 2014	Basit veya karmaşık boru sistemleri için hidrolik modelleme yazılımı	http://www.kypipe.com/kypipe	VAR	Kentucky Üniversitesi	250-20000	VAR
CROSS (WATERPAC)	Su temini sistemlerinin hidrolik olarak hesaplanması	http://www.rehm.de/produkte/waterpac/cross/default.aspx	YOK	Rehm Danışmanlık ve Yazılım GmbH	10000	YOK
WATERCAD/ WATERGEMS	Su dağıtım sistemi analiz ve tasarım aracı	http://www.bentley.com/	VAR	Haestad Methods	10-Sınırsız	VAR
MIKE URBAN	EPANET tabanlı ileri su dağıtım sistemi modelleme yazılımı	http://www.mikebydhi.com/products/mike-urban	VAR	DHI Water & Environment	250-Sınırsız	VAR

2.8 Literatür Araştırması

Hamilton Şehrini İçmesuyu Dağıtım Sisteminin Stratejik Planlaması

Weijun (2001) tarafından Yeni Zelanda'nın Hamilton şehrinin İçmesuyu Dağıtım Sisteminin Stratejik Planlaması yapılmıştır. Hamilton şehrinin mevcut su temin ve dağıtım sistemi 1970'lerin başında planlanmıştır. O zamandan günümüze şehrin su tüketimi yaklaşık iki katına çıkmıştır. Pik su kullanımı debilerinde sistem buna cevap vermekte zorlanmaktadır. Şekil 2.25'de basıç problemlerinin olduğu alanlar gösterilmektedir.



Şekil 2.25 Sistemdeki su basıncının yetersiz kaldığı bölgeler (Weijun, 2001)

Bu sebeple stratejik plan hazırlanmasına karar verilmiştir. İçmesuyu sistemin modellemesinde kullanılan MIKE NET bu çalışma için de uygun görülmüştür. Kapsamlı bir modelleme sonucunda mevcut sistem tamamen değerlendirilmiş, iyileştirme için en gerekli malzemeler belirlenmiştir. Sonuç olarak en düşük maliyete en iyi sistem iyileştirmeleri belirlenmiştir. Tüm planlamalar 2020 yılı hedef seçilerek yapılmıştır. 20 yıllık periyotta 2 yeni rezervuar, 20 km yeni isale hattı ve pompa istasyonları önerilmiştir. Çalışmaların maliyeti 15 milyon Y.Zelanda Doları olarak tahmin edilmiştir. Stratejik olarak planlanan içmesuyu temin sisteminin 2020 proje ihtiyacını rahatlıkla karşılayacağı beklenmektedir.

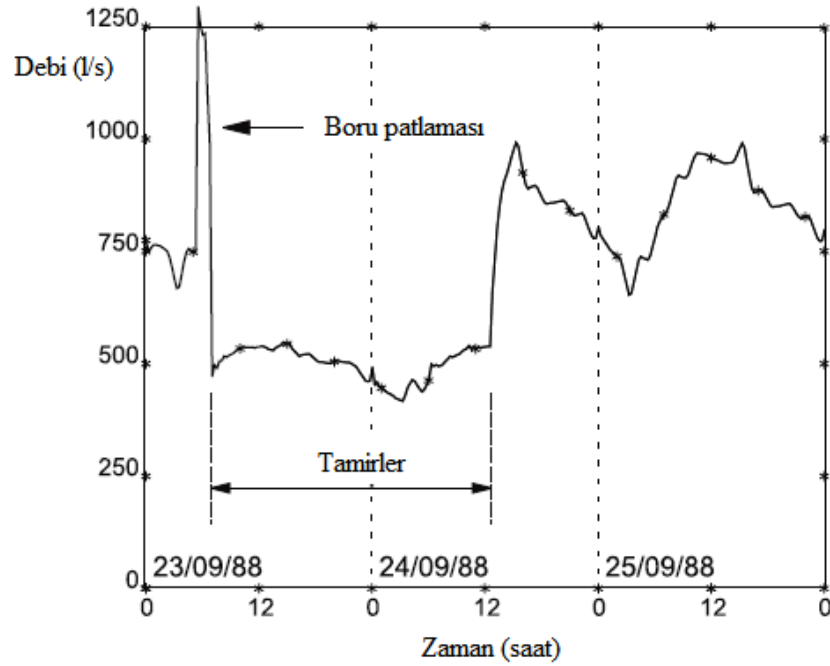
İçmesuyu Su Kalitesinin Artırılması İçin Su Depolarının Yönetimi: Örnek Çalışma

Gauthier vd., (2000) su kalitesinin iyileştirilmesi için su depolarının yönetimi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Büyük bir Kuzey Amerika şehrinde içmesuyu dağıtım sisteminin bir bölgesinde kalıntı klorun azalmasında oldukça göze çarpan sonuçlara ulaşılmış ve bu azalmanın dinamikleri üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu bölgede işletme ile ilgili toplanan verilerden, akım ölçümlerinden ve EPANET hidrolik modelinden elde edilen sonuçlar korozyon partikülleri, boru içerisindeki birikintiler veya biyofilm tabakasının klor miktarının düşmesine sebep olmadığını göstermektedir. Tam aksine, bu dağıtım bölgesinin hidrolik koşulları (depo tasarımı ve pompa devirleri) bir depoda 5.6-7.9 gün arasında bekletme süreleri olduğunu göstermektedir. Bu da düşük bakiye klor miktarlarını açıklamaya tek başına yeterli olmaktadır. Sonuçların ayrıntılı analizleri göstermiştir ki bu bölgedeki hidrolik fonksiyon prensipleri bekletme sürelerini azaltacak şekilde iyi tanımlanmalıdır. Bu çözümlerden iki tanesi sahada test edilmiş ve aynı oranda su yaşında azalma tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu bölgede yeniden bakiye klor miktarında artış sağlanmıştır.

Gerçek İçmesuyu Dağıtım Sistemlerindeki Su Tüketimleri ve Kayıplarının Modellenmesi

Obradović (2000) içmesuyu dağıtım sistemlerindeki su +sı ve kayıpları üzerine bir çalışma yapmıştır. Su endüstrisinde modelleme metotlarındaki hızlı gelişime rağmen, su dağıtım şebekelerinin modellenmesindeki gerçek kullanımlar ve kayıpların nasıl belirleneceği gibi problemler hala çözülememiştir. Bu iki parametre de sistemdeki basınca bağlı olup, aralarındaki ilişki henüz tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada farklı öneriler tartışılmakta ve modelleme işlemlerinin nasıl iyileştirilebileceği gösterilmektedir. Pratik uygulamalardan bir örnek incelenmektedir. Bosna-Hersek’de eski bir kasabaya ait bir su temini sistemi örneğinde WESNET modelleme yazılımı ile oluşturulmuş bir model aracılığıyla, işletme personelinin desteği ve geçmiş tecrübeler kullanılarak gerçek acil durum yönetiminin nasıl analiz edileceği tarif edilmektedir. Şekil 2.26’da üç gün boyunca boru kırılması nedeniyle oluşan ani pik değer, borunun tamiri esnasındaki düşük değer ve sonradan yavaşça değer artması durumlarını gözönüne alan debi

değişiminin benzeştirilmiş sonuçları verilmektedir. Makalenin sonunda sonraki çalışmalara yol gösterecek birkaç öneri de yer almaktadır.



Şekil 2.26 Acil durum halinde üç gün süresince toplam debi değişimi (Obradović, 2000)

Anormal Durumlar Altında Su Dağıtım Sistemlerinin Basınca Dayalı Hidrolik Modellemesi

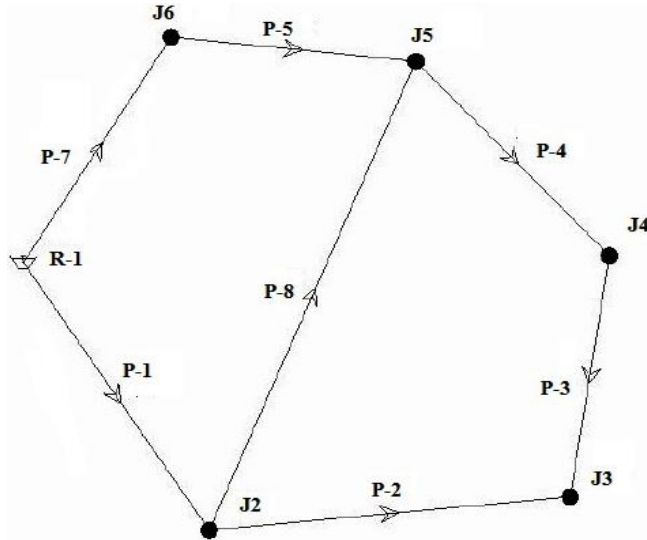
Su kurumları, herhangi bir acil durum anında tüketicilerine su sisteminin ne seviyede hizmet edebildiğini bilmek isterler. Bu tür bir anormal durum, bir ya da daha fazla elemanın hizmet dışı kalmasına sebep olur. Böyle bir olay meydana geldiğinde basınç genellikle işletim durumundakinden daha azdır. Sonuç olarak hizmet sadece belirli bir seviyede devam ettirilebilir, kesinti tamamen onarılmadan önce temin edilen su tüketimi, beklenen kadar fazla değildir. Wu ve Walski (2006) anormal durumlar altında su dağıtım sistemlerinin basınca dayalı hidrolik modellemesini çalışmışlardır. Bu çalışmada, bu tür anormal durumları doğru şekilde simüle etmek için yeni bir yaklaşım geliştirilmiş ve sunulmuştur. Şebeke hidrolik modeli, basınca dayalı su tüketimi (PDD:pressure dependent demand) modelleme olarak bilinen mevcut basınca göre gerçek tüketimi benzeştirmek etmek için geliştirilmektedir. Çalışmada, basınca dayalı modelleme yaklaşımı uygulamasını göstermek amacıyla birkaç örnek sunulmuştur. Örneklerden birinde 1 rezervuar ve 7 adet borudan oluşan

bir sistem mevcuttur (Şekil 2.27). Sistemdeki J2, J6 düğümlerinden 2cfs (56,62 l/s); J3, J4 ve J5 düğümlerinden 1cfs (28,32 l/s) debi çekilmesine göre model kurgulanmıştır. Gerekli debinin 40m'lik yeterli düğüm noktası basıncıyla sağlandığı kabul edilmektedir. Geleneksel ve basınca dayalı debi modellerinin ikisi de kullanılarak iki senaryo analiz edilmiştir.

Senaryo 1: Boru P7 (su kaynağını bağlayan borulardan biri) hizmet dışı olsun

Senaryo 2: J6 düğümü sistemden izole edilsin.

Modelleme sonuçları üç normal ve anormal durumların geleneksel model analizlerini (sabit ihtiyaç yöntemi) ve iki anormal durumların basınca dayalı debi model analizlerini içeren toplam beş model analiz sonucu Çizelge 2.6'da karşılaştırılarak özetlenmiştir. Normal durumlar altında, düğüm noktası su tüketimi 40 m'den büyük basınçlarla sağlanmıştır. Geleneksel modelleme yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar, P7 borusu kapatıldığında (anormal koşullar için) basınç düşüşünü dikkate almadan düğüm debisinin karşılandığını gösterir. Sistemden izole edilen J6 için geleneksel yaklaşımla simüle edilen sonuçlar yanıltıcı olmaktadır çünkü izole edilmiş J6 düğümü halen 56,62 l/s'lik debiyi temin etmektedir ve basınç değeri oldukça büyük negatif değer vermektedir. Karşılaştırmada, basınca dayalı su tüketimi yaklaşımının anormal koşullar için anlamlı sonuçlar verdiği görülmektedir. P7 borusu hizmet dışında olduğunda, mevcut sarfiyat basınç azaldıkça azalır.



Şekil 2.27 Düğüm debisi minimum 40 m basınç yükü ile temin edilen örnek sistem (Wu ve Walski, 2006)

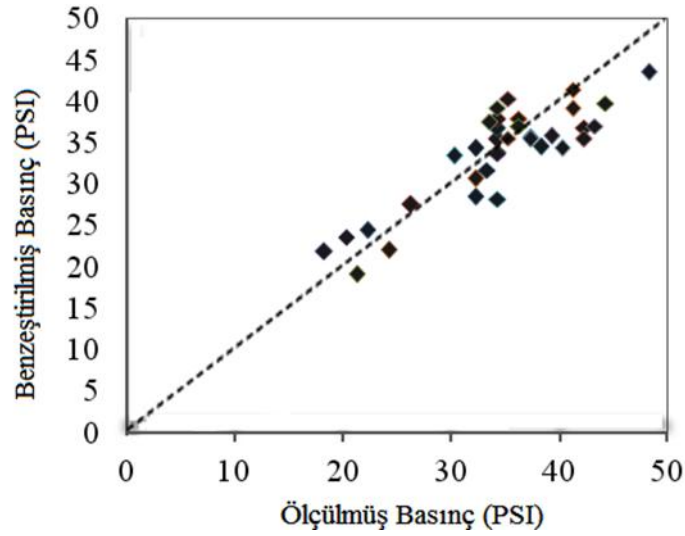
Kullanılan WaterGEMS/WaterCAD hidrolik modelleri göstermiştir ki, geliştirilen hidrolik modelleme yaklaşımını uygulayarak mühendisler, planlanmış veya planlanmamış bakım, su tesislerinin (borular, pompalar ve depolar) hizmet kesintileri ve yanı sıra bağlantısız alıcılar gibi değişik olağanüstü durumları analiz edebilir (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8 Anormal durumlar altında geleneksel yöntem ve PDD yönteminin benzeşim sonuçlarının karşılaştırılması (Wu ve Walski, 2006)

Düğ. No	Normal durumlar		Anormal durumlar P-7 borusu hizmet dışı				J6 düğümü izole edilmiş			
	Geleneksel model sonuçları		Geleneksel model sonuçları		PDD model sonuçları		Geleneksel model sonuçları		PDD model sonuçları	
	Q (l/sn)	P (m)	Q (l/sn)	P (m)	Q (l/sn)	P (m)	Q (l/sn)	P (m)	Q (l/sn)	P (m)
J2	56.63	43.40	56.63	23.49	49.74	30.73	56.63	30.05	54.56	36.97
J3	28.32	42.80	28.32	19.94	23.84	28.24	28.32	27.59	26.77	35.60
J4	28.32	42.80	28.32	18.90	23.53	27.52	28.32	27.05	26.70	35.43
J5	28.32	43.30	28.32	18.72	23.49	27.40	28.32	27.04	26.73	35.49
J6	56.63	44.43	56.63	17.23	46.09	26.38	56.63	-30418567.3	0.00	0.00

Kalite ve Miktarı Artırmak için Su Dağıtım Sistemlerinin Hidrolik Modellenmesi

Elsheikh vd. (2013) Mısır'ın Tanta Şehri'ne ait su dağıtım şebekesini, şebeke yaşının etkisini dikkate alarak tasarımını ve gelişimini optimize etmek için bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada Water CAD yazılımını kullanarak şebekenin hidrolik modelini oluşturmuş ve kalibrasyon için saha çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Statik basınç, yangın debisi testleri ve uzatılmış süre okumaları aracılığıyla model kalibrasyonu çalışmaları yapılmıştır. Kalibre edilmiş şebeke modeli sonuçları ile saha ölçümleri verisi oldukça iyi derecede eşleşmiştir (Şekil 2.28).



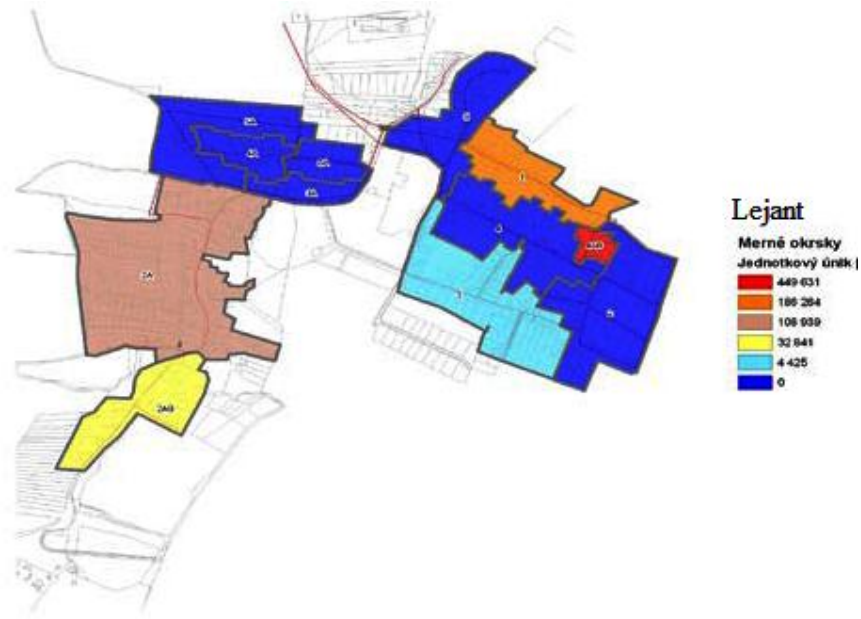
Şekil 2.28 Kalibre edilmiş modelde ölçülmüş ve benzeştirilmiş basınç arasındaki ilişki (Elsheikh vd., 2013)

Toplamda 588 adet birincil ve ikincil borular içeren sistem için optimizasyon çalışması düzenlenmiştir. Sonraki 10 yıla göre yazılıma girilen sınır koşullarını sağlayan minimum maliyet tasarımının amaç fonksiyonunu tanımlayarak optimum tasarım gerçekleştirilmiştir.

Sızıntının Minimuma İndirilmesi için Su Basıncının Optimizasyonu

Enerji maliyetlerinin yüksek, tamir masraflarının çok olması nedeniyle su dağıtım sistemi işletmeleri için su sızıntı problemlerinin çözümü çok önemli duruma gelmiştir. Ayrıca su şebekesinin kapasitesi sızıntı nedeniyle azalır ve çevreye olan etkisi gözardı edilemez. Çek Cumhuriyeti Gánovce Belediyesi su borusu şebekelerinde uzun süredir yüksek miktarda sızıntı kaydetmişlerdir. Su şebekesi sistemine ortalama giren debi $550 \text{ m}^3/\text{gün}$ olduğu halde faturalanan su miktarı $91,6 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Bu da şu anlama gelmektedir ki suyun %73'ü kayıptır. Toplam şebeke uzunluğu 7460 m ve toplam kayıtlı tüketim kaydı sayısı 302'dir. Standart metodlarla sızıntının belirlenmesine ait maliyet biraz yüksektir ve büyük boru şebekeleri için etkin değildir. Bu tip alanların tanımlanması ölçüm ve matematiksel modelleme kombinasyonuna dayalı olarak su şebekesinin izlenmesi aracılığıyla olmaktadır. Bu nedenle Gánovce Belediyesinin tüm boru şebekesinin hidrodinamik modeli işletimsel ve kavramsal görevleri araştırmak amacıyla MIKE URBAN'da oluşturulmuştur. Şebekede sızıntı dağılımının daha fazla araştırılması ve değerlendirilmesiyle tüm sistem girişinin %73'ünün sızıntı olarak kaybolduğu belirlenmiştir (Şekil 2.29).

Toplam sızıntının hemen hemen %98'i şebekenin 1.19 km'lik (toplam uzunluğunun %16'sı) bölümünde olduğu farkedilmiştir. Model sonuçları ve saha gözlemlerine dayalı olarak, kırılmaların belirlenmesi ve tamiri çalışmaları sonucu iki ay içinde sızıntı %73'den %15'e düşürülmüştür. Şebekedeki basınç durumlarının optimizasyonu kavramı, şebekedeki sızıntı ve kırılmaların sürdürülebilir azaltımını sağlamak amacıyla sunulmuştur. Şebekedeki mevcut ortalama basınç 46,3 m'dir. Yeni basınç azaltıcı vanaların önerilen uygulamaları altında bu değer 28,1 m'ye düşürülmüştür.

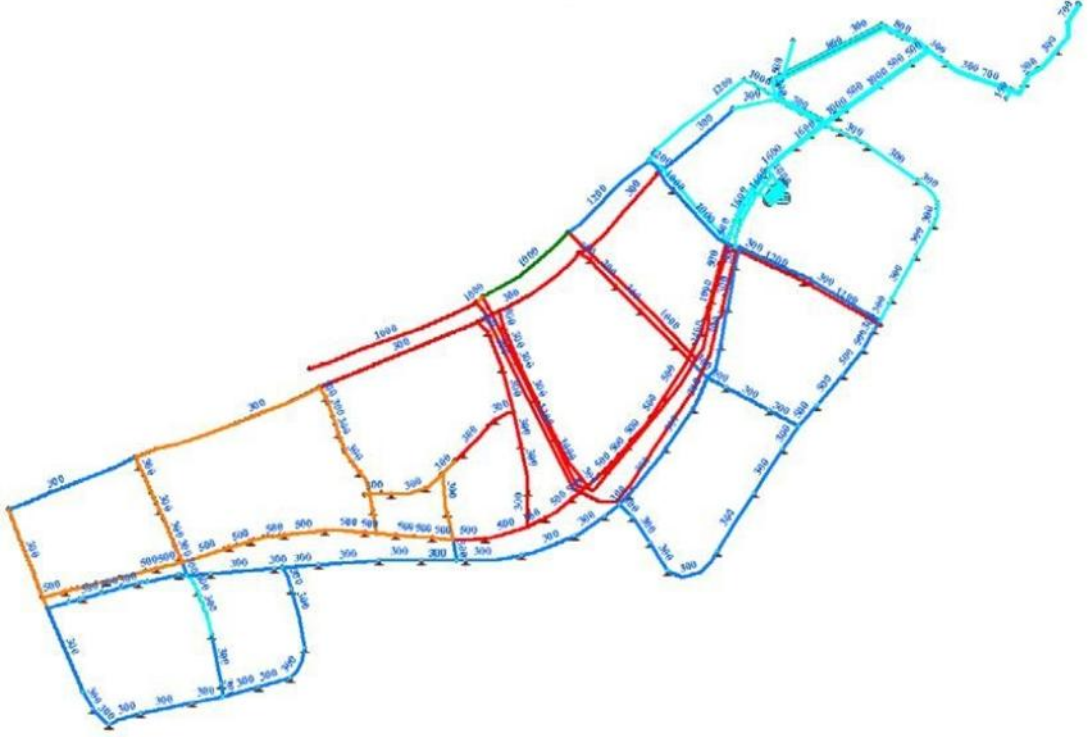


Şekil 2.29 Gánovce Belediyesi içmesuyu şebekesindeki sızıntı dağılımı (URL-10)

Çin'de 2010 Fuarı'ndaki Tüm Sergiler için Su Temini

Şanghay Güney Su Ltd. Şirketi, 1,35 km²'lik alanı kaplayan ve Huangpu Nehri'nin batısında kurulması düşünülen Puxi 2010 Fuarı'ndaki tüm sergiler için su temin etme işini üstlenmiştir. Puxi Fuar Alanı'na kurulacak sergiler ortalama günde 120000, en kalabalık günde maksimum 240000 kapasiteyle misafir kabul etmek için tasarlanmıştır. Fuar esnasında ve sonrasında su tüketimleri sırasıyla 22100 m³/gün ve 24900 m³/gün'olarak tahmin edilmiştir. Model tahminlerine dayalı olarak tüm fuar alanı için acil durumda karar vermek amacıyla Puxi fuar alanına ait su dağıtım modeli oluşturulmuştur. DHI (Danish Hydraulic Institute: Danimarka Hidrolik Enstitüsü)'nin Çin Acentası tarafından yangın olayları, boru patlamaları, dezenfekte edici dökme, kirlenici yayılımı vb. acil durum senaryoları analiz edilmiştir (Şekil 2.30). Şanghay Güney Su Ltd. Şirketi, MIKE URBAN WD (su dağıtım modülü)

modeli yardımı ile bu büyük etkinlik boyunca ziyaretçilere rahatlıkla hizmet edebileceği garantisini vermiştir.



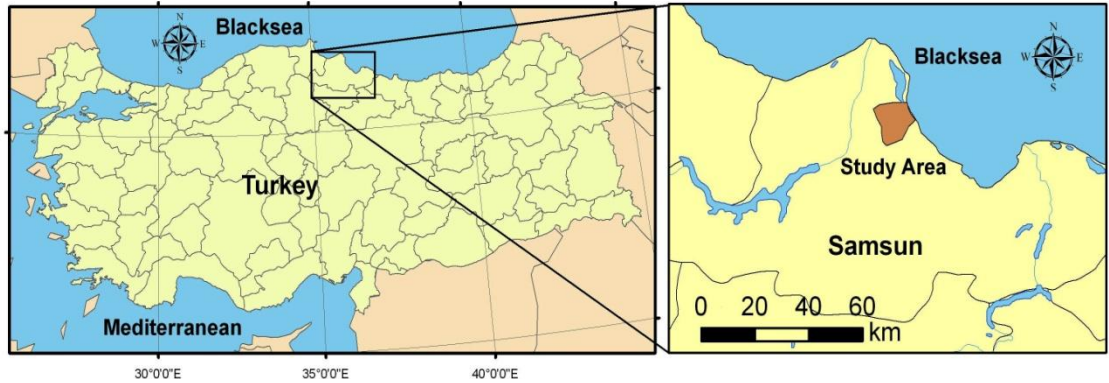
Şekil 2.30 Fuar alanı içmesuyu dağıtım sistemi modeli kirlenici yayılım analiz sonuçları (URL-10)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Samsun ili 19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sistemi değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmanın amacı, gerçek hayatta var olan su dağıtım sistemini modern yazılım paketi kullanarak modellemek, dijital ortamdaki modeli mevcut içme suyu dağıtım sisteminden alınan verilerle kalibre etmek ve optimum tasarımını sağlamak, acil durum, nüfusun artması ve altyapı yenilenmesi gibi durumlar için modelde senaryolar üretip gerçek sistemin göstereceği tepkileri önceden tasarlayarak önlem almak amacıyla önerilerde bulunmaktadır.

3.1 Çalışma Alanı

Araştırma materyali olarak Samsun ili 19 Mayıs ilçesi seçilmiştir (Şekil 3.1). 19 Mayıs ilçesi, Samsun'a yakın olması, istenilen verilere kolaylıkla ulaşılabilmesi, daha önce bu ilçede CBS tabanlı içmesuyu dağıtım şebekesi bilgi sisteminin kurulmuş olmaması ve mevcut içme suyu dağıtım sisteminin modellenmesi ile ilgili çalışmaların yapılmamış olması nedeniyle çalışma alanı olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Çalışma alanını gösterir harita (Uslu vd., 2014)

19 Mayıs ilçesi Samsun'a 33 km uzaklıktadır ve Samsun-Sinop Devlet karayolu (D10) üzerindedir. Kızılırmak nehrinin meydana getirdiği delta ovasının doğu ucunda yer alan ilçenin denizden yüksekliği 10 m'dir, İlçe merkezinin kuzeyinde kalan topraklar Kızılırmak'ın oluşturduğu ovanın bir bölümünü teşkil eder. Bu alanda balık göllerinin bir kısmı bulunmaktadır. 19 Mayıs ilçesi, doğusunda Samsun, batısında Bafra, kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Samsun ve Bafra ile

çevrilidir. En yüksek yeri Nebyan ormanlarının bulunduğu güneyindeki tepedir (URL-11).

