

**ÇEŞİTLİ SİMÜLASYON MODELLERİ VE
ALGORİTMALARI KULLANILARAK İSTEK YÖNTEMİ
İLE İŞLETİLEN BASINÇLI SULAMA SİSTEMLERİNİN
PERFORMANS ANALİZİ VE REHABİLİTASYONU**

Ezgi KURTULMUŞ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEŞİTLİ SİMÜLASYON MODELLERİ VE ALGORİTMALARI
KULLANILARAK İSTEK YÖNTEMİ İLE İŞLETİLEN BASINÇLI SULAMA
SİSTEMLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ VE REHABİLİTASYONU**

Ezgi KURTULMUŞ
0000-0003-2535-2566

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
(Danışman)

DOKTORA
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora

ÇEŞİTLİ SİMÜLASYON MODELLERİ VE ALGORİTMALARI KULLANILARAK İSTEK YÖNTEMİ İLE İŞLETİLEN BASINÇLI SULAMA SİSTEMLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ VE REHABİLİTASYONU

Ezgi KURTULMUŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Bu tez çalışması kapsamında, Bursa İli Mustafakemalpaşa İlçesinde bulunan, 5377 ha'lık sulama alanına sahip ve istek yöntemiyle işletilen Güllüce-Döllük ve Devecikonağı basınçlı sulama sistemlerinin performanslarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Basınçlı sulama şebekelerinin tasarım ve performans analizine yönelik kullanılan EPANET ve COPAM hidrolik simülasyon yazılımları ile şebekelerin analizleri yapılmıştır. Ayrıca, basınçlı sulama şebekelerinin EPANET analizlerinin CBS teknolojileri ile bütünleştirilerek yapılabilmesi ve tasarımcı, analizci ve sulama mühendislerine daha rahat bir çalışma ortamı ve kullanımı kolay bir yazılım sunabilmek üzere bir CBS yazılımı olan QGIS için bir eklenti geliştirilmiştir. Güllüce-Döllük sulama projesinde EPANET ve COPAM simülasyon yazılımları ile yetersizlikler tespit edilmiştir. EPANET hidrolik analizinde şebeke hidrantlarının mevcut koşullarında %80'den fazlasının yetersizliklere sahip olduğu saptanmıştır. Buna karşılık proje mevcut koşullarında COPAM yazılımıyla elde edilen hidrolik analiz sonuçları, hidrantların yaklaşık %90'ının yeterli olduğunu önermiştir. Devecikonağı sulama şebekesinin hidrolik analizinde ise EPANET ve COPAM yazılımlarının oldukça benzer sonuçlar ürettiği saptanmıştır. Ayrıca bu sulama şebekesinde tespit edilen yetersizliklere bir çözüm olarak kısıtlı istek yöntemi esaslı bir çözüm önerilmiştir. Çarpıcı bir bulgu olarak EPANET ve COPAM analiz sonuçlarının büyük şebekelerde farklılıklar gösterebildiği, daha küçük sulama şebekelerinde ise iki modelin oldukça benzer sonuçlar verdiği saptanmıştır. Basınçlı sulama sistemlerinin tasarımında ve işletilmesinde yazılım modellerinin kullanılması, olası insan hatalarını önleyebilir. CBS yazılımlarının belirli bir coğrafi datum ile izdüşüm, koordinat konumlama, datuma göre konumlar arası uzunlukların uygun referans elipsine göre hesaplanabilmesi, konum yüksekliklerinin bir katmandan otomatik okunabilmesi ve yersel veri tabanı sorgulama gibi özellikleri, hidrolik yazılım modelleri ile birleştirildiğinde sulama mühendisleri için çok daha iyi bir tasarım ve analiz ortamı sunulabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı sulama şebekeleri, performans analizi, EPANET, COPAM, QGIS

2021, xii + 154 sayfa

ABSTRACT

Ph.D Thesis

PERFORMANCE ANALYSIS AND REHABILITATION OF PRESSURIZED
IRRIGATION SYSTEMS OPERATED BY ON-DEMAND METHOD USING
VARIOUS SIMULATION MODELS AND ALGORITHMS

Ezgi KURTULMUŞ

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Within the scope of this dissertation, the performance of Güllüce-Döllük and Devecikonağı pressurized irrigation systems, which are located in Mustafakemalpaşa District of Bursa, serving a total of 5377 ha of irrigated area and are operated by on-demand method, were determined and evaluated. Analyzes of the examined networks were made with EPANET and COPAM hydraulic simulation software used for the design and performance analysis of pressure irrigation networks. Moreover, a plugin for QGIS, a geographic information system software, was developed to perform EPANET analyzes of pressurized irrigation networks by integrating with GIS technologies and to provide a more comfortable working environment and easy-to-use software for designers, analysts and irrigation engineers. In the Güllüce-Döllük irrigation project, deficiencies were detected with both EPANET and COPAM hydraulic simulation software. In the EPANET hydraulic analysis, it was determined that more than 80% of the network hydrants had deficiencies in their current conditions. On the other hand, the hydraulic analysis results obtained with the COPAM software in the current conditions of the project suggested that approximately 90% of the hydrants in the network are sufficient. In the hydraulic analysis of Devecikonağı irrigation network, it was determined that EPANET and COPAM hydraulic simulation software gave very similar results. In addition, a solution based on the semi-arranged on-demand method was proposed as a solution to the deficiencies identified in this irrigation network. As a striking finding in the study, it was determined that the results of EPANET and COPAM analysis may differ in large networks, while the two models give very similar results in small irrigation networks. The use of computer-aided software models during the design and operation of pressure irrigation systems can prevent possible human errors. GIS software has; When integrated with hydraulic models, features such as projection with a geographic datum, coordinate positioning, calculation of the lengths between locations according to the datum with the appropriate reference ellipse, automatic reading of location heights from a layer, and querying a spatial database provide a better design and analysis environment, and solution for irrigation engineers.

Key Words: Pressurized irrigation networks, performance analysis, EPANET, COPAM, QGIS

2021, xii + 154 pages.

TEŐEKKÜR

Tez alışmam sırasında, bilgi ve tecrübeleriyle bana her zaman destek olan başta danışmanım Sayın Prof. Dr. Ali Osman DEMİR, tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Hayrettin KUŐCU ve Sayın Prof. Dr. Serdar KORKMAZ hocalarıma, bu zorlu süreçte yardım ve sevgisini her daim hissettiğim kıymetli eşim Doç. Dr. Ferhat KURTULMUŞ'a, bana moral kaynağı olan çalışma arkadaşlarım Araç. Gör. Bilge ARSLAN'a ve Araç. Gör. Seyit UĞUZ'a en içten duygularıyla teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan annem Saniye KABERLİ'ye, babam İsmail KABERLİ'ye ve bu süreçte yeterince ilgilenemediğim moral kaynaklarım, canım kızlarım Zeynep KURTULMUŞ ve Sare KURTULMUŞ'a teőekkürü bir borç bilirim.

Araç. Gör. Ezgi KURTULMUŞ

12/11/2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Basıncılı Sulama Sistemleri.....	5
2.1.1. Tasarım süreçleri.....	6
2.1.2. İşletim Yöntemleri.....	10
2.1.3. İstek Yöntemi ile İşletilen Basıncılı Sulama Sistemlerinin Performans Analizi....	11
2.2. Önceki Çalışmalar.....	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	39
3.1. Materyal.....	39
3.1.1. Çalışma Alanının Tanıtılması.....	39
3.1.2. Bursa Mustafakemalpaşa Güllüce-Döllük İstek Yöntemi ile İşletilen Basıncılı Sulama Sistemi.....	42
3.1.3. Bursa Mustafakemalpaşa Devecikonağı İstek Yöntemi ile İşletilen Basıncılı Sulama Sistemi.....	43
3.1.4. Kullanılan Model ve Bilgisayar Yazılımları.....	45
3.2. Yöntem.....	49
3.2.1. EPANET.....	49
3.2.2. COPAM.....	53
3.2.3. QGIS Eklenti Geliştirme.....	59
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	67
4.1. QGIS-EPANET Tümlşik Analiz Bulguları.....	67
4.1.1. Güllüce-Döllük Sulama Projesi.....	67
4.1.2. Kısıtlı İstek Senaryosu Güllüce Hattı.....	83
4.1.3. Kısıtlı İstek Senaryosu Döllük Hattı.....	99
4.1.4. Güllüce-Döllük Sulama Projesi İşletiminin Rehabilitasyonu.....	113
4.1.5. Devecikonağı Sulama Projesi.....	114
4.2. COPAM Analiz Bulguları.....	120
4.2.1. Güllüce-Döllük Sulama Projesi.....	120
4.2.2. Kısıtlı İstek Senaryosu Güllüce Hattı.....	122
4.2.3. Kısıtlı İstek Senaryosu Döllük Hattı.....	124
4.2.4. Devecikonağı Sulama Projesi.....	126
4.3. Tartışma.....	130
5. SONUÇ.....	137
KAYNAKLAR.....	139
EKLER.....	145
EK 1 Boru düğüm noktalarını otomatik olarak numaralandıran fonksiyon.....	146
EK 2 INP dosya içeriğini üreten fonksiyon.....	148
EK 3 Sulama şebekesi verisini çözümleyerek analiz sonuçlarını birer CBS katmanı olarak üreten Python fonksiyonları.....	150
ÖZGEÇMİŞ.....	154

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
ET_c	Bitki su tüketimi
ET_o	Referans bitki su tüketimi
ET_p	Potansiyel bitki su tüketimi
k_c	Bitki katsayısı
d_n	Bitki su tüketiminin sulama suyu ile karşılanacak miktarı
r	Etkili yağış
d_t	Kaynaktan saptırılacak toplam sulama suyu miktarı
E_a	Su uygulama randımanı
E_c	Su iletim randımanı
q	Sulama modülü
T	Sulama süresi
Q	Debi
A_i	Boru veya kanalın kesit alanı
V_i	Boru veya kanaldaki akışkanın ortalama akış hızı
g	Yerçekimi ivmesi
P	Basınç
Z	Yükseklik
h_f	Sürtünme veya türbülans kaynaklanan yük kaybı
Pa	Pascal
kPa	Kilo pascal
C	Sürtünme kaybı katsayısı
Re	Reynolds katsayısı
d_m	Boru iç çapı
f	Sürtünme faktörü
L	Boru uzunluğu
n	Manning'in pürüzlülük katsayısı
A	Boru kesit alanı
R	Hidrolik yarıçap
ha	Hektar
l	Litre
s	Saniye
m	Metre
N	Düğüm noktası sayısı
g_{ij}	Akışa göre i ve j düğümleri arasındaki boru hattındaki yük kaybının birinci türevi
γ	Bazin'in pürüzlülük parametresi
α_j	j hidrantının güvenilirliği

Kısaltmalar	Açıklama
HDPE	Yüksek yoğunluklu Polietilen
TPSP	Katılım Basıncı Simülasyon Programı
COPAM	Sınıflandırılmış karakteristik eğriler modeli
EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu
GA	Genetik Algoritma
LP	Doğrusal programlama
FLP	Bulanık doğrusal programlama
DSİ	Devlet Su İşleri
HRI	Hidrant risk göstergesi
RPE	Bağıl basınç aşımı
GGA	Küresel Gradyan Algoritması
CTP	Cam elyaf takviyeli polietilen
RPD	Bağıl basınç eksikliği
CBS	Coğrafi bilgi sistemleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Sulama yöntemlerinin sınıflandırılması.....	5
Şekil 2.2. Basınçlı su dağıtım şebekelerinde su hızı ve basınç arasındaki ilişki (Kara 2011)	16
Şekil 2.3. Topoğrafyanın şebekeye etkisi	17
Şekil 3.1. Devecikonağı Barajı	40
Şekil 3.2. Güllüce-Döllük ve Devecikonağı basınçlı sulama sistemlerinin planı.....	41
Şekil 3.3. Güllüce-Döllük basınçlı sulama sisteminin planı.....	43
Şekil 3.4. Devecikonağı basınçlı sulama sisteminin planı.....	44
Şekil 3.5. COPAM programının açılış sayfası.....	46
Şekil 3.6. COPAM programının akış diyagramı (Lamaddalena ve Sagardoy (2000). ...	47
Şekil 3.7. COPAM programının analiz sayfası.....	48
Şekil 3.8. Programa proje verilerinin girilmesi.....	49
Şekil 3.9. Bir hidrantın karakteristik eğrisi (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000).....	54
Şekil 3.10. Bir sulama sisteminin hidrolik performansının temsili noktalarının şematik görünümü (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000)	55
Şekil 3.11. Karakteristik eğriler modülü.....	57
Şekil 3.12. Çalışmada geliştirilen EPAGEN QGIS eklentisinin (a) ana penceresi ve (b) QGIS arayüzü.....	61
Şekil 3.13. Bağlantı kavşakları katmanı öznelik tablosu.....	63
Şekil 3.14. Boru katmanı öznelik tablosu.....	63
Şekil 3.15. QGIS programında proje boru çapları girişi.....	64
Şekil 4.1. Mevcut koşullarda sulama sisteminin EPANET hidrolik analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	68
Şekil 4.2. Mevcut koşullar için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları	68
Şekil 4.3. Mevcut koşullarda EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi .	69
Şekil 4.4. Mevcut koşullarda EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	70
Şekil 4.5. Mevcut koşullarda EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	70
Şekil 4.6. Talep katsayısı 0,9 için sulama sisteminin EPANET hidrolik analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı.....	72
Şekil 4.7. Talep katsayısı 0,9 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları	72
Şekil 4.8. Talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	73
Şekil 4.9. Talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	74
Şekil 4.10. Talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	74
Şekil 4.11. Talep katsayısı 0,8 için sulama sisteminin EPANET analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	76
Şekil 4.12. Talep katsayısı 0,8 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları	76

Şekil 4.13. Talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	77
Şekil 4.14. Talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	78
Şekil 4.15. Talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	78
Şekil 4.16. Talep katsayısı 0,7 için sulama sisteminin EPANET analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	80
Şekil 4.17. Talep katsayısı 0,7 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları	80
Şekil 4.18. Talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	81
Şekil 4.19. Talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	82
Şekil 4.20. Talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	82
Şekil 4.21. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı için sulama sisteminin EPANET analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	84
Şekil 4.22. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları	84
Şekil 4.23. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	85
Şekil 4.24. Kısıtlı istek Güllüce Hattı mevcut koşullar için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	86
Şekil 4.25. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	86
Şekil 4.26. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,9 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	88
Şekil 4.27. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,9 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları	88
Şekil 4.28. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	89
Şekil 4.29. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	90
Şekil 4.30. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	90
Şekil 4.31. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,8 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	92
Şekil 4.32. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,8 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları	92
Şekil 4.33. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	93
Şekil 4.34. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	94
Şekil 4.35. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	94
Şekil 4.36. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,7 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	96

Şekil 4.37. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,7 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları.....	96
Şekil 4.38. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	97
Şekil 4.39. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	98
Şekil 4.40. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	98
Şekil 4.41. Kısıtlı istekle Döllük Hattı için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	100
Şekil 4.42. Kısıtlı istekle Döllük Hattı için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları	100
Şekil 4.43. Kısıtlı istekle Döllük Hattı için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi.....	101
Şekil 4.44. Kısıtlı istekle Döllük Hattı için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili.....	102
Şekil 4.45. Kısıtlı istekle Döllük Hattı için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	102
Şekil 4.46. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,9 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	103
Şekil 4.47. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,9 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları.....	104
Şekil 4.48. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	104
Şekil 4.49. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	105
Şekil 4.50. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	105
Şekil 4.51. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,8 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	106
Şekil 4.52. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,8 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları.....	107
Şekil 4.53. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	107
Şekil 4.54. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	108
Şekil 4.55. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	108
Şekil 4.56. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,7 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı	110
Şekil 4.57. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,7 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları.....	110
Şekil 4.58. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	111
Şekil 4.59. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili	112
Şekil 4.60. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	112

Şekil 4.61. Güllüce-Döllük sulama şebekesi kısıtlı ve tam talep senaryolarının grafiksel özeti.....	113
Şekil 4.62. Devecikonağı Sağ Sahil şebekesi mevcut koşullarında sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı.....	115
Şekil 4.63. Devecikonağı Sağ Sahil şebekesi mevcut koşulları için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları.....	115
Şekil 4.64. Devecikonağı Sağ Sahil şebekesi mevcut koşulları için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi.....	116
Şekil 4.65. Devecikonağı Sağ Sahil şebekesi mevcut koşulları için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	116
Şekil 4.66. Devecikonağı Sol Sahil şebekesi mevcut koşullarında sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı.....	118
Şekil 4.67. Devecikonağı Sol Sahil şebekesi mevcut koşulları için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları.....	118
Şekil 4.68. Devecikonağı Sol Sahil şebekesi mevcut koşulları için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi.....	119
Şekil 4.69. Devecikonağı Sol Sahil şebekesi mevcut koşulları için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı	119
Şekil 4.70. Güllüce-Döllük sulama projesinde yetersiz basınca konu olan hidrantlar .	121
Şekil 4.71. Güllüce-Döllük sulama projesi hidrant numaralına karşılık güvenilirlik değerleri.....	122
Şekil 4.72. Güllüce sulama projesi yetersiz basınca konu olan hidrantlar.....	123
Şekil 4.73. Güllüce sulama projesi hidrant numaralına karşılık güvenilirlik değerleri	124
Şekil 4.74. Döllük sulama projesi yetersiz basınca konu olan hidrantlar	125
Şekil 4.75. Döllük sulama projesi hidrant numaralına karşılık güvenilirlik değerleri..	126
Şekil 4.76. Devecikonağı Sağ Sahil sulama projesi yetersiz basınca konu olan hidrantlar	127
Şekil 4.77. Devecikonağı Sağ Sahil sulama projesi hidrant numaralına karşılık güvenilirlik değerleri.....	128
Şekil 4.78. Devecikonağı Sol Sahil sulama projesi yetersiz basınca maruz kalan hidrantlar	129
Şekil 4.79. Devecikonağı Sol Sahil sulama projesi hidrant numaralına karşılık güvenilirlik değerleri.....	130
Şekil 4.80. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı COPAM ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	131
Şekil 4.81. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı mevcut koşullar için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	131
Şekil 4.82. Kısıtlı istekle Döllük Hattı EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	132
Şekil 4.83. Kısıtlı istekle Döllük Hattı COPAM ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	132
Şekil 4.84. Kısıtlı istekle Devecikonağı Sol Sahil Hattı EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	133
Şekil 4.85. Kısıtlı istekle Devecikonağı Sol Sahil Hattı COPAM ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	133
Şekil 4.86. Kısıtlı istekle Devecikonağı Sağ Sahil Hattı EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi	134

Şekil 4.87. Kısıtlı istekle Devecikonağı Sağ Sahil Hattı COPAM ile elde edilen hidrantlardaki basınç değışimi 134

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Boru tipleri için sürtünme katsayıları (Rossman ve ark., 2020).....	15
Çizelge 3.1. RPD ve Güvenilirlik değerlerinin yorumlama aralıkları (Lamaddalena ve ark., 2015)	59
Çizelge 3.2. EPANET analizlerinde kullanılan birimler	65

1. GİRİŞ

Dünyada tarımsal su kullanımı toplam tüketimin %70'ini oluşturmakta ve 2,1 milyardan fazla insanın güvenli içme suyu kaynaklarını tehdit etmektedir (Heitzinger ve ark., 2020; Cao ve ark., 2021). Tarımda güvenli su kullanımını sınırlayıcı faktörler, evsel kullanım ve sanayi için artan su talebi, küresel iklim değişikliği nedeniyle yağış rejimindeki düzensizlikler, kullanılabilir su kaynaklarının kirlenmesi ve su kaynaklarının kurumasıdır. Artan küresel ısınma sorunu, son yıllarda tarımda verimli su kullanımı ile ilgili soruları gündeme getirmiştir. Milyarlarca insanın içme suyuna güvenli erişimini tehdit eden aşırı tarımsal amaçlı su kullanımının kısa sürede sınırlandırılması veya daha verimli hale getirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'ya göre, 2050 yılına kadar gıda talebini karşılamak için mevcut tarım arazilerinin verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Bu hedefi başarmak ve gelecekteki kıtlığı önlemek için üretim artışı yanında mutlaka su da dâhil olmak üzere doğal kaynakların verimli kullanımı ve korunması gerekmektedir. (FAO, 2009; FAO, 2017; Xinchun ve ark., 2017). Dünyada mevcut su varlığı; 1,4 milyar km³ tür. Dünyanın yıllık yağış ortalaması 1000 mm iken, Türkiye'nin 1970-2015 yılları arasında yıllık ortalama yağış miktarı 624.6 mm'dir (Tipi ve ark., 2017). Gelişmiş ülkelerde su kaynaklarının %39'u, gelişmekte olan ülkelerde %52'si, Türkiye'de ise %72'si tarımsal amaçlarla kullanılmaktadır (Anonim, 2020). Ülkemiz için geleceğe yönelik yapılan birçok projeksiyonda önümüzdeki yıllarda yıllık yağış miktarlarının azalacağı ve kuraklık sorunu ile yüzleşileceği öngörülmektedir (Çakmak ve Gökalp, 2013; Gönen, 2020). Su kaynaklarının sınırlı olması, üreticilerin kısıntılı sulama yapmalarına neden olmaktadır.

Artık çağdaş teknolojileri kullanan sulama; bitkilerin gereksinim duydukları, ancak doğal yollarla elde edilemeyen suyun, bitkinin kök bölgesine yapay yollarla ve kontrollü verilmesi olarak tanımlanmaktadır (Çevik ve Tekinel, 1995; Kara, 2005). Artan insan nüfusunun gıda talebini karşılayabilecek kapasitede tarım ürünlerinin yetiştirilebilmesi için günümüzde kuru tarım uygulamaları yetersiz kalırken sulu tarım sistemleri giderek yaygınlaşmaktadır. Modern bir tarımda uygulanmakta olan sulama ile

gübreleme olanakları artmakta, iklim koşullarına olan bağımlılık azaltmaktadır. Sulu tarımda yıllar arasındaki üretimde görülen değişkenlikler kuru tarım yöntemine göre daha azdır. Sulama ile tarımda verim artışı sağlanmasıyla birlikte, ürün deseninin değiştirilmesi ve ikinci, hatta üçüncü ürünün üretilmesi başarılabilmektedir.

Tarım arazilerindeki su şebekelerinde suyun en verimli bir şekilde iletilmesi ve araziye ulaştırılabilmesi suyun etkin kullanımı bakımından büyük önem taşımaktadır. Sulama şebekelerinde suyun etkin kullanılmamasının en önemli nedenlerinden biri, iletim sırasında su kayıplarının çok yüksek olmasıdır. Ülkemizde ve dünyada tarım arazilerinde su iletimi ve dağıtımı için geçmiş dönemlerde açık kanal sistemleri kullanılmıştır. Ancak bu sistemlerin sahip olduğu aşırı su kayıpları nedeniyle günümüzde basınçlı borulu sulama sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Basınçlı sulama sistemlerinde üretim sahasına sulama için gerekli olan suyun; bir gölet, akarsu ve kuyu vb. kaynaktan bir sulama sistemi aracılığı ile önce hidrantlara oradan da bitkilere ulaştırılması gerekmektedir. Gerçekleştirilen birçok çalışmada, borulu su iletim kanallarına sahip sulama şebekelerinin kullanımının birim sulama alanına dağıtılan toplam sulama suyu miktarını azalttığı kanıtlanmıştır. Açık kanallar en fazla %60-70'lik bir iletim verimliliği sağlayabilirken, basınçlı borulu şebekeler için bu değer %100'e yakın olabilir (Diaz ve ark., 2009; Kartal ve ark., 2019a).

Basınçlı borulu su dağıtım sistemlerinin bir diğer önemli avantajı ise talep esnekliğidir. Açık kanallı sistemlerde kullanıcılar su kullanım süre ve miktar taleplerini önceden belirlemeleri gerekirken, basınçlı borulu şebekelerin genellikle istek işletim yöntemine göre düzenlenebilmesi, çiftçiler için sürekli kullanıma hazır suyun bulunabilmesine olanak sağlamaktadır (Rodríguez-Díaz ve ark., 2007; Pulido-Calvo ve Gutierrez-Estrada, 2009; Plusquellec, 2009). Bu nedenlerle, ülkemiz dâhil birçok ülkede mevcut açık kanallı sulama sistemlerinin modernizasyonu birçok bölgede gerçekleştirilmiş veya çalışmalar devam etmektedir. Avrupa ve Akdeniz ülkelerinde açık kanallı su dağıtım sistemlerini basınçlı sistemlere dönüştürmek amacıyla büyük yatırımlar yapılmaktadır (FAO, 2014; Khadra ve ark., 2016).

Basınçlı sulama sistemlerinin tasarımı karmaşık ve zaman alıcı bir süreçtir. Basınçlı sulama sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri de nispeten yüksektir. Yanlış veya uygun olmayan bir tasarım; belirli bir su talebi olan tarım arazisinde yetersiz sulamaya ve verim kaybına, suyun ve enerjinin israf edilmesine ve büyük inşaat yatırım israflarına neden olabilmektedir (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000). Bir basınçlı sulama dağıtım sisteminin en uygun tasarımı için hidrantlarda farklı hidrolik talep yaklaşımlarını (basınç veya debi odaklı) hedef alan modeller geliştirilmiştir. Bu çalışmaların birçoğuna daha sonra “Önceki Çalışmalar” başlığı altında değinilmiştir. Hangi yaklaşım ele alınırsa alınsın mühendislerin büyük ve karmaşık basınçlı sulama projelerini tasarlarlarken CBS ve bilgisayar teknolojilerinin sağladığı avantajlardan birlikte yararlanabilmesi, tasarım hatalarını en aza indirerek zamansal ve maddi kayıpların önüne geçilmesini sağlayabilir. Detaylı kaynak araştırması, bu tip tümleşik teknolojilerin eksikliğini göstermiştir.

Özellikle istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemlerinin tasarımı ve performans analizi büyük önem taşımaktadır. Bu amaca yönelik günümüzde az sayıda analiz yazılımı bulunmaktadır. İstek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemlerinin performans analizlerini gerçekleştirmeye yönelik farklı araştırmacıların geliştirdikleri; COPAM (Lamaddalena, 2000), EPANET (Rossman ve ark., 2020), GESTAR (Estrada ve ark., 2009) ve ICARE (Bethery, 1990) gibi yazılımların kendine özgü modelleme ilkeleri bulunmaktadır. Özellikle EPANET ve COPAM birçok araştırmacı tarafından en yaygın olarak kullanılan yazılımlardır (Cisty, 2008; Fouial ve Diaz, 2021; Ferrarese ve ark., 2021). Buna rağmen bu iki analiz modelinin aynı sulama şebekeleri için kullanılarak sonuçlarının değerlendirildiği çalışmaların eksikliği dikkat çekmektedir.

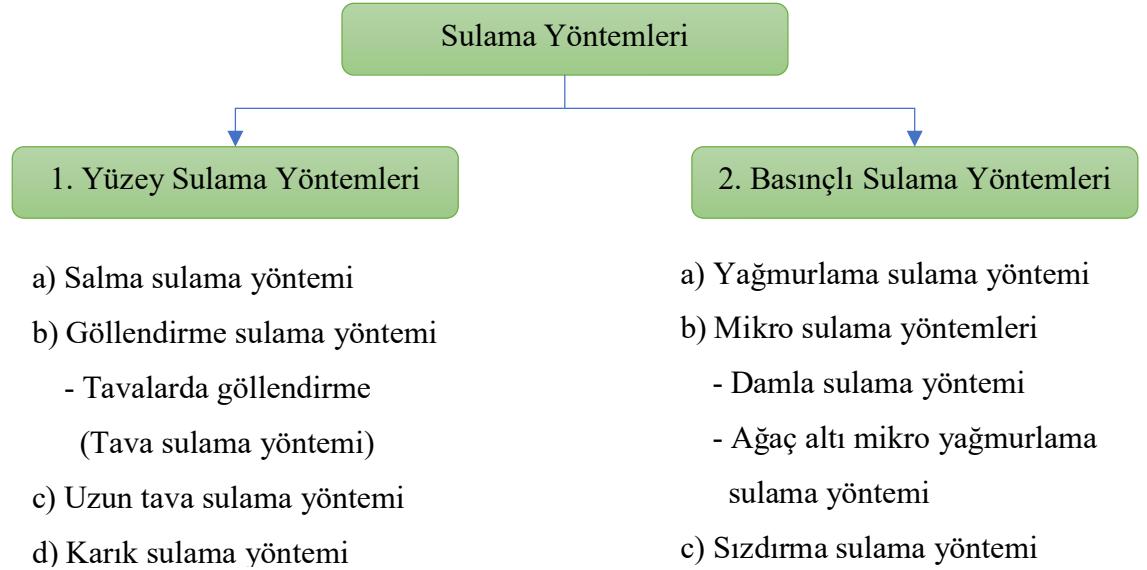
Bu tez çalışmasındaki amaç, modern su işletim yöntemi olan istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemlerinin tasarım ve rehabilitasyonuna yönelik EPANET ve COPAM bilgisayar modellerini karşılaştırmak, istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekelerinin hidrolik analizlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri ile bütünleştirilerek yapılabilmesi ve tasarımcı, analizci ve sulama mühendislerine daha hızlı, kullanıcı dostu ve konforlu bir çalışma ortamı sunabilmek üzere bir tümleşik performans analizi yazılımı geliştirmektir. Bu amaçla, bir durum incelemesi olarak bu

Çalışmada Bursa'nın Mustafakemalpaşa İlçesi'nde bulunan DSI tarafından projesi ve inşaati gerçekleştirilen kapsamlı bir basınçlı sulama şebekesi farklı senaryolar ve bilgisayar modelleri ile analiz edilerek incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Basınçlı Sulama Sistemleri

Sulama genel bir tanımla, bitkilerin normal gelişmesi için gerekli olan, fakat doğal yollarla karşılanamayan suyun, zamanında ve randımanlı bir biçimde toprağa verilmesidir. Bitkilerin yetişme devrelerinde gerekli olan sulama suyu, sulamanın yapılacağı yerin koşullarına göre, belirli bir yöntemle toprağa verilir. Sulama yöntemi, sulama suyunun toprağın bitki kök bölgesine verilme biçimini ifade eder. Sulama suyunun toprağa verilmesinde, belli başlı; yüzey ve basınçlı sulama yöntemleri uygulanmaktadır (Şekil 2.1). Suyun kaynaktan alınıp tarla başına kadar getirilmesi bir sulama sistemi ile yapılmaktadır. Sulamaya açılacak bir alanda önce, koşullara en uygun olan sulama yöntemi belirlenir. Sonra, bu yöntemin gerektirdiği sulama sistemi oluşturulur (Yıldırım, 2008).



Şekil 2.1. Sulama yöntemlerinin sınıflandırılması

Son yıllarda sulu tarımda karşılaşılan en önemli problemlerden birisi, aşırı su ve enerji kullanımınıdır. Özellikle, son yıllarda artan küresel ısınma problemi tüm ilgiyi tarım sektörü üzerine çevirmiştir. Küresel ısınmanın sonucu olarak su kaynaklarında ciddi bir azalma söz konusudur. Bu sebeple, bu kaynakların daha verimli kullanılması gerekmektedir (Barutçu, 2011).

Tarımda üretimin ve verimliliğin artırılması için sırasıyla, sulanabilecek alanların tamamının sulanması ve suyun etkin kullanımının sağlanması gerekmektedir. Sulama şebekelerinde suyun etkin kullanılmamasının başlıca nedenlerinden biri, şebekelerde su kayıplarının çok yüksek olmasıdır. Bu gerçeğin ışığında, öncelikle tarımda su tasarrufu sağlayıcı önlemler alınması gerekmektedir. Bu önlemler fiziksel ve yönetsel olarak iki farklı grupta toplanabilir. Fiziksel olarak öncelikle su kayıplarını en aza indirecek su iletim ve dağıtım sistemlerinin tesis edilmesi, bu amaçla, yeni inşa edilecek sulama projelerinde açık kanal sistemleri yerine borulu sistemlerin yapılması bir zorunluluk olarak görülmektedir (Çakmak ve Aküzüm, 2006).

Sulu tarımda, açık kanallara oranla önemli avantajlara sahip olan basınçlı sulama sistemlerinin son zamanlarda oldukça yaygınlaşmış olduğu bilinmektedir. Geleneksel sulama suyu dağıtım sistemlerinde sudan herkesin eşit bir şekilde yararlanabilmesini sağlamak amacıyla, bazı rotasyon ölçütlerine göre su dağıtımını gerçekleştirilmekteyse de, yine de bazı sorunlar meydana gelmektedir. Bazı bitkiler gereksinim duyduğu zaman sulanamamakta, bu nedenle verim kaybı oluşabilmektedir (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000). Basınçlı sulama sistemleri çiftlik düzeyinde daha verimli su kullanımını temin etmekte ve kayıpları minimum düzeyde tutmaktadır (Barutçu, 2011). Dolayısıyla, aynı su miktarı ile daha geniş alanlar sulanabilmekte ve bu sistemlerde iletilen su miktarının ölçülmesi daha kolay ve doğru bir biçimde gerçekleştirilmektedir.

2.1.1. Tasarım süreçleri

Basınçlı sulama sistemini planlarken, hidrant düzeyinde bitkilerin gereksinim duyduğu su miktarının belirlenmesi gerekir. Bir sulama şebekesinin hizmet ettiği sulama alanındaki sulama suyu ihtiyacının belirlenebilmesi için, bitki su tüketimi ve etkili yağış yanında, suyun kaynaktan alınması ile bitki kök bölgesinde depolanması arasındaki aşamalarda değişik nedenlerle kaybolan su miktarının, diğer bir deyişle sulama randımanının belirlenmesi zorunludur. Böylelikle, bir sulama alanındaki her bitkinin kök bölgesinde değişik dönemlerde depolanacak sulama suyu miktarı ve bu miktarın depolanması için kaynaktan saptırılacak olan sulama suyu miktarı hesaplanabilir.

Bitki su tüketimi (evapotranspirasyon), toprak yüzeyinden olan buharlaşma (evaporasyon) ile bitki yapraklarından olan terleme (transpirasyon) yoluyla atmosfere verilen toplam su miktarıdır (mm). Bitki su tüketiminin en çok olduğu aya ilişkin değerler, sulama sisteminin kapasitesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Uygulamada bitki su tüketiminin elde edilmesinde yaygın olarak şu yol izlenir; yalnızca, iklim değerlerinin etkili olduğu bir potansiyel bitki su tüketimi tanımlanmakta ve bunun hesaplanmasında kullanılacak eşitlikler geliştirilmektedir. Sonra, potansiyel bitki su tüketimi değerleri, bitki cinsi ve gelişme devresinin fonksiyonu olan bitki katsayıları (k_c) ile düzeltilerek bitki su tüketimi değerleri elde edilir (Güngör ve ark., 1996).

$$ET_c = k_c \cdot ET_p \quad (2.1)$$

Verilen eşitlikte;

ET_c = Bitki su tüketimi, mm/gün,

k_c = Bitki katsayısı,

ET_p = Potansiyel bitki su tüketimi, mm/gün' dür.

Uygulamada potansiyel bitki su tüketiminin standart bir tanımı yapılamamıştır. Potansiyel bitki su tüketimi ülkeler arasında, hatta aynı ülkenin farklı araştırmacıları arasında ayrı anlamlarda kullanılmaktadır.

Potansiyel bitki su tüketiminin yorumundaki bu karışıklıklar nedeniyle, son yıllarda referans bitki su tüketimi kavramı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Burada önce belirli koşulları taşıyan referans bir bitki alınmakta ve bu bitkiye ilişkin su tüketiminin tahmininde kullanılacak eşitlikler geliştirilmektedir. Daha sonra, bu eşitliklerin diğer bitkilere ilişkin su tüketiminin tahmininde kullanılabilmesi için, bitki cinsi ve bitki gelişme devresinin fonksiyonu olan bitki katsayıları (k_c) ile düzeltilmesi gerekir.

$$ET_c = k_c \cdot ET_o \quad (2.2)$$

Eşitlikte; .

ET_c = Bitki su tüketimi, mm/gün

k_c = Bitki katsayısı

ET_o = Referans bitki su tüketimi, mm/gün' dür.

Sulanan alanlarda bitkinin tükettiği su miktarı yağışlarla ve sulama suyu ile karşılanır.
Bitki su tüketiminin sulama suyu ile karşılanacak miktarı;

$d_n = ET_c - r$ eşitliği ile hesaplanır (Güngör ve ark., 1996).

Eşitlikte;

d_n = Bitki su tüketiminin sulama suyu ile karşılanacak miktarı (proje alanı net sulama suyu ihtiyacı), mm/ay,

ET_c = Bitki su tüketimi, mm/ay,

r = Etkili yağış, mm/ay'dır.

Etkili bitki kök derinliğinde en az d_n kadar suyun depolanması gerekir.

Kaynaktan saptırılacak toplam sulama suyu miktarı ise aşağıdaki eşitlikle bulunur. Bu değer aynı zamanda sulama suyu ihtiyacını da verir (Güngör ve ark., 1996).

$$d_t = \frac{d_n}{E_a \times E_c} \quad (2.3)$$

Eşitlikte;

d_t = Kaynaktan saptırılacak toplam sulama suyu miktarı (proje alanı toplam sulama suyu ihtiyacı), mm/ay,

d_n = Bitki su tüketiminin sulama suyu ile karşılanacak miktarı (proje alanı net sulama suyu ihtiyacı), mm/ay,

E_a = Su uygulama randımanı (%) ve

E_c = Su iletim randımanıdır (%).

Su dağıtım şebekesinde her kanal veya boru hattının ileticeği su miktarının belirlenmesi için sulama modülünden yararlanılır. Sulama modülü, birim sulama alanı için gerekli su miktarı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Güngör ve ark., 1996);

$$q = \frac{10 \times d_t}{3.6 \times T} \quad (2.4)$$

Eşitlikte;

q = Sulama modülü, L/s/ha,

d_t = Kaynaktan saptırılacak toplam sulama suyu miktarı (proje alanı toplam sulama suyu ihtiyacı), mm/ay ve

T = Sulama süresi, saat'tır.

Sistem kapasitesi sulama modülünün en yüksek olduğu aya göre hesaplanır.

$$Q = q_{max} \times A \quad (2.5)$$

Verilen eşitlikte;

Q = sistem kapasitesi, L/s,

q_{max} = maksimum sulama modülü, L/s/ha,

A = sulanacak alan (ha)'dır.

Sulama sistemlerinin geliştirilmesi ve isteğe bağlı çalışma performansı, tasarım süreci boyunca akış rejimlerinin göz önüne alınmasını gerektirir. Genelde tek tepe noktası (en yoğun olan) akış rejimi için tasarlanan bu sistemler yeni ölçütler gerektirmektedir. Analiz ve performans için tamamlayıcı olan modellerin, mevcut sistemi analiz ve yeni sulama sisteminin tasarımını da desteklemek için formüle edilmiş olması gerekmektedir.

Tasarım kapasitesi, en yoğun ihtiyaç ve bütün sistem için ortalama bitki deseni dikkate alınarak belirlenir. Ancak bireysel bitki deseni tasarlanmış olandan farklı olabilir ve sulama sistemi küçük ya da büyük boyutlu olabilir. Özellikle istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekelerinde hangi hidrantın ne zaman ve ne kadar kullanılacağı bir

olasılık konusu olduğu ve hemen hemen bütün hidrantların aynı zamanda kullanılabilceği ihtimali olduğu için, bu tarz sistemlerin performans analizi diğer sistemlere oranla daha büyük önem taşımaktadır. Bu problemin zorluğundan dolayı ampirik yöntemler kullanılmaktadır. İstek yönteminin ortaya çıkışıyla, Fransa'da 1960'ların başında büyük ölçekli sulama sistemlerinde, akış modelinin hesaplanması için istatistiksel modellerin geliştirilmesini teşvik edilmiştir. Birinci ve ikinci Clément (1966) Formülü bu tür modellere örnek olarak verilebilir (Lamaddalena, 1997).

2.1.2. İşletim Yöntemleri

Sulama suyunun sağlanması için suyun kaynaktan kullanıcıya kadar bir su işletim yöntemi ile iletilmesi gerekmektedir. Su işletim yöntemi, sulama suyunun ulaştırılacağı tüm araziye yeterli miktarda sulama suyunu sağlayabilmelidir. Genel olarak dört temel su işletim yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar;

- Sürekli akış yöntemi,
- Rotasyon yöntemi,
- İstek yöntemi ve
- Kısıtlı istek yöntemi

olarak adlandırılır (Labye ve ark., 1988).

Sürekli akış yöntemi, birim saha birim su yöntemi olarak da anılmaktadır, sulama sistemi içinde su sürekli akıtılmakta olup su dağıtım işleminin en basit uygulamasıdır. İletim hattından gelen su, sabit ayarlı kapaklar vasıtası ile sistem genelinde yayılarak akar (Aküzüm ve Öztürk, 1996).

Dönüşümlü sulama olarak da bilinen rotasyon yöntemi kavram olarak devamlı akış yönteminin aynısıdır. Mevcut su miktarının maksimum istekleri karşılayamaz hale gelmesi durumunda bu yöntem uygulanır. Bu sistemde yedek ve tersiyer kanallar yine tam kapasite ile çalışmalarına rağmen su dönüşümlü olarak verilir. Yüksek randıman elde edilmesi mümkündür. Ancak nispeten basit kontrol düzeni ile biraz daha fazla kapak ayarı yapmak gereklidir (Aküzüm ve Öztürk, 1996).

İstek yöntemi sulama ortamına sürekli su vermeyi esas almaktadır. Sistem, sulama şebekelerinde gereksinim duyulan su miktarının sağlanması temeline dayanmaktadır. Üreticinin istediği anda, borulu sistemlerde vanasında, açık kanallarda tarla başı prizinde suyu hazır bulduğu sistemlerdir. İstek yöntemi ile işletilen sulama şebekeleri çiftçilere büyük rahatlık sağlar. Çiftçiler istedikleri zaman parsellerini sulama özgürlüğüne sahiptirler. Çiftçiler ihtiyaç duyduklarında su kullandıkları için sistem daha verimli bir su kullanımına olanak sağlar. İstek yöntemine göre su dağıtımının yapıldığı sulama şebekelerinde genellikle ileri teknoloji kullanılmaktadır. Özellikle, sistem otomasyon prensiplerine göre işletildiğinde insan müdahalesi en alt düzeydedir. Çiftçiler sulama sıklığını ve süresini daha iyi kontrol eder (Akyol, 2012).

Sulama şebekelerinin yoğun olarak işletildiği dönemlerde arz ve talebi eşleştirmede zorluklar meydana gelebilmektedir. Sulama sistemlerinin yöneticileri, bir sulama bölgesindeki sektörler arasında farklı türde rotasyonlar uygulayarak dağıtım programı olarak istek yönteminden sınırlı istek yöntemine geçebilirler (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000). Bu yöntem Kara (2005) tarafından “Kısıtlı” veya “Şartlı İstek Yöntemi” olarak adlandırılmıştır. Kısıtlı istek yönteminin esasları şu şekilde sıralanabilir:

- Uygulamada, belirli bir düzeyde tüm hidrant taleplerini aynı anda karşılamak imkânsızdır.
- Eğer su ihtiyaç miktarı arzdan daha büyük ise su farklı arazi bölgelerine dönüşümlü olarak verilebilir.
- Bir parsel farklı günlerde sulama suyu alabilmektedir.
- Sınırlı miktarda su gecikmeli olarak tüketicilere verilebilir.
- Sınırlı miktarda su ile daha fazla alan sulanabilir (Kara, 2005).

2.1.3. İstek Yöntemi ile İşletilen Basınçlı Sulama Sistemlerinin Performans Analizi

Hidrolik, hidrostatik ve hidrodinamik prensiplerinin uygulanmasını kapsayan bir mühendislik dalıdır. Hidrostatik durgun durumdaki sıvılar ve hidrodinamik ise hareketli sıvılarıyla ilgili prensipleri kapsar. Akışkan, sabit basınç ve sıcaklık altında belirli bir

kütlesi ve hacmi olan fakat belirli bir şekli bulunmayan cisimdir. Akışkanlar, içinde bulunduğu kabın/ortamın şeklini alırlar. Akışkanlar, gazlar ve sıvılar olarak iki grupta incelenir. Bazı sınıflandırmalarda plazma da bir akışkan olarak kabul edilmektedir. Akışkanlarda moleküller arasındaki boşluk katı cisimlere göre daha fazladır. Akışkanlar mekaniği, akışkanların mekaniği ve bunlar üzerindeki kuvvetlerle ilgilenen fizik dalıdır (Batchelor ve Batchelor, 2000). Akışkanlar mekaniğinin üç ana denklemi; süreklilik, momentum ve enerji denklemleridir. Yüksek basınçta sulama akışının sabit, düzgün ve sıkıştırılmaz olduğu kabul edilmektedir. Basınçlı sulama sistemlerinin hesaplamalarında en çok kullanılan süreklilik ve enerji denklemleri aşağıda Eşitlik (2.6) ve (2.7) ile verilmiştir (Wang ve Dal 2017).

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = A_n \cdot V_n \quad (2.6)$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + P_1 + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + P_2 + Z_2 + h_f \quad (2.7)$$

Verilen eşitliklerde;

Q = Debi veya akış (m^3/s),

A_i = Boru veya kanalın kesit alanı (m^2),

V_i = Boru veya kanaldaki akışkanın ortalama akış hızı (m/s),

g = Yerçekimi ivmesi (m/s^2),

P = Basınç (metre su sütunu, m),

Z = Yükseklik (m),

$h_f = 1$ and 2 numaralı kesitler arasındaki sürtünme veya türbülans kaynaklı yük kaybı (m)'ni temsil etmektedir.

Basınç bir enerji şeklidir. Basınç, bir kap veya borunun iç çeperine uygulanan birim alan başına kuvvet miktarıdır. Basınçlı sulama sistemleri tasarımında önemli olabilecek diğer enerji türleri yükseklik ve kinetik enerjidir. Suyun ağırlığı hacim, yoğunluk yerçekimi ivmesi çarpımına eşittir. Normal koşullarda suyun yoğunluğu 1.000 kg/m^3 'tür. Yerçekimi ivmesi 9.81 m/s^2 'dir. Ağırlık kuvvetle aynıdır ve Newton (N) birimiyle ölçülebilir. Metrik birim sisteminde, 10 m basma yüksekliği yaklaşık olarak 1

atmosfere veya 100 kPa'ya (105 Pa) eşittir. Basınç, N/m²'ye eşit olan Pascal (Pa) cinsinden ölçülür (Waller ve Yitayew, 2015).

Dinamik basınç, boruda su akarken ölçülen basınçtır. Statik basınçtan farklıdır çünkü borudaki türbülans nedeniyle enerji kaybedilir. Türbülanslı akışta birbirlerini ve boru duvarlarını geçen su molekülleri sürtünme yaratır ve bu da ısı enerjisi yayar. Enerji daha sonra borunun duvarlarında absorbe edilir. Basınç, borudaki enerji biçimi olduğundan, boru sürtünmesinden dolayı basınç düşer. Bu enerji kaybı öncelikle boru çapının ve akış hızının bir fonksiyonudur. Bir sulama şebekesinin borularında akan suyun sürtünme kaynaklı bu enerji kaybı, hidrolik yük kaybı olarak tanımlanır. Hidrolik yük kaybı, genellikle boru çapı, akış hızı ve boru iç yüzey özelliklerinin bir fonksiyonu olarak modellenir. Bu parametre suyun hedeflenen sulama alanına iletilmesinde önemli bir tasarım parametresidir. Boruda akan suyun boru çeperleri ile sürtünmesi nedeniyle oluşan hidrolik yük kaybının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan şu üç formüle edilmiş modelden birisi kullanılır:

- Hazen-Williams formülü
- Darcy-Weisbach formülü
- Chezy-Manning formülü

Aşağıdaki eşitlikte verilen Hazen-Williams denkleminde sürtünme kaybı katsayısı C; Reynolds sayısını, suyun sıcaklığını veya viskozitesini dikkate almaz ve sadece su için geçerli ampirik bir formüldür (Jones ve ark., 2006).

$$P_m = 6.05 \times \left[\frac{Q_m^{1.852}}{(C^{1.852} \times d_m^{4.8704})} \right] \times 10^5 \quad (2.8)$$

Verilen eşitlikte;

P_m = Birim uzunluk borudaki sürtünme direnci (bar/m),

Q_m = Debi (l/dk),

C = Sürtünme Kaybı Katsayısı,

d_m = Boru iç çapı (mm)'ni temsil etmektedir.

Darcy-Weisbach denklemi, aşağıdaki eşitlikte verilmiştir. Bu formül Darcy sürtünme faktörü olarak bilinen birimsiz bir sürtünme faktörü içerir. Ancak bu faktörün hesaplanmasında boru malzeme tipine bağlı uzunluk birimli bir sürtünme katsayısı kullanılmaktadır (Brown, 2003; Crowe ve ark., 2005).

$$h_f = f \times \frac{L}{d_m} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.9)$$

Verilen eşitlikte;

f = sürtünme faktörü (birimsiz),

V = borudaki akış hızı (m/s),

L = Boru uzunluğu (m)'nu temsil etmektedir.

Darcy-Weisbach formülünde akış rejimine bağlı olarak f sürtünme faktörünü hesaplamak için akış tipine göre farklı yöntemler kullanılabilir (Rossman ve ark. 2020):

- Laminer akış için Hagen–Poiseuille formülü kullanılır ($Re < 2000$).
- Colebrook-White denkleminde Swamee ve Jain yaklaşımı, tamamen türbülanslı akış için kullanılır ($Re > 4000$).
- Geçiş akışı için Moody Diyagramından kübik enterpolasyon kullanılır ($2000 < Re < 4000$).

Hidrolik yük kayıplarının hesaplanmasında kullanılan bir diğer formül olan Chezy-Manning formülü aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Waller ve Yitayew, 2015).

$$h_f = L \times \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}} \quad (2.10)$$

Verilen eşitlikte;

n = Manning'in pürüzlülük katsayısı,

L = Boru uzunluğu (m),

Q = Akış (m^3/s),

A = Boru kesit alanı (m^2),

R = Hidrolik yarıçap (m)'ı temsil etmektedir.

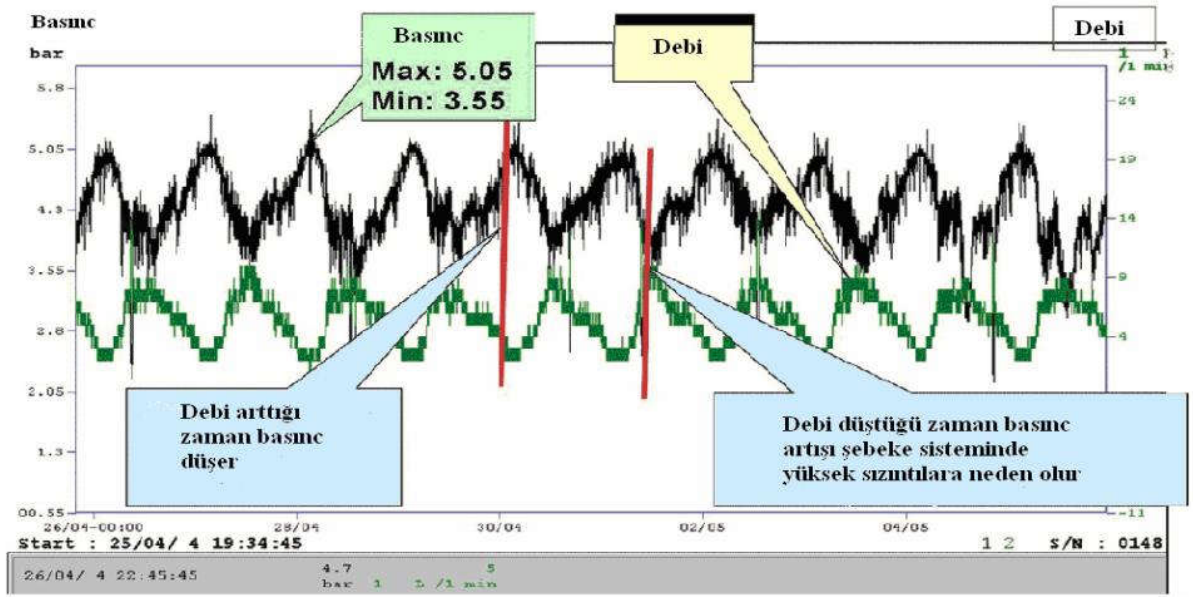
Çizelge 2.1'de bazı boru tipleri için sürtünme katsayıları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Boru tipleri için sürtünme katsayıları (Rossman ve ark., 2020)

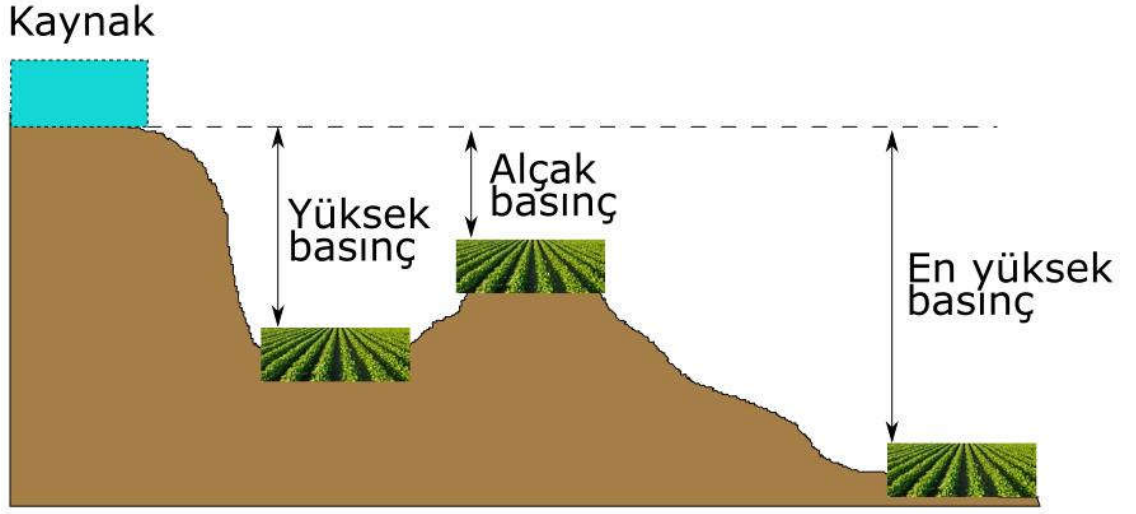
Materyal	Hazen-Williams (Birimsiz)	Darcy-Weisbach ($m \times 10^{-3}$)	Manning's (Birimsiz)
Döküm demir	130 – 140	0.25908	0.012 – 0.015
Beton	120 – 140	0.3048 – 3.048	0.012 – 0.017
Galvanizli demir	120	0.1524	0.015 – 0.017
Plastik, Yüksek yoğunluklu Polietilen (HDPE)	140 – 150	0.001524	0.011 – 0.015
Çelik	140 – 150	0.04572	0.015 – 0.017
Vitrifiye kil	110	0.0039624 0.004572	–

Bir basınçlı su dağıtım sisteminde debi ve basınç arasında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir ilişki vardır. Süreklilik denkleminin açıkladığı üzere bir basınçlı su dağıtım sisteminde boruda akan suyun debisi arttıkça boru kesit alanı sabit kalmak üzere suyun akış hızı da artmaktadır. Suyun akış hızının artması yük kayıplarının artmasına ve basıncın azalmasına neden olmaktadır (Şekil 2.2). Bu durum (2.8), (2.9) ve (2.10) numaralı eşitlikler ile de kolaylıkla açıklanabilir. Diğer yandan, boru içinde akan suyun debisi azaldığında su akış hızı azalmakta ve buna paralel olarak yük kayıpları da azalarak basıncın artmasına neden olmaktadır. Bu ilişkilere göre, diğer tüm koşullar sabit tutulursa bir su dağıtım şebekesinin su tüketiminin en fazla olduğu anda şebeke basıncının en düşük seviyesinde olacağı bir gerçektir. Bu yüzden basınçlı su dağıtım şebekelerinde optimum basınç belirlenirken şebekenin en yüksek su ilettiği an esas alınmaktadır. Ayrıca bu şebekelerde su dağıtım sistemleri yılın çok kısa bir döneminde bile oluşabilecek maksimum debiyi de sağlayacak kapasitede tasarlanmalıdır (Kara, 2011).

Yoğun kullanım talebi olmadığı zaman dilimlerinde ise su dağıtım şebekeleri gerekli olan basınçtan çok daha yüksek basınçta işletilmek zorunda kalabilmektedir. Su dağıtım sisteminin üzerine inşa edildiği topoğrafya özellikleri de farklı değişkenlikler ortaya koyabilmektedir. Şebekenin tüketim noktalarında yüksek kot farkından dolayı basıncın yüksek olduğu bölgeler oluşabileceği gibi daha düşük kot farkı olan bölgelere su ulaşamayabilir (Şekil 2.3) (McKenzie, 2001; Kara, 2011).



Şekil 2.2. Basınçlı su dağıtım şebekelerinde su hızı ve basınç arasındaki ilişki (Kara 2011)



Şekil 2.3. Topoğrafyanın şebekeye etkisi

Sulu tarım hali hazırda dünyanın tatlı su çekimlerinin %70'ini oluşturmakta ve artan gıda ve enerji (biyoyakıt) taleplerini karşılamak için daha da fazla suya ihtiyaç duyulacağı öngörülmektedir (WWAP, 2012). Bazı ülkelerde, sulama bölgelerinin modernizasyonu, su iletiminin verimliliğini artırmak için açık kanallı sistemlerin basınçlı borulu su dağıtım şebekeleri ile değiştirilmesinden oluşmaktadır. Mevcut basınçlı su dağıtım sistemlerinin yeni veya rehabilitasyonunun (Renault, 1999) optimal tasarımının temel amacı, sistemin hidrolik kısıtları karşılarken, hidrant noktasında talepleri ve minimum basıncı karşılamaktır (Olsson ve ark., 2009).

