

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ TARIMSAL UYGULAMA VE
ARAŞTIRMA MERKEZİ ARAZİSİ İSTEK YÖNTEMİ İLE
İŞLETİLEN BASINÇLI SULAMA SİSTEMİNİN COPAM
MODELİ İLE PERFORMANS ANALİZİ

Ezgi KURTULMUŞ



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ TARIMSAL UYGULAMA VE ARAŞTIRMA
MERKEZİ ARAZİSİ İSTEK YÖNTEMİ İLE İŞLETİLEN BASINÇLI
SULAMA SİSTEMİNİN COPAM MODELİ İLE PERFORMANS ANALİZİ

Ezgi KURTULMUŞ

Prof.Dr. Ali Osman DEMİR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2014
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Ezgi KURTULMUŞ tarafından hazırlanan “Uludağ Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Arazisi İstek Yöntemi ile İşletilen Basınçlı Sulama Sisteminin COPAM Modeli ile Performans Analizi” adlı tez çalışması Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Başkan: Prof. Dr. Ali Osman DEMİR Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye: Doç. Dr. Hakan BÜYÜKCANGAZ Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye: Yrd. Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü

...../...../.....(Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

...../...../.....

Ezgi KURTULMUŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ TARIMSAL UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ ARAZİSİ İSTEK YÖNTEMİ İLE İŞLETİLEN BASINÇLI SULAMA SİSTEMİNİN COPAM MODELİ İLE PERFORMANS ANALİZİ

Ezgi KURTULMUŞ

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Ali Osman DEMİR

Son yıllarda Türkiye dahil bir çok ülkede, basınçlı sulama sistemlerine doğru bir yönelme söz konusudur. Bu tür sistemlerde etkin ve randımanlı bir sulama için sistemin performansı büyük önem taşımaktadır. Özellikle istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekelerinde hangi hidrantın ne zaman ve ne kadar kullanılacağı olasılık içerdiği ve hemen hemen bütün hidrantların aynı zamanda kullanılabilme olasılığı var olduğu için, bu tarz sistemlerin performans analizi diğer sistemlere oranla daha büyük önem taşımaktadır. Söz konusu sistemlerin analizinin zorluğundan dolayı genellikle ampirik yöntemler kullanılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, günümüzde çok sayıda bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, tarımsal üretimde önemli bir gider payına sahip olan basınçlı sulama şebekelerinin optimum tasarlanma olanaklarını ortaya koymak ve sistem performansını belirlemek amacıyla, Lamaddalena (1997) tarafından geliştirilen ve Lamaddalena ve Sagardoy (2000) tarafından yayınlanan COPAM (Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli) yazılımı kullanılmıştır. Söz konusu yazılım Uludağ Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekesine uygulanmıştır. Ele alınan sulama sistemine ilişkin sistem güvenilirliği, hidrant basınç yükleri, kaynak yüksekliği, debi ve boru çapları, geniş analiz araçlarına sahip olan COPAM yazılımı ile analiz edilmiştir. Analizler sonucu, incelenen sistemde hidrant düzeyinde performans eksikliğine rastlanmamıştır. Ayrıca, alternatif bir senaryo olarak mevcut sulama şebekesinin boru çapları COPAM programı ile hesaplanarak elde edilen yeni boru çaplarına göre sistem performansı yeniden analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda boru çaplarının küçülmesine rağmen, sistemin performansında büyük bir farklılık görülmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı sulama sistemleri, istek yöntemi, sulama sistem performansı, COPAM

2014, x + 72 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

PERFORMANCE ANALYSIS OF ON-DEMAND PRESSURIZED IRRIGATION SYSTEM USING COPAM MODEL AT ULUDAG UNIVERSITY APPLICATION AND RESEARCH CENTRE AREA

Ezgi KURTULMUŞ

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

Supervisor: Prof.Dr. Ali Osman DEMİR

In recent years, many countries including Turkey have tended to use of pressurized irrigation systems. For an efficient and an effective irrigation, performance is very important in these systems. In especially on-demand pressurized irrigation systems, due to the fact that there are always probabilities of which hydrants to be used, when to be used, and which amount to be used, the performance analysis of these systems are more important than of other systems. Due to the complexity of analysis of these systems, empirical methods have been used generally. For this purpose, many computer software have been developed recently.

In this study, to exhibit optimal design opportunities of the pressurized irrigation networks having an important portion of cost in agricultural production and to determine performance of the system, the COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model) software, developed by Lamaddalena (1997) and also reported by Lamaddalena ve Sagardoy (2000), was used. This software was applied to the on-demand pressurized irrigation network of Uludag University Agricultural Application and Research Center. Reliability, pressure head of hydrants, various hydrant configurations, piezometric elevation, discharge, and pipe sizes of the system were analyzed using COPAM software which has a wide range of analysis tools. As a result of the analysis, it was found that there was no any deficiency in the system at hydrant level. Moreover; as an alternative scenario, the pipe diameters of existing irrigation system were computed using COPAM, and performance of the system re-analyzed using these computed diameters. Although lower pipe sized were obtained from the calculation, the performance analysis showed that there was no any significant difference on the performance of the system.

Key Words: Pressurized irrigation systems, on-demand method, performance of irrigation systems

2014, x + 72 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında, bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan danışman hocam Prof. Dr. Ali Osman DEMİR'e, her zaman değerli fikirleriyle bana katkıda bulunan hocalarım Prof. Dr. İsmet ARICI'ya ve Doç. Dr. Hakan BÜYÜKCANGAZ'a, çalıŐmalarımda bana yardımcı olan değerli iş arkadaşlarıma, tez çalıŐmamı hazırlarken sürekli bana destek olan çok kıymetli eŐim Dr. Ferhat KURTULMUŞ'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Hayatımın her anında gösterdikleri sonsuz sevgi, destek ve anlayıŐ için canım babam İsmail KABERLİ'ye, canım annem Saniye KABERLİ'ye ve bir tanecik kardeŐim Aykut KABERLİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Ezgi KURTULMUŞ

...../...../.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
2.1. Basınçlı Sulama Sistemlerinin Tasarımı	7
2.2. Basınçlı Sulama Sistemlerinin Performans Analizi	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Materyal.....	16
3.1.1. Çalışma alanının tanıtılması	16
3.1.1.1. Konum	18
3.1.1.2. Sulanan alan	20
3.1.1.3. İklim özellikleri.....	20
3.1.1.4. Toprak özellikleri	21
3.1.1.5. Topoğrafya.....	22
3.1.2. Uludağ Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemi	22
3.1.3. Kullanılan bilgisayar yazılımı.....	24
3.2. Yöntem	28
3.2.1. İstek yöntemine göre sulama sistemlerinin debi hesabı	28
3.2.2. Boru çapı seçimi.....	35
3.2.3. Basınçlı sulama sisteminin analizi	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	45
4.1. Sulama Sisteminin Analizi	45

4.1.1. Kaynak yüksekliği (m) – debi (1 s^{-1}) analizi	45
4.1.2. Hidrant analizi (yetersiz hidrantların % oranı (PUH) - debi (1 s^{-1})).....	47
4.1.3. Güvenilirlik testi (güvenilirlik – hidrant numaraları eğrisi)	51
4.1.4. Farklı kaynak yüksekliklerinde hidrant analizi (yetersiz hidrantların % oranı (PUH) - debi (1 s^{-1})).....	52
4.2. Alternatif Senaryo	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
5.1. Sonuçlar	59
5.2. Öneriler	60
KAYNAKLAR	61
EKLER	66
EK 1	66
EK 2	67
EK 3	69
ÖZGEÇMİŞ	71

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	: Sulanmış arazi
C	: Konfigürasyon sayısı
C_R^K	: Belirli bir system debisi için olası konfigürasyon sayısı
d	: Hidrant nominal debisi
D	: Boru çapı
$H_{j,min}$: Hidrant j için gerekli minimum basınç yükü
H_j	: Hidrant j için basınç yükü
$(H_j)_r$: R konfigürasyonu içindeki hidrant j'deki basınç yükü
H_{min}	: Gerekli minimum basınç yükü
H_m	: Toplam manometrik yükseklik
I	: Hidrant sınıf numarası
K	: Eşzamanlı açık hidrant sayısı
L	: Boru uzunluğu
N	: Eşzamanlı olarak çalışan hidrant sayısı
p	: Her bir hidrantın çalışma olasılığı
q_s	: 24 saatlik zaman diliminde sürekli, belirli bir debi
Q	: Debi
Q_r	: R sayıda hidrantın debisi
R	: Toplam hidrant sayısı
r	: Sistemin çalışma katsayısı
T	: En yoğun olan periyot
T'	: Şebekenin çalışma miktarı
Y	: Sürtünme yük kaybı
Z_r	: R konfigürasyonu için piyezometrik yükseklik
γ	: Bazin pürüzlülük katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
COPAM	: Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli
PUH	: Yetersiz Hidrantların Yüzdesi
USSL	: Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk Laboratuvarı
DSİ	: Devlet Su İşleri
EPA	: Çevre Koruma Ajansı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Bursa ilinin Türkiye'deki konumu	16
Şekil 3.2. Yolçatı (Göbelye) Göleti'nin görünümü.....	17
Şekil 3.3. U.Ü. Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemine ait pompa istasyonu	18
Şekil 3.4. Yolçatı (Göbelye) Göleti'nin üstten görünümü	19
Şekil 3.5. Yolçatı (Göbelye) Göleti'nin suladığı tarım arazilerinin görünümü	19
Şekil 3.6. Sulama alanındaki hidrantlara bir örnek (dıştan görünüm).....	23
Şekil 3.7. Sulama alanındaki hidrantlara bir örnek (içten görünüm).....	23
Şekil 3.8. COPAM programının açılış sayfası	24
Şekil 3.9. COPAM programının akış diyagramı	25
Şekil 3.10. COPAM programının grafik menü çubuğu ve alt komutları.....	26
Şekil 3.11. COPAM programına dosya ekleme	26
Şekil 3.12. COPAM programının analiz sayfası	27
Şekil 3.13. Programa proje verilerinin girilmesi	28
Şekil 3.14. COPAM Programının Clément parametleri ile debi hesaplama menüsü. ...	29
Şekil 3.15. COPAM programının rastgele üretme parametresi.	34
Şekil 3.16. COPAM Programının optimizasyon menüsü	37
Şekil 3.17. Bir hidrantın karakteristik eğrisi	39
Şekil 3.18. Bir sulama sisteminin hidrolik performansının temsili noktalarının şematik görünümü	40
Şekil 3.19. Karakteristik eğriler modülü.....	42
Şekil 3.20. Analiz parametreleri.....	43
Şekil 4.1. COPAM sınıflandırılmış karakteristik eğriler modeli ve parametreleri	45
Şekil 4.2. Çalışma kapsamındaki karakteristik eğriler (1000 rastgele hidrant konfigürasyonu için hesaplanan)	47
Şekil 4.3. COPAM Programının hidrant analizi için analiz parametreleri	48
Şekil 4.4. Yetersiz hidrantları yüzde olarak gösteren eğri	48
Şekil 4.5. Örnek bir projeden alınan yetersiz hidrantların yüzdesini (%) gösteren eğri. 49	49
Şekil 4.6. Her bir hidranttaki bağıl basınç eksiklikleri	50
Şekil 4.7. Hidrant numaralarına karşılık gelen bağıl basınç	51

Şekil 4.8. Güvenilirlik testi (217 l s ⁻¹ debide ve 1000 rastgele konfigürasyonda)	52
Şekil 4.9. COPAM sınıflandırılmış karakteristik eğriler modeli ve parametreleri	53
Şekil 4.10. Yetersiz hidrantların yüzde temsili (PUH, %) (kaynağın deniz seviyesinden yüksekliğinin 60 m'den 140 m'ye kadar olduğu durumlar için)	54
Şekil 4.11. Çalışma kapsamında karakteristik eğriler	55
Şekil 4.12. Her bir hidranttaki bağıl basınç eksiklikleri (alternatif senaryo için)	56
Şekil 4.13. Hidrant numaralarına karşılık gelen bağıl basınç (alternatif senaryo için) ..	56
Şekil 4.14. Güvenilirlik testi (alternatif senaryo için)	57
Şekil 4.15. Yetersiz hidrantların yüzdesini temsil eden eğriler (farklı yükseklik değerleri ve 1000 rastgele hidrant konfigürasyonu için)	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Yolçatı (Göbelye) Göleti'nin bazı proje karakteristikleri	17
Çizelge 3.2. Bursa ilinin bazı meteorolojik verileri (2000-2001 yılı ve uzun yıllar ortalamaları 1929-1991).....	21

1. GİRİŞ

Su, insanoğlunun yaşamında vazgeçilmez bir unsurdur. Artan nüfusa bağlı olarak; su gereksiniminin artması, su kaynaklarının plansız kullanımı, biyolojik ve kimyasal kirlenmeler nedeniyle temiz su kaynakları giderek azalmaktadır. Sanayi, tarım ve ulaşım faaliyetlerinin de artışı küresel ısınma olgusunu gündeme getirmiş, buna bağlı olarak yağış rejiminde yaşanan değişiklikler suyun önümüzdeki süreçte kullanımı konusunda, kısa, orta ve uzun dönemde su stratejilerine gereksinim duyulduğunu ortaya koymaktadır. Çok boyutlu konunun tarımsal ağırlık noktası; tarımda ekonomik su kullanım stratejilerinin oluşturulmasından geçmektedir. Bu nedenle, mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanılması zorunlu hale gelmektedir (Anonim 2007).

Dünyadaki mevcut suyun varlığı; 1,4 milyar km³ tür. Dünyanın yıllık yağış ortalaması 1000 mm olup, Türkiye'nin yıllık yağış ortalaması ise 643 mm. dir. Gelişmiş ülkelerde su kaynaklarının % 39'u, gelişmekte olan ülkelerde %52'si Türkiye'de ise %72'si tarımsal amaçlarla kullanılmaktadır (Anonim 2014a).

Türkiye'de toplam tarım alanı; 28.05 x 10⁶ ha'dır. Bunun 25.75 x 10⁶ ha'ı (% 91.8) sulanabilir niteliktedir. Mevcut durumda, 3.21 x 10⁶ ha'ı DSİ tarafından olmak üzere toplam 5.5 x 10⁶ ha tarım alanı sulamaya açılmıştır. Sulamaya açılan alanın, 2010 yılı sonu itibariyle, 4.83 x 10⁶ ha'ı sulanmaktadır. Bunun 2.73 x 10⁶ ha tarım alanı DSİ'nin sulama sistemi kurduğu alan içerisinde yer almaktadır (Anonim 2012a).

Dünyada sulamanın toplam su kullanımı içerisindeki payı 2/3 olup, gelişmekte olan ülkelerde bu oran % 90'a kadar çıkmaktadır. Dünya ve ülkemiz nüfusunun olası su gereksinimine bakıldığında, ciddi sıkıntılar olacağı görülmektedir. Bu koşullar altında kent nüfusu daha fazla su ve ürün isteğinde bulunacağı, bu isteğe cevap verebilmek için daha az su ile daha fazla alanın sulanması ve daha fazla ürünün elde edilmesi gerektiği belirtilmektedir (Değirmenci 2008).

Sulama, çağdaş tarım tekniklerinin en önemlilerinden biri olup, bitkilerin gereksinim duydukları, ancak doğal yollarla yetersiz suyun, bitkinin kök bölgesine yapay yollarla

ve kontrollü olarak verilmesidir (Çevik ve Tekinel 1995). Sulu tarımın yaygınlaşmaya başlaması ile kuru tarım alanları daralmakta ve bitki örtüsü çeşitlilik arz etmektedir. Sulu tarım modern bir tarım yöntemidir. Sulama ile birlikte gübreleme olanakları artmakta, iklim koşullarına olan bağımlılık azalmaktadır. Bu nedenle, her yıl üretim miktarı birbirine yaklaşmaktadır. Yıllar arasındaki üretimde görülen dalgalanma kuru tarım yöntemine göre daha azdır. Sulama, tarımda verim artışının yanında, ürün deseninin değiştirilmesi ve ikinci, hatta üçüncü ürünün üretilmesine olanak sağlayabilmektedir.

Son yıllarda sulu tarımda karşılaşılan en önemli problemlerden birisi, aşırı su ve enerji kullanımudur. 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).

Sulama yönetimi, sulama şebekesinin özelliğini ve suyun çiftçiye ulaştırma sistemlerini içine alan bir kavramdır. Bu kavram; son yıllarda sulama suyu ile sulama sistemlerinin işletme, bakım, onarım, iyileştirme ve yönetimiyle bunları üstlenen organizasyonları da kapsamaktadır.

Kuraklık sebebiyle tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de kıt olan su kaynaklarının daha etkin kullanılması bir zorunluluktur. Ayrıca su yönetimine kullanıcıların aktif olarak katılımlarının sağlandığı sulama birliklerinin faaliyetlerinin ortaya konularak performanslarının ve etkinliklerinin ölçülmesi, yönetim konusunda eksiklik ve yanlışlıkların belirlenmesi ve giderilmesi sistemin işleyişi bakımından önem arz etmektedir (Özdemir 2009).