19 Mayıs ilçesi sahip olduğu 22 kilometrelik sahil şeridi, temiz kumsalı, denizi ve güneşi ile yaz turizmine önemli ölçüde cevap verebilecek nitelik taşımaktadır. İlçede yaz aylarında normal nüfusun 3-4 katına çıkılmakta, çok sayıda yazlıkçı burada tatil yapmaktadır. 19 Mayıs ilçe merkezi ile Karadeniz'in arasında; yani Ondokuzmayıs'ın kuzeyinde çok geniş sazlıklar, bataklıklar ve göllerle kaplı olan Kızılırmak Deltası bulunmaktadır. Tütün, buğday, fındık, mısır, pirinç önemli tarım ürünleri arasındadır. Türkiye'nin en büyük ve teknik donanımlı Ballica Sigara Fabrikası da ilçede bulunmaktadır. Ondokuzmayıs ilçesinde bulunan süt fabrikası ise kullanılmamaktadır. Önemli sanayi ve iş kolları bulunmadığı için ilçede işsizlik ileri boyutlara ulaşmıştır. Ziraatla uğraşan halkın dışındaki vatandaşlar ilçe dışında iş aramaktadır (URL-12).

Yöre Karadeniz kıyısında yer aldığından iklimi ılımandır. Ortalama sıcaklık 15⁰C'dir. Yaz ve kış yağışlı geçer. Yıllık ortalama yağış 725 mm civarındadır. İlçenin toplam nüfusu 2013 yılı itibarıyla 24454 kişidir. Yaz aylarında ilçe nüfusunda büyük bir artış gözlenmektedir (URL-13). 19 Mayıs İlçesine bağlı doğusunda yer alan Dereköy ve kuzeyinde yer alan Yörükler olmak üzere iki belde belediyesi ile 15 adet mahallesi mevcuttur. Bu mahalleler sırasıyla: Cumhuriyet Mah., Pazar Mah., Yeni Mah., Bahçelievler Mah., Ballica Mah., Çamlıca Mah., İstiklal Mah., Karşıyaka Mah., Kumcağız Mah., Yeşilova Mah., Yükseliş Mah., Yukarıengiz Mah., Engiz Mah., Esenyer Mah. ve Mimarşinan Mah.'dir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 19 Mayıs ilçesi yerleşim yeri krokisi (URL-15)

3.1.1 19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sistemi mevcut durumu

İlçe, içme suyu ihtiyacını 8 adet derin kuyu ve bir adet keson kuyudan sağlamaktadır. Derin kuyular ve kesondan temin edilen su, ilçenin yüksek kodunda inşa edilmiş ana depo yakınındaki eski depolara iletilerek buralarda dinlendirilmektedir. Dinlendirilen su, daha sonra deponun üzerinde bulunan basınçlı filtrasyona gönderilmektedir. Filtrasyondan geçirilen su depo içinde klorlama işleminden geçirilerek şebekeye verilmektedir (Şekil 3.3). Mevcut sondajlarda ömrünü tamamlayan kuyular yerine 2 adet yeni kuyu daha açılmıştır. Ayrıca sondajların teknik donanımları da yenilenerek mevcut eski pompalar yerine yeni derin kuyu dalgıç pompaları alınmıştır. Su temin edilen kuyulardan Fındıklık Derin Kuyu 1 (K5), Yeşilköy Mera 1 (K7) ve Yeşilköy Mera 3 (K9) kuyularının içmesuyu dağıtım sistemi modelinin kalibrasyonu amacıyla sahadan veri toplanması esnasında kapalı olduğu not edilmiştir (Çizelge 3.1). Akiferin beslenmesi yağışlar, ırmaklar ve göller tarafından gerçekleştirilmektedir. Bilindiği üzere mevsimler ve yıllık yağışlarda görülecek değişimler hem su kaynaklarının depo edilmesi, hem de topraktaki nem rejiminin düzenlenmesi açısından oldukça önemlidir.



Şekil 3.3 19 Mayıs ilçesi ana depo ve filtrasyon üniteleri

Bununla birlikte küresel ısınmadan dolayı bölgede oluşan iklim değişiklikleri nedeniyle özellikle yaz aylarında yağışlar azalmış ve beslenme süreci değişen yer altı su kaynaklarından kuyular aracılığıyla çekilen su ilçeye yetemez hale gelmiştir.

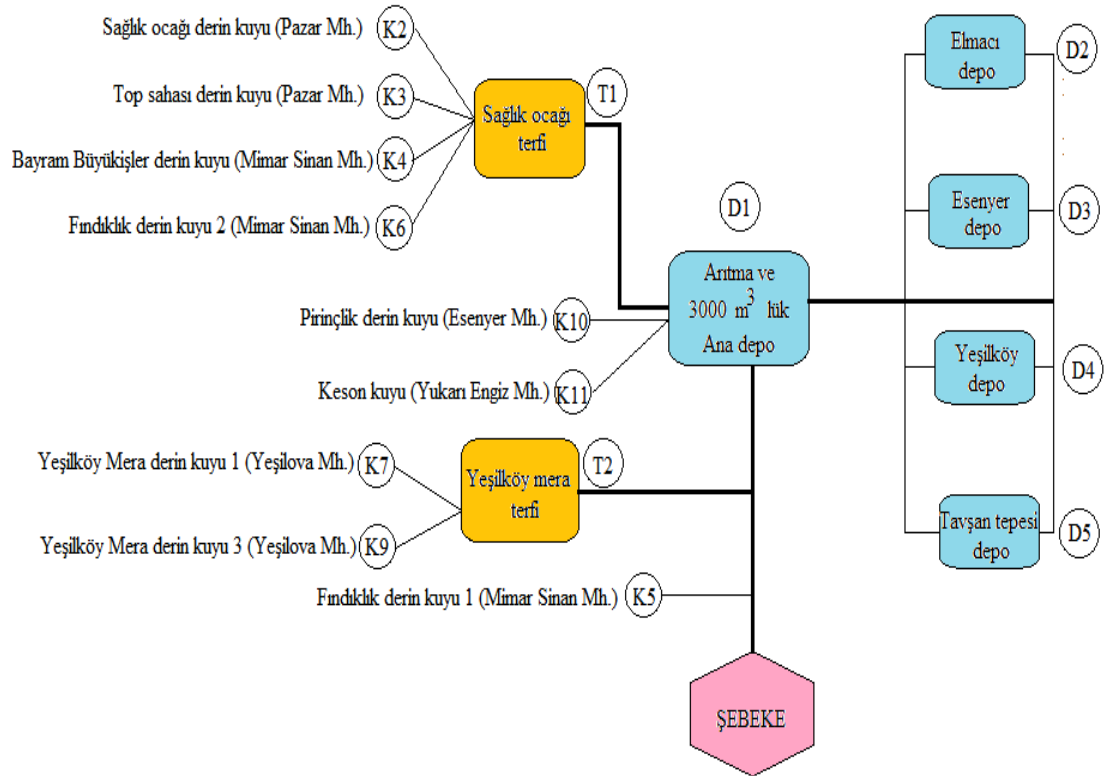
Çizelge 3.1 19 Mayıs ilçesi içmesuyu temin kaynakları

	KAYNAKLAR	MAHALLESİ	DEBİ
K1	Sağlık ocağı derin kuyu ESKİ (İPTAL)	PAZAR	5 lt/s
K2	Sağlık ocağı derin kuyu YENİ	PAZAR	5 lt/s
K3	Top sahası derin kuyu	PAZAR	5 lt/s
K4	Bayram Büyükişler Derin Kuyu	MİMAR SİNAN	5 lt/s
K5	Fındıklık Derin Kuyu 1(KAPALI)	MİMAR SİNAN	10 lt/s
K6	Fındıklık Derin Kuyu 2 (Koçbıyık)	MİMAR SİNAN	5 lt/s
K7	Yeşilköy Mera 1(KAPALI)	YEŞİLOVA	5 lt/s
K8	Yeşilköy Mera 2 (İPTAL)	YEŞİLOVA	5 lt/s
K9	Yeşilköy Mera 3 (KAPALI)	YEŞİLOVA	5 lt/s
K10	Pirinçlik Derin Kuyu	ESENYER	10 lt/s
K11	Keson Kuyu	YUKARIENGİZ	7 lt/s

Kasabanın imar planı sahilden 100 m kotlarına kadar çok geniş olarak 1230 ha alanı kapsamaktadır. Bu nedenle şebeke iki katlı olup üst kat çok az bir yer tutmaktadır. Alt kat şebekesi esas ana kısmı teşkil etmekte olup 0,6 m – 65m kotları

arasında yer almaktadır. 2029 yılında 62275 kişiye hizmet verebilecek şekilde projelendirilmiştir. Alt kat şebekede yer alan en büyük depo 2500 m³ hacmindedir ve yaklaşık 90 m kotundadır. Bu deponun inşasından önce şebekede meydana gelebilecek fazla basınçlardan dolayı depo yeri alçak kotlara alınmak istense de istimlak sorunu olduğundan uygun kot alınamamıştır. Bu nedenle şebekenin bazı yerlerinde 80m'nin üzerinde statik basınçlara izin verilmiştir. Üst kat şebekesi alanı 55 ha'lık bir alanda olup 2029 yılında 2725 kişiye hizmet verebilecek şekilde projelendirilmiştir. Üst kat şebekesi 65 m – 102 m kotları arasında yer almaktadır (İlbank Samsun Bölge Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı, 1994).

19 Mayıs ilçesinde ikisi terfi istasyonunda olmak üzere toplamda 7 adet depo mevcuttur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 19 Mayıs İlçesi içmesuyu şebeke krokisi (2014) (T: Terfi, D:Depo, K: Kuyu)

3.2 19 Mayıs İlçesi İçmesuyu Şebekesi Bilgi Sistemi

Günümüzde CBS ile ilgili olarak çeşitli tip ve özelliklerde yazılımlar geliştirilmektedir. 19 Mayıs ilçesine ait içmesuyu dağıtım sisteminin modellenmesinden önce şebekeye ait bilgi sistemini oluşturmak amacıyla, ESRI firmasının üretmiş olduğu CBS yazılımının ArcGIS 10.0 versiyonu kullanılmıştır. ArcGIS, ESRI firmasının 80'li yıllardan beri geliştirdiği bir CBS yazılımıdır. ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene, ArcGlobe vb. modüllerden oluşmaktadır. ArcMap arayüzü, mevcut grafik ve sözel verilerin görüntülenmesi, güncellenmesi, sorgulanması, analiz edilmesi, grafiklerinin oluşturulması ve raporlanması işlevleri ile kullanıcıya, yüksek kalitede kartografik sunumlar sağlamaktadır (Töreyen vd., 2010). Kullanılan CBS yazılımı, su dağıtım sistemi hidrolik/su kalitesi modelleme yazılımı (MIKE URBAN WD) ile birlikte Ondokuz Mayıs Üniversitesi PYO.MUH.1904.11.016' nolu projeden temin edilmiştir.

Veri depolama formatları (vektör ve raster) birbirlerinden soyutlanmış farklı tabakalar şeklinde depolanırlar. Vektör veri; belirli koordinat (x,y) değerleri ile depolanan verilerdir. Belirli bir koordinata sahip olan vektör veriler “nokta, çizgi, alan” veriler olmak üzere 3'e ayrılır. Raster veri; hücrelere bağlı olarak temsil edilen verilerdir. En küçük birim piksel olarak tanımlanmaktadır. Raster verilerde verinin hassasiyeti piksel boyutuna göre değişen çözünürlük özelliği ile tanımlanmaktadır. Çekilen fotoğrafların, taranan haritaların ya da paftaların sisteme aktarılması ve vektör verilerden dönüşüm işlemleri sonucunda elde edilirler (Töreyen vd., 2010).

Tez çalışmasının bu aşamasında içme suyu sistemine ait paftalar taranarak raster (hücresel) veri formatında CBS'ye aktarılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen 19 Mayıs Belediyesine ait grafiksel veriler şu şekildedir;

1. İmar planları,
2. Hâlihazır haritalar,
3. Altyapı haritaları (İçmesuyu şebekesi haritaları).

Çalışmada kullanılan verilerin temin edilmesi aşamasında, imar planları ve hâlihazır haritalar 19 Mayıs Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünden dijital ortamda temin edilmiştir (NETCAD formatında). İçmesuyu şebeke haritaları ve bu haritalara ait sözel veriler kapsamında sayılabilen öznitelik bilgileri 19 Mayıs Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünden basılı olarak temin edilmiştir.

3.2.1 Sistemin oluşturulmasında karşılaşılan sorunlar

Genel olarak birçok ilçe belediyelerinde yetersiz personel, otomasyon problemleri, denetim ve hızlı işlem yapılamaması, yetersiz arşivleme, arşivlere hızlı ulaşılamaması, sayısal verilerin kâğıt ortamında saklanması ve kullanılması, verilerin güncellenmemesi, koordinasyon eksikliği gibi sorunlar mevcuttur. Tüm bu sorunların yanında donanım ve finansman eksikliği, kalifiye personel yetersizliği ve hızlı karar verememe de öne çıkan problemler arasında yer almaktadır (Morova, 2006).

CBS Tabanlı 19 Mayıs ilçesi içmesuyu şebekesi bilgi sistemi oluşturulurken de yukarıda sayılan problemlerle karşı karşıya kalınmıştır. Ayrıca, kâğıt ortamındaki altyapı verilerinin gerçek sisteme tam olarak uygulanmamış olması, sayısallaştırma amacıyla paftalarda bulunması gereken köşe koordinatlarının belirtilmemiş olması, önceleri ilçe belediyesine bağlı olmayan Esenyer, Yeşilova, Mimarsinan ve Engiz köylerinin belediye sınırlarına dahil edilmesi nedeniyle bu yerleşim yerlerine ait şebeke sisteminin sonradan mevcut şebekeye dahil edilmiş olması karşılaşılan diğer sorunlar arasındadır.

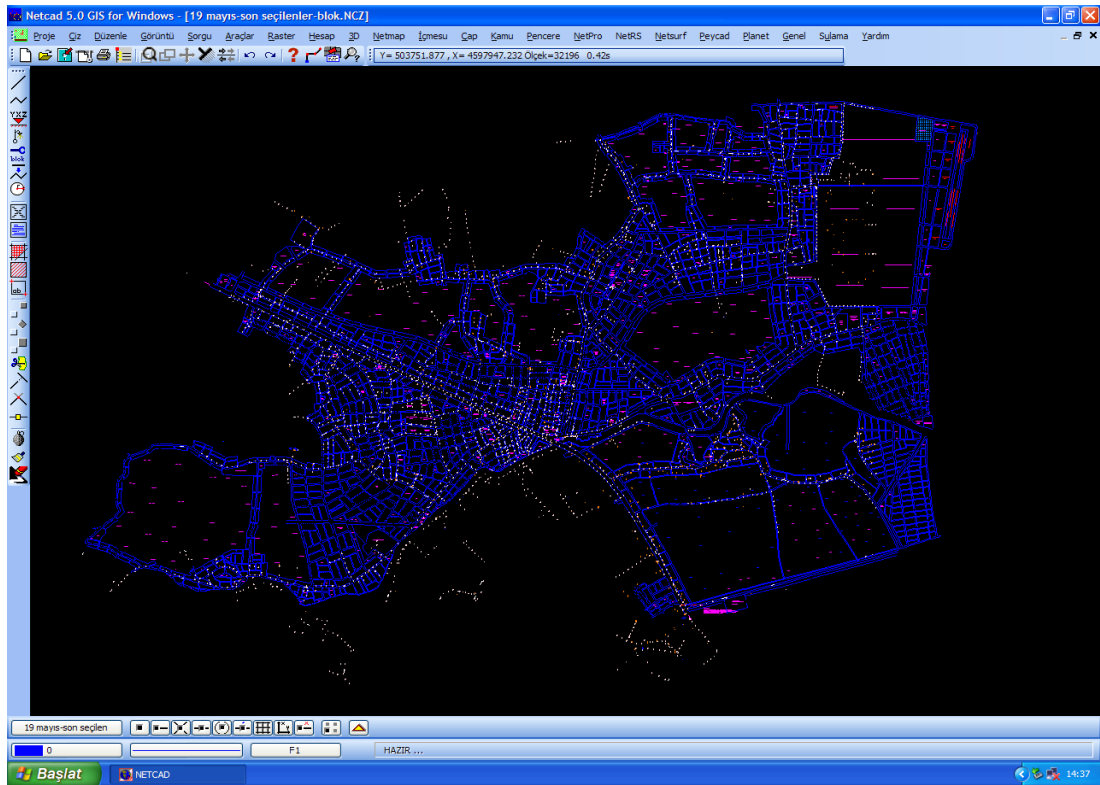
Çalışma alanının su şebeke sistemine ait paftalarının çoğuna ulaşılsa da bazı bölgelere ait şebeke inşaat paftaları bulunmamaktadır. Bu nedenle şebeke hattı inşaatı hakkında bilgi sahibi olan Fen İşleri müdürü ve belediye işçilerinden bilgi alınmıştır. Bununla birlikte kapalı olan vanalar yeni yerleşim yerleri oluşturuldukça açık hale getirilmiş ve bu yerlere yeni borular ilave edilmiştir.

3.2.2 İçmesuyu şebekesi bilgi sistemi işlem adımları

CBS teknolojisi yardımıyla altyapı şebekelerine ait planlar ve çizimler kâğıt ortamından dijital ortama aktarılabilir. İçmesuyu şebekeleri için bilgi sistemi oluşturma işlem adımları şu şekilde sıralanmaktadır:

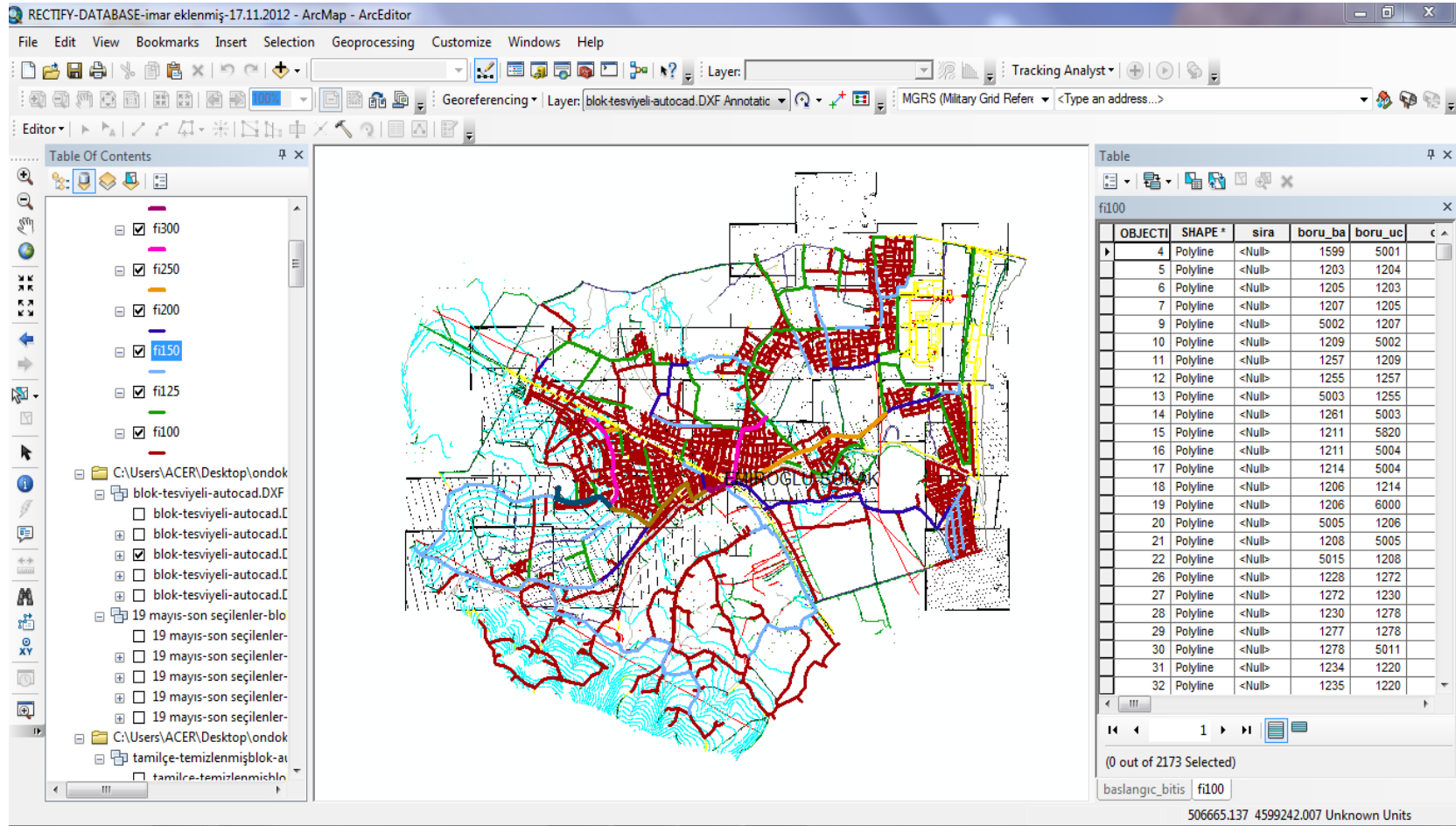
1. Tarayıcı yardımıyla paftalar taratılarak, raster veri formatına dönüştürülmüştür. Çalışmada Samsun 19 Mayıs İlçe Belediyesinden kâğıt ortamında elde edilmiş, 1/1000 ölçekli 42 adet paftadan oluşan içme suyu inşaatı şebeke işletme planı tarayıcı ile taranarak TIFF formatında ArcMap yazılımına aktarılmıştır.

2. Çalışılan içme suyu şebekesine ait taranmış paftalarda köşe koordinatları belirtilmediğinden, bu veriler CAD ortamında hazırlanmış ilçe imar planlarının koordinatlarına yerleştirilmiştir (Şekil 3.5).
3. Koordinatlandırma işleminin ardından, şebeke elemanları, nokta ve çizgi formatına dönüştürülmektedir. Bu işleme kısaca sayısallaştırma adı verilir ve bu sayede kentin veya herhangi bir yerleşim bölgesinin altyapı şebekelerini sayfalarca kağıttan kurtarmak ve bilgisayar ekranına indirmek mümkün olur. Şebeke planı üzerinde yer alan şebeke öğeleri (borular) ArcMap 10.0 yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.5 NetCAD ortamında bulunan 19 Mayıs ilçesine ait imar planı

4. Nokta, çizgi ve alana ait grafik veri ve buna bağlı öznitelik verileri coğrafi veritabanında tutulur (Töreyyen vd., 2010). Veri tabanının oluşturulmasıyla şebeke elemanlarına ait veriler hızlı ve sağlıklı bir şekilde güncellenebilir. Çalışmada 19mayisveritabani.gdb dosyası altında aynı projeksiyon sisteminde birçok katmanı içeren ondokuzmayıs verikumesi oluşturulmuştur.



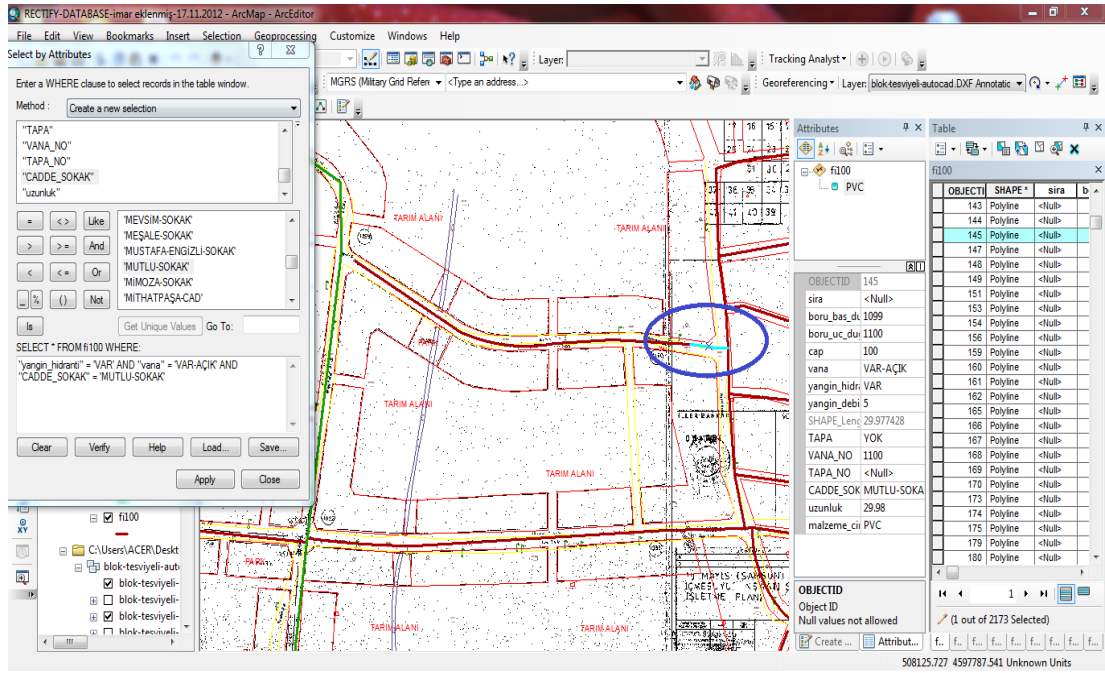
Şekil 3.6 19 Mayıs ilçesi raster verileri ve üzerinde sayısallaştırılmış su şebeke sistemi

Bu katmanlar şebeke içinde kullanılan nominal boru çaplarına göre ($\phi 100$, $\phi 125$, $\phi 150$, $\phi 200$, $\phi 250$ vb.) adlandırılmıştır. Boru katmanlarının çizgisel olması gerektiği için Type seçeneği Line Feature (Çizgisel Özellik) olarak belirlenmiştir. Katmanlar oluşturulurken sorgulanacak öznitelik (sözel veri) bilgileri de eklenmiştir. İçmesuyu Şebekesi Bilgi Sistemi veri tabanında yer alan sözel verilerden bazıları şunlardır:

- ✓ Uzunluk,
- ✓ Çap,
- ✓ Kullanılan malzemenin cinsi,
- ✓ Yangın debisi,
- ✓ Boru başlangıç düğüm noktası,
- ✓ Boru bitiş düğüm noktası,
- ✓ Cadde-Sokak,
- ✓ Vana, tapa, yangın hidrantı bulunması vb.

Sözel bilgiler paftalar üzerinde yazılmış olan ve şebeke inşaatı ve işletmesinde görev alan kişilerden elde edilmiş bilgiler yardımıyla ArcMap 10 yazılımına teker teker elle girilerek aktarılmıştır.