Basınçlı sulama sistemleri ya döngülüdür ya da dallıdır. Döngülü yapılar daha çok sulama amaçlı kullanılırken, dallı yapılar daha çok içme suyu için kullanılır. Literatürde daha çok algoritma ve metodolojiler, yoğunlukla içme suyu şebekeleri ve çok az dikkate alınan sulama sistemleri için geliştirilmiştir. Optimizasyon tekniğinin, dallı bir şebeke sulama sistemine göre döngülü bir şebeke sulama sisteminin tasarımında daha gerekli olduğu bulunmuştur (Lamaddalena ve ark., 2015).

Optimizasyon yöntemlerine ek olarak, en iyi tasarım çözümünü bulmak için deneme-yanılma yaklaşımları da kullanılabilir. Deneme-yanılma prosedürü kullanılarak geliştirilen çözümlerin kısıtlamalar (basınç, hız vb.) ile ilgili tasarım kriterlerini

karşılama başarılı olması muhtemeldir, ancak bu faydaları en az maliyetle sağlamada daha az başarılıdır (Walski ve ark., 2003).

Son birkaç on yılda, basınçlı sulama dağıtım sistemleri, su iletim randımanını artırmak amacıyla açık kanalların yerini almıştır. Günümüzde bu sistemlerden bazıları hidrolik performans sorunlarıyla karşı karşıyadır. Bu kısmen boru şebekelerinin eskimesinden, ilk tasarım kusurlarından, yanlış yönetimden ve/veya su talebindeki artıştan kaynaklanmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelmek için mevcut sistemlerin rehabilitasyonu, etkin bir işletmeyi korumak ve çiftçilere en iyi hizmeti sunmak için kaçınılmaz bir ihtiyaç haline gelebilir. Bazı durumlarda, yönetimin iyileştirilmesi tek başına, yapısal iyileştirme ile birleştirilmedikçe şebekelerin hidrolik performansının iyileştirilmesine önemli ölçüde neden olmamaktadır. İkincisi, uzun bir süre boyunca ilgili maliyet göz önünde bulundurularak çiftçileri memnun etmek için gereken minimum performans seviyeleri sağlanmalıdır. Bu ağların rehabilitasyonu, çiftçilere en iyi hizmeti sunmak için kaçınılmaz bir ihtiyaç haline gelebilir (Fouial ve ark., 2018).

2.2. Önceki Çalışmalar

Murphy ve ark. (1998), borulu sulama dağıtım sistemlerinin tasarımının optimizasyonu için genetik algoritmalar (GA) ve optimizasyon teknikleri uygulamıştır. Boru şebekesi optimizasyonunda GA ile tanımlanan gelecekteki talep modellerine tabi bir sistem için belirtilen tasarım kriterlerini ve performans gereksinimlerini karşılayan optimuma yakın maliyetli şebeke tipleri veya şebeke genişletmeleri araştırılmıştır. Bu model ile ticari olarak mevcut ekipman ebatları esas alınarak önerilen tasarımların gerçek maliyeti hesaplanmış ve denenen şebeke çözümlerinin hidrolik fizibilitesini kontrol etmek için verimli, güvenilir bir hidrolik simülasyon modeli kullanılmıştır. Hidrolik simülasyon modelinde; boru şebekesi düzeni, boru boyutları, tank konumları ve pompa boyutları gibi girdiler kullanılmıştır. Bu yöntemin çok yönlülüğünü ve tekniğin pratik bir sulama şebekesi tasarım problemine uygulanmasıyla elde edilebilecek önemli maliyet tasarruflarını göstermek için bir durum çalışması gerçekleştirilmiştir. Durum çalışmasında, Güney Avustralya, Riverland'de bulunan Cobdogla Sulama Alanının Loveday Bölümünde 1920'lerde inşa edilmiş eski bir basınçlı boru sisteminin

rehabilitasyonu denenmiştir. GA araştırması ile elde edilen tasarımın, deneyime dayalı geleneksel tasarım yaklaşımı ve bir hidrolik simülasyon programının deneme yanılma uygulamasıyla belirlenen tasarıma kıyasla, boru hatlarının tedariki ve inşası için %11 daha az maliyetli olduğu bildirilmiştir.

de Andrade ve Allen (1999) basınçlı sulama sistemlerinin anaboru ve lateralleri boyunca basınç ve debi dağılımını simüle etmek için Windows ortamında çalışan bir bilgisayar modeli geliştirmişlerdir. Araştırmacıların geliştirdiği yazılım seri veya paralel olarak birleştirilmiş birden fazla pompa istasyonuna, hidrofor pompa istasyonlarına, paralel borulara ve döngülü borulara sahip sulama sistemlerini simüle edebilmiştir. Ortaya konulan model basınç düzenleyiciler, çıkış başına bir veya iki sıralı damla sulama boruları ve merkezi pivot sulama ekipmanları bulunduran sistemleri simüle edebilmektedir. Ayrıca ana boru şebekesinde veya yan hatlarda sızıntı simülasyonu yapabilmektedir. Araştırmacılar geliştirdikleri modele vana kapanmasını simüle etmek için bazı parametre girdilerini de dâhil etmişlerdir. Simülasyon işleminden önce pompalar, sulama başlıkları ve basınç regülatörleri için verilerin etkileşimli olarak girilmesine, düzenlenmesine ve analiz edilmesine izin veren kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanmıştır. Sulama sistemi geliştirilen sistemde ekranda çizilebilmektedir. Ekranda önceden çizilmiş olan her bir sulama sistemi bileşeni için veriler herhangi bir zamanda ve herhangi bir sırada bağımsız olarak girilebilmektedir. Araştırmacılar geliştirilen modelin basınçlı sulama sistemlerini analiz etmek ve tasarlamak için pratik bir araç olduğunu bildirmişlerdir.

Al-Abed ve ark. (2003) geleneksel yüzey sulamadan basınçlı sulama sistemlerine geçen Ürdün Vadisi'ndeki sulanan alanlarda arazilere farklı rotasyonlarda yeterli basınç ve debide su akışı sağlanmasının kontrolü için bir analiz modeli geliştirmişlerdir. Seçilen rotasyonun şebekedeki basınç üzerindeki etkisini incelemek için MS Excel kullanılarak bir bilgisayar elektronik tablo modeli oluşturulmuştur. Bu model, Katılım Basıncı Simülasyon Programı (TPSP) olarak adlandırılmıştır. TPSP modeli, seçilen rotasyon programlarından herhangi birinde basınç sorunlarına maruz kalacak arazi bölgelerini haritalamak ve belirlemek için kullanılmıştır. Bu model, bir pilot basınçlı sulama şebekesinin kuzey kesiminde test edilmiş ve Ürdün Vadisi'nin kuzey ucundaki

Adassiyeh'de bulunan 131 sulu tarım birimi (400 ha) bu analize dâhil edilmiştir. TPSP modeli ayrıca izinsiz su kullanımları ve bunların şebekedeki basınç üzerindeki etkisini incelemek için kullanılmıştır. Seçilen bir rotasyon programı için dört, sekiz ve 12 izinsiz kullanımın etkisi incelenmiş ve hiçbir izinsiz kullanım olmadığı zamana kıyasla basınçta ortalama %12, %30 ve %44'lük bir azalma rapor edilmiştir.

Lorite ve ark. (2004) İspanya'nın güneyindeki Endülüs'te bulunan istek yöntemiyle işletilen Genil-Cabra basınçlı sulama projesinin 1996 ve 2000 yılları arasındaki performansının kapsamlı bir değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. İncelenen bölgede 843 parsel dağılmış ve başlıca ürünler olarak hububat, ayçiçeği, pamuk, sarımsak ve zeytin ağaçları olmak üzere çeşitli ürünlere tahsis edilmiş yaklaşık 7000 hektarlık sulanan arazi bulunmaktadır. Çalışmada parsel su kullanım kayıtları ve bir simülasyon modeli kullanılarak sistemde sulama suyu kullanımı ve yönetiminin fiziksel ve ekonomik performansını değerlendirmek için altı performans göstergesi kullanılmıştır. Modelde, her tarladaki su dengesi süreçlerini simüle edilmiş ve daha sonra gerçek programlara göre kontrol edilen en uygun sulama programını hesaplamıştır. Ortalama sulama suyu arz:talep oranının (ölçülen sulama arzının simüle edilen optimum talebe oranı) yıllar arasında 0,45 ile 0,64 arasında değişmekte olduğu ve alana kısıntılı sulama uygulandığı rapor edilmiştir. Çalışmada yağış dahil edildiğinde, arz:talep oranının bir yılda 0,87'ye yükseldiği, ancak en kurak yılda sadece 0,72 olduğu, bu da çiftçilerin yeterli sulama suyu ile düşük yağışı tam olarak telafi etmediğini ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca, gerçek ulaşılabilir ürün verimi oranı için nispeten yüksek değerler (0,72–0,83) elde edildiği ve bölgedeki çiftçilerin yağıştan etkin bir biçimde yararlandığı bildirilmiştir. İncelenen dönemlerde projedeki su üretkenliğinin 4 yıl boyunca 0,72 €/m³ ile 1,99 €/m³ arasında dalgalanma yaptığı ve sulama için sağlanan suyun ortalama 1,42 €/m³ olduğu, sulama suyu üretkenliğinin ise ortalama 0,63 €/m³ olduğu saptanmıştır.

Montserrat ve ark. (2004) çalışmalarında sulama sistemlerinin talep analizlerinde kullanılan Clément'in ilk formülünün dayandığı hipotezlerin ne ölçüde gerçekleştiğini gerçek verilerle belirlemek ve bu formülün uygulanmasının sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, Kuzeydoğu İspanya'nın Ebro Nehri havzasında bulunan yoğun dönemdeki akış talebi, farklı sulama yöntemleri ve

mahsulleri olan iki dağıtım şebekesi ile analiz edilmiştir. Araştırmacıların bulgularına göre incelenen sulama sisteminde hipotezlerin çoğunun yerine getirilmediği rapor edilmiştir. Ayrıca, çalışma döneminde elde edilen debi dağılımlarının normal bir dağılıma karşılık gelmediği bildirilmiştir. Ancak, kümülatif olasılık eğrisi ile Clément'in formülü ile hesaplanan eğri karşılaştırıldığında, %90'dan büyük olasılıklar için iki eğri arasındaki farkların %9,4'ten düşük olduğu bulunmuştur. Ayrıca, the Centre Technique du Génie Rural des Eaux et des Forêts (Fransa Kırsal Su ve Orman Mühendisliği Teknik Merkezi) tarafından ortaya konulan ayarlama prosedürünün akışların tahmininde önemli bir gelişme sağlamadığı bildirilmiştir.

Nicolini (2004), su dağıtım sistemlerinin optimizasyonu için üç adet çok amaçlı, baskın olmayan sınıflandırmaya yönelik genetik algoritmaların (NSGA'lar) performans analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu NSGA'ların Pareto verimliliğini hesaplamak için basit bir iki döngülü şebekenin iki amaçlı problem çözümünde sayısal analiz teknikleri kullanılmıştır. Algoritmalar tarafından elde edilen nihai popülasyonların doğrudan karşılaştırılması için, yakınsama ve seyreklik indeksi olmak üzere iki performans ölçütü dikkate alınmıştır. Araştırmacının bulguları; kontrollü NSGA-II'nin sadece iki endekse göre daha iyi performansa sahip olmadığını, aynı zamanda farklı simülasyonlar üzerinde iyi stabilite ile karakterize edildiğini göstermiştir.

Zaccaria ve Lamaddalena (2005) Güney İtalya'daki bir basınçlı sulama bölgesinde mevcut dağıtım performansını analiz etmek ve mevcut ve gelecekteki dağıtım ihtiyaçlarını karşılamak, ayrıca gereken iyileştirmeleri belirlemek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sistemin hizmete girdiği ilk andan itibaren ürün desenleri, tarım uygulamaları ve sulama tekniklerinde meydana gelen değişiklikler nedeniyle böyle bir analize ihtiyaç duyulmuştur. COPAM yazılımı ile farklı çalışma koşulları altında sulama sisteminin mevcut performansını değerlendirmek, sulama bölgesi içinde rehabilitasyon ve modernizasyona daha acil ihtiyaç duyulan alanları belirlemek ve etkili mühendislik ve işletme önerilerini ortaya koymak için analizler yapılmıştır. Tasarım değişiklikleri sonrası işletim senaryoları, mühendislik sürecini iyileştirmek ve doğrulamak için simüle edilmiştir. Araştırmacıların bulguları, sulama şemaları için

modernizasyon alternatiflerini analiz ederken simülasyon modellerinin kullanışlı bir çözüm olduğunu göstermiştir.

Gomes ve Bezerra (2005) tüketim noktalarında debi ve basınç eksikliği olan sulama projelerinde kullanılan basınçlı dallanmış su dağıtım şebekelerinin rehabilitasyonu amacıyla bir ekonomik optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen yaklaşımın dallı şebekelere dönüştürülmeleri koşuluyla ve hayali bölümlenme yöntemiyle kentsel su şebekelerinin döngülü şebekelerine uygulanabileceği bildirilmiştir. Kullanılan yöntem, rehabilitasyon sisteminin yatırım maliyetini optimize etmek için şebeke boru çaplarındaki farklı olasılıkları adım adım seçen yinelemeli bir süreç olan basınçlı şebekelerin ekonomik optimizasyonunda kullanılan Granados adlı yöntemdir. Araştırmacılar bu yöntemi, neredeyse tüm tüketim noktalarında basınç eksikliği bulunan kurgusal bir dağıtım şebekesi için test etmişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre, şebeke rehabilitasyon maliyetinin yatırım maliyetinin %41'i kadar olduğu tespit edilmiştir.

Reca ve Martinez (2006) tarafından sulama suyu dağıtım şebekelerinin tasarımını optimize etmek amacıyla Genetik Algoritma Boru Şebekesi Optimizasyon Modeli (GENOME) adı verilen yeni bir bilgisayar modeli geliştirilmiştir. Araştırmacılar modeli özel bir probleme uyarlamak için çeşitli modifikasyonlar ve iyileştirmeler uygulamışlardır. Çalışmada şebeke çözümlemesi için hidrolik analiz yazılımı EPANET kullanılmıştır. Geliştirilen model, yaygın olarak kullanılan birkaç şebeke optimizasyon yöntemiyle kıyaslanarak doğrulanmıştır. Model doğrulandıktan sonra, büyük ölçekli sulama şebekelerinin optimal tasarımında genetik algoritmanın potansiyelini değerlendirmek için durum çalışması olarak karmaşık bir sulama ağının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar çalışmada tatmin edici sonuçlar elde edildiğini bildirmişler ancak, sulama şebekesi karmaşıklıkla genetik algoritmaların performansını iyileştirmek için bazı ayarlamalar gerekeceğini de vurgulamışlardır.

Mateus ve ark. (2007) istek yöntemiyle işletilen sulama sistemlerinde daha iyi su kullanımı ve katılımcı yönetimini belirleyebilmek üzere HIDROGEST adında bir karar destek sistemi (DSS) geliştirmişlerdir. HIDROGEST'e isteğe bağlı olarak çalışan

basınçlı şebekelerin performans analizi için bir model olan ve çeşitli akış rejimleri için hidrolik davranışını simüle eden ve uygun performans göstergelerini hesaplayan AKLA modeli dâhil edilmiştir. Modele görsel bir arayüz entegre edilerek, su kullanıcıları birliklerinin yönetici ve teknik personelinin, ürün desenleri ve su mevcudiyeti ile ilgili alternatif talep senaryolarını ve ayrıca şebekelerdeki altyapı değişikliklerini analiz edebilmesi sağlanmıştır. Araştırmacılar geliştirilen sistemin, sulama sistemleri tasarımı için mevcut olan çıkış debilerini ve basıncı tanımlamak ve böylece sulamada su kullanımını iyileştirmeyi amaçlayan bir sulama projesi içinde oldukça geniş su kullanımını senaryoları çeşitlerini oluşturmak için kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Farmani ve ark. (2007) istek yöntemiyle ve rotasyon yöntemleriyle işletilen basınçlı sulama sistemlerinin optimum tasarımı ve yönetimine yönelik olarak farklı bir yaklaşımla bu sistemlerin genetik algoritmalar ile optimize edilmesini önermişlerdir. Bu yöntemi iki gerçek sulama sistemine uygulanarak iki programlama tekniği arasında karşılaştırma yapılmıştır. Performans kriterleri, yeni bir sulama sisteminin optimum tasarımı ve mevcut bir sulama sisteminin daha iyi yönetimi için formüle edilmiştir. Araştırmacılar genetik algoritmanın modellenmesi ve değerlendirme aşamalarında çok sayıda kısıtı ele alabilmek için bazı özel operatörler geliştirilmiştir. Geliştirilen genetik algoritmanın performansı, geleneksel optimizasyon teknikleriyle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Söz konusu yöntemin doğrusal programlama yöntemine göre daha iyi performans gösterdiği ve uyarlanmış genetik algoritma ile üretilen çözümlerin sermaye maliyetinde iyileşme sağladığı saptanmıştır. Yöntemin ayrıca kısıtları karşılamada daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir. İstek yöntemiyle ve rotasyonlu su dağıtım planlaması arasındaki karşılaştırma, sulama süresindeki esnekliği azaltma pahasına toplam maliyette %50'den fazla tasarruf elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, borulardaki debinin standart sapmasını en aza indirmenin en iyi dağıtım ve dolayısıyla minimum maliyetle sonuçlanmadığı sonucuna varılmıştır.

Lamaddalena ve Pereira (2007) tarafından basınçlı sulama sistemlerinde basınç ve debi değişimlerinde akış kısma ve basınç düzenleyicisi ile donatılmamış hidrantların olumsuz etkilenmesini vurgulayarak, bu sistemlerin performans analizini mümkün kılmak için FLUCS adında bir model geliştirilmiştir. Modelde karakteristik akış

denklemlerinin basitleştirilmiş bir çözümü kullanılarak borulu sistemlerdeki akış simüle edilmiştir. Ortaya konulan yöntemde ana denklemler, sınır ve başlangıç koşulları tanımlanmıştır. Bu şekilde gerçekleştirilen performans analizi, aynı anda çalışan belirli sayıda hidrant konfigürasyonu içindeki her hidranttaki bağıl basınç açıklarının hesaplanması ilkesine dayandırılmıştır. Bu konfigürasyonlar, hidrant sayısından çok daha fazla sayıda rastgele bir şekilde oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, hangi hidrantların önceden ayarlanmış basınç ve debi koşullarını karşılamadığı ve boru boyutlarının küçük olabileceği alanları belirlemeye imkân tanımıştır. Araştırmacılar; geliştirilen model ile farklı tipteki debi düzenleyicilerin ve debi sınırlayıcıların etkisinin değerlendirilmesi, çalışma veya tasarım aşamasında basınçlı sistemlerin performansının analizinin yapılabileceğini bildirmişlerdir. Geliştirilen model, Güney İtalya’da bulunan Capitanata sulama sisteminden toplanan verilerle test edilmiştir. Araştırmacıların bulguları, modelin seçilen hidrantlarda gözlemlenen koşulları simüle etme yeteneğini olduğunu kanıtlamıştır.

De Nys ve ark. (2008) istek yöntemiyle işletilen sulama şebekelerinde toplu su tedariki ve talep arasındaki ilişkileri analiz eden Sulama İçin Su Dağıtım (WaDI) adında bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu model su taleplerinin ayrı ayrı modellenmesi ilkesine dayanmaktadır. Araştırmacılar modellerini geliştirirken bir dizi yapısal ve organizasyonel karakteristikler kullanmışlardır. Ele alınan yapısal karakteristikler; her düğümdeki en yüksek debi oranı, rezervuarların en yüksek depolama kapasitesi ve pompalama verimliliğidir. Araştırmada incelenen organizasyonel değişkenler ise; haftada su temininin düzenlendiği gün sayısı, gündüz ve gece sulama periyotları ve düğümlerin işletilme durumlarıdır. Geliştirilen modelde kullanıcıların su dağıtım kuralları veya altyapı yatırımları gibi stratejik kararları planlamada kapasitesini artırmak için “eğer” senaryoları simüle edilmiştir. WaDI modeli Brezilya’da bulunan iki sulama projesinde denenmiştir. Araştırmacılar yöntemlerinin, ortak su kullanımında karşılaşılan ve anlaşılması oldukça güç belirsizlikleri işletmeciler tarafından daha iyi anlaşılmasına olanak tanıdığını bildirmişlerdir.

Calejo ve ark. (2008) Güney Portekiz'deki Lucefecit Sulama Sistemine ait sulama şebekesinin hidrolik performansını değerlendirmek ve isteğe bağlı olarak çalışan sulama

sistemlerinin analizi için iki simülasyon modeli, ICARE ve AKLA kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Sistemin hidrolik karakterizasyonunu yapmak ve kararlı durum hidrolik modelinin kalibrasyonu için, dört hidrant dahil olmak üzere şebekenin seçilen düğümlerinde saha ölçümleri yapmışlardır. Araştırmacılar ICARE ile yapılan analizin sorunların yeterli bir şekilde tanımlanmasını sağlayamadığını bildirmişlerdir. Hidrant seviyesinde uygulanan AKLA ile yapılan analizde Lucefecit sisteminin performansının genel olarak kabul edilebilir olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada elde edilen bulgular, piezometrik yüksekliğin 260 m'den 265 m'ye değiştirilmesiyle sistemin performansının oldukça arttığını göstermiştir. Ayrıca, sorunlu hidrantlar için çözüm olarak onları besleyen şebeke borularında çap artışlarını önermişlerdir.

Kale ve ark. (2008) basınçlı sulama sistemi alt biriminin optimal tasarımı için bir doğrusal programlama (LP) modeli geliştirmişlerdir. Önerilen modelde amaç fonksiyonu, sulama sisteminin boru şebekesinin eşdeğer yıllık sabit maliyetini ve yıllık işletme enerji maliyetini minimize etmektir. Çalışmada; sulama sistemi alt biriminin hidrolik özellikleri olan uzunluk, enerji tasarrufu ve basınç yükü doğrusal modelin kısıtları olarak kullanılmıştır. Geliştirilen modelde kullanıcı; sistem yerleşimi, tüm alternatif boru çaplarındaki kısım bazında maliyet ve hidrolik eğimler, boru hattı ağı üzerinden pompalanan su, birim başına enerji maliyeti gibi parametreler kullanıcı tarafından girilebilmektedir. Bunlara karşın doğrusal programlama modeli; farklı çapların segment bazında uzunlukları, işletme giriş basıncı yüksekliği ve boru hattı ağının eşdeğer yıllık maliyeti verilerini çıktı olarak sunabilmiştir. Sürtünme yükü kaybı hesaplama denklemlerinin optimizasyon prosedürüne etkisi ele alınan sistem üzerinde incelenmiştir. Araştırmacılar ortaya koyulan modeli; analitik yöntemler, grafik yöntemler, sayısal çözümler ve dinamik programlama optimizasyon modeli gibi yöntemler ile performanslarını karşılaştırmış ve önerilen modelin iyi performansla çalışabildiğini bildirmişlerdir.

Diaz ve ark. (2009) isteğe bağlı basınçlı sulama şebekelerinin enerji ihtiyaçları açısından analizini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar Güney İspanya'daki Fuente Palmera Sulama Bölgesini, hidrolik simülatör EPANET'e dayalı bir model kullanarak çeşitli su talebi seviyeleri için dört alternatif yönetim senaryosu ile analiz ve

simülasyonlarını yapmışlardır. Araştırmacıların bulguları, basınç dinamiği düzenlemesi ve sektörlere gibi tekniklerin benimsenmesiyle pompa istasyonundaki güç gereksinimlerinde önemli azalmaların yanı sıra %27'ye varan enerji tasarrufunun sağlanabileceğini göstermiştir. İsteğe bağlı basınçlı sulama şebekelerinde enerji tüketimini optimize etmek için, hidrantların hidrolik özelliklerine göre homojen gruplar halinde sulanmasının sağlandığı kısıtlı istek modeli önermişlerdir.

Tanyimboh ve Templeman (2010) tarafından yapılan çalışmada yetersiz basınç koşullarında sulama şebekelerinin sadece istek yöntemiyle işletilmesinin uygun olmayacağı vurgulanarak, yetersiz basınç koşullarını simüle edebilen yeni bir basınçla ilgili istek fonksiyonu ortaya koyulmuştur. Önerilen fonksiyonun yaygın kullanılan yöntemlere göre daha iyi hesaplama özelliklerine sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca su dağıtım şebekeleri için yönetim denklemlerine başarılı bir şekilde dahil edilebileceği vurgulanmıştır. Çalışmada; önerilen fonksiyon ve türevinin, analiz denklemlerinin çözümünde sıklıkla karşılaşılan yakınsama sorunlarına neden olan süreksizliklere sahip olmadığı ortaya atılmıştır. Araştırmacılar bir Newton-Raphson algoritması kullanarak su dağıtım sistemlerini hem normal hem de yetersiz basınç koşullarında sorunsuz bir şekilde modelleyebilmişlerdir.

Moreno ve ark. (2010) toplu sulama şebekelerinin genellikle isteğe bağlı işletilecek şekilde boyutlandırılmasına dikkat çekerek isteğe bağlı ve rotasyon ilkesiyle çalışan şebekelerde optimizasyon üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada; enerji bazlı performans göstergeleri kullanılarak, ikisi isteğe bağlı ve ikisi rotasyon yönetimi altında çalışan 4 sulama şebekesinin işletme maliyetlerini karşılaştırmak ve en uygun pompa istasyonu yönetimini belirlemek amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan performans göstergeleri, İspanya'da 2007 ve 2008 sulama sezonlarında elde edilen veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu göstergeleri elde etmek için hidrolik ve enerji simülasyon modelleri kullanılmıştır. Araştırmacıların bulgularına göre, rotasyon yönetimiyle işletilen sulama şebekelerinin, isteğe bağlı sulama şebekelerine göre verimsiz kullanıma daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak, rotasyon programlı sulama şebekelerindeki pompa istasyonları düzgün bir şekilde yönetilirse, isteğe bağlı sulama şebekelerine göre daha fazla enerji verimliliği elde edilebileceği de

bildirilmiştir. Rotasyon programıyla işletilen sulama şebekelerinin, açık hidrant konfigürasyonları ve bu konfigürasyonların her biri için uygun pompa basınçlarının seçiminde mevcut yönetim araçlarının eksikliğinden dolayı verimsiz yönetime karşı daha hassas oldukları saptanmıştır. İncelenen sulama şebekelerinde, araştırmacılar tarafından geliştirilen araçlar kullanılarak enerji verimliliğinde %3,5 ile %24,9 arasında iyileştirmeler elde edilmiştir.

Daccache ve ark. (2010a) çiftlik içindeki sulama ağlarının belirli bir basınç yükünde optimum performans için tasarlandığını vurgulayarak istek yöntemiyle çalışan basınçlı su dağıtım sistemlerinde aynı anda açılan hidrantların sayısına bağlı olarak çiftlik içi şebekenin basınç yükünün yüksek ve sürekli dalgalanmalara maruz kalabileceği problemi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında ana su dağıtım şebekesi tasarımını ve bir sulama başlığı şebekesinin performans analizini birleştiren bir yöntem geliştirmişlerdir. Güney İtalya'nın Foggia bölgesindeki bir sulama sistemi incelenerek iki farklı su talebinde (1200 ve 600 l/s) çalışan bir sulama dağıtım sistemine yöntemlerini uygulamışlardır. Aynı sulama başlığı ağının dört farklı tasarımı, tasarım basınçlarında optimize edilmiş ve sistemin tüm olası çalışma koşulları değerlendirilmiştir. Çalışmada daha maliyetli büyük çaplı boru çapı tasarımının, geniş bir hidrant basıncı aralığında en iyi performansı ve en yüksek güvenilirliği sunarken, küçük boru boyutu tasarımlarının düşük hidrant basıncının bir sonucu olarak en yüksek su talebi döneminde başarısız olma eğilimine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Hidrantlar içindeki akış düzenleyicilerin, daha yüksek basınç yükünde şebeke performansını stabilize etmede önemli bir rolü olduğu saptanmıştır.

Daccache ve ark. (2010b) iklim değişikliğinin ürün su gereksinimleri üzerindeki etkisini ve sulu tarım için gelecekteki su kaynağı ihtiyaçlarının potansiyel değişimlerini vurgulayarak, bu etkilerin tipik bir basınçlı sulama sistemi üzerindeki değişimleri ve olası uyarlamaları incelemişlerdir. Araştırmacılar İtalya'nın güney kesimindeki tarım bölgelerinin 2050'lerde daha farklı iklim bölgeleri haline gelmesi beklentisinden hareketle Sinistra Ofanto'nun 8. Bölgesi'nin gelecekteki olası sulama talebindeki artışa karşı dayanıklılığını değerlendirmişlerdir. Çalışmada gelecekteki hava durumunu tahmin etmek için stokastik bir modeli kullanılmıştır. Bölgenin mevcut ve gelecekteki

en yüksek su talebini ölçmek için günlük su dengesi modeli kullanılmıştır. Her bir hidrantın güncel ve gelecekteki talep altındaki güvenilirliği, stokastik bir hidrolik model ve tanımlanan arıza bölgeleri kullanılarak hesaplanmıştır. Mevcut tasarım haliyle incelenen sistemin, 2050'lerin ortalamasının (1720 l/s) altında olan 1500 l/s'e kadar bir pik talep debisini tolere edebileceği tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu değer üzerinde, güvenilir hidrantların sayısının artacağından sistemin performansının büyük ölçüde düşeceğini öngörmüşlerdir. Ayrıca gelecekte, aynı ürün deseninin kullanılacağını varsayarak, sınır debisinin (1500 l/s) sulama zamanının %80'ini aşacağını ve ortalama olarak sistem hidrantlarının %20'sinin en yüksek talep dönemlerinde arızalanabileceğini tespit etmişlerdir.

Diaz ve ark. (2012) basınçlı sulama suyu dağıtım şebekesinde enerji tüketimini azaltmak için kritik kontrol noktalarının (hidrantların) konumlarının analizi için yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar geliştirdikleri yöntemi Güney İspanya'da bulunan iki sulama bölgesinde (Fuente Palmera ve El Villar) uygulamışlardır. Geliştirilen yeni yaklaşımda iyileştirilmiş kritik nokta yönetimi ve şebeke sektörleme gibi yöntemlerle farklı enerji tasarrufu stratejileri karşılaştırılmıştır. Araştırmacıların bulgularına göre teorik sulama gereksinimleri modellendiğinde incelenen iki şebekede de %10 ve %30 civarında enerji tasarrufunun mümkün olabileceği ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, bu tasarrufların yerel çiftçilerin kısıntılı sulama uygulamaları halinde %5 ve %12'ye düştüğü rapor edilmiştir. Çalışmada, enerji tüketiminin üretim üzerinde sınırlayıcı bir faktör olduğu sulama bölgelerindeki asıl sulama suyu taleplerinin karşılanmasıyla ilişkili enerji maliyetlerini azaltmak için sektörlere ayırma yaklaşımının en iyi sonucu verdiği bildirilmiştir.

Khadra ve ark. (2013), basınçlı sulama sistemlerinde akış rejimlerinin değişkenliği, sistem hidrolik performansını etkileyen hidrantlardaki basınç yükünde belirsizliğe yol açtığını vurgulayarak akış rejimlerinin değişkenliğini, maliyetin en aza indirilmesini ve güvenilirliğin en üst düzeye çıkarılmasını ve hidrant seviyesindeki değişkenlik ile çiftlik seviyesinde sulama başlıklarındaki suyun tekdüzeliği arasındaki etkileşimi hesaba katan güvenilirliğe dayalı bir model kullanarak isteğe bağlı bir sulama sistemini optimize etmişlerdir. Araştırmacıların analizleri, ürün verimi üzerinde ciddi etkileri olabilecek

optimizasyon süreci sırasında istek üzerine dağıtım ağının güvenilirliğinin dikkate alınmasına rağmen, çiftlikte tekdüzeliğin mekan ve zaman açısından büyük ölçüde değiştiğini ve düşük tekdüzelik seviyelerinin elde edildiğini göstermiştir. Çalışmada modernizasyon/rehabilitasyon süreçlerinde dağıtım sistemi ile çiftlik içi sulama ağı arasındaki etkileşimin hesaba katılmasının bir zorunluluk olduğu vurgulanmıştır.

Kanakis ve ark. (2014), isteğe bağlı basınçlı sulama şebekelerinin tasarım aşamasında boru maliyetlerinin en aza indirilmesi için bulanık doğrusal programlama (FLP) yöntemini kullanarak basınç gereksinimlerindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Çalışmada Kuzey Yunanistan'ın Kerdylia bölgesindeki bir basınçlı sulama şebekesini incelemişlerdir. Araştırmacılar FLP ile hidrantlardaki basınç yükü kısıtlamaları için bulanık sayılar kullanmışlardır. İncelenen sulama şebekesinde bu yöntemi kullanarak diğer yaygın bir analiz programı olan COPAM ile karşılaştırmışlardır. Kerdylia sulama şebekesi için AKLA modelinin sonuçlarına göre hidrantlarda izin verilen minimum basınç 25 m'den 35 m'ye yükseltildiğinde, FLP ile tasarlanan şebekenin, doğrusal programlama ile bulunan değerlerden daha yüksek bağıl basınç yetersizliği ve güvenilirlik değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar, FLP ile şebeke tasarımının, doğrusal programlama ile tasarlanan şebekeden gelecekteki değişikliklerle daha iyi başa çıkabileceğini bildirmişlerdir.

Zaccaria ve Neale (2014) basınçlı sulama dağıtım şebekelerinin performansını değerlendirmek için simüle edilmiş dağıtım senaryolarından akış konfigürasyonlarının oluşturulmasını sağlayan ve sonrasında şebeke işletimi ve su dağıtım başarılarının analizlerini yapabilen bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem, deterministik-stokastik ve agro-hidrolojik modellerin bir kombinasyonu ile boru şebekesindeki en yüksek talep akış konfigürasyonlarının simüle edilmesi ve bir hidrolik simülasyon modeli ile bazı özel performans göstergeleri aracılığıyla su dağıtım performansının tahmin edilmesi esasına dayanmaktadır. Agro-hidrolojik model ile dağıtım hidrantlarının sulanan tüm ekili alanlar için sulama suyu eksiklikleri hakkında ayrı ayrı bilgiler elde edilmiş ve yoğun talep dönemlerinde tüm hizmet alanı için talep akışı hidrografları ve sulama dağıtımları tahmin edilmiştir. Geliştirilen modelde daha sonra simüle edilmiş talep akış konfigürasyonları ve boru ağı tarafından elde edilebilecek

hidrolik performansı değerlendiren hidrolik simülasyon gerçekleştirilmektedir. Bu performans analizi daha sonra özellikle basınçlı sulama şebekelerine göre uyarlanmış ek göstergeler kullanılarak düzeltilmektedir. Araştırmacılar ortaya koydukları yöntemi, güney İtalya'nın modernizasyon ihtiyacı olan büyük ölçekli bir basınçlı sulama sistemine uygulamışlardır. Çalışmada hedeflenen dağıtım performansı temelinde mevcut sulama dağıtım şebekelerinin modernizasyonunu ve yeniden mühendisliğini gerçekleştirmek için çok yönlü bir faaliyetin bileşenleri olarak simülasyon araçlarının birlikte kullanımının yararlılar sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Cisty ve ark. (2014) sulama şebekeleri tasarımında bir sistemin hidrolik kapasitesinin artırılmasına yönelik olarak geleneksel optimizasyon tekniklerine alternatif olarak yeni bir şebeke rehabilitasyon yöntemi ortaya koymuşlardır. Armoni arama yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem esasında caz müziğinde doğaçlama gibi armoninin 'mükemmel durumunu' belirlemek amacıyla kullanılan müzikal bir yöntemdir. Bu optimizasyon algoritmasının amaç fonksiyonunu değerlendirerek belirlenen en iyi durumu (küresel optimum) araması gibi, jazz doğaçlaması da estetik tahminle belirlenen en iyi durumu veya en iyi uyumu aramaktadır. Araştırmacılar bu yöntemi basınçlı sulama sistemi optimizasyonu için uyarlamışlardır. Geliştirilen sistem bir yağmurlama sulama sistemi üzerinde detaylı olarak denenmiştir. Ayrıca rehabilitasyon tasarımının iki alternatifi karşılaştırılmıştır. Değiştirilmiş doğrusal programlama yöntemi, değişmeyen topoloji ile artan talep koşullarını karşılayabilmesi için önce mevcut ağda önerilen yeni çaplarla birlikte kullanılmıştır. Bu çözüm, bir armoni arama yöntemi kullanılarak elde edilen döngülü çözümle karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar, doğrusal programlama kullanarak yapılan şebeke tasarımının daha düşük maliyetli olduğunu ancak diğer yandan şebekenin daha az kararlı olduğunu saptamışlardır. Doğrusal programlama ile tasarlanan şebekenin düşük maliyetine karşın stabilitesi daha az bulunmuştur. Bu dezavantaj, doğrusal programlama ile optimize edilmiş şebekeye yeni boru hatları ekleyerek, armoni arama yöntemi tarafından optimize edilmiş döngülü şebekeye ve doğrusal programlama ile orijinal olarak dallanmış ağa alternatif oluşturarak aşılmaya çalışılmıştır.

Lamaddalena ve ark. (2015) genellikle dallanmış bir yapıda tasarlanan sulama dağıtım sistemlerinin performanslarını kentsel su dağıtım sistemlerindeki gibi yerel fiziksel arızaların üstesinden gelmek için uygulanan kapalı döngülerle donatarak iyileştirmek için yerel döngülerin uygun maliyetli bir çözüm olarak kullanılma olanaklarını araştırmışlardır. Yerelleştirilmiş bir döngünün konumunu, elde edilebilecek genel performans iyileştirmesine dayalı olarak tanımlamışlardır. Araştırmacılar performans iyileştirmesinin sadece yerel döngüler ekleyerek gerçekleşmeyeceğini küçük boru çaplarında artırılmasıyla başarılacağını bildirmişlerdir. Ortaya konulan bu yeni yaklaşım Güney İtalya'da istek yöntemiyle işletilen bir sulama bölgesine uygulanmıştır. Klasik rehabilitasyon yaklaşımına kıyasla %80'den fazla maliyet tasarrufu elde edilirken sistemin genel hidrolik performansının iyileştiği kanıtlanmıştır.

Masoumi ve ark. (2016) isteğe bağlı sulama şebekesi yerleşimi ve boru boyutlarının hem yatırım hem de yıllık enerji maliyetlerini dikkate alarak eş zamanlı optimizasyonu amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar tarafından ele alınan optimizasyon problemi, sistemin toplam maliyetini (yatırım ve enerji maliyetlerini) en aza indiren, su kaynağı basınç yükünü saptama problemi olarak formüle edilmiştir. Yatırım ve yıllık enerji maliyetleri iki ayrı aşamada değerlendirilmiştir. Şebekenin yerleşim düzeni ve boru çaplarını aynı anda dikkate alarak minimum maliyetli tasarımı elde etmek için En yüksek - En düşük Karınca Kolonisi optimizasyon (MMAS) algoritması kullanılmıştır. Sulama ihtiyacının en yoğun olduğu dönemlerde boru hatlarının akış hızlarını belirlemek için Clement yöntemi kullanılmıştır. Ortaya koyulan model, İspanya'nın Valensiya şehrinde bulunan ve damla sulama sistemiyle sulanan 127,7 (ha)'lık bir narenciye çiftliğine sulama suyu taşıyan bir isteğe bağlı basınçlı sulama şebekesine uygulanmıştır. Önerilen yöntemle elde edilen en iyi çözümün yıllık toplam maliyetinin benzer çözümlere kıyasla %32,6 azalma gösterdiği bildirilmiştir.

Khadra ve ark. (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada büyük ölçekli basınçlı sulamanın enerji ve hidrolik performansının iyileştirilmesinin sistem modernizasyonuna büyük bütçeler ayrılması nedeniyle önemini vurgulayıp enerji ve hidrolik performans açısından basınçlı sulama sistemlerini analiz etmek üzere bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen modelde sistemi hidrantların basınç gereksinimlerine

göre sektörlendirmişler ve pompa istasyonunu sabit ve değişken bir basınç için düzenlemeye yönelik farklı mevcut modelleri entegre eden yönetim odaklı çok adımlı bir yöntem ortaya koymuşlardır. Geliştirdikleri modeli İtalya'nın Foggia bölgesinde bulunan Sinistra Ofanto sulama planındaki istek yöntemiyle işletilen bir sisteme uygulayarak, bu entegre yaklaşımın %49'luk optimum senaryoda enerji tasarrufu potansiyeli ve hidrant basınç yükleri açısından sistem performansında gözle görülür bir iyileşme gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ekonomik değerlendirme ile elde edilen enerji tasarrufunun %45'i sektörlerle bağlı olmak üzere sulama sezonu başına 23 636 Avro olduğunu bildirmişlerdir.

Garcia ve ark. (2016) basınçlı sulama şebekelerinin optimal rehabilitasyonunda sulama bölge yöneticilerine yardımcı olmayı amaçlayan bir yöntem ortaya koymuşlardır. Geliştirilen yöntemde çok amaçlı bir yaklaşım kullanarak, yatırımlar ile uzun vadeli işletme maliyetleri arasında en uygun dengenin bulunması amaçlanmıştır. Ele alınan yaklaşımın ilk adımında kurulum maliyetleri ve pompa güç çekimi arasındaki optimal dengeleri belirlemek için iki alternatif optimizasyon algoritması uygulanmış, sonrasında yararlı kullanım ömrü ve sermaye geri kazanım faktörünün çeşitli değerlerini içeren olası senaryolar altında uzun vadeli maliyetler açısından optimal çözümler araştırılmıştır. Yöntem önceden belirlenmiş bir elektrik tarifesi ve şebekenin isteğe bağlı çalışması dikkate alınarak gerçek bir sulama şebekesi üzerinde test edilmiştir. Araştırmacılar, en uygun maliyetli çözümün 205 627 Avroluk yeniden tasarım maliyeti ile 6 019 447 € ve 11 498 € arasında değişen toplam maliyetli senaryo olduğunu belirlemişlerdir.

Stamouli ve ark. (2017) gerçekleştirdikleri çalışmada bir test aracı olarak COPAM yazılımı kullanarak basınçlı sulama şebekelerinde performans analizinin uygulanmasını incelemişlerdir. Bu amaçla, Yunanistan'ın Aitolokarnania ilinde bulunan, istek yöntemiyle işletilen mevcut bir kollektif basınçlı sulama alt şebekesinin, hidrolik yeterliliği COPAM performans analizi ile test edilmiştir. Ayrıca, şebeke parametrelerinin olası yanlış bir tahmininin model sonuçları üzerindeki etkisini araştırmak için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Çalışmalarında artan su talebi ile karakterize edilen üç işletme senaryosu için şebeke performansının araştırılması

sonucunda, sulama suyu ihtiyacının artması durumunda şebekenin pratik olarak tatmin edici bir şekilde yanıt veremeyeceğini saptamışlardır.

Stefopoulou ve Dercas (2017) istek yöntemiyle işletilen kollektif sulama şebekelerinin performans analizini uygulamak için NIREUS adında bir yazılım geliştirmişlerdir. Geliştirilen NIREUS programı ile şebekenin performans analizi yapılabilme, indekslenmiş karakteristik eğrilerin modelini uygulayarak incelenen sulama şebekesinin işlevsellik durumuna genel bir bakış sunabilmekte, şebeke boru ve hidrantlarını belirleyebilmektedir. NIREUS ile araştırmacılar hidrant seviyesinde performans analizini uygulayarak mevcut sorunları ortaya çıkarılabilmektedir. Çalışmada ayrıca NIREUS'un ana işlevlerini ve 64 bit işletim sistemlerinde çalışabilme gibi onu mevcut diğer yazılımlardan ayıran özellikleri açıklanmaktadır. Ayrıca, bir hidrantın operasyonel verimliliğini gösteren yeni bir gösterge de NIREUS'a dahil edilmiştir. Bu yeni ortaya konulan yazılım kullanılarak mevcut bir istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama şebekesine ait analizler yapılarak araştırma bulguları COPAM ile karşılaştırılmıştır. Araştırmacıların bulgularına göre NIREUS yazılımı incelenen sistemin hem zayıf hem de güçlü kısımlarını ortaya koymada daha yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Çalışmada uygulanan doğrulama prosedürü, indekslenmiş karakteristik eğrilerden C50 eğrisi için %0.0 ile %0.36 arasında ve C70 eğrileri için %0.01 ila %0.22 arasında değişen bağıl hata değerleri ile COPAM'a yakın sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur.

Pacchin ve ark. (2017), EPANET yazılımı ile su dağıtım şebekelerinin basınca göre anlık simülasyonlarını gerçekleştirebilmek üzere yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Araştırmacıların ortaya koyduğu yöntemde; genel amaçlı bir valf, kurgusal bir düğüm noktası, bir geri tepme vanası (çekvalf) ve her su talep eden düğümde birer rezervuardan oluşan bir dizi bileşen kullanılmıştır. Modelde kullanıcı, vana için çıkış debisi ile düğümdeki mevcut basınç yüksekliği arasındaki ilişkiyi sabitleyebilmekte ve iki parametre arasındaki ilişki temsil edilebilmektedir. Çalışmada bu yöntem üç farklı su dağıtım sisteminde denenmiştir. Araştırmacılar geliştirdikleri yöntemin karşılaştırdıkları klasik yöntemlerin doğruluk açısından daha güvenilir olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak çalışmada ortaya konulan yeni yöntemin debi ile mevcut yük arasındaki

ilişkilerin daha esnek bir şekilde tanımlanabilmesi nedeniyle daha kullanışlı olduğunu bildirmişlerdir.

Lamaddalena ve ark. (2018) istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama sistemlerde, hızlı hareket eden su ve hidrantların ani kapanmasının kararsız akış oluşturduğunu ve borularda gürültüye, titreşime hatta bazen de boruların hasar görmesine neden olabileceğini vurgulayarak, kararsız akış etkilerinin analizi için geliştirilmiş bir simülasyon aracı ortaya koymuşlardır. Çiftçilerin davranışlarını temsil etmek için aynı anda açık olan çok sayıda hidrant konfigürasyonu kullanılmıştır. Sabit durum basıncına göre sistemde meydana gelen basınç değişimini değerlendirmek için Göreceli Basınç Değişimi (RPV) adı verilen yeni bir gösterge önermişlerdir. Potansiyel arıza riski olan boruları belirlemek için bu göstergeyi kullanmışlardır. Ayrıca farklı sürgülü vanaların kapanma süreleri ile bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 3 saniyeden daha kısa kapanma süresinin borular için tehlikeli basınçlar oluşturabileceği sonucu vurgulanmıştır.

Marım ve ark. (2018) basınçlı sulama şebekelerinin tasarımlarının maliyet ve istenen işletme basınçları açısından en uygun koşullara getirilmesi amacıyla bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada bu optimizasyon probleminin çözümü için heuristik esaslı dinamik programlama ile birlikte doğrusal programlama yöntemi olan “Simplex” yönteminden yararlanılmıştır. Geliştirilen model DSİ borulu sulama şebekeleri üzerinde DSİ Network ve Excel programları ile karşılaştırılmıştır. Simplex algoritmasının daha iyi ve daha hızlı sonuç verdiği tespit edilmiştir. Araştırmacılar gerçekleştirdikleri karşılaştırmalarda Simplex yöntemi ile elde edilen sonuçların heuristik esaslı dinamik programlama ile elde edilen sonuçlara göre ekonomiklik yönünden daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Simplex yönteminin DSİ Network yazılımı daha yakın sonuçlar verdiğini saptamışlardır. Çalışmada Simplex yöntemi ile geliştirilen model, basınçlı bir şebeke için DSİ Network ve Excel yazılımları ile sınanmıştır. Araştırmacılar bu üç yöntemin sonuçlarının birbirlerine oldukça yakın olduğunu bildirmişlerdir.

Fouial ve ark. (2018) mevcut sulama dağıtım şebekelerinde yaşlanma, ilk tasarım kusurları, yanlış yönetim ve su talebindeki artış nedeniyle hidrolik performans

sorunlarına karşı şebekelerin rehabilitasyonuna yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaca yönelik olarak, planlamacılara ve karar vericilere sulama şebekelerinin rehabilitasyonu için en uygun maliyetli stratejinin belirlenmesinde yardımcı olmak için kapsamlı bir bilgisayar modeli geliştirilmiştir. Ortaya konulan modelde şebekedeki en iyi döngü konumlarının otomatik belirlenmesi için yenilikçi bir algoritma geliştirilmiştir. Araştırmacılar, istek yöntemiyle işletilen ve yerçekimi ile çalışan gerçek bir orta ölçekli şebekenin rehabilitasyonu için biri döngü seçeneğini içeren diğeri ise bu seçeneği kullanmayan iki çok amaçlı optimizasyon uygulaması denemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, maliyet bakımından daha etkin çözümler sağladığı için yerleştirilmiş döngüler kullanan rehabilitasyon seçeneğinin daha avantajlı olduğu bildirilmiştir. Bu karşılaştırma; iki çözümün de şebekeye aynı büyüklükte iyileştirme sunmasına rağmen, döngü seçeneği olan çözümün yaklaşık %77'lik bir maliyet tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir.

Kartal ve ark. (2019a) Türkiye'deki sulama şebekelerinin performans seviyelerinin istenilen düzeyde olmamasını vurgulayarak ülkenin farklı bölgelerinde bulunan Boğaçay, Çamgazi ve Sarayköy sulama şebekelerini temel bileşenler analizi ile değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar farklı kalite indeks değerlerine göre inceledikleri sulama şebekeleri sıralamışlardır. Gerçekleştirilen temel bileşenler analizi bulgularına göre; araştırılan su dağıtım performans göstergeleri, finansal göstergeler ve tarımsal üretim-ekonomik göstergelerinin bu sıralamada farklı etkileri olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada ayrıca; birim sulanan alana ulaştırılan toplam sulama suyu miktarı, birim sulama alanı üretim değeri gibi göstergelerin sulama projelerinin sıralamasında önemli faktörler olduğu bildirilmiştir.

Kartal ve ark. (2019b) gerçekleştirdikleri çalışmada Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2. Bölgede bulunan 9 adet sulama işletmesinin kullanılan kanal tipi ve uzunluklarının su dağıtım performanslarına etkilerini incelemiştir. Araştırmacılar su dağıtım performans göstergeleri ile kanal uzunlukları arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla korelasyon katsayısı hesaplamışlardır. İncelenen sulama şebekelerindeki kanal çeşitlerinde birim alana düşen kanal uzunlukları dikkate alınarak kümeleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Temel bileşenler analiziyle oluşturulan grafikler yardımıyla sulama

performans göstergeleri ve birim alana düşen kanal uzunlukları arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Araştırmacılar birim alan başına su tüketicilerine ulaştırılan yıllık sulama suyu, kanal uzunlukları ve sulama oranı arasında yüksek bir ilişki ($P < 0.01$) saptamışlardır. Diğer yandan, kanal türleri ve uzunlukları ile diğer su dağıtım performans göstergeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Çalışmada ayrıca kanal türleri ve uzunluklarının yanı sıra yönetim ve işletme gibi birçok parametrenin performans göstergelerine etkili olduğu bildirilmiştir.

Derardja ve ark. (2019) isteğe bağlı olarak işletilen basınçlı sulama sistemlerinde kararsız akışların tespiti için iki adet yeni analiz göstergesi ortaya koymuşlardır. Önerilen hidrant risk göstergesi (HRI) ile sistem borularında yayılan basınç dalgalarına neden olarak sistemdeki her bir hidrantın risk derecesini tanımlamışlardır. Diğer bir gösterge olan bağıl basınç aşımı (RPE) ile de sistemdeki bir borunun çökebileceğine dair bir uyarı sinyali olarak yorumlanan boru nominal basıncına göre sistemdeki basıncın değişimini modellemişlerdir. Çalışmada İtalya'nın Foggia eyaletindeki Sinistra Ofanto sulama projesi seçilerek ortaya konan parametrelerle analizler gerçekleştirilmiştir. Araştırmada basınçlı bir sulama sisteminin gerçek çalışma koşullarını simüle edebilen ve dolayısıyla hidrantların rastgele açılıp kapanması nedeniyle oluşabilecek kararsız akışı simüle edebilen kullanıcı dostu bir bilgisayar kodu geliştirilmiştir. Ortaya konan kod ile geliştirilen iki basit gösterge (hidrant risk göstergesi veya HRI ve bağıl basınç aşımı veya RPE) etkileri ölçülebilmıştır. Araştırmacılar bu göstergeler ile yüksek riskli olasılık konfigürasyonlarından kaçınarak istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama sistemlerinin daha verimli işletme yönetimine önemli katkıları olabileceğini bildirmişlerdir. Böylelikle, farklı tasarım alternatiflerinin etkilerinin daha iyi yorumlanmasının mümkün olabileceğini tespit etmişlerdir.

Attia ve ark. (2019) basınçlı sulama sistemli yüzey damla sulaması ve yağmurlama başlığı kullanılan bir deneysel yetiştirme çiftliğinde tarımsal üretimin karlılığını ve sürdürülebilirliğini geliştirmek için sınırlı koşullar altında su uygulama verimliliğini optimize etmek ve su tasarrufunun etkilerinin değerlendirilmesi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Ortaya koyulan HydroCalc modeli, El Nubaria, Mısır'da bulunan Tarımsal Üretim ve Araştırma İstasyonu, Ulusal Araştırma Merkezi'ndeki 30 ve 50

m'lik lateral hatları olan ve sırasıyla 0 ve 0.02 eğimlere sahip basınçlı sulama sistemi üzerinde değerlendirilmiştir. Araştırmacıların bulgularına göre; regresyon katsayısı ($R^2 > 0,90$) ve korelasyon katsayısı gibi istatistiksel göstergeler, HydroCalc'ın basınçlı sulama sistemlerinin bazı hidrolik parametrelerini simüle etmedeki performansını doğrulamıştır. Geliştirilen modelin ölçülen ve simüle edilen verilerin doğrulanmasında, sistem performansını ve su uygulama verimliliğini artırmak için basınçlı sulama sistemlerinin tasarlanmasında verimli ve güvenilir bir araç olduğu bildirilmiştir. Araştırmada yüzey damla sulama sistemleri ile belirtilen eğimlerdeki 30 ve 50 m'lik lateral hatlar kullanıldığında yağmurlama sulama başlıklarına göre sırasıyla %34,23 ve %29,54'lik enerji tasarrufları elde edilmiştir. Çalışmada lateral uzunluğu 30 m olan ve eğimi (%2) bayır aşağı olan damla sulama sistemlerinin kullanılmasının su uygulama verimini artırdığı ve lateral hatlar boyunca sürtünme kayıplarını azalttığı ve bunun da daha fazla enerji tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır.

Lamadadena ve Foial (2019) hidranta yeterli basıncın sağlanmasının basınçlı sulama dağıtım sistemleri açısından önemini vurgulayarak hidrantların kaynak akışındaki değişime duyarlılığını tanımlamak amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Hidrant duyarlılığı olarak adlandırılan bu gösterge bir hidranta bağlı bir sulama sisteminin kaynak debisinde meydana gelen değişikliklere duyarlılığını ölçebilmektedir. Hidrant güvenilirliğindeki değişiklikleri, kaynak debisindeki değişiklikler göre göz önünde bulundurarak, bu göstergenin yeni bir tanımı önerilmiştir. Çalışmada bir hidrantın duyarlılığı, sulanan arazide yeterli hizmet için gerekli basıncı karşılamak üzere güvenilirliğinin varyasyonu temelinde simüle edilmiştir. Araştırmacılar bu yeni göstergeyi İtalya'da bir sulama sistemine uygulamışlar ve duyarlılık göstergesinin basınçlı sulama sistemlerinin düzgün çalışması için karar verme sürecindeki başarısını kanıtlamışlardır.

Foial ve ark. (2020) istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama dağıtım sistemlerinin işletimindeki en zorlu belirsizliklerden biri olan eş zamanlı işletimde hidrantların sayısını ve konumunu belirlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, iklim, ürün ve toprak verilerini kullanarak tüm sulama sezonu için sulama planlamasını tahmin eden ve 15, 30 veya 60 dakikalık zaman adımlarıyla gerçeğe yakın çalışabilen

hidrant konfigürasyonları oluşturmak için bir model geliştirilmiştir. Modele Sulama Dağıtım Sistemleri için Karar Desteği (DESIDS) adı verilen entegre bir karar destek sistemi dahil edilmiştir. Bu sistemin iki modülü yani sulama talebi ve programlama modülü ile hidrolik analiz modülü birbirine bağlanmıştır. Ayrıca, performans değerlendirme ve karar verme süreçleri için iki tür analiz gerçekleştirilmiştir. Model, sulama planlaması dikkate alınarak hidrantların çalışmasını oluşturmak için İtalya'da gerçek bir sulama projesinde kullanılmıştır. Araştırmacıların bulguları, pik döneminde hidrant eşzamanlılığının %62'yi aştığını göstermiştir. Bazı hidrantlarda basınç açığının olduğu, böylece en yoğun talep gününde tek bir hidrantta sulama için sağlanan su hacminin 87 m³'e kadar azaldığı saptanmıştır. Geliştirilen modelin, sulama mevsimi boyunca herhangi bir dönemde istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama dağıtım sistemlerinin çalışmasını değerlendirme ve tahmin etme yeteneğinin yüksek olduğu, büyük esneklikle kritik bilgileri sağlayabildiği ve sulama yöneticileri için önemli bir araç olduğu bildirilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Konum

Çalışma alanı, Marmara Bölgesi'nde, Bursa şehir merkezine 84 km mesafede, Mustafakemalpaşa İlçesi sınırları içinde bulunmaktadır. DSİ tarafından gerçekleştirilen proje; Mustafakemalpaşa İlçesi merkezi konum olarak alındığında, Batıda Koşuboğazı Köyü ile Aşağı Susurluk Ovası'nın bitişik, Doğu, Kuzey ve Kuzeydoğuda Mustafakemalpaşa sağ sahil mevcut sulamasının sulama kanalı Demirelli drenaj kanalı ile bu alanın Güney ve Güneydoğu yamaçlarının yaklaşık 58 m kotu arasında Yayevli Köyüne kadar, Güneydoğuda Mustafakemalpaşa Çayı (Kocadere-Kocasu) boyunca Orhaneli kolundan Çaltılıbük bucağı Bükköy ve Gündoğdu Köyüne kadar dayanan arazileri kapsamaktadır. Sulama projesi yaklaşık olarak $39^{\circ}59'56.42''\text{K}$ - $28^{\circ}25'05.35''\text{D}$ ve $39^{\circ}52'26.97''\text{K}$ - $28^{\circ}34'33.71''\text{D}$ konumları arasındaki hatta uzanmaktadır.