Ülkemizde 2012 yılı verilerine göre, mevcut sulama şebekelerinin % 39’u klasik, % 47’si kanalet ve % 14’ü ise borulu şebekedir. İnşa halindeki sulama şebekelerinin % 21’i klasik, % 8’i kanalet ve % 71’i borulu şebekedir (Anonim 2012b).

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.

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 üç temel su işletim yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar;

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

olarak adlandırılır (Labye ve ark. 1988).

Sürekli akış yöntemi, birim saha birim su yöntemi olarak da anılan yöntem, sulama sistemi içinde suyun sürekli akıtılması 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 nisbeten basit kontrol düzeni ile biraz daha fazla kapak ayarı yapmak gereklidir (Aküzüm ve Öztürk 1996).

İstek yöntemi sulama ortamına sürekli su vermeyi esas alan bir yöntemdir. Sistem, sulama şebekelerinde gereksinim duyulan su miktarının sağlanması temeline dayanmaktadır. Üreticinin istediği anda, borulu sistemlerde vanasında, açık sistemlerde 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).

İstek yöntemine göre sulama sisteminin tasarımında en önemli sorunlardan biri sistem debisinin hesaplanmasıdır. Bu tür debiler zaman içinde bitki desenine, iklim koşullarına, tarla içi sulama randımanına ve çiftçinin isteklerine bağlı olarak hızla değişebilir. Aslında, tasarımcının isteğe bağlı sulama sistemi tasarımında karşılaştığı en önemli belirsizliklerden birisi, akış debisinin hesaplanmasıdır.

Sistemin geliştirilmesi ve sulama sistemlerinin 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 ölçüt için tamamlayıcı modellerin, mevcut olanı 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 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).

Basınçlı sulama sistemlerinin ilk yatırım masraflarının yüksek olduğu göz önüne alınırsa, bu sistemler için küçük oranlarda tasarruflar bile önemli miktarlara ulaşmaktadır. Bu nedenle, bilgisayar programlarının yaygınlaşması ve sunulan programların uygulama kolaylığı basınçlı sulama sistemlerinin bir sistem yaklaşımı içinde ele alınmasını zorunlu kılmaktadır (Beyribey ve Balaban 1992).

Ülkemizde son yıllarda borulu sulama sistemlerine doğru bir yönelme söz konusudur. Özellikle istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemlerinin tasarımı ve performans analizi büyük önem taşımaktadır. Bu amaca yönelik, günümüzde çok sayıda bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Farklı araştırmacıların geliştirdikleri istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemlerinin performans analizlerini gerçekleştirmeye yönelik kendine özgü modelleme ilkelerine dayanan COPAM (Lamaddalena 1997), EPANET (Rossman 2000), GESTAR (Estrada ve ark. 2009), ICARE (CTGREF 1979; Bethery 1990) ve AKLA (Lamaddalena 1997; Lamaddalena and Sagardoy 2000) gibi bilgisayar modelleri bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, tarımsal üretimde önemli bir girdi payına sahip olan basınçlı sulama şebekelerinin optimum tasarlanma olanaklarını ortaya koymak ve sistem performansını belirlemek amacıyla Lamaddelana (1997) tarafından geliştirilmiş Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli (COPAM) yazılımını Uludağ Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekesine uygulamak ve böylece şebekenin sistem debisi, hidrantlardaki basınç yükleri ve boru çapları açısından performansını analiz edip yetersizlikleri ortaya koymaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Basınçlı Sulama Sistemlerinin Tasarımı

Basınçlı sulama sistemlerinin tasarımı ile ilgili bugüne kadar birçok model geliştirilmiştir ve bu modeller kullanılarak yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

Clément (1966), istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemlerinin debilerinin hesaplanmasına ilişkin iki farklı model önermiştir. İlki, “Birinci Clément Modeli” olarak adlandırılmış olup, olasılık yaklaşımına dayanmaktadır. Birinci model, istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama şebekelerinin tasarımında her bir şebeke hattındaki akışın eşzamanlı açık hidrant sayısına ve her bir hattaki debiye bağlı olarak gün içinde sabit olmadığı hipotezine dayalı olarak geliştirilmiştir. Buna göre her bir hidrant için iki olasılık mevcut olup hidrantın açık olma olasılığı p , kapalı olma olasılığı ise $(1-p)$ 'dir. İkinci Clément modeli, hidrantların açık ve kapalı olma durumuna göre sulama işletiminin simülasyonuna dayanmaktadır. Model her bir hidrant için ortalama işletme süresini tahmin etmektedir.

Lamaddalena (1997), COPAM (Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli) isimli bir bilgisayar yazılımı geliştirmiştir. Yazılım; çoklu akış rejimi yaklaşımına göre, sulama şebekesindeki optimal boru çaplarının seçimini, elde edilen sonuçlara göre sulama sisteminin performans analizini gerçekleştirmektedir. COPAM; (i) debi hesaplamaları, (ii) boru çapı hesaplamaları ve (iii) analiz adı altında üç farklı program setini aynı yazılım paketi içinde bulundurmaktadır.

Planells ve ark. (2001) istek yöntemiyle çalışan sulama şebekelerinin tasarım ve işletme parametrelerinin belirlenmesi ve analizi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında üç öge üzerinde durmuşlardır. Her hidrant debisinin hesaplanması, sulama şebekesinin kaynağa yakın işletme noktalarını kapsayan maksimum ve minimum istek eğrilerinin oluşturulması, pompa tesisinin enerji tüketimini optimum düzeyde tahmin etmede kullanılacak basit bir yöntemin geliştirilmesi. İstek eğrilerini oluşturmak üzere araştırmacılar EPANET programını kullanmışlardır. Çalışmada,

debide sürekli ayarlamaya olanak tanıyan akış sınırlayıcıları ile birlikte hidrolik vanaların kullanımıyla, yatırım giderlerini azaltmak üzere her bir arazi parçasının boyutuna göre debi tanımlamasının mümkün olduğu bildirilmiştir. Geliştirilen yöntem ile pompa işletmesinin boyutlarının, regülatör ve kontrol koşullarının belirlenebildiği bildirilmiştir. Ayrıca, elektrik tarife tiplerini göz önünde bulunduran bir yöntem geliştirilerek enerji maliyetleri de hesaplanmıştır.

D'Urso (2001), istek yöntemiyle çalışan sulama şebekelerinin tasarımı ve yönetiminde kullanılmaya yönelik olarak SIMODIS adlı bir karar destek modeli geliştirmiştir. Çalışmada, geliştirilen model ile uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi teknolojilerinden yararlanarak toprağın su akış modeli belirlenebilmekte, ürün su talebi, mevcut su kaynakları ve basınçlı su şebekesi gibi sulama sistemi bileşenlerinin birlikte analiziyle sulama suyu yönetimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekilde sulamanın farklı bileşenlerini göz önünde bulundurabilen yöntem, toprak suyunun uzamsal değişkenlikleri, farklı çiftçilerin su talebi değişkenlikleri, mevcut su kaynakları ve sulama şebekesinin yapısal yetenekleri gibi birçok farklı etmeni analiz edebilmektedir. Geliştirilen model ile birçok farklı sulama sistemi senaryosu denenmiş ve birbirlerine olan üstünlük ve zayıflıkları irdelenmiştir. Çalışmada, ürün ile ilgili model katsayılarının uzaktan algılama ile belirlenmesinin geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında daha doğru analiz sonuçları verdiği vurgulanmıştır.

Düşük basınçlı yüzey sulama sistemlerinin tasarımı ve analizine yönelik olarak Pereira ve ark. (2003) tarafından bir model geliştirilmiştir. Bu model, dağıtım sisteminin boyutuna göre talebi sağlamayı; sonuç olarak ta, verilen bir zaman periyodunda beklenen akış rejimini üretmeyi içermektedir. Geliştirilen modelde, birkaç farklı akış rejiminde kesintili bir şekilde tekrarlayan yöntem kullanılarak boru boyutlarının optimizasyonu için akış rejimlerinden yararlanılmaktadır. Araştırmacılar, sistemin yeterliliği, bağımlılığı ve tutarlılığını hesaplamaya olanak tanıyan farklı akış rejimleri ile sistemin simüle edilmesi yoluyla performans analizi yapmışlardır. Ayrıca araştırmacılar, modellerinin farklı ürün desenleri, sulama yöntemleri ve yönetim kuralları için saatlik hidrograf tahminlerini elde etmeye olanak tanıdığını

bildirmişlerdir. Geliştirilen yöntemin kullanılabilirliği, örnek bir sulama sistemi üzerinde test edilmiştir.

Calejo ve ark. (2005), isteğe bağlı basınçlı sulama sistemlerinde pik dönem süresince saatlik debi hidrograflarını hesaplamak amacıyla “IRDEMAND” olarak adlandırılan bir model geliştirmişler ve bu modeli Portekiz–Lucefecit basınçlı sulama şebekesinde test etmişlerdir. Geliştirilen model, deterministik ve stokastik bileşenleri içermektedir. Bunlar; (1) sulama zamanlarının sulanan çiftlik arazisi temelinde hesaplanması için toprak su dengesi modeli kullanılarak simülasyonu, (2) ortalama saatlik debi, ekim zamanı, sulama derinliği, su uygulama randımanı ve süresine bağlı olarak her bir hidrant için sulamaya başlama zamanının tahmini, (3) sulama şebekesi debi hidrograflarının hesaplanması ve tarla düzeyindeki debi taleplerinin sistem ile bütünleştirilerek göreceli akış rejimlerinin hesaplanmasıdır. Araştırmacılar, su talebinin tahmini için önerilen yöntemin uygun olduğu ve yöntemin basınçlı sulama sistemlerinde saatlik olarak debi hidrografları üretebildiği sonucuna varmışlardır. Modelin farklı bitki desenleri, sulama stratejileri ve yönetim teknikleri için debi hidrograflarını tahmin edebildiğini, böylece sulama sistemlerinin tasarımı ve işletmedeki sistemlerin performans analizi için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Moreno ve ark. (2005) istek yöntemi esaslı sulama şebekelerinin debi hesaplamaları için iki yeni yöntem geliştirmiş ve bu yöntemleri karşılaştırmışlardır. Geliştirilen yöntemler rastgele ürün deseni ve rastgele hidrant tahsisi koşullarını esas almaktadır. Araştırmacılar yöntemlerini bir sulama bölgesi üzerinde bulunan iki farklı sulama şebekesi kullanarak Clément modeli ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada, istek yöntemi ile işletilen sulama şebekelerinde hidrant düzeyinde, debi, basınç ve elektrik tüketimi verileri ölçülerek hesaplanmıştır. Araştırmacılar, ürünleri arazi parçalarına sırayla ve rastgele olarak tahsis ederek sistemin en yüksek başarısızlık yüzdesini dikkate almış, denenen ürün desenlerinin sulama sistemi ile uygunluklarını araştırmışlardır. Araştırmacıların yeni olarak ortaya koydukları tasarım debisi hesaplama yöntemlerinden birisi hidrant açılma olasılığını esas almakta, diğeri ise günlük rastgele istek eğrilerini kullanmaktadır. Çalışmada hidrant açılma olasılığı yöntemini kullanan Clément modelinin % 35 - % 40 düzeyinde hatalı tahmin verdiği bildirilmiştir. Araştırmacıların

kendi geliştirdikleri günlük rastgele istek eğrileri yönteminin ise llen veriye oldukça yakın tahmin sonuçları sağladığı bildirilmiştir.

Lejano (2006), istek yöntemi ile işletilen bir sulama şebekesinde önceden belirlenmiş bir coğrafi düzeni varsayarak boru hattı tasarımı optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmıştır. şebekenin tasarımının optimizasyon problemi düşük maliyetli sulama şebekeleri için büyük bir önem taşıtmaktadır. Araştırmacının yaptığı çalışmada, sulama şebekesinde ifti isteklerini ve meknsal dağılımlarını belirlemek adına bir yöntem geliştirmiştir. Amaç fonksiyonu için doğrusal programlama (MILP)'dan yararlanılmıştır. Yöntem pratik bir biçimde uygulanabilmekte, boru hattı tasarımına ve aynı anda optimum çiftçinin kullanımına olanak sağlamaktadır.

Planells ve ark. (2007), istek yöntemi ile işletilen basınçlı bir sulama sisteminin toplam maliyetini (yatırım ve enerji maliyeti) en aza indirebilmek için sulama sistem planını ve boru çaplarının optimizasyonunu da göz önüne alan bir yöntem geliştirmeyi amaçlamıştır. Araştırmacının optimizasyon süreci  aşamayı içermektedir. İlk olarak, en yüksek debi istek koşullarında sistem planına ve boru boyutlarına göre boru maliyeti belirlenmiştir. İkinci olarak, enerji ve yıllık pompaj yatırım maliyetleri değerlendirilmiştir. nc aşamada, en düşük toplam maliyet belirlenmiştir. Bu yöntemin farklı sulama suyu dağıtım sistemlerinde kullanılabileceği bildirilmiştir.

Hidalgo ve ark. (2008), istek sulama şebekesi modellerinin kalibrasyonu için yeni bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde kabul edilebilir hata ile maksimum veri (MDRE) denilen yeni bir amaç fonksiyonu kullanmıştır. Çalışmada, kalibrasyon yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan amaç fonksiyonlarından değişen varyans ve basit kareler ağı karşılaştırılmıştır. Tarazona de La Mancha'da, İspanya, bulunan istek sulama şebekesinde hidrant düzeyinde debi ve basınç belirlenmiştir. Kabul edilebilir hata ile maksimum veri (MDRE) amaç fonksiyonu eş zamanlı basınç kontrol noktaları ve bağımsız kontrol noktalarında uygulanmıştır. Elde edilen sekiz sonuç karşılaştırılarak basınç kontrol noktalarının etkisi incelenmiş ve bu noktaların konumunun sonuçları etkilediği belirlenmiştir. Simüle edilen kontrol noktalarının bağımsız noktalara göre daha doğru sonuç verdiği saptanmıştır.

Pedras ve ark. (2008), damla sulama ve yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımına yönelik olarak sistemin çalışma anındaki verilerini kullanarak optimizasyon yapılmasına olanak tanıyan MIRRIG adlı bir model geliştirmişlerdir. Teknik, ekonomik ve çevresel etmenleri dikkate alan model, sulama sistemlerinin tasarımında çoklu kriter analiziyle bir karar verme aracı olarak programlanmıştır. Araştırmacılar, MIRRIG'in sadece boru çapı gibi hidrolik tasarım parametrelerine karar vermede kullanılacak bir araç olmayıp; ürün, toprak ve arazi tipi gibi birçok değişkeni dikkate alarak bir sulama sistemini tasarlayabildiğini bildirmişlerdir. MIRRIG modeli performans analizine yönelik olarak akıntı yönündeki en uzak dallanmadan kaynağa kadar olan şebekenin her bir borusu için basınç yükü-akış oranı çiftlerini hesaplayabilmektedir. Araştırmacıların geliştirdiği model ile birçok tasarım olasılığı çoklu kriter yöntemiyle derecelendirilerek kullanıcıya sunulmakta, kullanıcının isteği doğrultusunda en iyi tasarım seçilebilmektedir.

Khadra ve ark. (2013), istek yöntemine dayalı bir basınçlı sulama sistemini, Labye adı verilen kesikli ve yinelemeli optimizasyon algoritmasını kullanarak, optimize etmişlerdir. Araştırmacıların uyguladıkları yöntem güvenilirlik analizini esas almaktadır. Çalışmada maliyetin minimize edilerek güvenilirliğin maksimize edilmesi sağlanmış, hidrant düzeyinde değişkenlik ve yağmurlama başlığı sistemlerinin uygunluğu arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Eş zamanlı olarak çalışan her bir üretilen hidrant konfigürasyonu için bağıl basınç eksikliği ve sonuç olarak hidrant seviyesindeki basınç AKLA modeli (Lamaddalena 1997, Lamaddalena ve Sagardoy 2000) kullanılarak hesaplanmıştır. Sulama şebekesinin karakteristik eğrisini elde etmek üzere yinelemeli bir model uygulamışlardır. Araştırmacılar, asıl işletme debisi ve çalışan yağmurlama başlığının basıncını çiftlik düzeyindeki uygunluk olarak tanımlayarak eğri ile hidrant karakteristik eğrisinin kesişimini, modernizasyon stratejilerine yeni bir bakış açısı getirerek uygunluk katsayısı ile hesaplamışlardır. Araştırmacıların bulgularına göre optimizasyon işleminde şebekenin istek dağılımının güvenilirliğine rağmen çiftlik düzeyindeki uygunluk büyük ölçüde konum ve zamana göre değişmektedir.

2.2. Basıncılı Sulama Sistemlerinin Performans Analizi

Literatürde basınçlı sulama sistemlerinin performans analizleri ile ilgili birçok araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda performans analizi için bir çok farklı model geliştirilmiştir ve kullanılmıştır. Yapılan önceki çalışmalar ve sonuçları bu kısımda özetlenmiştir.