5- Su şebekesine ait eleman özelliklerinin girilmesinin ardından CBS ortamında sorgulama yada içmesuyu dağıtım sistemi hidrolik/su kalitesi modelleme yazılımına aktararak modele dönüştürme aşamalarına geçilmiştir. Sorgulamalar, istenilen özelliklere sahip elemanların şebeke içinden seçilmesi için geliştirilen bir özelliktir. Örneğin şebekede vanası açık belirli çaptaki boruların sorgulama yardımıyla ekranda görüntülenmesi sağlanabilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Özelliğe bağlı sorgulama (Mutlu Sokak’tan geçen, yangın hidrantı olan ve vanası açık olan borunun sorgulanması - Sorgulama sonucu bulunan boru yeşil renkte görülmektedir)

3.3 İçmesuyu Dağıtım Sistemi Modelinin Oluşturulması

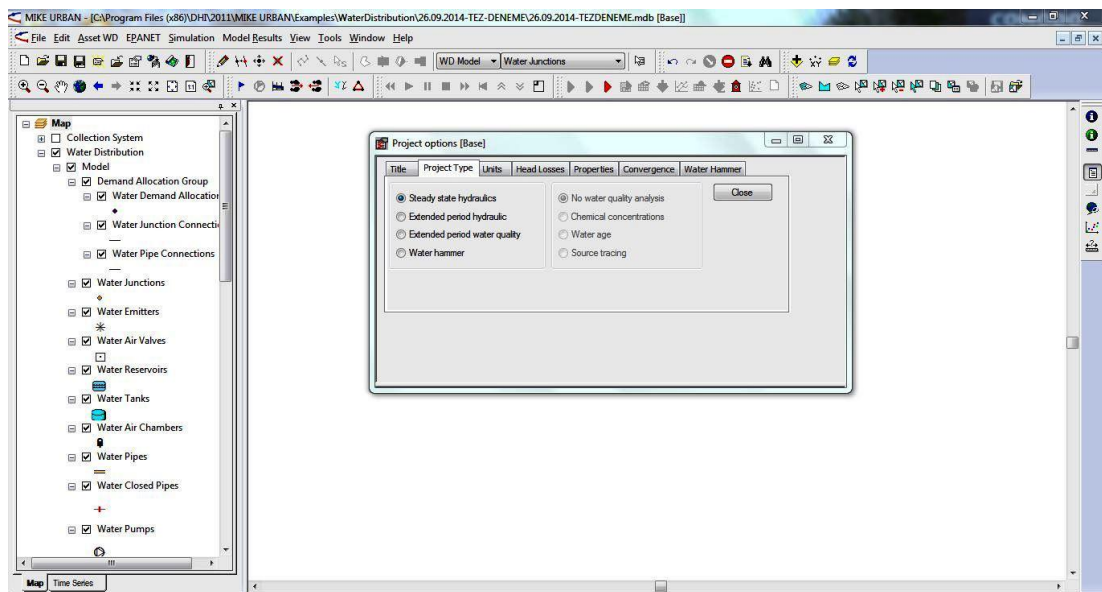
Bu doktora tez çalışması esnasında, gerçek bir su dağıtım sistemine ait veritabanı oluşturulması, sistemin modellenmesi, modelin kalibre edilmesi ve optimum tasarımının sağlanması amacıyla kullanılan yazılım MIKE URBAN WD/MM olarak seçilmiştir (Bkz. Bölüm 2.7). MIKE URBAN, EPANET yazılımına değişken hızlı pompalar, uzun süreli kontrol kuralları, otomatik yangın debisi analizleri gibi diğer özellikler eklenerek DHI (Denmark Hydraulic Institute) tarafından geliştirilmiş ticari bir yazılımdır. MIKE URBAN su dağıtım şebekelerini “Newton Gradyan Yöntemi” ile çözümlenmektedir. Programın temel kullanım amaçları içerisinde mevcut olan veya henüz tamamlanmamış bir şebekeyi modellemek, su kalitesini istenilen seviyeye çıkartmak için farklı senaryoları geliştirmek ve geliştirilen senaryoların uygulanabilirliğini test etmek yer almaktadır (DHI, 2011).

İçmesuyu dağıtım sistemlerinin hidrolik modelini oluşturmak için gereken bilgiler Bölüm 2.2.1’de verilmiştir. Buna göre 19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sistemine ait hidrolik model oluşturma aşamaları aşağıdaki gibidir:

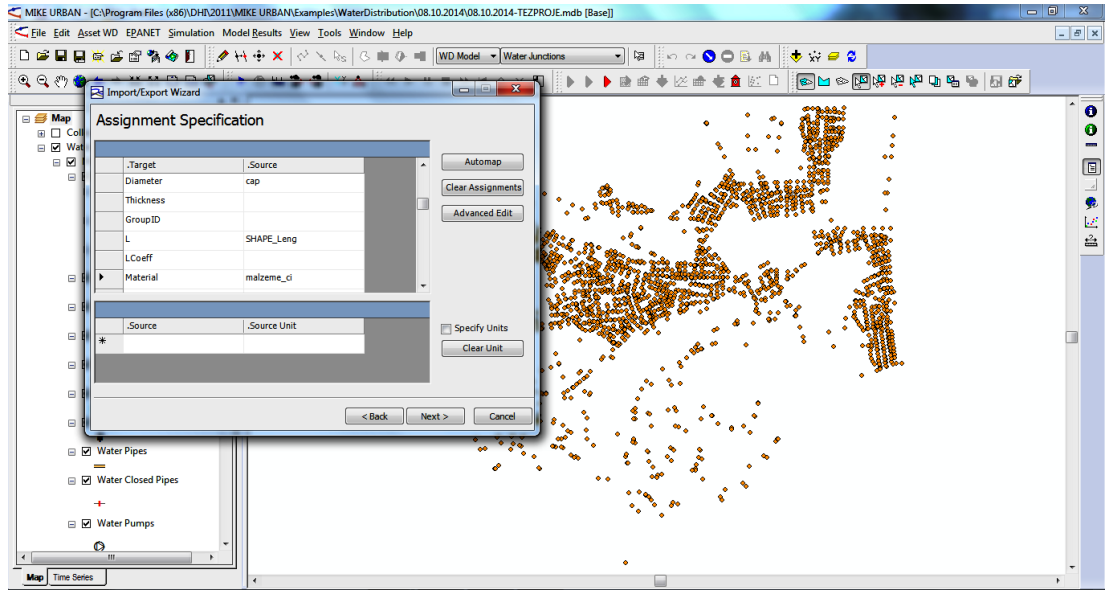
3.3.1 Şebeke bileşenlerinin modele girilmesi

İçmesuyu dağıtım sistemi veri girişleri her boru ve bağlantı noktası (düğüm) için tam olarak hazırlanmalıdır. Örneğin şebekedeki her boru için boru verisi uzunluk, çap, pürüzlülük katsayısı ve yersel yük kaybı katsayısı gibi özellikleri; düğüm verisi ise her düğüm noktası için debi ve düğüm noktası yüksekliği bilgisini içermektedir. Bu çalışmada daha önce CBS ortamında oluşturulmuş 19 Mayıs ilçesi içmesuyu şebekesi veritabanı, MIKE URBAN yazılımı ile modele dönüştürülmüştür. Modeli oluşturmadaki ilk aşama dosya adı, birim sistemi ve çalışma modunun tanımlanmasıdır. Bu parametrelerin başlangıçta yeni bir proje dosyası açılırken belirlenmesi gerekir. Açılan boş sayfada proje tipi, yük kaybı formülü, su darbesi katsayıları vb bilgiler girilir (Şekil 3.8).

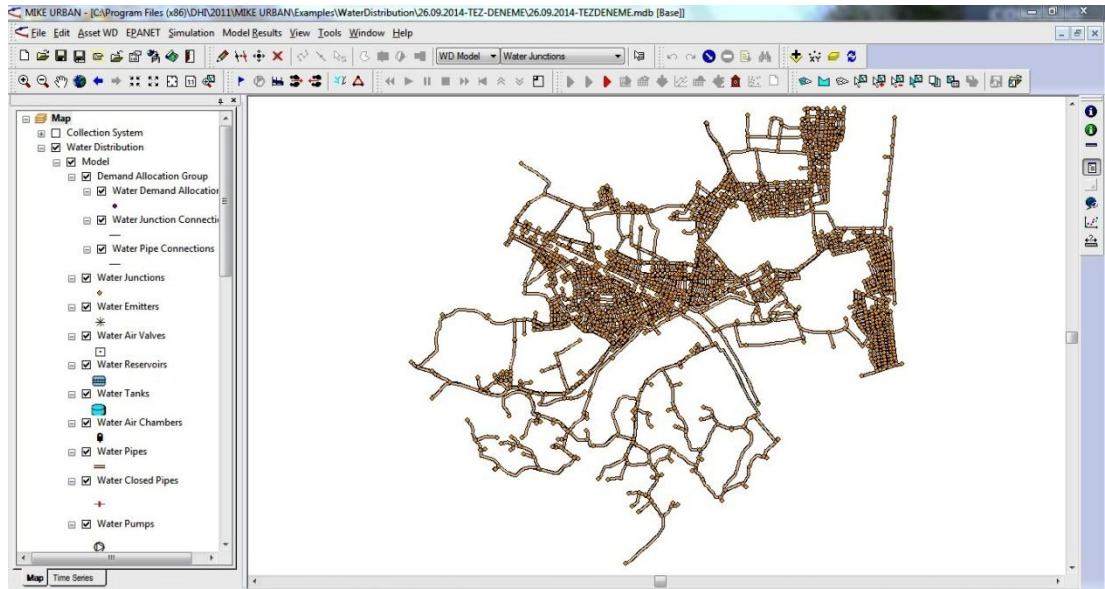
İkinci aşamada, önceden CBS ortamında oluşturulmuş ve şekil dosyası olarak kaydedilen her bir boru ve düğüm noktası katmanı ile öz nitelik bilgileri modele dönüştürülmüştür (Şekil 3.9, Şekil 3.10). Şebekedeki boru, pompa veya vana, modelde bağlantı elemanı olarak tanımlanır. Her bağlantı elemanı bir numara (ID) ile tanımlanır ve iki bağlantı elemanı aynı numaraya sahip olamaz. Boru veri girişlerinde borunun başlangıç ve bitiş düğüm numaraları, çapı, seçilen sürtünme kaybı denklemine bağlı olarak kullanılan pürüzlülük katsayısı, uzunluğu tanımlanmalıdır. Eğer akım başlangıç düğümünden bitiş düğümüne doğru hareket ediyorsa hesaplanmış debi değeri pozitif olacaktır. Tam tersi durumda hesaplanmış debi değeri negatif olacaktır (DHI, 2011).



Şekil 3.8 Proje seçenek özelliklerinin tanımlanması



Şekil 3.9 CBS ortamından şebeke elemanları modele dönüştürülürken MIKE URBAN Import/Export Wizard kullanımı

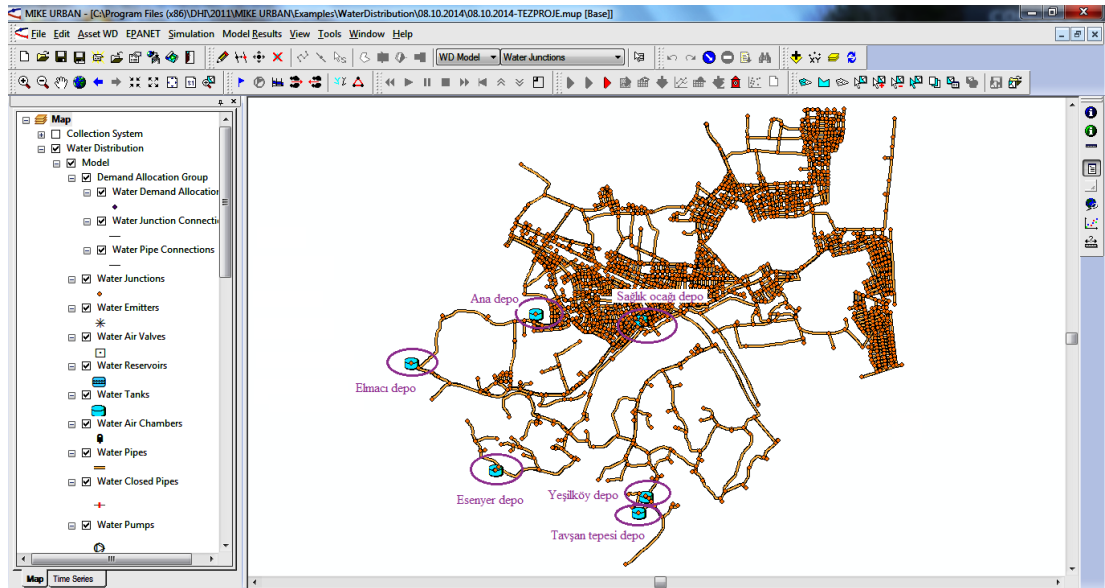


Şekil 3.10 CBS ortamından modele dönüştürülmüş boru/düğüm noktası katmanları

Üçüncü aşamada, su dağıtım sistemine temiz suyun temin edildiği rezervuar ve suyun depolandığı hazneler tanımlanmıştır. Depolar değişken veya sabit su seviyeli olarak tanımlanabilir. Değişken su seviyeli depolarda, su deponun içine girdikçe ve depodan çıktıkça su yüzeyi seviyesi zamanla değişir. Sabit su seviyeli depolar sonsuz su kaynağının olduğu su dağıtım sistemi modeli içindeki yerleri (rezervuar) temsil eder. Böylece rezervuar su seviyesi simülasyon boyunca sabit kalır. 19 Mayıs ilçesi içme suyu dağıtım sisteminde, ikisi terfi istasyonunda olmak üzere toplamda 7 adet depo mevcuttur (Şekil 3.11). Modelin hidrolik açıdan kalibrasyonu amacıyla

deneylerin yapıldığı esnada terfi istasyonlarından biri (Yeşilköy Mera Terfi) kapalı konumda olduğundan analiz sırasında hesaba katılmamıştır.

Şebekedeki boru bileşim yerleri, depolama elemanları ve su temin edilen kaynaklar modelde düğüm noktaları olarak tanımlanmaktadır. Bu düğüm noktalarını tanımlayan numaralar, tanımlanan düğüm noktasının rezervuar olarak mı yoksa depo olarak mı kullanılacağı, deponun/rezervuarın su seviyesinin sıfır olduğu yükseklik, tanımlanan düğüm noktası depo ise geometrik şekli (dairesel, dikdörtgen veya değişken geometrili), depo boyutları, metre cinsinden depodaki suyun minimum, maksimum ve simülasyon başlangıcındaki su seviyesi (veya derinliği) Tank Editor penceresi veri girişlerinde tanımlanmaktadır (DHI, 2011).

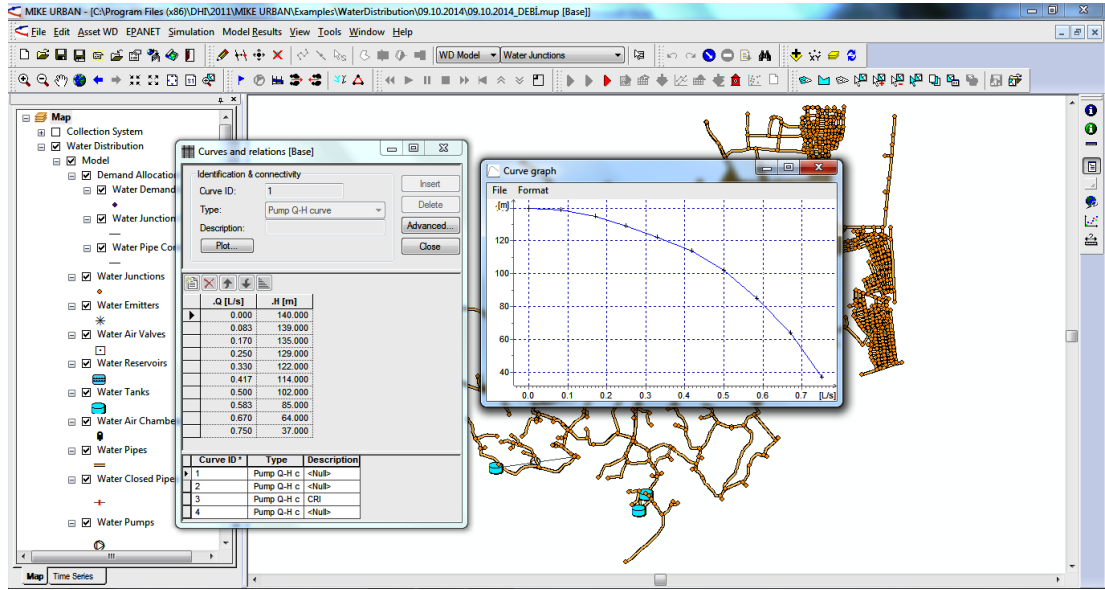


Şekil 3.11 19 Mayıs ilçesi su dağıtım sistemi modeli depo yerleri

Dördüncü aşamada, ilçedeki içme suyu depoları arası veya şebekeye doğrudan su ileten pompalar tanımlanmıştır. Bu şebeke elemanları Pump Editor penceresinde numaralandırılır, bağlı olduğu başlangıç ve bitiş düğüm noktaları tanımlanır, işletim özelliği belirlenir. İşletim özelliği için 4 seçenek vardır; sabit güç, 1xQ-H noktalı pompa eğrili, 3xQ-H noktalı pompa eğrili ve çok noktalı Q-H pompa eğrili pompa çeşitleri mevcuttur (DHI, 2011). Pompa özelliklerini tanımlamak için modelde çok noktalı Q-H pompa eğrisi kullanılmıştır. MIKE URBAN düz çizgi bölmeleri yardımıyla noktaları birleştirerek pompa eğrisini oluşturur (Şekil 3.12). 19 Mayıs ilçesi içme suyu dağıtım sistemi modelinde, tanımlanan pompa elemanları için karakteristik eğri kalibrasyonu yapılmamış üretici firmanın belirlediği değerler

modelde kullanılmıştır, çünkü sistemdeki pompalar dalgıç tiptedir ve 2010 yılında belediye tarafından tümü yenilenmiştir. Modelde tanımlanan pompalar:

- 1) Yeşilköy deposu ile Tavşan tepesi deposu arasında,
- 2) Ana depo ile üst kat şebeke arasında,
- 3) Ara terfi istasyonu ile Esenyer deposu arasında,
- 4) Sağlık ocağı terfi istasyonu ile ana depo arasında bulunmaktadır.



Şekil 3.12 Pompa karakteristik eğrilerinin modele girilmesi

3.3.2 Şebekede su kullanım (tüketim) girdisi tanımlama

Çalışmada kullanılan MIKE URBAN içme suyu dağıtım sistemi modelleme yazılım paketi ile toplam şebeke su kullanımının tüm düğüm noktalarına aşağıdaki yöntemlerle otomatik olarak dağıtılması mümkündür (DHI, 2011):

- 1) Boru su kullanım katsayıları yöntemi
 - i. Boru uzunlukları yöntemi (azaltılmış boru uzunlukları yöntemi, eşdeğer boru uzunlukları yöntemi)

$$\text{Azaltılmış boru uzunlukları yöntemi; } q_{pi} = \frac{(Q)l_i k_{1i}}{\sum(k_{1i}l_i)} \quad (3.1)$$

$$\text{Eşdeğer boru uzunlukları yöntemi; } q_{pi} = \frac{(Q)l_i k_{Di}}{\sum(k_{Di}l_i)} \quad (3.2)$$

- ii. Çift katsayı yöntemi

$$q_{pi} = \frac{(Q)k_{1i}k_{2i}}{\sum(k_{1i}k_{2i})} \quad (3.3)$$

Burada; q_{pi} : i borusundan çekilen su kullanımı; Q : Toplam şebeke su kullanımı;

k_{1i} , k_{2i} :Boru su kullanım katsayıları; k_{Di} : Boru çapı / Normal Çap (normal çap: 150mm) cinsinden program tarafından hesaplanan boru su tüketim katsayısıdır.

2) Düğüm noktası su tüketim katsayıları yöntemi

Düğüm noktası eşit su tüketim dağılımı: Toplam şebeke su kullanımı her düğüm noktasına eşit dağıtılır.

$$q_{ni} = \frac{Q}{N} \quad (3.4)$$

Düğüm noktası su tüketimi dağılımı

$$q_{ni} = \frac{Q}{\sum_{i=0,n} C_i} C_i \quad (3.5)$$

Burada;

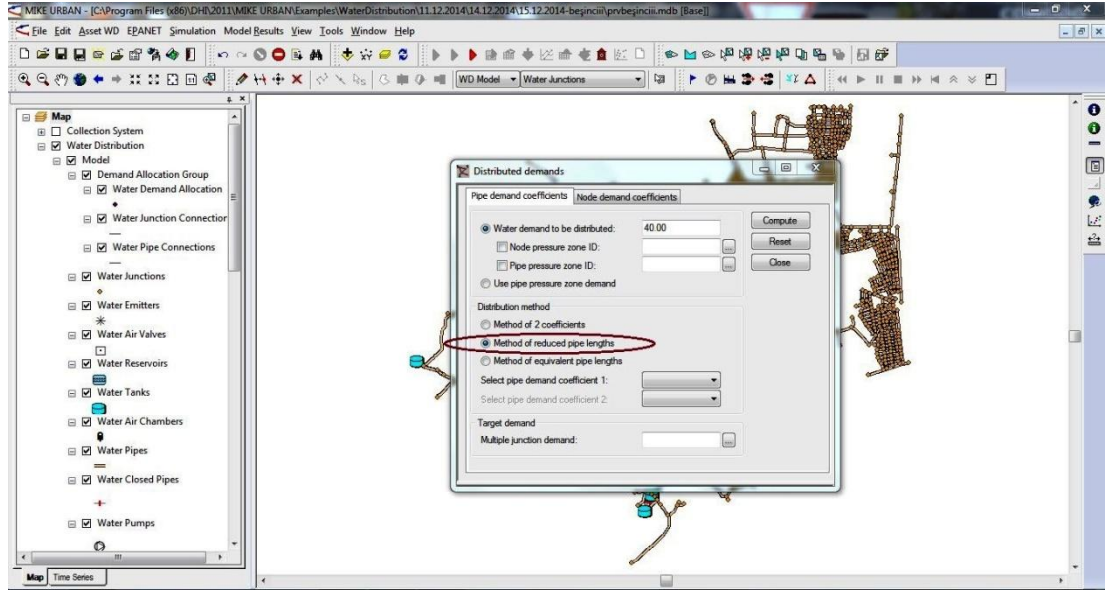
C_i : Su tüketim katsayısı; N : Şebekedeki toplam düğüm noktası sayısı; Q : Toplam şebeke su tüketimi

Çalışmada, ilçedeki su kullanım verisine ait kayıtlara ulaşamadığından ve depolardaki seviye değişimleri kaydedilemediğinden sistemin modellenmesi esnasında MIKE URBAN yazılımına ait otomatik su kullanım dağılımı yöntemi kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de kuyulardan çekilen debilere bakılacak olursa kuyuların hepsi devreye sokulduğunda toplam 57 lt/sn’lik debi depolara aktarılmaktadır. 19 Mayıs Belediyesi Fen İşleri Birimine bağlı su ekibi, depoları sürekli gezerek ana depodaki su miktarı dolu savağa kadar geldiğinde K5 Fındıklık derin kuyu pompasını kapatmaktadırlar. Depolardaki su miktarı azaldığında bu pompayı tekrar devreye sokmaktadırlar. İlbank Samsun Bölge Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı 1994 yılı proje açıklama raporu dikkate alındığında ortalama şebeke su kullanım değerinin; $Q_{\text{şebeke}} = 40$ l/sn olarak hesap edildiği tesbit edilmiştir. Hesaplanan bu değer şebeke modeli içindeki düğüm noktalarına programın azaltılmış boru uzunlukları yöntemi kullanılarak otomatik atanmıştır (Şekil 3.13).

3.3.3 Topoğrafik girdiler (İçmesuyu dağıtım sistemi düğüm noktası yüksekliklerinin tahmini)

Düğüm noktası yüksekliği hidrolik bir model için önemli bir girdi parametresidir. Genellikle zemin yüksekliği ile ifade edilir. Araziye çıkarak ve GPS ile ölçüm yaparak zemin yüzeyi yüksekliklerini daha doğru elde etmek mümkündür. Fakat bu işlem çok masraflı ve zaman alıcıdır. Arazi ölçümleri sadece pompa merkez ekseni

veya model kalibrasyon düğüm noktası gibi kritik düğüm noktaları için önerilir (Walski, 2001).



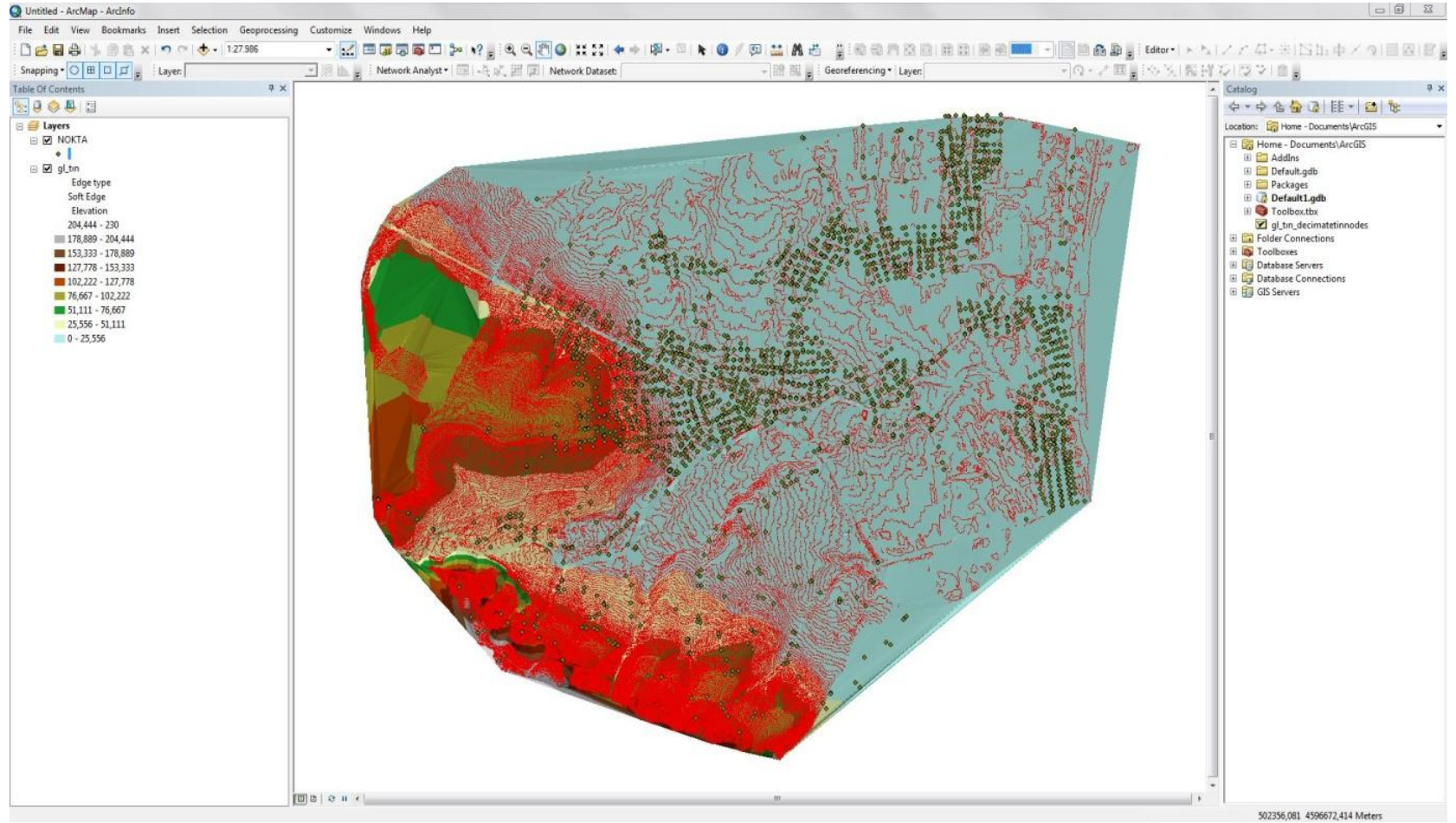
Şekil 3.13 Toplam şebeke su kullanımının düğüm noktalarına otomatik dağıtılması

Tesviye eğrili veya halihazır haritalardan bakılarak yapılan manuel düğüm noktası tahmini elverişsiz bir prodestir. CBS, aşağıdaki prosedürü kullanarak SAM (sayısal arazi modeli) verisinden elde edilen düğüm yüksekliklerinin otomatik olarak hesaplanmasına izin verir.