Devecikonağı Barajı Bursa İli Mustafakemalpaşa İlçesi sınırları içerisinde Emet çayı üzerinde inşa edilmiştir (Şekil 3.1). Devecikonağı Barajı Güllüce – Döllük sulama projesi kapsamında planlanmış olup hidroelektrik santrali olarak da büyük öneme sahiptir. Barajın minimum su kotu 91 m ve maksimum su kotu 95m'dir. Basıncılı sulama projesinin hidrolik analizi ortalama su kotu 93 m alınarak yapılmıştır.

Sulanan Alan

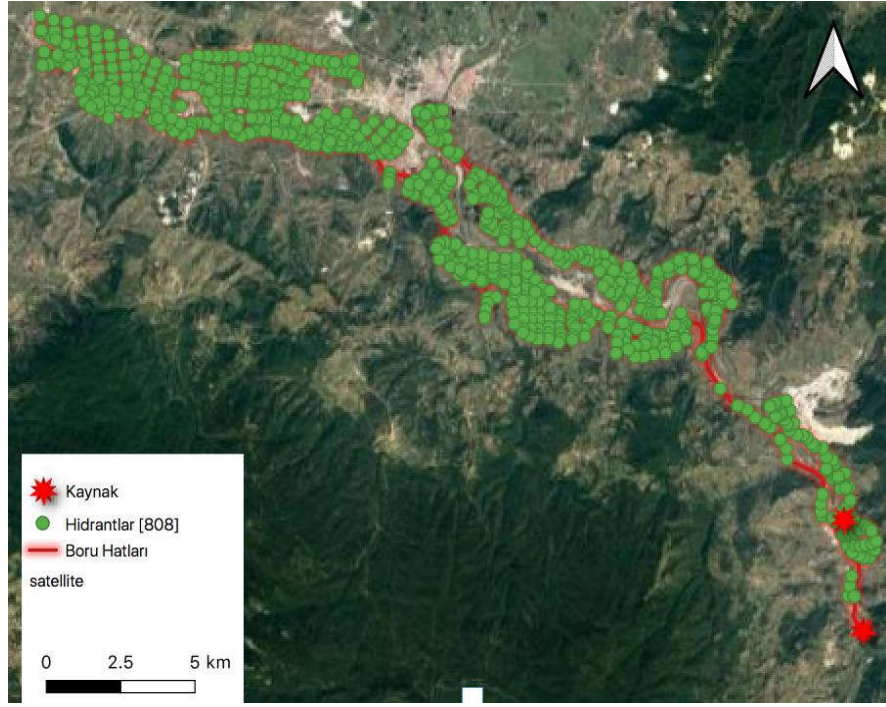
Araştırmada kullanılan sulama suyu, Bursa ili Mustafakemalpaşa ilçesinde yer alan ve 5377 ha sulama alanına sahip olan Devecikonağı Barajı'ndan sağlanmaktadır.



Şekil 3.1. Devecikonağı Barajı

DSİ verilerine göre sulama alanı yaklaşık 5377 ha olan proje 2 kısımda incelenmektedir (Şekil 3.2).

- Birinci kısım, Güllüce-Döllük ovası cazibe sulamasıdır ve sulama alanı 3957 ha'dır ve istek yöntemi ile işletilmektedir. Sulama alanı ortalama kotu 58 m'dir.
- İkinci kısım, Devecikonağı sulama alanıdır. Toplam sulama alanı 360 ha'dır ve istek yöntemi ile işletilmektedir. Sulama alanı ortalama kotu 72 m'dir. Sulama suyu, Devecikonağı Barajı'ndan sulama alanının en yüksek kotunda bulunan su toplama havuzuna elektropomp yardımıyla iletilip, hidrantlara borulu sulama sistemi ile ulaştırılmaktadır. Sulama alanına su, su toplama havuzundan cazibe ile iletilmektedir.



Şekil 3.2. Güllüce-Döllük ve Devecikonağı basınçlı sulama sistemlerinin planı

İklim Özellikleri

Proje alanı genel olarak Güney Marmara ve İç Ege iklim tiplerinin etkisi altındadır. Yaz ayları sıcak ve az yağışlı, kış ayları ise serin ve çok yağışlı geçmektedir. Sulama alanının yıllık ortalama yağışı 696,6 mm ve buharlaşma 1583,6 mm'dir. Yağışlı dönemlerde taşkın suları ile birlikte taban arazilerde biriken yaağışlar su tablasını beslemektedir.

Yıllık sıcaklık ortalaması 14 °C, ortalama bağıl nemin %73 olduğu bölgegenin sulama alanlarının genel bitki gelişim süreci 1 Mart – 16 Aralık tarihleri arasında yaklaşık 290 gündür.

Toprak Özellikleri

Sulama alanı topraklarının tamamına yakını alüvyaldır ve Marmara denizinin güneyinde bulunan çöküntü havzasının bir kısmını oluşturmaktadır. Bölgede üst ve alt toprakların bünyeleri ağır ile hafif arasında değişmektedir. Alanın 2817 ha'ında (tüm alanın

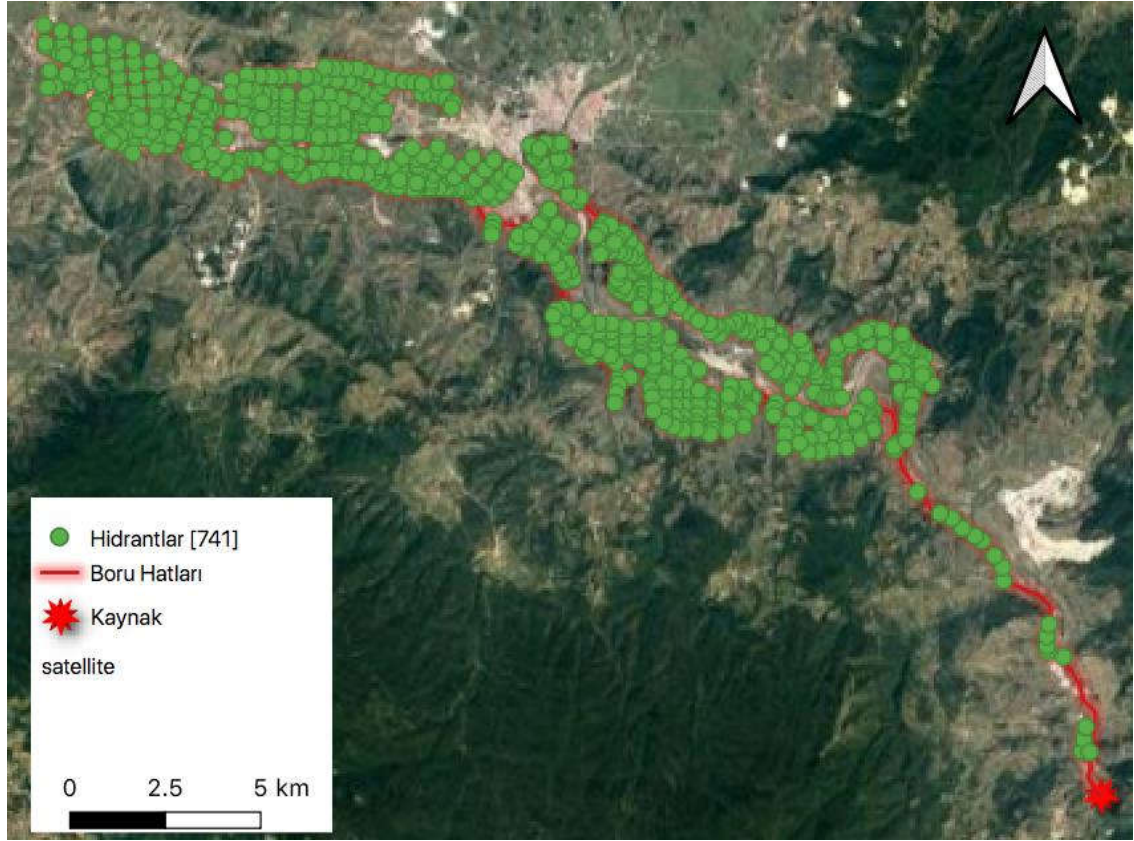
%32,1'i) üst ve alt topraklar ağır bünyelidir ve diğer kesimler ise kum, kil ve siltin farklı oranlarındaki karışımlarından oluşmaktadır.

Topoğrafya

Sulama alanının büyük bir kısmını kapsayan ve genellikle Kuzey ve Güney tepeler ve dağlarla çevrili olan Döllük-Güllüce Ovası'nın deniz seviyesinden yüksekliği 25-110 m arasında değişmekte, Mustafakemalpaşa sağ sahil ovası sulama alanının deniz seviyesinden yüksekliği ise 16-58 m'dir. Mustafakemalpaşa Yalıntaş Köyü hattından, Devecikonağı-Çaltılıbük'e kadar uzanan Mustafakemalpaşa Çayı boyunca uzanan arazilerin çay kenarlarında kalan kısımları ile Üçbeyli sulama alanının kotları 20 ile 25 m arasında değişmektedir. Bu alanın kotu üzerinde kalan araziler ise yamaç arazilerdir. Taban arazilerde eğim %0,5 ile 1 arasında, eğim yönü Mustafakemalpaşa-Yalıntaş hattının batısında Güney-Kuzey, doğuda Üçbeyli sulama alanında ise Güney-Kuzey ve Doğu-Batı doğrultularındadır. DSİ verilerinde sulama alanının genellikle düz arazilerden oluştuğu, ancak, normal ve kompleks eğim yetersizliklerini içerdiği belirtilmiştir. DSİ verilerinde bu yetersizlikler; Döllük-Güllüce ovası cazibe sulama alanının sadece 56 ha'lık bir kısmında normal, 17 ha'lık kısmında 2. sınıf eğim %2-6, ovanın sulama alanlarının 652 hektarında normal, 69 hektarında kompleks 2. sınıf eğim %2-6, 29 hektarında kompleks 3. sınıf eğim %6-10, 365 hektarında normal, 78 hektarında %2-6, ve 181 hektarında 3. sınıf eğim %6-10 olacak şekilde açıklanmıştır.

3.1.2. Bursa Mustafakemalpaşa Güllüce-Döllük İstek Yöntemi ile İşletilen Basınçlı Sulama Sistemi

Güllüce-Döllük basınçlı sulama sisteminin planı Şekil 3.3'de verilmiştir.

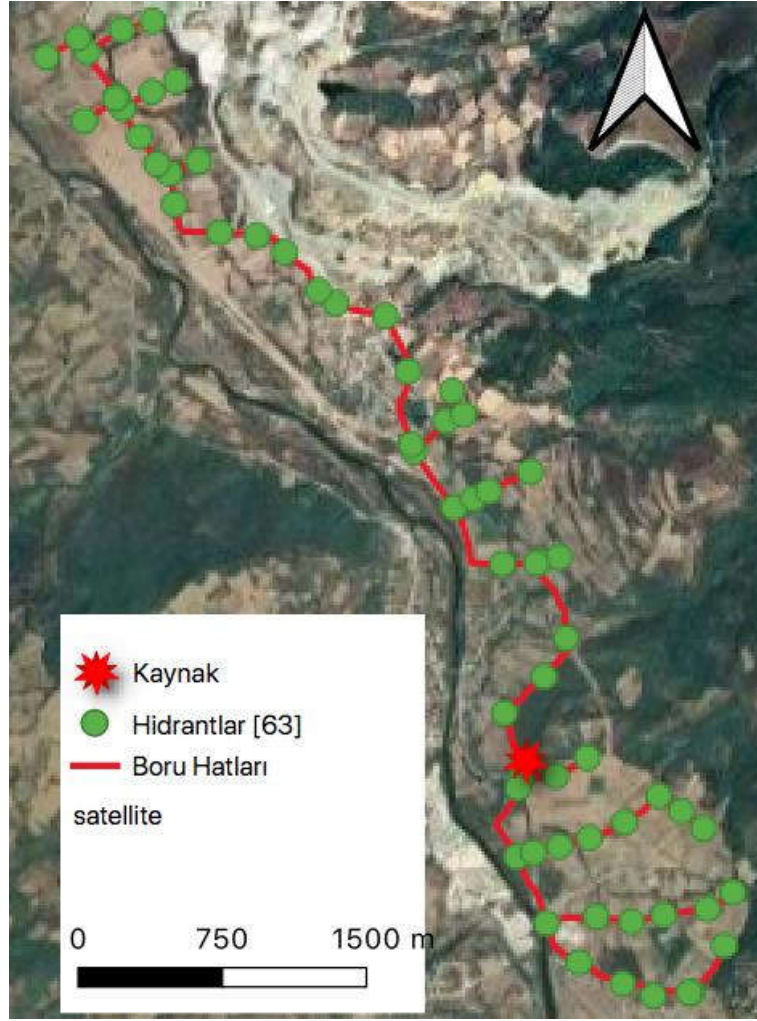


Şekil 3.3. Güllüce-Döllük basınçlı sulama sisteminin planı

Güllüce-Döllük istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sisteminin su kaynağı Devecikonağı Barajı'dır. Sulama şebekesi 595 adet hidrant ve 146 adet düğüm noktasına sahip olup istek yöntemi ile işletilecek biçimde tasarlanmıştır. Sulama alanı 5017 ha ve şebeke debisi 5035 l/s'dir. Mevcut kaynağın deniz seviyesinden yüksekliği 93 m dir. Her hidranttaki gerekli minimum yük H_{min} 20 m dir. Toplam hidrantların 595 adeti 59 adeti 10 l/s'lik, 422 adeti 20 l/s'lik, 43 adeti 30 l/s'lik ve 71 adeti ise 40 l/s'lik debiye sahiptir. Projenin anaboru hattında Cam elyaf takviyeli polietilen (CTP) ve diğer hatlarda HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) borular kullanılmıştır.

3.1.3. Bursa Mustafakemalpaşa Devecikonağı İstek Yöntemi ile İşletilen Basınçlı Sulama Sistemi

Devecikonağı basınçlı sulama sisteminin planı Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Devecikonağı basınçlı sulama sisteminin planı

Devecikonağı istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemi için gerekli olan sulama suyu Devecikonağı Barajı'ndan sulama alanının en yüksek kotunda bulunan su toplama havuzuna pompa yardımıyla iletilerek, hidrantlara borulu sulama sistemi ile ulaştırılmaktadır. Su toplama havuzundan sulama alanına su, sağ sahile 103.91 m ve sol sahile 103,60 m olan çıkış yüksekliklerinden alınmakta ve cazibe ile iletilmektedir. Toplam sulama alanı 360 ha'dır. Sulama alanı ortalama kotu 72 m'dir. Sulama suyu, sağ ve sol sahil olmak üzere iki koldan HDPE borular vasıtasıyla sulama alanına ulaştırılır. Devecikonağı basınçlı sulama projesi, 144 ha sulama alanına ve 219 l/s sistem debisine sahip sağ sahilinde 21 adet hidranta ve 3 adet düğüm noktasına, 216 ha sulama alanına ve 311 l/s sistem debisine sahip sol sahilinde ise 32 adet hidrant ve 7 adet düğüm noktasına sahiptir. Devecikonağı sağ sahilinde toplam hidrantların 7 adeti

10 l/s'lik, 12 adeti 20 l/s'lik ve 2 adeti 30 l/s'lik debiye sahiptir. Devecikonağı sol sahilinde ise tüm hidrantların 12 adeti 10 l/s'lik ve 20 adeti 20 l/s lik hidrant debisine sahiptir.

3.1.4. Kullanılan Model ve Bilgisayar Yazılımları

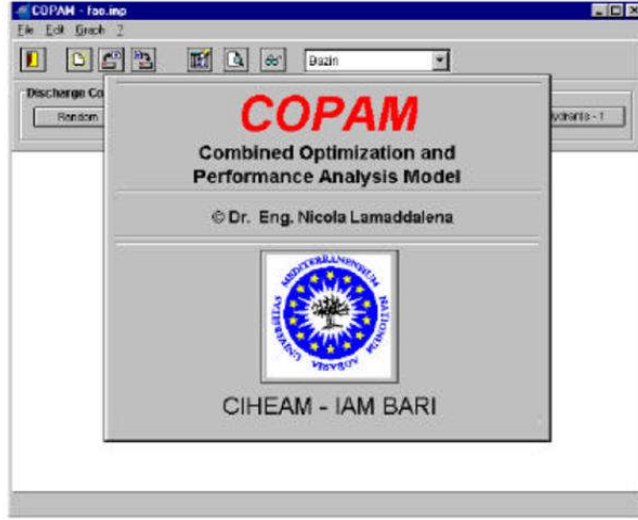
EPANET

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu (EPA), basınçlı boru şebekeleri (dallı veya döngülü) için hidrolik ve su kalitesi davranışının uzun süreli simülasyonunu gerçekleştiren EPANET adlı bir bilgisayar programı geliştirmiştir (Rossman ve ark, 2020). Bu program “gradyan yöntemi” ile çözüm yapan bir su dağıtım şebekesinin hidrolik hesaplamalarını yapmaktadır. EPANET’te belirli bir zaman ve belirli bir noktada şebekenin hidrolik durumunu karakterize eden debi sürekliliği ve yük kaybı eşitliklerini hesaplamak için, hibrit ağ-nokta yaklaşımı kullanılmaktadır. Söz konusu programda, boru uzunlukları, çapları, pürüzlülük katsayıları, düğüm noktalarında su talepleri, arazi kotları, su alma yapıları, pompa ve vana gibi ekipmanlarla ilgili veriler girilerek şebekede hidrolik hesapları yapılabilmektedir. EPANET hızlı sonuç veren tam donanımlı bir hidrolik analiz programıdır ve başlıca şu avantajlara sahiptir:

- Her boyutta sisteme uygundur.
- Sürtünmeden kaynaklanan yük kaybını, Chezy-Manning, Darcy-Weisbach veya Hazen-Williams yük kaybı formüllerinden yararlanarak hesaplar.
- Model, sabit veya değişken hızlı pompalar içindir.
- Pompa enerji maliyetini hesaplar.
- Her biri kendi zaman varyasyonuna sahip düğüm noktalarındaki çok sayıda talep kategorilerini değerlendirir.
- Hidrantlardan kaynaklanan basınca bağlı akımı modeller.

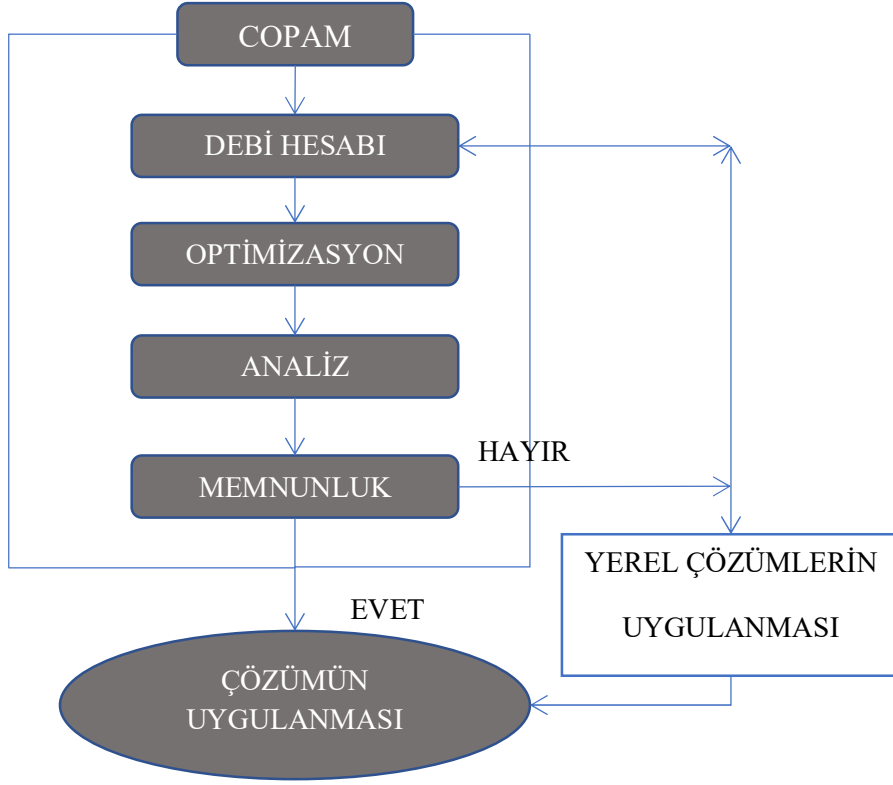
COPAM

Çalışmada, Güllüce-Döllük ve Devecikonağı istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemlerinin hidrolik analizini yapmak amacıyla kullanılan bir diğer yazılım Lamaddalena (1997) tarafından geliştirilen ve Lamaddalena ve Sagardoy (2000) tarafından yayınlanan COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model)'dır (Şekil 3.5). Model Barutçu (2011) tarafından "Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli" olarak tercüme edilmiştir.



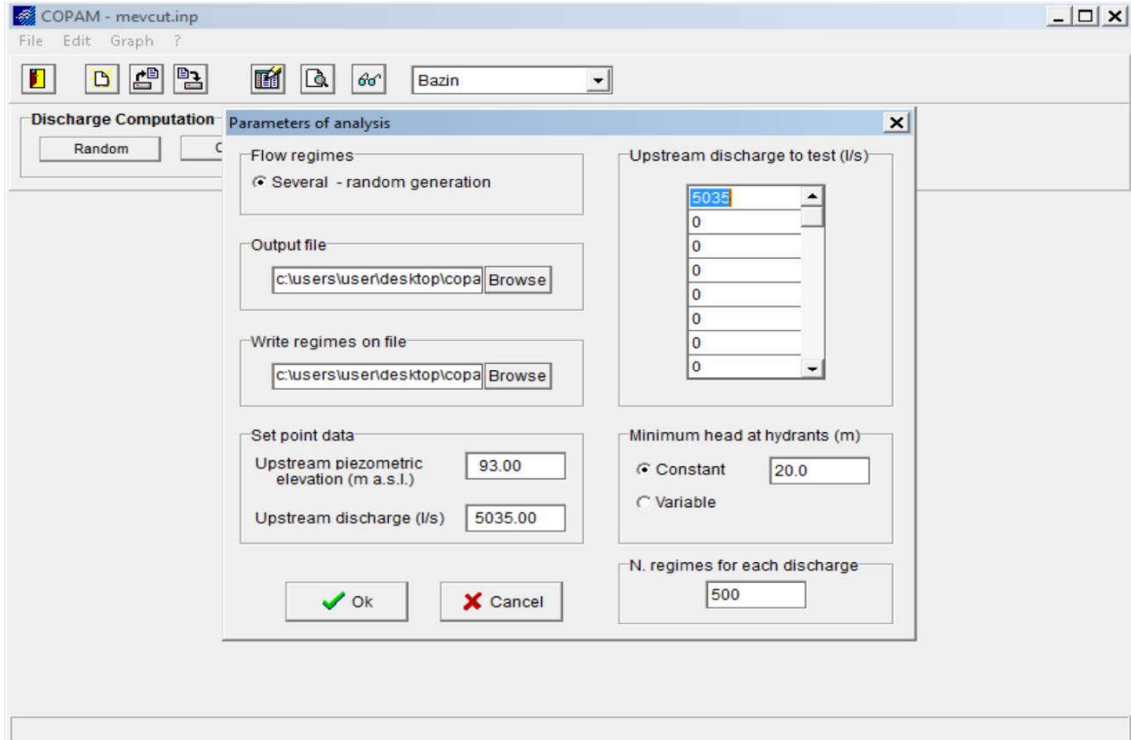
Şekil 3.5. COPAM programının açılış sayfası

COPAM paketinde; debi hesabı, boru çapı hesabı ve analiz olmak üzere programın üç farklı yapısı bulunmaktadır (Şekil 3.6). Debi hesaplama yapısında iki program (Clément ve rastgele), boru çapı hesaplama yapısı altında bir program (optimizasyon) ve analizler yapısı altında ise iki program (konfigürasyonlar ve hidrantlar) bulunmaktadır.



Şekil 3.6. COPAM programının akış diyagramı (Lamaddalena ve Sagardoy (2000)).

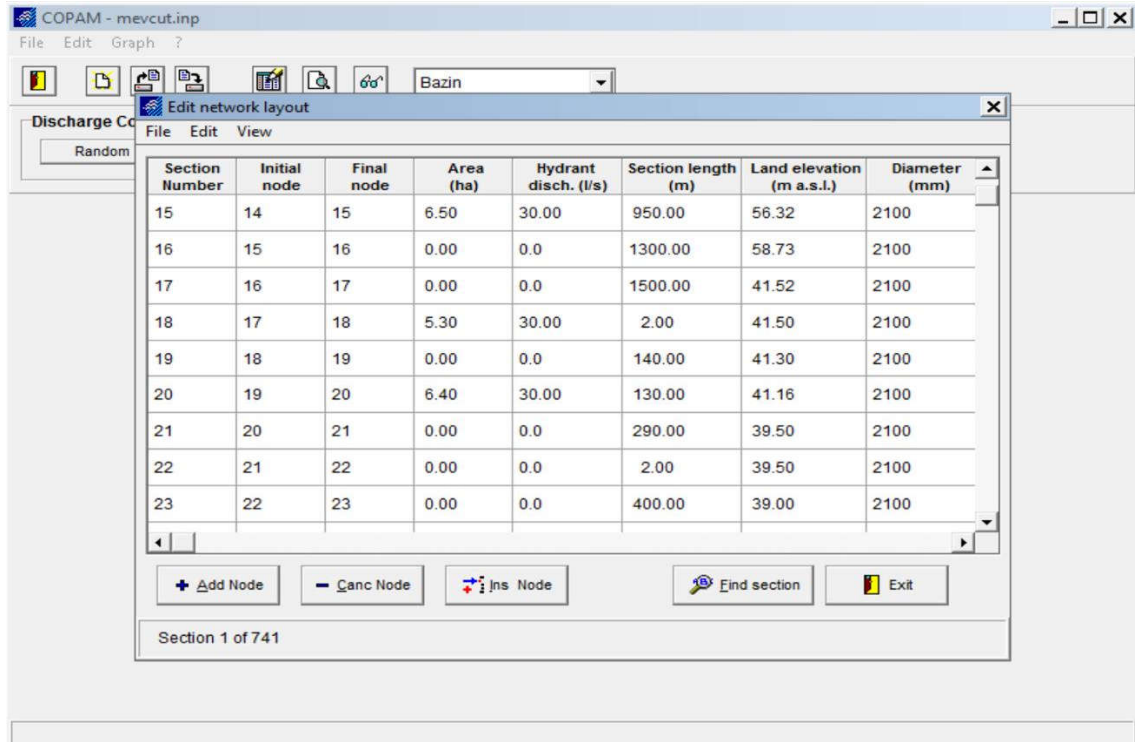
COPAM yazılımının kolay kullanılabilir bir arayüzü bulunmaktadır. Tasarım halindeki bir sulama sistemi ve mevcut bir sulama sisteminin analizinde kullanılabilir. Şebekenin kaynağının deniz seviyesinden yüksekliği (m) ve debisi (l/s olarak), “kesişim noktası verisi” seçeneğinde yazılmaktadır. Test edilecek debilerin listesi, şebekenin akış debisi ve her debi için üretilecek konfigürasyonların sayısı ilgili kutucuğa girilmektedir. Bunun sonucunda program, uygun bir sulama için gerekli minimum basınç yükünün (H_{min}) sabit veya değişken olduğu hesaplamalara izin vermektedir. İlk durumda “hidrantlardaki minimum yük” çerçevesindeki “Sabit” seçilir ve H_{min} değeri ilgili kutucuğa yazılır. Diğer durumda ise “değişken” seçilir ve her hidranttaki minimum yükün değeri girdi dosyasının en son sütununa girilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. COPAM programının analiz sayfası

Belirli bir anda çalışan her hidrant grubuna ‘hidrant konfigürasyonu’ denir. Her bir hidrantın konfigürasyonu şebekeye bir debi konfigürasyonu (ya da akış rejimi) üretir. ‘Düğüm’ terimi her iki hidrantı ve iki borunun kesişim noktasını içerir, ‘bölüm’ terimi ise herhangi iki düğüme bağlanan boruları tanımlamak için kullanılır.

Güllüce-Döllük ve Devecikonağı istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemleri mevcut verileri COPAM programına Şekil 3.8’teki gibi girilmiştir.



Şekil 3.8. Programa proje verilerinin girilmesi

3.2. Yöntem

3.2.1. EPANET

EPANET'in hidrolik simülasyon modeli; kaynak yüksekliği ve su taleplerini temel olarak şebeke düğüm noktalarındaki hidrolik yükleri ve borulardaki akış hızlarını hesaplamaktadır. Belirli bir noktada yük ve debi çözümleri, şebekedeki her bir boruda akan debi ve yük kaybı ilişkisinin aynı anda çözülmesiyle gerçekleştirilir. Şebekenin hidrolik olarak dengelenmesi olarak bilinen bu süreçte doğrusal olmayan bir dizi denklemi çözmek için iterasyonlu bir teknik kullanılmaktadır (Rossman ve ark., 2020). EPANET, bu amaç için Global Gradyan Algoritmasını kullanır). EPANET modelinde boru çapları, boru uzunlukları, pürüzlülük katsayıları, düğüm noktalarındaki su talepleri, arazi kotları ve hidrantlar gibi bileşenlere ait verilerle şebekede anlık hidrolik durum veya farklı zaman periyotlarındaki hidrolik durumlar analiz edilerek şebeke hidrolik analizleri gerçekleştirilebilmektedir (Kara, 2011).

EPANET'in talebe dayalı modelinde; sürtünme yükü kaybı ile borudaki akış arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$h_{Lij} = r q_{ij} |q_{ij}|^{n-1} + m q_{ij} |q_{ij}| \quad (3.1)$$

Verilen eşitlikte;

h_{Lij} = yük kaybı,

r = direnç katsayısı,

q_{ij} = su i 'den j 'ye akıyorsa pozitif ve ters yönde akıyorsa negatif olan i ve j düğümlerini bağlayan borudaki debi,

n = akış kuvvet katsayısı ve

m = yersel yük kaybı katsayısıdır.

Direnç katsayısının değeri, Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ve Manning formülü gibi hangi sürtünme yükü kaybı modelinin kullanıldığına bağlıdır.

Şebekenin herhangi i ve j düğümleri arasındaki bir bağlantı boyunca enerjinin korunumu aşağıdaki eşitlik ile açıklanmaktadır.

$$h_i - h_j = h_{Lij}(q_{ij}) \quad (3.2)$$

Verilen eşitlikte;

h_i = i düğümündeki hidrolik yük ve

h_j = j düğümündeki hidrolik yükür.

Aşağıdaki eşitliğe göre bir i düğümünde kütlelerin korunumu, toplam girişin toplam çıkışa eşit olmasını gerektirmektedir.

$$\sum_j q_{ij} - D_i = 0 \quad (3.3)$$

Buradaki toplama; i düğümüne bağlı tüm j düğümleri üzerinden yapılır ve kural gereği bir düğüme doğru akan debi pozitiftir. D_i , i düğümüne ulaştırılması gereken bilinen bir

debi talebi değeridir. EPANET hidrolik analizinde; kaynak ve tank gibi sabit dereceli düğümlerdeki bilinen yükler esas alınarak, her düğümdeki yük h ve her bağlantıdaki q debisi için Eşitlik (3.2) ve Eşitlik (3.3) denklemlerini sağlayan bir çözüm aranır (Rossman ve ark., 2020).

EPANET, bu denklem sistemini çözmek için Todini'nin Küresel Gradyan Algoritmasını (GGA) kullanmaktadır (Todini ve Pilati, 1988). GGA, her yinelemede iki aşamalı bir çözüm prosedürüyle sonuçlanan yinelemeli bir Newton-Raphson şeması içindeki koruma denklemlerinin doğrusallaştırılmasını kullanır. İlk adım, N adet düğüm noktası için $(N \times N)$ seyrek (sparse) bir doğrusal denklem sistemini çözerken, ikinci adım, yeni elde edilen debiyi hesaplamak için her bağlantıya bir ölçekleyici güncelleme formülü uygular (Rossman ve ark., 2020).

Algoritma, her borudaki debinin, akış sürekliliğini mutlaka karşılamayabilecek bir ilk tahmin ile başlar. Her yinelemede, aşağıdaki eşitlikte gösterilen h için bir dizi doğrusal denklem çözülerek yeni düğüm noktaları bulunur.

$$Ah = F \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte N adet düğüm noktasına sahip bir şebeke için A , bir $(N \times N)$ kare simetrik katsayı matrisidir, h , bilinmeyen düğüm noktaları $(N \times 1)$ vektörüdür ve F , sağ taraf terimlerinin $(N \times 1)$ vektörüdür. Katsayı matrisinin köşegen elemanları ise Eşitlik (3.5)'de görülmektedir. Sıfır olmayan, matrisin köşegen dışı terimleri ise Eşitlik (3.6)'da verilmiştir.

$$A_{ii} = \sum_j \frac{1}{g_{ij}} \quad (3.5)$$

$$A_{ij} = A_{ji} = -\frac{1}{g_{ij}} \quad (3.6)$$

Eşitlik (3.6)'da g_{ij} , akışa göre i ve j düğümleri arasındaki boru hattındaki yük kaybının gradyan olarak adlandırılan birinci türevidir. Borular için g_{ij} , Eşitlik (3.7)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$g_{ij} = n r |q_{ij}|^{n-1} + \frac{\partial r}{\partial q_{ij}} |q_{ij}|^n + 2m|q_{ij}| \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.8'in) sağ taraftaki F_i terimi, i düğümündeki net debi dengesizliğine bir akış düzeltme faktörünün eklenmesiyle hesaplanır.

$$F_i = \sum_j (q_{ij} + h_{Lij}/g_{ij}) - D_i + \sum_f H_f/g_{if} \quad (3.8)$$

Eşitlik (3.8)'in son terimi, i düğümünü bilinen bir H_f hidrolik yüküne sahip olan bir kaynak noktası f 'ye bağlayan her boru bağlantısı için hesaplanır. Yeni basınç değerleri eşitlik (3.4) ile hesaplandıktan sonra, i ve j düğümleri arasındaki her boru hattının yeni debi değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır (Rossman ve ark., 2020).

$$q_{ij} = q_{ij} - \Delta q_{ij} \quad (3.9)$$

$$\Delta q_{ij} = (h_{Lij} - h_i + h_j)/g_{ij} \quad (3.10)$$

GGA algoritmasının yapısı gereği, debi güncelleme formülü ilk iterasyondan sonra her düğümde debi sürekliliğini her zaman korumaktadır. İterasyonlar, kütle ve enerji korunumu denklemleriyle ilgili hedeflenen hata değerlerine dayalı bazı uygun yakınsama kriterleri karşılanana veya akışlardaki değişiklikler ihmal edilebilir hale gelene kadar devam eder.

Talep katsayısı, tüm hidrantlar ve talep kategorileri için temel taleplerin değerlerini ayarlamak için kullanılır. Örneğin, 2 talep katsayısı tüm temel talepleri ikiye katlarken; 0,5 talep katsayısı onları yarıya indirir. Varsayılan değer 1.0'dır (Rossman ve ark., 2020).

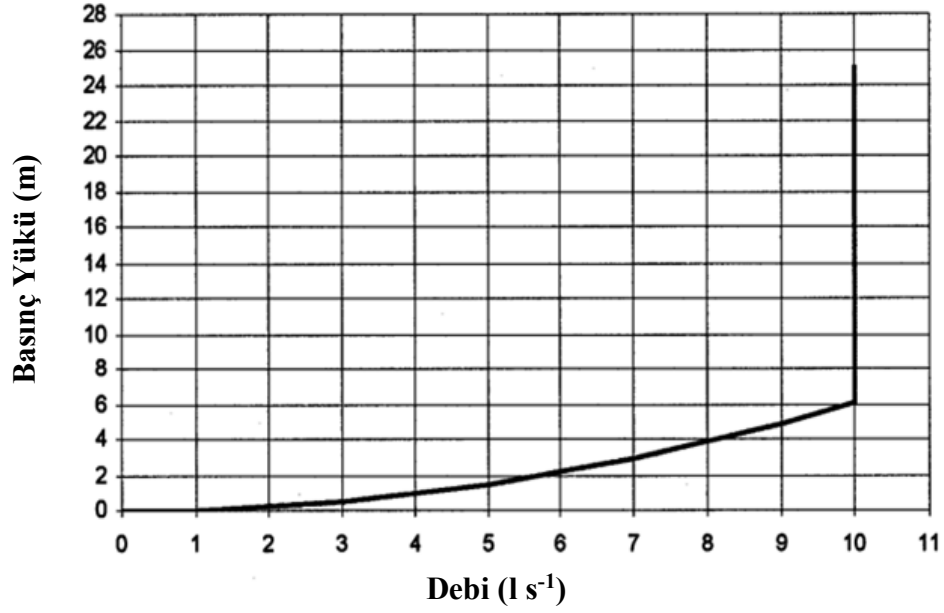
HDPE ve CTP borularda sürtünme katsayısı EPANET yazılımını için Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı 0.0015 alınmıştır (Rossman ve ark., 2020).

3.2.2. COPAM

İstek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekelerinde her bir şebeke hattı boyunca akan debi aynı sistem debisi için, o hat üzerinde açık olan hidrant sayısına ve debisine bağlı olarak değişmektedir. Bu durum, istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekelerinde birden fazla sulama talep eğrisi olduğunu göstermektedir (Barutçu, 2011; Lamaddalena, 1997; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Planells ve ark., 2001; Pérez ve ark., 2002).

Güllüce-Döllük ve Devecikonağı sulama sistemlerinin performans analiz eğrilerini oluşturabilmek amacıyla Lamaddalena (1997) tarafından geliştirilen ve Lamaddalena ve Sagardoy (2000) tarafından yayınlanan COPAM adı verilen yazılım kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan model ve modelin çalışma ilkesi aşağıda tanımlanmıştır (Lamaddalena, 1997; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000):

Basınç yükü değiştiğinde bile çalışan herhangi bir hidrantın nominal debiyi sağlayabileceği hipoteziyle, (hidrantlarda uygun bir debi sınırlayıcı varsa bu genellikle doğrudur) “konfigürasyon” (r) ifadesi; şebeke sonunda bulunan kaynaktaki nominal debinin, Q (l/s), sabitlenmiş bir değerine karşılık gelen bir grup çalışan hidrant (j) olarak tanımlanabilir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Bir hidrantın karakteristik eğrisi (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000)

Bir konfigürasyon, o konfigürasyondaki çalışan tüm hidrantların basınç yükü açısından yeterli durumda olması için aşağıdaki eşitliği sağlamış olması gerekmektedir.

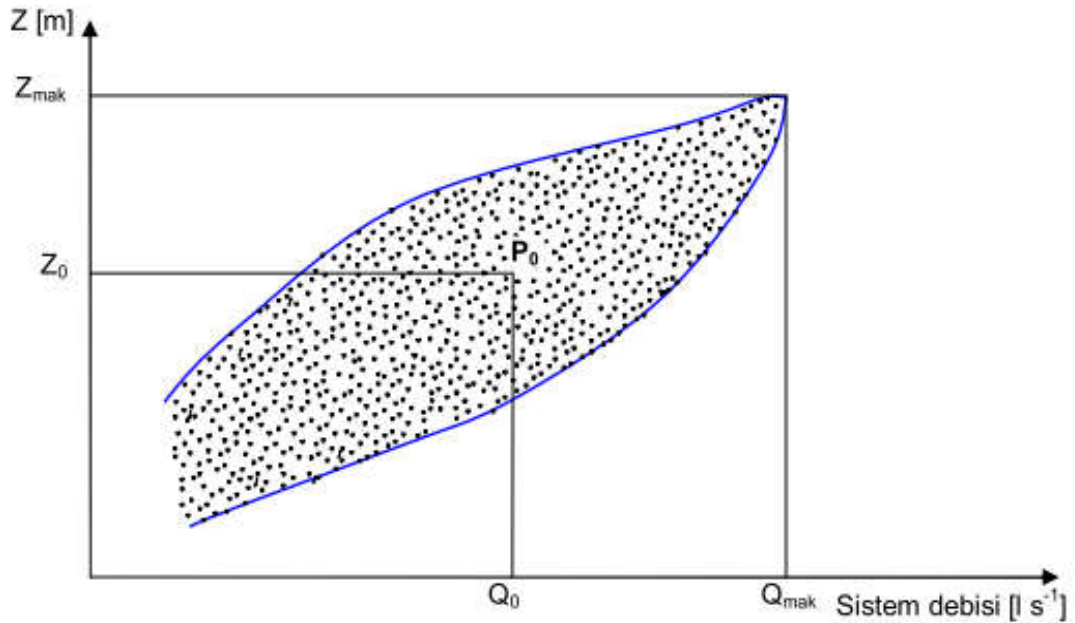
$$(H_j)_r \geq H_{min} \quad (3.11)$$

Verilen eşitlikte $(H_j)_r$, r konfigürasyonundaki j hidrantının basınç yükünü temsil etmekte ve H_{min} (m) sistemin uygun bir şekilde çalışabilmesi için gerekli minimum işletme basıncını göstermektedir.

Her bir hidrant konfigürasyonu için Eşitlik (3.11)'in sağlanması, hidrantların topografik konumuna bağlıdır. Şebeke genellikle, olası konfigürasyonların, basınç yönünden sadece belirli bir yüzdesini karşılayabilmektedir. Şebeke içerisinde (0 ve Q_{max}) arasında akan herhangi bir debi değeri Q için, Eşitlik (3.11)'de verilen ilişkiyi, her biri farklı hidrant konfigürasyonlarına karşılık gelen farklı piyezometrik yükseklik (Z_r) değerleri sağlayabilmektedir. Bu yüzden eğer tüm olası konfigürasyonlar r için 0 ile Q_{max} arasında değişen debilerde karşılık gelen (Q_r, Z_r) çiftleri hesaplanırsa Şekil 3.9'da görülen bir (Q, Z) düzlemiyle çevrelenen noktalar kümesi gözlemlenir. Eğrinin üst kısmında yer alan her $P_u(Q_r, Z_r)$ noktası, her bir debi Q_r için Eşitlik (3.11)'i %100 olarak sağlayan şebekenin kaynak yüksekliği Z_r 'yi vermektedir. Noktalar kümesinin alt

tarafındaki herhangi bir piyezometrik yükseklik değeri sistemde sağlandığında, hiçbir hidrant Eşitlik (3.11)'deki belirtilen ilişkiyi sağlayamamaktadır (Bethery, 1990; Lamaddalena 1997; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Barutçu, 2011).

Şekil 3.10'da bir basınçlı sulama sisteminin hidrolik performansının temsili noktalarının görünümü verilmiştir. Bu grafikteki alt ve üst eğriler arasında kalan noktalar birleştirildiğinde konfigürasyonların basınç yönünden belirli bir yüzdesini temsil eden diğer eğrileri de elde etmek mümkün olmaktadır. Tüm olası konfigürasyonların tamamının araştırılması, çok sayıda durumu ortaya koymaktadır. Bu ise Eşitlik (3.11) ile hesaplanabilir.



Şekil 3.10. Bir sulama sisteminin hidrolik performansının temsili noktalarının şematik görünümü (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000)

$$C_R^K = \frac{R!}{K!(R-K)!} \quad (3.11)$$

Burada C_R^K , eş zamanlı olarak çalışan K adet hidranta karşılık gelen ve şebekedeki toplam hidrant sayısı R olduğunda; Q_r , sistem debisi için olası konfigürasyonların sayısını ifade etmektedir. Bu yüzden karakteristik eğrileri elde etmek için araştırılan olası durumların sayısını azaltan bir model kullanılmaktadır. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanan K açık hidrant sayısını ifade etmektedir.

$$K = Q_r/d \quad (3.12)$$

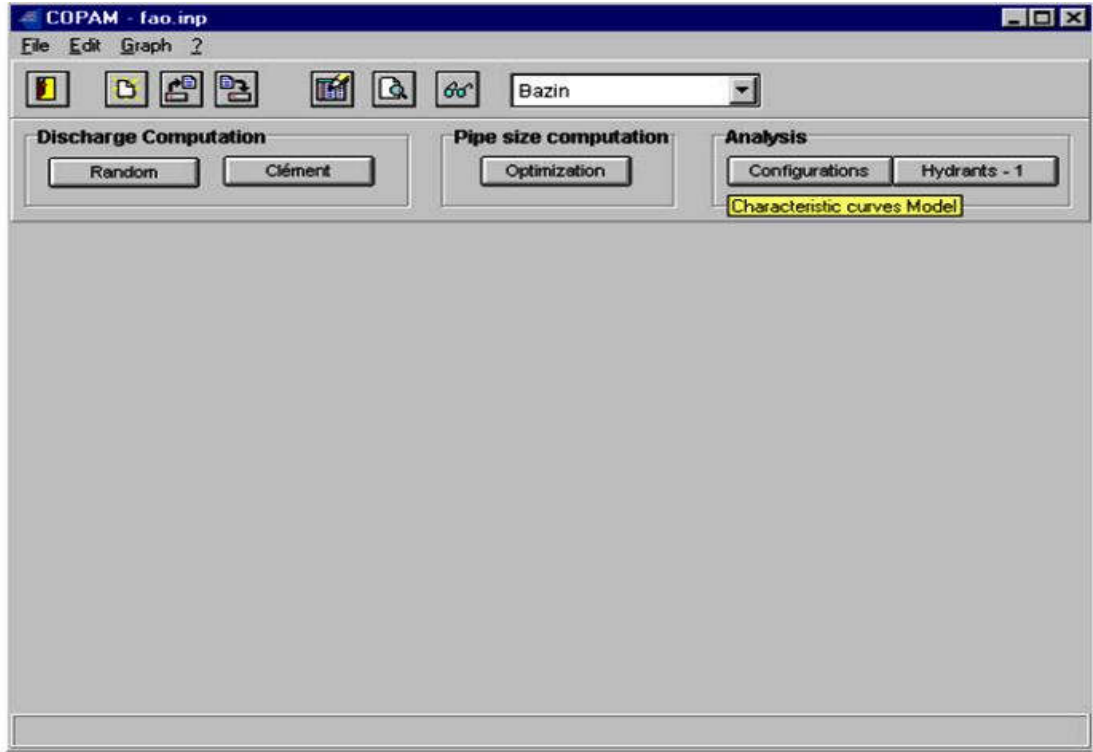
Burada; d , her bir hidrantın sağladığı nominal debiyi göstermektedir.

Böylelikle, C bilindiğinde, değişmeyen olasılık dağılımına sahip bir rastgele sayı üretme sistemi kullanılmaktadır. Her bir konfigürasyon için K hidrantları 1 ile R aralığında çizilmektedir.

COPAM programında verilen bir debiye göre, eş zamanlı olarak çalışan hidrant sayıları rastgele olarak belirlenmekte ve buna göre sistemde meydana gelebilecek olası istek eğrileri çizilmektedir. Bu aşamalar çeşitli konfigürasyonlar için tekrarlanmaktadır. Sınıflandırılmış karakteristik eğrileri, seçilen debi değerleri ve karşılanan konfigürasyonların aynı yüzdelerine sahip olan noktaların birleştirilmesiyle ($Q - Z$) düzlemine çizilmektedir (Şekil 3.10). Bu eğrilerin şekilleri şebekenin geometrisine ve sulanacak alanın topografyasına bağlıdır. Bu nedenle düzgün ya da dik şekilli sınıflandırılmış karakteristik eğriler elde edilmektedir.

Z_0 (m)'in, şebeke kaynağının yüksekliği ve Q_0 (l/s)'in kaynak tasarım debisi olduğu düşünülürse; P_0 (Q_0, Z_0) şebekenin kesişim noktası olarak tanımlanmaktadır. Daha sonra şebekenin performansı, bu kesişim noktasına karşılık gelen konfigürasyonların yüzdesiyle ilişkilendirilmektedir.

Sınıflandırılmış karakteristik eğrileri sulama sisteminin genel performansı hakkında bilgi sağlamaktadır (Şekil 3.11). Bu eğriler şu ilke izlenerek çizilmektedir: eğer bir hidrantın yükü H_j sadece gerekli olan en düşük H_{min} 'den küçükse bir konfigürasyonun karşılanamadığından sözedilir. Böylelikle eğer kesişim noktası (Q_0, Z_0) yetersiz konfigürasyonların düşük bir yüzdesine karşılık gelen bir sınıflandırılmış karakteristik eğri üzerine denk geldiğinde, modelin şebeke performansının hassas bir değerlendirmesini veremediğini göstermektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Karakteristik eğriler modülü

Model ile analiz yapabilmek için öncelikle sulama şebekesi üzerinde bulunan her bir hidrant ve bunların deniz seviyesinden olan yükseklikleri, başlangıç noktasına ve birbirlerine göre uzaklıkları belirlenmiştir. Boru çapı ve boru boyu uzunluğu gibi sulama sistemine ilişkin teknik veriler, incelenen sulama sistemi projesinden elde edilmiştir. Sulama sistem eğrilerinin belirlenebilmesi için, arazi üzerinde bulunan hidrantların konumlarına göre borularda oluşan yük kayıpları, olası her bir debi değeri için hesaplanmıştır. Sulama sisteminde oluşan yük kayıplarının hesaplanmasında COPAM'ın kullandığı Darcy-Weisbach formülünde yer alan Bazin'in pürüzlülük parametresi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000).

$$\gamma = 0.000857 (1 + 2\gamma D^{-0.5})^2 Q^2 D^{-5} L = u Q^2 L \quad (3.13)$$

Verilen eşitlikte;

γ = Bazin'in pürüzlülük parametresi ($m^{0.5}$ ile ifade edilir),

Q = boruda akan debi (m^3/s),

u = direncin boyutsal katsayısı (s^2/m),

L = boru uzunluğu (m)' dir.

Bazin pürüzlülük katsayısı, kullanılmış HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) ve CTP (Cam elyaf takviyeli polietilen) borular için 0.05 alınmıştır (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000).

Bir sulama sisteminin geniş bir sulama istek aralığı içerisinde karşılanan bir biçimde çalışabilme yeteneği sistem için önemli bir özelliktir (Hashimoto, 1980; Hashimoto ve ark., 1982). Sulama sisteminin hidrantlarında yetersizliklerin meydana gelmesi başarısızlık olarak tanımlanmaktadır. Bir istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama sistemindeki başarısızlık, uygun bir tarla sulaması için gerekli hidranttaki minimum basınç yükündeki düşüğe karşılık gelmektedir. Basınçlı sulama sistemlerinde her bir hidrantın güvenilirliği AKLA model yardımıyla hesaplanmaktadır. Sistemdeki bu güvenilirlik hesaplaması Eşitlik (3.14) ile tanımlanmıştır.

$$\alpha_j = \frac{\sum_{r=1}^C I h_{j,r} I p_{j,r}}{\sum_{r=1}^C I h_{j,r}} \quad (3.14)$$

Verilen eşitlikte;

α_j = j hidrantının güvenilirliği,

$I h_{j,r} = 1$, Eğer konfigürasyon r 'de j hidrantı açık ise,

$I h_{j,r} = 0$, Eğer konfigürasyon r 'de j hidrantı kapalı ise,

$I p_{j,r} = 1$, Eğer konfigürasyon r 'deki açık olan j hidrantındaki basınç yükü minimum basınç yükünden daha yüksek ise,

$I p_{j,r} = 0$, Eğer konfigürasyon r 'deki açık olan j hidrantındaki basınç yükü minimum basınç yükünden daha düşük ise,

C = Oluşturulan konfigürasyon sayısıdır.

Çizelge 3.1'de RPD ve Güvenilirlik değerlerinin yorumlama aralıkları verilmiştir.

Çizelge 3.1. RPD ve Güvenilirlik değerlerinin yorumlama aralıkları (Lamaddalena ve ark., 2015)

Gösterge	İyi	Makul	Zayıf	Kötü
RPD	$RPD \geq 0$	$0 > RPD \geq -0,3$	$-0,3 > RPD > -1$	$RPD \leq -1$
Güvenilirlik	$1 \geq \alpha \geq 0,8$	$0,8 > \alpha \geq 0,5$	$\alpha < 0,5$	

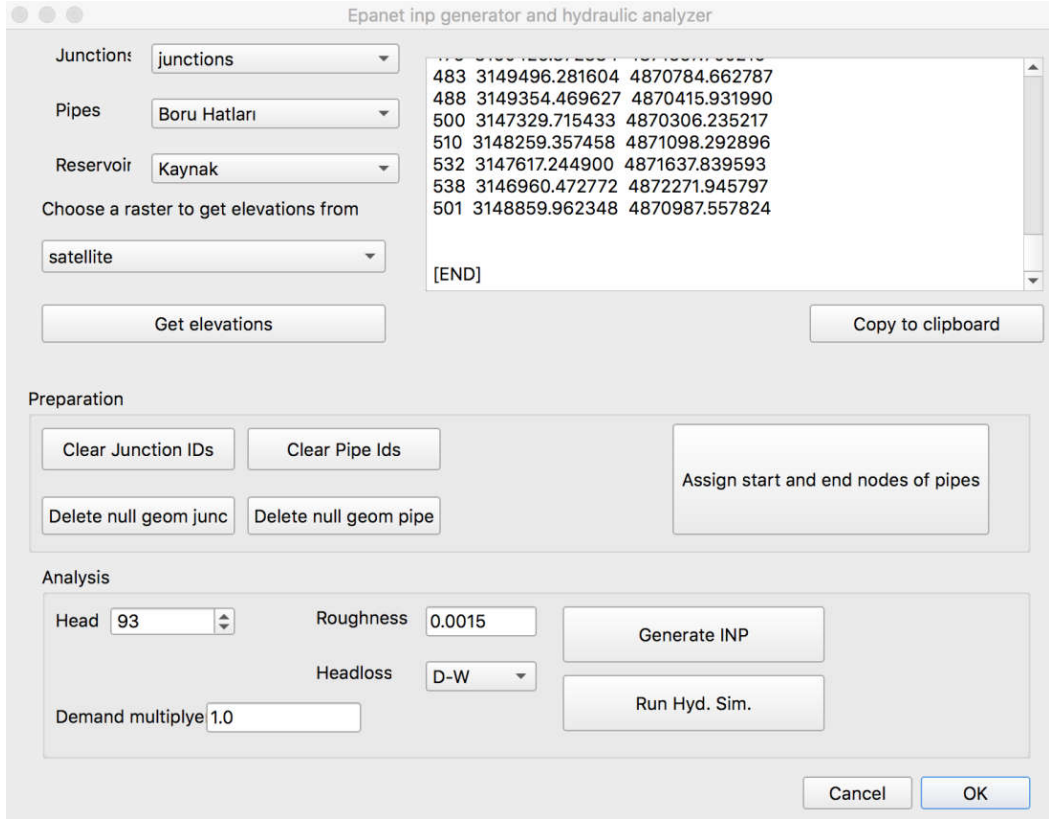
3.2.3. QGIS Eklenti Geliştirme

QGIS, coğrafi verilerin görüntülenmesini, düzenlenmesini ve analizini gerçekleştirebilen ücretsiz ve açık kaynaklı coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımıdır (Anonim 2021a). QGIS Windows, OSX ve Linux gibi yaygın bütün işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. Bu program ile amaca yönelik özelleştirilmiş amaçları gerçekleştirebilmek için Python dili ile yazılan eklentiler çalıştırılabilmektedir. EPANET açık kaynaklı yazılımının kısıtlı özelliklere sahip bir kullanıcı arayüzü bulunmaktadır. Bu arayüz, basit görüntü dosyalarının arkaplan olarak ekleme olanağı tanımaktadır. Ancak CBS yazılımlarının sahip olduğu; belirli bir coğrafi datum ile projeksiyon, koordinat konumlama, datuma göre konumlar arası uzunlukların uygun referans elipsine göre hesaplanabilmesi, konum yüksekliklerinin bir katmandan otomatik okunabilmesi gibi özellikler EPANET'in basit arayüzüyle gerçekleştirilememektedir. CBS yazılımları ayrıca yersel veri üzerinde veritabanı sorguları yapılmasına izin vermektedir. Bu yazılımsal kabiliyet, özellikle büyük sulama şebekelerinde kolay veri girişi yanında hidrolik analiz sonuçlarının daha etkin yöntemlerle değerlendirilebilmesine olanak tanıyabilir. Bu çerçevede bu çalışmanın bir diğer amacı olarak basınçlı sulama boru şebekelerinin EPANET analizlerinin CBS teknolojileri ile bütünleştirilerek yapılabilmesi ve tasarımcı, analizci ve sulama mühendislerine daha rahat ve özgür bir çalışma ortamı sunabilmek üzere bir QGIS eklentisi geliştirilmiştir.