Lamaddalena ve Sagardoy (2000), istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama sistemlerinin performansının ortaya koyulması amacıyla bir bilgisayar modeli geliştirmişler ve modeli Akdeniz ikliminde çeşitli arazi koşullarında test etmişlerdir. Modelin sadece sulama şebekesinin zayıf noktalarını çok kısa sürede belirlemekle kalmayıp, aynı zamanda değişen talep koşullarına göre pompa istasyonunun güç gereksiniminin de belirlenmesinde çok yararlı olduğu sonucuna varmışlardır. Araştırmacılar, debi ve basınç gereksinimindeki değişimlerin pompa istasyonunun yalnızca enerji etkinliğini azaltmasını olumsuz etkilemediğini, aynı zamanda uygulama oranını ve tarla dağılım tekdüzeliğini de olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Optimum verimin (enerji ve su kullanımı açısından) sistem işletme koşulları süresince hidranta gerekli minimum basıncın sürekli sağlanmasıyla başarılacağı bildirilmiştir. Bunun ise, geleneksel pompaların değişken hızlarda işletilmesi ve hız kontrolünün uygun işletme metodolojisinin kurulmasıyla mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Lamaddalena ve Pereira (2007a), istek yöntemiyle çalışan basınçlı sulama sistemlerinin performans analizlerine yönelik olarak yeni bir model geliştirmişlerdir. Araştırmacıların 300 düğümlü küçük şebekeler için geliştirdikleri model, simüle edilen akış rejimlerine karşılık gelen hidrantlardaki basınç ve debi yetersizliklerini tanımlamada kullanılan bilinen en yüksek kaynak debisini esas alarak akış rejimi senaryolarının rastgele üretilmesi ilkesine dayanmaktadır. Böylelikle geliştirilen FLUCS adındaki model, geliştirme ölçümlerinin gerekli olduğu boru sistemlerinin bulunduğu alanlar ve düşük güvenilirliğe sahip hidrantların tanımlanmasına olanak tanımaktadır. FLUCS modeli düzensiz akış rejimlerini simüle ederek daha karmaşık modellere kıyasla daha düşük hesaplama zamanı sağlamaktadır. Ayrıca araştırmacılar, çalışmalarında geliştirdikleri modelin hidrantlardaki sabit debi hipotezinden kaynaklanan sorunların üstesinden gelebildiğini bildirmişlerdir. Çalışmada, geliştirilen model mevcut bir sulama

şebekesinde şebeke sulama amaçlı hizmet vermezken sulama sezonundan sonra test edilmiş ve böylelikle gözlem koşullarının etkilenmesi önlenmiştir. Araştırmacıların bulgularına göre altı hidranttaki basıncın model ile tahmini, gözlemlenen basıncın sadece % 16 kadar fazlası olarak gerçekleşmiştir.

Lamaddalena ve Pereira (2007b) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, araştırmacılar önceki çalışmalarında istek yöntemiyle çalışan basınçlı sulama sistemlerinin performans analizlerine yönelik olarak geliştirdikleri FLUCS modelini şebekenin kaynak sonuna yerleştirilen akış sınırlayıcısının olası farklı kombinasyonlarının hidrant etkisi üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada iki tip hidrant ve iki tip akış regülatörü esas alınarak dört farklı simülasyon senaryosu geliştirilmiştir. Karakteristik eğrileri olarak tanımlanan basınç-debi ilişkileri analiz amacıyla meydana getirilmiştir. Dört adet regülasyon aygıtı kombinasyonlarının her biri için aynı anda çalışan 5, 6 veya 7 hidrantın 200 adet rastgele konfigürasyonu, performanslarının analiz edilmesi amacıyla FLUCS modeli kullanılarak üretilmiştir. Araştırmacılar her aygıt kombinasyonu için bağıl basınç kaybı ve güvenilirlik olmak üzere iki performans göstergesi hesaplamışlardır. Araştırmacılar, bazı tip akış sınırlayıcılarının oransal debili tip hidrantlar kullanıldığında sabit debili hidrantlara göre daha iyi performans sağladıklarını belirlemişlerdir. Ayrıca, çiftçilerin sulama zamanlamasını mevcut basınç yükü ve debiye göre ayarlayabildikleri veya daha az basınç gerektiren sulama sistemleri kullanabildikleri durumlarda analiz ettikleri sistemin kabul edilebilir ölçülerde çalışabileceğini bildirmişlerdir.

Moreno ve ark. (2007), İspanya'da bulunan istek yöntemi ile işletilen sulama şebekesinin sistem debisini hesaplamak için Clément ve rastgele günlük istek eğrisi (RDDC) yöntemini karşılaştırmışlardır. Rastgele günlük istek eğrisi yönteminin Clément modeline göre sistem debisi açısından % 35-40 daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

Calejo ve ark. (2008), Güney Portekiz'de, Lucefecit Basınçlı Sulama Şebekesi'nin analizi ve hidrolik performansının değerlendirilmesi amacıyla iki simülasyon modelini (ICARE ve AKLA) kullanmışlar ve karşılaştırmışlardır. Model ICARE, sınıflandırılmış

sulama sistem karakteristik eğrileri ile sulama sisteminin genel performansını değerlendirirken, model AKLA, hidrant düzeyinde göreceli basınç açığının ve güvenilirliğin belirlenmesini sağlamaktadır. Her iki model de hidrantlardaki akış oranının bilindiğini ve sabit olduğunu varsaymaktadır. Araştırmacılar, ICARE ve AKLA modellerinin basınçlı sulama sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde çok yararlı olduğunu bildirmişlerdir. ICARE modeli ile yapılan analizler de mevcut sulama sisteminin tasarım değerlerinin maksimum akış koşulları için yeterli olmadığı belirlenmiş, ancak bu analizin hidrantların performansı hakkında herhangi bir tespit içermediği, AKLA modelinin ise hidrant seviyesinde göreceli basınç açığı ve güvenilirlik ile ilgili bilgi sunduğu araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır.

Rodríguez Díaz ve ark. (2009) İspanya'nın Palmera bölgesindeki bir sulama şebekesi üzerinde yaptıkları çalışmada, basınçlı sulama şebekesinin enerji gereksinimi analiz etmişlerdir. Çalışmada, sulama şebekesinin, hidrolik simülatör EPANET modeline dayanan, çeşitli su istek düzeyleri için dört alternatif yönetim senaryosu kullanılarak simülasyonu yapılmıştır. Birinci senaryo mevcut durum olup, tüm hidrantlarda aynı anda minimum basınç yükünü karşılayacak, pompa istasyonu düzeyinde sabit bir basınç yükünü ifade etmektedir. İkinci senaryo “dinamik basınç yükü” olarak adlandırılmış olup, birinci senaryo ile benzerlik göstermekte, ancak bu senaryoda sadece işletmede olan hidrant kombinasyonlarında minimum basınç yükü koşulları sağlanmaktadır. Böylece yüksek basınç yüküne gereksinim duymayan hidrantlar açık olmadığı zaman pompa istasyonu düzeyindeki basınç yükü de azalmaktadır. Üçüncü senaryoda, sulama şebekesi arazi yükseklik kodlarına göre iki bağımsız sektöre ayrılmış, sulama süresi diğer senaryodakilerin aksine 24 saat yerine 12 saat olarak uygulanırken debi iki katına çıkarılmıştır. Pompa istasyonu düzeyindeki basınç yükü en fazla basınç isteyen hidrantlara göre sabitlenmiştir. Senaryo 4, Senaryo 3'ün benzeri olup, pompa istasyonundaki basınç yükü dinamik olarak sadece açık olan hidrantlarda minimum basınç yükünü karşılayacak biçimde düzenlenmiştir. Sonuç olarak, enerji tüketiminde Senaryo 3 ile % 20 oranında azalma olduğu, dinamik basınç yükü kontrolünün uygulandığı Senaryo 4 ile enerji kazanımının % 30'a kadar arttığı bildirilmiştir.

Lamaddalena ve ark. (2011), istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemlerinde sistem tasarımı ve iyileştirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Basınçlı sulama şebekelerinde maksimum güvenilirlik ile minimum maliyeti birleştiren bir yaklaşım sunmuşlardır. Araştırmacıların sunduğu model, İtalya'da bulunan farklı boyutlardaki üç basınçlı sulama şebekesinde uygulanmıştır. Sonuçta sunulan yöntemde, şebeke maliyetinde, Clément modeli ve rastgele oluşturulan kümülatif debi modeline göre % 20 azalma olduğu ortaya konulmuştur.

Zaccaria ve Neale (2014), farklı dağıtım senaryolarının ve akış konfigürasyonlarının simülasyonunu temel alan basınçlı sulama şebekelerinin performans değerlendirmesine yönelik olarak bir yöntem geliştirilmiştir. Ortaya koyulan yöntem, bir karar verici model ile hidrolojik modelin birleştirilmesinden oluşmakta ve dağıtım performansını hidrolik simülasyonu ve bazı performans göstergeleri ile tahmin etmektedir. Araştırmacıların kullandığı hidrolojik model, toprakta nem eksikliğiyle ilgili bilgiyi dağıtım hidrantlarından kaynağa kadar bütün arazi için parçalara ayırmakta ve en yüksek talep periyotlarında tüm arazinin talebini tahmin yapmaktadır. Simülasyonu yapılan akış konfigürasyonları, boru şebekesi tarafından başarılacak hidrolik performansı değerlendiren hidrolik simülasyon modeline uygulanmaktadır. Araştırmacılar performans analizini, özel olarak basınçlı sulama sistemlerine uyarlanmış ek göstergeler kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, geliştirilen yöntemi modernizasyon gerektiren ve Güney İtalya'da bulunan geniş ölçekli bir basınçlı sulama sistemine uygulamışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri bulgulara göre, simülasyon araçlarının mevcut sulama sistemlerine uygulanmasının modernizasyona katkıda bulunarak, hedeflenen su dağıtım performansına ulaşmada yararlı olduğunu bildirmişlerdir.

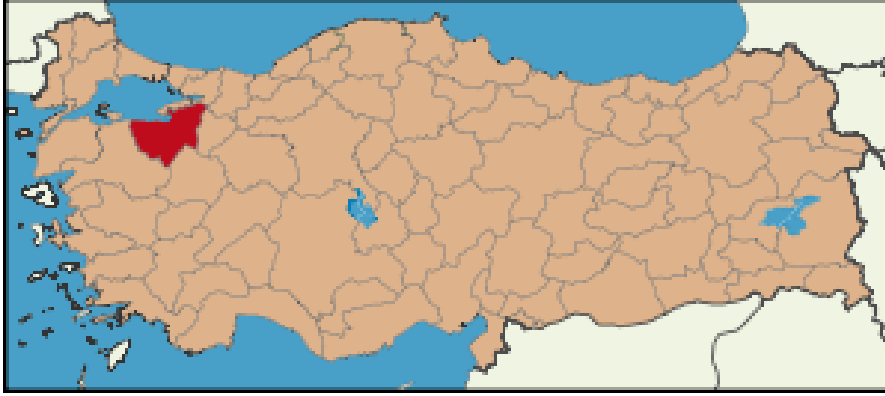
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanının tanıtılması

Çalışma alanı, Marmara Bölgesi'nde, Bursa şehir merkezine 20 km mesafede, Uludağ Üniversitesi (U.Ü.) Kampüs Yerleşkesi sınırları içinde, Görükle ve Göbelye köyü arasında yer almaktadır. U.Ü. Kampüs Yerleşkesi; $40^{\circ} 15' 29''$ kuzey enlemi (N), $28^{\circ} 53' 39''$ doğu boylamında (E) yer almakta (Demir ve ark. 2006) ve 14299.2 dekar alanı kaplamaktadır (Aksoy ve ark. 2001) (Şekil 3.1).

Yolçatı (Göbelye) Göleti Bursa merkez Nilüfer İlçesi sınırları içinde Uludağ Üniversitesi kampüsündeki Ayıcı Deresi üzerinde sulama amaçlı bir gölettir. Yapımına 1996'da başlanan göletin gövde dolgu hacmi $0,29 \text{ hm}^3$, temelden yüksekliği $22,80 \text{ m}$ 'dir. Su toplama kapasitesi $0,696 \text{ hm}^3$ olan göletin 125 hektar tarım arazisini sulaması öngörülmektedir (Çizelge 3.1, Şekil 3.2 ve 3.3).



Şekil 3.1. Bursa ilinin Türkiye'deki konumu (Anonim 2014b)

Çizelge 3.1. Yolçatı (Göbelye) Göleti'nin bazı proje karakteristikleri (Anonim 2014c)

Göletin Yeri	Nilüfer
Akarsuyu	Avcidere
Amacı	Sulama
İnşaatın (başlama-bitiş) yılı	1996 - 2003
Gövde dolgu tipi	Zonlu Toprak Dolgu
Depolama hacmi	0,645 hm ³
Aktif Hacim	0,630 hm ³
Ölü Hacim	0,015 hm ³
Yükseklik (talvegden)	20,30 m
Yükseklik (temelden)	22,80 m
Sulama Alanı	125 ha
Proje rantabilitesi	2,8



Şekil 3.2. Yolçatı (Göbelye) Göleti'nin görünümü



Şekil 3.3. U.Ü. Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemine ait pompa istasyonu

3.1.1.1. Konum

Göbelye Göleti Sulama Projesi'nin yeri, Bursa İli, Nilüfer İlçesi Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü Ziraat Fakültesi sulanabilir arazilerini kapsamaktadır. Sulama alanı en yüksek 104 m, en düşük ise 63,90 m kote sahip olup, ortalama kote 85 m'dir ve arazi eğimi ortalama % 5'tir (Şekil 3.4 ve 3.5).



Şekil 3.4. Yolçatı (Göbelye) Göleti'nin üstten görünümü



Şekil 3.5. Yolçatı (Göbelye) Göleti'nin suladığı tarım arazilerinin görünümü

3.1.1.2. Sulanan alan

Araştırmada kullanılan sulama suyu, Uludağ Üniversitesi Görükle Kampusu içerisinde yer alan ve 125 ha sulama alanına sahip olan, Yolçatı (Göbelye) Göleti'nden sağlanmaktadır (Şekil 3.4). Sulama alanı ortalama kotu 85 m olup arazi eğimi ortalama % 5'tir. Sulama suyu dip savaktan sulama alanının en yüksek noktasında bulunan su toplama havuzuna iki elektropomp yardımıyla pompalanarak, hidrantlara borulu sulama sistemi ile ulaştırılmıştır. Yolçatı (Göbelye) Göleti'nden alınan su örneği, USSLS (United States Salinity Laboratory Staff) (Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk Laboratuvarı) (1954)'de belirtilen esaslardan yararlanılarak laboratuvarda analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, sulama suyunun C₂S₁ sınıfına girdiği ve sulamaya uygun olduğu belirlenmiştir (Candoğan 2009). Orta tuzlu sular (C₂), orta derecede yıkanmanın sağlandığı koşullarda, tuzluluk kontrolü ve özel toprak idaresine gereksinim olmaksızın tuza orta derecede dayanıklı bitkilerde hiç sakınca göstermeden kullanılabilirler. S₁ yani az sodyumlu sularla sulanan topraklarda ise sodyum birikme tehlikesinin çok az olduğu bilinmektedir (Tuncay 1994).

3.1.1.3. İklim özellikleri

Bölgenin iklimi Akdeniz iklim tipine büyük benzerlik göstermekle beraber, Marmara ikliminin etkisi altındadır. Akdeniz ikliminin genel özelliklerine göre bölgenin ortalama sıcaklığı düşük, yağış rejimi daha düzenlidir (Korukçu ve ark., 1989). Yıllık yağış toplamı yüksek ve aylara dağılışı da Akdeniz bölgesine göre kısmen düzenlidir. De Martonne'nin kuraklık indisi eşitliğine göre yaz ayları kurak, sonbahar ve ilkbahar ayları da az nemli iklim karakterini göstermektedir (Sefa 1983).

Bölgede yıllık ortalama sıcaklık 14,6 °C, ortalama bağıl nem % 69'dur. Ortalama yıllık toplam yağış 697 mm olup, bunun % 38'i kışın, % 26'sı ilkbahar, % 10'u yaz ve % 25,4'ü sonbaharda düşmektedir. Yılın en yağışlı geçen ayları Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, en kurak ayları ise Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül'dür (Çizelge 3.2) (Demir ve ark. 2006).

Çizelge 3.2. Bursa ilinin bazı meteorolojik verileri (2000-2001 yılı ve uzun yıllar ortalamaları 1929-1991) (Demir ve ark. 2006)

Yıllar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
Sıcaklık (°C)													
2000	3.3	5.2	7.6	15.0	17.7	21.8	25.5	24.8	21.2	14.8	12.5	6.2	14.6
2001	7.4	6.3	14.0	13.7	18.2	23.6	27.7	26.4	22.6	16.8	10.9	-	17.0
Uzun	5.3	6.2	8.3	13.0	17.6	22.1	24.5	24.1	20.1	15.6	11.2	7.6	14.6
Yıllar Ort.													
Bağıl Nem (%)													
2000	79	68	66	72	65	61	51	56	60	78	74	84	68
2001	71	79	61	72	65	48	51	53	59	60	64	-	62
Uzun	74	73	70	70	69	62	58	60	66	72	75	74	69
Yıllar Ort.													
Yağış (mm)												Toplam	
2000	29	105	96	109	49	16	9	11	82	129	22	50	707
2001	9	66	49	86	65	17	2	13	42	-	93	128	570
Uzun	92	75	68	59	52	31	25	17	39	58	78	103	697
Yıllar Ort.													