- 1- Modeldeki düğümler için CBS tabakası oluşturulur (örn. şekil dosyası (Shapefile)).
- 2- Su dağıtım sistemi hizmet alanı üzerini kaplayan bir SAM elde edilir.
- 3- Düğümler ve SAM tabakaları aynı projeksiyon sistemi üzerinde referanslandırılır.
- 4- Her iki tabaka üstüste bindirilerek SAM pikselleri arasında enterpolasyon yapılır ve herbir düğüm noktasına ait yükseklik tahminleri elde edilir (Şekil 3.14).
- 5- Düğüm yükseklik verisi modele yüklenir (Shamsi, 2005).

3.3.4 Model kontrol girdileri ve çözüm parametreleri

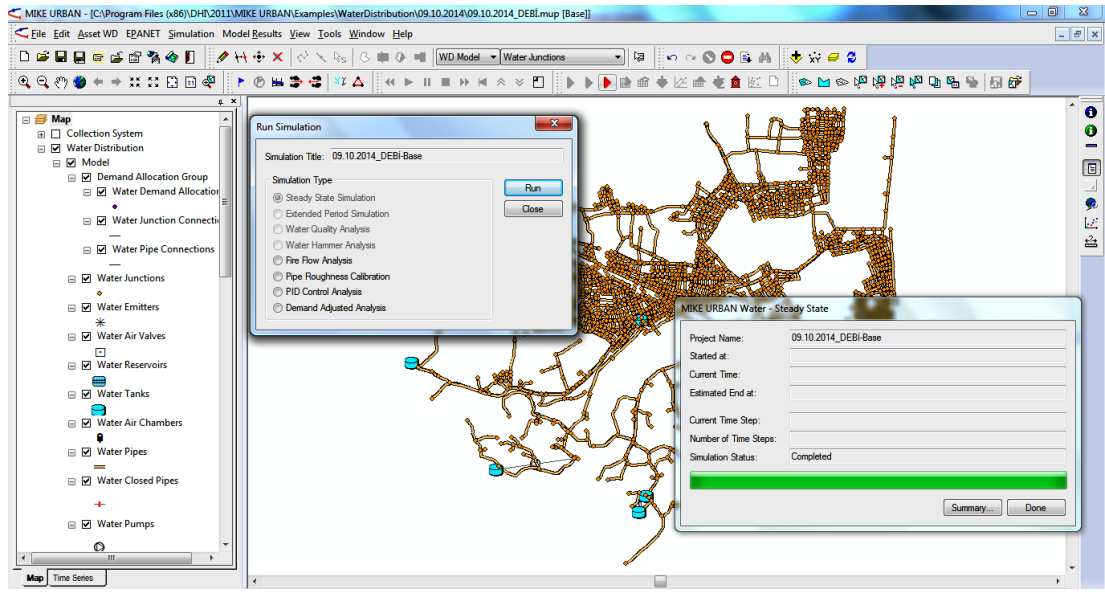
19 Mayıs içmesuyu dağıtım sistemine ait modelde kararlı hal simülasyonu gerçekleştirildiği için, topoğrafik girdilerin tanımlanmasının ardından uzatılmış süre simülasyonları için tanımlanması gereken model kontrol girdileri ve çözüm parametreleri bu çalışmada tanımlanmamıştır.



Şekil 3.14 Düğüm noktası yüksekliğini belirlemek için 19 Mayıs ilçesi SAM üzerine bindirilen su dağıtım sistemi düğüm noktası tabakası

3.3.5 Şebeke modelinin kararlı durumda ilk analizi

Borular, bağlantı noktaları (düğüm noktaları), depolar, pompalar ve su kullanım verileri model içinde tanımlandıktan sonra kararlı durumda şebekenin analizi yapılmıştır. Analiz bittikten sonra açılan pencerede herhangi bir hata mesajının olmaması, model giriş parametrelerinin eksik tanımlanmadığı ve analizin başarıyla bittiği anlamına gelmektedir (Şekil 3.15). Analiz sonrasında düğüm noktası basınç ve piyezometrik yükseklikler ile boru elemanlarındaki yük kayıpları, borulardan geçen debi ve hızlar metin dosyası içinde sunulmaktadır.



Şekil 3.15 Kararlı durumda analizi sonrası rapor penceresi

3.4 İçmesuyu Dağıtım Sistemi Modelinin Kalibrasyonu

Hidrolik şebeke modelinin ilk tahmin parametreleri boru pürüzlülükleri ve düğüm noktası su kullanımlarını içermektedir. Bu parametrelerin ekonomik ve güvenli ölçümleri zor olduğundan, model parametreleri model kalibrasyon prosesi aracılığıyla belirlenir. Model kalibrasyonu, model sonuçları saha verisinden elde edilmiş gerçek gözlem sonuçlarına yakınlaşmaya kadar ilk şebeke model parametrelerinin (boru pürüzlülük katsayısı, yükseklik verisi ve düğüm noktası tüketimleri) ayarlanması prosesidir. Başarılı bir kalibrasyonla model kullanılarak gerçek sistem davranışı için fikir edinilmesinde güven sağlanır, sistem akış dinamiği ve sistem performansını anlamak kolaylaşır (Walski, 1990).

Modelleme çalışmalarının esas amacı var olan sisteme ait gelişimsel kararlar alınabilmesi ve model kullanımının bu kararları almadaki rolünün anlaşılmasıdır. Bu

modeller önemli yatırım ve halka olan potansiyel etkinin incelenmesini içeren kararlarda da kullanılabilecektir. Ne boyutta olursa olsun bir içmesuyu dağıtım sistemi modelini oluşturma aşamasında mühendisler birçok zorlukla karşılaşır. Küçük sistemleri modellemek, mühendislik açısından daha kolay görünse de doğru sonuçlar elde etmek için gerekli bilginin kalitesi ve miktarında sorunlar meydana gelebilmektedir. Bu tez çalışması esnasında, ilçedeki içmesuyu dağıtım sistemi davranışının izlenmesine yönelik SCADA veya Telemetri sistemi olmadığından sınır koşullarını elde etmede zorluk çekilmiştir. Gerçek sisteme ait bilgi edinme işlemi modelin kalibrasyonunda kullanılan yangın hidrantı debi testleri ile mümkün olmuştur. Kalibrasyon işlemi MIKE URBAN WD içmesuyu dağıtım sistemi modelleme yazılımı tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

Ormsbee ve Lingireddy (1997)'nin çalışmasında su dağıtım şebekesi model kalibrasyonu için önerilen temel adımlar tez çalışması kapsamında da uygulanmıştır.

1.Modelin kullanım amacının belirlenmesi: Bu tez çalışmasında, modelin kullanım amacı olarak mevcut içmesuyu dağıtım sisteminin şimdiki durumda ve gelecekte hidrolik açıdan yeterliliğine bakılması ve sistem veriminin artırılması hedeflendiğinden, modelin kararlı hal analizi gerçekleştirilmiştir.

2.Model parametre tahmini: Tez çalışmasında kullanılan yükseklik verisi Arc-GIS yazılımı yardımıyla elde edilmiş sayısal yükseklik modelinden alınmış ve model düğüm noktalarına atanmıştır. Depolar ve yangın hidrantları gibi anahtar noktaların yükseklikleri ise el tipi GPS ile sahadan alınan ölçümlerle belirlenmiştir.

Boruların yük kaybı hesabında kullanılmış olan Hazen-Williams C katsayısı değerleri Çizelge 2.5'de belirtilen aralıklarda PVC ve çelik borular için 140, AÇB borular içinse 130 olarak ilk değerleri kabul edilmiştir.

3.Kalibrasyon verisinin toplanması: Kaydedilen statik basınçlar; depolardaki su seviyeleri, pompa debi/basınç değerleri ve sistem su kullanım verisi gibi sınır koşullarına bağlıdır. Bu nedenle ilk aşamada, özellikle depo seviyelerinin belirlenmesi ve pompa işletim durumları için işletmenlerin deneyimleri ve saha gözlemleri baz alınarak sınır koşulları belirlenmiş ve modele girilmiştir.

Çalışmada hidrolik kalibrasyon amacıyla yangın debisi testleri (Bkz. Bölüm 2.6.1) uygulanmıştır. Yangın debisi testleri için 19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sistemi üzerindeki yerüstü hidrantlarının yerleri saptanmıştır. Sisteme ait toplamda 80 adet yer altı ve yerüstü hidrantları mevcuttur. Bu hidrantlardan sadece 18 tanesi yerüstüdedir. Yerüstü hidrantların 8 tanesi birbirlerinden farklı boru hatları üzerinde

olduğundan bu hidrantlarda yangın hidrantı debisi deneyleri yapılamamıştır. Geriye kalan 10 yerüstü yangın hidrantında toplamda 5 adet basınç ve debi ölçümleri alınmıştır.

Çalışmada üç çeşit veri toplanmıştır: (i) yangın hidrantlarına ait koordinat bilgisi, (ii) statik durumda hidrant basınçları ve (iii) akım durumunda hidrant basınç ve debileri.

Piyezometrik seviye değerleri ve düğüm noktası koordinatları, hidrolik hesaplama yapılırken modelde gözönüne alınan önemli parametrelerdendir. Piyezometrik seviyesi belirlenmek istenen noktaya ait yükseklik ve basınç verilerinin gerçek sistemde ölçülmesi ve modeldeki değeriyle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle ölçüm noktası olarak belirlenmiş yangın hidrantlarına ait koordinatlar (X, Y, Z) GPS ile belirlenmiştir (Çizelge 3.2). GPS ile elde edilmiş ölçüm noktası koordinatlarına göre model içindeki ilgili düğüm noktaları ayarlanmıştır.

Çizelge 3.2 Ölçüm noktalarına (yangın hidrantları) ait koordinatlar

Ölçüm Yeri Adı	Hidrant adı	Düğüm No	X	Y	Z
Test I	Kalıntı hidrant	375	507361,0166	4596680,7069	2
	Akım hidrantı	420	507142,0902	4596338,7802	3,89
Test II	Kalıntı hidrant	1140	506146,7613	4595662,8234	10,36
	Akım hidrantı	1991	506197,6314	4595568,6314	9,5
Test III	Kalıntı hidrant	1043	506469,3293	4595574,6694	9,67
	Akım hidrantı	1031	506549,3015	4595600,491	9
Test IV	Kalıntı hidrant	1956	507121,8564	4592940,3448	35,46
	Akım hidrantı	1957	507791,0405	4593603,8878	7,32
Test V	Kalıntı hidrant	1527	504174,278	4594322,3015	31,28
	Akım hidrantı	1545	504521,2294	4594325,7526	28,17

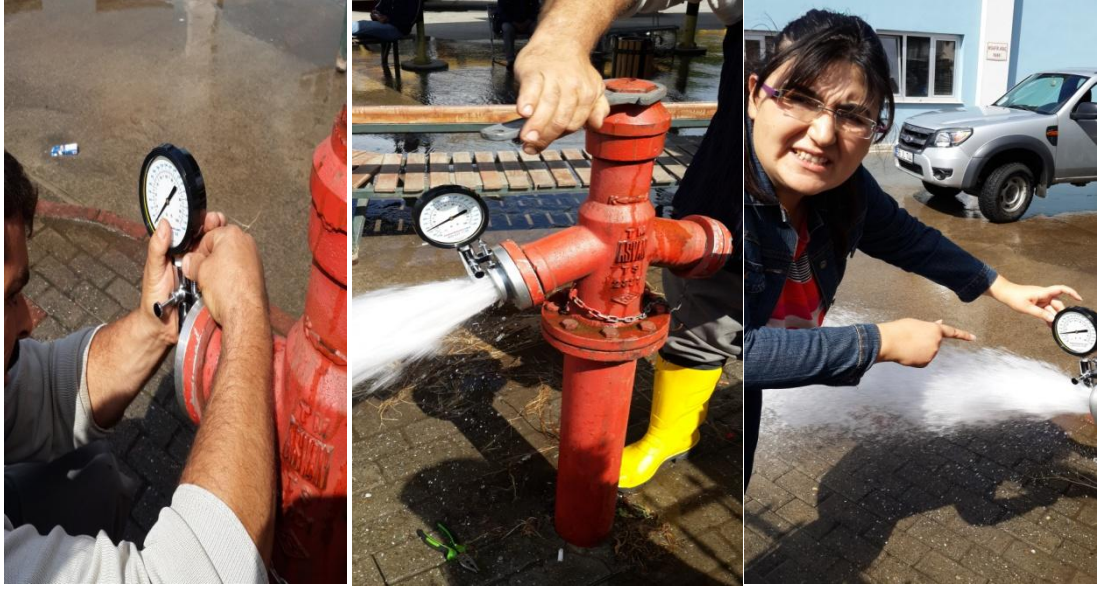
Basınç ve debi ölçümlerinin yapılacağı yangın hidrantlarına ait koordinat bilgisi elde edildikten sonra, bu noktalarda yapılması düşünülen deneylere geçilmiştir. Ülkemizde bu tür deneylerin yapılmaması nedeniyle deney aletleri, Amerika Birleşik Devletleri kökenli Pollardwater.com adlı online şirketten set olarak temin edilmiştir. Yangın hidrantı debi testini yürütürken en az iki hidranta ihtiyaç vardır. Biri tüm basınç ölçümlerinin alındığı kalıntı hidrant, diğeri ise tüm debi ölçümlerinin alındığı akım hidrantıdır. İlk olarak, akım hidrantı kapalı haldeyken,

kalıntı hidranttaki statik basınç okumaları yapılmıştır. Basınç ölçer bağlanmadan önce kalıntı hidrantın açılması ve akıtılması sağlanmıştır. Bu tedbirin alınmasının sebebi hidrantın yan kanal ve namlusunda birikmiş parçacıkların uzaklaştırılmasıdır. Ardından sabit basınç ölçer kalıntı hidranta bağlanmıştır ve sistemde herhangi bir şekilde su darbesi etkisi olmayacak şekilde vanası yavaşça açılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Kalıntı hidranta basınç ölçerin yerleştirilmesi ve basınç değerinin okunması

Bir ya da daha çok akım hidrantı açıldığında (akımlı durum göz önüne alındığında), kalıntı hidranttaki basınç kalıntı basınç olarak adlandırılmaktadır. Statik basınç okumalarının ardından kalıntı basınç değerlerini okumaya geçilmiştir. Akım hidrantı vanası yavaşça açılmış ve kalıntı hidrantta yapıldığı gibi namludan akan su temizleninceye kadar bir-iki dakika akıtılmıştır. Ardından hidranta kenetlenebilen debiölçer yardımıyla okumalar sabit olur olmaz, akım hidrantındaki debi değeri okunmuştur. Bu sırada diğer bir basınç okuması kalıntı hidranttan alınmıştır (Şekil 3.17, Şekil 3.18).

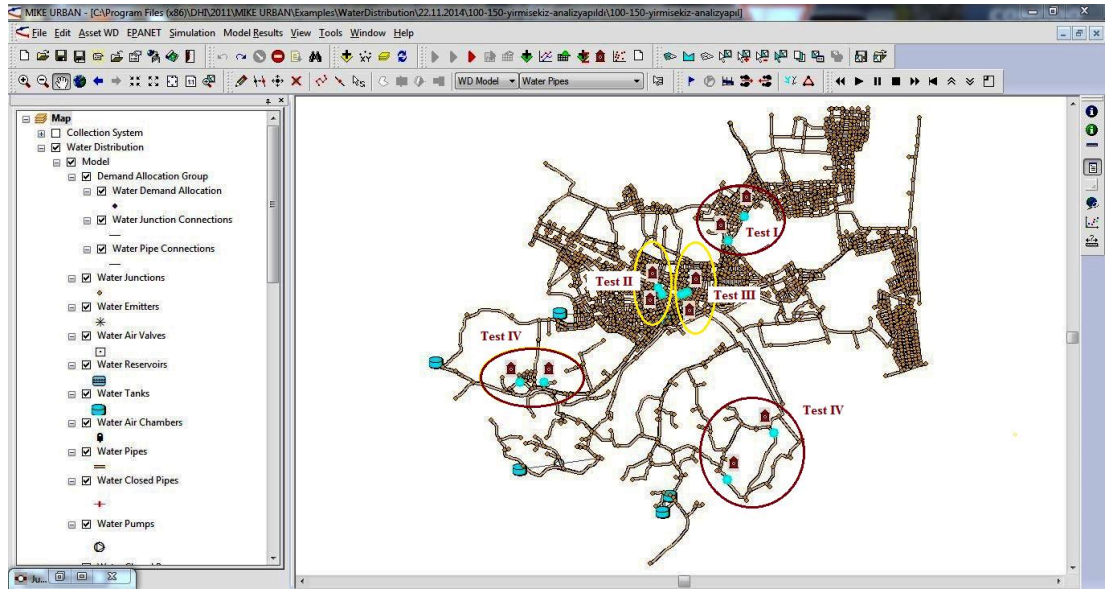


Şekil 3.17 Akım hidrantına debiölçerin yerleştirilmesi, hidrantın açılması ve değerlerin okunması



Şekil 3.18 Akım hidrantı açıldıktan sonra kalıntı hidranttaki basınç değişimlerinin ve nihai basıncın gözlenmesi

Yangın debisi testleri ile elde edilmiş statik basınç, kalıntı basınç ve akım hidrantı debisi değerleri kaydedilmiştir (Çizelge 3.3). Sistemde yangın hidrantı debi deneylerinin gerçekleştirildiği düğüm noktaları (yangın hidrantlarının yerleri) Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Ölçümlerin gerçekleştirildiği düğüm noktaları

Çizelge 3.3 Yangın hidrantı debisi test sonuçları

Ölçüm Yerinin Adı	Kalıntı hidrant			Akım hidrantı
	Statik basınç (m)	Kalıntı basınç (m)	Basınç düşmesi (m)	Debi (l/s)
Test I	83	66.4713	16.5287	81.9
Test II	75.97	58.0305	17.9395	40.95
Test III	88.975	54.865	34.11	69.3
Test IV	52.05	27.4326	24.6174	33.39
Test V	64.71	46.4244	18.2856	25.2

4.Makro seviye kalibrasyon: Yangın hidrantı debi testleri ile elde edilmiş statik durumdaki ölçüm değerleri ve model sonuçları arasındaki fark %15'den az olduğundan makro seviye kalibrasyona gerek duyulmamıştır ve testlere devam edilerek kalıntı basınç değerlerini simüle etme yoluna gidilmiştir. Çünkü statik durumda akım değerleri çok düşük olacağından basınçlar boru pürüzlülük değerlerine karşı hassas olmamaktadır. Yangın debileriyle birlikte anılan kalıntı basınçlar boru pürüzlülük değerlerine çok daha hassastır ve Hazen-Williams C katsayılarının kalibrasyonu için uygundur.

5.Hassaslık analizi: Bu analiz farklı model parametrelerini farklı katsayılarla değiştirilerek oluşturulmaktadır. Mikro seviye kalibrasyondan önce model hatasının en olası kaynağını tanımlamak için modelin hassaslık analizi gerçekleştirilmiştir. Kararlı hal kalibrasyonu boru pürüzlülüğündeki değişimlere, uzatılmış süre kalibrasyonu ise daha çok debi dağılımlarındaki değişimlere hassastır. Çalışmada kararlı hal kalibrasyonu yapıldığından yangın hidrantı debi testinden alınan sonuçlar

kullanılarak boru pürüzlülük değerleri ayarlanmıştır. Boru pürüzlülük değerleri bazı global katsayı değerleriyle ayarlanarak, model sonuçlarına olan etkisi çoklu simülasyonlarla belirlenmiştir.

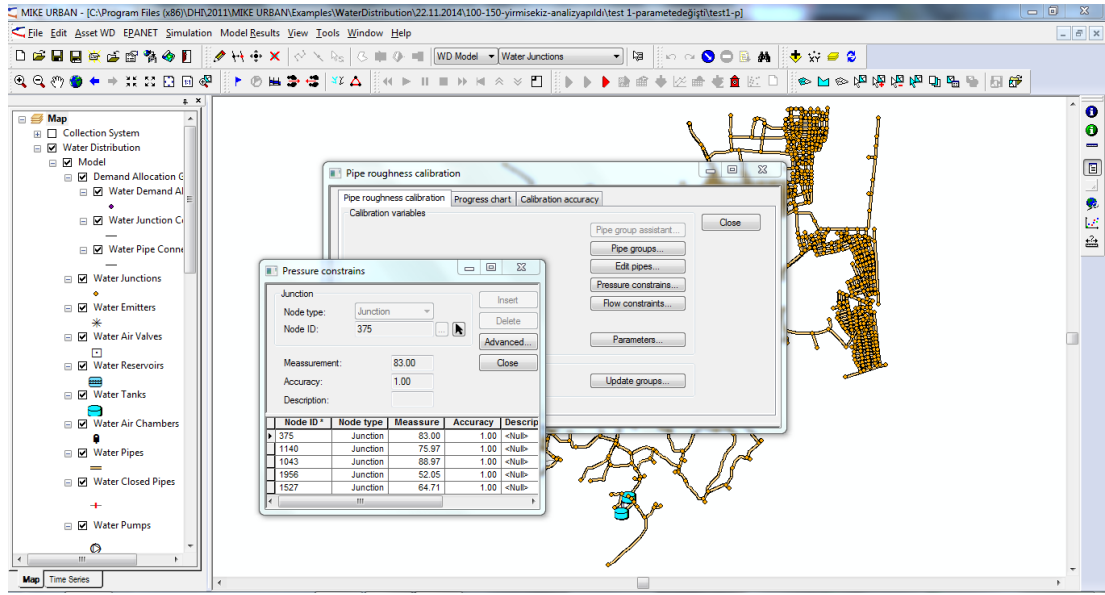
6.Mikro seviye kalibrasyon: Mikro seviye kalibrasyon manuel olarak veya otomatik olarak yürütülebilmektedir. İçmesuyu dağıtım sistemleri genellikle büyük ve karmaşık sistemler olduğundan deneme yanılma prosesine dayalı olan manuel kalibrasyonu kullanmak zaman alıcı ve sıkıcı bir işlem olacaktır. Otomatik kalibrasyon ise genetik algoritmanın kullanıldığı en yaygın yöntemdir. Çalışmada MIKE URBAN yazılımına ait boru pürüzlülük kalibrasyon modülü kullanılmış ve kalibrasyon işlemi genetik algoritma prosesine dayalı olarak yapılmıştır. Otomatik kalibrasyon işlemi sonucunda uygun boru pürüzlülük katsayıları hesaplanmış ve elde edilen boru pürüzlülük değerleri borulara atanmıştır. Bu işlemin ardından model tekrar analiz edilerek kalibrasyon sonucu ortaya çıkan basınç değerleri irdelenmiştir.

Şebekedeki boruların çoğunluğu PVC malzemeden oluşmaktadır. Sistemin geri kalanı ise AÇB ve Çelik borulardan oluşmaktadır. Çalışmada kalibrasyon amacıyla, aynı gruptaki boruların aynı boru pürüzlülük değerine sahip olacağı kabulüyle, aynı çap ve malzemeye sahip borular gruplandırılmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Sistem boru grupları

Grup No	Grup isimleri
Grup 1	PVC küçük ($\phi 100$)
Grup 2	PVC büyük ($\phi 125$ - $\phi 150$)
Grup 3	AÇB küçük ($\phi 200$ - $\phi 250$ - $\phi 300$)
Grup 4	AÇB büyük ($\phi 350$ - $\phi 400$ - $\phi 500$)
Grup 5	Çelik küçük ($\phi 100$ - $\phi 125$)
Grup 6	Çelik büyük ($\phi 200$ - $\phi 300$)

Grup tanımlanmasının ardından her boru grubu için MIKE URBAN modelleme yazılımı içinde mevcut olan boru pürüzlülük değeri kalibrasyonu aracı ile her grup için maksimum ve minimum pürüzlülük değerleri tanımlanmıştır. Ardından gerçek sistemin belirli noktalarından elde edilmiş basınç ölçümleri modelde uygun gelen düğüm noktalarına atanmıştır (Şekil 3.20). Buna göre modelin tahmin ettiği basınç değerleri ile ölçüm sonuçları uyum sağlayıncaya kadar yazılım içinde tanımlı genetik algoritma ile otomatik kalibrasyon özelliği kullanılarak boru pürüzlülük değerleri ayarlanmıştır.



Şekil 3.20 Seçilen beş noktadaki ölçülmüş basınç değerlerinin tanımlanması

Kalibre edilen boru pürüzlülük değerlerine ait sonuç raporu elde edilmiştir. Kalibrasyon işleminin ardından hesaplanmış yeni pürüzlülük katsayıları borulara atanmıştır.

3.5 Modelleme Senaryoları ile Sistem Performans Analizi

Toplumsal bir alandaki günlük su kullanımı mevsimsel iklim düzenleri, çalışma durumları (ekin zamanı vb.) ve sosyal ortamlar nedeniyle yıl boyu değişiklik göstermektedir. Normal işletim durumları altında maksimum günlük su kullanımı bir yıl içinde yaşanan tüketimin en fazla olduğu gündür. Maksimum günlük kullanım, genellikle ortalama günlük kullanıma bu değerin %10-%50'sinin eklenmesiyle tahmin edilir. Böylece günlük su kullanımı için gerekli olan katsayı k_1 (İlbank İçmesuyu Yönetmeliği'ne göre α) 1.1-1.5 olmaktadır.