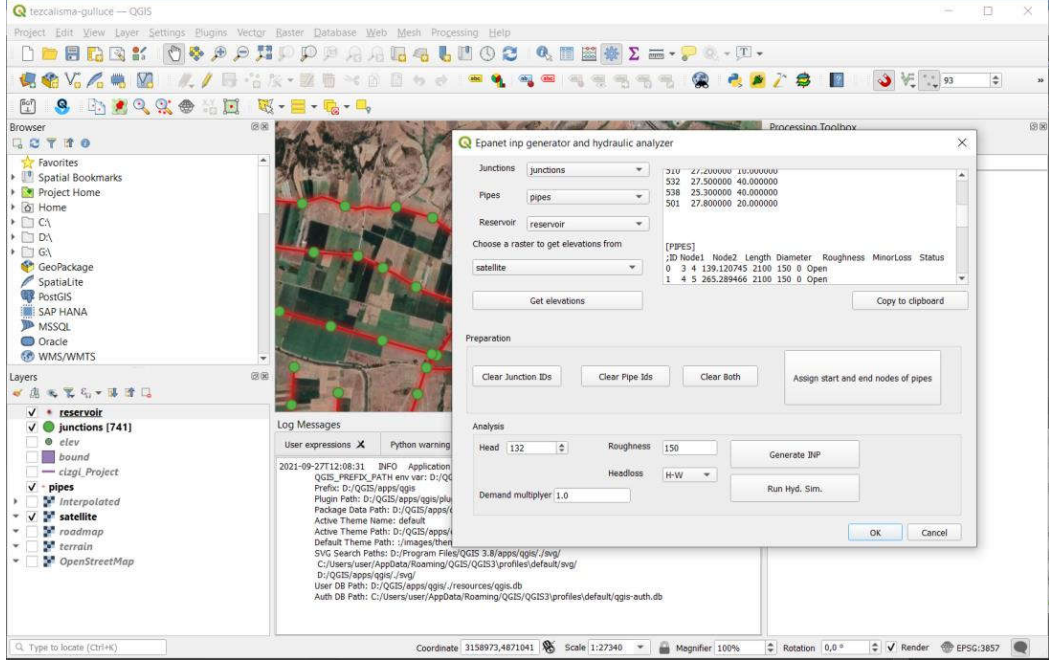
EPANET, su dağıtım sistemlerinin boru ağlarının hidrolik davranışlarını modellemek için geliştirilmiş bir programdır. EPANET araç takımı, programcılarının kendi uygulamaları için EPANET'in çözüm motorunun kullanımını özelleştirmelerine olanak tanıyan ve C ile yazılmış bir işlevler (veya API) kitaplığıdır. Hem EPANET hem de

araç takımı, ilk olarak ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından geliştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında Python 3 programlama dili ile geliştirilen EPAGEN QGIS eklentisi, kullanıcı tarafından harita üzerinde girilen proje şemasını esas alarak EPANET programında analiz edilmek üzere INP uzantılı dosyaları otomatik olarak oluşturma ve hidrolik analizi gerçekleştirmeyi sağlamaktadır. Geliştirilen eklenti, C ile yazılmış EPANET dinamik kütüphanesine (*.dll, *.so veya *.dylib) doğrudan erişerek EPANET'in ara yüzüne gereksinim duymadan hidrolik analizi gerçekleştirebilmekte ve düğüm noktalarındaki basınçlar, borulardaki hız ve debi gibi parametreleri birer vektör katmanı olarak QGIS ortamına aktarabilmektedir. Eklenti, kullanıcı tarafından tanımlanan bir raster katmanından düğüm yüksekliklerini okuyabildiği gibi bu veriler katman öznelik tablosundaki veri alanlarına kullanıcı tarafından el ile de girilebilmektedir.

Öncelikle kullanıcı, QGIS 3 programında boru (pipe) ve bağlantı kavşaklarını (junction) vektör katmanı oluşturma yönergelerine göre birer katman olarak oluşturmaktadır. QGIS programı katmanlar arasında nokta yakalama kolaylığı sunduğundan boru ve bağlantı kavşakları arasındaki nokta çakıştırma işlemleri coğrafi koordinat esaslı otomatik olarak yapılabilmektedir. Bu bağlamda borular; çizgi gruplarından oluşan bir vektör katmanı olarak, bağlantı kavşakları ise vektörel nokta verisi formatında girilmektedir. Şekil 3.12'de bir proje verisi üzerinde çalışmada geliştirilen EPAGEN QGIS eklentisi görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.12. Çalışmada geliştirilen EPAGEN QGIS eklentisinin (a) ana penceresi ve (b) QGIS arayüzü

Eklenti arayüzü üzerinde bağlantı noktası kavşakları ve boru katmanlarının çalışma ortamındaki katmanlar arasından seçilebildiği açılır kutular vardır. Bağlantı kavşakları (junctions) katmanının öznitelik tablosunda bulunan sulama alanı ve debi gibi alanlar kullanıcı tarafından girilmektedir (Şekil 3.13). Kaynak yüksekliği, pürüzlülük ve yük kayıpları hesaplama yöntemi gibi parametreler eklenti ana penceresinin analiz grubu içerisindeki kontroller ile girilebilmektedir.

EPANET dosya formatında (INP) herhangi bir boru hattı başlangıç ve bitiş düğümlerinin ID numaraları ile tanımlanmaktadır. EPAGEN eklenti arayüzünde bulunan hazırlık grubu içindeki bir düğme ile öncelikle bağlantı kavşakları katmanında bulunan bütün noktalara otomatik artışı bir ID numarası oluşturmaktadır. Daha sonra boru katmanında bu noktalara karşılık gelen kavşak noktaları esas alınarak boruların başlangıç ve bitiş düğüm numaraları oluşturulmaktadır. Şekil 3.14’de görülen boru katmanının öznitelik tablosunda bir alan olarak yer alan boru çapları ilgili hat seçilerek kolaylıkla girilebilmektedir. Boru çaplarının girildiği arayüz penceresi Şekil 3.15’de görülmektedir.

QGIS ortamında her bir geometriye karşılık gelen bir öznitelik (attribute) bulunmaktadır. Kullanıcı boru ve düğüm noktası gibi herhangi bir geometri unsurunu silmesi, bağlantı konumunu değiştirmesi veya yeni bir tane eklemesi durumunda geometrisi bulunmayan tablo satırları meydana gelebilmektedir. Bu durumun üstesinden gelebilmek için eklenti penceresinde düğüm noktaları ve boruların ID numaralarını temizleyen, boş geometrileri silebilen ve yeni ID numaralarını tahsis edebilen düğmeler eklenmiştir.

junctions :: Features Total: 563, Filtered: 563, Selected: 0

	id	elev	irrarea	discharge	reservoir
16	50	43.493	0.000	0	0
17	45	62.819	4.900	20	0
18	44	53.497	12.350	40	0
19	47	54.973	15.800	40	0
20	46	48.983	0.000	0	0
21	41	69.429	8.000	20	0
22	40	51.244	5.700	20	0
23	43	48.083	7.300	20	0
24	42	49.233	0.000	0	0
25	37	72.597	8.150	20	0
26	36	58.546	8.200	20	0
27	39	48.049	3.250	10	0

Show All Features

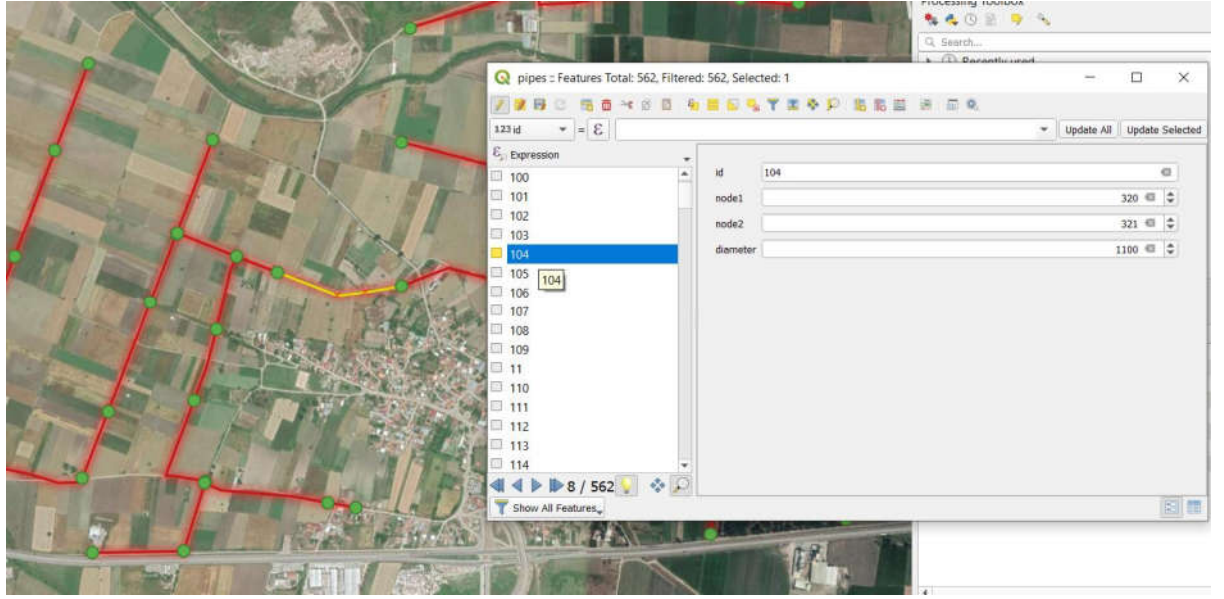
Şekil 3.13. Bağlantı kavşakları katmanı öznitelik tablosu

pipes :: Features Total: 562, Filtered: 562, Selected: 0

	id	node1	node2	diameter
22	40	153	155	1900
23	43	161	164	1900
24	42	159	161	1900
25	37	92	113	2000
26	36	91	92	2000
27	39	146	520	1900
28	38	141	146	1900
29	33	78	85	2000
30	32	72	78	2000
31	35	91	511	2000
32	34	85	511	2000
33	29	63	69	2100

Show All Features

Şekil 3.14. Boru katmanı öznitelik tablosu



Şekil 3.15. QGIS programında proje boru çapları girişi

Borular ve bağlantı kavşakları katmanlarının verileri üzerinde çalışan bir program kodu kavşak ve boruların olası bütün eşleşmelerini döngüler içerisinde kontrol ederek borular katmanındaki düğüm numaralarını oluşturmaktadır. Bu, el ile yapıldığında kullanıcı açısından büyük bir iş yükü getirmekte ve kullanıcı hatalarına yol açabilmektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen EPAGEN eklentisi ile bu işlem saniyeler içerisinde tamamlanabilmektedir. EK 1'de boru düğüm noktalarını otomatik olarak numaralandıran kod parçası görülmektedir. Ayrıca geliştirilen eklenti kullanıcı tarafından farklı katmanlar için farklı coğrafi koordinat referans sistemleri tanımlandıysa kullanıcıyı bu konuda uyarılmaktadır.

Geliştirilen EPAGEN QGIS eklentisinde bir sonraki aşama INP dosyasının üretilmesidir. INP formatı borular, bağlantı kavşakları, rezervuar gibi girdileri ayrı veri bölmeleri halinde kodlayan özel bir tekst dosyası biçimidir. EPAGEN ile önceki aşamalarda oluşturulan veriler üzerinde bir Python kodu (EK 2) çalıştırılmakta ve INP dosyasının içeriği eklenti penceresinde bulunan bir tekst alanına yazdırılmaktadır. Bu aşamada özellikle sürtünme yük kayıplarının hesaplanmasında önemli bir parametre olan boru uzunlukları, WGS 84 coğrafi koordinat referans sisteminin elipsoidine göre hesaplanarak INP dosyasına aktarılmaktadır. Kullanıcı buradan veri içeriğini kopyalayarak INP uzantılı bir dosya olarak kaydedebilmekte ve EPANET resmi

arayüzünden çağırabilmektedir. Eğer analiz sonuçları doğrudan QGIS ortamında alınmak isteniyorsa eklenti ana penceresindeki hidrolik analiz butonu ile EPANET dinamik kütüphanesi üzerinde oluşturulan INP dosyası çalıştırılabilmektedir. EK 3’de EPANET dinamik kütüphanesi üzerinde sulama şebekesi verisini çözümleyerek analiz sonuçlarını birer CBS katmanı olarak üreten Python fonksiyonları verilmiştir.

EPANET algoritması bir şebekede bulunan tüm tüketici düğüm noktalarında tanımlanan talep debisinin ne olursa olsun karşılandığını kabul etmektedir. Ancak EPANET geliştiricileri tarafından bir şebekenin analizde talebi karşılanamayan tüketici noktaları olduğunda algoritmanın negatif basınç değerleri ürettiği bildirilmiştir (Rossman ve ark., 2020; Anonim, 2021b). Çalışmada EPANET analizleri sonucunda elde edilen negatif basınçlı hidrantlar, “talebi karşılanamayan hidrant” olarak değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda oluşan vektör katmanında talebi karşılanamayan düğüm noktaları kırmızı, karşılanabilen noktalar ise yeşil semboller ile görselleştirilmiştir. EPANET yazılımı farklı birim sistemlerinde analizler gerçekleştirebilmektedir. Eklenti ile üretilen INP dosyası içinde [OPTIONS] parametre grubu başlığı altında bulunan UNITS değişkeni LPS olarak ayarlanmıştır. Böylelikle SI metrik sisteminde bu çalışmada EPANET analizlerinde kullanılan birimler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. EPANET analizlerinde kullanılan birimler

PARAMETRE	BİRİM
Talep	L/s
Çap (Borular)	millimetre
Yükseklik	metre
Debi	L/s
Hidrolik yük	metre
Uzunluk	metre
Basınç	metre
Pürüzlülük katsayısı	Darcy-Weisbach ($m \times 10^{-3}$)
Hız	m/s

Çalışmada incelenen sulama şebekesi DSİ verilerine göre, ana boru hattı CTP (cam takviyeli polietilen) boru ve diğer hatlar HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) borularla

inşa edildiğinden, analizlerde birimsiz Darcy-Weisbach katsayısı Rossman ve ark. (2020) tarafından önerildiği üzere 0.0015 olarak alınmıştır.

Güllüce-Döllük ve Devecikonağı istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekeleri QGIS-EPANET ve COPAM yazılımları ile hidrolik analizleri yapılmıştır. Bulgular ve Tartışma bölümünde detayları verilen analizler sonucunda sulama yapılacak arazilerin su taleplerini karşılayabilecek çözüm yöntemleri önerilmiştir.

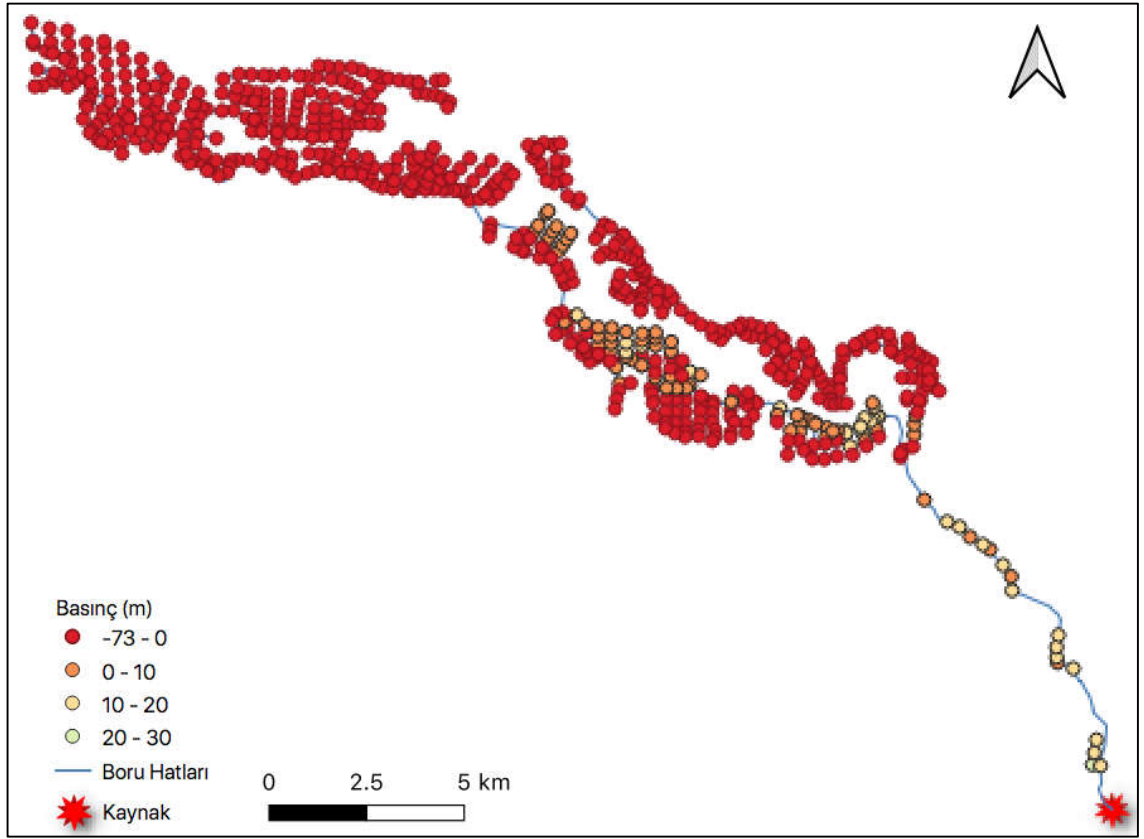
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. QGIS-EPANET Tümüleşik Analiz Bulguları

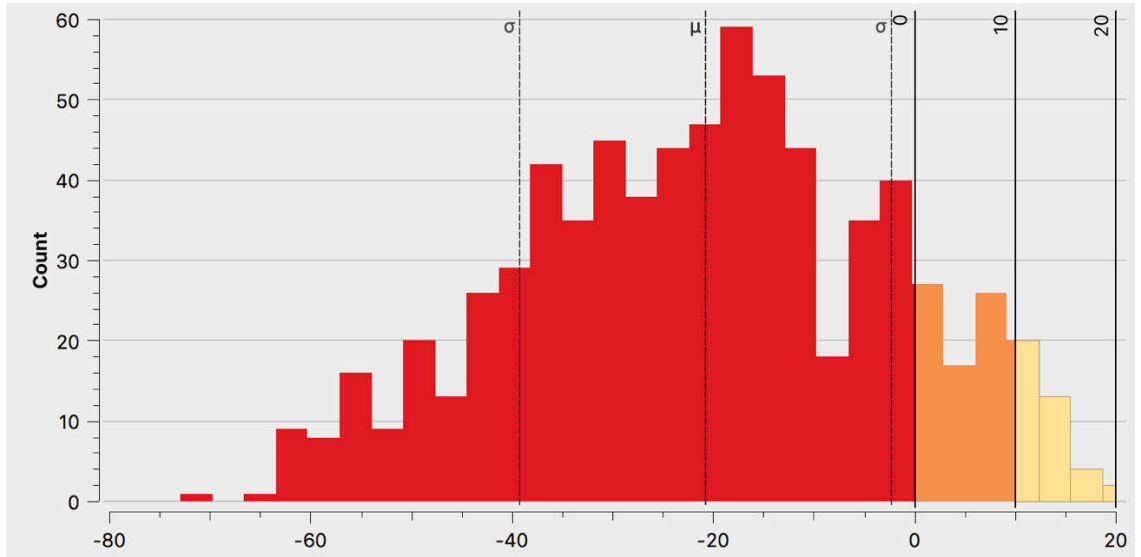
4.1.1. Güllüce-Döllük Sulama Projesi

Mevcut Koşullarda Sulama Sisteminin Analizi (Talep Katsayısı – 1,0)

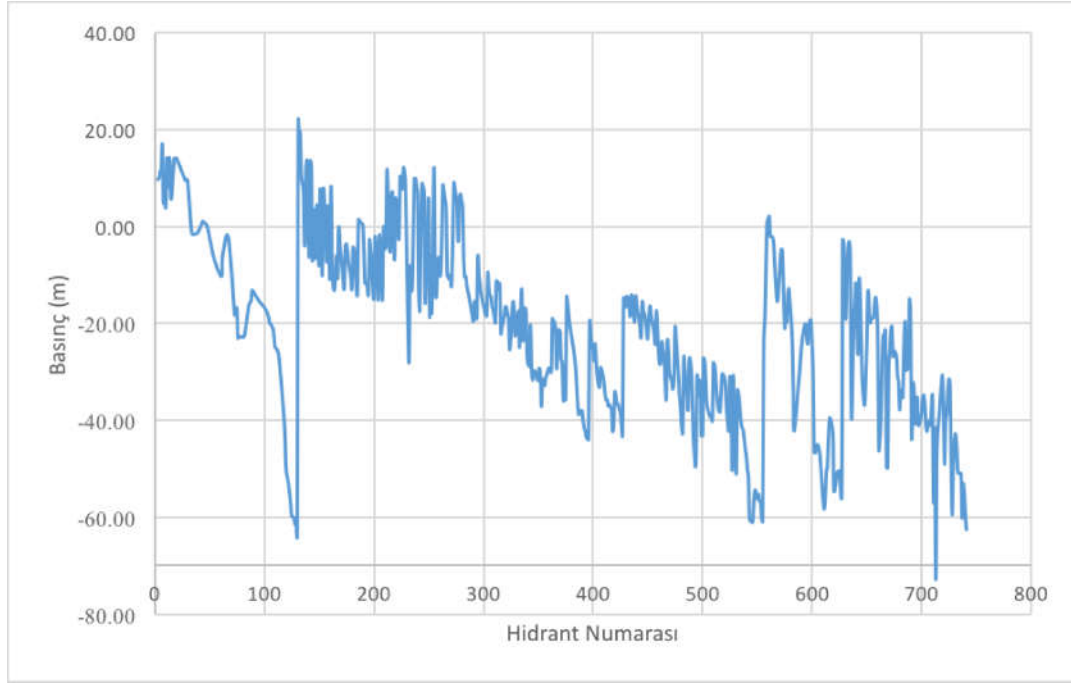
İncelenen Güllüce-Döllük sulama projesinde DSI'nin öngördüğü hidrantlardaki debi taleplerinin tamamının karşılanabilme durumunu incelemek üzere talep katsayısı 1,0 alınarak EPANET hidrolik analizi çalıştırılmıştır. Bunun sonucu olarak, talebi karşılanamayan hidrantlarda negatif basınçları gösteren ve Şekil 4.1'de görülen QGIS ortamında hidrant planı elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, proje hidrantlarının sadece %13'nün 0'm üzerinde basınca sahip olduğu saptanmıştır. Şekil 4.2'de ise basınç değerlerinin histogram dağılımları görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.3 birlikte incelendiğinde, şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının -21 m olduğu ve değerlerin büyük bir kısmının -40 – 0 aralığında dağıldığı tespit edilmiştir. Analiz bulgularına göre istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama sisteminde hidrantların %13'ü 0'm üzerinde basınca sahip olduğu, %4'ünün 10 m'den fazla basınca sahip olduğu ve sadece %0,2'nin 20 m basıncın üzerinde olduğu görülmektedir. Sistemin %99'unun mevcut proje koşullarında istenilen minimum basınç olan 20 m (yaklaşık 2 atm) basıncı karşılayamadığı saptanmıştır. Şebekedeki gözlenen bu yetersizliklere bir çözüm olarak, hangi talep koşullarında hidrantların büyük bir çoğunluğunun talebi karşılanabildiği araştırılmıştır. Bu amaçla sulama şebekesinin diğer parametreleri sabit tutulmak koşuluyla 0,7 ile 1,0 arasında 0,1 artışlı 3 farklı talep katsayıları ile hidrolik analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Mevcut koşullarda sulama sisteminin EPANET hidrolik analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

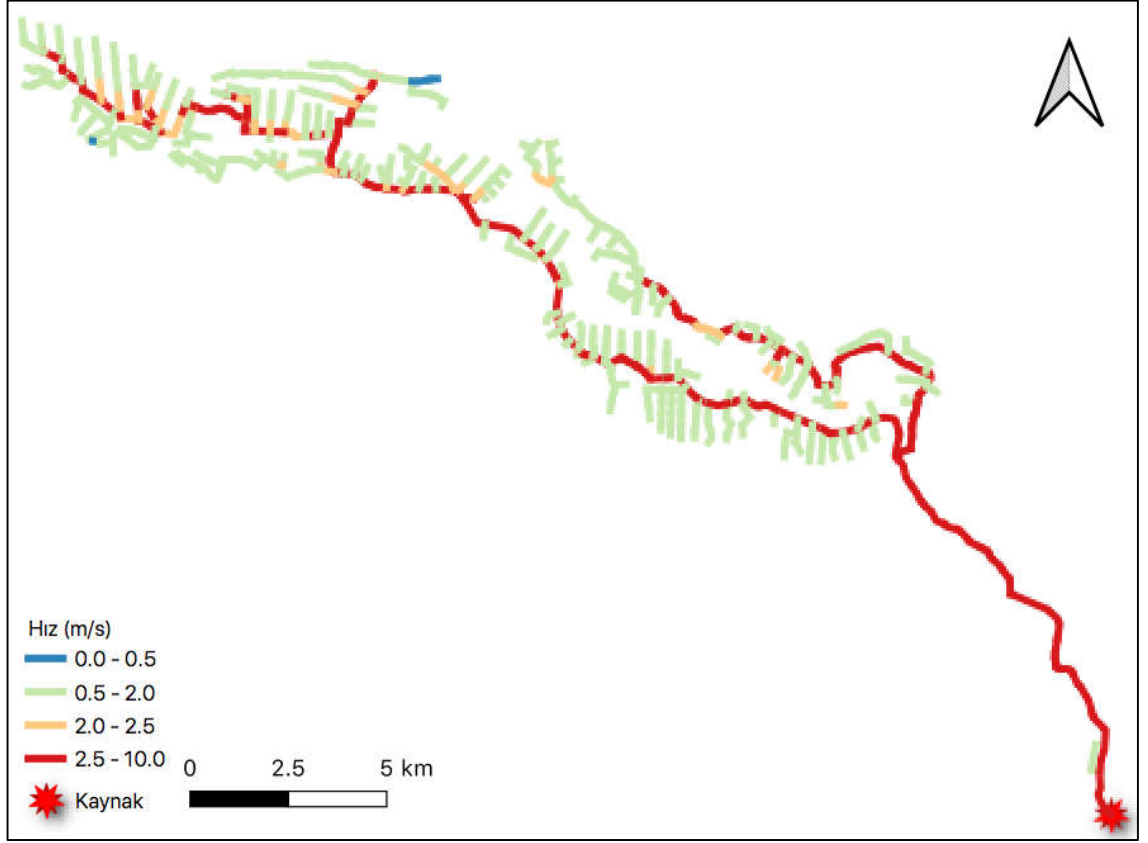


Şekil 4.2. Mevcut koşullar için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

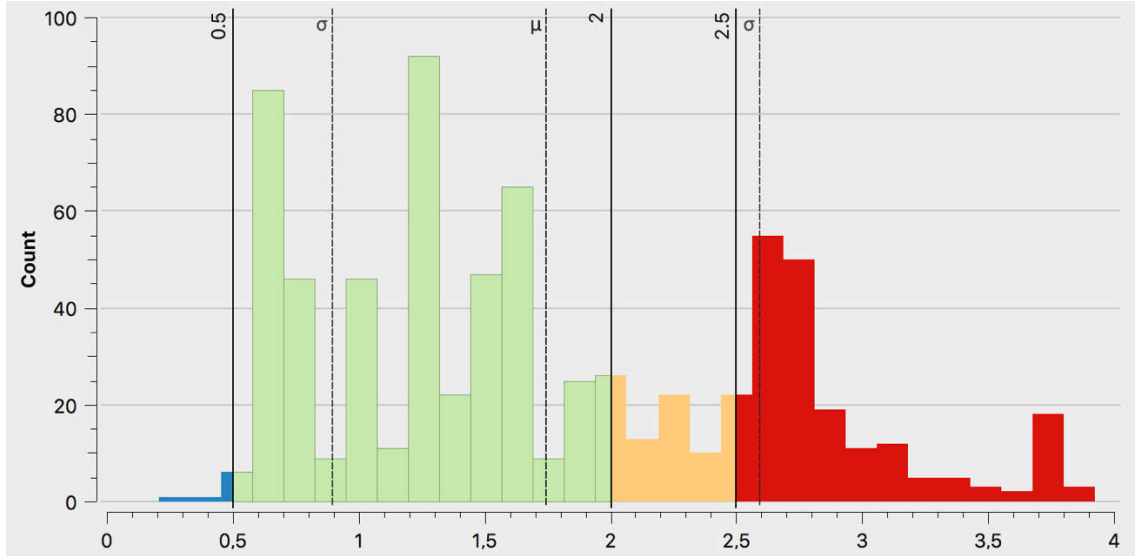


Şekil 4.3. Mevcut koşullarda EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Talep katsayısı 1,0 için gerçekleştirilen EPANET hidrolik analizi sonucu QGIS ortamında şebeke borularındaki su akış hızları da incelenmiştir. Gerçekleştirilen analize göre hız değerleri 4 farklı değer aralığında Şekil 4.4’de görüldüğü gibi incelenmiştir. Boru sürtünme kayıpları ve akış talebi arasındaki arzu edilen bir denge için akış hızı değerlerinin 0,5 ile 2,5 m/s arasında olması istenmektedir (Lamaddalena ve ark., 2015). Bu çerçevede Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’deki histogram incelendiğinde, şebekenin boru sistemindeki hızlarının daha çok bu aralıkta dağıldığı gözlemlenmiştir. Sistemde ortalama akış hızı 1,72 m/s’dir. Hız planında (Şekil 4.4) kırmızı ile renklendirilen şebekenin ana boru hatlarında ise 2,5 ile 4,0 m/s arasında değişen hız değerleri saptanmıştır.



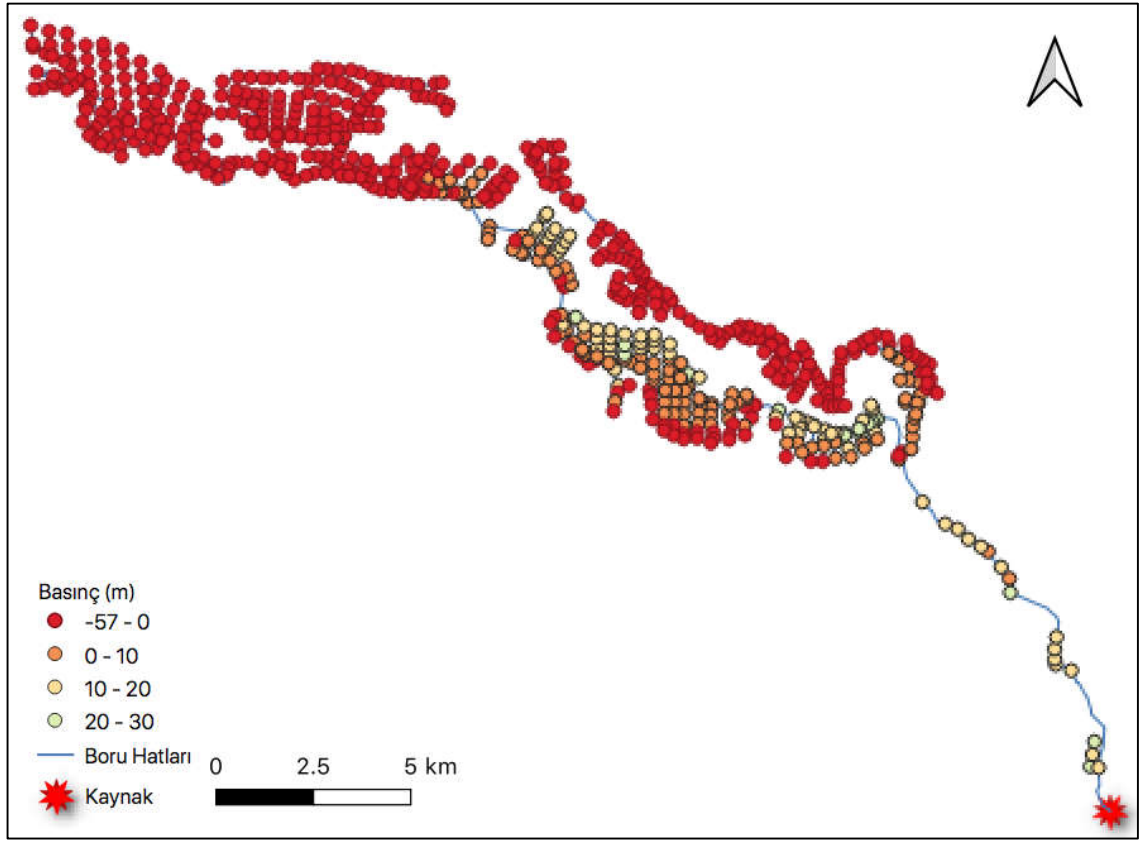
Şekil 4.4. Mevcut koşullarda EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



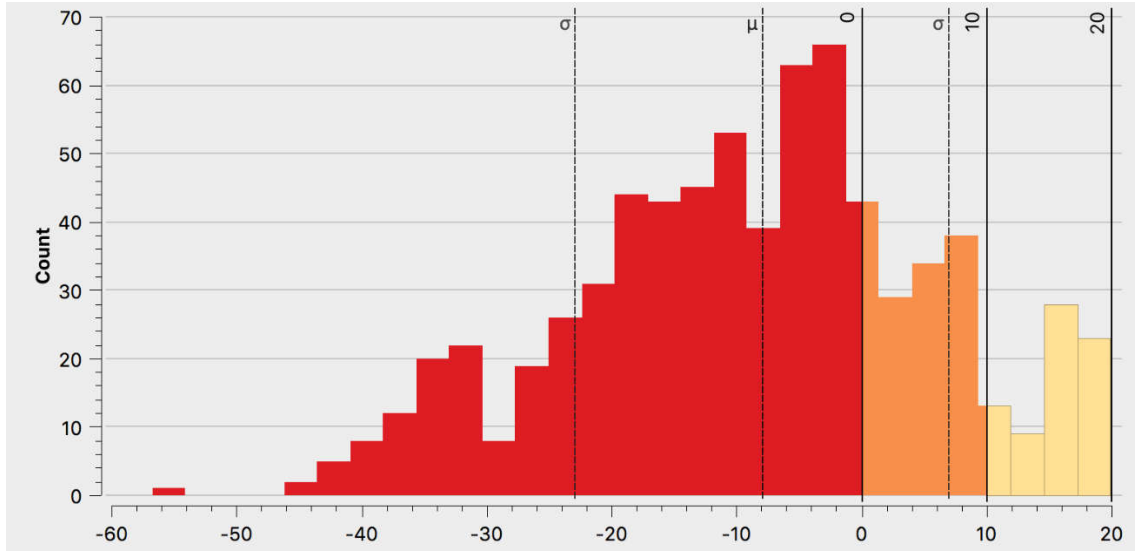
Şekil 4.5. Mevcut koşullarda EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

Talep Katsayısı – 0,90

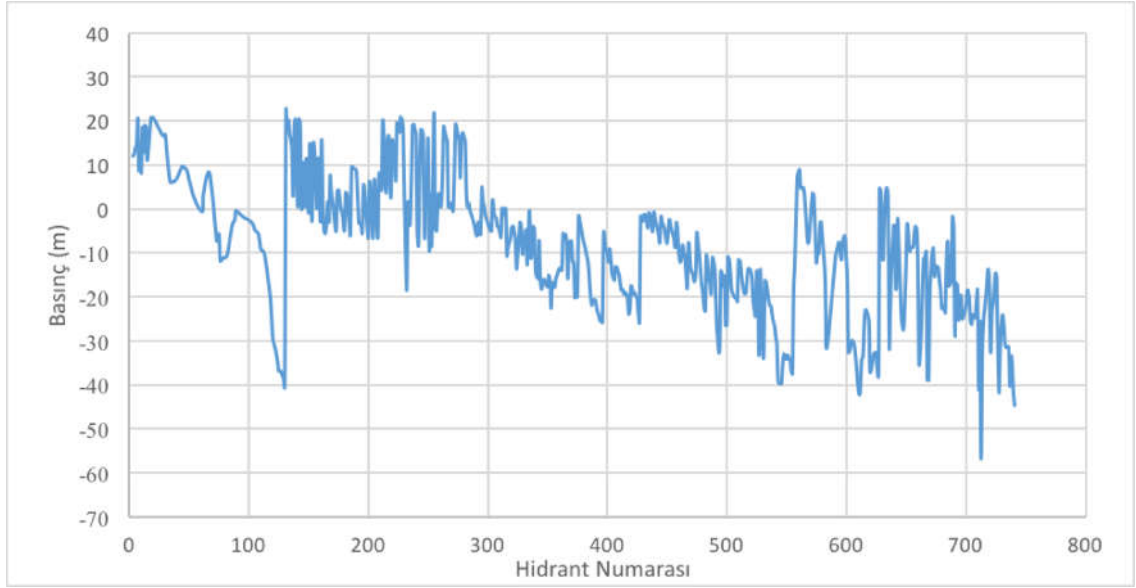
EPANET kullanılarak sulama sistemi 0,9 talep katsayısı ile analiz edildiğinde Şekil 4.6'da görülen basınç durumlarını yersel olarak gördüğümüz QGIS hidrant planı elde edilmiştir. QGIS harita katmanından proje hidrantlarının %26'sının 0'ın üzerinde basınca sahip olduğu saptanmıştır. Basınç değerlerinin histogram dağılımları ise Şekil 4.7'de görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren grafik (Şekil 4.8) incelendiğinde, şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının -10 m olduğu ve değerlerin büyük bir kısmının -20 – 0 aralığında dağıldığı ortaya çıkmıştır. İstek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama sisteminin talep katsayısı 0,9 alındığında hidrantların %26'sının 0'ın üzerinde basınca sahip olduğu, %11'inin 10 m den fazla basınca sahip olduğu ve sadece %2'sinin 20 m basıncın üzerinde olduğu saptanmıştır. Sistemin %98'inin mevcut proje koşullarında hidrant düzeyinde istenilen minimum basınç olan 20 m (yaklaşık 2 atm) basıncı karşılayamadığı sonucuna varılmıştır. Taleplerin %10 azaltılmasının sistem üzerinde basınç açısından iyileştirici etkisinin yeterli olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 4.6. Talep katsayısı 0,9 için sulama sisteminin EPANET hidrolik analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

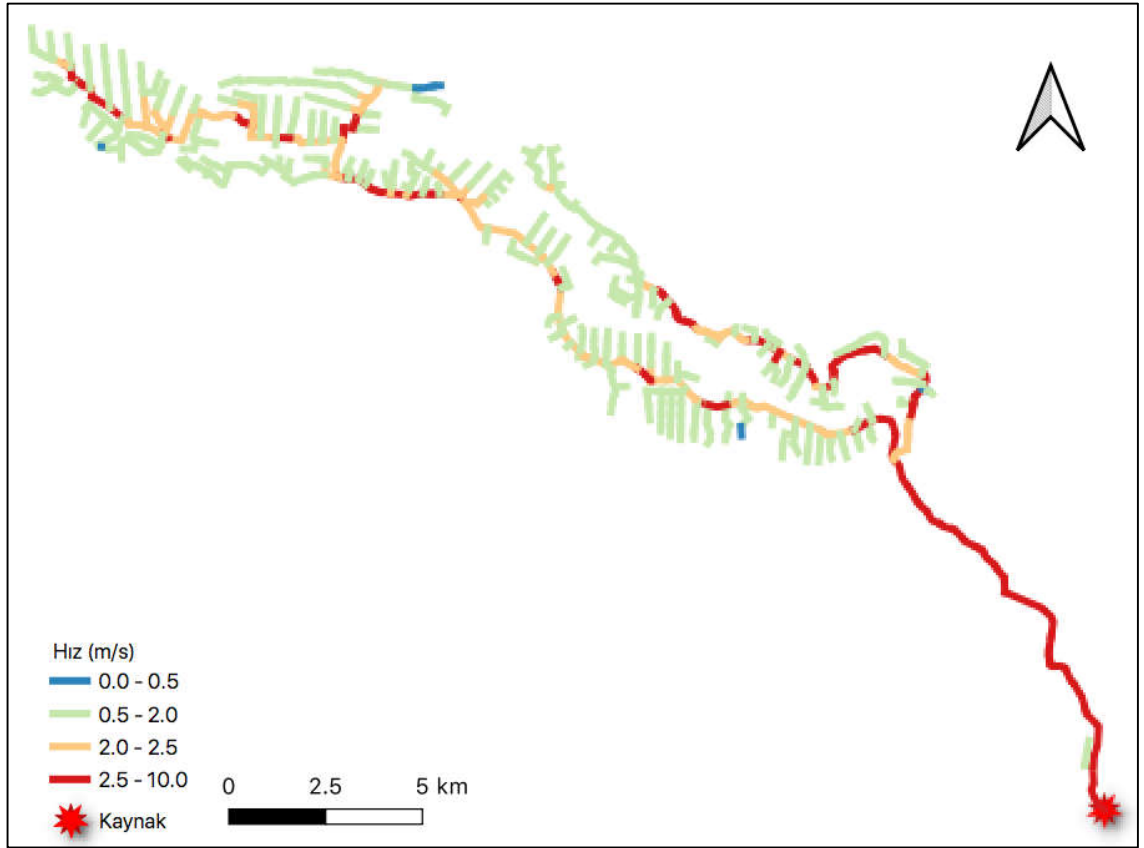


Şekil 4.7. Talep katsayısı 0,9 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

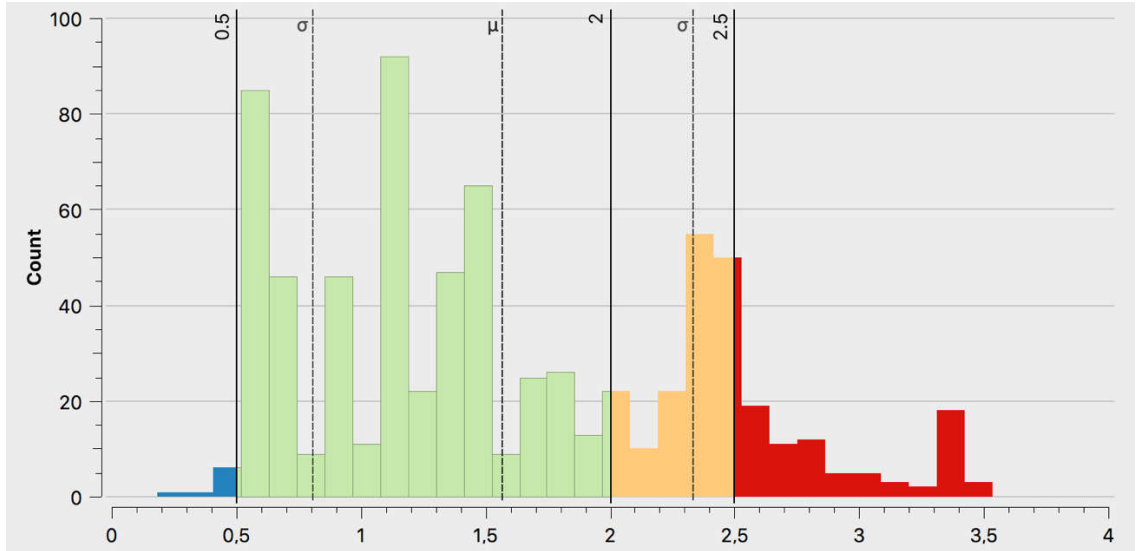


Şekil 4.8. Talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

QGIS ve EPANET'in birlikte çalıştırıldığı analiz ortamında talep katsayısı 0,9 için gerçekleştirilen denemelerde şebeke borularındaki akış hızları değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen analize göre hız değerleri, Şekil 4.9'de görüldüğü gibi, 4 farklı aralıkta incelenmiştir. Bu çerçevede Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'daki histogram incelendiğinde, şebekenin boru sistemindeki hızların daha çok 0,5 ile 2,5 m/s aralığında dağıldığı gözlemlenmiştir. Sistemde ortalama akış hızı 1,55 m/s'dir. Hız planında kırmızı ile renklendirilen şebekenin ana boru hatlarının bazı kısımlarında ise 2,5 ile 3,5 m/s arasında değişen hız değerleri saptanmıştır.



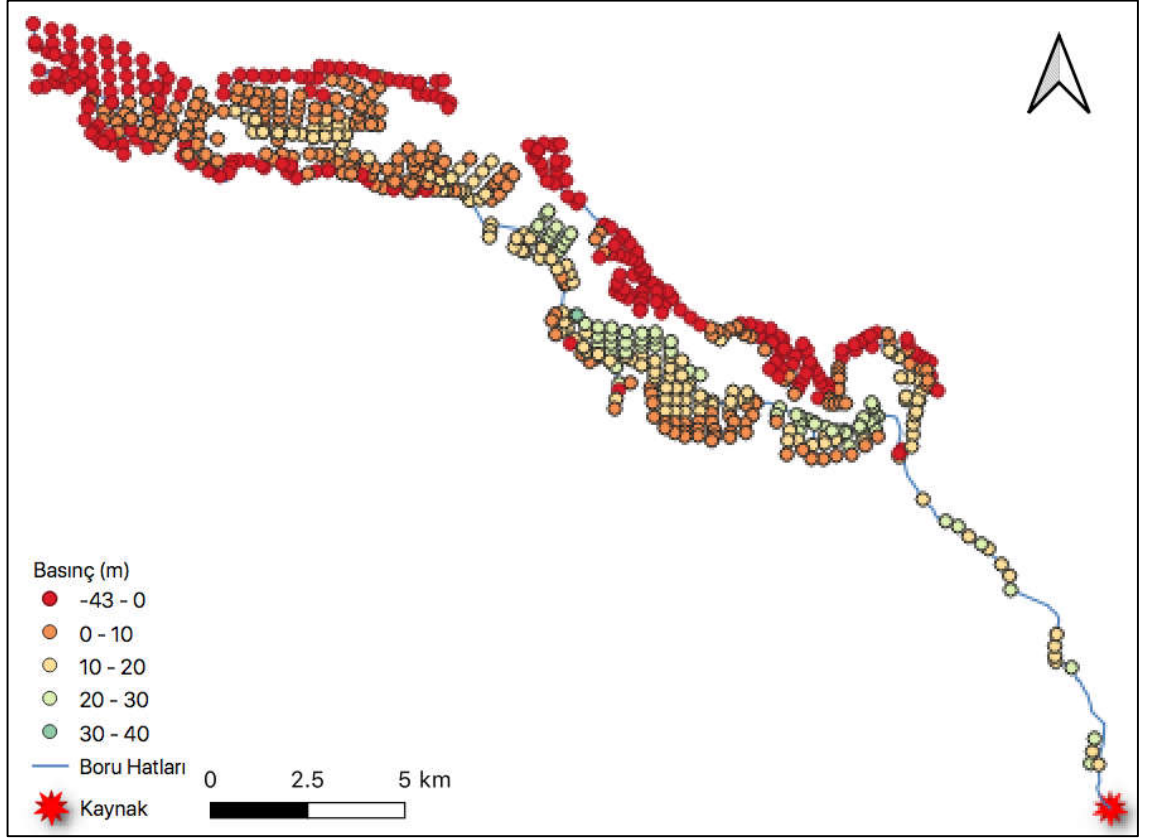
Şekil 4.9. Talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



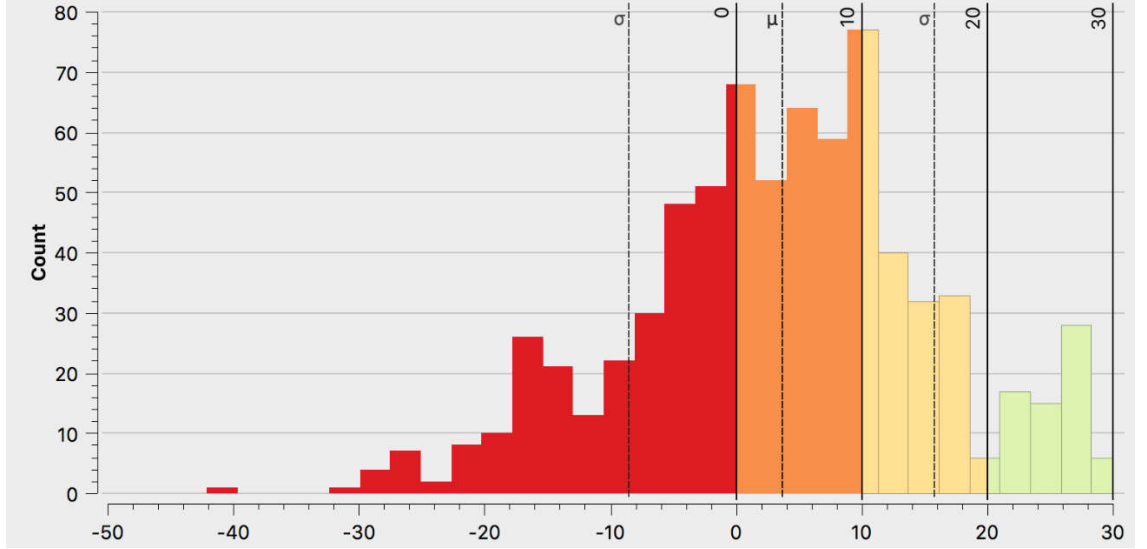
Şekil 4.10. Talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

Talep Katsayısı – 0,80

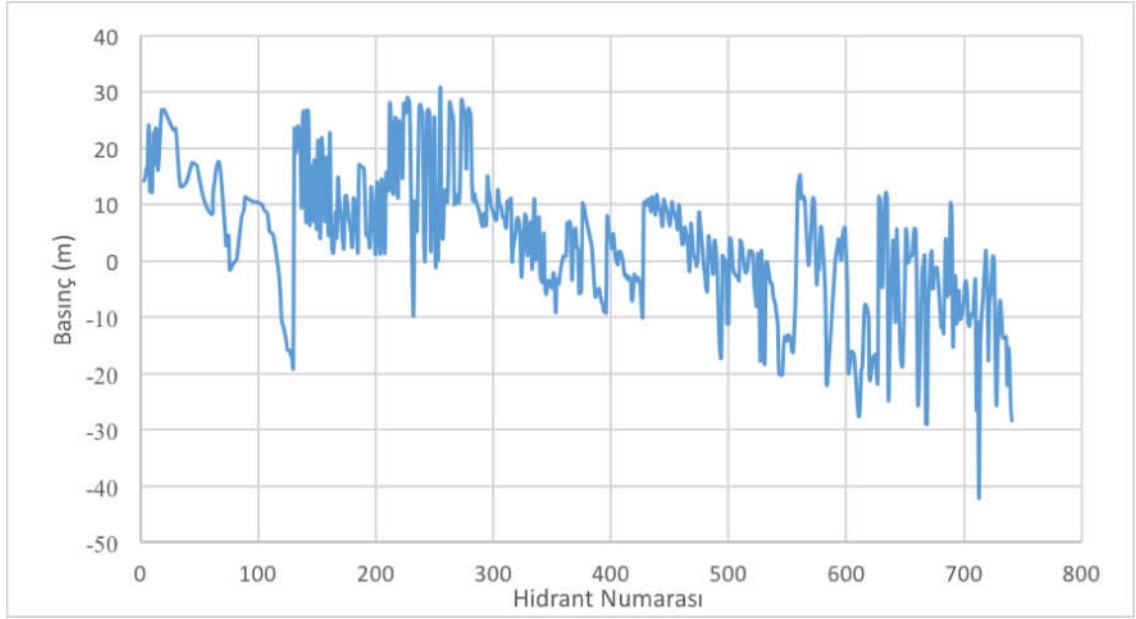
QGIS ve EPANET'in birlikte çalıştırıldığı analiz ortamında 0,8 talep katsayısı ile sistemin hidrantlardaki basınç durumunu analiz edilmiştir. Şekil 4.11'de görülen hidrantların 0,8 talep katsayısı karşılığındaki değişen basınç durumlarını yersel olarak gördüğümüz QGIS hidrant planı elde edilmiştir. Bu plandan proje hidrantlarının %62'sinin 0'ın üzerinde basınçlara sahip olduğu saptanmıştır. Şekil 4.12'de basınç değerlerinin histogram dağılımları görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.13 incelendiğinde, şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 4 m olduğu ve değerlerin büyük bir kısmının 0 – 10 m aralığında dağıldığı tespit edilmiştir. Sistemdeki hidrantların %62'sinin 0'ın üzerinde basınçlara sahip olduğu, %28'inin 10 m den fazla basınçlara sahip olduğu ve %9'unun 20 m'lik basıncın üzerinde olduğu saptanmıştır. Sistemin %91'inin mevcut proje koşullarında hidrant düzeyinde istenilen minimum basınç olan 20 m'yi (2 atm) karşılayamadığı sonucuna varılmıştır. Bu bulgulara göre taleplerin %20 azaltılmasının sistem üzerinde basınç açısından iyileştirici etkisinin yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.11. Talep katsayısı 0,8 için sulama sisteminin EPANET analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

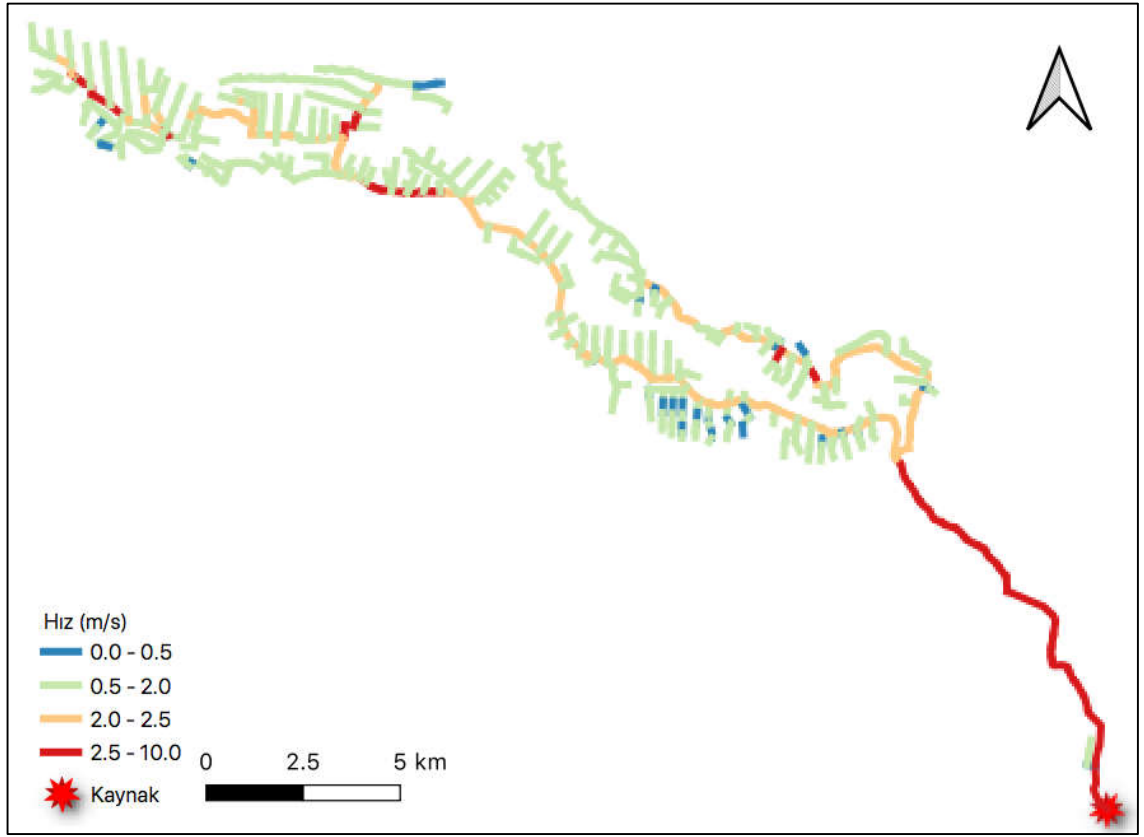


Şekil 4.12. Talep katsayısı 0,8 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

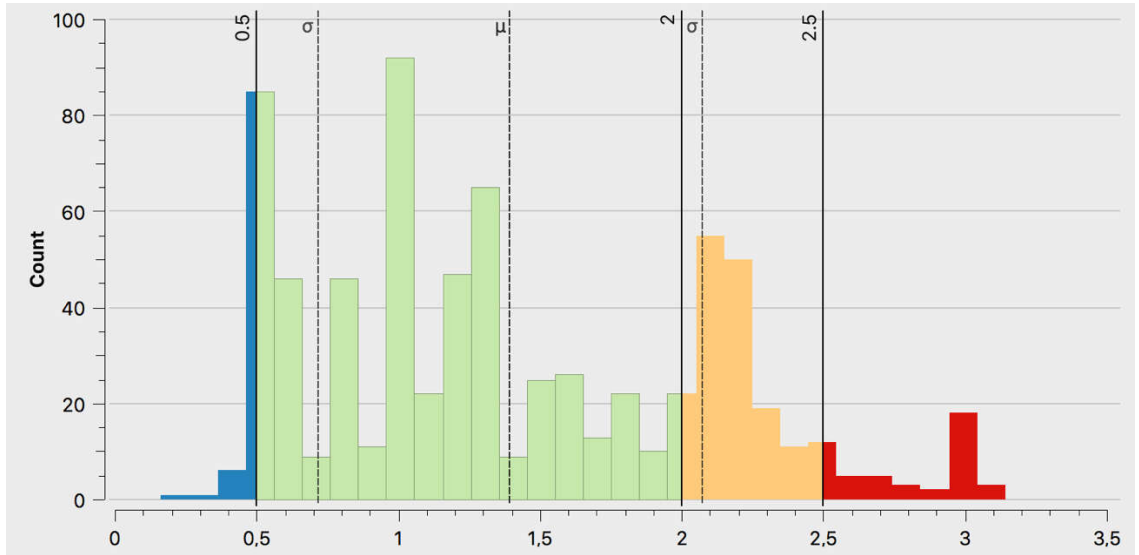


Şekil 4.13. Talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Talep katsayısı 0,8 için gerçekleştirilen hidrolik analizi sonucu QGIS ortamında şebeke borularındaki akış hızları değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen analize göre hız değerleri, Şekil 4.14’de görüldüğü gibi, 4 farklı aralıkta incelenmiştir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’deki histogram dağılımı incelendiğinde, şebekenin boru sistemindeki hızların daha çok 0,5 ile 2,0 m/s arasında dağıldığı gözlemlenmiştir. Sistemde ortalama akış hızı 1,39 m/s’dir. Hız planında kırmızı ile renklendirilen şebekenin ana boru hatlarının bazı kısımlarında ise 2,5 ile 3,15 m/s arasında değişen hız değerleri saptanmıştır.