3.1.1.4. Toprak özellikleri

Çalışma alanına ilişkin ayrıntılı toprak etüd çalışmaları ve haritaları 1999-2001 yılları arasında Aksoy ve ark. (2001) tarafından yapılmıştır. Söz konusu çalışmada 1:10.000 ölçekli temel toprak haritası ve arazi kullanım haritaları oluşturulmuştur.

Söz konusu raporlara göre; arazinin kuzey kesiminde yer alan Nilüfer Deresi ile Bahçe Bitkileri uygulama ve araştırma arzisi kuzeyinde yer alan Ayvalı Deresi boyunca kuaterner alüvyaller üzerinde oluşmuş topraklar hariç, tüm çiftlik toprakları neojen killi kireçli depozitler üzerinde oluşmuş, genellikle sığ topraklardır. Analiz sonuçlarına göre topraklar ağır bünyeli, orta alkalın reaksiyonlu, herhangi bir tuzluluk sorunu olmayan, kireç içerikleri yüksek ve organik madde kapsamları düşüktür.

3.1.1.5. Topoğrafya

Arazinin güney ve doğusu orta eğimli olup, güneydeki araziler kuzeye, doğu kesimindeki araziler ise batıya doğru eğimlidir. Çiftlik arazisinin güney kesiminde yer alan topraklar, hafif eğimli olup, ortalama eğim % 3 civarındadır. Bu bölümün güney sınırında % 5-6 olan eğim, kuzeye doğru giderek azalmakta ve Nilüfer Çayı civarında % 0.5-1.0'a düşmektedir. Arazide küçük çöküntü ve kabartıların oluşturduğu mikrorölief vardır. Orta eğimli kısımlarda erozyon nedeniyle yuvarlaklaşmalar, kuru derelerle kesilmeler ve dolayısıyla oluşan engebelikler göze çarpmaktadır (Katkat ve ark. 1984).

Arazi Göbelye Köyü sınırlarında 150 m yüksekliğine ulaşmaktadır. Yamaç arazileri, genellikle % 8-10 eğimlidir (Değirmenci 1990).

3.1.2. Uludağ Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi arazisi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemi

Uludağ Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi basınçlı sulama sistemi kırk hidranta sahip olup (Şekil 3.6 ve 3.7'deki gibi) istek yöntemi ile işletilecek biçimde tasarlanmıştır. Sulama alanı 125 ha ve şebekenin debisi 217 l s^{-1} 'dir. Mevcut kaynağın deniz seviyesinden yüksekliği 140 m dir. Her hidranttaki gerekli minimum yük H_{\min} 25 m dir. Toplamda projenin sahip olduğu 40 adet hidrantın 9 adeti 5 l s^{-1} lik, 31 adeti ise 10 l s^{-1} lik debiye sahiptir. Ayrıca projede 14 adet düğüm noktası bulunmaktadır. 1 072 m 450 mm çapında, 1 007 m 400 mm çapında, 278 m 355 mm çapında, 722 m 315 mm çapında, 726 m 250 mm çapında, 1 333 m 225 mm çapında, 1 115 m 160 mm çapında, 418 m 125 mm çapında ve 1 680 m 110 mm çapında HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) borular kullanılmıştır (Ek 1).



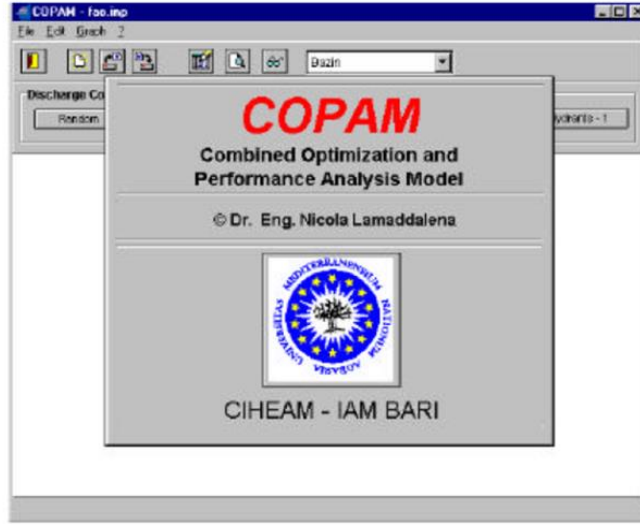
Şekil 3.6. Sulama alanındaki hidrantlara bir örnek (dıştan görünüm)



Şekil 3.7. Sulama alanındaki hidrantlara bir örnek (içten görünüm)

3.1.3. Kullanılan bilgisayar yazılımı

Çalışmada, sistemin performans analizini yapmak amacıyla Lamaddalena (1997) tarafından geliştirilen ve Lamaddalena ve Sagardoy (2000) tarafından yayınlanan COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model) isimli yazılım kullanılmıştır (Şekil 3.8). Model Barutçu (2011) tarafından “Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli” olarak tercüme edilmiştir.

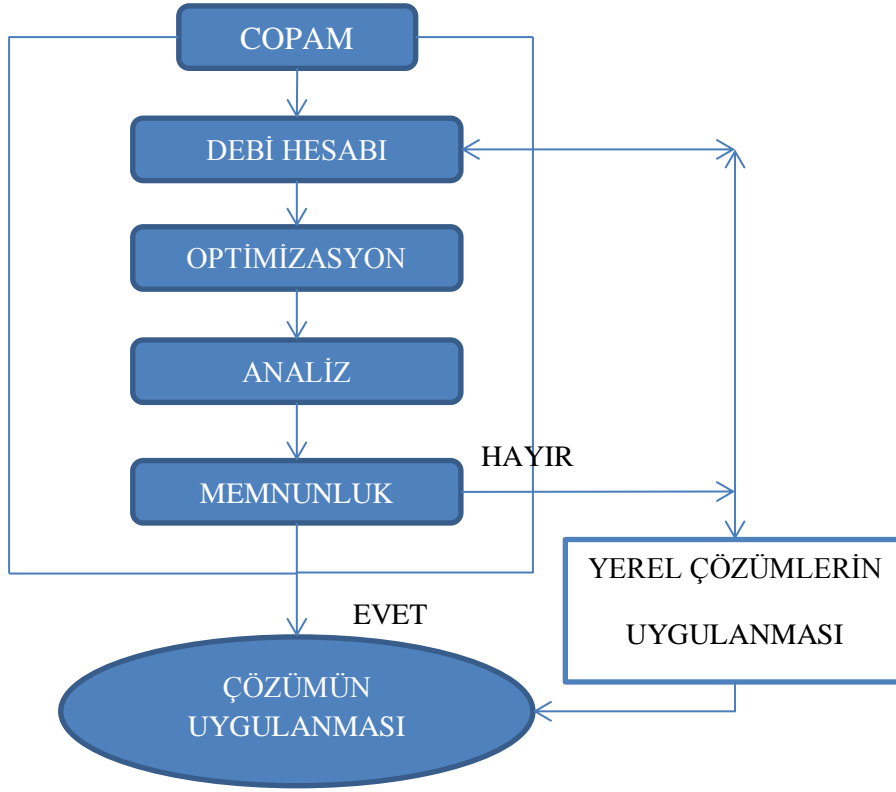


Şekil 3.8. COPAM programının açılış sayfası

COPAM paketinde; programın üç farklı yapısı bulunmaktadır (Şekil 3.9).

- Debi hesabı
- Boru çapı hesabı
- Analiz

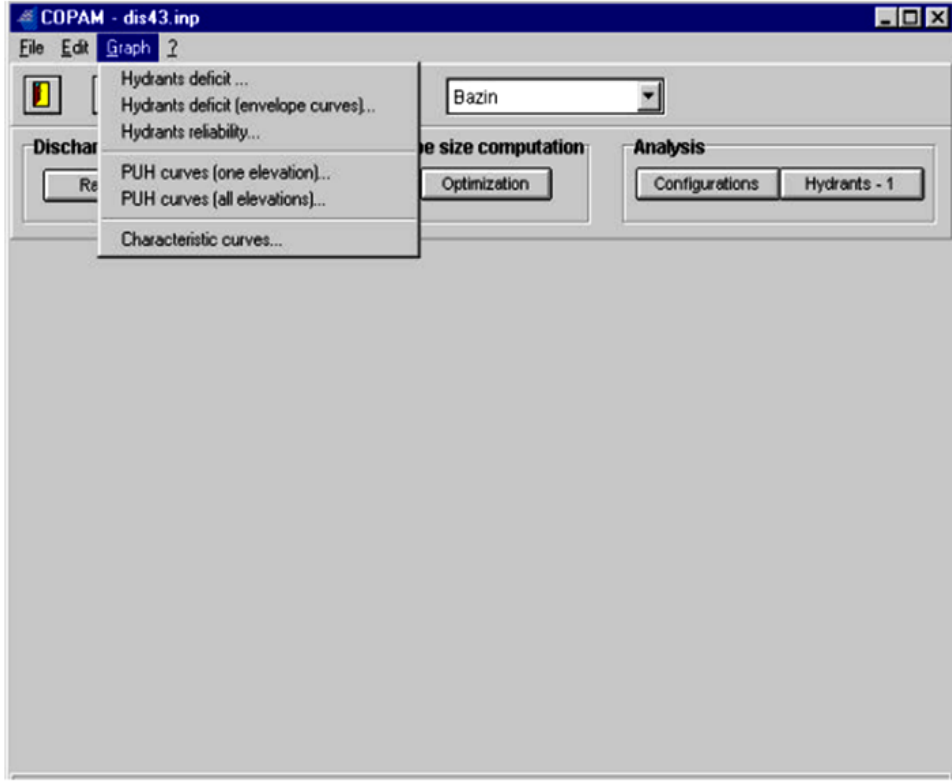
Debi hesaplama yapısında iki program (Clément ve rastgele), boru çapı hesaplama yapısı altında bir program (optimizasyon) ve analizler yapısı altında ise iki program (konfigürasyonlar ve hidrantlar) bulunmaktadır.



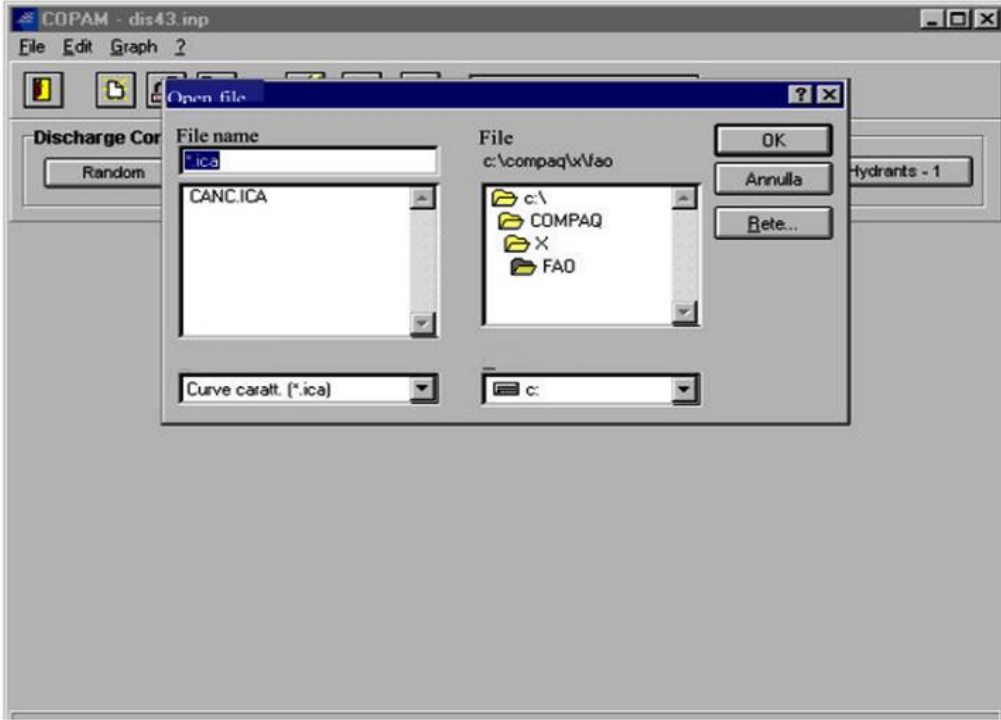
Şekil 3.9. COPAM programının akış diyagramı

COPAM'ın kolay kullanılabilir bir grafik arayüzü bulunmaktadır. Şebekenin karakteristik eğrileri, “Graph” menü çubuğu altındaki “Characteristic curves...” alt menüsü tıklanılarak çizdirilebilmektedir (Şekil 3.10). Çıktı dosyası (“.ica” uzantılı) grafik çizimi için seçilmektedir (Şekil 3.11). Sonraki kısımlarda iki farklı analiz verilmiştir:

- 1) Tasarım halindeki bir sulama sistemi ve
- 2) Mevcut bir sulama sistemi içindir.

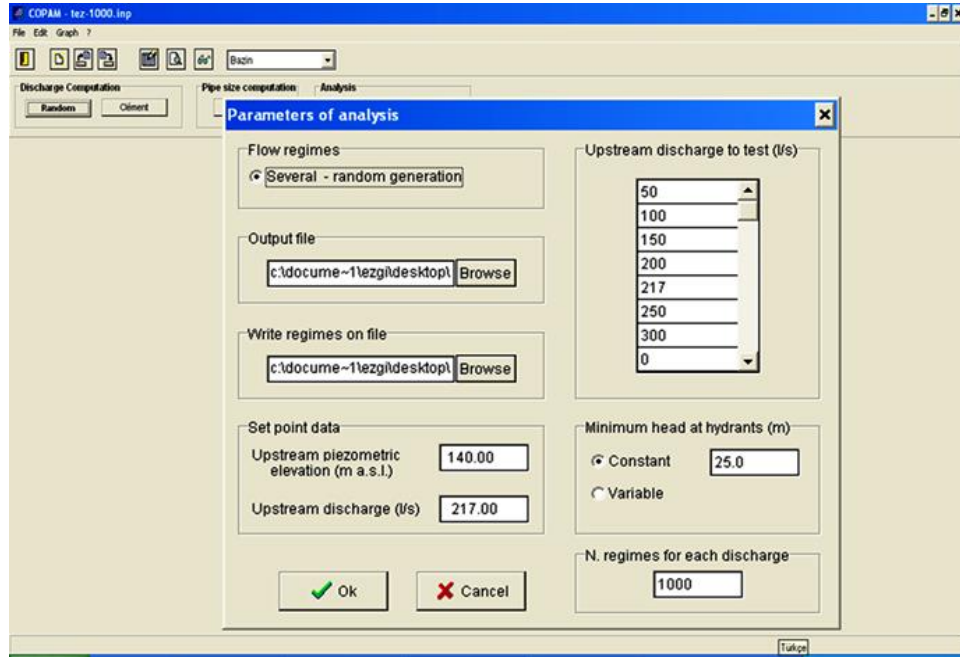


Şekil 3.10. COPAM programının grafik menü çubuğu ve alt komutları



Şekil 3.11. COPAM programına dosya ekleme

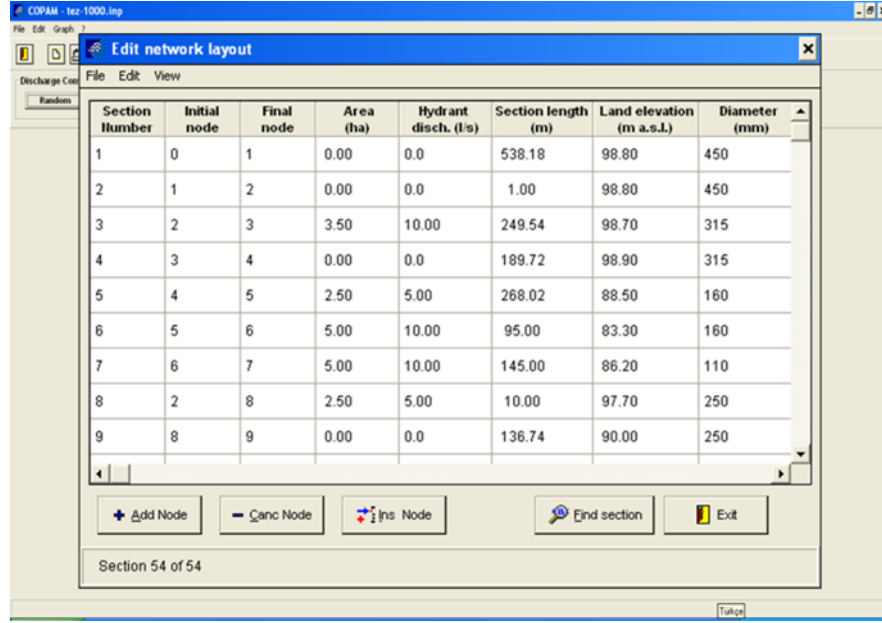
Çıktı dosyasının adı, ilgili düzenleme kutucuğuna yazılmaktadır. Dosya uzantısı olan “.ica”, program tarafından otomatik olarak sağlanmaktadır. Rastgele üretilen akış rejimleri dosyasının kaydı için uzantı olarak “.ran” otomatik olarak sağlanmaktadır. Şebekenin kaynağının deniz seviyesinden yüksekliği (m) ve debisi ($l\ s^{-1}$ 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 3.12).