Maksimum saatlik kullanım ise tek bir günde yaşanan en fazla tüketimin olduğu saattir. Bir gün içerisinde evsel su kullanımındaki saatlik değişim çok fazladır. Genel olarak biri sabah diğeri akşama yakın olmak üzere iki pik değer gözlemlenir. Maksimum saatlik kullanım ortalama saatlik kullanımın k_2 katsayısı (İlbank İçmesuyu Yönetmeliği'ne göre β) ile çarpılmasından elde edilir. Bu katsayı, hizmet sunulan toplumun karakter ve boyutuna bağlıdır. Saatlik su tüketim katsayısı (k_2) 1.5-2.5 aralığında seçilmektedir. Küçük bir grup tüketiciye su temin etmek amacıyla boru bağlantısının tasarlandığı mekân için daha yüksek bir değer kabul

edilmelidir çünkü ani sarfiyatların etkisi tasarımda hesaba katılmalıdır. Bir su dağıtım sistemi genel olarak maksimum saatlik sarfiyatı sağlayacak şekilde tasarlanır. Bu değer ortalama saatlik sarfiyatın $k_1 \cdot k_2$ ile çarpımı olarak hesaplanabilir. Ortalama günlük kullanım su temin edilen noktalardaki ölçümlerle elde edilmektedir (Trifunovic, 2008).

En çok kullanılan kararlı hal senaryoları maksimum günlük, maksimum saatlik ve yangın debisiyle birlikte maksimum günlük kullanımın benzeştirildiği senaryolardır. Kararlı durum senaryolarının oluşturulmasındaki asıl amaç mevcut sistemi değerlendirmek, yapılması düşünülen yeniliklerin kavramsal tasarımlarını geliştirmek ve sonuç tasarımı doğrulamak amacıyla modelin uzatılmış süre benzeşimini oluşturmaktır. Birçok modelleme yazılımı aynı model dosyası içinde çoklu senaryoların depolanmasına imkân sağlar. Modellemeyi yapan kişi ilk olarak model için gereken bilgiyi içeren temel bir model oluşturur. Daha sonra farklı durumlarda sistemin ne gibi davranış sergileyeceğini yansıtmak amacıyla su tüketim değerlerini belirli aralıkta tanımlanmış katsayılar ile çarparak aynı model üzerinde senaryolar oluşturur. Maksimum günlük, maksimum saatlik ve yangın durumu senaryoları tasarım senaryolarına kolaylıkla ayarlanabildiği için avantajlıdır (Cesario, 1995).

Çalışmada boru pürüzlülük değerlerinin hidrolik kalibrasyonu aşamasında ayarlanmasının ardından 19 Mayıs ilçesi içemesuyu dağıtım sisteminin modeli üzerinde senaryolar oluşturulmuş ve mevcut sistemin değerlendirilmesi ve yapılması düşünülen sistem iyileştirme tasarımları incelenmiştir. İlk aşamada su tüketiminin maksimum olduğu günde, maksimum olduğu saatte ve maksimum tüketimin olduğu günde yangın durumu olduğu zamanda sistemin vereceği tepkiler değerlendirilmiştir. İkinci aşamada ise bu değerlendirmeler sonucunda sisteme ait eksiklikler belirlenmiş ve iyileştirmeye yönelik tasarım senaryosu düzenlenmiştir.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

İçmesuyu dağıtım sistemlerinin modellenmesi geniş ölçekte tasarım, işletim ve su kalitesi parametrelerini çözmek amacıyla sistem performansını tahmin etmek için bilgisayar modelinin kullanımını içermektedir.

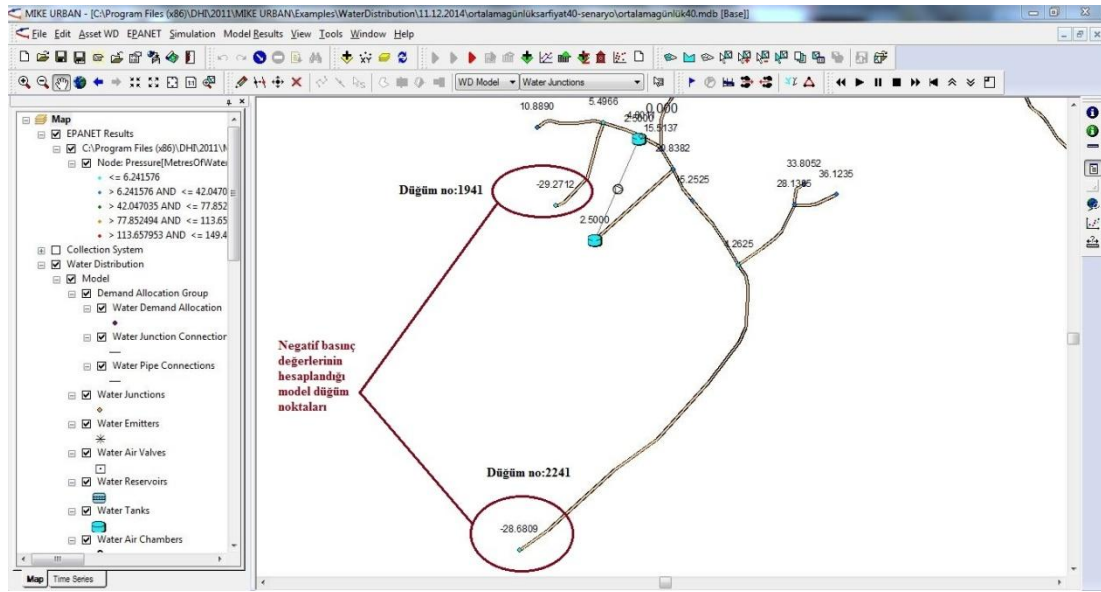
Bu tez çalışması kapsamında Samsun 19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sistemi performansı incelemeye alınarak MIKE URBAN WD içmesuyu dağıtım sistemi modelleme yazılımı aracılığıyla modele dönüştürülmüştür. Oluşturulan bu model aracılığıyla su sistemi içindeki basınç ve debiler tahmin edilerek mevcut sistemin tasarımı standartlara göre değerlendirilmiştir. Ayrıca farklı işletim senaryoları altında suyun iletilebilirliği kararlı hal analizleri yardımıyla incelenmiş ve elde edilen bulgulara göre sistemin eksikliklerini gidermeye yönelik önerilerde bulunulmuştur.

4.1 Modelin ilk analiz sonuçları

Mevcut sisteme ait oluşturulan model üzerinde kararlı durum benzeşimleri oluşturulmuştur. Kararlı hal simülasyonları sistem verimini artırmak, master planlama, alt bölge planlaması, iletim hattının yenilenmesi, yangın debisi analizi, yeni endüstriyel veya ticari kullanımların eklenmesi, kesinti planlaması gibi model kullanımları için tercih edilmektedir. Bu çalışmada birinci aşamada şebeke modelinin kararlı durumda ilk analizi gerçekleştirilmiştir (Bkz. Bölüm 3.3.5). Oluşturulan kararlı durum analizi sonucu 7 iterasyondan sonra su dağıtım sistemi modelinin hidrolik açıdan dengeye ulaştığı gözlemlenmiştir (Çizelge 4.1). Şebekede negatif basıncın olduğu iki düğüm noktası model üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.1, Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1 Sistemin dengeye ulaştığı iterasyon sayısı ve göreceli debi değişim değerleri

İterasyon	Göreceli Debi Değişimi
1	1.990218
2	0.454019
3	0.183605
4	0.057669
5	0.010708
6	0.001353
7	0.000210



Şekil 4.1 İlk analiz sonucu negatif basınç değerlerinin elde edildiği düğüm noktaları

Çizelge 4.2 İlk analiz sonucu negatif basınca sahip model düğüm noktaları

Düğüm No	Debi	Piyezometre yüksekliği	Basınç
1941	0.05	103.75	-29.272
2241	0.20	118.69	-28.681

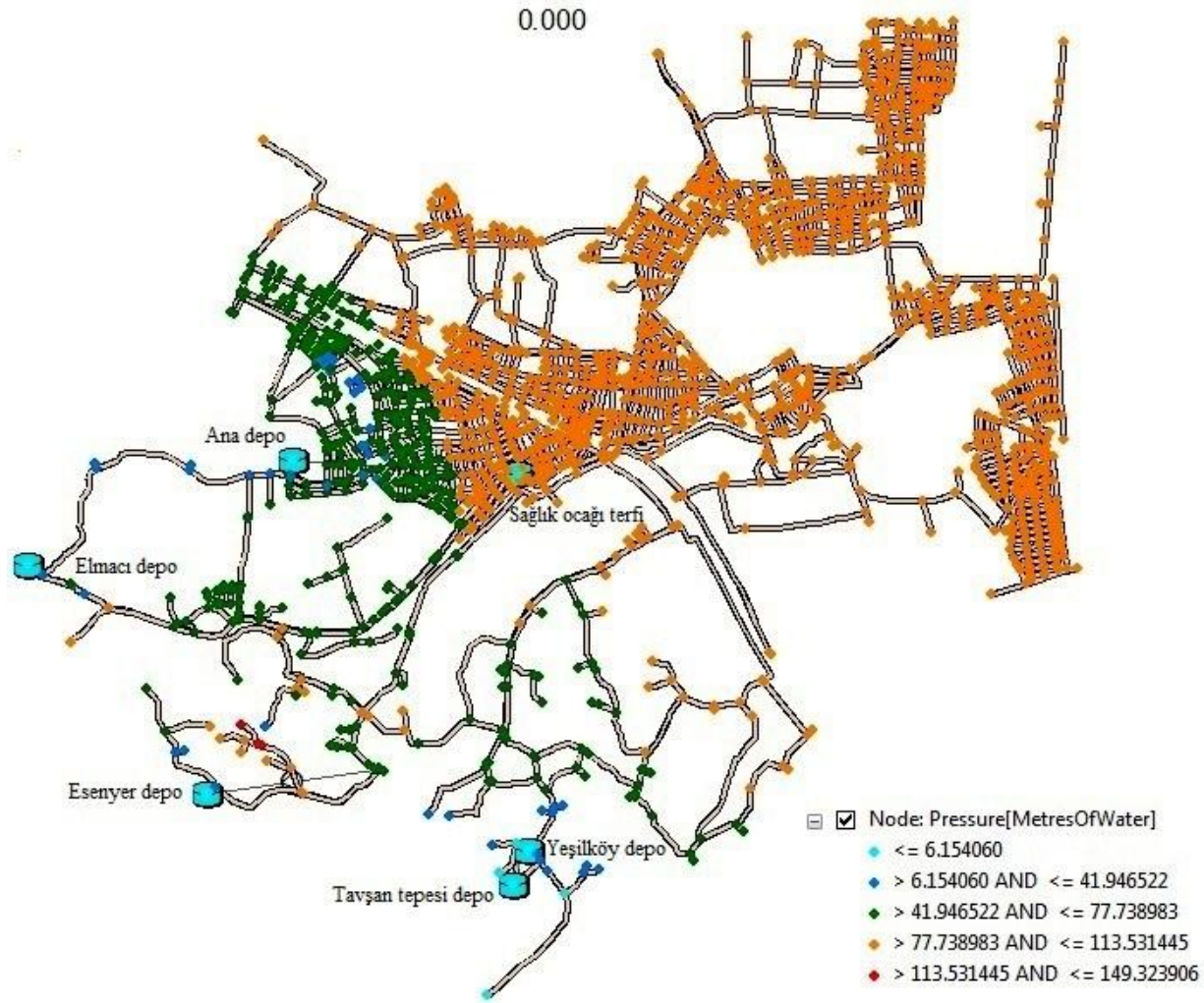
19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sistemine ait 2500 m³'lük ana depo 90 m kotlarında olduğundan şebekenin ana depodan doğrudan beslenen bölgelerinde 80 m'nin üzerinde statik basınçların oluştuğu gözlemlenmiştir. Modelin ilk analizi, ortalama günlük su kullanımı (40 l/s) durumuna göre gerçekleştirilmiştir. Ölçülen depo su yükseklikleri deneyin gerçekleştirildiği andakine eşit alınmış ve doğrudan şebekeye bağlanan Fındıklık DK1 kuyusu ve Yeşilköy Mera terfi istasyonu ilk analiz esnasında hesaba katılmamıştır.

Şekil 4.2'de 35 m'lik basınç aralıklarında ölçeklendirilmiş model düğüm noktası basınç değerleri haritalandırılmaktadır. Esenyer Depo yakınlarındaki 8 düğüm noktasında basınç değerlerinin 100 m'nin üzerinde olduğu görülmüştür

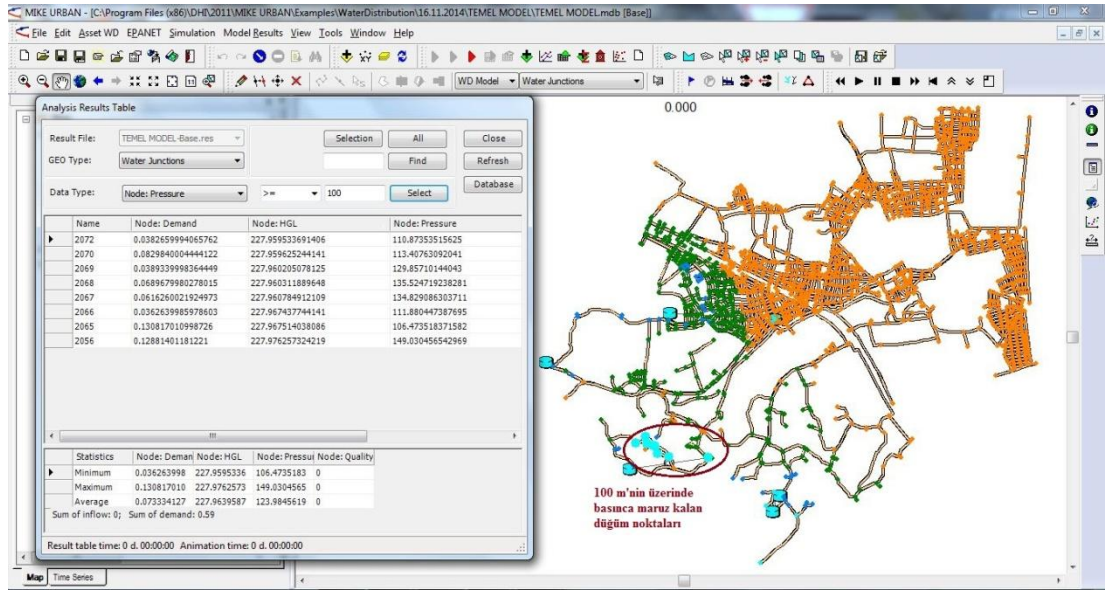
(Çizelge 4.3, Şekil 4.3). Bu yüksek basınç değerlerinin bulunduğu düğüm noktalarının yerleştiği borular 16 atü'lük basınca dayanıklıdır. Bu nedenle sistem işletmenlerinden, bu basınçların bulunduğu bölgede boru deformasyonu veya sızıntı gibi bir problemle karşılaşılmadığı bilgisine ulaşılmıştır. İlbank Şehir ve Kasaba İçmesuyu Projelerinin Hazırlanmasına Ait Yönetmeliğe göre nüfusu 50000'e kadar olan yerlerde minimum işletme basıncı 20 m, maksimum işletme basıncı ise 80 m olduğu halde şebekenin 12 adet düğüm noktasında 20 m'den az basınçlar gözlemlenmiştir (Çizelge 4.4). Ayrıca ilk analiz sonucuna göre kasabanın içmesuyu dağıtım sistemi modelinde düğüm noktalarının yaklaşık %75'inin 80 m'nin üzerinde basınca maruz kaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.3 İlk analiz sonucu 100 m'lik basınçtan büyük basınca sahip düğüm noktaları ve basınç değerleri (16 atü'lük borular üzerinde bulunuyor)

Düğüm No	Düğüm noktası su kullanım değeri (l/s)	Düğüm noktası piyezometre seviyesi (m)	Düğüm noktası basınç değeri (m)
2056	0.05127	228.117	149.171
2065	0.05207	228.114	106.62
2066	0.01443	228.114	112.027
2067	0.02453	228.113	134.981
2068	0.02745	228.113	135.677
2069	0.0155	228.113	130.01
2070	0.03303	228.113	113.561
2072	0.01523	228.113	111.027



Şekil 4.2 İlk analiz sonucu şebeke modeli düğüm noktalarında basınç dağılımını gösterir harita



Şekil 4.3 100 m'lik basınçtan büyük basınca sahip model düğüm noktalarının yerleri

Çizelge 4.4 İlk analiz sonucu minimum işletme basıncından (20 m) düşük basınca sahip düğüm noktaları ve basınç değerleri

Düğüm No	Düğüm noktası su kullanım değeri (l/s)	Düğüm noktası piyezometre seviyesi (m)	Düğüm noktası basınç değeri (m)
1922	0.0465	113.149	16.0817
1937	0.0368	111.496	15.5137
1939	0.0432	103.824	5.4966
1940	0.01417	103.824	10.8889
1941	0.02072	103.824	-29.272
1942	0.1137	119.322	4.2625
1943	0.02413	119.325	15.252
2057	0.106	228.149	17.5391
2226	0.0448	92.8941	15.003
2227	0.0427	92.9064	10.0175
2241	0.0797	119.319	-28.681
2243	0.01489	103.8241	4.80112

4.2 İçmesuyu Dağıtım Sistemi Modelinin Kalibrasyon Sonuçları

Kalibrasyon, su dağıtım sistemlerini modellemede tamamlayıcı bir yöndür. Bu nedenle 19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sistemi modeli başlangıç tahmin parametrelerine göre oluşturulduktan ve ilk analizi yapıldıktan sonra, ikinci aşama olarak Bölüm 3.4'de açıklandığı üzere model kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir.

Modelin kullanım amacı nedeniyle kararlı durum analizlerinin yapılmasına karar verilmiştir. Ardından kalibrasyon için geleneksel bir teknik olan yangın debisi testleri gerçek sistem üzerinde yapılmıştır. Yangın debisi testinde, sistemin küçük

parçalarında debileri artırmak için hidrantlar açılarak sistem basınca tabi tutulmuştur. Daha sonra kalibrasyon verisi olarak basınçlar ve debi sahada ölçülmüştür.

Model sonuçları ve saha verileri arasında büyük farklılıkların olup olmadığı incelenmiştir. Yangın debisi testlerinden elde edilmiş statik basınç ve kalıntı basınç değerleri model sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve aradaki farkın %15'den az olduğu saptanmıştır. Bu nedenle kalibrasyon işlem adımlarından bir diğeri olan hassaslık analizine geçilmiştir. Bu analiz farklı model parametrelerini farklı katsayılarla değiştirerek oluşturulmaktadır. Kararlı hal kalibrasyonunun boru pürüzlülük değişimlerine, uzatılmış süre kalibrasyonunun ise daha çok debi dağılımlarındaki değişimlere hassas olduğu bilinmektedir. Çalışmada kararlı hal kalibrasyonu yapıldığından yangın hidrantı debi testinden alınan sonuçlar kullanılarak boru pürüzlülük değerleri (Hazen Williams C katsayıları) ayarlanmıştır.

4.2.1 Hassaslık analizi sonuçları

Boru pürüzlülük değerleri bazı global katsayı değerleriyle ayarlanarak, model sonuçlarına olan etkisi çoklu simülasyonlarla belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 3.4). Bu analize geçilmeden önce mevcut borular çap ve malzeme cinsine göre gruplandırılmıştır. Hassaslık analizinde kullanmak üzere toplamda oluşturulmuş 6 grubun (Çizelge 3.5) herbiri için pürüzlülük değerleri sırasıyla 150, 125 ve 100 seçilerek deneyler esnasında sistemin belirli noktalarından çekilen debiler nedeniyle sistemin verdiği tepkiler belirlenmiştir. Hassaslık analizi sonuçları Çizelge 4.5'de verilmektedir. Hassaslık analizi ile tüm boru grupları için C katsayısının bir fonksiyonu olarak her kalıntı hidranttaki basınç değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.5'den de görüldüğü üzere örneğin, 1. ölçümün (Test I) yapılması esnasında elde edilmiş kalıntı basınç değerleri, Grup 1'deki boruların (PVC küçük, $\Phi 100$) pürüzlülük değeri 100 ile 125 arasında iken, 125 ile 150 arasında olduğundan daha fazla değişim göstermektedir. Oysa ki aynı ölçümün gerçekleştirilmesi esnasında Grup 6'daki boruların (Çelik büyük, $\Phi 200$ - $\Phi 300$) pürüzlülük katsayısı değişimlerinden kalıntı basınç değerlerinin etkilenmediği görülmüştür. Aynı şekilde 4. ölçümün (Test IV) yapıldığı esnada ise Grup 3 (AÇB küçük, $\Phi 200$ - $\Phi 250$ - $\Phi 300$) ve Grup 5'deki (Çelik küçük, $\Phi 100$ - $\Phi 125$) boruların pürüzlülük değerlerindeki değişimlerinden etkilenmediği tesbit edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.2; Çizelge 3.4).

Özetle hassaslık analizi sonucunda; Test IV ve Test V'in Grup 2'deki parametrelerin, Test II ve Test III'ün Grup 1'deki parametrelerin, Test I'in ise Grup

1, Grup 2 ve Grup 4'deki parametrelerin değişimine daha hassas olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Test I'e ait elde edilmiş basınç değerlerinin Grup 6'daki parametrelerin, Test II ve Test V'e ait elde edilmiş basınç değerlerinin Grup 5 ve Grup 6'daki parametrelerin, Test IV'e ait elde edilmiş basınç değerlerinin Grup 3 ve Grup 5'deki parametrelerin değişimine ise hassas olmadığı tesbit edilmiştir. Genel olarak bakıldığında ise parametre aralığı 100-125 arasında olduğunda sistemin verdiği tepkilerin (kalıntı basınç değerlerinin) daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2.2 Pürüzlülük katsayılarının mikro kalibrasyon sonuçları

Kalibrasyon, su dağıtım sistemlerini modellemede tamamlayıcı bir yöndür. Bu nedenle 19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sistemi modeli başlangıç tahmin parametrelerine göre oluşturulduktan ve ilk analizi yapıldıktan sonra, model kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir.

Modelin kullanım amacı nedeniyle kararlı durum analizlerinin yapılmasına karar verilmiştir. Ardından kalibrasyon için geleneksel bir teknik olan yangın debisi testleri gerçek sistem üzerinde yapılmıştır. Yangın debisi testinde, sistemin küçük parçalarında debileri artırmak için hidrantlar açılarak sistem basınca tabi tutulmuştur. Daha sonra kalibrasyon verisi olarak basınçlar ve debi sahada ölçülmüştür.

Model sonuçları ve saha verileri arasında büyük farklılıkların olup olmadığı incelenmiştir. Yangın debisi testlerinden elde edilmiş statik basınç ve kalıntı basınç değerleri model sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve aradaki farkın %15'den az olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.6, Şekil 4.4). Bu nedenle kalibrasyon işlem adımlarından bir diğeri olan hassaslık analizine geçilmiştir. Bu analiz farklı model parametrelerini farklı katsayılarla değiştirerek oluşturulmaktadır. Kararlı hal kalibrasyonunun boru pürüzlülük değişimlerine, uzatılmış süre kalibrasyonunun ise daha çok debi dağılımlarındaki değişimlere hassas olduğu bilinmektedir. Çalışmada kararlı hal kalibrasyonu yapıldığından yangın hidrantı debi testinden alınan sonuçlar kullanılarak boru pürüzlülük değerleri (Hazen Williams C katsayıları) ayarlanmıştır (Çizelge 4.7). Otomatik kalibrasyon sonucu elde edilmiş pürüzlülük değerleri 100 ile 125 arasındadır. Yani hassaslık analizinde kalıntı basınç değerlerinin daha çok etkilendiği parametre aralığına denk gelmektedir.

Çizelge 4.5 Gruplara göre belirlenmiş farklı boru pürüzlülük değerlerine karşı model hassaslık analiz sonuçları

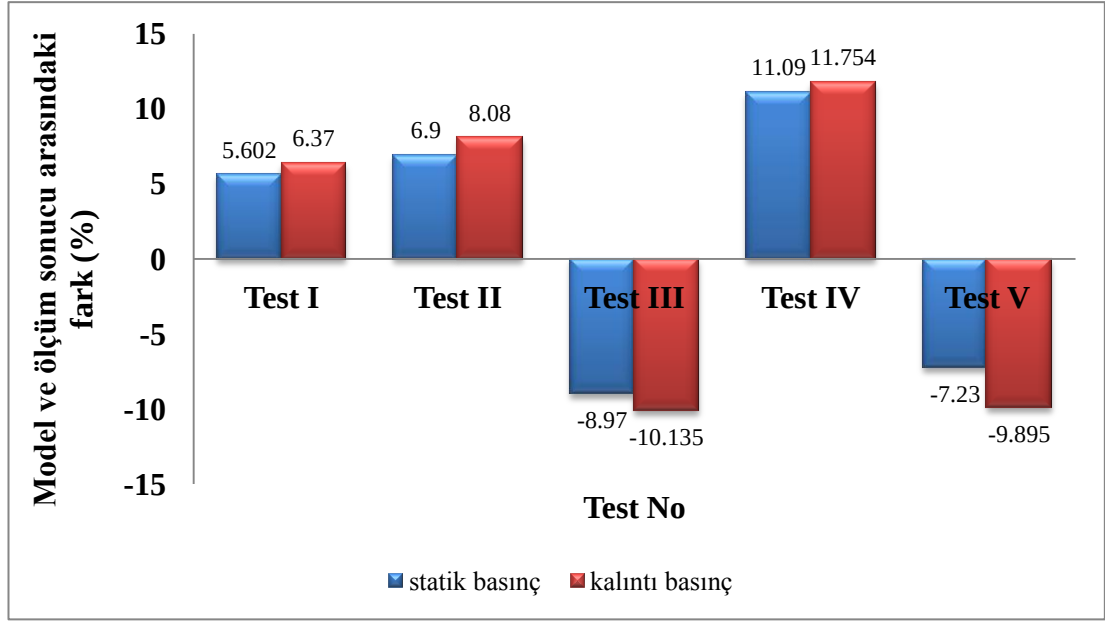
Boru Grup No	Pürüzlülük katsayısı	Test I	Test II	Test III	Test IV	Test V
		Düğüm no:375	Düğüm no:1140	Düğüm no:1043	Düğüm no:1956	Düğüm no:1527
Kalıntı Basınç Değerleri						
Grup 1	150	73.58	70.53	64.45	34.16	40.38
	125	71.81	66.61	60.14	29.12	40.32
	100	69.4	59.73	52.91	22.41	40.25
Grup 2	150	73.56	69.26	63.35	34.11	42.26
	125	71.79	69.07	62.27	29.05	36.65
	100	69.19	68.79	60.76	21.56	26.65
Grup 3	150	73.53	69.24	63.18	32.30	41.38
	125	72.74	69.17	62.89	32.30	40.02
	100	71.45	69.06	62.39	32.30	37.60
Grup 4	150	74.26	69.59	63.97	32.71	40.59
	125	72.51	69.06	62.64	32.17	40.28
	100	69.57	68.16	60.39	31.25	39.76
Grup 5	150	72.93	69.19	62.96	32.30	40.35
	125	72.93	69.19	62.96	32.30	40.35
	100	72.92	69.19	62.95	32.30	40.35
Grup 6	150	72.93	69.19	62.96	32.30	40.35
	125	72.93	69.19	62.96	32.29	40.35
	100	72.93	69.19	62.95	32.27	40.35

Çizelge 4.6 Yangın debisi testlerinin kararlı hal kalibrasyon sonuçları

Test No		Kalıntı hidrant				Akım hidrantı	
		Statik basınç (m)	Fark % $\varepsilon=[(\text{Model sonucu}-\text{Ölçüm sonucu}) / \text{Ölçüm sonucu}]$	Kalıntı basınç (m)	Fark % (ε)	Basınç düşüşü (m)	Çekilen debi (l/s)
Test I	Ölçüm	83	5.602	66.823	6.37	16.177	62.055
	Model	87.65		71.08		16.57	
Test II	Ölçüm	75.97	6.9	60.492	8.08	15.478	40.95
	Model	81.21		65.38		15.83	
Test III	Ölçüm	88.98	-8.97	63.306	-10.135	25.674	69.3
	Model	81.00		56.89		24.11	
Test IV	Ölçüm	52.05	11.09	19.695	11.754	32.355	33.39
	Model	57.82		22.01		35.81	
Test V	Ölçüm	64.71	-7.23	35.17	-9.895	29.54	25.2
	Model	60.03		31.69		28.34	

Çizelge 4.7 Kalibre edilmiş Hazen-Williams C pürüzlülük katsayıları

Group No	Minimum	Maksimum	En uygun değer
1	100	150	122.46807
2	100	150	117.17602
3	100	150	104.23083
4	100	150	117.21828
5	100	150	104.89809
6	100	150	104.92393



Şekil 4.4 Kalibrasyon sonrası statik basınç ve kalıntı basınçlarda model ve ölçüm sonuçları arasındaki % farklar (ϵ)

4.3 İçmesuyu Dağıtım Sistemi Modelleme Senaryoları

Dağıtım sistemi, Bölüm 3.5’de anlatıldığı üzere 19 Mayıs ilçesinin maksimum günlük su tüketimi, maksimum saatlik su tüketimi ve maksimum tüketimin olduğu günde yangın debisi durumlarına göre analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre mevcut sistemin yeterliliği ve sistem eksikliklerinin giderilmesi amacıyla önerilen düzelemeler model üzerinde oluşturulan senaryolar (Çizelge 4.8) aracılığıyla irdelenmiştir.