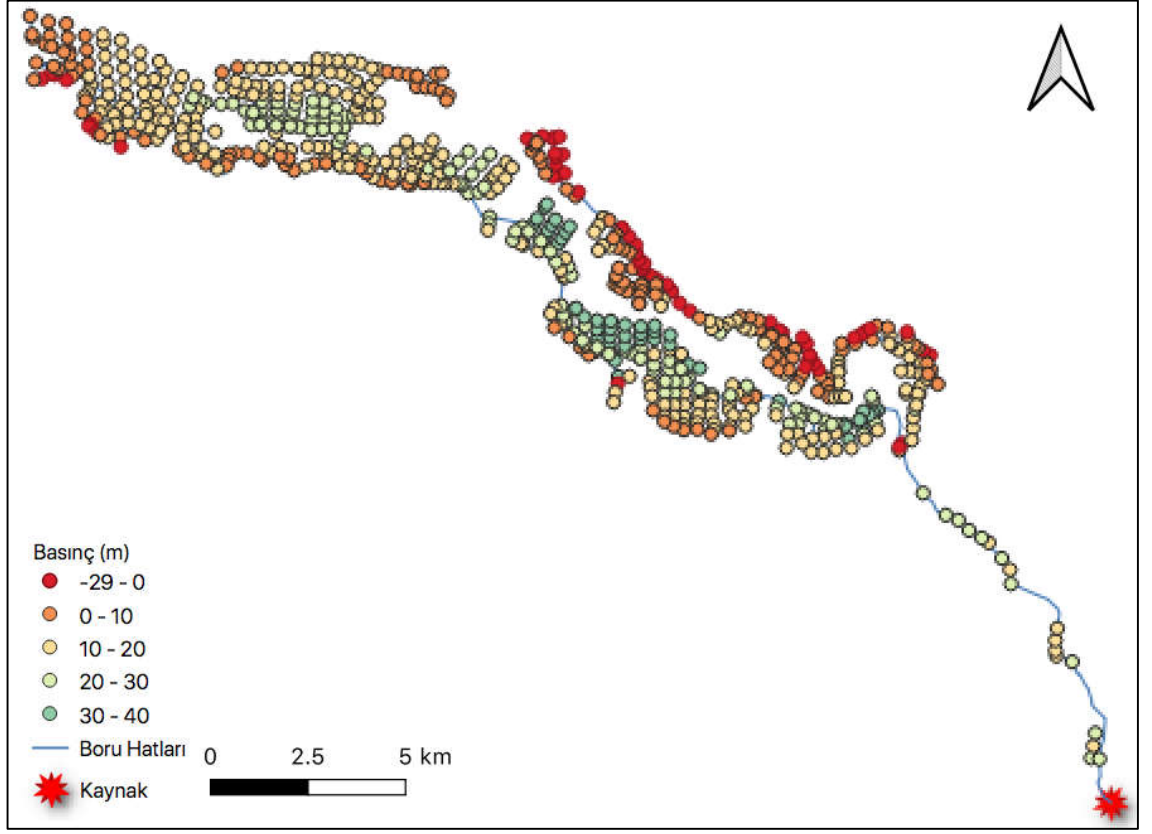
Şekil 4.14. Talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



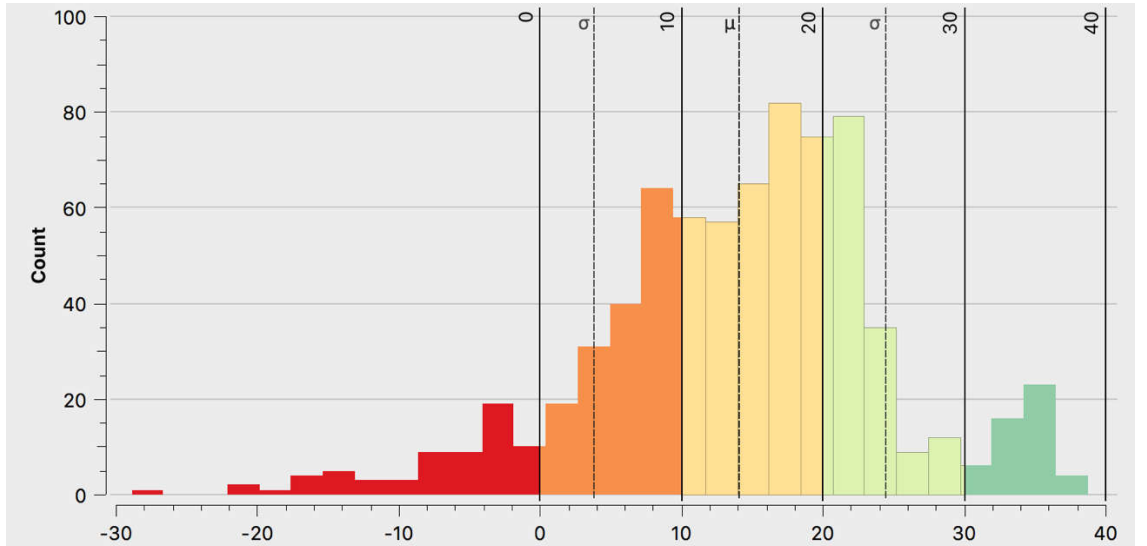
Şekil 4.15. Talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

Talep Katsayısı – 0,70

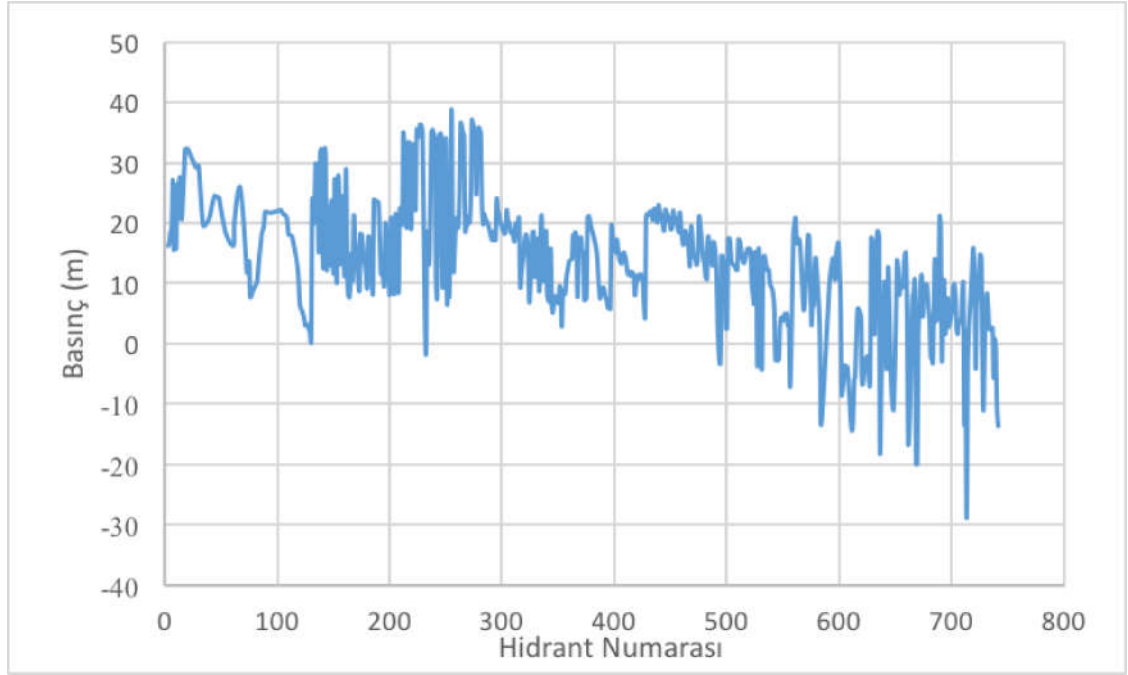
İstek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemi 0,7 talep katsayısı ile sistemin hidrantlardaki basınç durumunu incelemek amacıyla QGIS-EPANET tümleşik analiz ortamında hidrolik analiz gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.16’da görülen hidrantların 0,7 talep katsayısına cevap olarak alınan basınç durumlarını yersel olarak bir vektör katmanı üzerinde görülmektedir. Elde edilen bu bulgulara göre proje hidrantlarının %91’sinin 0’ın üzerinde basınca sahip olduğu tespit edilmiştir. Basınç değerlerinin histogram dağılımları Şekil 4.17’de görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.18 incelendiğinde, şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 14,1 m olduğu ve basınç değerlerinin büyük bir kısmının 10 – 20 m aralığında dağıldığı tespit edilmektedir. İstek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama sisteminde hidrantların %91’inin 0’ın üzerindeki basınçlara sahip olduğu, %68’inin 10 m den fazla basınçlara sahip olduğu ve %23’ünün 20 m basıncın üzerinde olduğu saptanmıştır. Sistemin %77’sinin mevcut proje koşullarında hidrant düzeyinde istenilen minimum basınç olan 20 m’yi (2 atm) karşılayamadığı sonucuna varılmıştır. Taleplerin %30 azaltılmasının talebi karşılanabilen hidrant sayısını arttırdığı, ancak bu artışın yeterli olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 4.16. Talep katsayısı 0,7 için sulama sisteminin EPANET analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

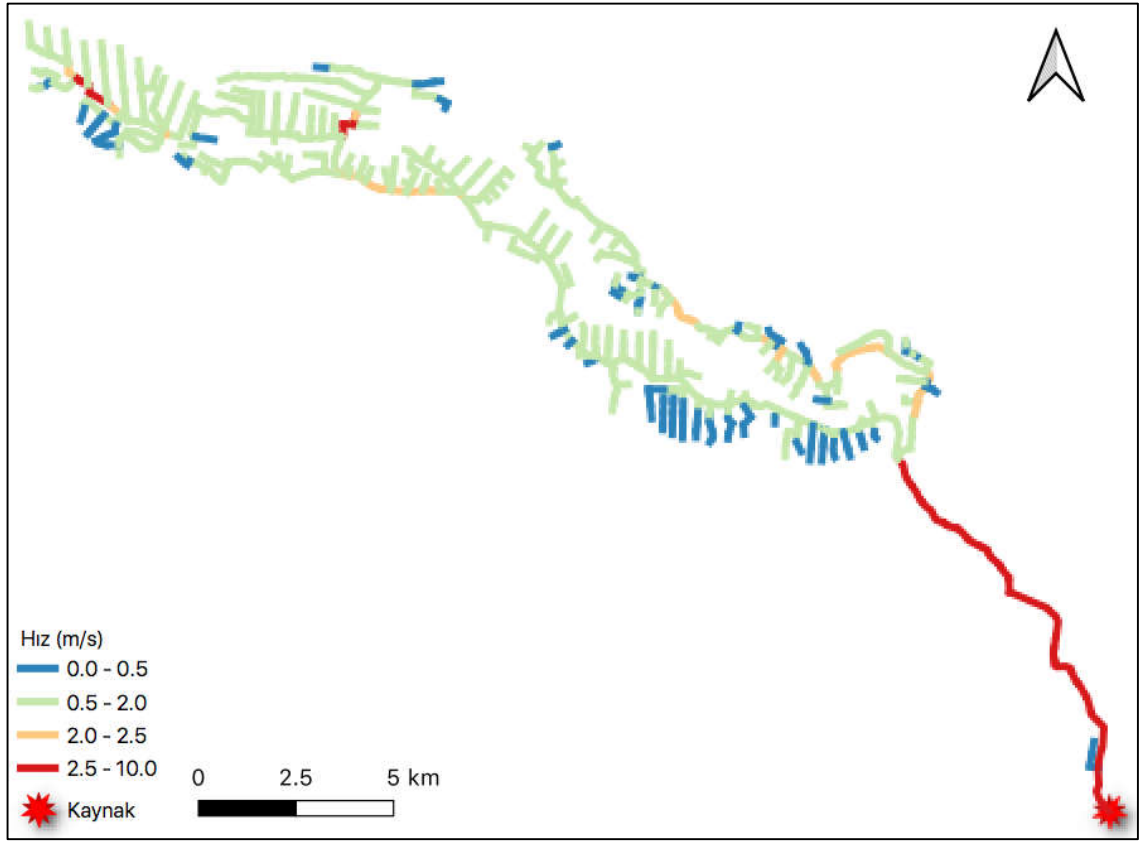


Şekil 4.17. Talep katsayısı 0,7 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

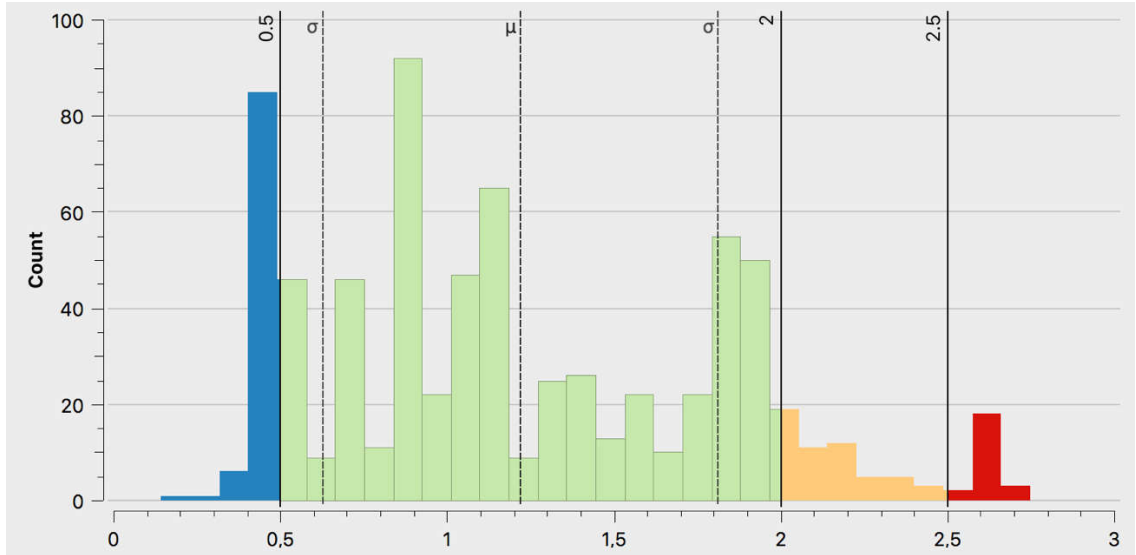


Şekil 4.18. Talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Talep katsayısı 0,7 için gerçekleştirilen QGIS-EPANET tümleşik analiz sonucu şebeke borularındaki akış hızları değerlendirilmiştir. Analize göre hız değerleri, Şekil 4.19’da görüldüğü gibi, 4 farklı aralıkta incelenmiştir. Bu bulgulara göre Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’deki histogram incelendiğinde, şebekenin borulardaki suyun hızlarının daha çok 0,5 ile 2,0 m/s arasında dağıldığı gözlemlenmiştir. Sistemde ortalama akış hızı 1,22 m/s’dir. Talep katsayısının azaltılmasının borulardaki hız değişimini olumsuz etkilemediği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.19. Talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



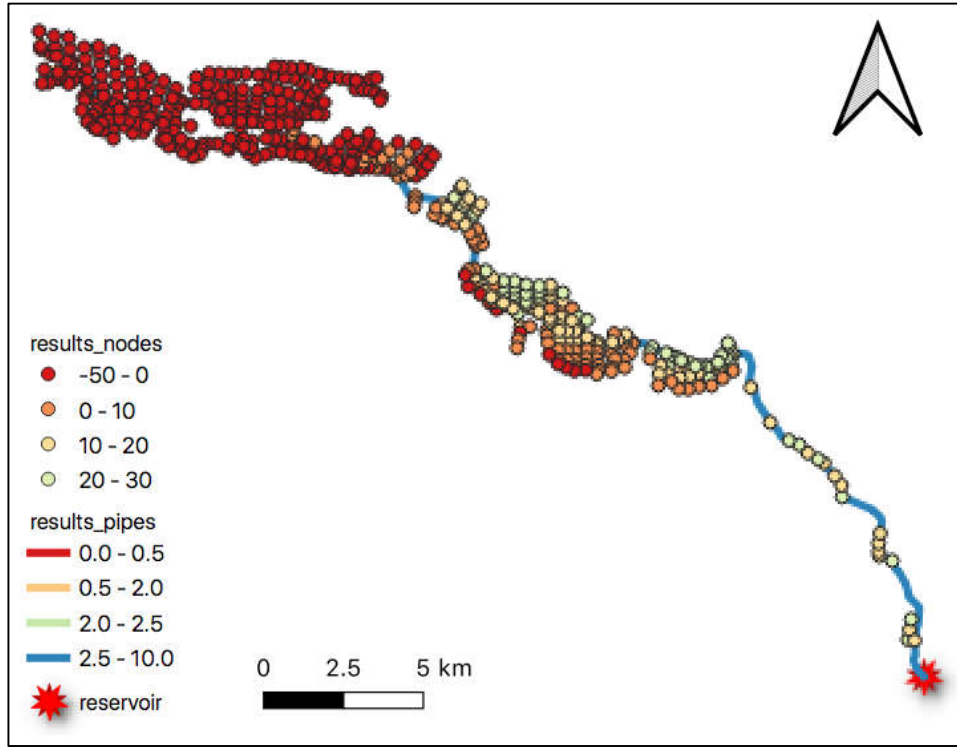
Şekil 4.20. Talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

4.1.2. Kısıtlı İstek Senaryosu Güllüce Hattı

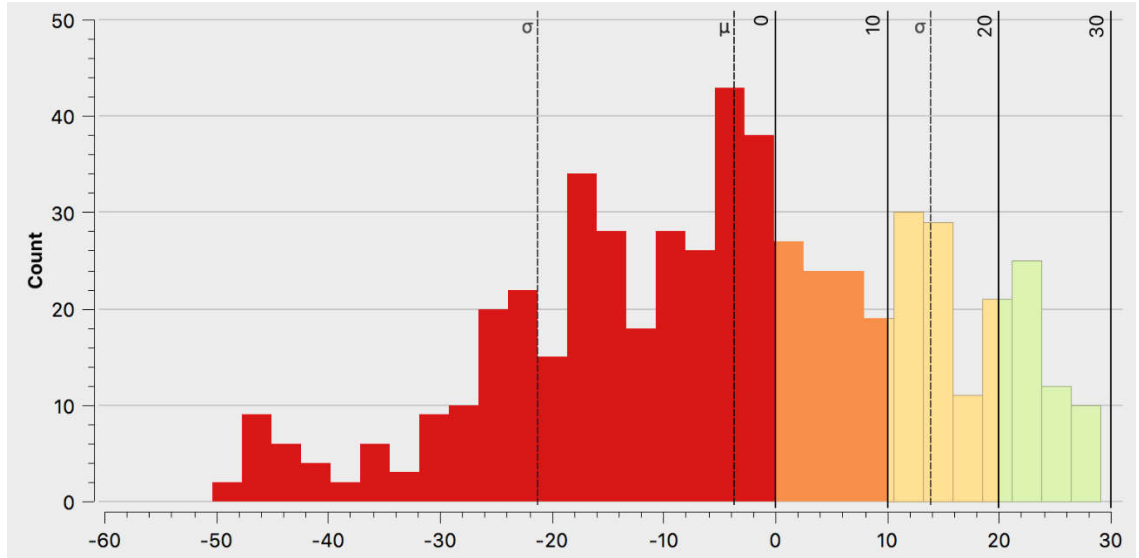
İstek yöntemi ile işletilen Güllüce-Döllük basınçlı sulama sisteminin mevcut proje verileri kullanılarak EPANET yazılımıyla hidrolik analizi yapıldığında basınç açısından yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemin talep katsayısı %30 azaltılmasına rağmen basınç yönünden tatmin edici sonuçlara ulaşılamamıştır. İstek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sisteminin rehabilitasyonu için kısıtlı istek yöntemi denenmiş, Güllüce ve Döllük hattına ayrı zamanlarda su verilecek şekilde hidrolik analizi yapılmıştır. Talep katsayısı 1,00 – 0,90 – 0,80 – 0,70 olacak şekilde senaryolar denenmiş ve tatmin edici sonucun hangi senaryoya daha uygun olduğu araştırılmıştır.

Güllüce Hattı Sulama Sisteminin Analizi (Talep Katsayısı – 1,0)

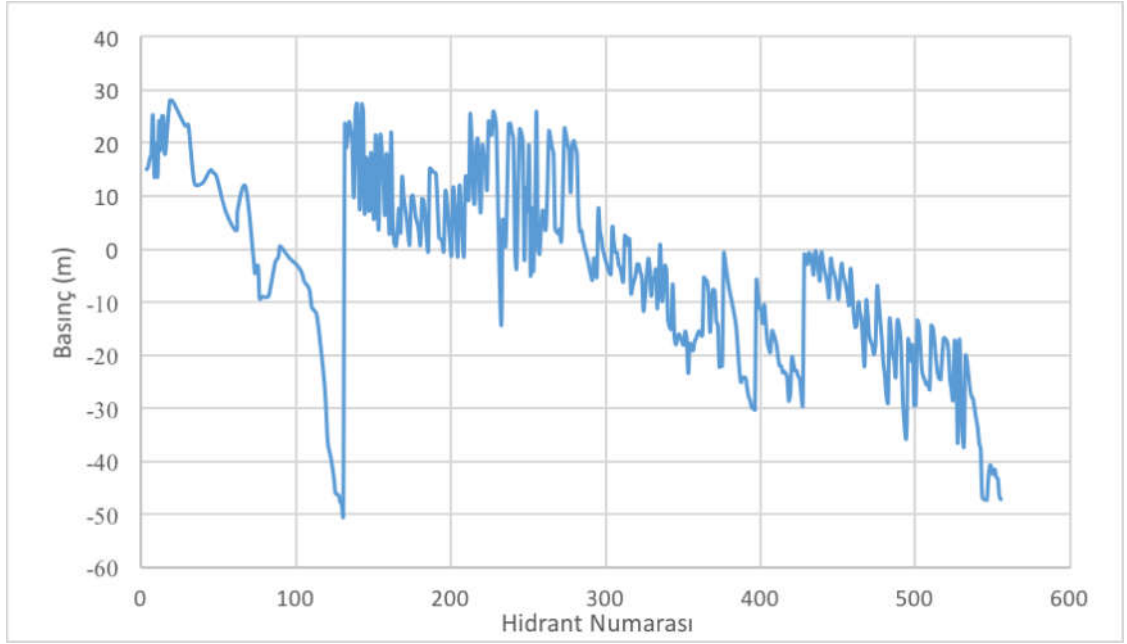
Güllüce hattında öncelikle hidrantlardaki debi taleplerinin karşılanabilme durumunu incelemek üzere talep katsayısı 1,0 alınarak QGIS-EPANET tümleşik hidrolik analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, talebi karşılanamayan hidrantlardaki negatif basınçları gösteren QGIS hidrant planı (Şekil 4.21) elde edilmiştir. Bu planda bulunan 444 adet proje hidrantlarının sadece %39'unun 0'ın üzerinde basınca sahip olduğu saptanmıştır. Şekil 4.22'de ise basınç değerlerinin histogram dağılımları görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.23 incelendiğinde şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının -4 m olduğu ve değerlerin büyük bir kısmının -40 – 0 m aralığında dağıldığı tespit edilmiştir. Analiz bulgularına göre istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama sisteminde hidrantların %39'unun 0'ın üzerinde basınca sahip olduğu, %22'sinin 10 m den fazla basınca sahip olduğu ve %10'unun 20 m basıncın üzerinde olduğu saptanmıştır. Sistem hidrantlarının %90'unun kısıtlı istek yöntemi uygulansa bile istenilen minimum basınç olan 20 m (2 atm) basıncı karşılayamadığı saptanmıştır. Kısıtlı istek senaryosu uygulanmasına rağmen şebekedeki gözlenen bu yetersizliklere bir çözüm sunabilmek üzere hangi talep koşullarında hidrantların büyük bir çoğunluğunun talebinin karşılanabildiği araştırılmıştır. Bu amaçla sulama şebekesinin diğer parametreleri sabit tutulmak koşuluyla 0,7 ile 1,0 arasında 0,1 artışlı 3 farklı talep katsayıları ile hidrolik analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.21. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı için sulama sisteminin EPANET analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

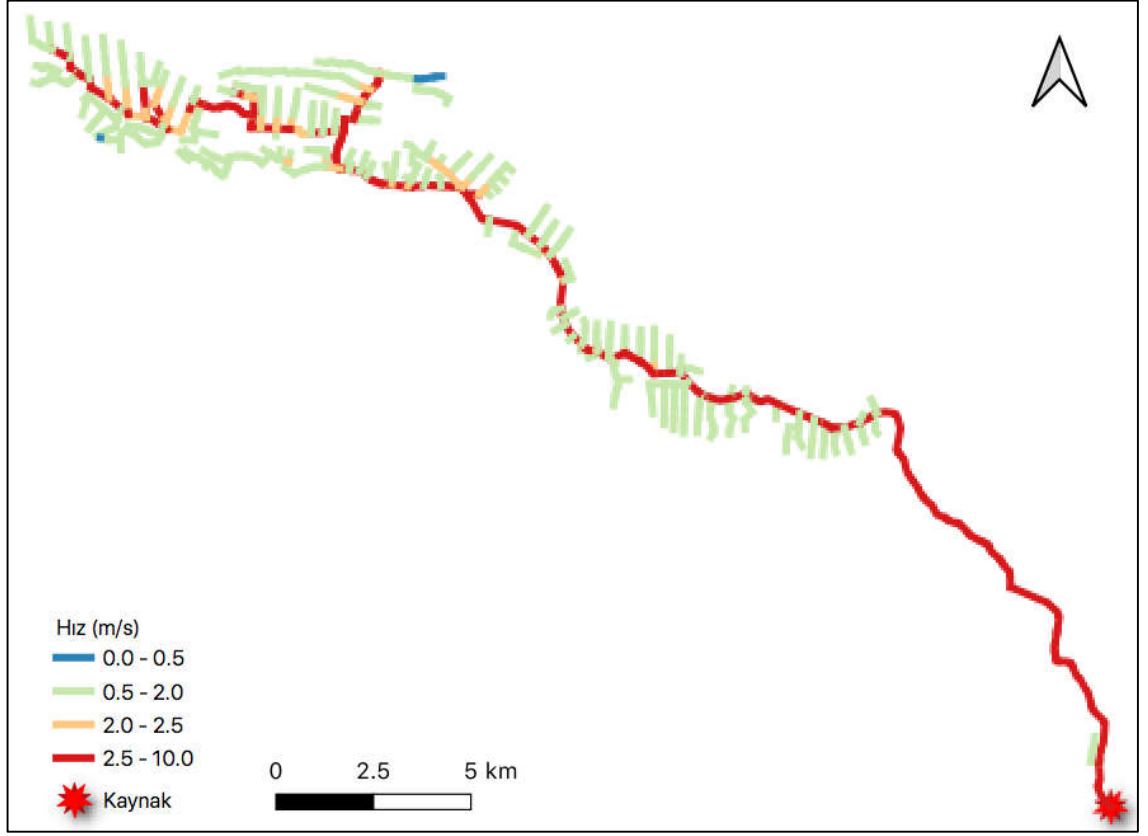


Şekil 4.22. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

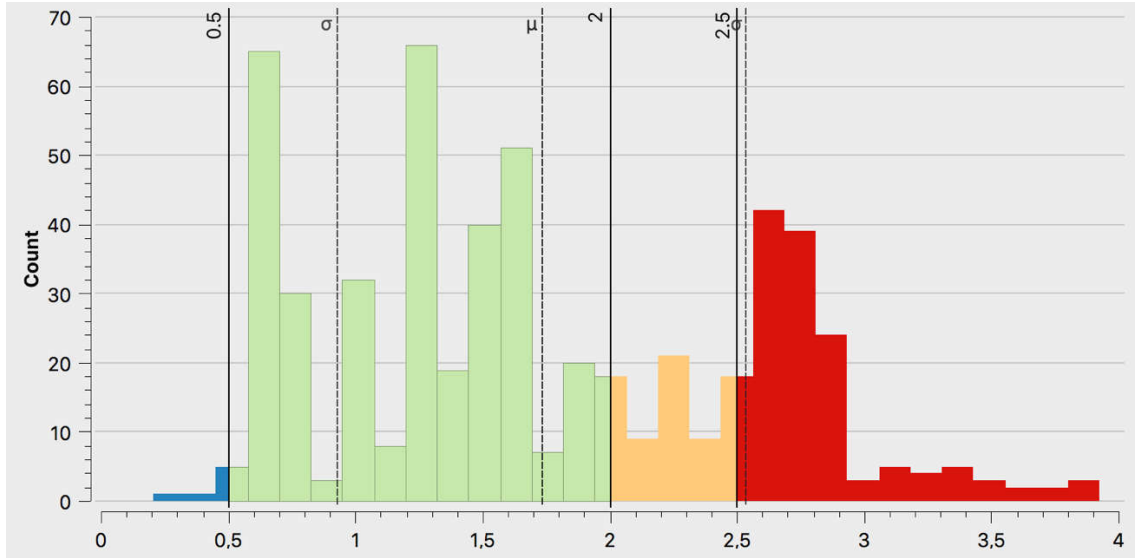


Şekil 4.23. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

QGIS-EPANET tümleşik analizinde talep katsayısı 1,0 için gerçekleştirilen hidrolik analiz sonucu şebeke borularındaki akış hızları incelenmiştir. Gerçekleştirilen analize göre hız değerleri, Şekil 4.24’de görüldüğü gibi, 4 farklı aralıkta incelenmiştir. Bulgulara göre elde edilen Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’deki histogram incelendiğinde şebekenin boru sistemindeki hızların daha çok arzu edilen 0,5-2,5 m/s değer aralığında dağıldığı saptanmıştır. Sistemde ortalama akış hızı 1,73 m/s’dir. Hız planında kırmızı ile renklendirilen şebekenin ana boru hatlarında ise 2,5 ile 4,0 m/s arasında değişen hız değerleri saptanmıştır.



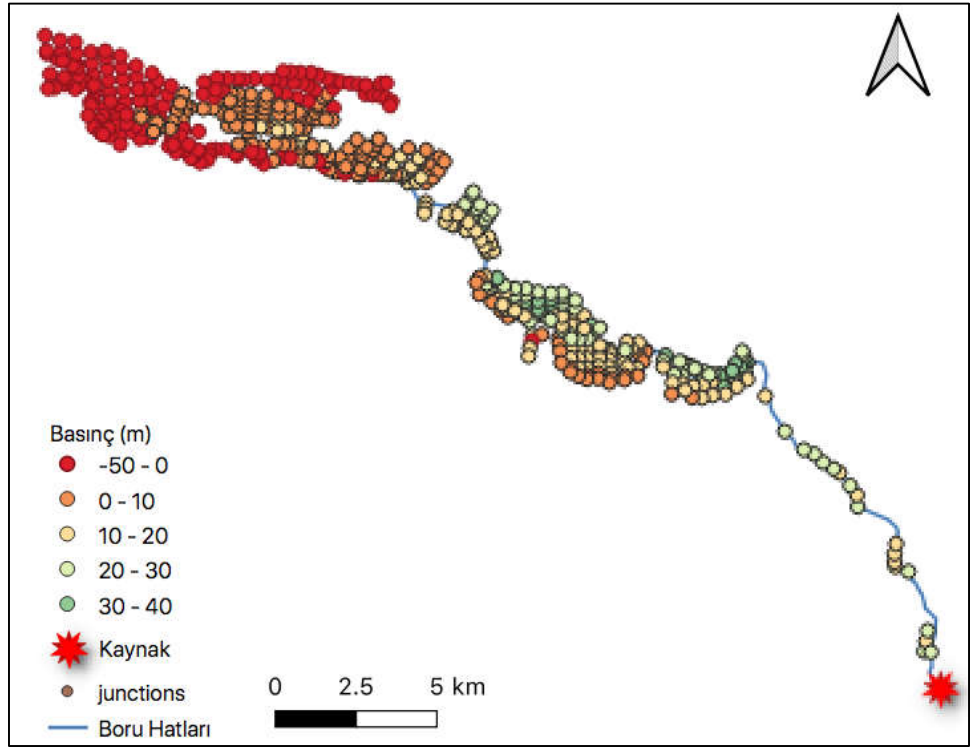
Şekil 4.24. Kısıtlı istek Güllüce Hattı mevcut koşullar için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



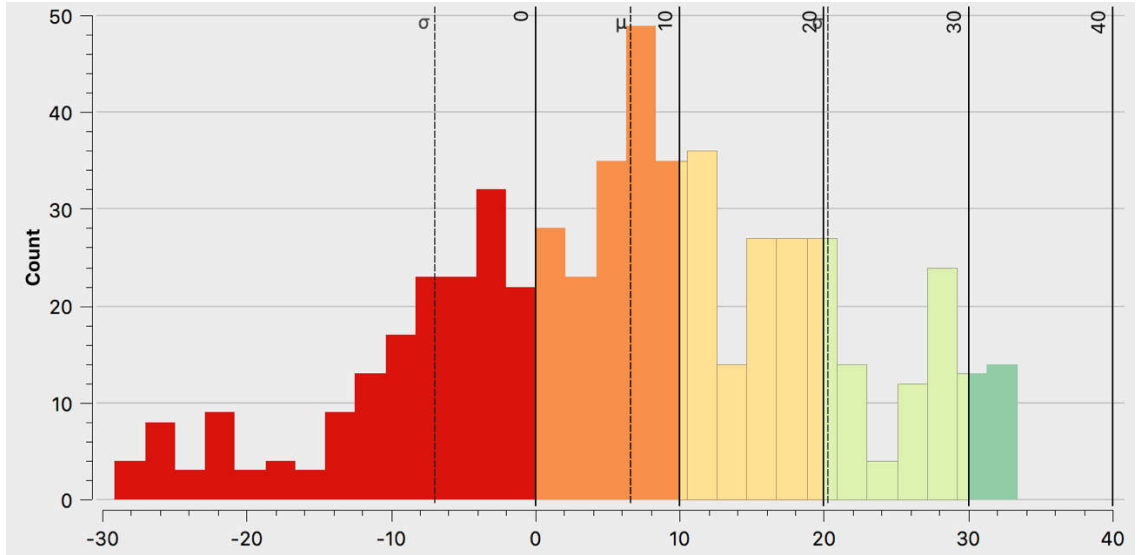
Şekil 4.25. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

Güllüce Hattı Talep Katsayısı – 0,90

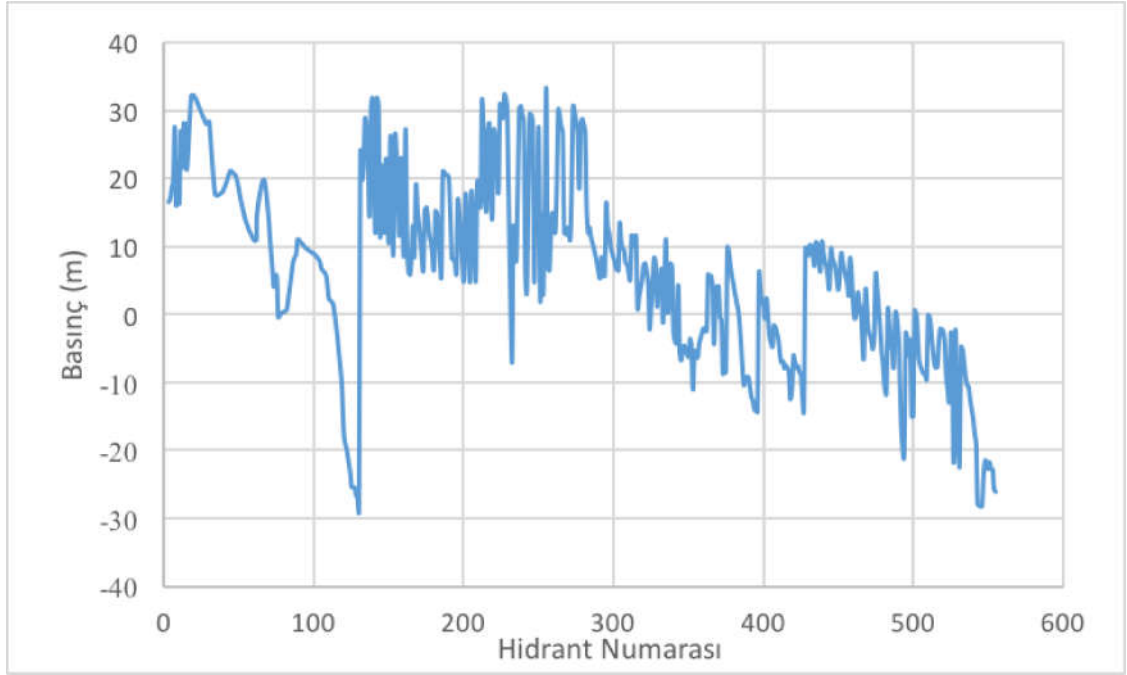
Güllüce hattında hidrantlardaki debi taleplerinin karşılanabilme durumunu incelemek üzere talep katsayısı 0,9 alınarak QGIS-EPANET tümleşik hidrolik analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz bulgularına göre talebi karşılanamayan hidrantlardaki negatif basınçları gösteren QGIS hidrant planı (Şekil 4.26) bir vektör katmanı olarak elde edilmiştir. Bu plandaki 444 adet proje hidrantının %67'sinin 0'ın üzerinde basınca sahip olduğu saptanmıştır. Şekil 4.27'de basınç değerlerinin histogram dağılımları görülmektedir. Şekil 4.28'de ise hidrantlardaki basınç değişimi görülmektedir. Bu veriler incelendiğinde şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 6,5 m olduğu ve pozitif değerlerin büyük bir kısmının 0 m – 10 m aralığında dağıldığı tespit edilmektedir. Araştırma bulgularına göre istek yöntemiyle işletilen Güllüce hattı basınçlı sulama sisteminde hidrantların %67'si 0'ın üzerinde basınçlara sahip olduğu, %36'sının 10 m den fazla basınçlara sahip olduğu ve %15'inin 20 m basıncın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sistemin %85'inin kısıtlı istek yöntemi uygulansa bile istenilen minimum basınç olan 20 m'lik (2 atm) basıncı karşılayamadığı ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.26. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,9 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

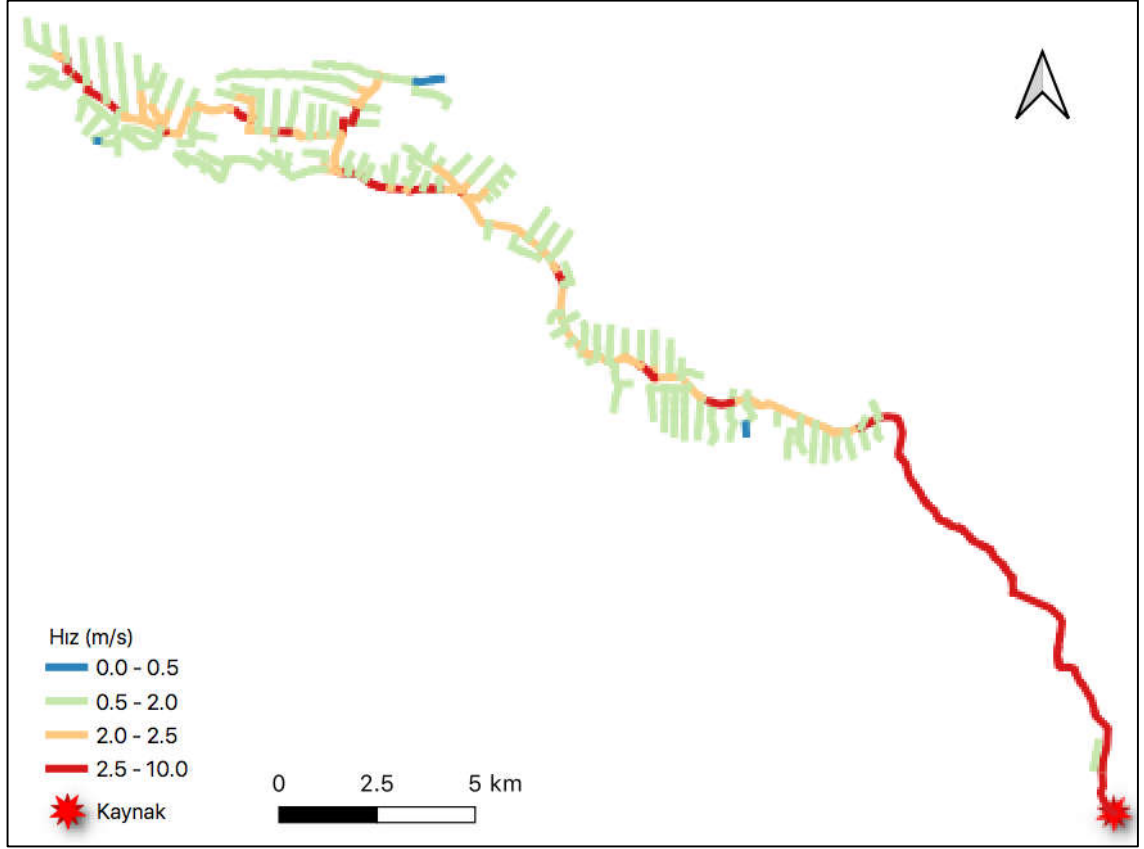


Şekil 4.27. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,9 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

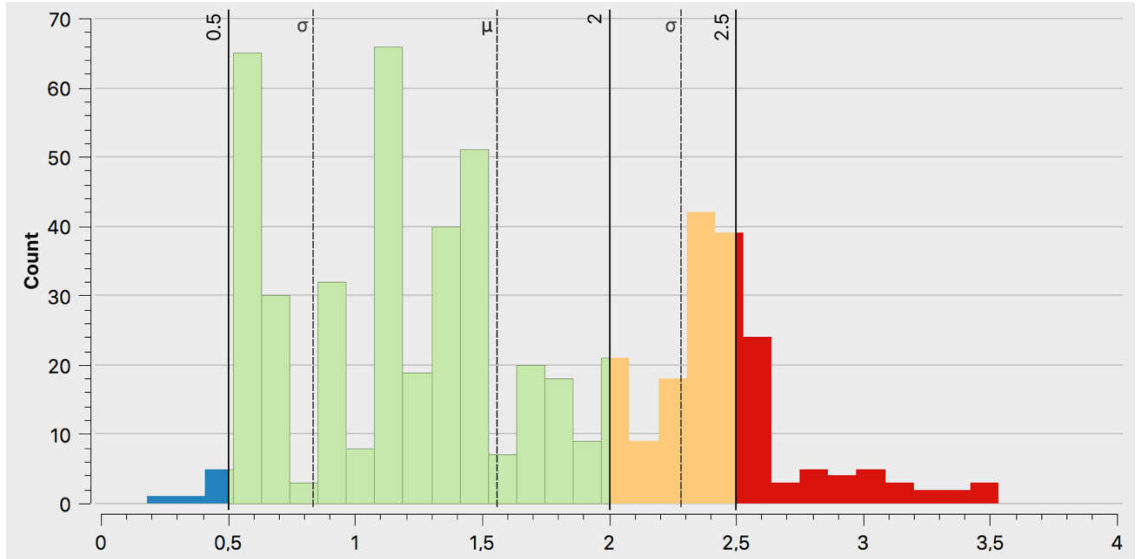


Şekil 4.28. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Talep katsayısı 0,9 için gerçekleştirilen QGIS-EPANET tümleşik hidrolik analiz sonucunda Güllüce hattı şebeke borularındaki akış hızları da incelenmiştir. Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'daki histogram incelendiğinde şebeke borularının büyük bir çoğunda hızların 0,5 ile 2,0 m/s aralığında dağıldığı gözlemlenmiştir. Sistemde ortalama akış hızı 1,508 m/s'dir. Hız planında kırmızı ile renklendirilen şebekenin ana borularının bir kısmında ise 2,5 ile 4,0 m/s arasında değişen hız değerleri saptanmıştır.



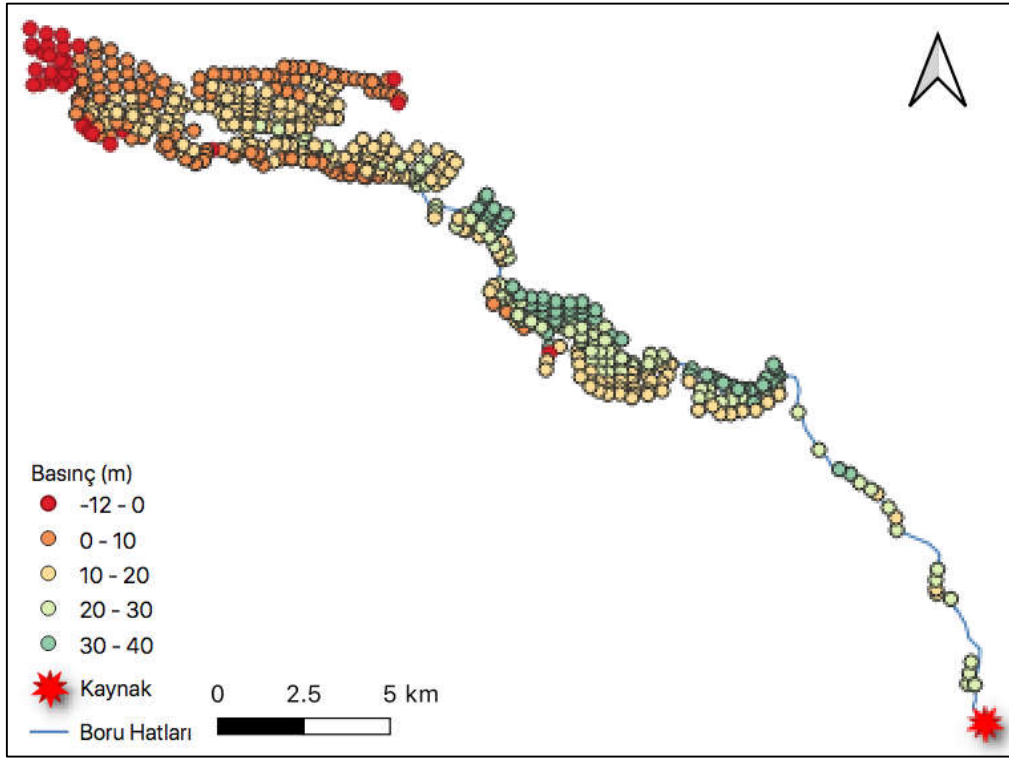
Şekil 4.29. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



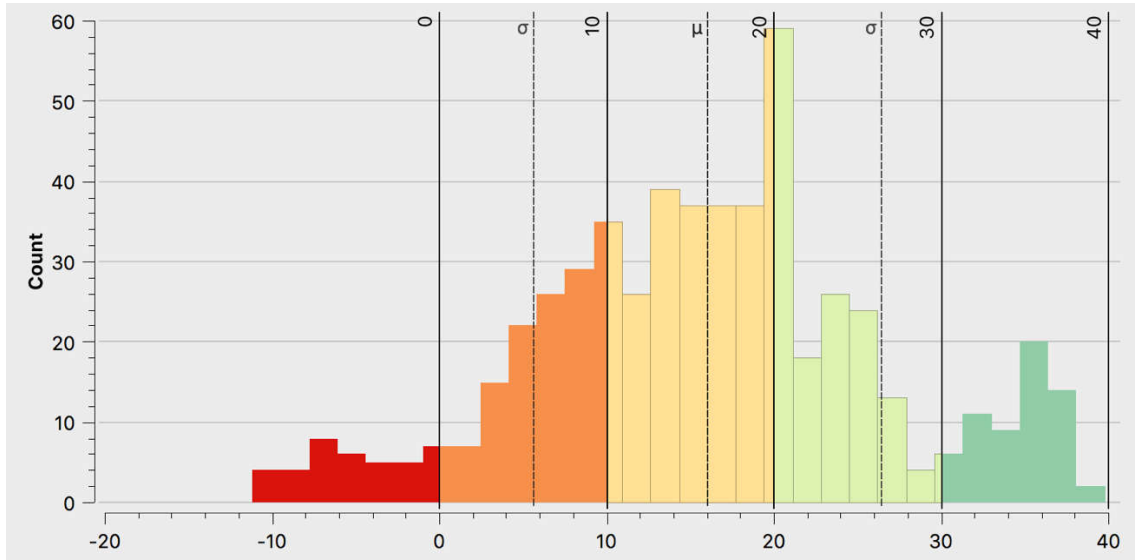
Şekil 4.30. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

Güllüce Hattı Talep Katsayısı – 0,80

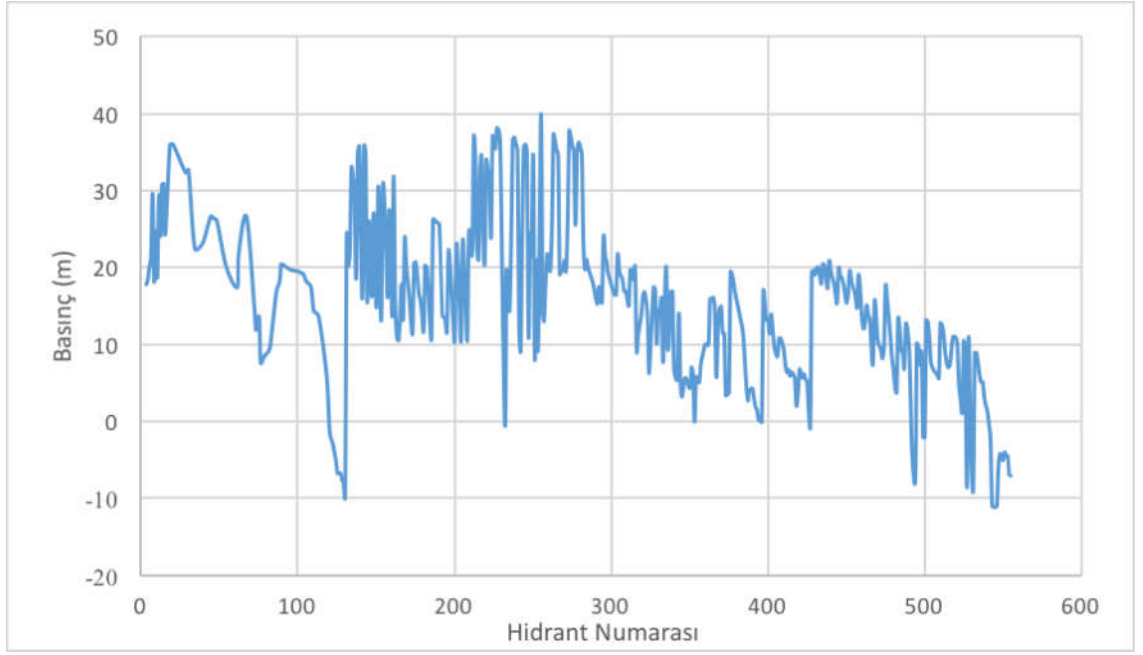
QGIS-EPANET tümleşik analizi, Güllüce hattında hidrantlardaki debi taleplerinin karşılanabilme durumunu belirlemek üzere talep katsayısı 0,8 alınarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, talebi karşılanamayan hidrantlardaki negatif basınçları gösteren QGIS hidrant planı (Şekil 4.31) elde edilmiştir. Bu vektör veri katmanından 444 adet proje hidrantının %93'ünün 0'ın üzerinde basınca sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.32'de ise basınç değerlerinin histogram dağılımları görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.33 incelendiğinde şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 16 m olduğu ve değerlerin büyük bir kısmının 10 m – 20 m aralığında dağıldığı tespit edilmiştir. Analiz bulgularına göre; Güllüce hattı istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama sisteminde hidrantların %93'ünün 0'ın üzerinde basınçlara sahip olduğu, %70'inin 10 m den fazla basınçlara sahip olduğu ve %30'unun 20 m basıncın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sistemin %70'inin istenilen minimum basınç olan 20 m'lik basıncı karşılayamadığı saptanmıştır. Bu sonuçların işletme bakımından talepleri kısmen sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.31. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,8 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

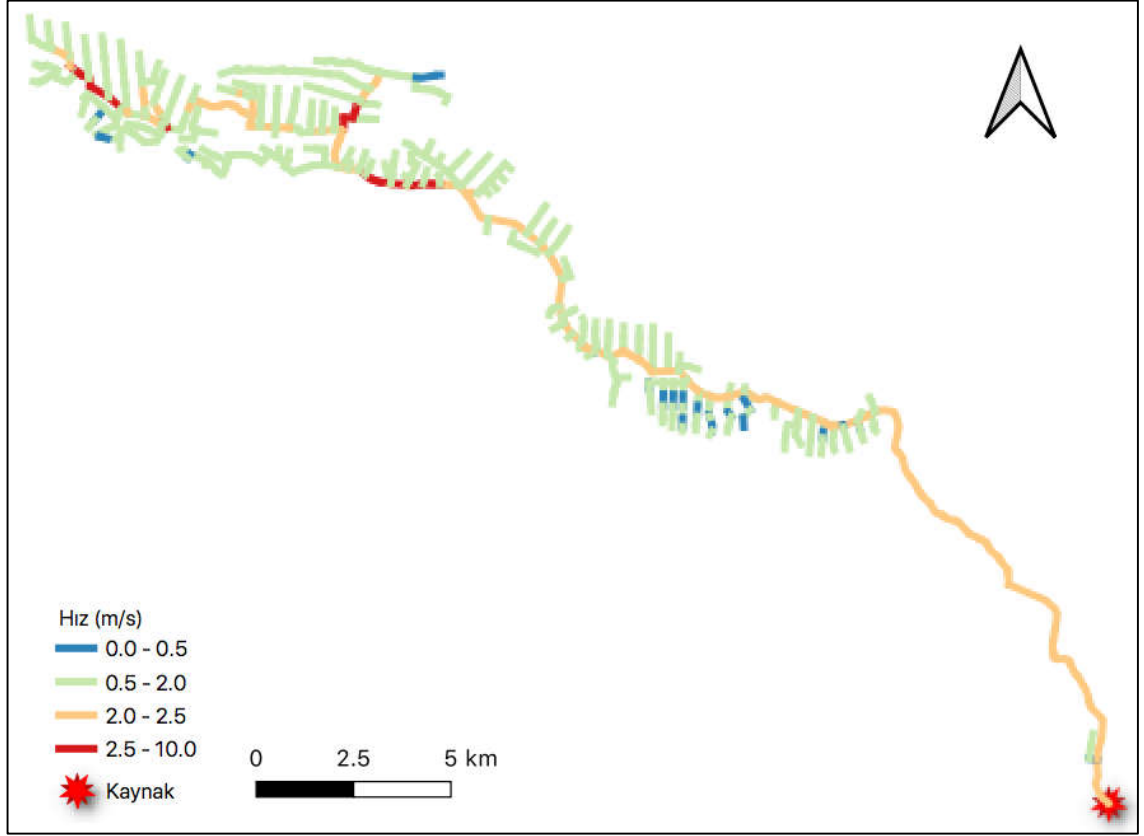


Şekil 4.32. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,8 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

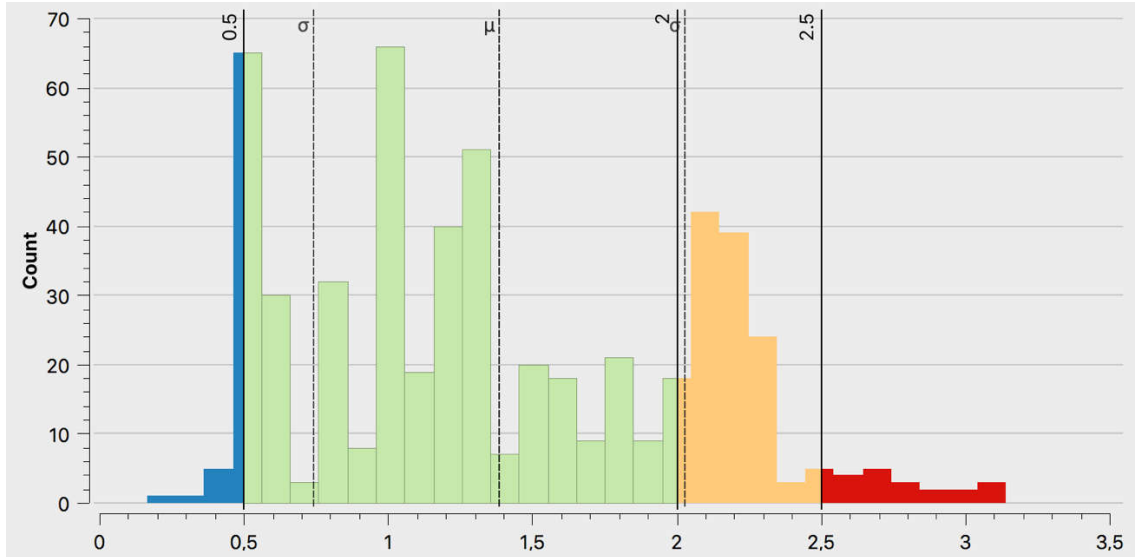


Şekil 4.33. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Basınçlı sulama sisteminin Güllüce hattında talep katsayısı 0,8 için gerçekleştirilen QGIS -EPANET tümleşik hidrolik analiz sonucu şebeke borularındaki akış hızları incelenmiştir. Şekil 4.34 ve Şekil 4.35’deki histogram dağılımı incelendiğinde, şebekenin boru sistemindeki hızların büyük bir çoğunluğunun 0,5 ile 2,00 m/s aralığında dağıldığı belirlenmiştir. Sistemde ortalama akış hızı 1,38 m/s’dir.