Şekil 3.12. 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.

U.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemi mevcut verileri COPAM programına Şekil 3.13'teki gibi girilmiştir (Ek 2).



Section Number	Initial node	Final node	Area (ha)	Hydrant disch. (l/s)	Section length (m)	Land elevation (m a.s.l.)	Diameter (mm)
1	0	1	0.00	0.0	538.18	98.80	450
2	1	2	0.00	0.0	1.00	98.80	450
3	2	3	3.50	10.00	249.54	98.70	315
4	3	4	0.00	0.0	189.72	98.90	315
5	4	5	2.50	5.00	268.02	88.50	160
6	5	6	5.00	10.00	95.00	83.30	160
7	6	7	5.00	10.00	145.00	86.20	110
8	2	8	2.50	5.00	10.00	97.70	250
9	8	9	0.00	0.0	136.74	90.00	250

Şekil 3.13. Programa proje verilerinin girilmesi

3.2. Yöntem

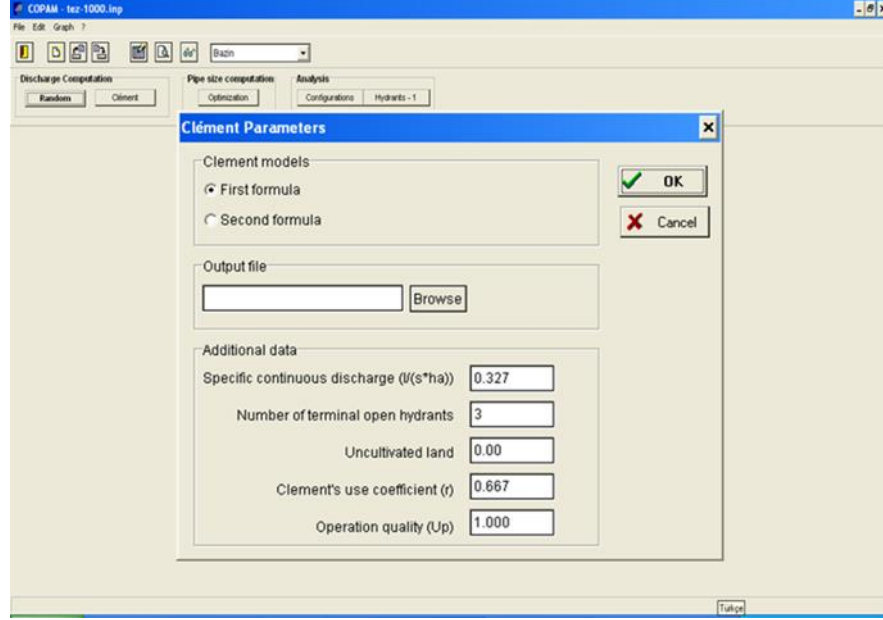
3.2.1. İstek yöntemine göre sulama sistemlerinin debi hesabı

İstek yöntemi ile işletilen bir sulama sistemi tasarımı yapan mühendis için en önemli sorunlardan biri, şebeke debisinin hesaplanmasıdır. Bu tür debiler zaman içinde bitki desenine, meteorolojik koşullara, tarla sulama randımanına ve çiftçinin isteklerine bağlı olarak hızla değişebilir.

Tasarım kapasitesi, en yoğun gereksinim dikkate alınarak ve bütün sistem için ortalama bitki deseni dikkate alınarak belirlenir. Ancak bireysel bitki deseni tasarlanmış olandan farklı olabilir. Bu hesaplamaların zorluğundan dolayı birçok formülasyon geliştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan Copam programında da debi hesabı için bazı formüller kullanılmıştır. Bunlar:

- Clément modeli ile debi hesabı (Şekil 3.14),
- Rastgele debi hesabı yapan model (random generation) (Şekil 3.15).



Şekil 3.14. COPAM Programının Clément parametleri ile debi hesaplama menüsü.

İstek yönteminin ortaya çıkışıyla, Fransa'da 1960'ların başında büyük ölçekli sulama sistemleri, akış modelinin hesaplanması için istatistiksel modellerin geliştirilmesi teşvik edilmiştir. Birinci ve ikinci Clément (1966) modeli bu tür modellere örnektir.

Birinci Clément Modeli bir şebekede toplam hidrant sayısı içindeki olasılıksal yaklaşıma dayanır. Modelde hidrant sayısının binominal dağılıma uyacağı kabul edilmektedir.

Birinci Clément Modeli 3 hipoteze dayanmaktadır:

1) İlk hipotez tasarım aşamasında, en yüksek seviyede ve en kısa sürede sulama yapabilmek için 24 saatten daha az bir süre dikkate alınarak tasarlanan sistemin kullanımı bakımından bir katsayı olan r değişkenini içermektedir. Uygulamada, r değişkeni her hidrantın çalışma süresine karşılık gelmesi gerektiğinden sistemin tasarımı için kullanımı doğru değildir. Yine de istatistiksel bir yaklaşım aracılığıyla

uygun olarak seçilen debinin teorik olarak formüle edilmesine yardımcı olan bir değişken gibi dikkate alınabilmektedir.

2) İkinci hipotez açılan her bir hidrantın temel olasılığını içermektedir. Hipotez her bir hidrantın ortalama çalışma süresi tahmininden bahsetmektedir.

3) Üçüncü hipotez hidrantların bağımsızlığını ve onların en yüksek seviyede rastgele işletimini dikkate almaktadır. Sistemdeki tüm hidrantların aynı anda çalışabilme olasılığı olduğundan bu hipotez tamamen güvenilir değildir.

İstek yöntemi ile işletilen sulama sistemlerinde hidrantlardaki ihtiyaç duyulan debi miktarı olması gerekenden daha fazla seçilmektedir. Bu durum, çiftçilere daha kısa bir sürede sulama yapma olanağı sağlar. Böylelikle, sistemdeki tüm hidrantların eş zamanlı olarak sulama yapma olasılığının düşük olduğu kabul edilmektedir. Yani, sulama yapmak isteyen çiftçinin hidrantı meşgul etme süresini azaltmakta olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle sulama sistemindeki bütün hidrantların aynı anda çalışma olasılığına göre hesaplanmasına gerek yoktur.

Sonuç olarak, istek yöntemi ile işletilen sulama sistemlerin debilerinin hesaplanmasında olasılıksal yaklaşımlar geçmişte kullanılmış ve halen de kullanılmaktadır.

Birinci Clément Modeli aşağıda özetlenmiştir:

Her bir hidrantın en yoğun çalıştığı dönemdeki ortalama çalışma süresi t' Eşitlik 3.1 ile hesaplanmaktadır.

$$t' = \left(\frac{q_s AT}{R}\right)/d \quad (3.1)$$

Temel olasılık p her hidrantın işleyişi olarak tanımlanır (Eşitlik 3.2).

$$p = \frac{t'}{T'} = \frac{t'}{rT} = \frac{q_s AT}{R d r T} \quad (3.2)$$

Buradan p Eşitlik 3.3 ile elde edilir.

$$p = \frac{q_s A}{r R d} \quad (3.3)$$

q_s ; 24 saatlik zaman diliminde sürekli, belirli bir debi ($1 \text{ s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$),

A ; sulanmış arazi (ha),

R ; toplam hidrant sayısı,

d ; her bir hidrantın nominal debi miktarı (1 s^{-1}),

T ; en yoğun olan periyot (h),

t' ; şebekenin çalışma süresi (h) – T periyodu süresince,

r ; sistemin çalışma katsayısı (oranı t' : T olarak tanımlanmıştır)

Kullanılan hidrantların sayısı (μ) binom dağılımına sahip rastgele bir değişken olarak kabul edilirse Eşitlik 3.4 ile,

$$\mu = R p \quad (3.4)$$

ve varyans (σ) Eşitlik 3.5 ile

$$\sigma^2 = R p (1 - p) \quad (3.5)$$

bulunur.

Buna bağlı olarak, kümülatif olasılık P_q , R hidrantları arasında eş zamanlı çalışan N hidrantları Eşitlik 3.6'daki gibi ifade edilir.

$$P_q = \sum_{K=0}^N C_R^K p^K (1 - p)^{(R-K)} \quad (3.6)$$

Belirli bir zamanda ele alınan K adet R hidrantlarının konfigürasyonlarının sayısı eşitlik 3.7'de verilmiştir. R yeterince büyük olduğunda ($R > 10$) ve $p > 0.2-0.3$, eş zamanlı çalışan x hidrantlarının ($-\infty < x < N$) en yüksek sayısı için kümülatif olasılığın Eşitlik 3.8'i sağladığı Laplace-Gauss binomiyal dağılımı tarafından tahmin edilmektedir.

$$C_R^K = \frac{R!}{K!(R-K)!} \quad (3.7)$$

$$P_q = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_{-\infty}^{U(P_q)} e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (3.8)$$

Burada $U(P_q)$ olasılık P_q 'ya karşılık gelen standart normal değişkendir, u ise eşitlik 3.9'da verilen standart normal sapmadır.

$$u = \frac{x-Rp}{\sqrt{Rp(1-p)}} \quad (3.9)$$

Debileri aynı olan hidrantlar göz önüne alındığında akış yönündeki toplam debi miktarı Q_k kabul edilir (Eşitlik 3.10).

$$Q_k = R p d + U(P_q) \sqrt{R p (1-p)d^2} \quad (3.10)$$

Farklı debideki hidrantlar (d_i), I hidrant sınıf numarası olduğunda debi Eşitlik 3.11 ile tanımlanmıştır.

$$Q_k = \sum_i R_i p_i d_i + U(P_q) \sqrt{\sum_i R_i p_i + (1-p_i)d_i^2} \quad (3.11)$$

Birinci Clément modelindeki sınırlamaların göz önüne alınmasıyla, Clément istek yöntemine göre çalışan sulama sistemlerinde debilerin hesaplanması için ikinci bir model geliştirmiştir (Clément 1966). İkinci Clément modeli hidrantların açık ya da kapalı olma durumlarına dayanmaktadır.

İkinci Clément Modeli hidrantların açık ya da kapalı olma teorisine bağlıdır. Bu hipotez onun uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Gerçekte, bu teori telefon hatlarında (hat meşgul ise hat kişiye ayrılmış durumdadır ve ulaşamayan kişi daha sonra yeniden aramalıdır) iyi bir şekilde uygulanır. Fakat sulama sistemleri için böyle bir ayrımı yapmak oldukça zordur. Eğer sistemi bir grup çiftçi kullanıyor ise, diğer çiftçilerin kullanması durumunda düşük basınçlı ve düşük debi ile sulama yapmaları sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak, basitliği nedeniyle yaygın olarak Birinci Clément modeli kullanılmaktadır.

Bu nedenle, bir sulama sisteminde, sistem durumu çalışır haldeki hidrantların sayısıyla tanımlanmaktadır. R adet hidrant bulunan bir sulama şebekesinde (R-1) hidrant ile donanımlı bir şebekenin doygunluk olasılığı olarak P_{SAT} ve u' standart normal değişkeni tanımlanabilmekte ve Eşitlik 3.12 ve 3.13 ile ispatlanabilmektedir (Clément 1966; Lamaddalena 1997).

$$u' = \frac{N - R_p}{\sqrt{R p(1-p)}} \quad (3.12)$$

ve

$$P_{SAT} = \frac{1 - \Psi(u')}{\sqrt{R p(1-p)} \Pi(u')} \quad (3.13)$$

$\Psi(u')$ ve $\Pi(u')$ sırasıyla Gaussian olasılık dağılım fonksiyonu ve Gaussian kümülatif dağılım fonksiyonu olarak Eşitlik 3.14 ve 3.15 ile belirtilebilmektedir (Clément 1966; Lamaddalena 1997).

$$F(u') = \frac{\Psi(u')}{\Pi(u')} \quad (3.14)$$

Buradan,

$$P_{SAT} = \frac{1}{\sqrt{R p(1-p)}} F(u') \quad (3.15)$$

bulunur.

Bu aşamada olasılık p 'ye göre standart normal değişkenini (u') hesaplamak, $\Psi(u')$ ve $\Pi(u')$ terimlerine karşılık gelen değerleri ve $F(u')$ değeri belirlemek mümkün olabilmektedir. P_{SAT} için genellikle önerilen $P_{SAT} = 0.01$ 'dir ve $F(u')$ Eşitlik 3.16'da gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$F(u') = P_{SAT} \sqrt{R p(1-p)} \quad (3.16)$$

Son olarak şebekede aynı anda çalışan hidrant sayısı Eşitlik 3.17'deki İkinci Clément formülü ile hesaplanmaktadır.

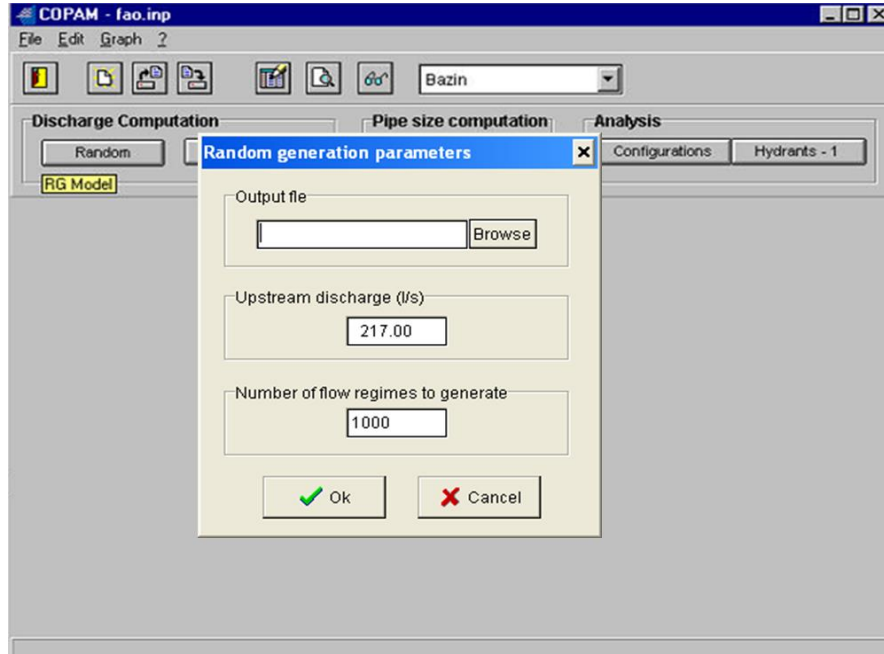
$$N = R_p + u' \sqrt{R p(1-p)} \quad (3.17)$$

COPAM programının debi hesaplama modülünün altında ayrıca Random Generation (RG) Model (rastgele debi hesabı yapan model) yer almaktadır (Şekil 3.15).

RG modeli 2 farklı amaç için kullanılabilir:

- Var olan sulama sistemlerinin analizi
- Yeni sulama sisteminin tasarımı

Yeni sulama sistemi tasarımında, kaynağın debisi önceden bilinmemektedir. Bu nedenle, örneğin Clément modeliyle, değişik hidrant konfigürasyonları hesaplanabilir. Debi değeri “rastgele oluşum parametreleri”nde “kaynak debisi” kutusunda görüntülenmektedir. Rastgele üretilecek konfigürasyon sayısı uygun kutucuğa (10 katı olmak zorunda olan) girildikten sonra, şebekenin işletilmesi hidrant konfigürasyonlarının üretilmesiyle simülasyonu yapılmaktadır (Şekil 3.15). Önceden seçilen bir dosyada saklanan bu hidrant konfigürasyonları, şebekenin optimum boru çapını hesaplamak için göz önünde bulundurulmaktadır.



Şekil 3.15. COPAM programının rastgele üretme parametresi.

3.2.2. Boru çapı seçimi

Literatürde mevcut olan çoğu optimizasyon modelleri doğrusal, doğrusal olmayan ve dinamik programlama tekniklerine dayanır. Bu modeller klasik yaklaşımlarla daha az maliyet çözümleri ve daha az hesaplama zamanı sayesinde, uygulama problemlerinde önemli gelişmelere neden olur.

Bir çok optimizasyon yöntemi, şebekedeki sabit debileri göz önüne alır. Bu durum özellikle istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemleri için doğru değildir. Bu tür sistemlerde, bitki desenine, sulanan alana, iklim koşulları ve çiftçinin isteğine bağlı olarak eşzamanlı çalışan hidrant konfigürasyonlarının değişkenliği nedeniyle, debiler de değişkendir. Bu nedenle LIDM (Labye'nin Tekrarlamalı Süreksiz Yöntemi), SFRM (Birden Fazla Akış Rejimi)'ne dayanan şebeke içindeki hidrolik olayların hesaba katılması için genişletilmiştir. Bir bilgisayar programı kullanarak, akış rejimi RGM (Rastgele Üretme Modeli) oluşturulmuştur.