4.3.1 Maksimum günlük su tüketimi durumu senaryosu

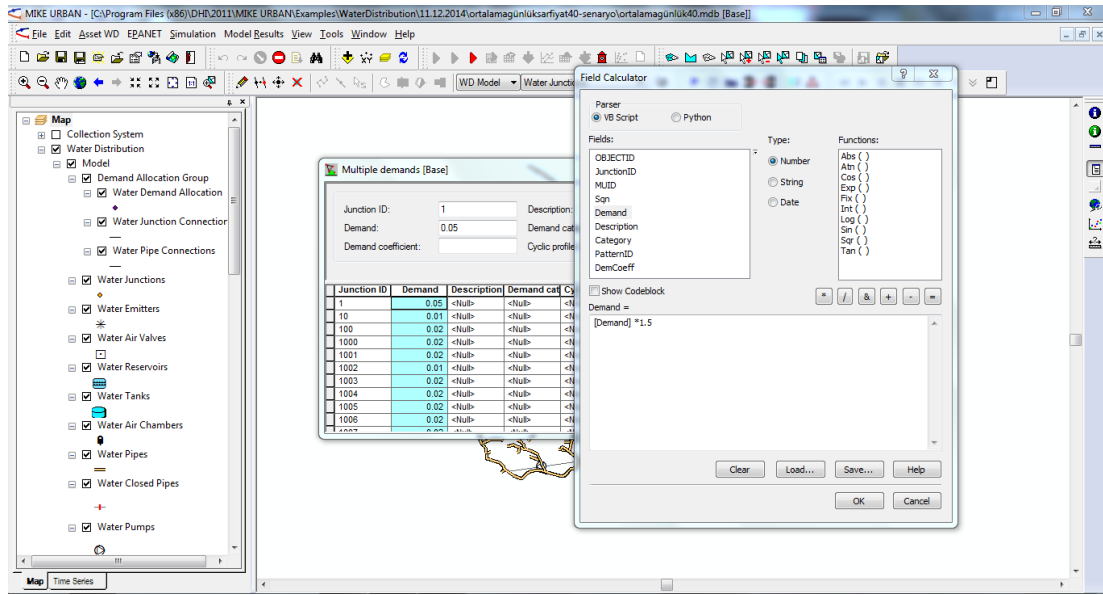
Maksimum günlük su tüketimi normal işletim durumları altında yılın herhangi bir gününde kullanılan maksimum su miktarıdır. Mevcut sistemin maksimum günlük su tüketimine ait model analiz sonuçları, sisteme ait eksikliklerin tanımlanması ve kısa süreli gelişimleri planlamak amacıyla kullanılabilir. Daha sonraki senelere ait su tüketim durumları altında alıcılara yeterli suyu temin etmek için boru ve tesis iyileştirmelerini tanımlamak amacıyla analiz yapılmalıdır (AWWA M32, 2012).

Çizelge 4.8 Önerilen kararlı durum senaryoları

Senaryo No	Senaryo Adı	Yapılanlar
Senaryo 1	Maksimum günlük su tüketimi	Su tüketim değeri 60 l/s; Tüm pompalar devrede; Depolardaki su yüksekliği maksimum; Yeşilköy Mera terfi istasyonu ve Fındıklık DK1 kuyusu sisteme dahil edildi.
Senaryo 2	Maksimum saatlik su tüketimi	Su tüketim değeri 120 l/s; Tüm pompalar devre dışı; Depolardaki su yüksekliği yarıya indirildi.
Senaryo 3	Maksimum tüketimin olduğu günde yangın durumu	Su tüketim değeri 60 l/s; Tüm pompalar devre dışı; Depolardaki su yüksekliği yarıya indirildi; Düğüm noktalarındaki tasarım yangın debisi 1900 l/dk alındı.
Senaryo 4	Sistem eksikliklerinin giderilmesi	Yeşilköy Mera terfi istasyonu ve Fındıklık DK1 kuyusu sisteme dahil edildi; Negatif basınç oluşan düğüm noktaları için izolasyon vanası ve mevcut depodan itibaren ek boru tanımlanması yapıldı; Sistemdeki fazla basınçların azaltılması için sistem üzerinde beş ayrı noktada PRV tanımlaması yapıldı.

Maksimum günlük su tüketimi benzeşimini gerçekleştirmek için şu ayarlamalar yapılmıştır:

1. Suyun kullanımı durumu model üzerinde maksimum günlük su tüketimini benzeştirecek şekilde düzenlenmiştir. Maksimum günlük su tüketim değeri Bölüm 3.5’de verilen limitler dahilinde ortalama değerin 1.5 katı olacak şekilde modelde tanımlanmıştır (Şekil 4.5).
2. Depo yüksekliği taşkın seviyesine ayarlanmıştır (Çizelge 4.9).
3. Deneylerin yapıldığı esnada kapalı tutulan tüm kuyular devreye alınmıştır.



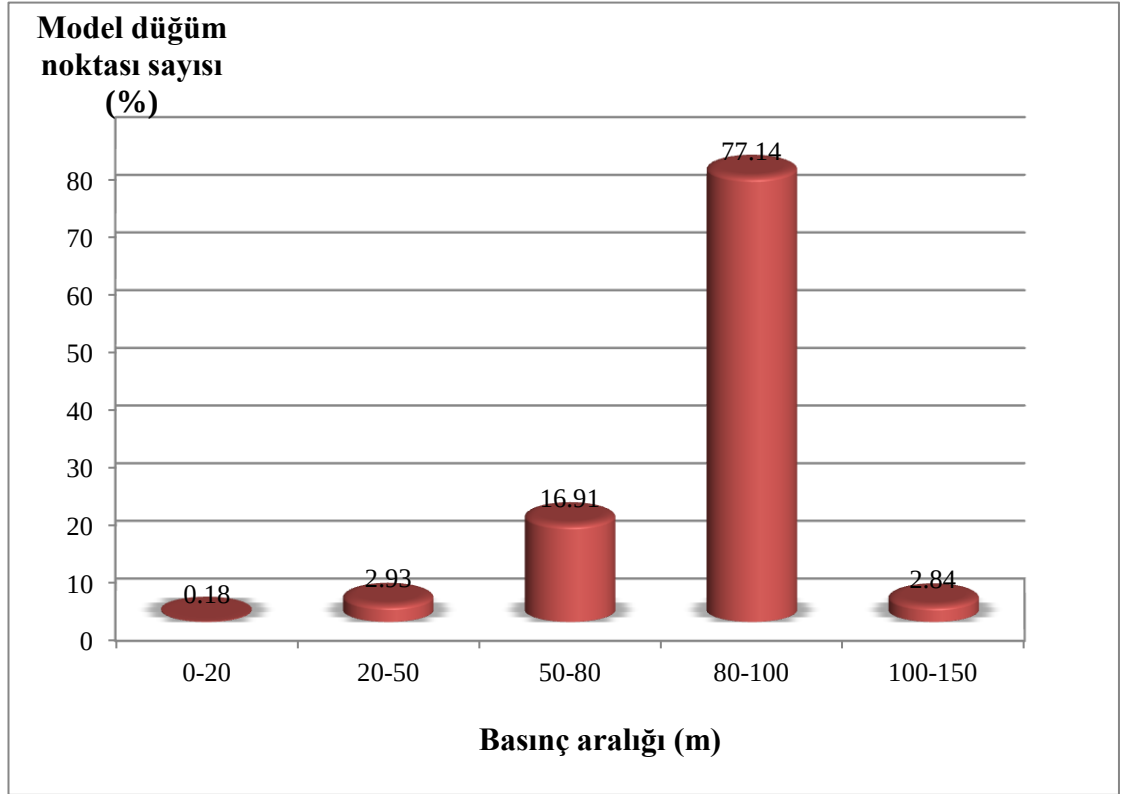
Şekil 4.5 Maksimum günlük su tüketimi benzeşimi için debilerin ayarlanması

Çizelge 4.9 Maksimum günlük su tüketimi ve en kötü durum senaryosu için kabul edilen depolardaki su seviyeleri

Depo adı	Uzunluk	Genişlik	Maksimum seviye	Minimum seviye	Maks. günlük tüketim	En kötü durum senaryosu
Ana depo	30	20	4.5	0.2	4.5	2.25
Elmacı	6	10.8	3	0.5	3	1.5
Yeşilköy Mera Terfi	7.5	9.5	2.1	0.4	2.1	1.05
Sağlık Ocağı Terfi	10	12	3	0.5	3	1.5
Esenyer	5	4.5	3	0.5	3	1.5
Yeşilköy	4	5	3	0.5	3	1.5
Tavşan Tepesi	5	5	3	0.5	3	1.5

Şebekeye doğrudan bağlanan hem Fındıklık DK1 kuyusu ve pompası hem de Yeşilköy Mera Terfi istasyonu maksimum günlük su tüketim durumunda devreye alınmıştır. Çalışmanın amacı yeraltı suyu akiferlerini modellemek olmadığı için

sisteme olan akım bir kuyuya eşdeğer düğüm noktasında basit bir su girişi olarak modellenmiştir.



Şekil 4.6 Maksimum günlük su kullanımında basınç dağılım yüzdesi

Maksimum günlük su tüketim durumu senaryosuna göre yapılan analiz sonucuna göre Şekil 4.6'daki basınç dağılımı elde edilmiştir. Depoların tam dolu olduğu, pompaların hepsinin devrede olduğu bir yaz günü için model düğüm noktası sayısının %77'si 80-100 arasında basınca maruz kalmaktadır. Ana deponun 90 m kotunda bulunması sebebiyle bu depodan beslenen alt bölgelerdeki çoğu düğüm noktasında hesaplanan basınç değerleri bir şebekede bulunması önerilen maksimum basınç değerininin (80 m) üzerindedir.

4.3.2 Maksimum saatlik su tüketim durumu senaryosu

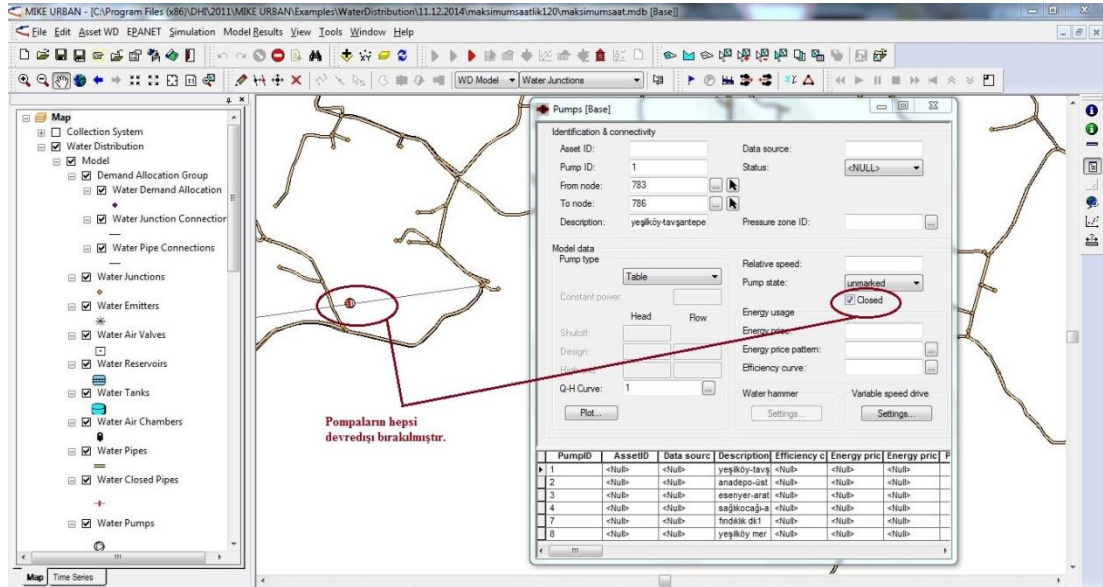
Maksimum saatlik su kullanımı su tüketiminin en yüksek olduğu günün tek bir saatini ifade eder. Maksimum saatlik model analizleri, en kötü durumlar altında yeterli kalıntı basınçları sürdürmek için dağıtım sisteminin yeterliliğinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılır. Maksimum saatlik su tüketim benzeşimini oluşturmak için aşağıdaki ayarlamalar yapılmıştır:

1. Suyun kullanım durumu model üzerinde maksimum saatlik su tüketim durumunu simüle edecek şekilde düzenlenmiştir. Maksimum saatlik

kullanım, maksimum günlük su kullanımının pik tüketim katsayısıyla çarpımından elde edilmiştir. Pik katsayı normalde SCADA kayıtlarından veya ölçümlerden elde edilmektedir. Fakat incelemesi yapılan dağıtım sistemine ait bu tür kayıtlar olmadığından bu katsayı Bölüm 3.5’de verilen limitler dahilinde maksimum günlük tüketimin 2.0 katı kabul edilmiştir (120 l/s).

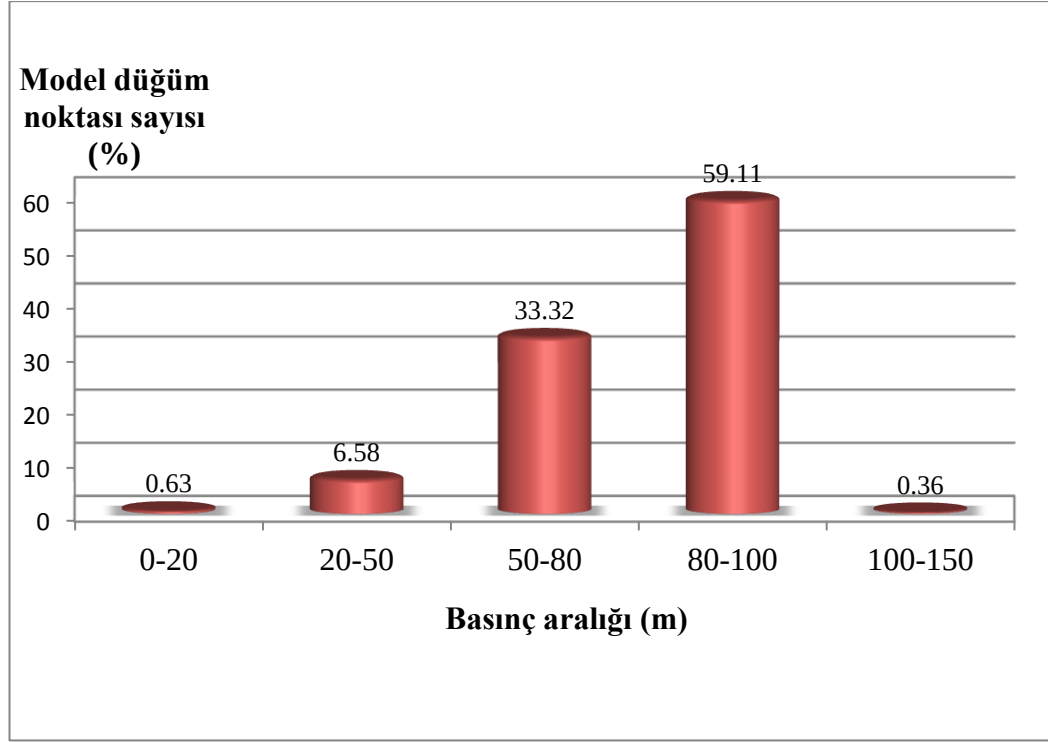
2. En kötü durum senaryosu olarak depo yüksekliği yarıya indirilmiştir (Çizelge 4.8).
3. En kötü durum göz önüne alındığından tüm pompalar devre dışı bırakılmıştır (Şekil 4.7).

Maksimum saatlik su tüketim durumuna ait benzeşim sonuçlarına bakılarak en kötü durumlar altında sistemde yeterli basınçların sağlanıp sağlanmadığı tesbit edilmiştir.



Şekil 4.7 Maksimum saatlik su tüketimi benzeşimi için pompaların devredışı bırakılması

Maksimum saatlik su tüketim durumu senaryosuna göre yapılan analiz sonucuna göre Şekil 4.8’deki basınç dağılımı elde edilmiştir.



Şekil 4.8 Maksimum saatlik tüketimde basınç dağılım yüzdesi

Şekil 4.8’den de görüldüğü üzere depoların tam yarı dolu olduğu, pompaların hepsinin devredışı bırakıldığı bir yaz gününe ait maksimum su tüketiminin yapıldığı saatte toplam düğüm noktası sayısının %59.11’i 80-100 arasında basınca maruz kalmaktadır. Bu değer maksimum günlük su tüketim senaryosunda elde edilmiş değerden azdır fakat halen ana depodan beslenen alt bölgelerdeki düğüm noktalarında hesaplanan basınç değerleri yönetmelikte önerilen maksimum basınç değerininin (80 m) üzerindedir.

4.3.3 Yangın debisi durumu senaryosu

Bir yangınla mücadele sırasında yangın hidrantlarına bağlanan hortumlarla şebekeden su alınır.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin 95. Maddesi gereği;

1. Yapıların yangından korunmasında, ilk müdahalede söndürülemeyen yangınlara dışarıdan müdahale edebilmek için mümkün olduğunca yapının veya binanın bütün çevresini kapsayacak şekilde tesis edilecek hidrant sistemi bünyesinde yerleştirilecek hidrantların, itfaiye ve araçlarının kolay yanaşabileceği ve bağlantı yapabileceği şekilde düzenlenmesi gerekir.
2. Hidrant sistemi tasarım debisinin en az 1900 l/dk olması şarttır. Debi, binanın tehlike sınıfına göre artırılır.

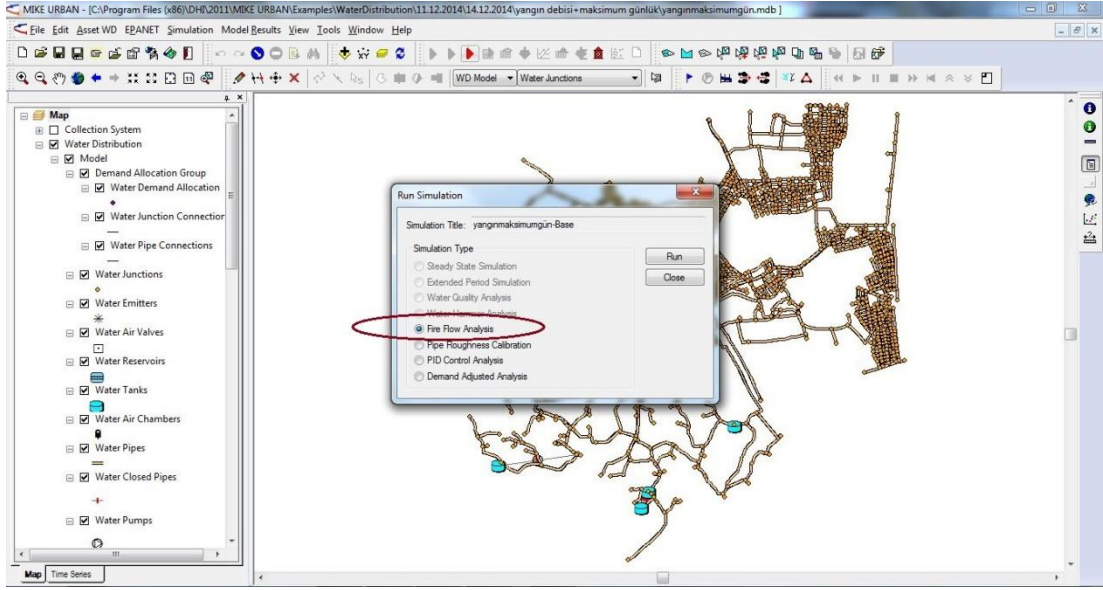
3. Hidrantlar arası uzaklık çok riskli bölgelerde 50 m, riskli bölgelerde 100 m, orta riskli bölgelerde 125 m ve az riskli bölgelerde 150 m alınır.
4. Sistemde kullanılacak hidrantların, ilgili Türk Standartlarına uygun yerüstü yangın hidrantı olması gerekir. Hidrant sisteminde, hidrant yenilenmesini ve bakım işlemlerinin yapılmasını kolaylaştıracak uygun noktalarda ve yerlerde yeraltı veya yerüstü veyahut hem yeraltı ve hem de yerüstü hat kesme vanaları temin ve tesis edilir (URL-14).

Yangın debisi analizleri modelin kararlı durum benzeşimi için kullanılan temel uygulamalardan biridir. Yangın debisi benzeşimleri model kalibrasyonunda da yaygın şekilde kullanılabilmektedir. Yangın debisinin benzeşiminden ve mevcut sistemdeki eksikliklerin tanımlanmasından sonra modeller tasarım iyileştirmeleri amacıyla kullanılmaktadır. Bazı yazılımlar bir model uygulamasıyla sistemdeki tüm uygulanabilir düğüm noktalarında mevcut yangın debisini belirleyebilir. Yangın debisinin olduğu yerde debi sistem su tüketim değerine eklenebilir. Duruma göre kalıntı basınç veya boru hızı gibi bazı sınırlandırma parametreleri mevcut yangın debisini belirlemek amacıyla ayarlanmalıdır. Kalıntı basıncı sınırlandırma tüm sistem için ya da duruma göre yangın debisi noktası için ayarlanabilmektedir. Bu tür senaryoları analiz ederken modeli oluşturan kişi mevcut durumda tasarım basıncından aşağıda basınç barındıran yüksek noktalardan haberdar olmalıdır. Eğer bu düğüm noktaları hesaba katılırsa sonuçlar yangın debisinin mevcut olmadığını gösterecektir. Yangın debisi simülasyonu sonucu elde edilen bilgiler şöyledir:

1. Mevcut yangın debisi,
2. Yangın debisi temin edilen bölgelerdeki kalıntı basınç,
3. Tüm sistemin minimum basıncı,
4. Maksimum boru hızları (AWWA M32, 2012).

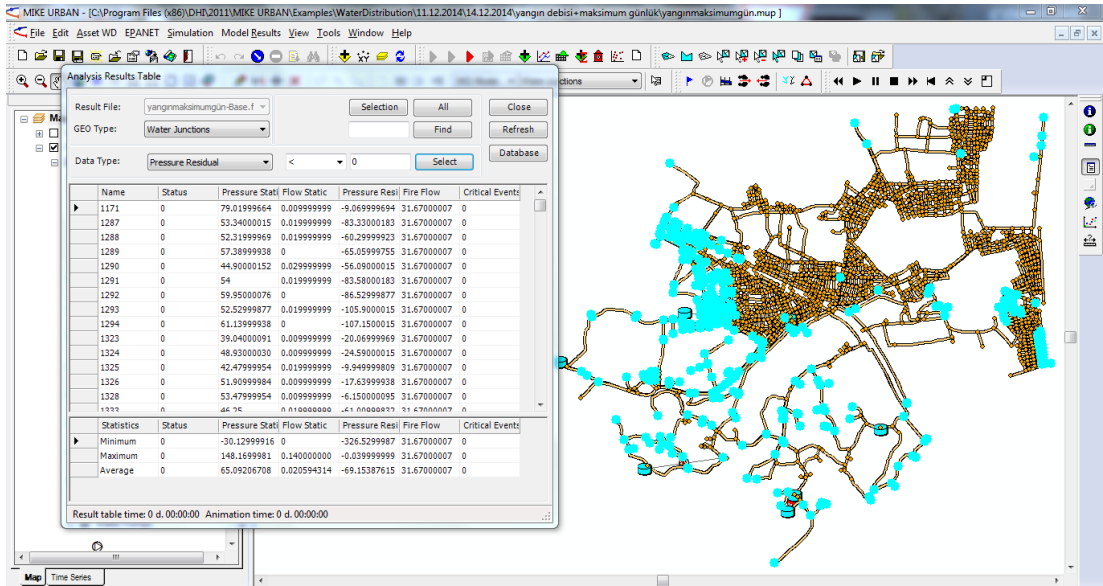
Yangın debisi benzeşimini oluşturmak amacıyla aşağıdaki ayarlamalar yapılmıştır:

1. Hem maksimum günlük (ort. günlük tüketim x 1.5) hem de maksimum saatlik su tüketimi (ort. günlük tüketim x 1.5 x 2.0) durumlarını benzeştirmek amacıyla model su kullanım durumları ayarlanmıştır.
2. Pompanın arızası olduğunda bile yangın debilerinin temin edilebildiğini belirtmek amacıyla tüm pompalar devredışı bırakılmıştır (Şekil 4.7).
3. Depo yüksekliği yarıya indirilmiştir (Çizelge 4.8).