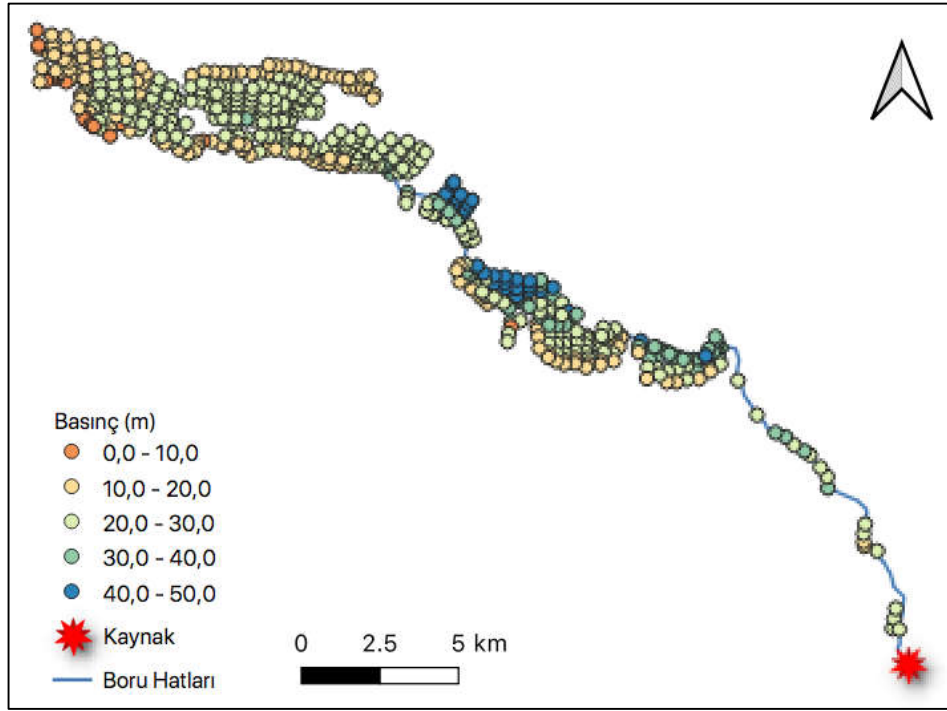
Şekil 4.34. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



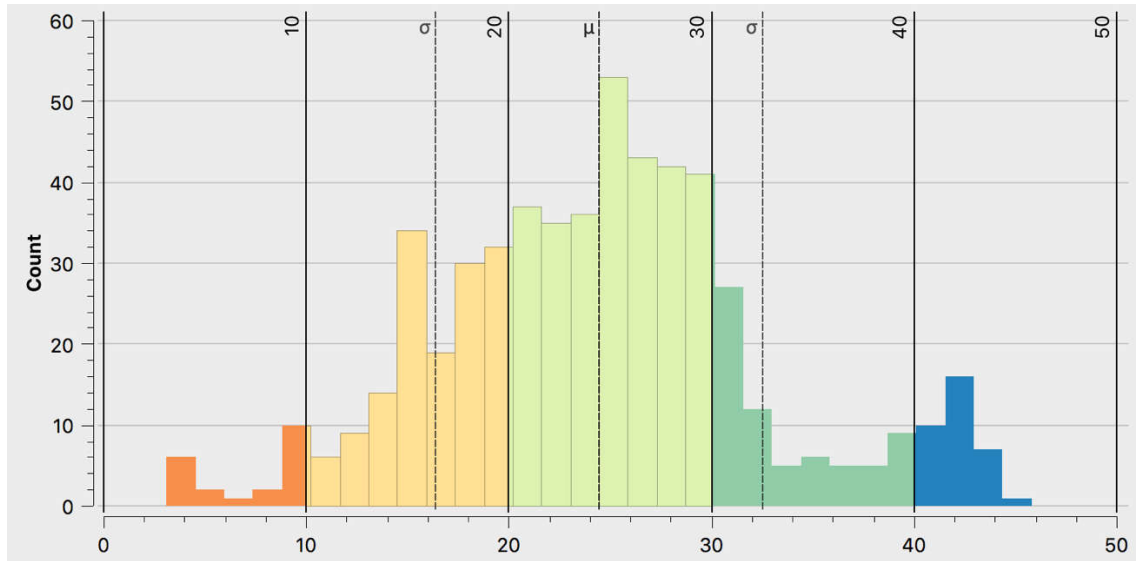
Şekil 4.35. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

Güllüce Hattı Talep Katsayısı – 0,70

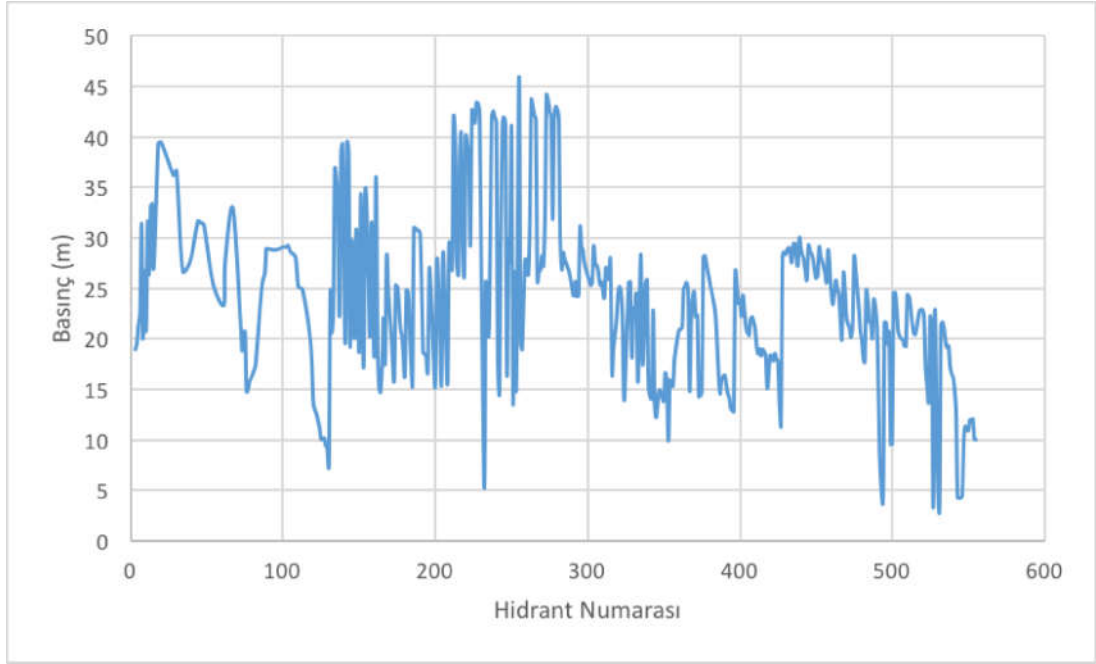
Kısıtlı istek yöntemi ile rehabilitasyonu incelenen Güllüce hattında hidrantlardaki debi taleplerinin karşılanabilme durumunu incelemek üzere talep katsayısı 0,7 alınarak EPANET-QGIS tümleşik hidrolik analizi yapılmıştır. Bu analiz sonu elde edilen ve, talebi karşılanamayan hidrantlardaki negatif basınçları gösteren hidrant planı (Şekil 4.36) bir vektör katmanı olarak elde edilmiştir. Bulgulara göre 444 adet proje hidrantının tamamının (%100) 0'ın üzerindeki basınçlara sahip olduğu saptanmıştır. Şekil 4.37'de ise basınç değerlerinin histogram dağılımları görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.38 incelendiğinde şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 24 m olduğu ve değerlerin büyük bir kısmının 20 m – 30 m'lik değer aralığında dağıldığı tespit edilmektedir. Analiz bulgularına göre; istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama sisteminde hidrantların %100'ünün 0'ın üzerinde basınçlara sahip olduğu, %96'sının 10 m'den fazla basınçlara sahip olduğu ve %70'inin 20 m'lik basıncın üzerinde olduğu saptanmıştır. Sistemin sadece %30'unun istenilen minimum basınç olan 20 m (2 atm) basıncı karşılayamadığı saptanmıştır. Bu sonuçların işletme bakımından oldukça tatmin edici olduğu görülmektedir.



Şekil 4.36. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,7 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

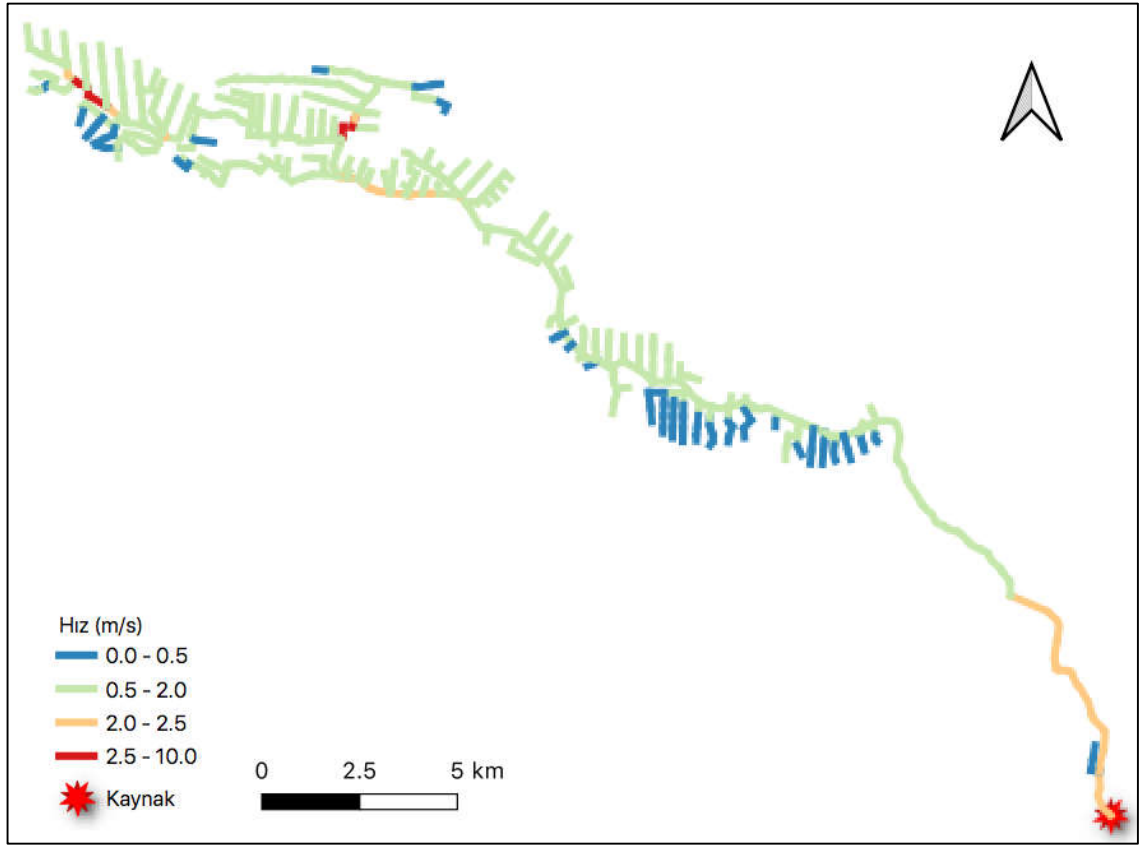


Şekil 4.37. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,7 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

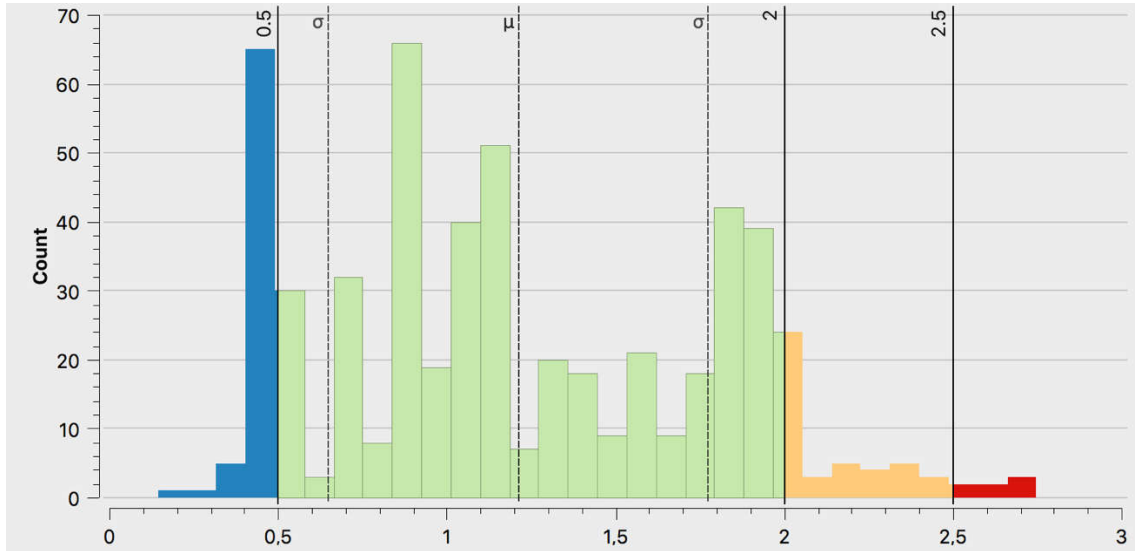


Şekil 4.38. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Basınçlı sulama sisteminin Güllüce hattında talep katsayısı 0,7 için gerçekleştirilen hidrolik analiz sonucu QGIS ortamında şebeke borularındaki akış hızları da incelenmiştir. Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'daki histogram incelendiğinde şebekenin boru sistemindeki hızların büyük bir kısmının 0,5 ile 2,00 m/s aralığında dağıldığı tespit edilmiştir. Sistemde ortalama akış hızı 1,21 m/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.39. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili

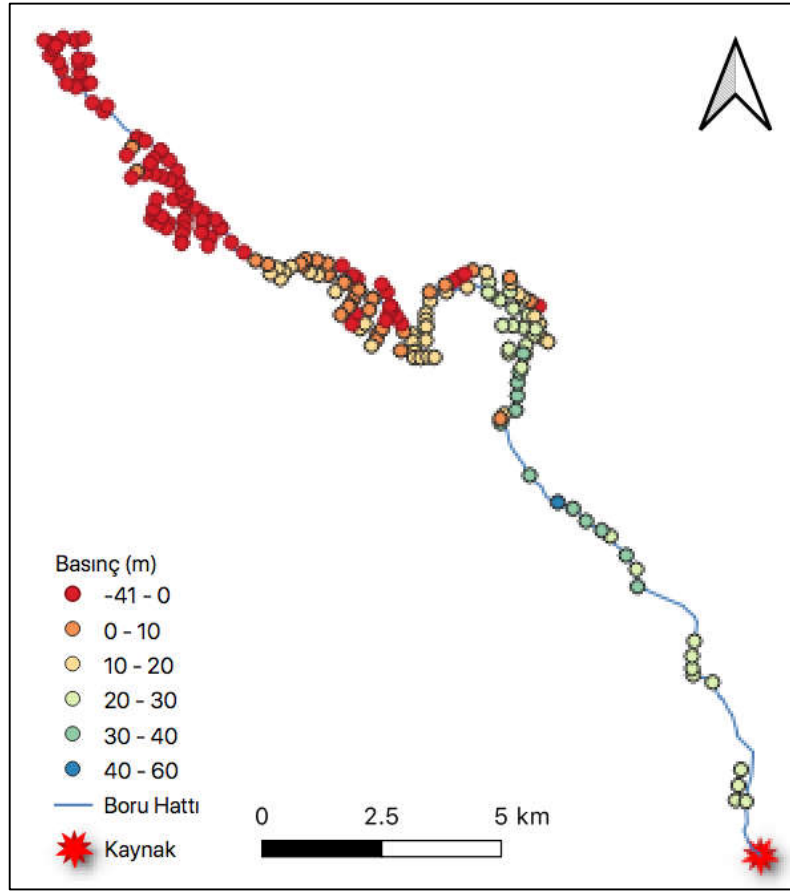


Şekil 4.40. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

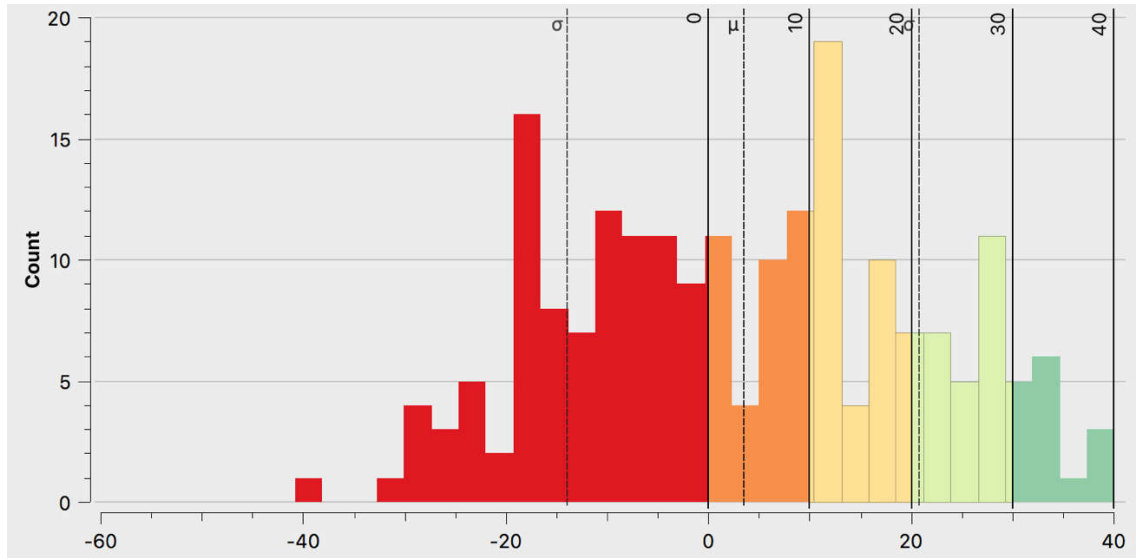
4.1.3. Kısıtlı İstek Senaryosu Döllük Hattı

Döllük Hattı İçin Sulama Sisteminin Analizi (Talep Katsayısı – 1,0)

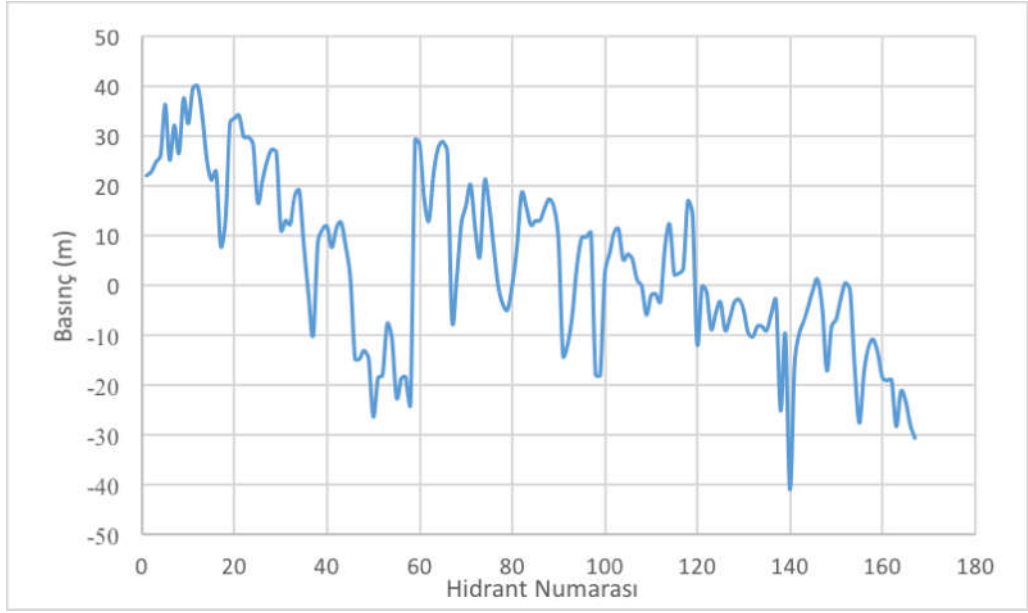
Kısıtlı istek yönteminin denendiği diğer bir hat olan Güllüce hattında hidrantlardaki debi taleplerinin karşılanabilme durumunu incelemek üzere talep katsayısı 1,0 alınarak EPANET hidrolik analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, Şekil 4.41’de görülen QGIS hidrant planı incelendiğinde, bu hatta da talebi karşılanamayan hidrantlar tespit edilmiştir. Bu plandan 167 adet hidranata sahip Döllük basınçlı sulama hattının proje hidrantlarının %50’sinin 0’ın üzerinde basınca sahip olduğu saptanmıştır. Şekil 4.42’de ise basınç değerlerinin histogram dağılımları görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.43 incelendiğinde; şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 4 m olduğu ve değerlerin büyük bir kısmının -20 m – 0 m aralığında dağıldığı tespit edilmiştir. Bu analiz bulgularına göre kısıtlı istek yöntemi uygulanması düşünülen basınçlı sulama sisteminde hidrantların %56’sının 0’ın üzerinde basınca sahip olduğu, %40’ının 10 m den fazla basınca sahip olduğu ve %21’inin 20 m’lik basıncın üzerinde olduğu belirlenmiştir. Sistemin %79’unun kısıtlı istek yöntemi uygulansa bile istenilen minimum basınç olan 20 m (2 atm) basıncı karşılayamadığı saptanmıştır. Şebekedeki gözlenen bu yetersizliklere bir çözüm sunabilmek üzere hangi talep koşullarında hidrantların büyük bir çoğunluğunun talebinin karşılanabileceği araştırılmıştır. Bu amaçla sulama şebekesinin diğer parametreleri sabit tutulmak koşuluyla 0,7 ile 1,0 arasında 0,1 artışla 3 farklı talep katsayısı ile hidrolik analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.41. Kısıtlı istekle Döllük Hattı için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

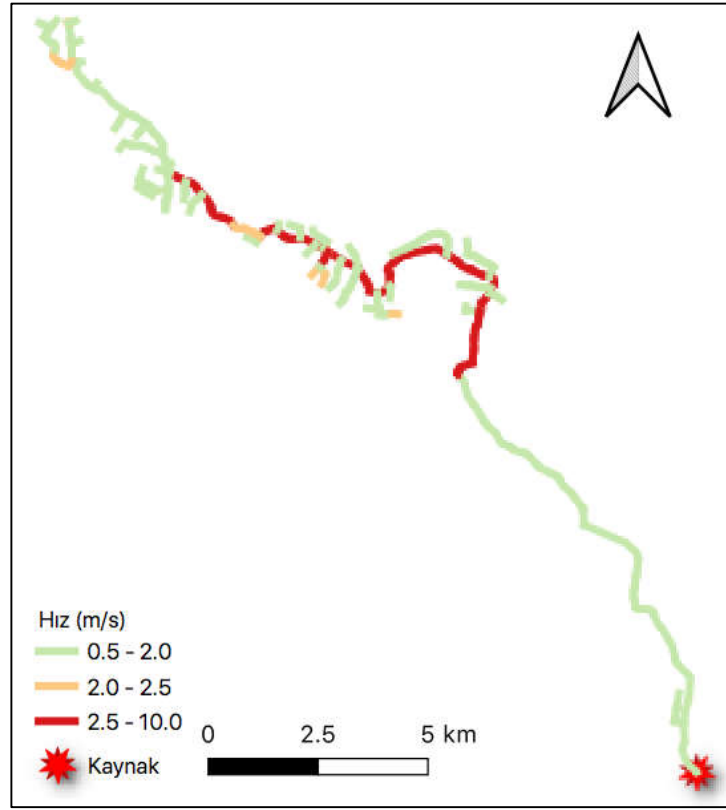


Şekil 4.42. Kısıtlı istekle Döllük Hattı için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

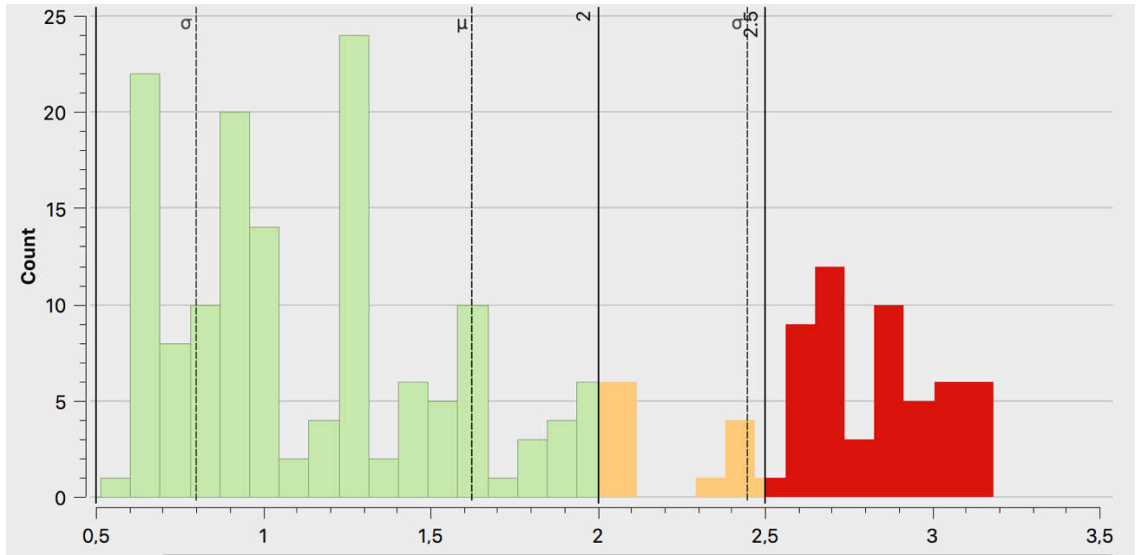


Şekil 4.43. Kısıtlı istekle Döllük Hattı için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

EPANET-QGIS tümleşik analiz ortamında talep katsayısı 1,0 alınarak gerçekleştirilen hidrolik analiz sonucu şebeke borularındaki akış hızları da incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizde hız değerleri 4 farklı değer aralığında Şekil 4.44’de görüldüğü gibi incelenmiştir. Şekil 4.44 ve Şekil 4.45’deki histogram incelendiğinde şebekenin boru sistemindeki hızların daha çok 0,5 ile 2,5 m/s aralığında dağıldığı tespit edilmiştir. Sistemde ortalama akış hızı 1,62 m/s’dir. Hız planında kırmızı ile renklendirilen şebekenin ana boru hatlarının az bir kısmında ise 2,5 m/s’nin üzerinde hız değerleri saptanmıştır.



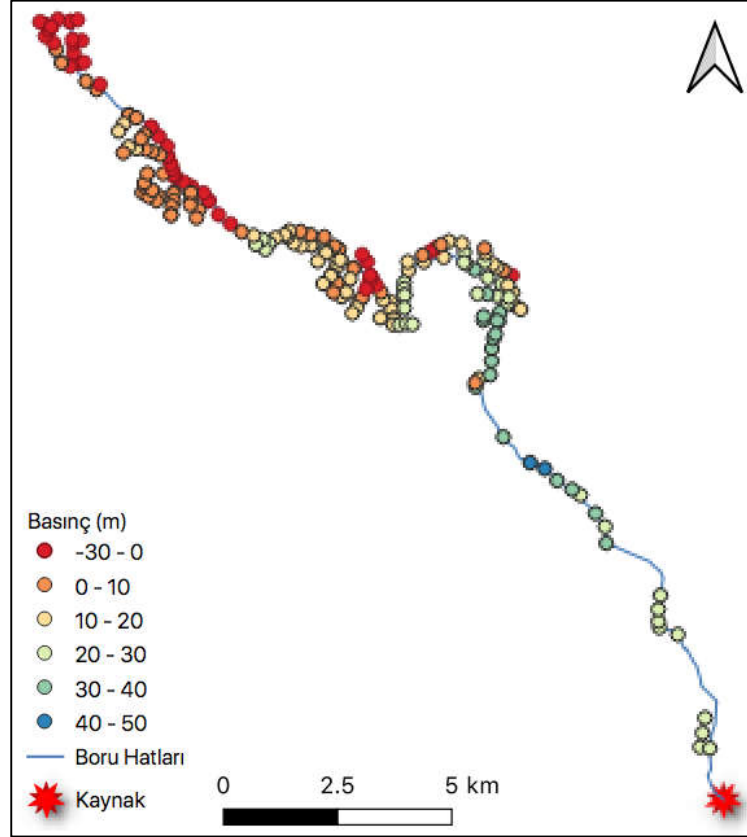
Şekil 4.44. Kısıtlı istekle Döllük Hattı için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



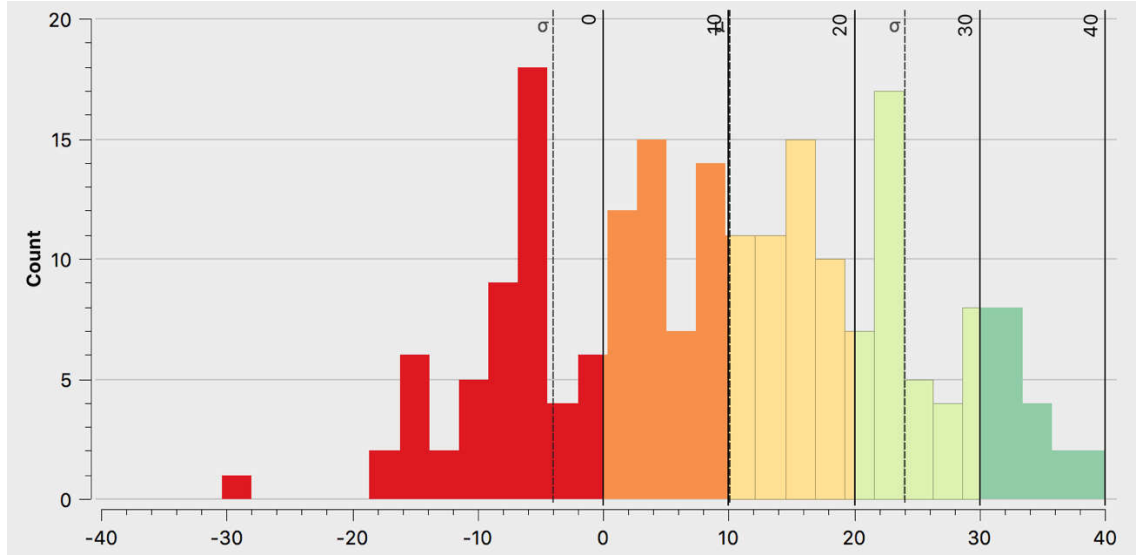
Şekil 4.45. Kısıtlı istekle Döllük Hattı için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

Döllük Hattı Talep Katsayısı – 0,90

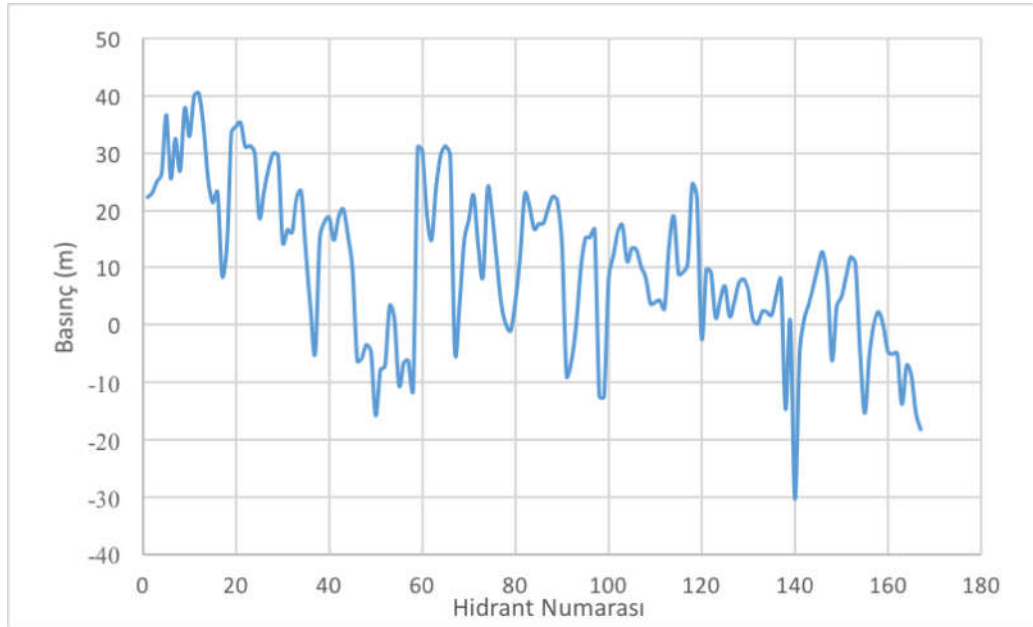
Kısıtlı istek yöntemi düşünülen Döllük hattında hidrantlardaki debi taleplerinin karşılanabilme durumunu incelemek üzere talep katsayısı 0,9 alınarak hidrolik analizler gerçekleştirilmiştir. Bulgulara göre talebi karşılanamayan hidrantlarda negatif basınçlar gösteren QGIS hidrant planı elde edilmiştir (Şekil 4.46). Mevcut 167 adet proje hidrantının %80'inin 0'ın üzerinde basınca sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.47'de ise basınç değerlerinin histogram dağılımları görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.48 incelendiğinde, şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 10 m olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgulara göre; kısıtlı istek yöntemi ile işletilmesi düşünülen basınçlı sulama sisteminde hidrantların %80'inin 0'ın üzerindeki basınçlara sahip olduğu, %51'inin 10 m den fazla basınçlara sahip olduğu ve %27'sinin 20 m'lik basıncın üzerinde olduğu belirlenmiştir. Sistemin yaklaşık %70'inin istenilen minimum basınç olan 20 m'lik basıncı karşılayamadığı saptanmıştır.



Şekil 4.46. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,9 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

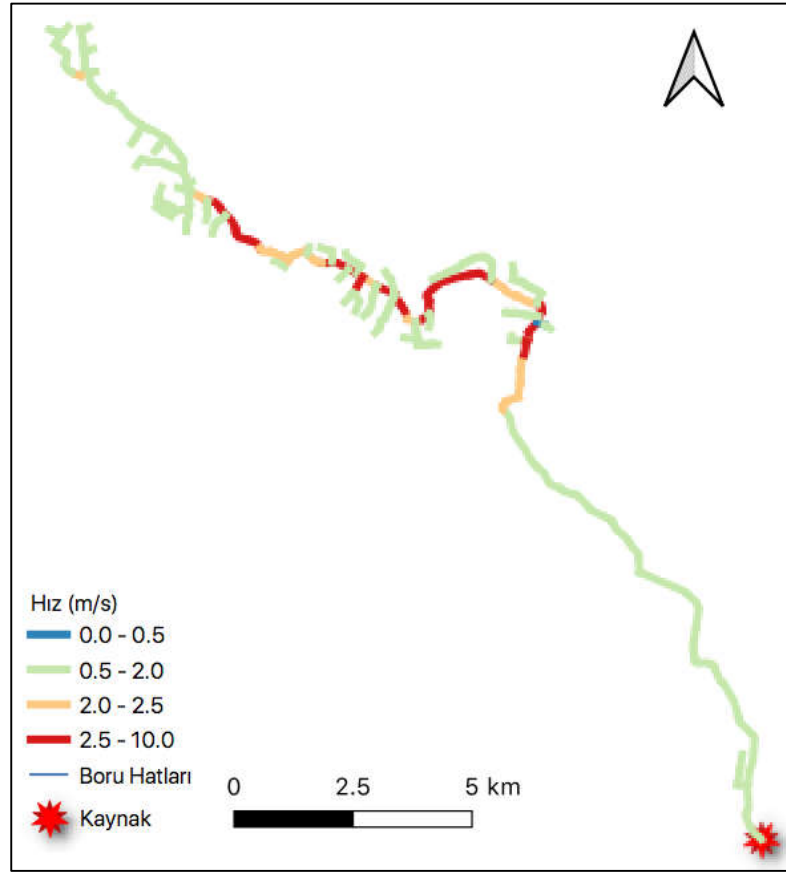


Şekil 4.47. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,9 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

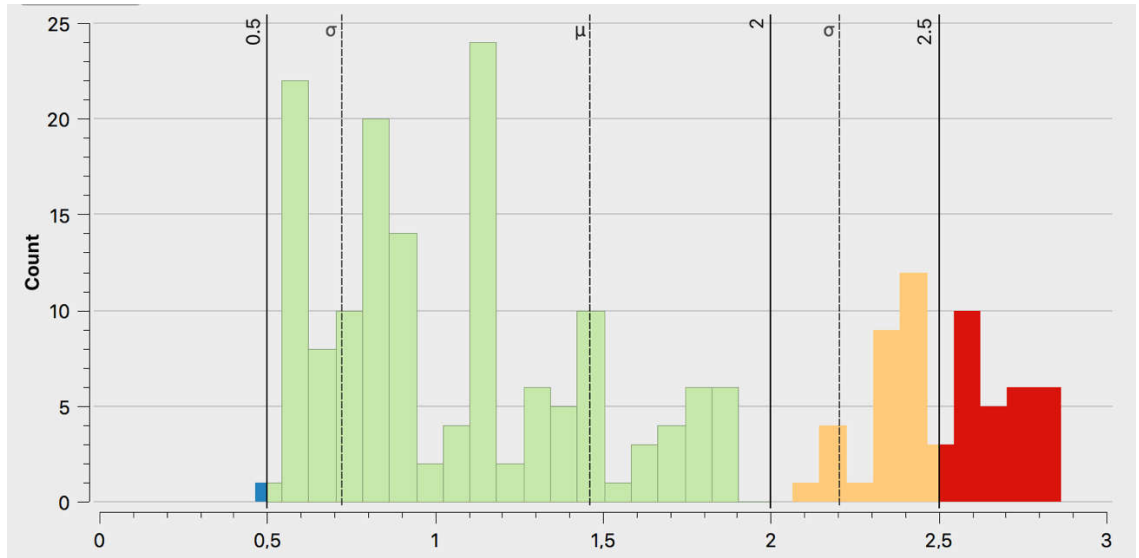


Şekil 4.48. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Basınçlı sulama sisteminin Döllük hattında talep katsayısı 0,9 için gerçekleştirilen EPANET hidrolik analizi sonucu QGIS ortamında şebeke borularındaki akış hızları da incelenmiştir. Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'deki histogram incelendiğinde şebekenin boru sistemindeki hızların 0,5 ile 1,90 m/s aralığında dağıldığı belirlenmiştir. Sistemde ortalama akış hızı 1,46 m/s'dir.



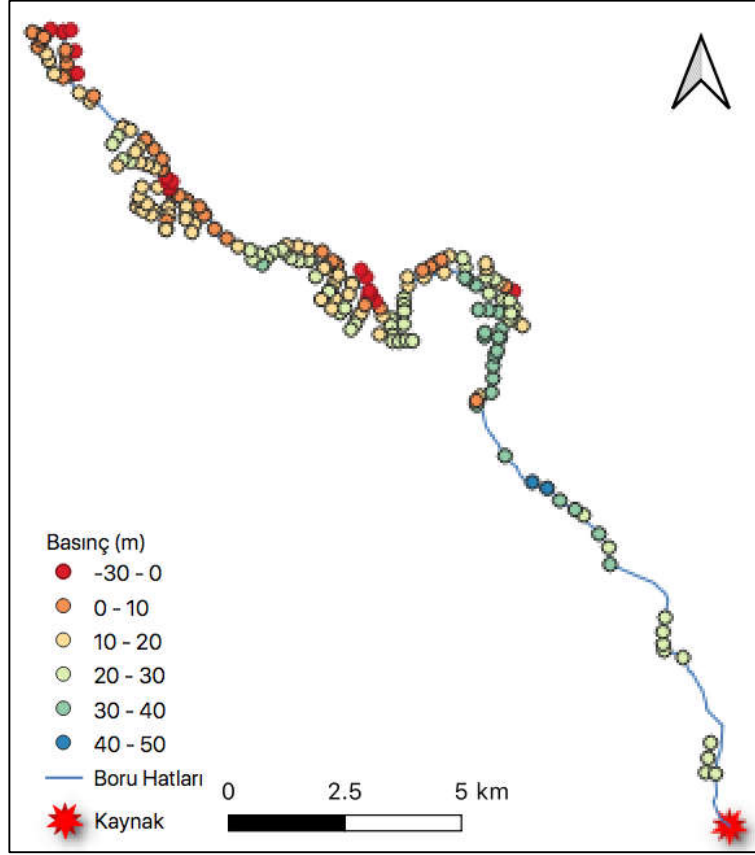
Şekil 4.49. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



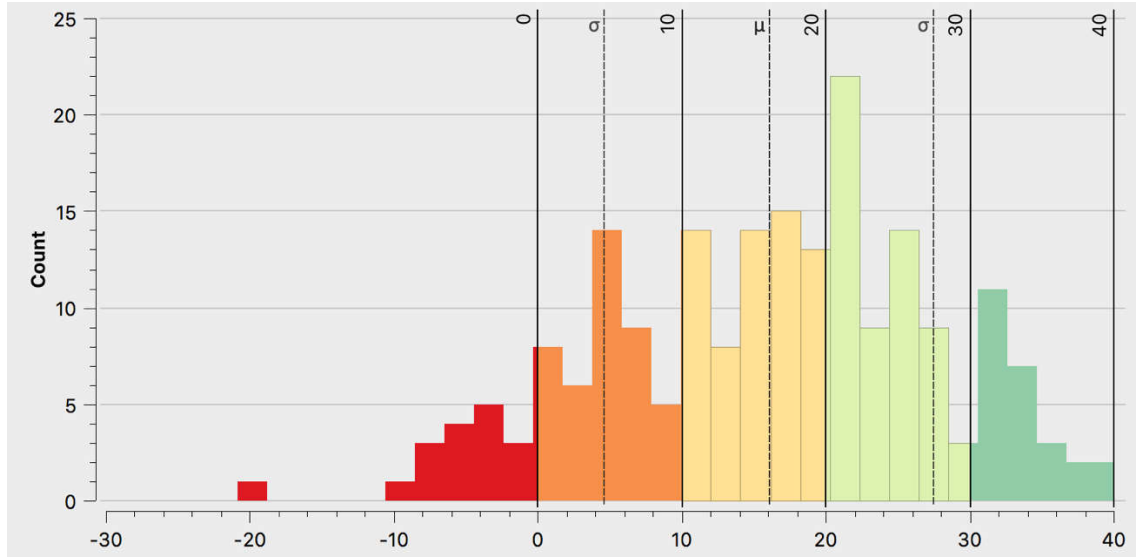
Şekil 4.50. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,9 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

Döllük Hattı Talep Katsayısı – 0,80

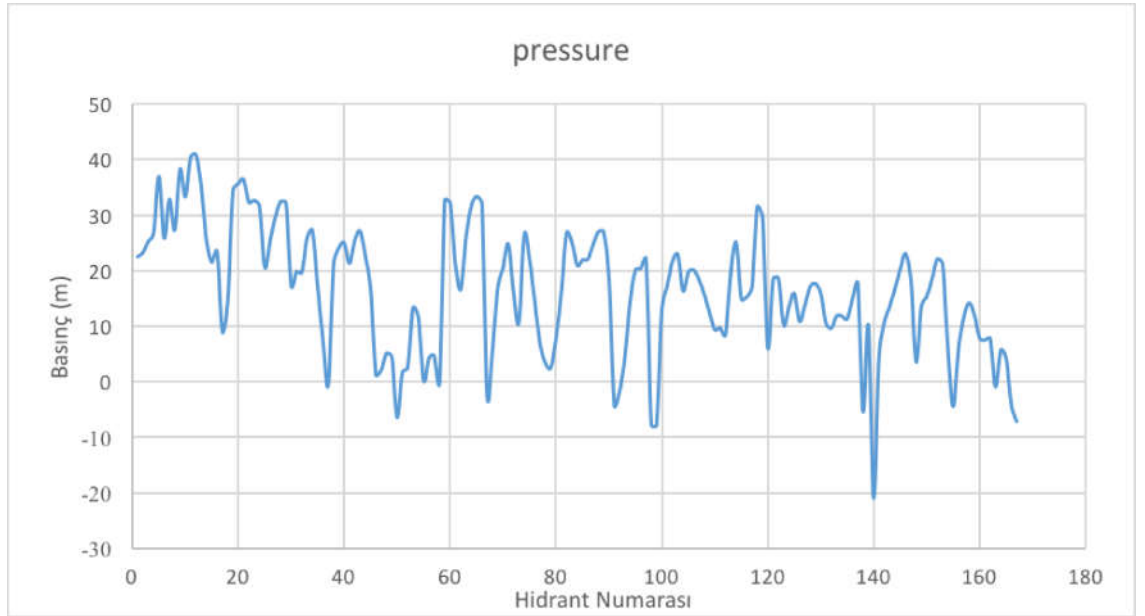
Döllük hattında hidrantlardaki debi taleplerinin karşılanabilme durumunu incelemek üzere talep katsayısı 0,8 alınarak hidrolik analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu sistem hidrantlarındaki basınç durumları Şekil 4.51’de görülen planda verilmiştir. Bulgulara göre 167 adet proje hidrantının %92’sinin 0’ın üzerinde basınca sahip olduğu saptanmıştır. Şekil 4.52’de görülen histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.53 incelendiğinde, şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 16 m olduğu tespit edilmiştir. Bulgulara göre; kısıtlı istek yöntemi ile işletilmesi düşünülen basınçlı sulama sisteminde hidrantların %92’sinin 0’ın üzerinde basınca sahip olduğu, %73’ünün 10 m den fazla basınca sahip olduğu ve %41’inin 20 m basıncın üzerinde olduğu görülmektedir. Sistemin yaklaşık %50’sinin istenilen minimum basınç olan 20 m basıncı karşıladığı saptanmıştır. Bu sonuçların işletme bakımından kısmen tatmin edici olduğu görülmektedir.



Şekil 4.51. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,8 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

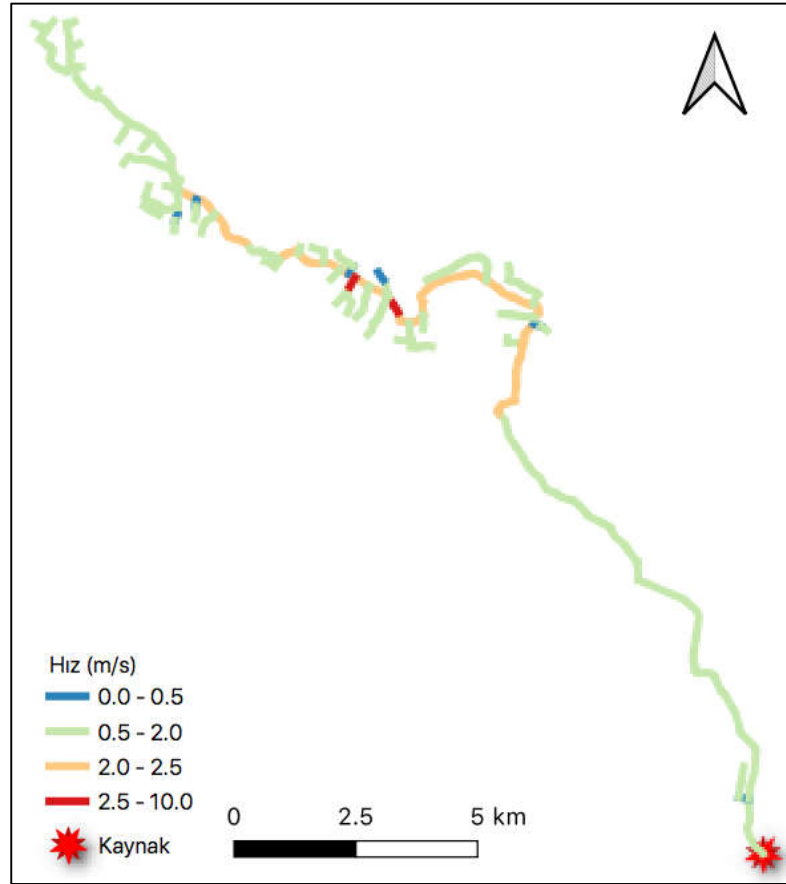


Şekil 4.52. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,8 için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları

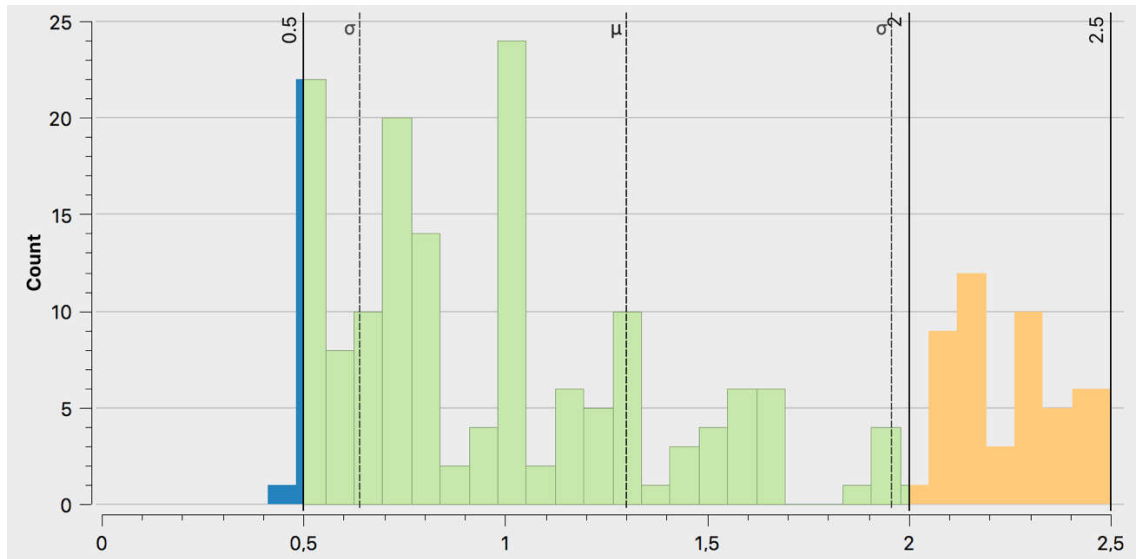


Şekil 4.53. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değışimi

QGIS-EPANET tümleşik analizinde basınçlı sulama sisteminin Döllük hattında talep katsayısı 0,8 için şebeke borularındaki akış hızları belirlenmiştir. Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'deki histogram incelendiğinde şebekenin boru sistemindeki hızların 0,5 ile 2,00 m/s aralığında dağıldığı saptanmıştır. Sistemde ortalama akış hızı 1,3 m/s'dir.



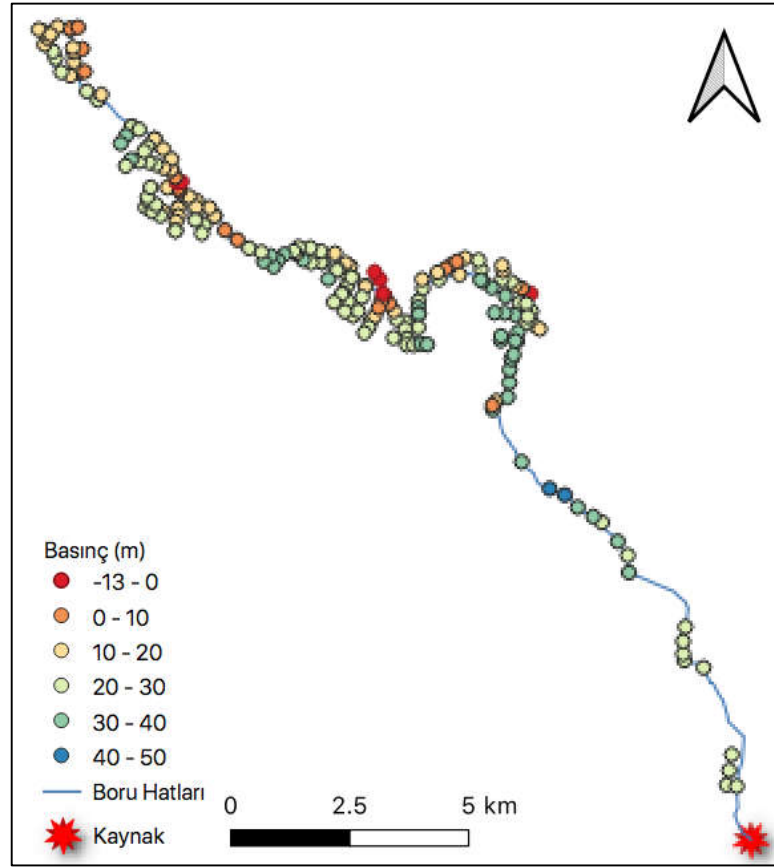
Şekil 4.54. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



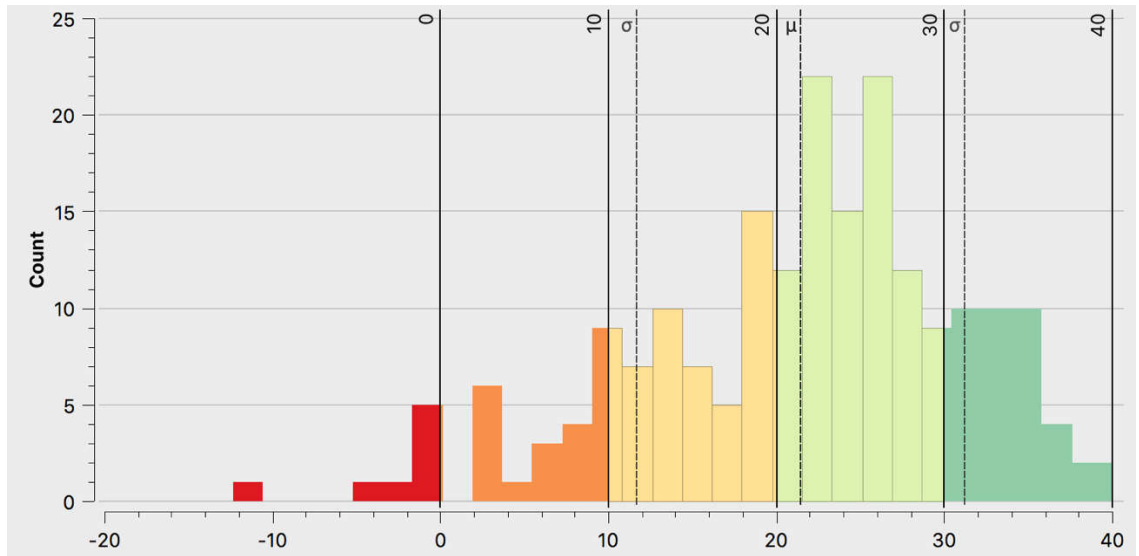
Şekil 4.55. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,8 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

Döllük Hattı Talep Katsayısı – 0,70

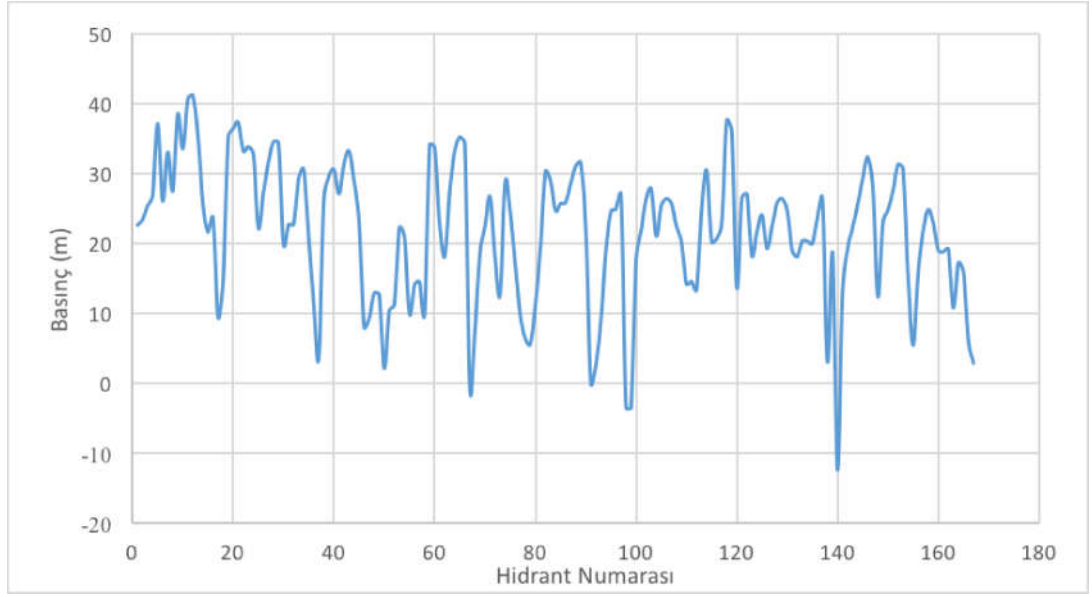
Kısıtlı istek yöntemi denenen Döllük hattında hidrantlardaki debi taleplerinin karşılanabilme durumunu incelemek üzere talep katsayısı 0,7 alınarak QGIS-EPANET tümleşik analiz ortamında hidrolik analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.56'da analiz sonuçlarına göre hidrantlarda basınç durumunu gösteren vektör katmanı görülmektedir. Bulgulara göre 167 adet proje hidrantın %98'inin 0'ın üzerinde basınca sahip olduğu saptanmıştır. Şekil 4.57'de ise basınç değerlerinin histogram dağılımları görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.58 incelenerek şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 21,5 m olduğu ve değerlerin büyük bir kısmının 20 – 30 m aralığında dağıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca kısıtlı istek yöntemi ile işletilmesi düşünülen Döllük hattında hidrantların %98'inin 0'ın üzerinde basınca sahip olduğu, %87'sinin 10 m den fazla basınca sahip olduğu ve %65'inin 20 m basıncın üzerinde olduğu belirlenmiştir. Sistemin büyük bir kısmının istenilen minimum basınç olan 20 m (2 atm) basıncı karşıladığı saptanmıştır. Bu sonuçların işletme bakımından oldukça yeterli olduğu görülmektedir.