COPAM programı boru çapı seçimi için Labye'nin, Farklı Akış Rejim Modelleri (SFR) İçin Genişletilmiş Tekrarlamalı Süreksiz Metodu (ELIDM) ile optimizasyon yapmaktadır (Şekil 3.16).

Labye'nin farklı akış rejim modelleri için genişletilmiş olan tekrarlamalı yönteminin (Labye 1981; Ait Kadi ve ark. 1990) algoritması iki aşamaya bölünmüştür. İlk aşamada, şebekenin her bir k kısmı için minimum çap $(D_{min})_k$ verilerek, izin verilen en yüksek akış hızına (V_{max}) göre, boru tüm konfigürasyonlar içinde maksimum debiyi $(Q_{max, k})$ sağladığında bir başlangıç çözümü oluşturulmaktadır. k bölümündeki çap şu şekilde hesaplanır (Eşitlik 3.18).

$$(D_{min})_k = \sqrt{\frac{4 Q_{max,k}}{\pi V_{max}}} \quad (3.18)$$

Başlangıç çapı belirlendikten sonra, her r konfigürasyonu için, en yetersiz hidrant j de gerekli olan minimum yükü $H_{j,min}$ (m) karşılayan sistemin kaynağının piyezometrik

yüksekliğini (deniz seviyesinden yüksekliği), $(Z_0)_{in,r}$ [m] hesaplamak mümkündür (Eşitlik 3.19).

$$(Z_0)_{in,r} = H_{j,min} + ZT_j + \sum_{0 \rightarrow M_j} Y_{k,r} \quad (3.19)$$

Burada,

$\sum_{0 \rightarrow M_j} Y_{k,r}$ = kaynağı en elverişsiz hidranta bağlayan hat boyunca (M_j) oluşan yük kayıplarıdır.

Olası C adet konfigürasyonun birincisi r_1 ile çapların çözümüyle ilişkili başlangıç piyezometrik yüksekliği $(Z_0)_{in,r_1}$ Eşitlik 3.19 ile hesaplanmıştır. Tekrarlamalı olarak kaynak yüksekliği değerinin azaltılması ile r_1 için en uygun çözüm elde edilir. Her tekrarlamaya için seçim işlemi Eşitlik 3.20'deki gibi yapılmaktadır.

$$\beta_s = \frac{P_{s+1} - P_s}{J_s - J_{s+1}} \quad (3.20)$$

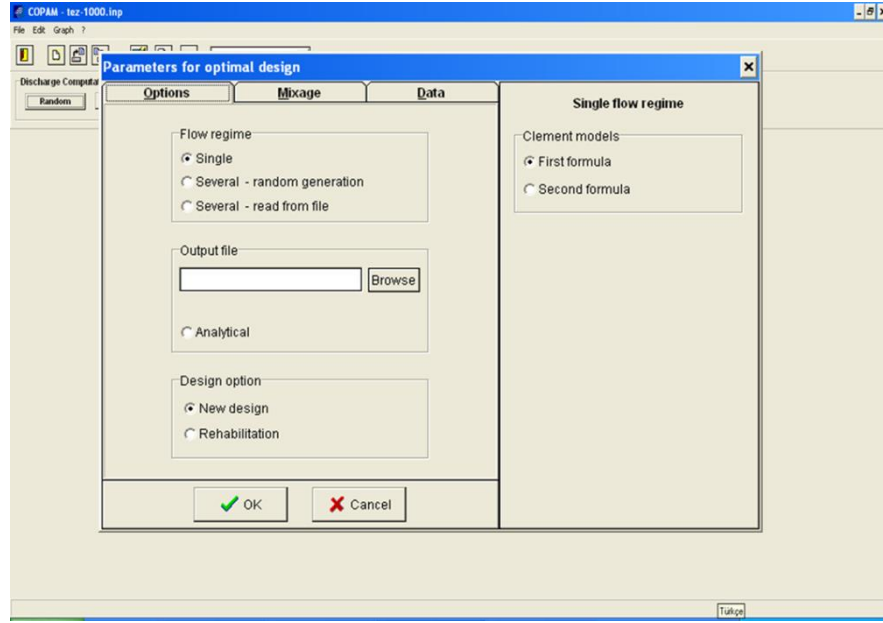
Eşitlikte; P_s ve J_s sırasıyla maliyet ve belirli çaptaki boru uzunluğuna eş değer sürtünme katsayısıdır.

COPAM programı, optimum boru seçimi için bundan sonraki aşamalarda Ait Kadi ve ark. (1990) tarafından geliştirilen "yerel doğrusal programlama" yöntemini kullanmaktadır.

Bir kaç değişik debi konfigürasyonu ve tek akış rejimi koşulları altında bir sulama şebekesinin optimum boru çapı hesaplamaları için COPAM'da bir yazılım modülü bulunmaktadır. COPAM'ın kullandığı ELIDM, birkaç farklı akış rejimini kapsayacak şekilde doğrusal programlama yöntemlerini kullanmaktadır.

ELIDM modeli, borulardaki sürtünme katsayısını hesaplamak için Darcy eşitliğini kullanmaktadır (Eşitlik 3.21).

$$Y = 0.000857 (1 + 2\gamma D^{-0.5})^2 Q^2 D^{-5} L = u Q^2 L \quad (3.21)$$



Şekil 3.16. COPAM Programının optimizasyon menüsü

3.2.3. Basınçlı sulama sisteminin analizi

İstek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekelerinde aynı sistem debisi için her bir şebeke hattı boyunca akan debi, o hat üzerinde açık olan hidrant sayısına ve debisine bağlı olarak değişmektedir. Bu hidrantların konumuna bağlı olarak, her bir hidranta minimum basınç yükü gereksinimini sağlayabilmek amacıyla pompa istasyonunda değişken basınç yükü gerekli olmaktadır. 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).

Sulama sistemlerinin analizi; performans yeteneklerinin analizi ve basınç ve/veya debi için sistem tasarım standartlarını karşılamak üzere sistem gereksinimlerini tanımlayan bilgisayarlı simülasyon modelinin kullanımı sürecidir. Bilgisayarlı modellemenin en önemli üstünlüğü; şebeke analizini olanaklı kılmasıdır. Özellikle büyük ölçekli sulama sistemlerinin analizinde; bilgisayar simülasyon programlarının kullanımı kaçınılmazdır. Bir bilgisayar modelini temel alan şebeke analizi, mevcut sulama sistemlerinin

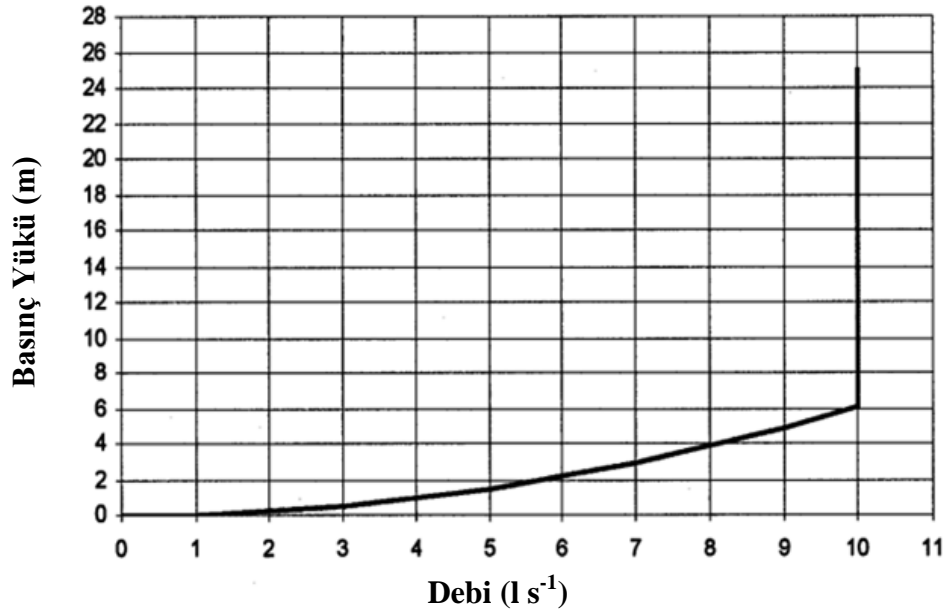
yeterliliğini belirlemek ve mali açıdan verimliliği sağlayacak iyileştirmeleri yapmak üzere sistemde olumsuzluklara neden olan unsurları tanımlamak için kullanılmaktadır.

Şebeke analizinden genellikle tasarım ölçütlerini iyileştirmek için de yararlanılmaktadır. Performans analizi yapmaya yönelik modeller, olası istek senaryoları aralığında karşılanabilir bir şekilde çalışabilecek yeni sulama sistemlerinin tasarımına katkıda bulunabilir.

U.Ü Ziraat Fakültesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Çiftliği sulama sisteminin performans analiz eğrilerini oluşturabilmek amacıyla Lamaddalena (1997) tarafından geliştirilen ve Lamaddalena ve Sagardoy (2000) tarafından yayınlanan COPAM isimli 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) ifadesini şu şekilde yeniden tanımlarsak: şebeke sonunda bulunan kaynaktaki nominal debinin, Q ($l\ s^{-1}$), sabitlenmiş bir değerine karşılık gelen bir grup çalışan hidranttır (j) (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Bir hidrantın karakteristik eğrisi

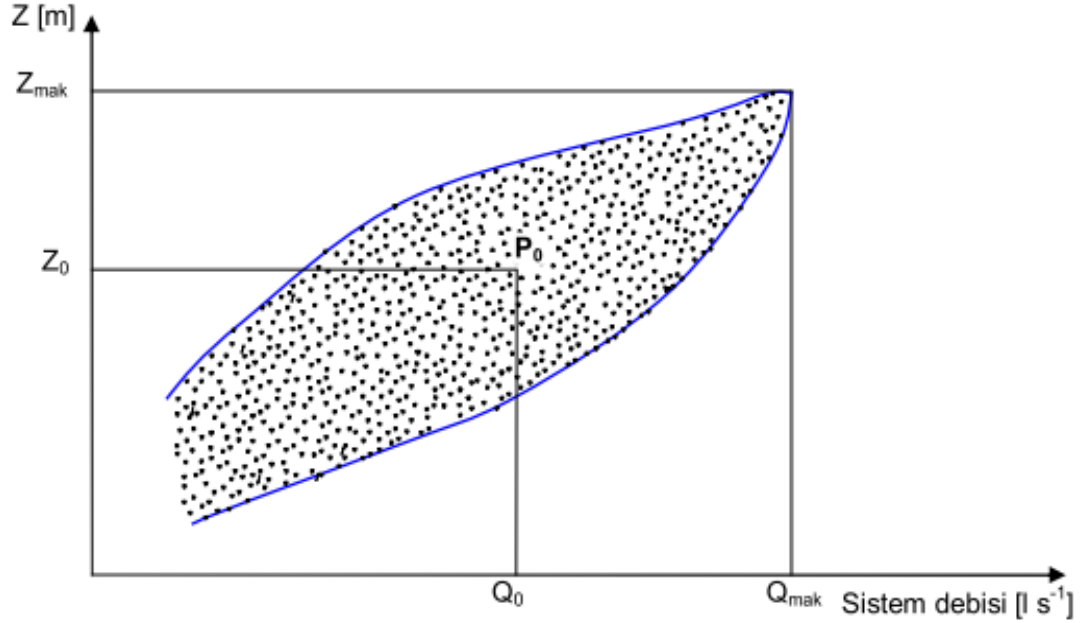
Bir konfigürasyon, o konfigürasyondaki tüm çalışan hidrantların basınç yükü açısından yeterli durumda olması için Eşitlik 3.22'yi sağlamış olması gerekmektedir.

$$(H_j)_r \geq H_{min} \quad (3.22)$$

Burada $(H_j)_r$, 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 3.22'nin 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 3.22'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 3.19'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 3.16'yı % 100 olarak sağlayan şebekenin kaynak yüksekliği Z_r 'yi vermektedir. Noktalar kümesinin alt

tarafındaki herhangi bir piyezometrik yükseklik değeri sistemde sağlandığında, hiçbir hidrant Eşitlik 3.16'daki belirtilen ilişkiyi sağlayamamaktadır (Bethery, 1990; Lamaddalena, 1997; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Barutçu, 2011).



Şekil 3.18. Bir sulama sisteminin hidrolik performansının temsili noktalarının şematik görünümü

Şekil 3.18'deki alt ve üst eğriler arasında kalan noktalar birleştirildiğinde konfigürasyonların basınç yönünden belirli bir yüzdesini temsil eden diğer eğrileri de elde etmek mümkündür. Tüm olası konfigürasyonların tamamının araştırılması, çok sayıda durumu ortaya koymaktadır. Bu ise aşağıdaki Eşitlikle 3.23 ile hesaplanabilir.

$$C_R^K = \frac{R!}{K!(R-K)!} \quad (3.23)$$

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. K açık hidrant sayısını ifade etmektedir (Eşitlik 3.24).

$$K = Q_r/d \quad (3.24)$$

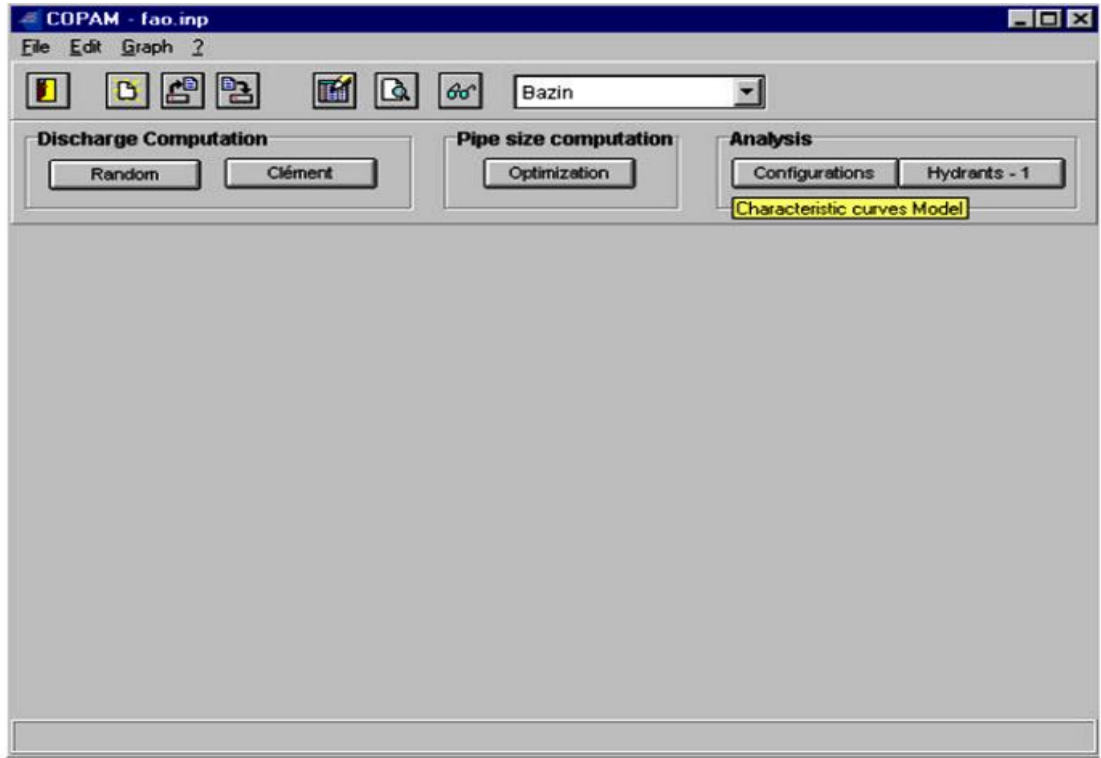
Burada; d, her bir hidrantın sağladığı nominal debiyi göstermektedir.

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 yüzdelere sahip olan noktaların birleştirilmesiyle (Q - Z) düzlemine çizilmektedir (Şekil 3.18). 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 (1 s^{-1})'in kaynak tasarım debisi olduğu düşünülürse; P_0 (Q_0, Z_0) şebekenin kesişim noktası (set point) 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 3.19). 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 (set point) (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 3.19. Karakteristik eğriler modülü

Çalışmada 50 ve 300 l s⁻¹ aralığında değişen sistem debisine göre eş zamanlı olarak çalışan 1000 rastgele hidrant konfigürasyonu belirlenmiştir. Araştırılan konfigürasyon sayısının fazla olması hesaplanan istek eğrilerinin doğruluğunu arttırmaktadır. Kaynağın deniz seviyesinden yüksekliği 140 m ve hidrantlarda istenen en düşük basınç 25 m olarak model içinde tanımlanmıştır.

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. Darcy -Weisbach eşitliği kullanılarak sulama sisteminde oluşan yük kayıpları Eşitlik 3.25'deki gibi hesaplanmıştır (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000).