Şekil 4.10 Yangın debisi kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan analiz seçeneği

Analiz sonucunda toplam 496 düğüm noktasında basınç değerleri 20 m'nin altında hesaplanmıştır. Yani bu düğüm noktalarında yangın hidrantı kurulması durumunda hidranttardan su çekilmesi nedeniyle kalıntı basınç, şebekede bulunması önerilen minimum basınç değerinin altına düşecektir. Hatta bu düğüm noktalarından 387 tanesi negatif değere düşmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Yangın debisinin çekilmesi durumunda negatif basınç değerlerinin olduğu model düğüm noktaları

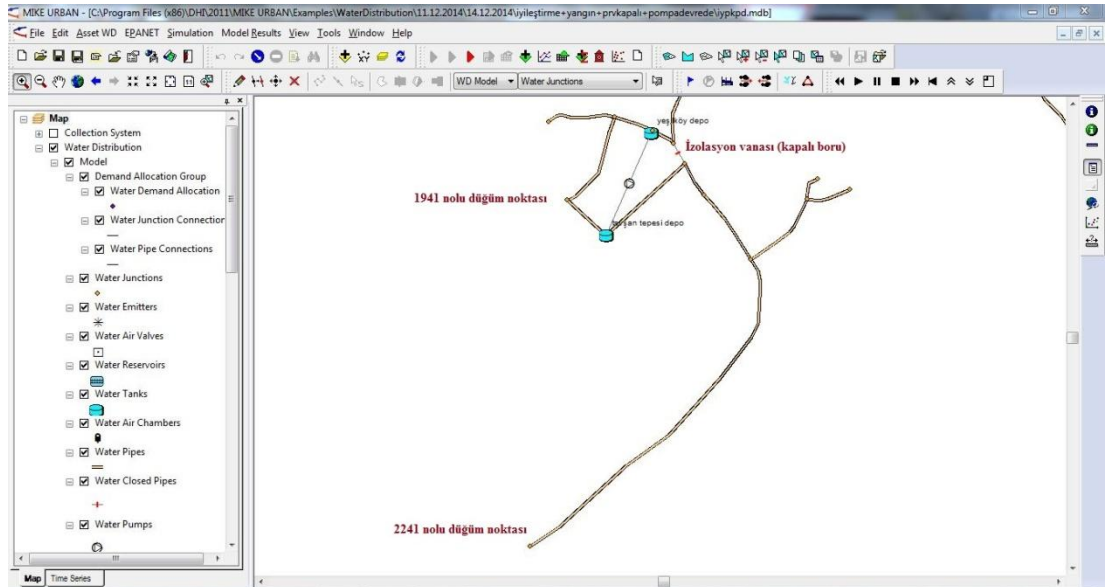
Sonuç olarak Şekil 4.11'de belirtilen düğüm noktalarında maksimum su kullanımının olacağı bir yaz günü için depolar yarı yüksekliklerine kadar doluyken ve pompalar kapalıyken Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin

95.Maddesinde belirtilen “Hidrant sistemi tasarım debisinin en az 1900 l/dk olması şarttır. Debi, binanın tehlike sınıfına göre artırılır” gerekliliği değerlendirilen senaryo durumunda sağlanamamış olacaktır. Bu düğüm noktalarında kurulabilecek yangın hidrantlarından gereken minimum debiden de az miktarda suyun çekilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

4.3.4 Sistemin eksikliklerinin giderilmesine yönelik uygulamalar

19 Mayıs ilçesi mevcut içmesuyu dağıtım sistemine ait model üzerinde maksimum günlük su tüketimi, maksimum saatlik su tüketimi ve maksimum tüketimin olduğu yaz gününde yangın debisi senaryoları irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sistemde sürekli negatif basınca sahip iki düğüm noktası olduğu saptanmıştır. Bu düğüm noktalarındaki basınç değerlerini artırmaya yönelik bu çalışmada aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

1. 1941 nolu model düğüm noktasındaki basıncı artırmak için Tavşantepesi depodan bu düğüm noktasına yaklaşık 100 mm çapında 121.5 m uzunluğunda yeni bir PVC boru döşenmesi,
2. 2241 nolu model düğüm noktasındaki basıncı artırmak için Yeşilköy deposundan sonra bu düğüm noktası yönünde izolasyon vanasının konulması (Şekil 4.12).

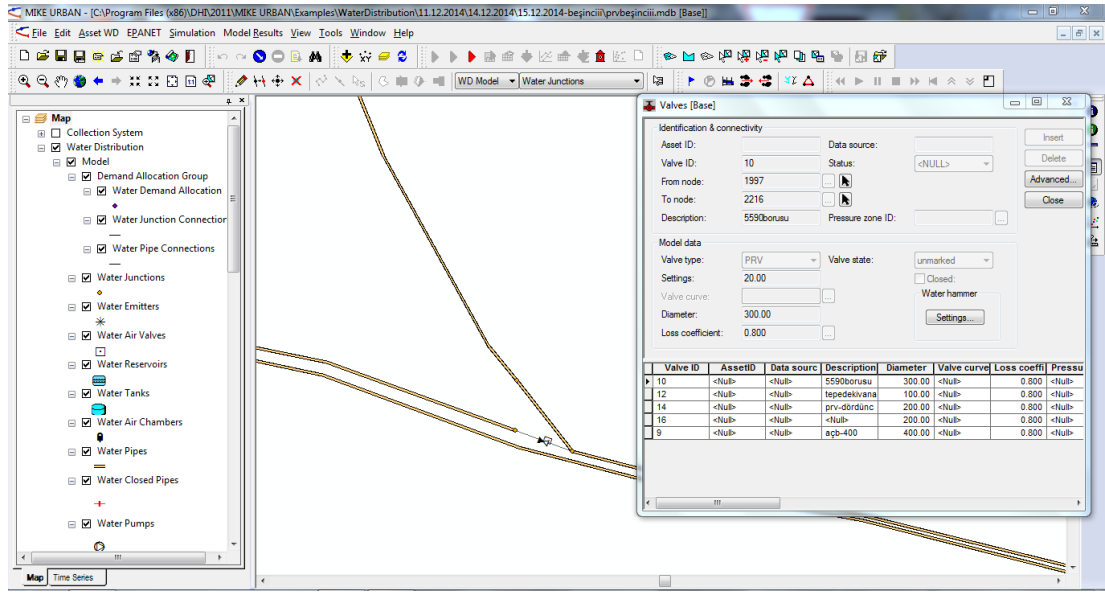


Şekil 4.12 Negatif basınç değerlerinin olduğu model düğüm noktalarında basıncı artırılmasına yönelik yapılması önerilen iyileştirmeler

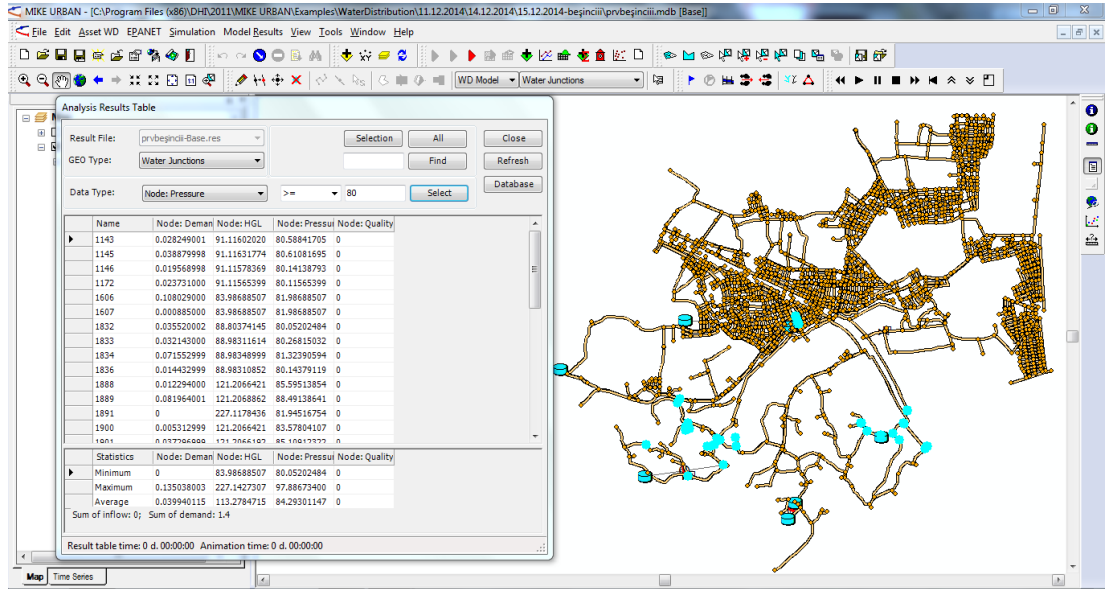
İzolasyon vanası MIKE URBAN WD modelleme yazılımında tanımlanması yapılamadığı için borunun kapalı olduğu varsayılmıştır. Böylelikle suyun yönü değiştirilerek 2241 düğüm noktasına doğru akışı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Tavşantepesi depodan 1941 nolu düğüm noktasına doğru bir boru yerleştirilerek bu düğüm noktasına da su akışı sağlanmıştır. Gerçek sistem üzerinde böyle bir boru olmadığından bu düğüm noktasına su akışı hidroforlarla sağlanmaktadır. Böyle bir borunun tanımlanması sonucunda hidroforun devreden çıkarılması önerilmektedir.

Değerlendirmeye alınan sistemin en önemli sorunlarından biri de depoların yüksek kotta bulunması nedeniyle maksimum günlük su tüketimi, maksimum saatlik su tüketimi ve maksimum tüketimin olduğu yaz günü yangın debisi senaryoları oluşturulduğunda sistemin çoğu düğüm noktasındaki basınç değerlerinin yönetmeliğin önerdiği seviye olan 80 m'yi aşmasıdır. Bunun sonucunda basınç yüksekliği nedeniyle boruda oluşabilecek deformasyonların ve su kaçaqlarının önüne geçilebilmesi için sistemde 5 ayrı noktaya basınç azaltıcı vana (PRV: Pressure Reducing Valve) uygulaması önerilmiştir (Şekil 4.13). PRV kullanıldığı takdirde tüm sistemde elde edilen basınç değerleri 80 m'nin altına düşmüştür. Basıncı 80 m'nin üzerinde olan düğüm noktası sayısı 16 atü'lük basınca sahip borular ve terfi istasyonları hariç oldukça azalmıştır (Şekil 4.14, Şekil 4.15).

Bir sistemde su basıncını dört şekilde (sabit çıkışlı basınç kontrolü, zaman ayarlı basınç kontrolü, debi ayarlı basınç kontrolü, kapalı devre basınç kontrolü) kontrol altına almak mümkündür. Su kullanım karakteristiklerinin çıkarılarak irdelenmesi sistemde kullanılması düşünülen basınç azaltıcı vana türü seçiminde önemli rol oynamaktadır. Mevcut su dağıtım sistemi işletimine ait SCADA uygulaması olmadığından su kullanım karakteristikleri bu tez çalışması esnasında çıkarılamamıştır. Ayrıca sistemin kontrol edilmesi için gerekli teknik bakım, kalifiye eleman ihtiyacı, mevcut teknolojik altyapının yetersizliği nedeniyle zaman ayarlı veya debi ayarlı PRV sistemlerinin kullanılması uygun bulunmamış bunun yerine sabit çıkışlı PRV vana kontrol sistemi kullanımı önerilmiştir. Kullanılan PRV vanaların çapları üzerine yerleştirilen boru çapına göre seçilmiştir. Bunlardan ikisinin 400 mm'lik AÇB borular üzerine, birinin 125 mm'lik PVC boru üzerine ve ikisinin 100 mm'lik PVC borular üzerine yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Çaplarına göre maliyetlendirilen PRV vanaların 2015 yılı Ocak ayı fiyatı toplamda 10.540 €'dur.

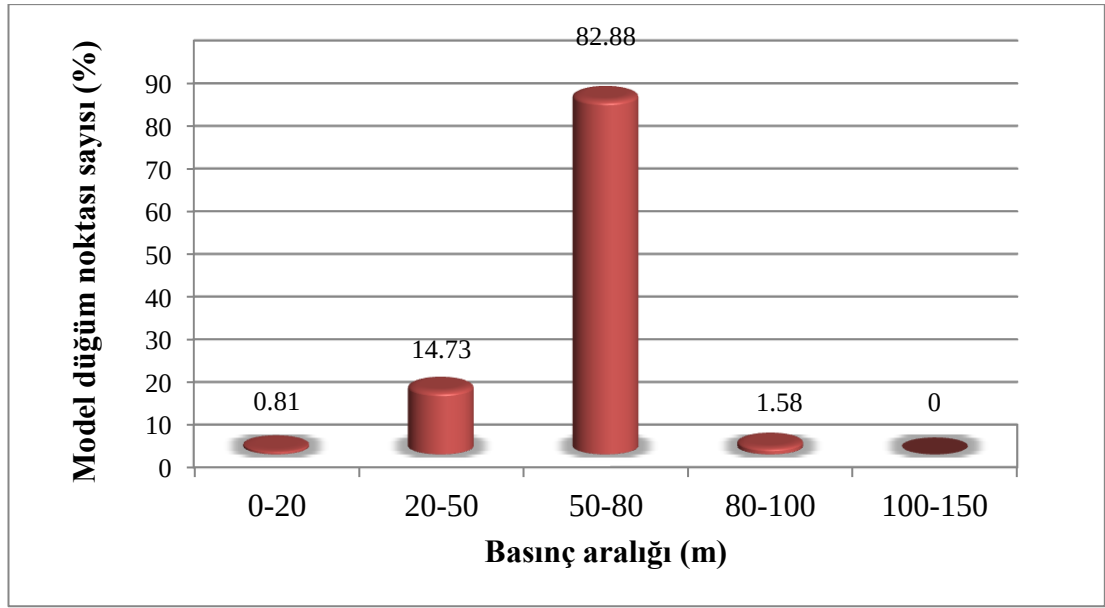


Şekil 4.13 Modellenen sistemde basınç azaltıcı vana (PRV) tanımlaması

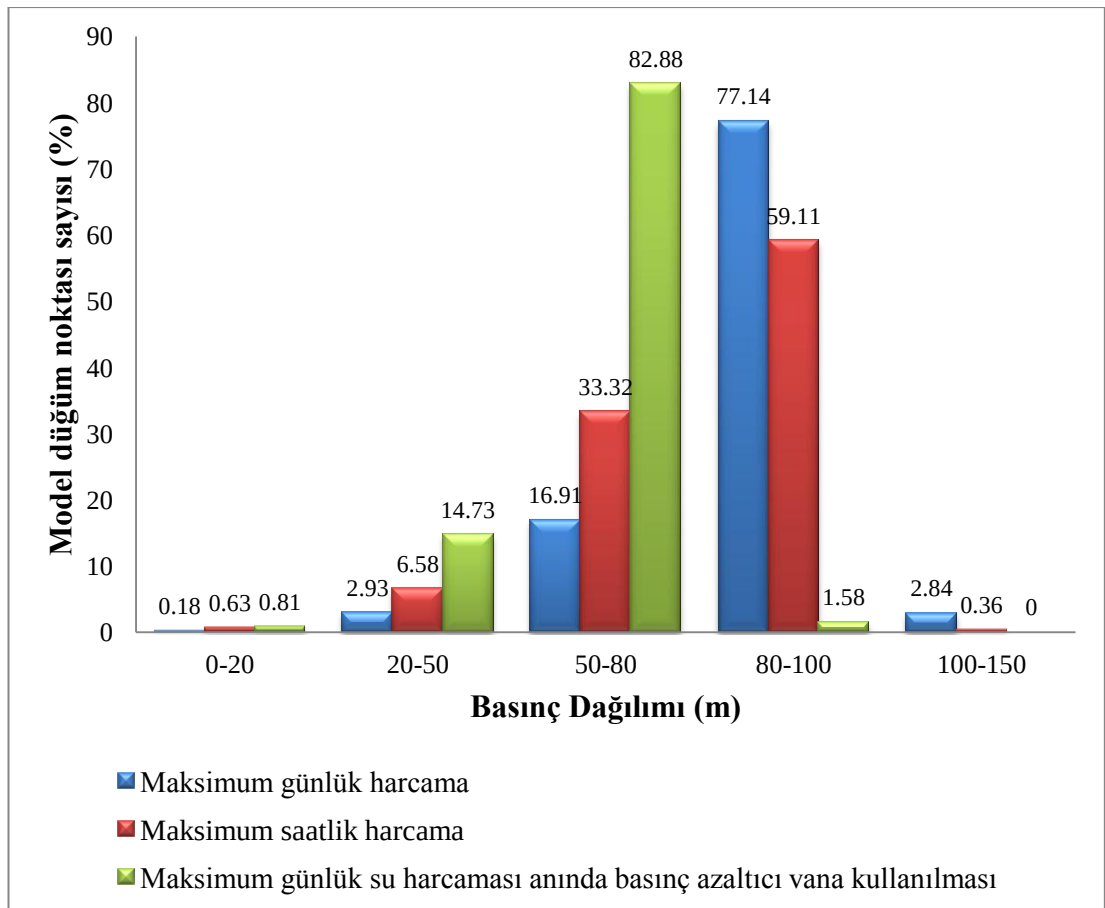


Şekil 4.14 Maksimum günlük su tüketimi anında PRV olması durumunda basıncı 80m'den fazla olan yerler

Maksimum günlük su tüketim, maksimum saatlik su tüketim ve maksimum günlük su tüketimi esnasında basınç azaltıcı vana kullanılması senaryolarından elde edilmiş basınç dağılımları Şekil 4.16'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.15 Maksimum günlük su tüketimi anında basınç azaltıcı vana kullanılması durumunda modellenen sistemde basınç dağılım yüzdesi



Şekil 4.16 Model senaryolarından elde edilmiş basınç dağılımlarının karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Suyun temin edilmesinde ve dağıtılmasında görev yapan kurumlar güvenli ve sürekli bir şekilde kaliteli suyun düşük maliyetle alıcıya iletilmesini sağlarlar. Su genellikle kilometrelerce uzunlukta boruları ve birçok pompa, vana ve depoları içeren karmaşık dağıtım sistemleri aracılığıyla iletilir. Bu sistemlerin performansı sadece fiziksel boyutları ve karmaşıklığı nedeniyle değil ayrıca fazla miktarda sistem bilgisinin gerekli olması nedeniyle anlaşılması zordur.

Düşük maliyetle güvenli ve sürekli su temini hedefini karşılamak amacıyla su sistemi tasarımcılarına, işletmenlerine ve yöneticilerine yardımcı olmak için zamanla geliştirilmiş tek araç su dağıtım sistemi modellemesidir. Su dağıtım sistemi modellemesi, geniş bir yelpazede tasarım, işletim ve su kalitesi problemlerini çözmek için sistem performansını tahmin etmek amacıyla bilgisayar modelinin kullanılmasıdır. Örneğin bir bilgisayar modeli tasarımı değerlendirmek için ve sistem performansını tasarım standartlarına göre karşılaştırmak için su sistemindeki basınç ve debileri tahmin edebilir. Modeller ayrıca farklı işletim senaryoları altında suyu iletme yollarını bulmak amacıyla da kullanılmaktadır.

Bir bilgisayar modeli iki bölümden oluşmaktadır:

1. Veritabanı: Sistemin altyapısını, su kullanımlarını ve işletim karakteristiklerini tanımlayan bilgiyi içermektedir.
2. Bilgisayar programı: Basınçları, depo seviyelerini, pompa durumlarını, vana pozisyonlarını vb. durumları çözmek amacıyla bir dizi enerji, süreklilik, taşınım veya optimizasyon denklemini çözer. Bilgisayar programı ayrıca veritabanını oluşturmaya ve korumaya, model sonuçlarını grafiksel ve çizelge halinde sunmaya yardımcıdır.

Günümüzde bilgi teknolojilerinin gelişimiyle çevrimiçi çalışan ölçüm cihazları kullanılmaya başlanmıştır. İstenilen yerlere yerleştirilebilen bu cihazlar saha üzerinde, istenilen sürede elde ettikleri verileri kaydedebilme özelliklerine sahiptirler. Ancak bu cihazlar oldukça yüksek maliyet olduğundan şebekede her bir düğüm noktasına takılması ekonomik açıdan uygun değildir. Bu nedenle, hidrolik

model ve bu cihazlar sayesinde belirli kilit noktalardan alınan gerçek sisteme ait veriler ile her durumda sistemdeki basınç değişimi tahmin edilebilmektedir. Hidrolik model uygulamaları, şebekenin mevcut haliyle yeterliliğinin tespit edilmesine ve şebekede yapılması planlanan iyileştirme çalışmalarında doğru karar verilmesine katkı bulunur.

Tez çalışması kapsamında, Samsun ili 19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sisteminin yeterliliği, modelleme yazılımı kullanılarak hidrolik açıdan irdelenmiştir. Dijital ortamda modeli oluşturulan mevcut içmesuyu dağıtım sisteminden alınan verilerle model kalibre edilmiş ve optimum tasarımı sağlamak amacıyla nüfusun artması ve altyapı yenilenmesi gibi durumlar için modelde senaryolar üretilerek gerçek sistemin göstereceği tepkiler önceden tasarlanmış ve önerilerde bulunulmuştur. Çalışma alanı olarak 19 Mayıs ilçesi içmesuyu dağıtım sisteminin seçilmiş olmasının nedeni, Samsun'a yakın olması, istenilen verilere kolaylıkla ulaşılabilmesi, daha önce bu ilçede içmesuyu dağıtım şebekesi bilgi sisteminin kurulmuş olmaması ve mevcut içme suyu dağıtım sisteminin modellenmesi ile ilgili çalışmaların yapılmamış olmasıdır. İlçenin içme suyu ihtiyacı yeraltı suyundan (8 adet derin kuyu ve bir adet keson kuyu) temin edilerek, ilçenin 90 m kotunda inşa edilmiş ana depo yakınındaki eski depolara, terfi merkezleri aracılığıyla iletilmektedir. Buralarda dinlendirilen su ana deponun üzerinde bulunan basınçlı filtrasyona gönderilmekte ardından klorlama işleminden geçirilerek şebekeye verilmektedir. Biri Yeşilköy Mera Terfi istasyonu, diğeri Fındıklık derin kuyu 1 olmak üzere toplam iki noktadan pompalarla çekilen su şebekeye arıtılmadan ve klorlanmadan verilmektedir. Mevcut sistem 2029 yılında 62275 kişiye hizmet verebilecek şekilde 1994 yılında projelendirilmiştir.

Tez çalışmasının ilk aşamasında mevcut sistemle ilgili bilgi toplanmış ve CBS kullanılarak içmesuyu dağıtım sistemi veritabanı oluşturulmuştur. Kullanılan CBS yazılımı, su dağıtım sistemi hidrolik/su kalitesi modelleme yazılımı (MIKE URBAN WD) ile birlikte Ondokuz Mayıs Üniversitesi PYO.MUH.1904.11.016' nolu projeden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin temin edilmesi aşamasında, imar planları ve hâlihazır haritalar 19 Mayıs Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü'nden dijital ortamda NETCAD formatında temin edilmiştir. İçmesuyu şebeke haritaları ve bu haritalara ait sözel veriler kapsamında sayılabilen öznitelik bilgileri 19 Mayıs Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünden basılı olarak (42 adet inşaat şebeke işletme planı) temin edilmiştir. Veritabanının oluşturulması esnasında kâğıt ortamındaki

altyapı verilerinin gerçek sisteme tam olarak uygulanmamış olması, sayısallaştırma amacıyla paftalarda bulunması gereken köşe koordinatlarının belirtilmemiş olması, önceleri ilçe belediyesine bağlı olmayan Esenyer, Yeşilova, Mimarsinan ve Engiz köylerinin belediye sınırlarına dahil edilmesi nedeniyle bu yerleşim yerlerine ait şebeke sisteminin sonradan mevcut şebekeye dahil edilmiş olması, bazı bölgelere ait şebeke inşaat paftalarının bulunmaması gibi problemlerle karşı karşıya kalınmıştır. Bu nedenle şebeke hattı inşaatı hakkında bilgi sahibi olan Fen İşleri müdürü ve belediye işçilerinden bilgi alınmıştır. Bununla birlikte kapalı olan vanalar yeni yerleşim yerleri oluşturuldukça açık hale getirilmiş ve bu yerlere yeni borular ilave edilmiştir. Sonuç olarak, birçok ilçe belediyelerinde olduğu gibi 19 Mayıs ilçesi belediyesinde de yetersiz personel, yetersiz arşivleme, arşivlere hızlı ulaşılamaması, sayısal verilerin kâğıt ortamında saklanması ve kullanılması, verilerin güncellenmemesi, koordinasyon eksikliği, denetim ve hızlı işlem yapılamaması gibi sorunlar neticesinde mevcut su sistemiyle ilgili bilgi edinmede güçlük çekilmiştir.

CBS yardımıyla oluşturulmuş 19 Mayıs ilçesi içmesuyu bilgi sistemi ile meydana gelebilecek arıza veya acil durum anında kısa zamanda karar alma ve destek verme mümkün olacaktır. Bu konuda diğer yerel yönetimler ve altyapı kuruluşlarının da hem içmesuyu hem de diğer altyapı tesisleri için bilgi sistemi kurmaları zorunlu hale getirilmeli, güncellenmiş veriler diğer kurum ve kuruluşlar tarafından paylaşılmalıdır.

Tez çalışmasının ikinci aşamasında, gerçek sistemin şebeke bileşenleri MIKE URBAN WD su dağıtım sistemi hidrolik/su kalitesi modelleme yazılımı aracılığıyla modele girilmiş, su tüketim girdisi ve topoğrafik girdiler (düğüm noktası yüksekliklerinin tahmini) tanımlanmıştır. Şebeke bileşenleri tanımlanırken önceden CBS ortamında oluşturulmuş ve şekil dosyası olarak kaydedilen her bir boru ve düğüm noktası katmanı ile öznitelik bilgileri modele dönüştürülmüştür. Şebekedeki boru bileşim yerleri, depolama elemanları ve su temin edilen kaynaklar modelde düğüm noktaları olarak tanımlanmıştır. 19 Mayıs ilçesi içme suyu dağıtım sisteminde, ikisi terfi istasyonunda olmak üzere toplamda 7 adet depo tanımlaması yapılmıştır. Modelde tanımlanan pompa elemanları için karakteristik eğri olarak üretici firmanın belirlediği değerler kullanılmıştır. Çalışmada, ilçedeki su kullanım verisi ve depolardaki seviye değişimleri kaydedilememektedir. Bu nedenle sistemin modellenmesi esnasında MIKE URBAN yazılımına ait otomatik su tüketim dağılımı yöntemi kullanılmıştır. 2014 yılı için 19 Mayıs içmesuyu projesi açıklama raporuna

göre (1994) hesaplanmış ortalama günlük, maksimum günlük ve maksimum saatlik su tüketimi, şebeke modeli içindeki düğüm noktalarına yazılımın azaltılmış boru uzunlukları yöntemi kullanılarak otomatik atanmıştır. Topoğrafik girdiler için Coğrafi Bilgi Sistemleri aracılığıyla sayısal arazi modeli verisi oluşturulmuş, enterpolasyon ile model düğüm noktası yükseklikleri otomatik olarak hesaplanmıştır. Gerçek sistemdeki depo kotları ve yangın hidrantları gibi kilit noktalara ait yükseklik verileri ise GPS ile belirlenmiştir. Modelin kullanım amacı, gerçekte mevcut olan içmesuyu dağıtım sisteminin belirli su tüketim durumlarındaki hidrolik açıdan yeterliliğine bakılması ve sistem veriminin artırılmasıdır. Bu nedenle model üzerinde kararlı durum benzeşimleri gerçekleştirilmiştir. Su dağıtım sistemi modeli için gereken tüm veriler girildikten sonra ilk kararlı durum analizi yapılmış ve veri giriş eksikliğinden kaynaklanan herhangi bir hata mesajı oluşup oluşmadığına bakılmıştır.