Şekil 4.56. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,7 için sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı

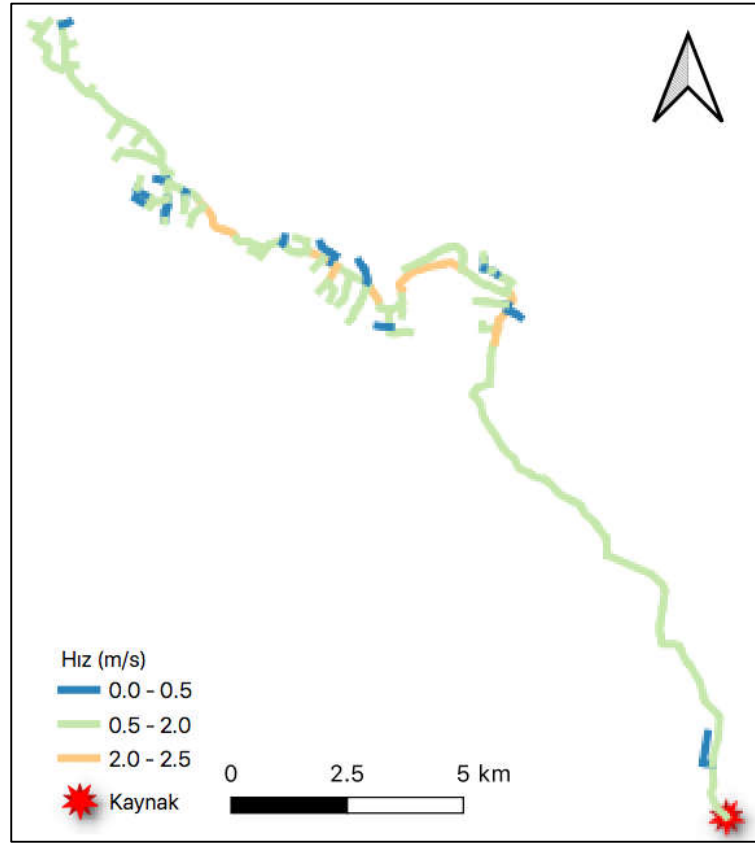


Şekil 4.57. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,7 için elde edilen EPANET basıñç değerlerinin histogram dağılımları

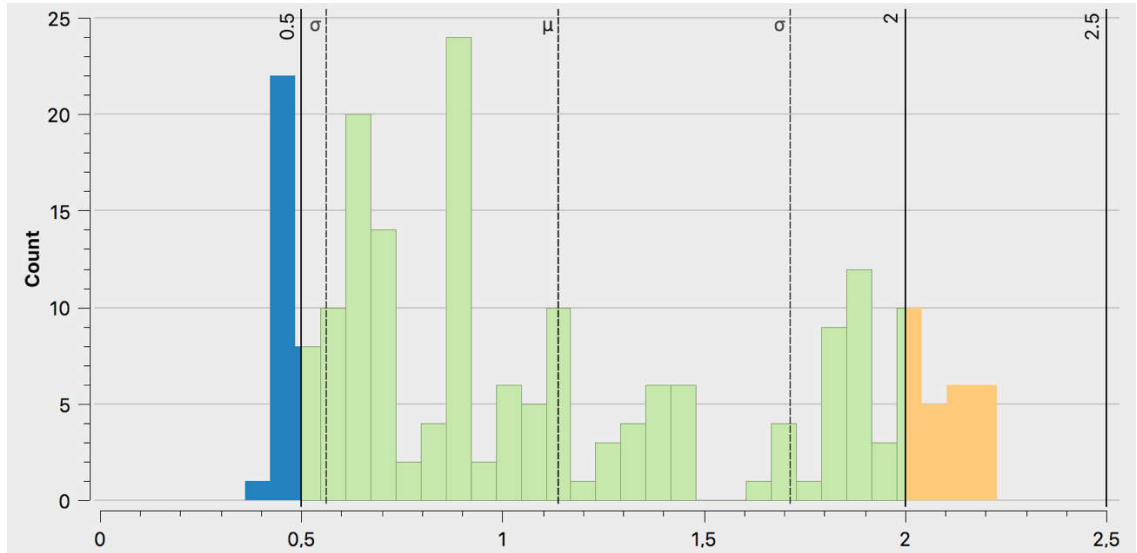


Şekil 4.58. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Basıncılı sulama sisteminin Döllük hattında talep katsayısı 0,7 için gerçekleştirilen hidrolik analizi sonucu şebeke borularındaki akış hızları incelenmiştir. Şekil 4.59 ve Şekil 4.60'daki histogram incelenerek şebekenin boru sistemindeki hızların büyük kısmının 0,5 ile 2,00 m/s aralığında dağıldığı tespit edilmiştir. Sistemde ortalama akış hızı 1,14 m/s'dir.



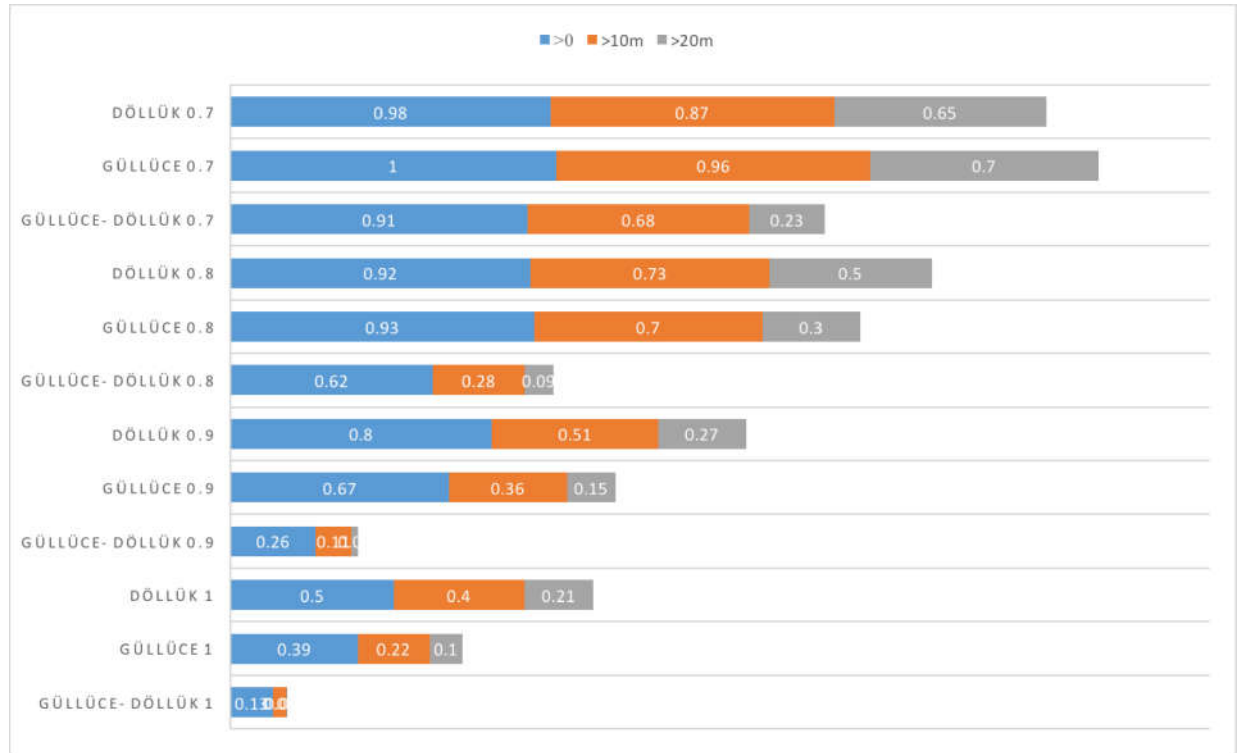
Şekil 4.59. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin QGIS vektör katmanındaki temsili



Şekil 4.60. Kısıtlı istekle Döllük Hattı talep katsayısı 0,7 için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

4.1.4. Güllüce-Döllük Sulama Projesi İşletiminin Rehabilitasyonu

Çalışmada, Güllüce-Döllük sulama şebekesine uygulanan kısıtlı ve tam talep senaryolarının grafiksel özeti Şekil 4.61’de verilmiştir. Talep katsayısının 1’e yakınlığı daha fazla hidrantın hedeflenen performans seviyesinde çalışabileceğini ifade etmektedir. Gerçekleştirilen analizler sonucu Güllüce-Döllük sulama şebekesinde görülen yetersizliklerin kısıtlı istek yöntemiyle üstesinden gelinebileceği öngörülmüştür. Bu çerçevede, Güllüce-Döllük sulama şebekesinin doğal yapısına da uygun olarak, sistemin Döllük ayırımından itibaren Güllüce ve Döllük diye adlandırılan iki farklı kısıtlı istek hattına ayrılması düşünülmüştür. Kısıtlı istek yöntemi uygulanıp talebin %20 azaltılması ile oluşan bu senaryo hem Döllük hem de Güllüce hatları için en uygun işletme yöntemi olarak kabul edilmiştir. Kısıtlı istek yönteminde, çiftçilerin haftanın 7 günü sulama yapabilme yerine, haftanın bazı günleri sulama yapabilmektedir. Örneğin, bir hattın su alan araziler, 4 gün sulama yapabiliyorsa bu 4 gün kendi içinde istek yöntemiyle işletilebilmektedir. Kalan 3 günde ise, aynı şekilde diğer hattaki araziler için de kendi içinde istek yöntemi uygulanabilmektedir.

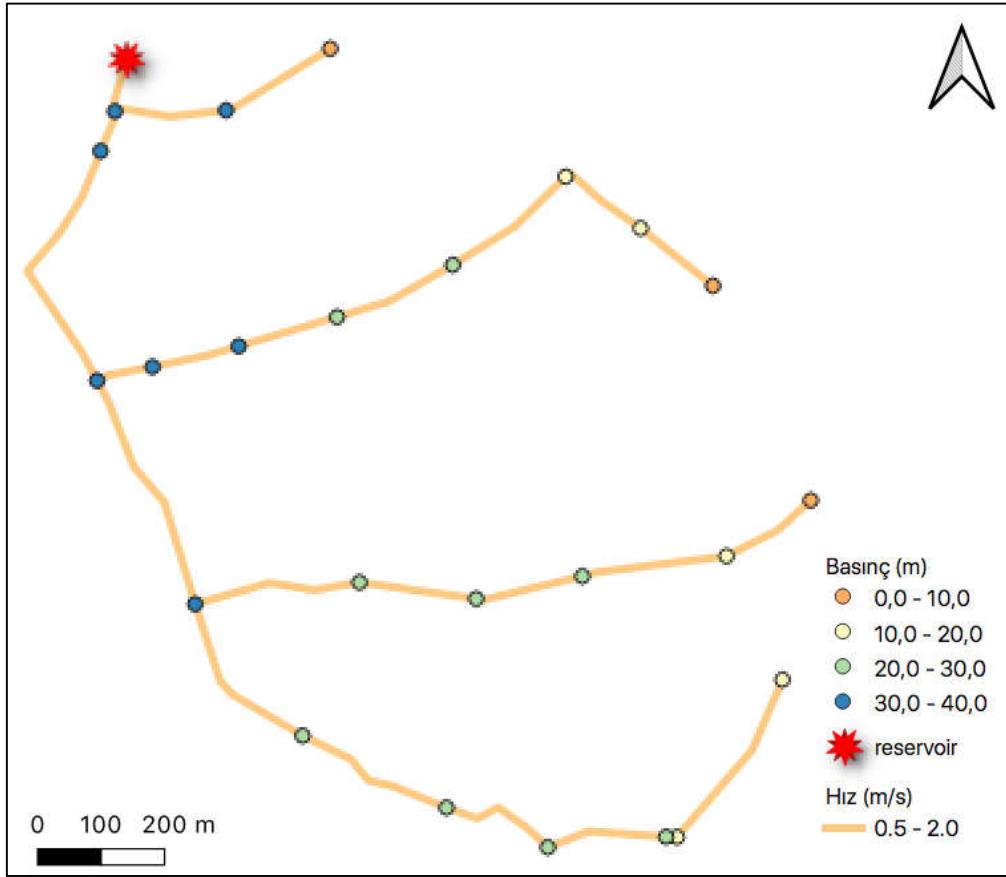


Şekil 4.61. Güllüce-Döllük sulama şebekesi kısıtlı ve tam talep senaryolarının grafiksel özeti

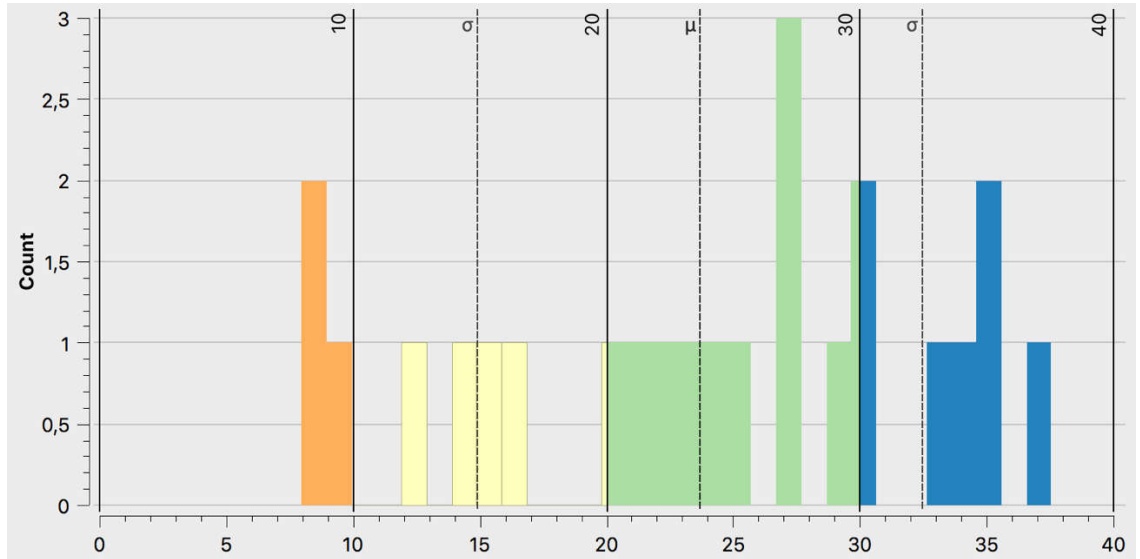
4.1.5. Devecikonağı Sulama Projesi

Devecikonağı Sulaması Sağ Sahil Analiz Sonuçları

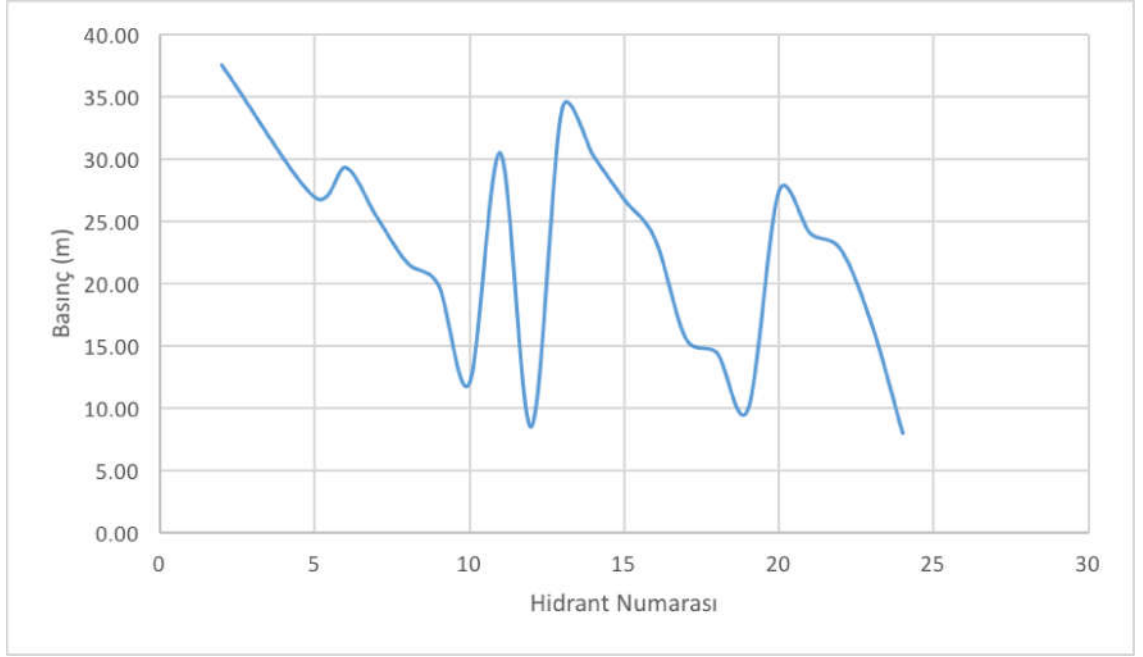
Devecikonağı Sağ Sahil sulama projesinde bulunan toplam 21 adet hidrantta DSİ'nin öngördüğü debi taleplerinin tamamının karşılanabilme durumunu incelemek üzere talep katsayısı 1.0 alınarak EPANET hidrolik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucu hidrantlardaki basınç durumunu gösteren QGIS hidrant planı (Şekil 4.62) elde edilmiştir. Analiz bulgularına göre proje hidrantlarının tamamında pozitif basınç değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.63'de ise basınç değerlerinin histogram dağılımları görülmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.64 incelendiğinde şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 23,8 m olduğu ve değerlerin %62'sinin 20 m'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Şebekede 0 - 20 m'lik basınç aralığında sadece 8 adet hidrant tespit edilmiştir. Şekil 4.65'de görülen hız analiz sonuçlarının histogram dağılımına göre şebeke borularındaki ortalama hız 1,16 m/s'dir. Hız değerlerinin tamamı 0,5 - 2,0 m/s aralığındadır. Bu incelemeler sonucunda Devecikonağı Sağ Sahil şebekesinin mevcut haliyle hidrant taleplerinin çoğunu karşılayabildiği tespit edilmiştir.



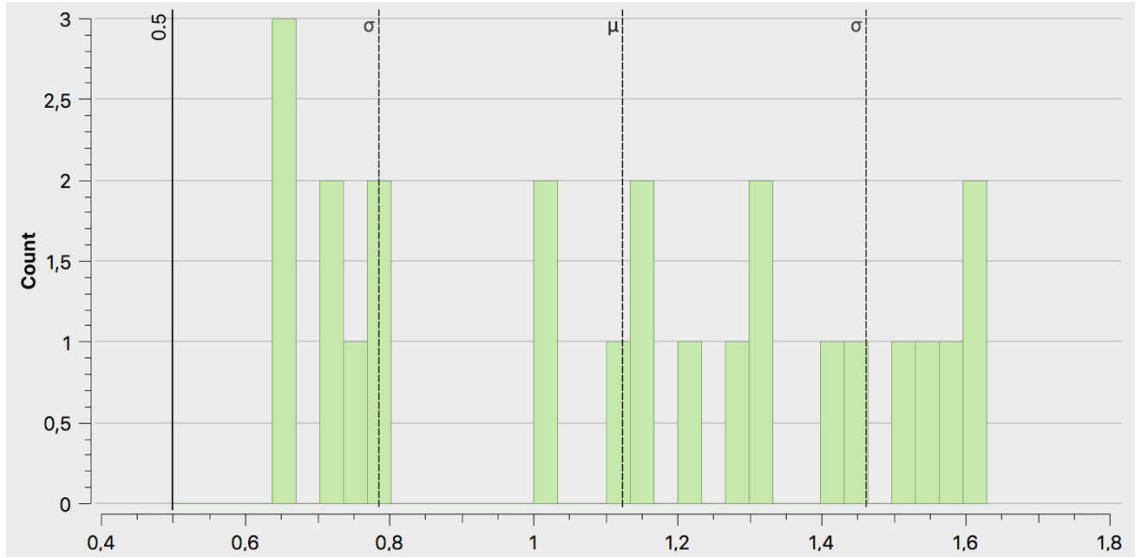
Şekil 4.62. Devecikonağı Sağ Sahil şebekesi mevcut koşullarında sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı



Şekil 4.63. Devecikonağı Sağ Sahil şebekesi mevcut koşulları için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları



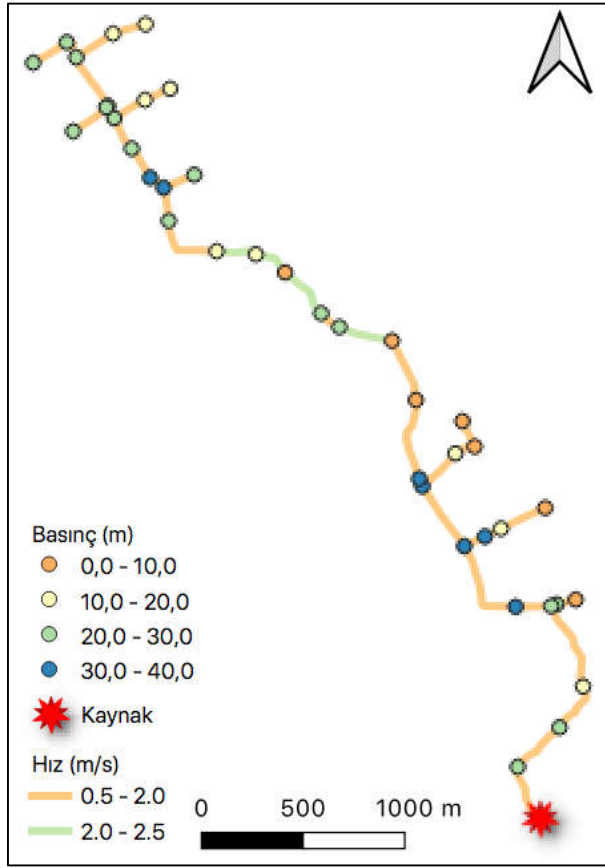
Şekil 4.64. Devecikonağı Sağ Sahil şebekesi mevcut koşulları için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi



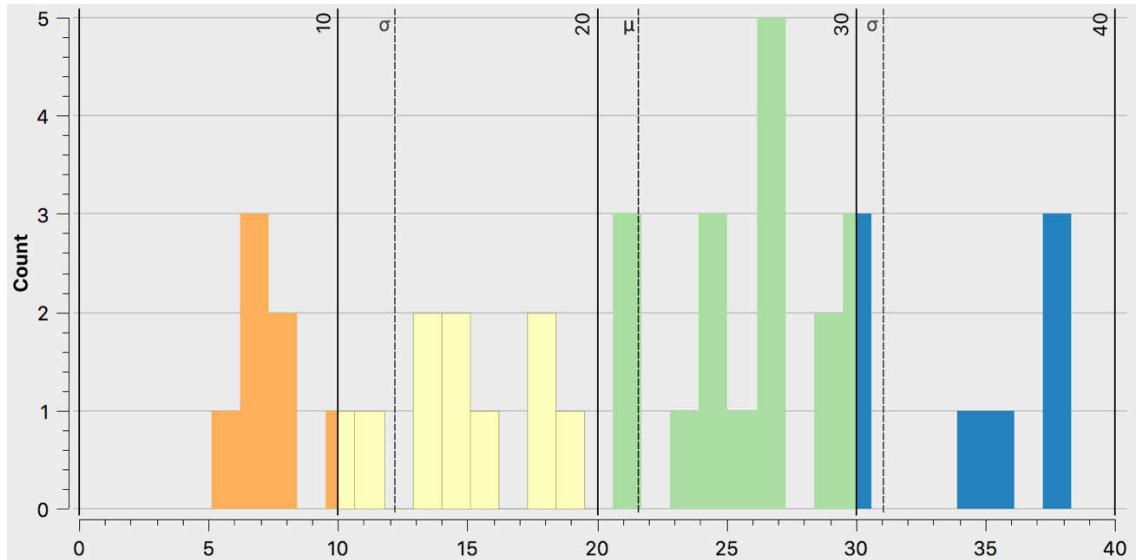
Şekil 4.65. Devecikonağı Sağ Sahil şebekesi mevcut koşulları için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

Devecikonağı Sulaması Sol Sahil Analiz Sonuçları

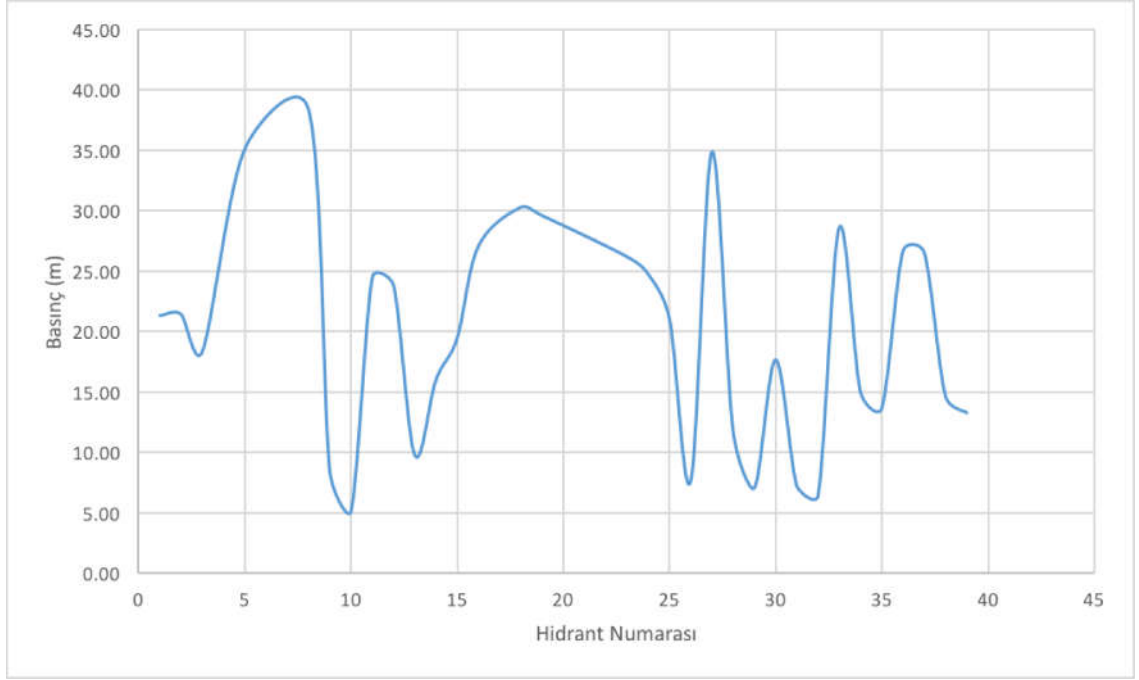
Devecikonağı Sol Sahil sulama projesinde bulunan toplam 32 adet hidrantta DSİ'nin öngördüğü debi taleplerinin tamamının karşılanabilme durumunu incelemek üzere talep katsayısı 1.0 alınarak EPANET hidrolik analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucu hidrantlardaki basınç durumunu bildiren ve Şekil 4.66'da görölen QGIS hidrant planı elde edilmiştir. Analiz bulgularına göre proje hidrantlarının tamamında pozitif basınç değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.67'de ise basınç değerlerinin histogram dağılımları görölmektedir. Bu histogram dağılımı ve hidrantlardaki basınç değişimini gösteren Şekil 4.68 incelendiğinde şebeke hidrantlarında basınç ortalamasının 21,5 m olduğu ve değerlerin %50'sinin 20 m'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Şebekede 0 - 20 m'lik basınç aralığında 16 adet hidrant tespit edilmiştir. Şekil 4.69'da görölen analiz hız sonuçlarının histogram dağılımına göre şebeke borularındaki ortalama hız 1,44 m/s'dir. Hız değerlerinin büyük bir çoğunluğu 0,5-2,0 m/s aralığındadır. Bu incelemeler sonucunda Devecikonağı Sol Sahil şebekesinin mevcut haliyle hidrant taleplerinin yarısını 20 m'lik basınç seviyesinde karşılayabildiği ve diğer yarısının ise daha düşük basınç değerleriyle karşılanabildiği tespit edilmiştir. Bu 10-20 m'lik basınç aralığındaki hidrantların desteklediği tarım arazilerinde ise, yağmurlama dışındaki, düşük basınçlı mini yağmurlama ve damla sulama yöntemlerinin uygulanabileceği düşünölmektedir.



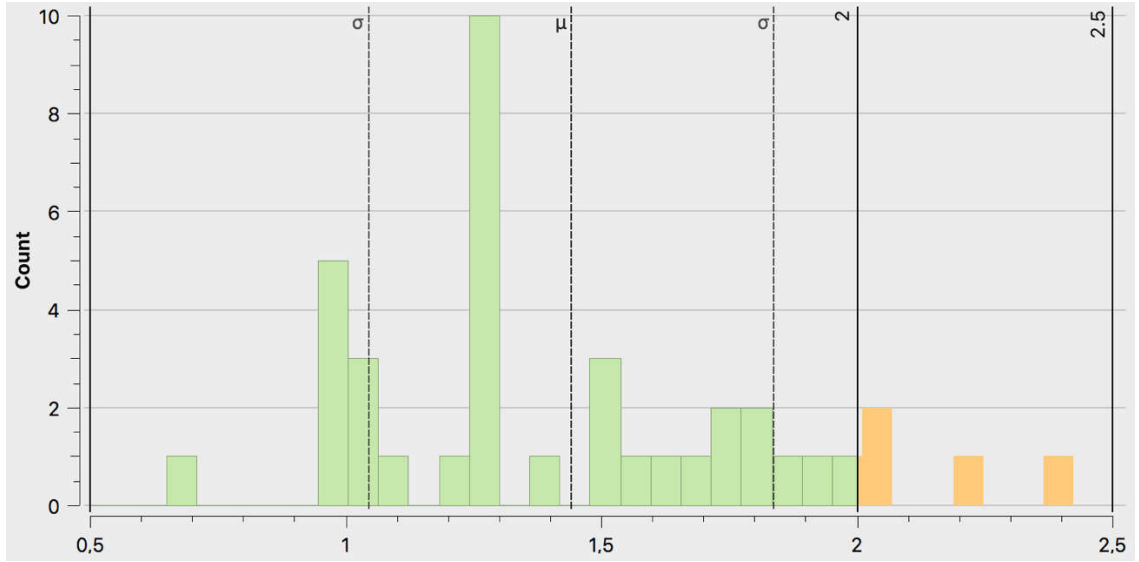
Şekil 4.66. Devecikonağı Sol Sahil şebekesi mevcut koşullarında sulama sisteminin analizi sonucu elde edilen QGIS hidrant planı



Şekil 4.67. Devecikonağı Sol Sahil şebekesi mevcut koşulları için elde edilen EPANET basınç değerlerinin histogram dağılımları



Şekil 4.68. Devecikonağı Sol Sahil şebekesi mevcut koşulları için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

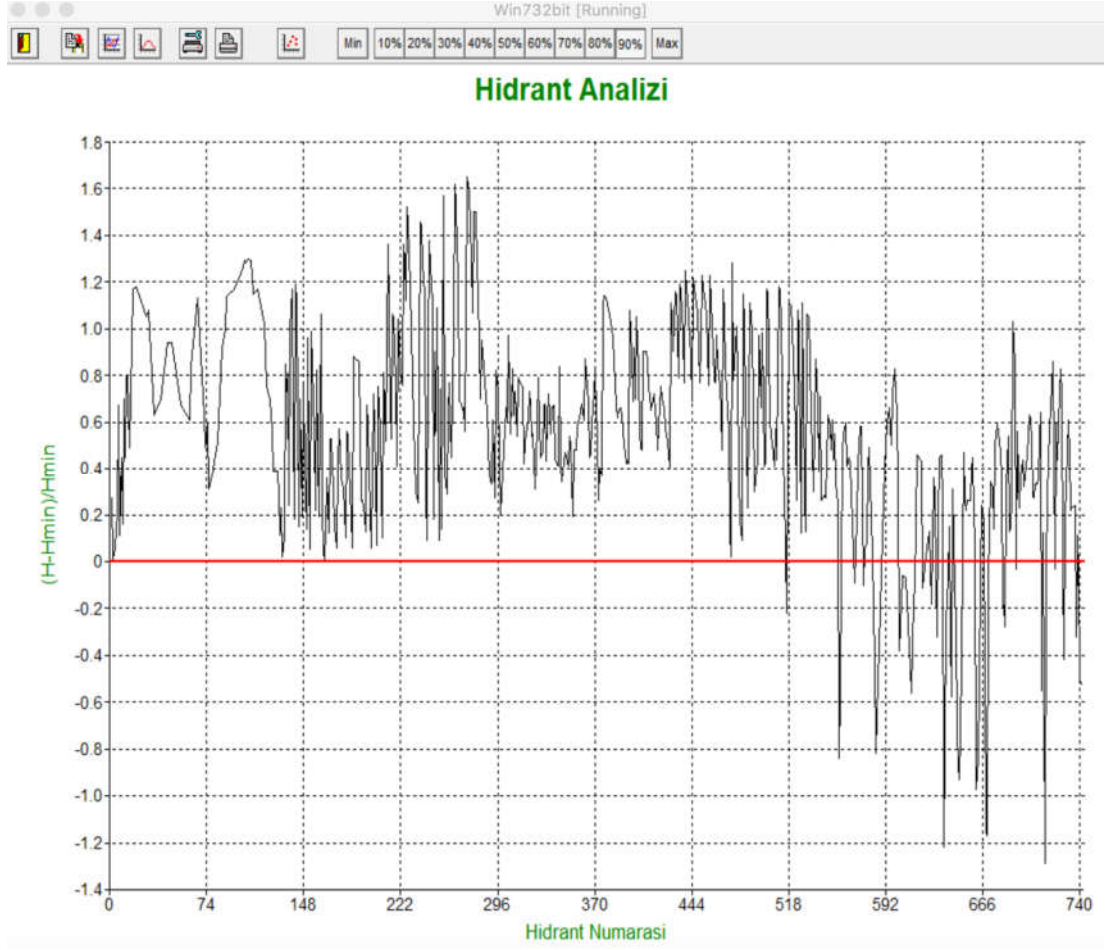


Şekil 4.69. Devecikonağı Sol Sahil şebekesi mevcut koşulları için EPANET ile elde edilen hız değerlerinin histogram dağılımı

4.2. COPAM Analiz Bulguları

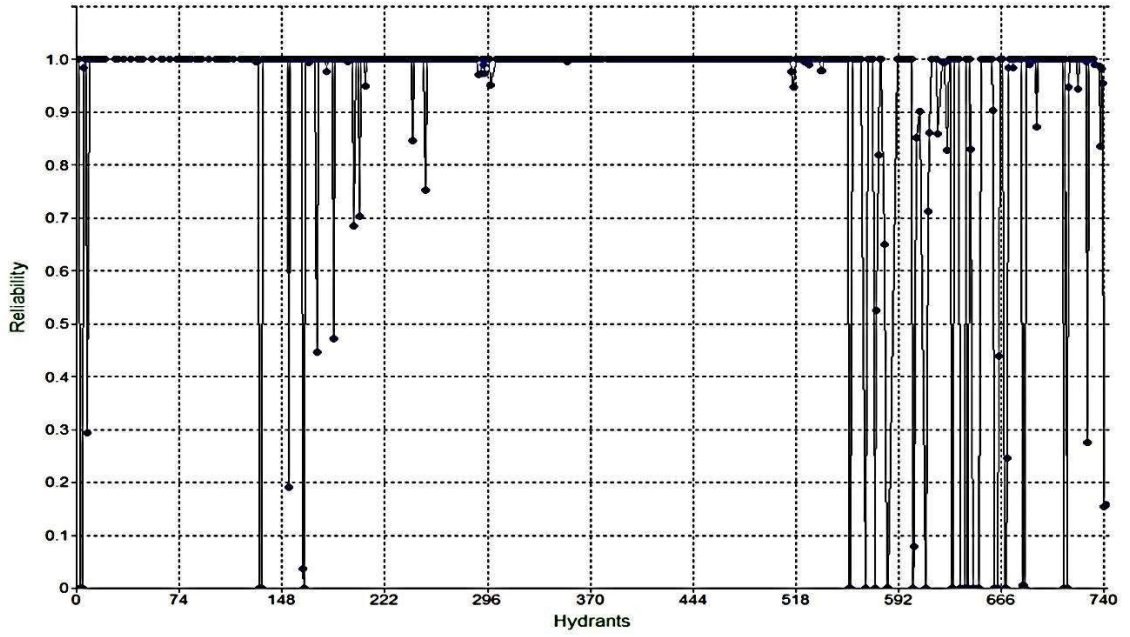
4.2.1. Güllüce-Döllük Sulama Projesi

Sulama sisteminin hidranlarındaki istenen minimum basınç kıyas alınarak yetersiz basınca konu olan hidrantlar Şekil 4.70'de tanımlanmaktadır. Grafik, tasarım debisi $Q = 5035$ l/s ve kaynağın yüksekliği 93 m alınarak elde edilmiştir ve hidrant numaralarına karşılık bağıl basınç değerleri görülmektedir. Şekil 4.70'de sistemde var olan hidrant numaralarına karşılık gelen bağıl basınç değeri, sıfırın üzerinde ise o hidrantın basınç yönünden yeterli olduğu, eğer sıfırın altında ise o hidrantın yetersiz olduğu sonucuna varılmaktadır. Değerler -1.0'e yaklaştıkça yetersizlik artmaktadır. Şekil 4.70 incelendiğinde, ele alınan basınçlı sulama sisteminde hidrantların yaklaşık %90'ının basınç yönünden COPAM analizine göre yeterli olduğu saptanmıştır. Bu durum EPANET yazılımıyla yapılan hidrolik analiz sonuçları ile karşılaştırılacak olursa, EPANET analizinde talebin %30 azaltılarak elde edilen senaryoya yaklaşık olarak karşılık gelmektedir.



Şekil 4.70. Güllüce-Döllük sulama projesinde yetersiz basınca konu olan hidrantlar

Önceki analizlerle birlikte, basınçlı sulama sisteminin güvenilirliği COPAM tarafından analiz edilebilmektedir. Bu çalışmada da her bir hidrant için güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz edilen sulama şebekesinin güvenilirliği 0 ile 1 arasında bir değerdir ve bu değer olabildiğince 1'e yakın ya da 1 olması arzu edilir. Şekil 4.71'de Güllüce-Döllük sulama projesi hidrant numaralarına karşılık güvenilirlik değerleri verilmiştir. Bu grafiğe göre çalışmada analiz edilen sulama şebekesindeki hidrantların yaklaşık %90'ının güvenilir olduğu saptanmıştır.



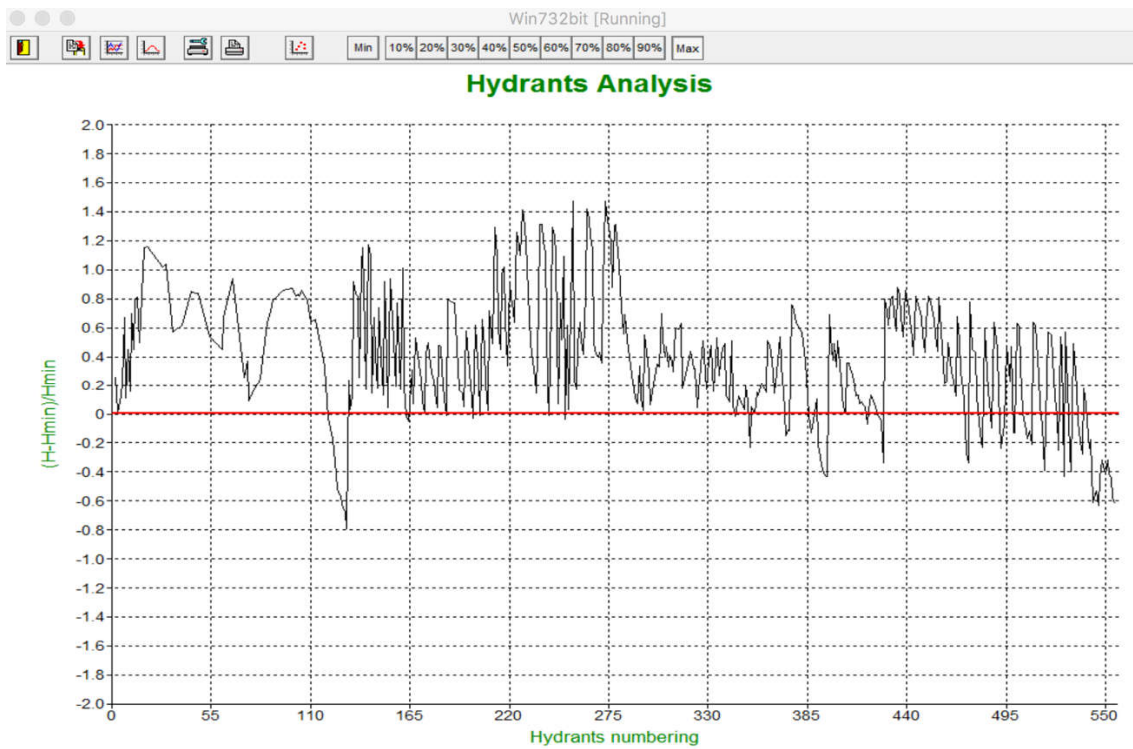
Şekil 4.71. Güllüce-Döllük sulama projesi hidrant numaralarına karşılık güvenilirlik değerleri

COPAM ile elde edilen hidrolik analiz sonuçları, sulama sistemindeki hidrantların yaklaşık %90'ının güvenilir olduğunu belirtmiştir. Bu bulgular QGIS-EPANET tümleşik analiz bulguları ile karşılaştırıldığında basınç açısından yeterli hidrant sayısının COPAM analizinde çok daha fazla olduğu söylenebilir. Yine de sulama sisteminde kısıtlı istek yöntemi uygulanan senaryolar denenmiş ve bulguları alt başlıklarda incelenmiştir.

4.2.2. Kısıtlı İstek Senaryosu Güllüce Hattı

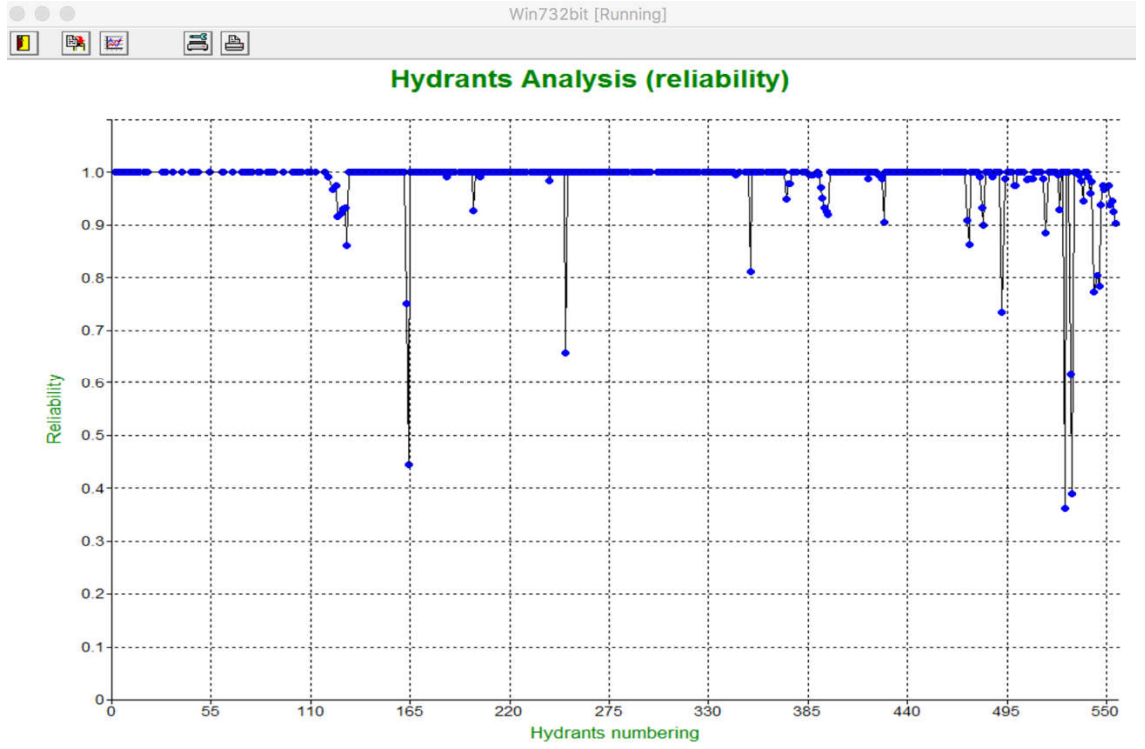
QGIS-EPANET tümleşik analizi sonucu görülen yetersizliklerin giderilmesine yönelik olası bir çözüm olarak sistemin rehabilitasyonu için kısıtlı istek yöntemi önerilmiştir. Sistem Döllük ayrımından kapatılacak gibi düşünülüp tekrar analiz edilmiştir. Kaynaktan itibaren sistemin Güllüce kısmı ayrı Döllük kısmı ayrı değerlendirilmiştir. Böylelikle farklı sulama günlerinde iki hattın rotasyonlu olarak çalışabileceği, ancak kendi içerisinde her hattın istek yöntemiyle işletilebileceği düşünülmüştür.

Şekil 4.72’de hidrant numaralarına karşılık bağıl basınç değerleri verilmiştir. Değerler sıfırın üzerinde ise o hidrantın basınç yönünden yeterli olduğu, aksi halde o hidrantın basınç yönünden yetersiz olduğu saptanmaktadır. Noktalar -1.0’e yaklaştıkça yetersizlik artmaktadır. İki grafik de tasarım debisi, sulanan alan ve sulama modülüne göre hesaplanarak bulunan $Q = 3565$ l/s ve kaynak yüksekliği 93 m alınarak elde edilmiştir. Şekil 4.72’de görülen COPAM analizi bulguları, incelenen Güllüce kısıtlı istek hattı basınçlı sulama şebekesinde hidrantların yaklaşık %90’ının basınç yönünden yeterli olduğunu önermektedir.



Şekil 4.72. Güllüce sulama projesi yetersiz basınca konu olan hidrantlar

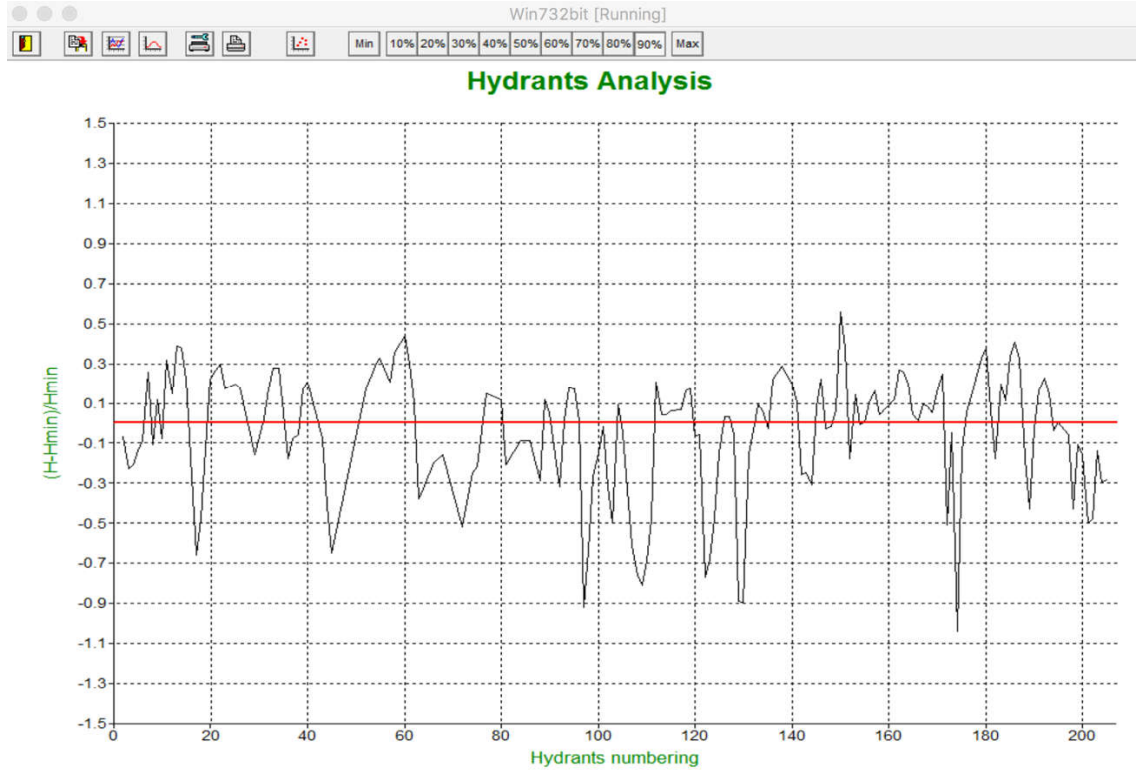
Kısıtlı istek senaryosu uygulanan Güllüce hattı için COPAM ile her bir hidrantın güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.73’de analiz sonucu elde edilen güvenilirlik değerlerinin dağılımı görülmektedir. Bu grafikten COPAM analizinin analiz edilen sulama şebekesindeki hidrantların yaklaşık %80’inin güvenilir olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.73. Güllüce sulama projesi hidrant numaralarına karşılık güvenilirlik değerleri

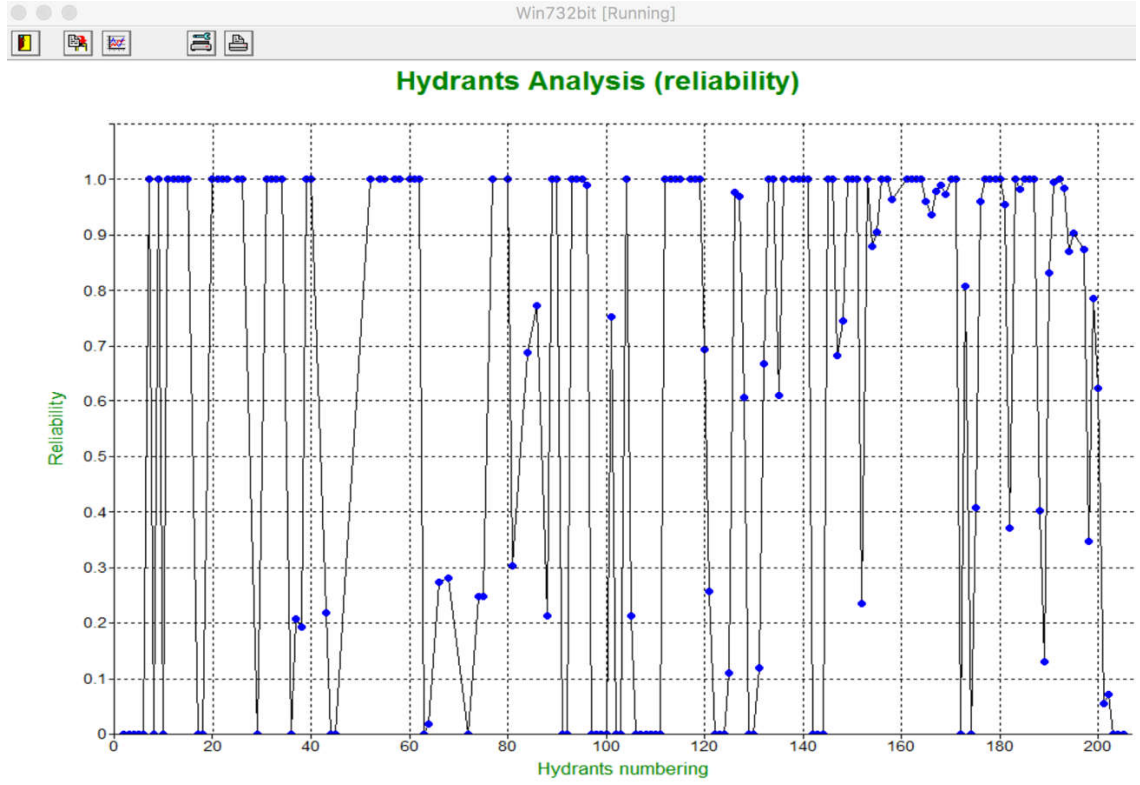
4.2.3. Kısıtlı İstek Senaryosu Döllük Hattı

Kısıtlı İstek Senaryosu düşünülerek COPAM yazılımında hidrolik analizi yapılan Döllük sulama hattının analiz sonuçlarına bu kısımda yer verilmiştir. Sistemin kaynak yüksekliği 93 m ve tasarım debisi, sulanan alan ve sulama modülüne göre hesaplanarak bulunan 1360 l/s alınarak analiz edilmiştir. Şekil 4.74'de analiz sonucu sistemdeki bağıl basınç değerlerinin dağılımı verilmiştir. Değerlerin -1.0'e yaklaşması yetersizliğin arttığını göstermektedir. COPAM analiz bulguları incelenen Döllük kısıtlı istek hattı basınçlı sulama sisteminde hidrantların %50'sinin basınç değerlerinin 0'ın üzerinde olduğu, bir başka ifadeyle hidrantların %50'sinin basınç yönünden yeterli olduğu önerilmektedir.



Şekil 4.74. Döllük sulama projesi yetersiz basınca konu olan hidrantlar

Kısıtlı istek senaryosu uygulanan Döllük hattı için COPAM ile her bir hidrantın güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.75’de analiz sonucu elde edilen güvenilirlik değerlerinin dağılımı görülmektedir. Bu grafikten COPAM analizinin analiz edilen sulama şebekesindeki hidrantların yaklaşık %50’inin güvenilir olduğu tespit edilmiştir.

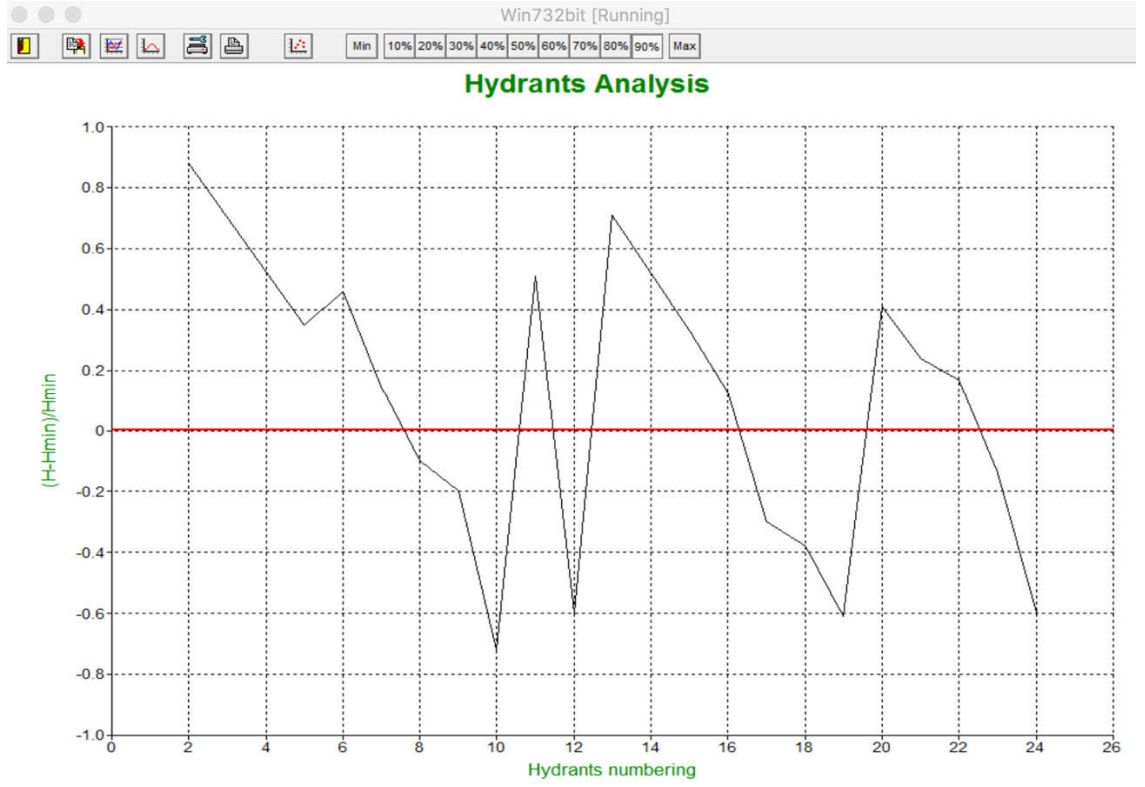


Şekil 4.75. Döllük sulama projesi hidrant numaralarına karşılık güvenilirlik değerleri

4.2.4. Devecikonağı Sulama Projesi

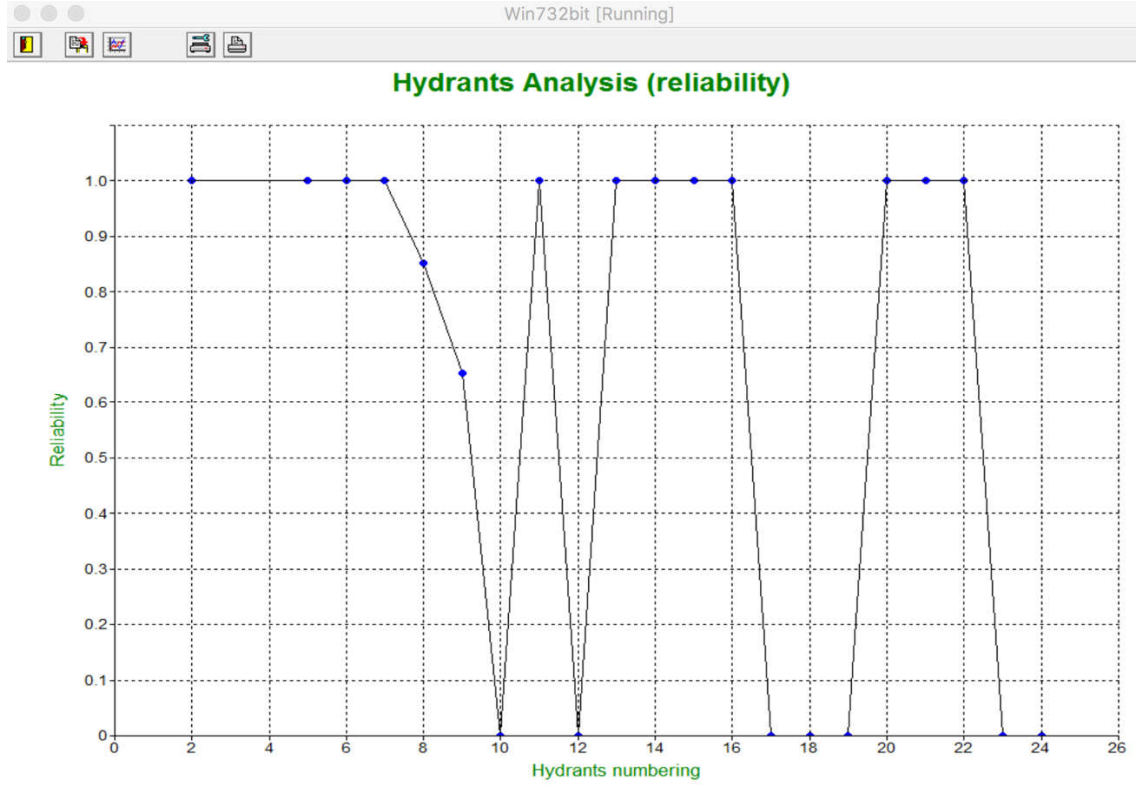
Devecikonağı Sulaması Sağ Sahil Analiz Sonuçları

Devecikonağı sağ sahil basınçlı sulama şebekesi COPAM yazılımında analiz edilmiştir. Hidrant sayılarına karşılık gelen bağıl basınç değerleri Şekil 4.76'de verilmiştir. Şekil 4.76 incelendiğinde 21 adet hidranta sahip Devecikonağı sağ sahilinin hidrantlarının %62'sinin 0'ın üzerinde olduğu saptanmıştır. Başka bir ifadeyle hidrantların %62'sinin o hidranttandan istenen minimum basıncı karşıladığı anlaşılmaktadır. Bu durum Şekil 4.77 ile desteklenmektedir.