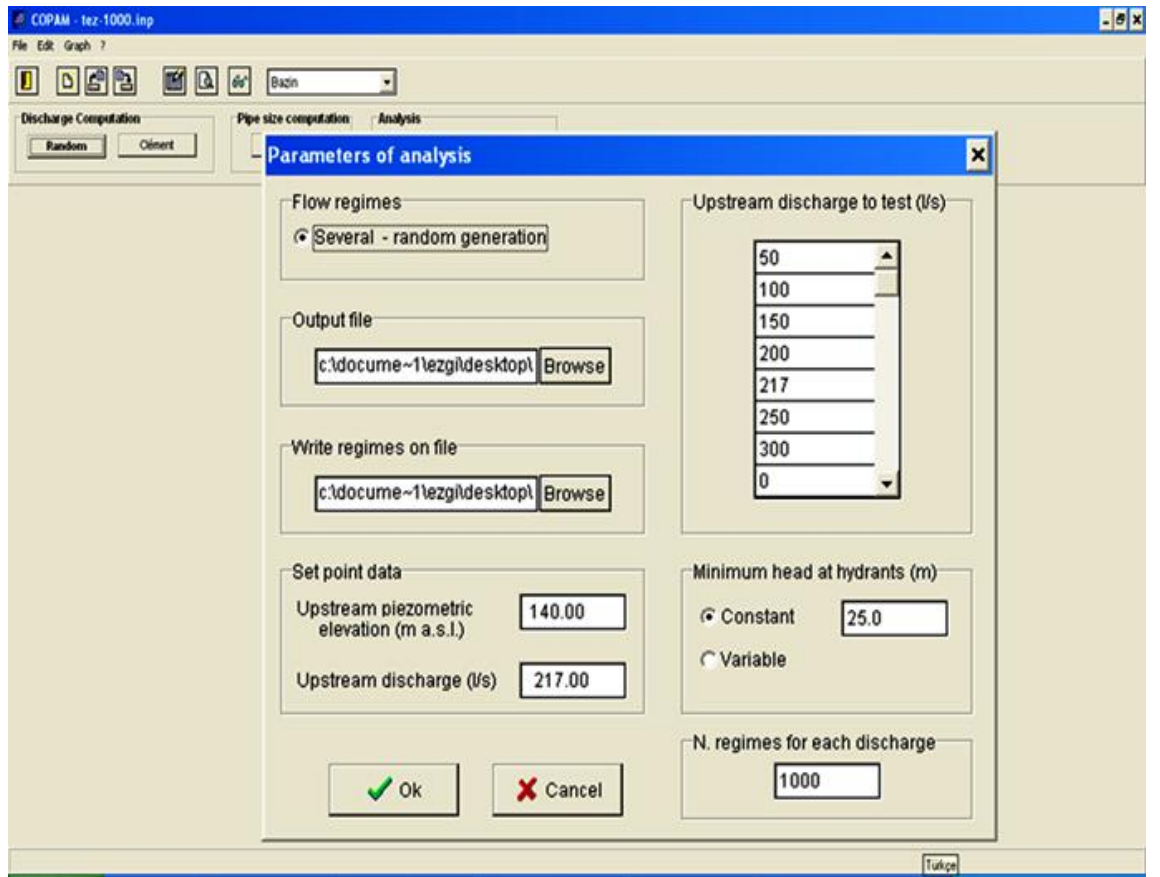
$$Y = 0.000857 (1 + 2\gamma D^{-0.5})^2 Q^2 D^{-5} L = u Q^2 L \quad (3.25)$$

Eşitlikte;

γ , Bazin'in pürüzlülük parametresi ($m^{0.5}$ ile ifade edilen),
 Q [$m^3 s^{-1}$], boruda akan debi,
 u [$m^{-1} s^2$], direncin boyutsal katsayısı,
 L [m], boru uzunluğudur.

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

Programda "Configuration" düğmesine tıklandığında Şekil 3.20'deki görüntü bilgisayar ekranına gelmektedir.



Şekil 3.20. Analiz parametreleri

Bir sulama sisteminin geniş bir sulama istek aralığı içerisinde karşılanan bir biçimde çalışabilme yeteneği önemli bir sistem özelliğidir (Hashimoto 1980; Hashimoto ve ark. 1982). Hidrantların yetersiz durumlarının meydana gelmesi başarısızlık olarak tanımlanmaktadır. Bir basınçlı sulama sistemindeki başarısızlık, uygun bir tarla sulaması için gerekli hidranttaki minimum basınç yükündeki düşüşe karşılık gelmektedir. Basınçlı sulama sistemlerinde her bir hidrantın güvenilirliği AKLA model yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu güvenilirlik hesaplaması Eşitlik 3.26 ile tanımlanmıştır.

$$\alpha_j = \frac{\sum_{r=1}^C I h_{j,r} I p_{j,r}}{\sum_{r=1}^C I h_{j,r}} \quad (3.26)$$

Burada;

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.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sulama Sisteminin Analizi

4.1.1. Kaynak yüksekliği (m) – debi (l s⁻¹) analizi

Analiz edilen sulama şebekesi, sınıflandırılmış karakteristik eğriler modeli (COPAM) ile analiz edilmiştir. Sulama şebekesi; 125 ha lık bir alanı sulayabilen 40 hidranta sahip istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemleri için tasarlanmıştır. Şebekenin debisi 217 l s⁻¹ dir. Mevcut kaynağın deniz seviyesinden yüksekliği 140 m dir (Şekil 4.1). Her hidranttaki gerekli minimum yük H_{min} 25 m'dir. COPAM ile hesaplanan sınıflandırılmış karakteristik eğriler Şekil 4.2' de verilmiştir.

The screenshot shows the 'Parameters of analysis' dialog box with the following settings:

- Flow regimes:** Several - random generation
- Output file:** c:\docume~1\ezgüldesktop\
- Write regimes on file:** c:\docume~1\ezgüldesktop\
- Set point data:**
 - Upstream piezometric elevation (m a.s.l.): 140.00
 - Upstream discharge (l/s): 217.00
- Upstream discharge to test (l/s):** 50, 100, 150, 200, 217, 250, 300, 0
- Minimum head at hydrants (m):** Constant (25.0), Variable
- N. regimes for each discharge:** 1000

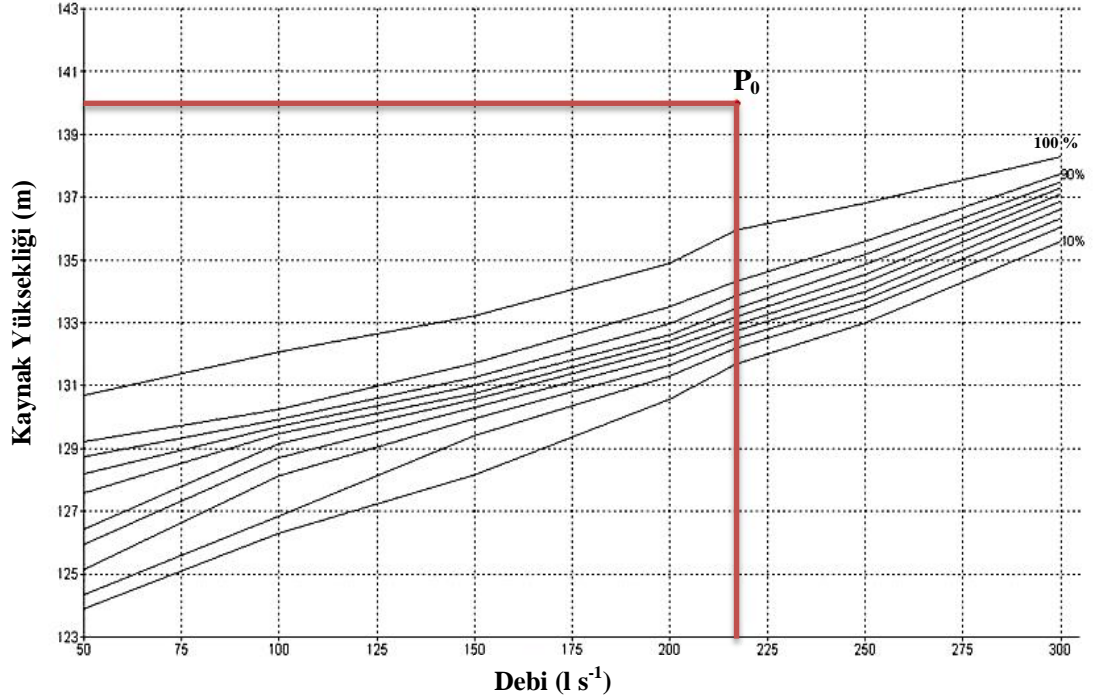
Şekil 4.1. COPAM sınıflandırılmış karakteristik eğriler modeli ve parametreleri

Sistem, farklı debilerde (50 l s^{-1} , 100 l s^{-1} , 150 l s^{-1} , 200 l s^{-1} , 217 l s^{-1} , 250 l s^{-1} , 300 l s^{-1}) ve yüksekliklerde (60 m, 70 m, 80 m, 90 m, 100 m, 110 m, 120 m, 130 m, 140 m) yeterlilik açısından oluşturulan konfigürasyonların % kaçını karşıladığını belirtebilmek için test edilmiştir. Bu test, sistemin konfigürasyonların tamamını karşıladığı koşulda daha az debi ve kaynak yüksekliğiyle optimum yeterlilik sağlanıp sağlanamayacağını ya da sistemin, konfigürasyonların yetersiz sayılabilecek bir kısmını karşıladığı koşulda sistem debisini ve kaynak yüksekliğini ne kadar arttırarak şebekenin yeterli duruma getirilebileceğini açıkça ortaya koymaktadır.

Şekil 4.2’de verilen grafik sulama sisteminin konfigürasyon analiz eğrilerini ortaya koymaktadır. Eğri mevcut sistem debisine (217 l s^{-1}) karşılık kaynak yüksekliği (140 m) için çizdirilmiştir. Mevcut verilere göre kesişim noktasının (set point) P_0 % 100’lük karakterislik eğrinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum, araştırılan konfigürasyonların tamamının karşılandığını göstermektedir.

Yani, araştırılan konfigürasyonların tamamının gereksinim duyduğu debinin tüm sistem debisi (217 l s^{-1}) tarafından %100 karşılandığı ve projede konfigürasyon açısından bir debi eksikliğinin olmadığı görülmektedir.

Konfigürasyon Analizi

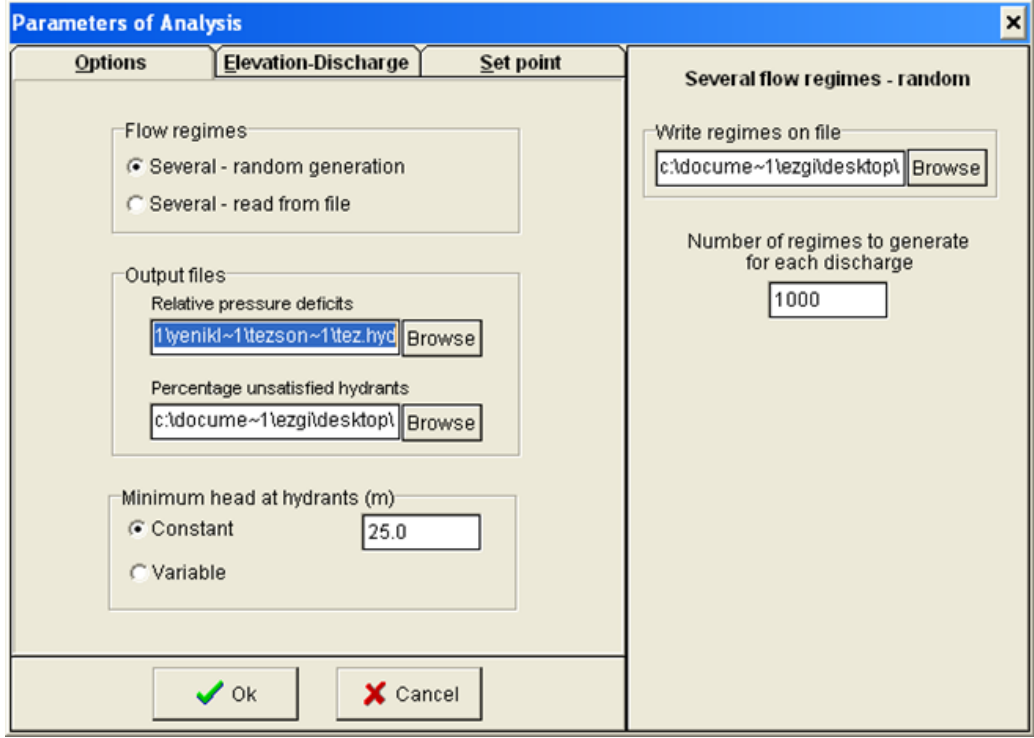


Şekil 4.2. Çalışma kapsamındaki karakteristik eğriler (1000 rastgele hidrant konfigürasyonu için hesaplanan)

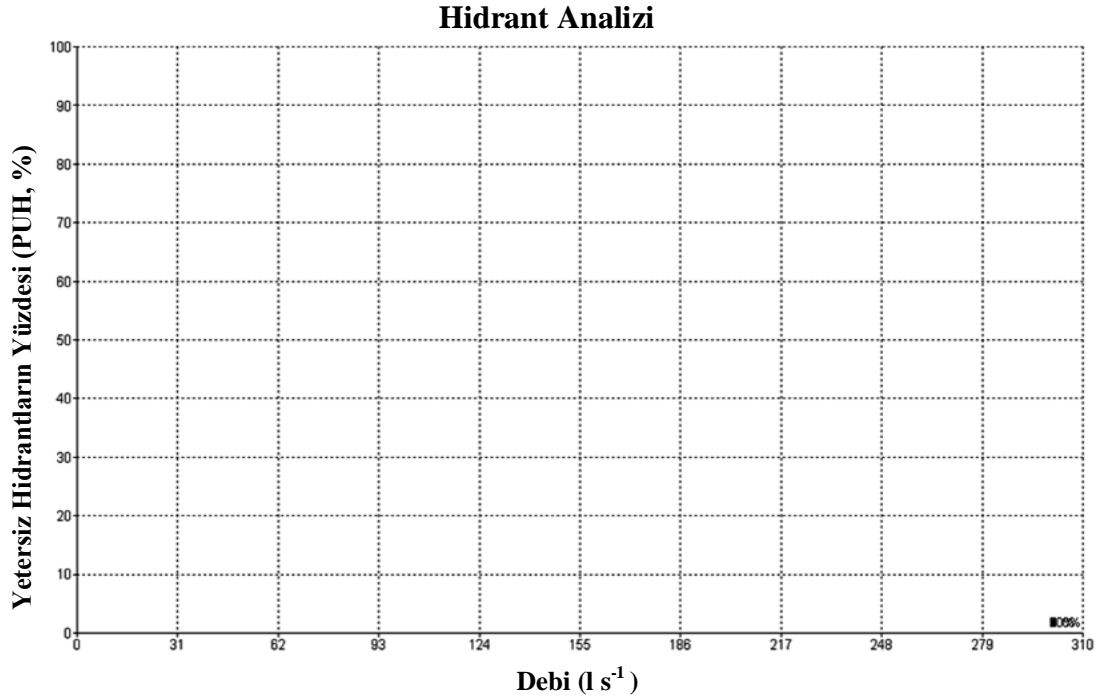
4.1.2. Hidrant analizi (yetersiz hidrantların % oranı (PUH) - debi (l s⁻¹))

Herhangi bir tasarım değişikiminin gerekli olup olmadığını anlamak için AKLA model kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3). Şekil 4.4 olasılık eğrileri verilen bir kaynağın debisine karşılık gelen yetersiz hidrantların %'si ile ilişkilidir. Bu grafik üzerinde oluşabilecek eğriler, sistemin mevcut debisi ile % 10'luk olasılık değeri ele alındığında tasarım debisine karşılık gelen yetersiz hidrantların yüzdesini göstermektedir.

Ancak Şekil 4.4'te görüldüğü gibi, analiz edilen sulama şebekesinde yetersiz hidrant olmadığı için, proje mevcut koşullarında yetersiz hidrantların yüzde olasılık eğrilerinin oluşmadığı görülmektedir. Buradan yetersiz hiçbir hidrantın olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durum Şekil 4.2 ve Şekil 4.4 ile desteklenmekte ve hidrantlar hesaba katılarak yapılan analizle de onaylanmaktadır (Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8).