Su dağıtım sistemi modelinin kalibrasyonu modelin kullanımı için oldukça önemli bir adımdır. Bu nedenle çalışmanın üçüncü aşamasında model sonuçları saha gözlemleriyle karşılaştırılmış ve model giriş parametreleri tahminleri ile ölçülmüş değerler uyum sağlayıncaya kadar ayarlanmıştır. İlçedeki içmesuyu dağıtım sistemi davranışının izlenmesine yönelik SCADA veya Telemetri sistemi olmadığından gerçek sisteme ait bilgi edinme işlemi yangın hidrantı debi testleri ile mümkün olmuştur. Yangın hidrantı debi testleri için gerçek sistem üzerindeki yerüstü hidrantlarının yerleri saptanmıştır. Tüm sistemde tesbit edilen 10 adet yerüstü hidrantında toplamda 5 adet basınç ve debi ölçümleri alınmıştır. Herbir ölçüm için aynı borudan su alan, biri kalıntı diğeri akım hidrantı olmak üzere toplam iki yangın hidrantı seçilmiştir. Yangın hidrantı debi testleri ile elde edilmiş statik durumdaki basınç ölçüm değerleri ve model sonuçları arasındaki fark %15'den az olduğundan kalıntı basınç değerleri simüle edilmiştir. Yangın debileriyle birlikte anılan kalıntı basınçların boru pürüzlülük değerlerine çok daha hassas olduğu bilindiğinden, kalibrasyon için Hazen-Williams C katsayıları seçilmiştir. Bu katsayılar şebekede kullanılan boru malzemesi cinsine ve çaplarına göre 6 gruba ayrılmıştır. Şebekenin beş ayrı bölgesinde yerüstü hidrantlarında gerçekleştirilmiş ölçümler Test I, Test II, Test III, Test IV ve Test V olarak adlandırılmıştır. Ardından boru pürüzlülük değerleri bazı global katsayı değerleriyle ayarlanarak, model sonuçlarına olan etkisi çoklu simülasyonlarla belirlenmiş ve hassaslık analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak Test IV ve Test V'in Grup 2'deki parametrelerin, Test II ve Test III'ün Grup 1'deki parametrelerin, Test I'in ise Grup 1, Grup 2 ve Grup 4'deki parametrelerin

değişimine daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca Test I'e ait elde edilmiş basınç değerlerinin Grup 6'daki parametrelerin, Test II ve Test V'e ait elde edilmiş basınç değerlerinin Grup 5 ve Grup 6'daki parametrelerin, Test IV'e ait elde edilmiş basınç değerlerinin Grup 3 ve Grup 5'deki parametrelerin değişimine hassas olmadığı tesbit edilmiştir. Genel olarak bakıldığında ise parametre aralığı 100-125 arasında olduğunda sistemin verdiği tepkilerin (kalıntı basınç değerlerinin) daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Modelin kalibrasyon işlemi, yazılımın Boru Pürüzlülük Kalibrasyon Modülü kullanılarak genetik algoritma yöntemine göre otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak kalibre edilmiş C katsayısı değerleri 100-125 değerleri arasında çıkmış ve bu değerler modelde uygun borulara atanmıştır.

Çalışmanın dördüncü aşamasında 19 Mayıs ilçesinin içmesuyu dağıtım sistemi modeli; maksimum günlük su tüketimi, maksimum saatlik su tüketimi ve maksimum günlük su tüketiminin olduğu günde yangın debisi kullanımı senaryolarına göre analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre mevcut sistemin yeterliliği irdelenmiştir. Birinci senaryo olarak analiz edilen maksimum günlük su tüketimi durumunda gerekli depo su seviyeleri (taşma seviyesi), pompa ayarlamaları (tümü devrede) ve su tüketim miktarları (60 l/s) modelde ayarlandıktan sonra düğüm noktalarındaki basınç değerleri incelenmiştir. Sonuçta bu senaryo durumu olduğu anda düğüm noktalarının %77'sinin 80-100 m arasında basınca maruz kaldığı görülmüştür. %2.84'ünün basınç değeri ise 100-150 m arasında kalmıştır. İkinci senaryo durumu olarak maksimum saatlik su tüketim benzeşimi oluşturulmuştur. Senaryo için su kullanım değeri maksimum günlük tüketimin 2.0 katı kabul edilmiştir (120 l/s). Depo yüksekliği yarıya indirilmiş ve pompalar devredışı bırakılmıştır. Elde edilen basınç değerleri maksimum günlük su tüketim senaryosu sonuçlarına göre daha da azalmıştır fakat yine de düğüm noktalarının %59.11'inin 80-100 m arasında, %0.36'sının ise 100-150 m basınca maruz kaldığı görülmüştür. Sonuçta her iki senaryo için de hesaplanan basınç değerlerinin bir şebekede bulunması önerilen maksimum basınç değerininin (80 m) üzerinde kaldığı sonucuna varılmıştır. Üçüncü senaryo olarak maksimum su tüketiminin olduğu günde yangın debisi kullanımı irdelenmiştir. Su kullanım değeri maksimum günde tüketildiği tahmin edilen değere ayarlanmıştır. Depo seviyeleri yarıya indirilmiş ve maksimum su kullanımının olduğu günde yangın durumunda pompalar devredışı kalsa bile suyun yeterli olabileceğini göstermek amacıyla model analiz edilmiştir. Çalışmada yönetmelikte önerilen yangın debisi değeri (1900 l/dk) modeldeki tekil düğüm noktalarına

atanarak yangın anında sistemin yeterliliği ve hidrant minimum tasarım debisinin karşılanıp karşılanamadığı incelenmiştir. Sonuç olarak 496 düğüm noktasında basınç değerlerinin 20 m'nin altında kalacağı yani bu düğüm noktalarında yangın hidrantı kurulması durumunda hidranttan su çekilmesi nedeniyle kalıntı basıncın, şebekede bulunması önerilen minimum basınç değerinin altına düşeceği görülmüştür. Yönetmelikte belirtilen hidrant tasarım debisinin en az 1900 l/dk olması şartı değerlendirilen senaryo durumunda sağlanamamıştır. Sonuncu ve dördüncü senaryo olarak ilk üç senaryoda belirlenmiş sistem eksikliklerinin giderilmesine yönelik yapısal düzenlemeler önerilmiştir. Bu önerilen düzenlemeler maksimum günlük su tüketiminin olacağı normal bir günde basıncın negatif olacağı hesaplanmış iki düğüm noktası için izolasyon vanası ve Tavşantepe deposundan su temin edebilecek yaklaşık 122 m uzunlukta bir boru hattı önerilmiştir. Ayrıca ana deponun 90 m kotunda bulunması nedeniyle sistem fazla basınca maruz kaldığından toplamda 5 adet düğüm noktasına basınç azaltıcı vana (PRV) uygulaması yapılması önerilmiştir. Kullanılan PRV vanaların çapları üzerine yerleştirilen boru çapına göre seçilmiştir. Bunlardan ikisinin 400 mm'lik AÇB borular üzerine, birinin 125 mm'lik PVC boru üzerine ve ikisinin 100 mm'lik PVC borular üzerine yerleştirilmesi uygun görülmüştür.

Önerilen düzenlemeler modele uygulandıktan sonra elde edilmiş basınç dağılımına bakılacak olursa; negatif basınçların ortadan kalktığı, PRV uygulamasıyla şebekedeki basınçların Yönetmeliğe göre şebekede olması gereken maksimum işletme basıncı değerinin (80 m) altına düştüğü, modeldeki düğüm noktası sayısının %82.88'inin 50-80 m basınç aralığında olduğu, sadece %1.58'inin 80-100 m aralıkta kaldığı ve 100 m basıncın üzerinde herhangi bir düğüm noktasının bulunmadığı sonucuna varılmıştır.

Çaplarına göre maliyetlendirilen PRV vanaların 2015 yılı Ocak ayı fiyatı toplamda 10.540 €'dur. Her ne kadar başlangıçta bu fiyat yüksek gibi görünse de bu sayede boruların yüksek basınç etkisinden korunması sonucu boru ömürleri artmış, oluşabilecek patlak sayısı ve tamirat masrafları azalmış, kaybedilmesi muhtemel su miktarı azalmış ve bu yatırım kendini amorti etmiş olacaktır.

İçmesuyu dağıtım sistemi modellemesinde tasarım optimizasyonu konusunun incelendiği bu tez çalışması neticesinde;

1. Mevcut içmesuyu altyapı sistemlerine ait bilginin bir veritabanında toplanması ve ilgili kurumlarda görevli uzmanların bu veritabanına rahatlıkla ulaşması gerektiği,
2. Mevcut olan içmesuyu dağıtım sisteminin hidrolik modelinin oluşturulması sonucunda şebekenin mevcut durumunun geliştirilebilmesi için yapılabilecek uygulamalara karar verilebildiği,
3. Çeşitli durumlar altında model analiz yapıldığında sistemin vereceği tepkilerin rahatlıkla irdelenebildiği,
4. Gerçek sisteme ait basınç ve debi bilgisine ulaşmada ve yangınla ilk mücadelede su şebekesine bağlı yerüstü yangın hidrantlarının ne denli önem arzettiği,
5. Şebekedeki boruların ömürlerinin uzaması ve yönetmelik sınır şartlarının sağlanması amacıyla mevcut sistemlerde basınç azaltıcı vana (PRV) uygulamasının oldukça etkili olacağı ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak,

1. Özellikle ana depoya konulabilecek ultrasonik bir debiölçer ile su seviyesi ölçme ve kontrolü için sensör yerleştirilmesi ve kullanıcıların su tüketim değerlerinin günlük ve haftalık olarak kaydedilmesi önerilmektedir. Bu şekilde sisteme giren ve çıkan debinin belirlenmesi ve su kaybının olup olmadığının incelenmesi mümkün olabilecektir. Ayrıca suyun arıtılmadan şebekeye verildiği Fındıklık 5 Derin Kuyusu ve Yeşilköy Mera terfi istasyonunun yeni isale hattıyla ana depoya bağlanmasıyla boruların siltle dolma ihtimalinin azaltılması öngörülmektedir.
2. Ana depodan toplanacak debi ve basınç bilgisiyle temin edilmiş günlük ve haftalık su tüketim değerleri baz alınarak, modelde uzatılmış süre benzeşimlerinin ve özellikle klor izlenmesi gibi su kalitesi analizlerinin yapılmasının ileri bir çalışma gerçekleştirilebilmesi açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.
3. İncelenen su şebeke sisteminde, yönetmeliğin önerdiği şekilde yangından korunma amacıyla sisteme yerleştirilmiş yangın hidrantlarının yeraltı olanlarının yerüstü hidrantına dönüştürülmesi önerilmektedir. Böylelikle sistemde borular üzerinde daha fazla basınç ve debi ölçümlerinin gerçekleştirilmesi ve yerel yönetimler tarafından denetlenmesi mümkün olabilecektir.

4. Bu çalışmada incelenen su sistemi için CBS kullanılarak hazırlanmış içmesuyu sistemi veritabanının diğer altyapı sistemleri ve yerleşim birimleri için de oluşturulması ve bilginin güncelliğinin korunması tavsiye edilmektedir.
5. Sistemde görülen eksikliklere göre yapılabilecek her türlü yapısal değişiklikler hakkında yerel yönetimdeki yönetici, teknik eleman (inşaat mühendisi, çevre mühendisi, harita mühendisi) ve planlayıcılarla görüşmelerde bulunularak karar alınabilmesi ve uygulamaya geçirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ağuş M., 2011. Altyapı Bilgi Sistemleri ve Ülkemizde Uygulamalarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Aydın D., 2007. İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde CBS Tabanlı Su Kalitesi Yönetimi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 167 s.
- Bensghir T. K. ve Akay A., 2004. Ülkemizde Belediyelerin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanım Düzeyleri Üzerine Bir Araştırma, Yapı ve Kentte Bilişim'04 Kentte Dönüşüm, e-belediyecilik, e-mühendislik, e-kentlilik 3. Ulusal Kongresi, 2-3 Aralık 2004, Ankara.
- Bhave, P.R., 1988. Calibrating Water Distribution Network Models. Journal of Environmental Engineering, ASCE, 114, 120-136.
- Burrough, P.A., 1998. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford Press, New York, Amerika Birleşik Devletleri.
- Cesario, A.L. 1995. Modeling, Analysis and Design of Water Distribution Systems, Denver, Colo.: AWWA.
- Cesario, A.L., Davis, J.O., 1984. Calibrating Water System Models. Journal of American Water Works Association, AWWA, 76(7), 66-69.
- Clark, R.M., Grayman, W.M., Males, R.M., Coyle, J.A., 1986, Predicting Water Quality in Distribution Systems, Proceedings, AWWA Distribution System Symposium, Minneapolis, MN.
- Clark, R.M., ve Grayman, W.M, 1998. Modeling Water Quality in Drinking Water Distribution Systems, Denver CO:AWWA.
- Cross, H., 1936. "Analysis of Flow in Networks of Conduits or Conductors," University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin 286, Urbana, IL.

- Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI), 2011., MIKE URBAN WD-water distribution tutorial.
- deNeufville, R., Schaake, J., and Stafford, J. J., 1971. "Systems Analysis of Water Distribution Networks." Journal of Sanitary Engineering Division, ASCE, 97(6), 825.
- Dinç, O., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Teknolojisi ve Veri Analiz Yöntemleri Ders Notu. Çukurova Fen Bilimleri Enstitüsü Yayın Nı: FBE-2000-1. Adana.
- Durhasan, D., 2006. Baraj Göllerinden Su Temininde Derinliğin Su Kalitesine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 68 s.
- Egger, C.L., Polkowski, L.B., 1976. Network Models and the Impact of Modelling Assumptions. Journal of American Water Works Association, AWWA, 68(4), 189-186.
- Elektrik Mühendisleri Odası, 2012. Kontrol Sistemleri – SCADA, ISBN : 978-605-01-0421-9, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yayınları, 218 s., Kızılay Ankara.
- Elsheikh M. A., Saleh H. I., Rashwan I. M., El-Samadoni M. M., 2013. Hydraulic modelling of water supply distribution for improving its quantity and quality, Sustainable Environmental Research, 23(6), 403-411 (2013).
- ECAC (Engineering Computer Applications Committee), 1999. Calibration Guide Lines for Water Distribution System Modeling. Proceedings of AWWA 1999 ImTech Conference.
- Engineering Modeling Applications Committee of the American Water Works Association (AWWA), M32 Manual, 2012. Computer Modeling of Water Distribution System, Third Edition, Denver, USA.
- Gauthier, V., Besner, M.C., Barbeau, B., Millette, R. and Prévost, M., 2000. Storage Tank Management to Improve Drinking Water Quality: Case Study, J. Water Resour. Plng. and Mgmt., 126, 221-228.

- Grayman, W.M., Clark, R.M., Males, R.M., 1988, Modeling Distribution System Water Quality Dynamic Approach, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 114(3).
- Grayman, W.M., ve Rossman, L.A., 1994. Integrating a Network Model with an Expert System, Proceedings, AWWA Computer Conference, AWWA, Denver.
- İlbank Samsun Bölge Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı, 19 Mayıs (Samsun) İçmesuyu Projesi Açıklama Raporu, 1994.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Beşinci Değerlendirme Raporu (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change), Cambridge University Press, Cambridge, ABD.
- Karpuzcu M., 1996. Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, , Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, ISBN: 978-975-7663-10-7, 381 sayfa.
- Keskin E.M., İşitmezoğlu S., Türe A., 2006. Neden Altyapı Bilgi Sistemi?, 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, 13–16 Eylül / Fatih Üniversitesi/İstanbul-Türkiye.
- Larock B., E., Jeppson R., W., Watters G., Z., 1999. Hydraulics of Pipeline Systems, ISBN 0-8493-1806-8, 533 s., CRC Press LLC, Florida, ABD.
- Maguire, D. J., Goodchild, M, and Rhind, D.W., 1991. Geographic Information Systems: Principles and Applications. Longman/Wiley.
- Maraş, H., 1999. Coğrafi Veri Tabanı Güncelleştirmesine Yönelik Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mays, L. W., 2000. “Introduction,” Editör: L. W. Mays, Water Distribution Systems Handbook, McGraw-Hill, New York.
- McKenzie, R. 2001. Development of a pragmatic approach to evaluate the potential savings from pressure management in potable was distributions in South Africa: PRESMAC. Report TT152/01 published by the South African Water Research Commission ISBN No. 1 86845 722 2.

- Meier, R.W., Brakdoll, B.D., 2000. Sampling Design for Network Model Calibration Using Genetic Algorithms. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 126, 245-250.
- Merzi N., Şendil U., Yağız E., Poyraz S., Eker İ., 1999. Ankara N8 içmesuyu şebekesinin hidrolik modelinin kurulması, Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu, Adana, Türkiye, 18-20 Kasım.
- Morova N., 2006. Kent Bilgi Sistemi ve Uygulaması: Atabey Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü YLTezi, 103 sayfa, Isparta.
- Muslu, M., 2008. Çözümlü Problemlerle Su Temini ve Çevre Sağlığı, Su Vakfı Yayınları.
- Newbold J. R., 2009. Comparison and Simulation of a Water Distribution Network in EPANET and a New Generic Graph Trace Analysis Based Model, Yüksek Lisans Tezi, Virginia Polytechnic Enstitüsü, State Üniversitesi, Blacksburg, VA.
- Obradović, D., 2000. Modelling of demand and losses in real-life water distribution systems, *Urban Water*, 2, 131-139.
- Ormsbee, L. E., and Lingireddy, S., 1997. "Calibrating Hydraulic Network Models." *Journal of the American Water Works Association*, 89(2), 44.
- Ormsbee, L.E., Wood, D.J., 1986. Explicit Pipe Network Calibration. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 112, 166-182.
- Öziş, Ü., 1983. Su yapıları. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları.
- Öztürk, K., 2002. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri, G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22, Sayı 1 (2002) 47-65.
- Rossman, L.A., 2000. EPANET Version 2 Users Manual, Drinking Water Research Division, EPA, Cincinnati, OH.
- Şahin, B., 2000. "SCADA sistemlerinin incelenmesi ve elektrik dağıtım şebekelerine uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-68.
- Salgado, R., Todini, E. ve O'Connell, P.E. (1988). "Comparison of the gradient method with some traditional methods for the analysis of water supply

- distribution networks."Computer Applications in Water Supply, Research Studies Basım Ltd. Taunton, UK., 38-62.
- Savic, D. A., Kapelan, Z. and S., Jonkergouw, P.M.R., 2009. Quo Vadis Water Distribution Model Calibration?, Urban Water Journal, Taylor & Francis, 6(1), 3-22.
- Savic, D. A., Walters, G. A., 1995. Genetic Algorithm Techniques for Calibrating Network Models. Tech. Rep.95/12, Centre for Systems and Control Engineering, University of Exeter, UK.
- Shamir, U., Howard, C.D.D., 1977. Engineering Analysis of Water Distribution Systems. Journal of American Water Works Association, AWWA, 69(9), 510-514.
- Shamsi, U. M. (Uzair M.), 2005. GIS applications for water, wastewater, and stormwater systems, Chapter 12: Water Models, ISBN 0-8493-2097-6, CRC Press, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida, ss: 453.
- Speight, V., Khanal, N., 2009. Model Calibration and Current Usage in Practice, Urban Water Journal, Taylor & Francis, 6, 23-28.
- Swamee P., Sharma A., 2008. Design of Water Supply Pipe Networks, John Wiley & Sons, 362 s, USA.
- Tecim V., Coğrafi Bilgi Sistemleri: Harita Tabanlı Bilgi Yönetimi, 2008. 1. Baskı, ISBN: 978-605- 60047-0 -4, Renk Form Ofset Matbaacılık, 378 s., Ankara.
- Todini, E. ve Pilati, S. (1987). "A gradient algorithm for the analysis of pipe networks." Computer Applications in Water Supply, Research Studies Press Ltd., Taunton, UK., 1- 20.
- Topacık, D., ve Eroğlu, V., 1998. Su temini ve atıksu uzaklaştırılması uygulamaları. 3. baskı. İstanbul. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası. 552 s.
- Töreay G., Özdemir İ., Kurt T., 2010. ArcGIS 10.0 Desktop Uygulama Dökümanı, İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti, ISBN: 978-9944-5863-6-8, Ankara.
- Trifunović N., 2006., sonbaskı 2008. Introduction to Urban Water Distribution, Taylor & Francis Group, 527 s, London, UK.

- U. S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2005. Water Distribution System Analysis: Field Studies, Modeling and Management, A Reference Guide for Utilities, 84 s, Office of Research and Development National Risk Management Research Laboratory Water Supply and Water Resources Division Cincinnati Ohio.
- Uslu A., Bakan G., Şişman A., 2014. Employing Urban Information Systems for Water Distribution Systems, Energy and Environmental Engineering 2(6): 129-136, 2014, DOI: 10.13189/ eee.2014.020602.
- Usman, A., Powell, R.S., Sterling, M.J.H., 1988. "Comparison of colebrook-white and hazen-williams flow models in real-time water network simulation." Computer Applications in Water Supply, Research Studies Press Ltd. Taunton, UK., 21-37.
- Volk, C., Dundore, E., Schiermann, J., LeChevallier, M., 2000. "Practical Evaluation of Iron Corrosion Control in a Drinking Water Distribution System." Water Research, 34(6), 1967.
- Walski, T.M., 1983. Technique for Calibrating Network Models, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 109, 360-372.
- Walski, T. M., 1990. "Sherlock Holmes meets Hardy Cross". AWWA Journal , 82, 34-38.
- Walski, T. M., 1999. "Importance and Accuracy of Node Elevation Data." Essential Hydraulics and Hydrology, Haestad Press, Waterbury, Connecticut.
- Walski, T. M., 2000. "Hydraulic Design of Water Distribution Storage Tanks." Water Distribution System Handbook, Mays L. W., ed., McGraw Hill, New York, New York.
- Walski, T., 2001. Importance and accuracy of node elevation data. Current Methods, Vol. 1, No. 1, Haestad, Waterbury, CT.
- Walski, T.M., Chase, D.V., Savic, D.A., Grayman, W., Beckwith, S., Koelle, E., 2003. Advanced Water Distribution Modeling and Management, Haestad Press, Waterbury, CT
- Weijun, Z., 2001. Hamilton City – Water Distribution System Strategic Planning, Hamilton City Council, Hamilton, New Zealand.

- Wood, D.J. ve Charles, C.O.A., 1972. Hydraulic network analysis using Linear Theory., J. Hydr. Div. 98(7), 1157–1170.
- Wood, D.J., 1980, Computer Analysis of Flow in Pipe Networks. Department of Civil Engineering, University of Kentucky, Lexington, KY
- Wu, Z., and Walski, T., 2006, Pressure Dependent Hydraulic Modelling for Water Distribution Systems under Abnormal Conditions, IWA World Water Congress and Exhibition, 10-14 Sept., Beijing, China
- Yıldırım V., Nişancı, R., İnan H. İ., Yomralıoğlu T., Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Kentsel Amaçlı Acil Durum Yönetim Modeli: Trabzon Örneği, web.itu.edu.tr/tahsin/tahsin/Yayn_BildiriTR_files/B39.pdf, 11.09.2014.
- Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar, 5.Baskı (2009), s.480, ISBN 975-97369-0-X, İstanbul.
- Zecevic, G., 1998. Web based interface to SCADA system, POWERCON '98, 1998 International Conference On Power System Technology, August 18-2, Beijing, China.
- URL-1: http://www.ttb.org.tr/halk_sagligi/Sunum_ve_Secilen_Belgeler/toprak_ve_su_kaynaklarinin_kullanimi_dpt2007.pdf, (Ziyaret tarihi: 12.01.2010)
- URL-2: http://www1.akdeniz.edu.tr/muhfak/cevre/dersnot_dosyalar/Ders_3.ppt, (Ziyaret tarihi: 02.03.2010)
- URL-3: http://www.technologyuk.net/telecommunications/industrial_networks/scada.shtml, Ziyaret tarihi:10.11.2014
- URL-4: <http://www.aacounty.org/dpw/Engineering/FireFlow.cfm#.VGD5jvmsVrg>, Ziyaret tarihi: 10.09.2014
- URL-5: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>, Ziyaret tarihi: 15.09.2014
- URL-6: <http://www.innovyze.com/products/h2onet/>, Ziyaret tarihi: 15.09.2014
- URL-7: <http://www.kypipe.com/kypipe>, Ziyaret tarihi: 16.09.2014
- URL-8: <http://www.rehm.de/produkte/waterpac/cross/default.aspx>, Ziyaret tarihi: 16.09.2014
- URL-9: <http://www.bentley.com/>, Ziyaret tarihi: 17.09.2014

- URL-10: <http://www.mikebydhi.com/products/mike-urban>, Ziyaret tarihi: 17.09.2014
- URL-11: <http://www.19mayis.gov.tr>, T.C 19 Mayıs İlçe Kaymakamlığı resmi web sitesi, Ziyaret tarihi: 18.09.2014
- URL-12: http://tr.wikipedia.org/wiki/19_Mayıs_Samsun, Vikipedi özgür ansiklopedi, Ziyaret tarihi: 15 Eylül 2014
- URL-13: <http://www.tuik.gov.tr>, Türkiye İstatistik Kurumu. 15 Şubat 2014 tarihinde özgün kaynağından arşivlendi. Ziyaret tarihi: 15 Şubat 2014
- URL-14: www.mevzuat.gov.tr, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007, Ziyaret tarihi: 29.10.2014
- URL-15: <http://www.19mayis.bel.tr/kent-rehberi/ilce-haritasi>, 19 Mayıs Belediyesi İlçe Haritası, Ziyaret tarihi: 20.10.2014

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşenur USLU

Doğum Yeri ve Tarihi : Samsun/21.04.1981

E-Posta : auslu@omu.edu.tr

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mesleki Deneyim ve Ödüller : 2005-2014 arası Araştırma Görevlisi

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR:

Uslu A., Bakan G., 2010. Su Dağıtım Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi, 1. Ulusal Su Kaynakları Yönetimi Sempozyumu, 20-22 Ekim, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi/ KARAMAN.

Uslu A., Bakan G., 2012. Modelling of potable water distribution systems, 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, 17-19 Ekim, Middle East Technical University (Ortadoğu Teknik Üniversitesi) , Ankara, Turkey, ACE2012

Uslu A., Bakan G., 2014. Calibration of Water Distribution System Models, ICESA 2014 International Civil Engineering & Architecture Symposium for Academicians, 17-20 May, ICESA14/02/037, Side-ANTALYA.

Reference Number: 963

Uslu A., Bakan G., Şişman A., 2014. Employing Urban Information Systems for Water Distribution Systems, Energy and Environmental Engineering 2(6): 129-136, 2014, DOI: 10.13189/ eee.2014.020602.