Şekil 4.76. Devecikonağı Sağ Sahil sulama projesi yetersiz basınca konu olan hidrantlar

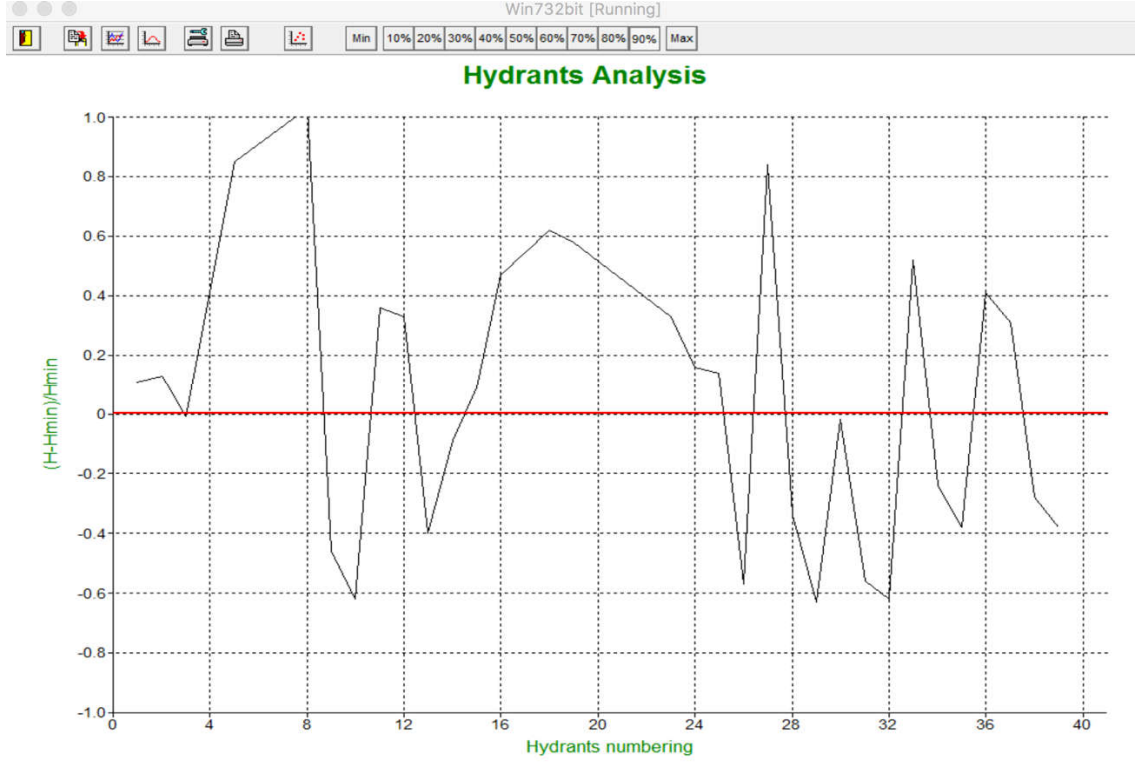
Devecikonağı Sulaması Sağ Sahil şebekesindeki hidrantların güvenilirliği COPAM ile analiz edilmiştir. Şekil 4.77 analiz sonucu güvenilirlik değerlerinin sınır çizgisi etrafında dağılımlar verilmiştir. COPAM güvenilirlik analizi bulgularına göre, Devecikonağı Sulaması Sağ Sahil şebekesindeki hidrantların yaklaşık %62'sinin güvenilir olduğu önerilmiştir.



Şekil 4.77. Devecikonağı Sağ Sahil sulama projesi hidrant numaralarına karşılık güvenilirlik değerleri

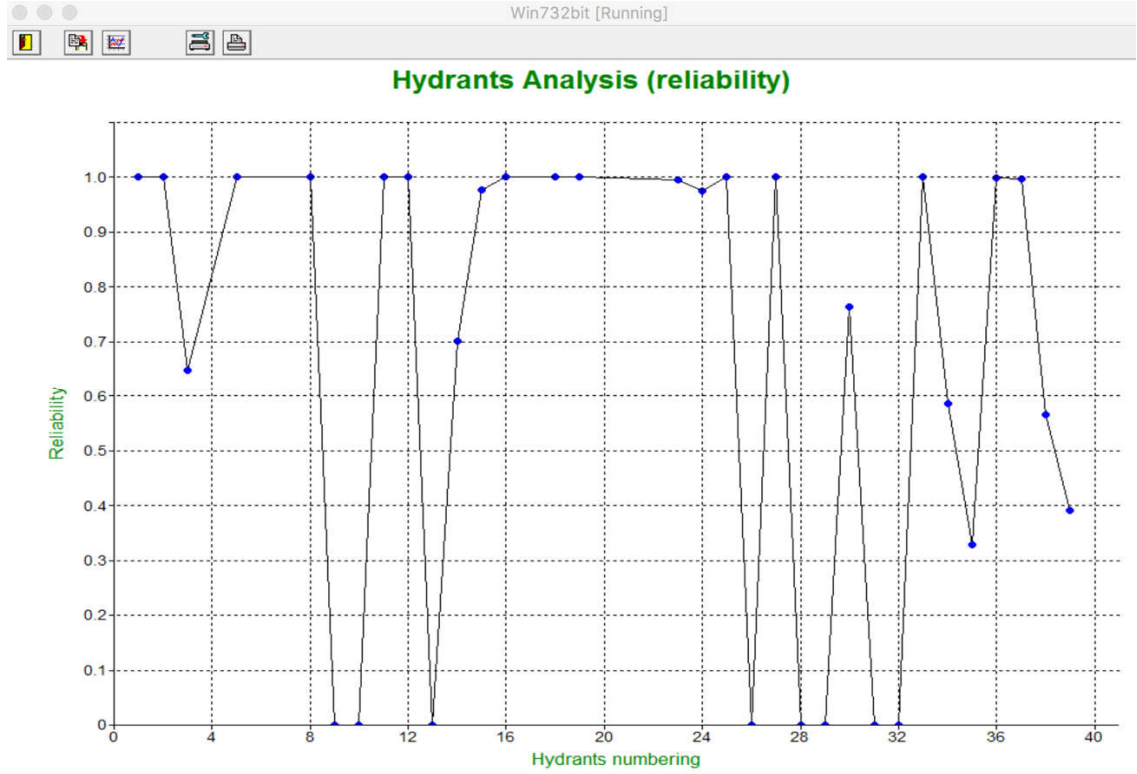
Devecikonağı Sulaması Sol Sahil Analiz Sonuçları

Devecikonağı sağ sahili basınçlı sulama şebekesi COPAM yazılımında analiz edilmiştir. Hidrant numaralarına karşılık gelen bağıl basınç değerleri Şekil 4.78’de verilmiştir ve yetersiz basınca maruz kalan hidrantların belirlenmesi ve yetersizlik aralığının değerlendirilmesi amacıyla incelenmiştir. COPAM analiz bulgularına göre, Devecikonağı sol sahil şebekesinin hidrantlarının %50’sinin istenilen basınç açısından tatmin edici olduğu önerilmektedir.



Şekil 4.78. Devecikonağı Sol Sahil sulama projesi yetersiz basınca maruz kalan hidrantlar

Devecikonağı Sulaması Sol Sahil şebekesindeki hidrantların güvenilirliği COPAM ile analiz edilmiştir. Şekil 4.79’de analiz sonucu güvenilirlik değerlerinin sınır çizgisi etrafında dağılımlar verilmiştir. COPAM güvenilirlik analizi bulguları Devecikonağı Sulaması Sol Sahil şebekesindeki hidrantların yaklaşık %50’sinin güvenilir olduğunu göstermiştir.

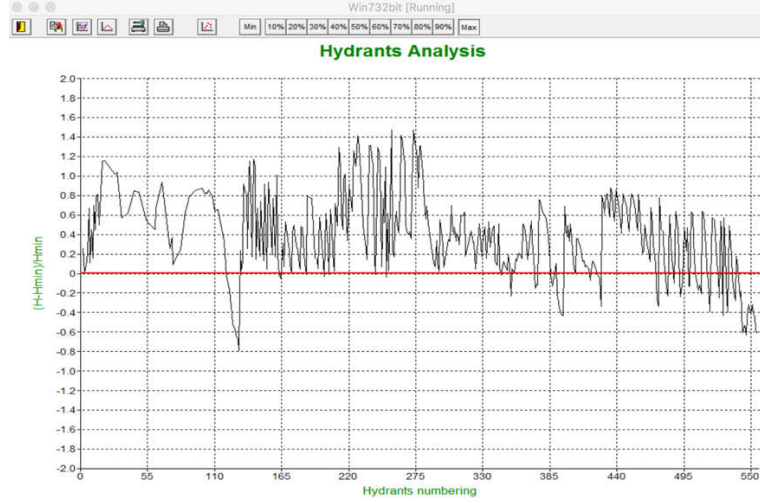


Şekil 4.79. Devecikonağı Sol Sahil sulama projesi hidrant numaralarına karşılık güvenilirlik değerleri

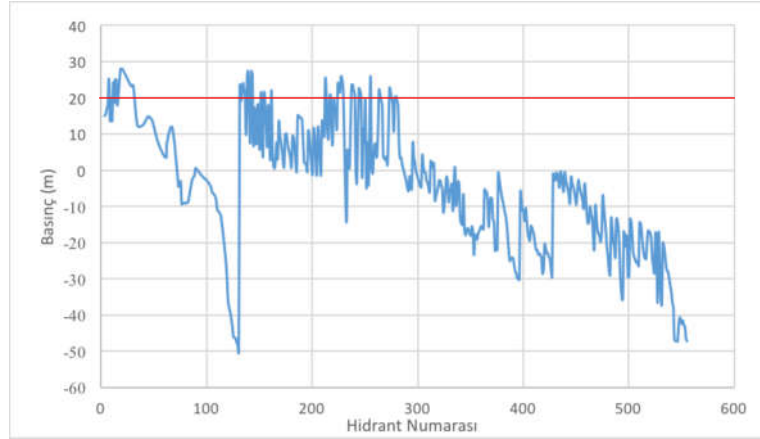
4.3. Tartışma

Çalışmada, Bursa ili Mustafakemalpaşa ilçesinde istek yöntemi ile işletilen Güllüce – Döllük basınçlı sulama şebekesi QGIS-EPANET ve COPAM yazılımlarıyla analiz edilmiş, bulgular sayısal olarak değerlendirilmiştir. EPANET hidrolik analizinde projenin mevcut koşullarında basınç açısından sistemin sadece %13'ünün 0'ın üzerinde basınçlara sahip olduğu saptanmıştır. Bu durum sistemin hidrant taleplerinin çoğunu karşılayamadığı anlamına gelmektedir. Buna karşılık proje mevcut koşullarında COPAM yazılımıyla elde edilen hidrolik analiz sonuçları, şebekedeki hidrantların yaklaşık %90'ının basınç yönünden yeterli olduğunu göstermiştir. Araştırma bulgularına göre; COPAM yazılımı ile elde edilen performans seviyesi, EPANET yazılımı ile ancak talep katsayısının 0.70 olarak belirlendiği durum ile benzerlik göstermektedir. İki farklı analiz modelinde görülen bu farklılıkların hangi durumlarda geçerli olduğunu belirlemek üzere kısıtlı istek senaryolarının ve kendi başına bağımsız birer sulama şebekeleri olarak değerlendirilen Devecikonağı sulama şebekesi hatlarının

analiz bulguları karşılıklı olarak incelenmiştir. Şekil 4.80’de ve Şekil 4.81’de Döllük’e göre nisbeten daha büyük bir kısıtlı istek hattı olan Güllüce hattının sırasıyla COPAM ve EPANET analizi sonuçları görülmektedir. Her iki grafikte de hidrant numaraları eşleşmiş haldedir. Grafikler incelendiğinde EPANET’in hidrantların çoğunun talebinin karşılanmadığını önerdiği COPAM’ın ise aksi durumu belirlediği sonucuna varılmıştır.



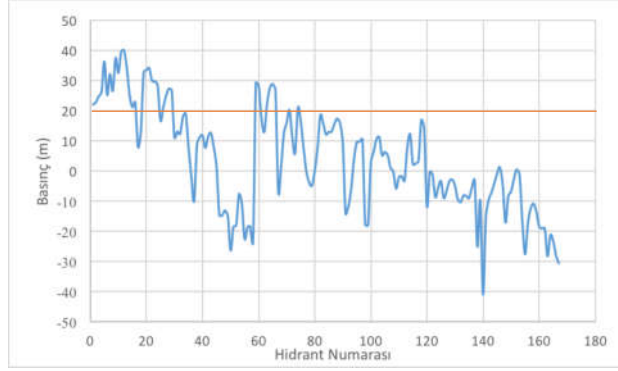
Şekil 4.80. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı COPAM ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi



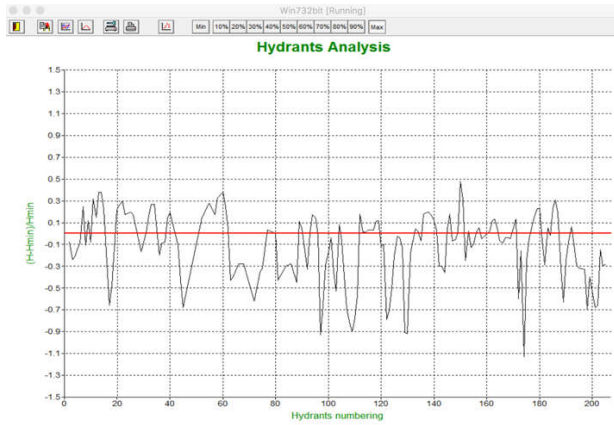
Şekil 4.81. Kısıtlı istekle Güllüce Hattı mevcut koşullar için EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Benzer bir karşılaştırma Döllük hattı için de yapılmıştır. Şekil 4.82 ve Şekil 4.83’de kısıtlı istek Döllük hattının sırasıyla EPANET ve COPAM analizlerinden elde edilen hidrantlarda basınç değişimleri görülmektedir. EPANET analiz bulgularına göre

hidrantların %79'unun 20 m'lik basıncın altında yani yetersiz olduğu saptanmıştır. Buna karşılık olarak COPAM analizi ise hidrantların %50'sinin yetersiz olduğunu önermektedir. İncelenen şebeke büyüklüğünün azalmasıyla iki analiz modeli arasındaki farkın çok az bir miktar da olsa azaldığı saptanmıştır.



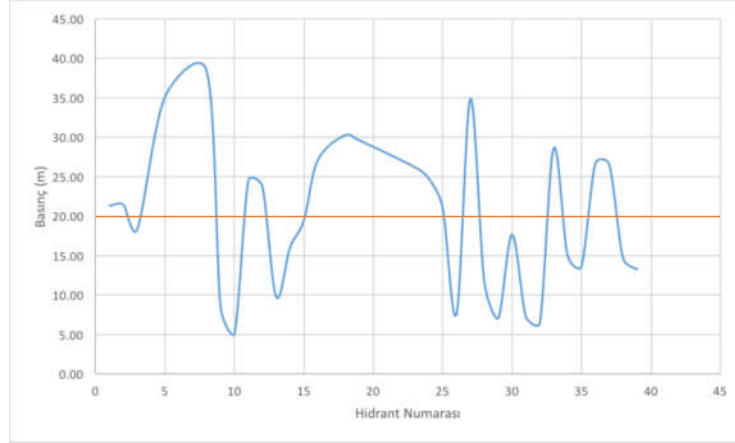
Şekil 4.82. Kısıtlı istekle Döllük Hattı EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi



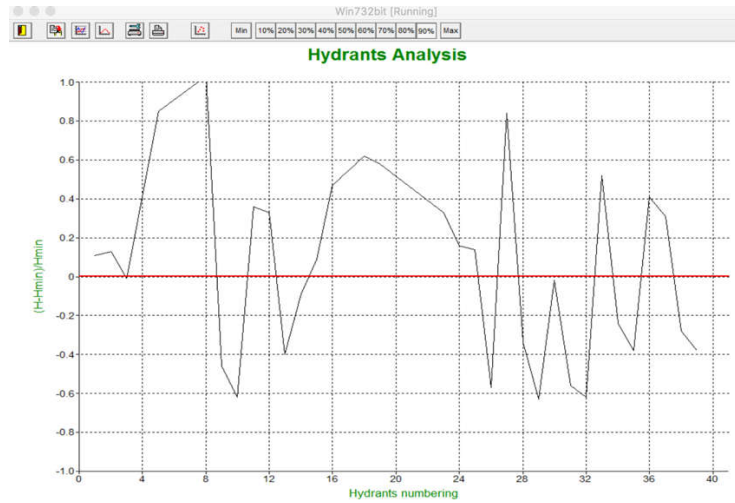
Şekil 4.83. Kısıtlı istekle Döllük Hattı COPAM ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Şekil 4.84'da ve Şekil 4.85'de 32 adet hidranta sahip çok daha küçük bir sulama şebekesi olan Devecikonağı Sol Sahil hattının mevcut proje koşullarında sırasıyla EPANET ve COPAM analizi sonuçları görülmektedir. EPANET analizi sonucunda hidrantların %50'sinin talebinin karşılanabildiği tespit edilmiştir. COPAM analizi de bu değere yakın bir şekilde hidrantların %50'sinin taleplerinin karşılandığını göstermiştir. Şekil 4.86'de ve Şekil 4.87'de ise 21 adet hidranta sahip ve Güllüce-Döllük sulama şebekesine göre yine çok daha küçük bir şebeke olan Devecikonağı Sağ Sahil hattının

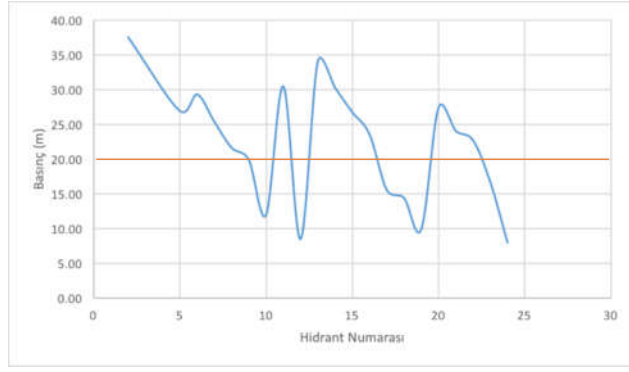
sırasıyla EPANET ve COPAM analizi sonuçları görülmektedir. Bu şebeke için EPANET analizi talebi karşılanabilen hidrant yüzdesini %62 olarak vermiştir. COPAM analiziyle de bu değer ile aynı olan %62 oranı elde edilmiştir. Devecikonağı hem Sol Sahil hemde Sağ Sahil şebekeleri için hidrantlarda basınç değişimlerini gösteren COPAM ve EPANET eğrilerinin benzer karakteristikleri dikkat çekmektedir.



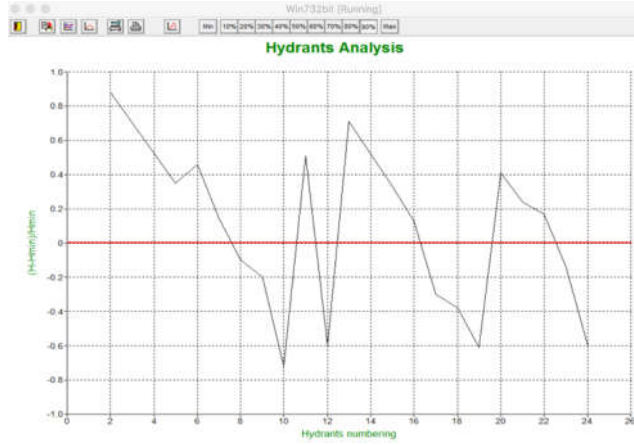
Şekil 4.84. Kısıtlı istekle Devecikonağı Sol Sahil Hattı EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi



Şekil 4.85. Kısıtlı istekle Devecikonağı Sol Sahil Hattı COPAM ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi



Şekil 4.86. Kısıtlı istekle Devecikonağı Sağ Sahil Hattı EPANET ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi



Şekil 4.87. Kısıtlı istekle Devecikonağı Sağ Sahil Hattı COPAM ile elde edilen hidrantlardaki basınç değişimi

Bu karşılaştırmalar sonucunda EPANET ve COPAM analiz sonuçlarının büyük şebekelerde farklılıklar gösterebildiği, daha küçük sulama şebekelerinde ise iki modelin oldukça benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu bulgulara göre EPANET analiz programının büyük şebekelerde daha çok yetersizlik tespit etme eğilimi olduğu, buna karşın COPAM analiz modelinin daha az yetersizlik tespit etme eğilimi olduğu sonucuna varılmıştır. Tek bir araştırmacı tarafından geliştirilen COPAM yazılımının kaynak kodu açık değildir. Böylelikle bu farklılığın nedenlerini araştırmak için kullanılan kaynak kodunu inceleme olanağı ne yazık ki bulunmamaktadır. COPAM yazılımı sadece 32 bit ve eski Windows sistemlerinde çalışabilecek şekilde dağıtılmaktadır ve CBS yazılımlarıyla entegre edilebilme olanağına sahip değildir.

EPANET yazılımı açık kaynak kodludur ve algoritmalarında karşılaşılabilecek insan hatalarını kontrol edebilme imkânı sağlayan çok sayıda programcının katılımıyla geliştirilen bir projedir (Github, 2021). EPANET yazılımının oldukça büyük şehir suyu şebekeleri de dâhil olmak üzere her boyuttaki sisteme uygulanabilir olması bir başka avantajıdır. Ayrıca Kurtulmuş ve ark. (2018a) yapmış oldukları çalışmada sulama alanı 125 ha olan Bursa Uludağ Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekesinin (Bursa, Türkiye) hidrolik davranışının belirlenmesinde EPANET yazılımını kullanmışlar ve şebeke hidrantlarının tamamının istenilen basıncı karşıladığı sonucuna varmışlardır. Kurtulmuş ve ark. (2018b) yapmış oldukları başka bir çalışmada yine Bursa Uludağ Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekesinin (Bursa, Türkiye) hidrolik davranışının belirlenmesinde bu kez COPAM yazılımını kullanmışlar ve şebeke hidrantlarının tamamının istenilen basıncı karşıladığını saptamışlardır. Kısacası yapılan çalışmalarda COPAM ve EPANET'in bu aynı küçük çaplı sulama projesinde benzer sonucu verdiği ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar, tez çalışmamızda bu iki programın farklı sonuçlar verdiği görülmüşse de benzer çalışmaların karşılaştırmak amacıyla daha fazla projede denenmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında Güllüce-Döllük basınçlı su dağıtım şebekesinde tespit edilen yetersizlikler için kısıtlı istek yöntemi senaryosu önerilmiştir. Diaz ve ark. (2009) da pompa istasyonu olan bir sulama şebekesinde pompa istasyonunun enerji yükünü azaltmak amacıyla benzer bir kısıtlı istek çözümü önermişlerdir. Araştırmacılar tarafından önerilen çözümde farklı sulanan sektörlere 12 saatlik periyotlarda aralıklı olarak su verilmesi önerilmiştir. Bir başka kısıtlı istek çözümü, Khadra ve ark. (2016) tarafından bu tez çalışmasında önerilen çözüme benzer bir şekilde İtalya'nın Foggia bölgesindeki Sinistra Ofanto sulama şebekesi için önermişlerdir. Araştırmacılar çalışmada, pompa içeren sulama sisteminde enerji verimliliğini hedeflemişlerdir. Önerilen kısıtlı istek senaryosunda iki farklı sektörün herbiri için sulama süresini günde 12 saat olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak, çiftçinin suya erişim özgürlüğü %50 azaltılmış olsa da bölgedeki çiftçilerin sulama gereksinimlerinin verimli bir şekilde karşılanabildiği bildirilmiştir. Benzer bir kısıtlı istek senaryosu da Güney İspanya'da incelenen ve 11 900 ha'lık bir alana hizmet eden bir sulama şebekesindeki kritik

hidrantlara bir çözüm olarak önerilmiştir (Garcia ve ark., 2017). Bu tez çalışmasında incelenen su dağıtım şebekesi pompa ile işletilirse de hidrolik yük bakımından sistemde görülen basınç yetersizlikleri, çok fazla güç çeken bir pompa ile işletilen bir sistemin sahip olduğu probleme oldukça benzemektedir. Bu bakımdan bu çalışmada Güllüce-Döllük sulama şebekesinde tespit edilen sorunlar için öngörülen kısıtlı istek yöntemiyle literatürde bildirilen senaryolarla benzer bir çözüm önerilmektedir.

5. SONUÇ

İlk yatırım maliyetleri oldukça yüksek olan basınçlı sulama sistemlerinin tasarımı karmaşık ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu sistemlerin tasarım ve işletilmesi aşamalarında oluşabilecek hatalar; tarım arazisinde yetersiz sulamaya, verim kaybına, suyun ve enerjinin israf edilmesine ve büyük inşaat yatırım israflarına neden olabilmektedir. Basınçlı sulama sistemlerinin tasarım ve işletilmesi aşamalarında bilgisayar destekli yazılım modellerinin kullanılması, olası insan hatalarını önleyebilir ve çok sayıda tasarım ve işletme olasılığının kısa zamanda denenebilmesini sağlayabilir.

Bu tez çalışması kapsamında, basınçlı sulama şebekelerinin tasarım ve analizinde yaygın olarak kullanılan EPANET ve COPAM yazılımları kullanılarak Bursa İli Mustafakemalpaşa ilçesinde istek yöntemiyle işletilen farklı büyüklüklerdeki Güllüce-Döllük ve Devecikonağı sulama şebekelerinin hidrolik analizleri yapılmıştır. Çalışmada incelenen Güllüce-Döllük basınçlı sulama şebekesi, 595 adet hidrant ve 146 adet düğüm noktasına sahip ve yaklaşık 5017 ha'lık geniş bir tarım bölgesine hizmet eden büyük bir sistemdir. Bunun gibi oldukça büyük basınçlı sulama şebekelerinin tasarımında ve işletilme şekillerinin analiz edilmesinde bilgisayarlı hidrolik analiz modelleri ve CBS teknolojilerinin birlikte kullanılabilmesi büyük kolaylıklar sağlayabileceği değerlendirilmiştir. Bu amaçla, çalışma kapsamında açık kaynak kodlu EPANET hidrolik simülasyon yazılımı QGIS CBS yazılımıyla entegre çalışacak bir şekilde bir eklenti geliştirilmiştir. QGIS-EPANET tümleşik analizlerinde incelenen sistemlerdeki debi, basınç ve borulardaki akış hızları değerlendirilmiştir. Bu analizler sonucunda çalışmada incelenen Güllüce-Döllük sulama şebekesinin mevcut proje verileriyle projede bulunan hidrantların %87'sinde hedeflenen debi değerlerinin karşılanamadığı ve sistemin %99'unun istenilen minimum basınç olan 20 m yani yaklaşık 2 atm basıncı karşılayamadığı tespit edilmiştir. Şebekedeki gözlenen bu yetersizliklere bir çözüm sunabilmek üzere hangi talep koşullarında hidrantların büyük bir çoğunluğunun talebinin karşılanabildiği araştırılmıştır. COPAM yazılımı ile gerçekleştirilen Güllüce-Döllük sulama şebekesi analizleri ise EPANET yazılımından farklı olarak sistemde daha az yetersizlikler olduğunu önermiştir. EPANET ve COPAM analizleriyle saptanan farklı seviyelerdeki yetersizliklerin giderilmesine yönelik gerçekleştirilen kısıtlı istek

hatlarının analizleri sonucunda, incelenen Őebeke kűűűldűűkűe iki modelin oldukça benzer sonuçlar verdiđi tespit edilmiŐtir.

Basınçlı sulama Őebekelerinin bilgisayar destekli hidrolik analizleri, Őebekelerde yapılabilecek herhangi bir rehabilitasyon uygulamasında en doğru kararın çok kısa bir zamanda alınmasına yardımcı olabilir. CBS yazılımlarının sahip olduğu; belirli bir coğrafi referans sistemi ile projeksiyon, koordinat konumlama, coğrafi referans sistemine göre konumlar arası uzunlukların uygun referans elipsine göre hesaplanabilmesi, konum yüksekliklerinin bir katmandan otomatik okunabilmesi ve yersel veritabanı sorgulama gibi özellikleri nedeniyle, hidrolik yazılım modelleri ile entegre edildiğinde, sulama műhendisleri iűin çok daha iyi bir tasarım ve analiz ortamının sağlanabileceği ortaya konulmuŐtur.

KAYNAKLAR

- Aküzüm, T., & Öztürk, F. (1996). Topraksu yapıları. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 1448, 492-495.
- Akyol, A. (2012). Basınçlı sulama şebekesinde proje debisi hesaplamasına ilişkin yöntem karşılaştırması. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, İzmir.
- Al-Abed, N., Shudifat, E., & Amayreh, J. (2003). Modeling a rotation supply system in a pilot pressurized irrigation network in the Jordan Valley, Jordan. *Irrigation and drainage systems*, 17(3), 163-177.
- Anonim (2020). Bursa ili. Erişim adresi (25 Mayıs 2020): [http://tr.wikipedia.org/wiki/Bursa_\(il\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/Bursa_(il))
- Anonim (2021a). Ücretsiz ve açık kaynak coğrafi bilgi sistemi. <https://qgis.org/tr/site/> (Erişim tarihi: 10.05.2021).
- Anonim (2021b). Frequently asked epanet questions. Erişim adresi (18 Temmuz 2021): <http://epanet.de/documentation/faq.html>
- Attia, S.S., Hani, A.G., M EG, M.A., Kalil, S.E., & Arafa, Y.E. (2019). Performance analysis of pressurized irrigation systems using simulation model technique. *Plant Archives*, 19(1), 721-731.
- Barutçu, F. (2011). Basınçlı sulama sistemlerinde değişken hızlı pompalarla enerji kazanım olanaklarının araştırılması. *Doktora Tezi*, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana.
- Batchelor, C.K., & Batchelor, G.K. (2000). An introduction to fluid dynamics. Cambridge University Press, USA, 609 pp.
- Bethery, J., (1990). Réseaux Collectifs Ramifiés Sous Pression, Calcul et Fonctionnement. Études Hydraulique Agricole Cemagref. Antony, France, 139 pp.
- Brown, G.O. (2003). The history of the Darcy-Weisbach equation for pipe flow resistance. *Environmental and water resources history*, 1, 34-43.
- Calejo, M.J., Lamaddalena, N., Teixeira, J.L., & Pereira, L.S. (2008). Performance analysis of pressurized irrigation systems operating on-demand using flow-driven simulation models. *Agricultural water management*, 95(2), 154-162.
- Cao, X., Xiao, J., Wu, M., Zeng, W., & Huang, X. (2021). Agricultural water use efficiency and driving force assessment to improve regional productivity and effectiveness. *Water Resources Management*, 35, 2519–2535.
- Cisty, M. (2008). Automated calibration of the simulation model of irrigation projects by harmony search optimization. *Journal of Water and Land Development*, 3-13.
- Cisty, M., Bajtek, Z., & Becová, A. (2014). Irrigation network design and reconstruction and its analysis by simulation model. *Selected Scientific Papers- Journal of Civil Engineering*, 9(1), 5-14. <https://doi.org/10.2478/sspjce-2014-0001>
- Clément, R. (1966). Calcul des Débits Dans les Réseaux D'irrigation Fonctionnant à la Demande. *La Houille Blanche*, 5, 553-575.
- Crowe, C. T., Elger, D.F., & Robertson, J.A. (2005). Engineering Fluid Mechanics (8th ed.). John Wiley & Sons, USA, pp 379.
- Çakmak, B., & Aküzüm, T. (2006). Türkiye’de tarımda su yönetimi, sorunlar ve çözüm önerileri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Su Politikaları Kongresi (s. 349-360) içinde. Ankara.
- Çakmak, B., & Gökalp, Z. (2013). Kuraklık ve Tarımsal Su Yönetimi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 4, 1-11.

- Çevik, B., & Tekinel, O. (1995). Sulama şebekeleri ve işletme yöntemleri. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı, Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, Adana, 229 pp.
- Daccache, A., Lamaddalena, N., & Fratino, U. (2010a). On-demand pressurized water distribution system impacts on sprinkler network design and performance. *Irrigation science*, 28(4), 331-339. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0195-7>
- Daccache, A., Weatherhead, K., & Lamaddalena, N. (2010b). Climate change and the performance of pressurized irrigation water distribution networks under Mediterranean conditions: impacts and adaptations. *Outlook on Agriculture*, 39(4), 277-283. <https://doi.org/10.5367/oa.2010.0013>
- de Andrade, C.D.L., & Allen, R.G. (1999). SPRINKMOD—pressure and discharge simulation model for pressurized irrigation systems. 1. Model development and description. *Irrigation Science*, 18(3), 141-148. <https://doi.org/10.1007/s002710050055>
- De Nys, E., Le Gal, P.Y., Raes, D., & Ana, E. (2008). WaDI (water delivery for irrigation): A simulation tool to address strategic interaction of water demand and supply in irrigation schemes. *Agricultural Water Management*, 95(3), 224-232. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.10.005>
- Derardja, B., Lamaddalena, N., & Fratino, U. (2019). Perturbation indicators for on-demand pressurized irrigation systems. *Water*, 11(3), 558. <https://doi.org/10.3390/w11030558>
- Díaz, J.R., Luque, R.L., Cobo, M.C., Montesinos, P., & Poyato, E.C. (2009). Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks. *Biosystems engineering*, 104(4), 552-561. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.09.001>
- Díaz, J.R., Montesinos, P., & Poyato, E.C. (2012). Detecting critical points in on-demand irrigation pressurized networks—a new methodology. *Water resources management*, 26(6), 1693-1713.
- Estrada, C., González, C., Aliod, R., & Paño, J. (2009). Improved pressurized pipe network hydraulic solver for applications in irrigation systems. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 135(4), 421-430.
- FAO (2009). FAO High level expert forum—how to feed the world in 2050. Erişim adresi (29 Kasım 2020): http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf
- FAO (2014). The water-energy-food nexus - a new approach in support of food security and sustainable agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO (2017). The future of food and agriculture—Trends and challenges. Annual Report, 296.
- Farmani, R., Abadia, R., & Savic, D. (2007). Optimum design and management of pressurized branched irrigation networks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(6), 528-537.
- Ferrarese, G., Pagano, A., Fratino, U., & Malavasi, S. (2021). Improving Operation of Pressurized Irrigation Systems by an Off-grid Control Devices Network. *Water Resources Management*, 35, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02869-5>
- Fouial, A., García, I.F., Bragalli, C., Lamaddalena, N., & Diaz, J.A.R. (2018). Multi-objective optimization model based on localized loops for the rehabilitation of

- gravity-fed pressurized irrigation networks. *Water resources management*, 32(2), 465-480. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1821-4>
- Fouial, A., Lamaddalena, N., & Rodriguez Diaz, J.A. (2020). Generating hydrants' configurations for efficient analysis and management of Pressurized Irrigation distribution systems. *Water*, 12(1), 204. <https://doi.org/10.3390/w12010204>
- Fouial, A., & Rodríguez Díaz, J.A. (2021). DESIDS: An Integrated Decision Support System for the Planning, Analysis, Management and Rehabilitation of Pressurised Irrigation Distribution Systems. *Modelling*, 2(2), 308-326.
- García, I.F., Creaco, E., Díaz, J.R., Montesinos, P., Poyato, E.C., & Savic, D. (2016). Rehabilitating pressurized irrigation networks for an increased energy efficiency. *Agricultural Water Management*, 164, 212-222.
- García, I.F., Perea, R.G., Moreno, M.A., Montesinos, P., Poyato, E.C., & Díaz, J.R. (2017). Semi-arranged demand as an energy saving measure for pressurized irrigation networks. *Agricultural Water Management*, 193, 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.025>
- Github (2021). The Water Distribution System Hydraulic and Water Quality Analysis Toolkit. Erişim adresi (15 Mayıs 2021): <https://github.com/OpenWaterAnalytics/EPANET/graphs/contributors>
- Gomes, H.P., & Bezerra, S.D. (2005). Rehabilitation of collective networks of pressurized irrigation systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4), 457-463.
- Gönen, E. (2020). Kuraklık ve küresel iklim değişikliğine adaptasyonda yeni yaklaşımlar: yüzey ve yüzeyaltı damla yöntemleriyle uygulanan farklı kısıntılı sulama stratejilerinin amarant (*Amaranthus cruentus*) bitkisinin verim, verim bileşenleri ve su kullanım randımanları üzerine etkileri. *Doktora tezi*, KSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Güngör, Y., Erözel, Z., & Yıldırım, O. (1996). Sulama.
- Heitzinger, K., Hawes, S.E., Rocha, C.A., Alvarez, C., & Evans, C.A. (2020). Assessment of the Feasibility and Acceptability of Using Water Pasteurization Indicators to Increase Access to Safe Drinking Water in the Peruvian Amazon. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 103, 455-464. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.18-0963>
- Jones, G.M., Sanks, R.L., Bosserman, B.E., & Tchobanoglous, G. (2006). Pumping station design. Gulf Professional Publishing, Burlington, ABD, 1012 pp.
- Kale, R.V., Singh, R.P., & Mahar, P.S. (2008). Optimal design of pressurized irrigation subunit. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(2), 137-146.
- Kanakis, P.C., Papamichail, D.M., & Georgiou, P.E. (2014). Performance analysis of on-demand pressurized irrigation network designed with linear and fuzzy linear programming. *Irrigation and Drainage*, 63(4), 451-462. <https://doi.org/10.1002/ird.1853>
- Kara, M. (2005). Sulama ve sulama tesisleri, Selçuk Üniversitesi Basımevi. Konya.
- Kara, S. (2011). İçmesuyu Dağıtım Şebekelerinde Basınç Yönetimi ve Hidrolik Modellemenin Entegre Edilerek Su Kayıplarının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Kartal, S., Değirmenci, H., & Arslan, F. (2019a). The effect of irrigation channel type and length on irrigation performance indicators. *KSÜ Tarım ve Doga Dergisi*, 22(3), 444-450. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.502821>

- Kartal, S., Arslan, F., & Değirmenci, H. (2019b). Boğaçay, Çamgazi ve sarayköy sulama şebekelerinin istatistiksel yöntemlerle analizi. *Black Sea Journal of Agriculture*, 2(1), 27-34.
- Khadra, R., Lamaddalena, N., & Inoubli, N. (2013). Optimization of on demand pressurized irrigation networks and on-farm constraints. *Procedia Environmental Sciences*, 19, 942-954.
- Khadra, R., Moreno, M.A., Awada, H., & Lamaddalena, N. (2016). Energy and hydraulic performance-based management of large-scale pressurized irrigation systems. *Water resources management*, 30(10), 3493-3506. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1365-z>
- Kurtulmuş, E., Kuşçu, H. & Demir, A. O. (2018a). Basınçlı Sulama Sistemlerinin Epanet Yazılımı Kullanılarak Performans Analizi ve Rehabilitasyonu. *Su Kaynakları*, 3 (2) , 14-21 .
- Kurtulmuş, E., Büyükcangaz, H., Kuşçu, H., & Demir, A. O. (2018b). The Hydraulic and Economic Performance Analysis of On-Demand Pressurized Irrigation Systems: A Case Study in Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, 24(1), 42-49.
- Labye, Y., Olson, M.A., Galand, A., & Tsiourtis, N. (1988). Design and optimization of irrigation distribution networks FAO Irrigation and Drainage Paper n. 44. Rome, 6 pp.
- Lamaddalena, N. (1997). Integrated simulation modeling for design and performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems. *Doktora Tezi*, Technical University of Lisbon, Portekiz.
- Lamaddalena, N., & Sagardoy, J.A. (2000). Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems, Roma, 132 pp.
- Lamaddalena, N., & Pereira, L.S. (2007). Pressure-driven modeling for performance analysis of irrigation systems operating on demand. *Agricultural water management*, 90(1-2), 36-44.
- Lamaddalena, N., Khadra, R., & Fouial, A. (2015). Use of localized loops for the rehabilitation of on-demand pressurized irrigation distribution systems. *Irrigation science*, 33(6), 453-468.
- Lamaddalena, N., Khadra, R., Derardja, B., & Fratino, U. (2018). A new indicator for unsteady flow analysis in pressurized irrigation systems. *Water Resources Management*, 32(9), 3219-3232.
- Lamaddalena, N., & Fouial, A. (2019). Sensitivity Indicator for Pressurized Irrigation Distribution Systems. *Water Resources Management*, 33(6), 1985-1998. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02224-9>
- Lorite, I. J., Mateos, L., & Fereres, E. (2004). Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. *Irrigation Science*, 23(2), 77-84.
- Marim, G., Darama, Y., & Bozkuş, Z. (2018). Borulu Sulama Şebekeleri Optimizasyonu. *Teknik Dergi*, 29(5), 8631 – 8650.
- Masoumi, M., Kashkooli, B.S., Monem, M.J., & Montaseri, H. (2016). Multi-objective optimal design of on-demand pressurized irrigation networks. *Water Resources Management*, 30(14), 5051-5063.
- Mateus, P., Correia, L., & Pereira, L.S. (2007). HIDROGEST, A GIS framework for integration of decision support tools for improved water use and participatory management in pressurized on-demand irrigation systems. *Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*, 1(56).

- McKenzie, R. (2001). Development of a pragmatic approach to evaluate the potential savings from pressure management in potable water distributions in South Africa: PRESMAC. *Report TT152/01 published by the South African Water Research Commission* ISBN No. 1 86845 722 2.
- Montserrat, J.I.N., Poch, R., Colomer, M.A., & Mora, F. (2004). Analysis of Clément's first formula for irrigation distribution networks. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 130(2), 99-105. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2004\)130:2\(99\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2004)130:2(99))
- Moreno, M.A., Córcoles, J.I., Tarjuelo, J.M., & Ortega, J.F. (2010). Energy efficiency of pressurised irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule. *Biosystems engineering*, 107(4), 349-363.
- Murphy, L.J., Dandy, G.C., Simpson, A.R., & Gransbury, J.C. (1998). Optimisation of irrigation infrastructure rehabilitation using genetic algorithms. Irrigation Association of Australia National conference (s. 1-13) içinde. Brisbane, Australia.
- Nicolini, M. (2004). Evaluating performance of multi-objective genetic algorithms for water distribution system optimization. *Hydroinformatics*, 2, 850-857.
- Olsson, R.J., Kapelan, Z., & Savic, D.A. (2009). Probabilistic building block identification for the optimal design and rehabilitation of water distribution systems. *Journal of Hydroinformatics*, 11(2), 89-105.
- Pacchin, E., Alvisi, S., & Franchini, M. (2017). Analysis of non-iterative methods and proposal of a new one for pressure-driven snapshot simulations with EPANET. *Water Resources Management*, 31(1), 75-91.
- Planells, P., Tarjuelo, J.M., Ortega, F., & Casanova, I. (2001). Design of water distribution networks for on-demand irrigation. *Irrigation Science*, 20, 189-201.
- Pérez, P.C., Alandi, P.P., Alvarez, F.O., & Martín Benitez, M.T. (2002). Management and over-exploitation risk of water resources in semi-arid zones. Annual International ASAE Meeting Presentation (s. 022192) içinde. USA.
- Plusquellec, H. (2009). Modernization of large-scale irrigation systems: is it an achievable objective or a lost cause. *Irrigation and Drainage*, 58(1), 104-120.
- Pulido-Calvo, I., & Gutierrez-Estrada, J.C. (2009). Improved irrigation water demand forecasting using a soft-computing hybrid model. *Biosystems engineering*, 102(2), 202-218. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.032>
- Reca, J., & Martínez, J. (2006). Genetic algorithms for the design of looped irrigation water distribution networks. *Water resources research*, 42(5), 1-9.
- Renault, D. (1999). Offtake sensitivity, operation effectiveness, and performance of irrigation system. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 125(3), 137-147.
- Rodríguez-Díaz, J. A., Camacho Poyato, E., & López Luque, R. (2007). Model to forecast maximum flows in on-demand irrigation distribution networks. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 133(3), 222-231.
- Rossman L, Woo, H., Tryby, M., Shang, F., Janke, R., & Haxton, T. (2020). EPANET 2.2 User Manual (Washington, DC: US Environmental Protection Agency, EPA/600/R-20/133).
- Stamouli, P., Dercas, N., & Baltas, E. (2017). Performance analysis of on-demand pressurized irrigation networks—Case study in Greece. *Water Utility Journal*, 16, 39-55.
- Stefopoulou, A., & Dercas, N. (2017). NIREUS: A new software for the analysis of on-demand pressurized collective irrigation networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.024>

- Tanyimboh, T.T., & Templeman, A.B. (2010). Seamless pressure-deficient water distribution system model. *Proceedings of the institution of civil engineers-water management*, 163(8), 389-396.
- Tipi, T., Vural, H., Turhan, Ş., & Erdal, B. (2017). Türkiye'de Sulama Yatırımlarının Tarım Alanlarının Kullanım Şekillerine Etkisinin Belirlenmesi. *Turkish Journal of Agricultural Economics*, 23(2), 157-163.
- Todini, E., & Pilati, S. (1988). A gradient algorithm for the analysis of pipe networks. *Computer applications in water supply systems analysis and simulation*, 1, 1-20.
- Waller, P., & Yitayew, M. (2015). *Irrigation and drainage engineering*. Springer, Londra.
- 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.
- Wang, K.H., & Dal, M. (2017). Optimization and Modelling of Pressurized Irrigation Networks. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 1(2), 62-80.
- WWAP (2012). *World Water Assessment Programme: The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*.
- Xinchun, C., Mengyang, W., Xiangping, G., Yalian, Z., Yan, G., Nan, W., & Weiguang, W. (2017). Assessing water scarcity in agricultural production system based on the generalized water resources and water footprint framework. *Science of the Total Environment*, 609, 587-597.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.191>
- Yıldırım, O. (2008). *Sulama sistemlerinin tasarımı*. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Zaccaria, D., & Neale, C.M. (2014). Modeling delivery performance in pressurized irrigation systems from simulated peak-demand flow configurations. *Irrigation science*, 32(4), 295-317.
- Zaccaria, D., & Lamaddalena, N. (2005). Reliability criteria for re-engineering of large-scale pressurized irrigation systems. *Proceedings of the USCID 3rd international conference on irrigation and drainage* (s. 547-556) içinde. San Diego, CA.

EKLER

- EK 1** Boru düğüm noktalarını otomatik olarak numaralandıran fonksiyon
- EK 2** INP dosya içeriğini üreten fonksiyon
- EK 3** Sulama şebekesi verisini çözümleyerek analiz sonuçlarını birer CBS katmanı olarak üreten Python fonksiyonları

EK 1 Boru düğüm noktalarını otomatik olarak numaralandıran fonksiyon

```
def generateNodes(layer_junc, layer_pipes):
    for jun in layer_junc.getFeatures():
        geomJun = jun.geometry()
        jun_point = geomJun.asPoint()
        JUN_ID = jun["id"];
        for pipe in layer_pipes.getFeatures():
            PIPE_ID = pipe["id"];
            geom = pipe.geometry()
            pts = geom.asMultiPolyline()
            point1 = pts[0][0]
            point2 = pts[0][-1]

            if point1 == jun_point:
                print("eşleşti")
                if pipe["node1"] == None or pipe["node2"] == None:
                    if pipe["node1"] == None:
                        layer_pipes.startEditing()
                        pipe["node1"] = JUN_ID
                        N1=pipe.fields().indexFromName('node1')
                        layer_pipes.changeAttributeValue(pipe.id(), N1, JUN_ID)
                        layer_pipes.commitChanges()
                    elif pipe["node2"] == None:
                        layer_pipes.startEditing()
                        pipe["node2"] = JUN_ID
                        N2=pipe.fields().indexFromName('node2')
                        layer_pipes.changeAttributeValue(pipe.id(), N2, JUN_ID)
                        layer_pipes.commitChanges()
            if point2 == jun_point:
                print("eşleşti")
                if pipe["node1"] == None or pipe["node2"] == None:
```



```

    if pipe["node1"] == None:
        layer_pipes.startEditing()
        pipe["node1"] = JUN_ID
        N1=pipe.fields().indexOfName('node1')
        layer_pipes.changeAttributeValue(pipe.id(), N1, JUN_ID)
        layer_pipes.commitChanges()
    elif pipe["node2"] == None:
        layer_pipes.startEditing()
        pipe["node2"] = JUN_ID
        N2=pipe.fields().indexOfName('node2')
        layer_pipes.changeAttributeValue(pipe.id(), N2, JUN_ID)
        layer_pipes.commitChanges()
sortStartEnd(layer_pipes)

def sortStartEnd(layer_pipes):
    for pipe in layer_pipes.getFeatures():
        if pipe["node1"] > pipe["node2"]:
            layer_pipes.startEditing()
            n_1 = pipe["node1"]
            n_2 = pipe["node2"]
            pipe["node1"] = n_2
            pipe["node2"] = n_1
            N1=pipe.fields().indexOfName('node1')
            N2=pipe.fields().indexOfName('node2')
            layer_pipes.changeAttributeValue(pipe.id(), N1, n_2)
            layer_pipes.changeAttributeValue(pipe.id(), N2, n_1)
            layer_pipes.commitChanges()

```

EK 2 INP dosya içeriğini üreten fonksiyon

```
def getLength(layer_pipes, geom):
    from qgis.core import QgsDistanceArea
    d = QgsDistanceArea()
    d.setSourceCrs(layer_pipes.crs(), QgsProject.instance().transformContext())
    d.setEllipsoid(QgsProject.instance().ellipsoid())
    return d.measureLength(geom)

def generateInp(layer_junc, layer_pipes, resCoord, textEdit_log, head, demMult,
roughness, hloss):
    textEdit_log.clear()

    hidfilepath = ""
    import platform
    if platform.system() == "Darwin" or platform.system() == "Linux":
        hidfilepath = "HYDRAULICS SAVE /tmp/epahid\n"

    str_header = """"[TITLE]\nEPANET Example Network 1\nA simple example of
modeling chlorine decay. Both bulk and\nwall reactions are
included.\n\n[OPTIONS]\nUNITS LPS\nHeadloss %s\n%s"" % (hloss,
hidfilepath)
    str_reserve = """"\n[RESERVOIRS]\n;ID Head Pattern \n0
%d ;\n"" % head
    str_junctions = """"[JUNCTIONS]\n;ID Elev Demand Pattern\n""
    str_pipes = """"[PIPES]\n;ID Node1 Node2 Length Diameter Roughness
MinorLoss Status\n""
    str_coords = """"[COORDINATES]\n;Node X-Coord Y-Coord\n""
    for pipe in layer_pipes.getFeatures():
        geom = pipe.geometry()
        str_pipes += "%s %s %s %f %s %s %d %s\n" % (pipe["id"],
pipe["node1"], pipe["node2"], getLength(layer_pipes, geom), pipe["diameter"],
roughness, 0, "Open")
```

```

str_coords += "0 %f %f\n" % (resCoord[0], resCoord[1])
for junc in layer_junc.getFeatures():
    geomJun = junc.geometry()
    jun_point = geomJun.asPoint()
    str_junctions += "%d      %f      %f\n" % (junc["id"], junc["elev"],
float(junc["discharge"]) * demMult)
    str_coords += "%d %f %f\n" % (junc["id"], jun_point.x(), jun_point.y())
textEdit_log.append(str_header)
textEdit_log.append("\n")
textEdit_log.append(str_reserve)
textEdit_log.append("\n")
textEdit_log.append(str_junctions)
textEdit_log.append("\n")
textEdit_log.append(str_pipes)
textEdit_log.append("\n")
textEdit_log.append(str_coords)
textEdit_log.append("\n[END]")

```

EK 3 Sulama şebekesi verisini çözümleyerek analiz sonuçlarını birer CBS katmanı olarak üreten Python fonksiyonları

```
def runSim(self):
    selectedLayerIndex = self.comboJun.currentIndex()
    layer_junc = self.layers[selectedLayerIndex].layer()

    inptext = self.textEdit_log.toPlainText()
    inptext = inptext.replace("NULL", "0")

    infilepath = ""
    import platform
    if platform.system() == "Darwin" or platform.system() == "Linux":
        infilepath = '/tmp/epatmp.inp'
    infilepath = os.path.join(os.path.dirname(__file__), 'epatmp.inp')

    with open(infilepath, "w") as myfile:
        myfile.write(inptext)

    em.ENopen(infilepath)
    em.ENopenH()
    em.ENsolveH()

    # get node results
    resDjun = []
    for jun in layer_junc.getFeatures():
        nodeindex = em.ENgetNodeindex(str(jun['id']))
        pressure = em.ENgetNodevalue(nodeindex, em.EN_PRESSURE)
        #self.textEdit_log.append("%f\n" % pressure)

    geomJun = jun.geometry()
```

```

jun_point = geomJun.asPoint()

resDjun.append({"id": jun['id'],
               "point": (jun_point.x(), jun_point.y()),
               "pressure": pressure
            })

# get pipe results
selectedLayerIndex = self.comboPipe.currentIndex()
layer_pipes = self.layers[selectedLayerIndex].layer()

resDpipe = []
for pipe in layer_pipes.getFeatures():
    pipeindex = em.ENgetlinkindex(str(pipe['id']))
    flow = em.ENgetlinkvalue(pipeindex, em.EN_FLOW)
    velocity = em.ENgetlinkvalue(pipeindex, em.EN_VELOCITY)
    #self.textEdit_log.append("%f\n" % flow)

    geom = pipe.geometry()
    pts = geom.asMultiPolyline()

    resDpipe.append({
        "id": pipe["id"],
        "pts": pts,
        "flow": flow,
        "velocity": velocity
    })
createPointsLayer(resDjun)
createPipesLayer(resDpipe)
def createPointsLayer(resDjun):
    from qgis.core import QgsPointXY, QgsGeometry, QgsFeature, QgsVectorLayer,
    QgsField

```

```

from qgis.PyQt.QtCore import QVariant

layer = QgsVectorLayer("Point?crs=epsg:3857", "results_nodes", "memory")
pr = layer.dataProvider()

pr.addAttributes([QgsField("id", QVariant.Int),
                  QgsField("pressure", QVariant.Double)])
layer.updateFields()

pointFeatures = []
for node in resDjun:
    qpoint = node["point"]
    geomPoint = QgsGeometry.fromPointXY(QgsPointXY(qpoint[0], qpoint[1]))
    pf = QgsFeature()
    pf.setGeometry(geomPoint)
    pf.setAttributes([node["id"], node["pressure"]])
    pointFeatures.append(pf)

pr.addFeatures(pointFeatures)
layer.updateFields()
layer.updateExtents()
QgsProject.instance().addMapLayers([layer])

def createPipesLayer(resDpipe):
    from qgis.core import QgsGeometry, QgsFeature, QgsVectorLayer, QgsField
    from qgis.PyQt.QtCore import QVariant

    layer = QgsVectorLayer("MultiLineString?crs=epsg:3857", "results_pipes",
"memory")
    pr = layer.dataProvider()

```

```
pr.addAttribute([QgsField("id", QVariant.Int),
                 QgsField("flow", QVariant.Double),
                 QgsField("velocity", QVariant.Double)])
layer.updateFields()

pipeFeatures = []
for pipe in resDpipe:
    pf = QgsFeature()
    geomMpl = QgsGeometry.fromMultiPolylineXY(pipe["pts"])
    pf.setGeometry(geomMpl)
    pf.setAttributes([pipe["id"], pipe["flow"], pipe["velocity"]])
    pipeFeatures.append(pf)

pr.addFeatures(pipeFeatures)
layer.updateFields()
layer.updateExtents()
QgsProject.instance().addMapLayers([layer])
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ezgi KURTULMUŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir, 09.09.1987
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lisans : Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 2010
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Biyosistem Mühendisliği, 2014

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Bursa Uludağ Üniversitesi,
Biyosistem Mühendisliği, 2011-2021

İletişim (e-posta) : ezgikaberli@uludag.edu.tr

Yayınlar :

- Demir, A.O., Kuşçu, H., & Kurtulmuş, E. (2019). A Practice-oriented Review of Bioreactors for Subsurface Agricultural Drainage. 1st International Congress on Biosystems Engineering (s. 224-237) içinde. Hatay.
- Kurtulmuş, E., Büyükcangaz, H., Kuşçu, H., & Demir, A.O. (2018). The Hydraulic and Economic Performance Analysis of On-Demand Pressurized Irrigation Systems: A Case Study in Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, 24(1), 42-49. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.446377>
- Kurtulmuş, E., Kuşçu, H., Arslan, B., Karakuş, İ., Kumraltekin, E., Uçan, İ.E., & Aşık, M.C. (2018). Farklı Bor Konsantrasyonlarının Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Çimlenmesi Üzerine Etkileri. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, Özel Sayı, 319-327.
- Kurtulmuş, E., Kuşçu, H., & Demir, A.O. (2018). Basınçlı Sulama Sistemlerinin Epanet Yazılımı Kullanılarak Performans Analizi ve Rehabilitasyonu. *Su Kaynakları*, 3(2), 14-21.
- Kuşçu, H., Turhan, A., Büyükcangaz, H., Keskin, B., Kurtulmuş, E., & Demir, A.O. (2017). Tam ve Kısıntılı Sulama Koşullarında Karpuzun Su Kullanım Etkinliği Karşısında Ekonomik Getirisi. *Toprak Su Dergisi*, 6(1), 7-14.