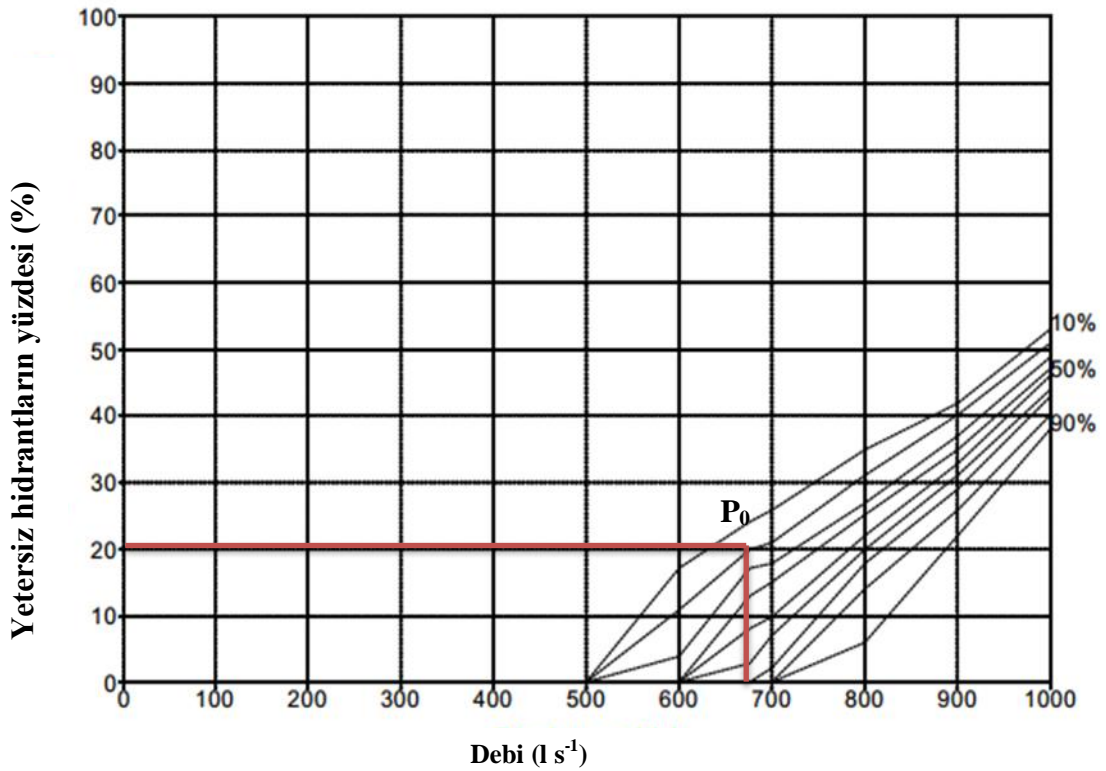


Şekil 4.3. COPAM Programının hidrant analizi için analiz parametreleri



Şekil 4.4. Yetersiz hidrantları yüzde olarak gösteren eğri

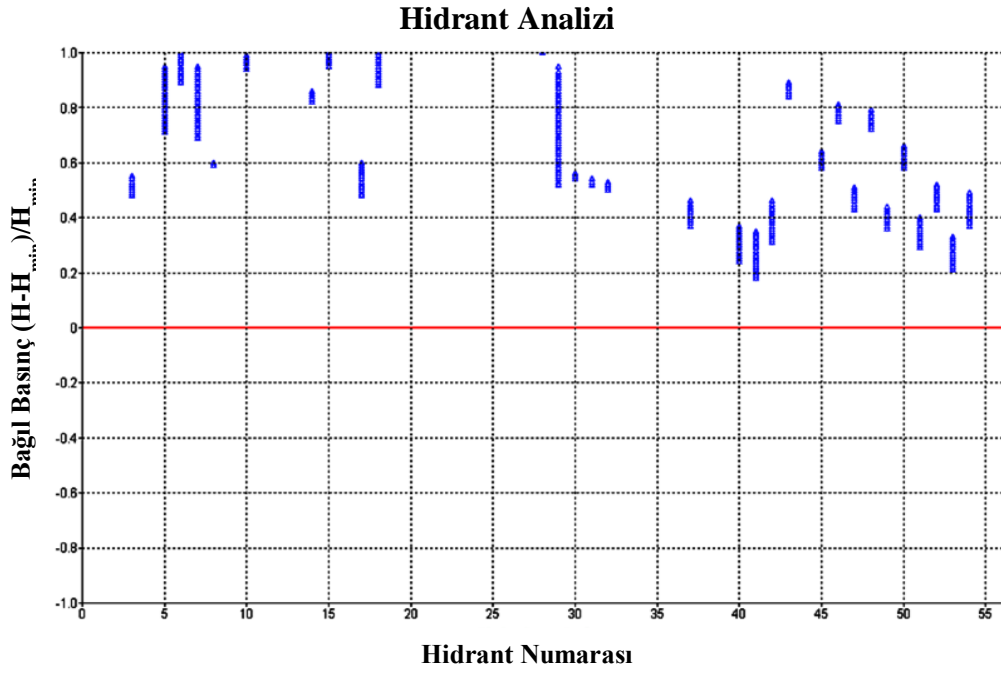
Bu durumu, Lamaddelena ve Sagardoy (2000) tarafından başka bir sulama sistemi üzerinde yapılan analiz sonucu olarak yetersiz hidrant yüzdesini gösteren grafik ile açıklamak mümkündür (Şekil 4.5). Çalışmada, uygulanan yöntem için % 10 sistem olasılık eğrisi temel olarak alınmıştır. Bu örnekte mevcut sistem debisi (675 l s⁻¹) ile Lamaddelena ve Sagardoy (2000) tarafından önerilen % 10'luk olasılık eğrisi kesiştirildiğinde kesişim noktasına karşılık gelen yetersiz hidrant yüzdesinin % 25 olduğu görülmektedir.



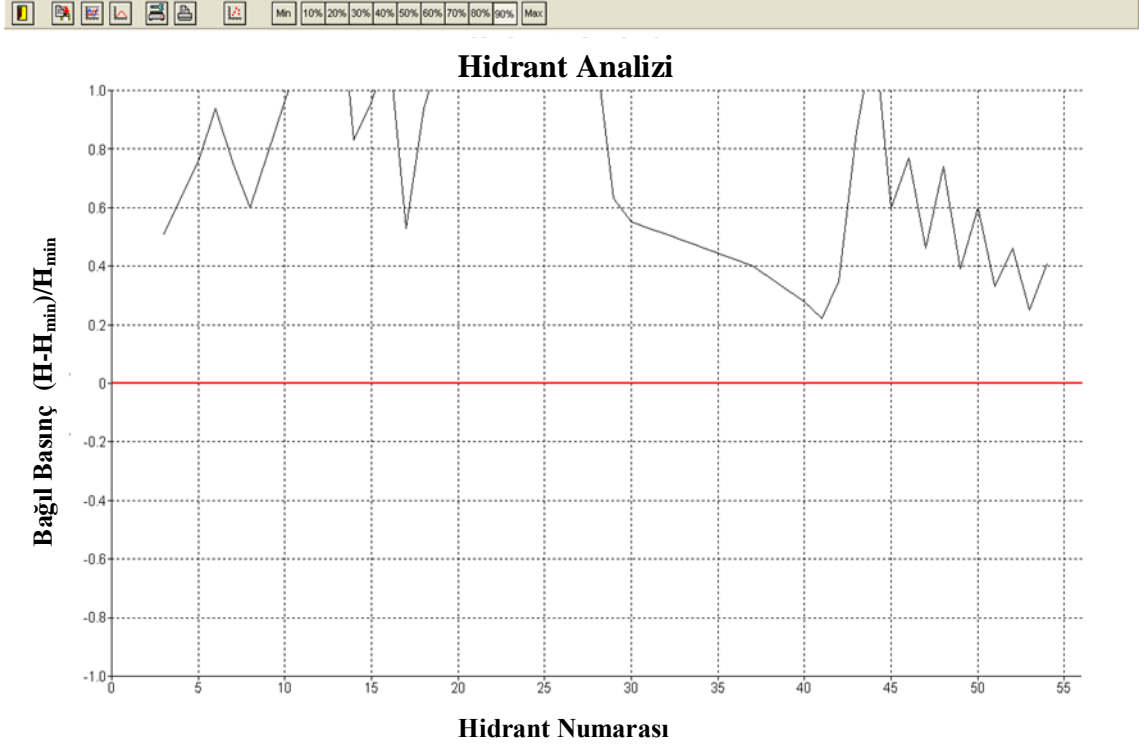
Şekil 4.5. Örnek bir projeden alınan yetersiz hidrantların yüzdesini (%) gösteren eğri

Şekil 4.6 yetersiz basınca maruz kalan hidrantları tanımlamaya ve yetersizliğin değişim aralığını değerlendirmeye yardımcı olur. Şekil 4.7 ise sonuçların % 10 olasılığı hariç tutularak elde edilir ve bir hidrantta bağlı basınç eksikliğinin olup olmadığına karar verilirken, sonuçların % 10 olasılığı hariç tutularak elde edilmiş eğri kullanılmaktadır. İki şekilde de tasarım debisi $Q= 217 \text{ l s}^{-1}$ ve kaynağın yüksekliği 140 m alınarak elde edilmiştir.

Şekil 4.6 ve 4.7’de hidrant numaralarına karşılık bağıl basınç değerleri verilmiştir. Şekil 4.6’da, sistemde varolan hidrant numaraları için oluşturulan noktalar bulutu, bağıl basınç değeri, sıfırın üzerinde ise o hidrantın basınç yönünden yeterli olduğunu, eğer sıfırın altında ise o hidrantın yetersizliğini gösterir. Noktalar -1.0’e yaklaştıkça yetersizlik artmaktadır. Şekil 4.6’da gösterildiği gibi, çalışmamızda tüm hidrantlar basınç yönünden yeterlidir. Bu durum Şekil 4.8’de verilen güvenilirlik testi ile de desteklenmektedir.



Şekil 4.6. Her bir hidranttaki bağıl basınç eksiklikleri



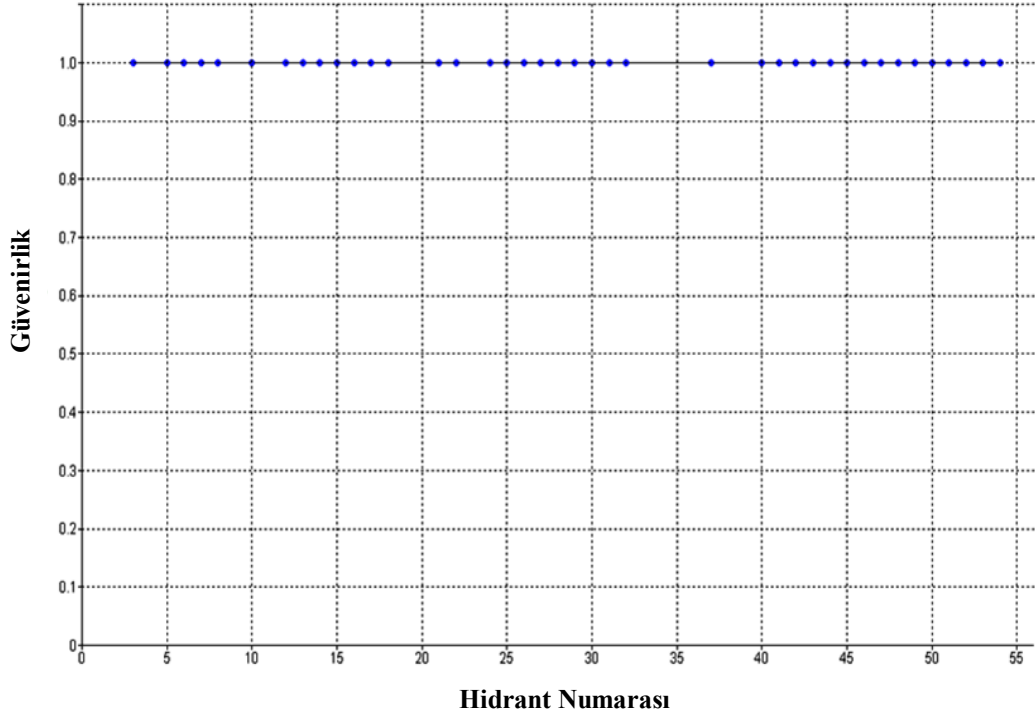
Şekil 4.7. Hidrant numaralarına karşılık gelen bağıl basınç

4.1.3. Güvenilirlik testi (güvenilirlik – hidrant numaraları eğrisi)

Önceki analizlerle birlikte, basınçlı sulama sistemi güvenilirliği de 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 4.8'de görüldüğü üzere çalışmada analiz edilen sulama şebekesinde bütün hidrantlar 1 değerini aldığından güvenilir çıkmaktadır.

Hidrant Analizi (Güvenirlilik)



Şekil 4.8. Güvenirlilik testi (217 l s^{-1} debide ve 1000 rastgele konfigürasyonda)

4.1.4. Farklı kaynak yüksekliklerinde hidrant analizi (yetersiz hidrantların % oranı (PUH) - debi (l s^{-1}))

Model 60 m'den 140 m'ye kadar değişen farklı deniz seviyesi yüksekliğindeki noktalar için Şekil 4.9'daki gibi çalıştırılarak ve % 10 luk olasılık eğrisi seçilerek Şekil 4.10 elde edilmiştir. Şekil 4.10'da kaynağın farklı deniz seviyesinden yükseklik değerleri ve % 10 luk yüksek bir PUH (yetersiz hidrantların yüzde temsili) oluşumu olasılığı için yetersiz hidrantların % değişimine karşılık debiyi göstermektedir. Bu şekil daha az bir PUH değeri elde etmek için kaynağın deniz seviyesinden yüksekliğini düşürmeye mi yoksa yükseltmeye mi gereksinim olduğuna ilişkin bilgi sağlamaktadır.

Kaynak debisi 217 l s^{-1} için PUH un tüm değişim aralığı 90 m'lik deniz seviyesi yüksekliğinde % 100 ile yaklaşık 130 m deniz seviyesinden yükseklikte % 0 arasındadır. Yani, kaynağın deniz seviyesinden yüksekliğinin, Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, 90 m olduğu durumda sulama şebekesindeki hidranların hepsinin basınç yönünden

yetersiz duruma geldiği, kaynağın yüksekliğinin yaklaşık 130 m olduğu durumda ise hidrantların hiç birinde basınç yönünden bir yetersizlik olmadığı belirtilebilmektedir. Bu sonuç, basınçtaki düşmenin hidrantlar üzerindeki etkisini göstermektedir.

Özet olarak, sulama sisteminin kaynak yüksekliğinin yaklaşık 130 m'de tasarlanmış olması durumunda bile mevcut şebeke debisi (217 l s^{-1}) ile tüm hidrantlarda yeterli basıncın sağlanabileceği anlaşılmaktadır.

Parameters of Analysis

Options Elevation-Discharge Set point

Upstream piezometric elevation (m a.s.l.)

Upstream discharges (l/s)

60 70 80 90 100 110 120 130 140 0 0

50 100 150 200 217 250 300 0 0 0 0

Several flow regimes - random

Write regimes on file

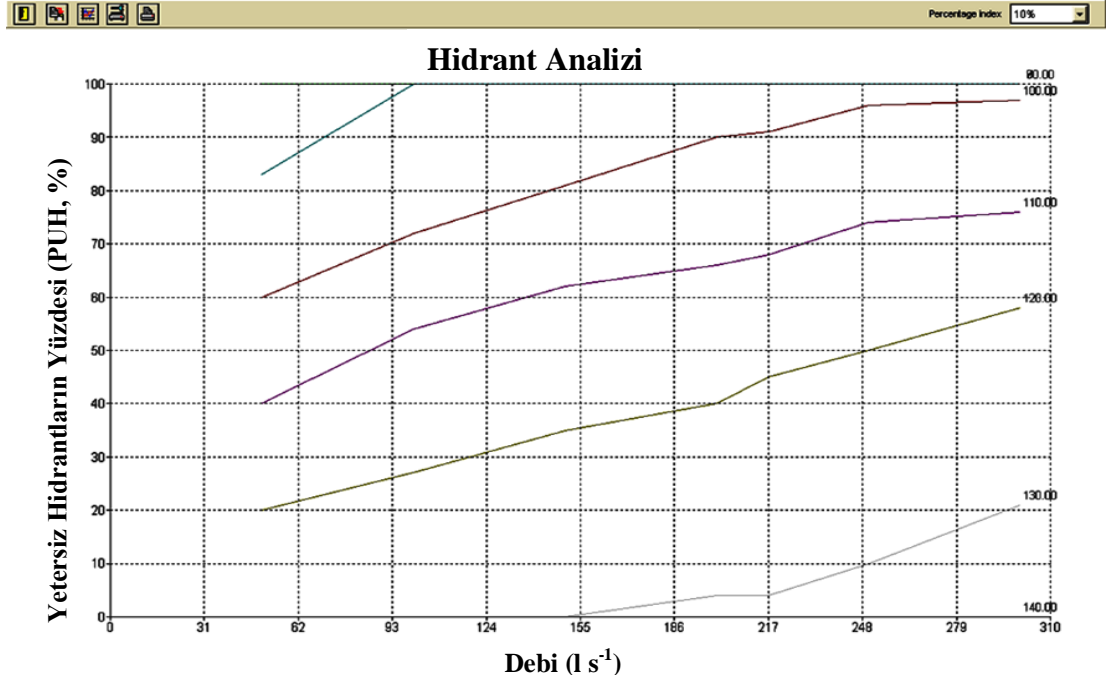
c:\docume~1\ezgi\desktop\ Browse

Number of regimes to generate for each discharge

1000

Ok Cancel

Şekil 4.9. COPAM sınıflandırılmış karakteristik eğriler modeli ve parametreleri

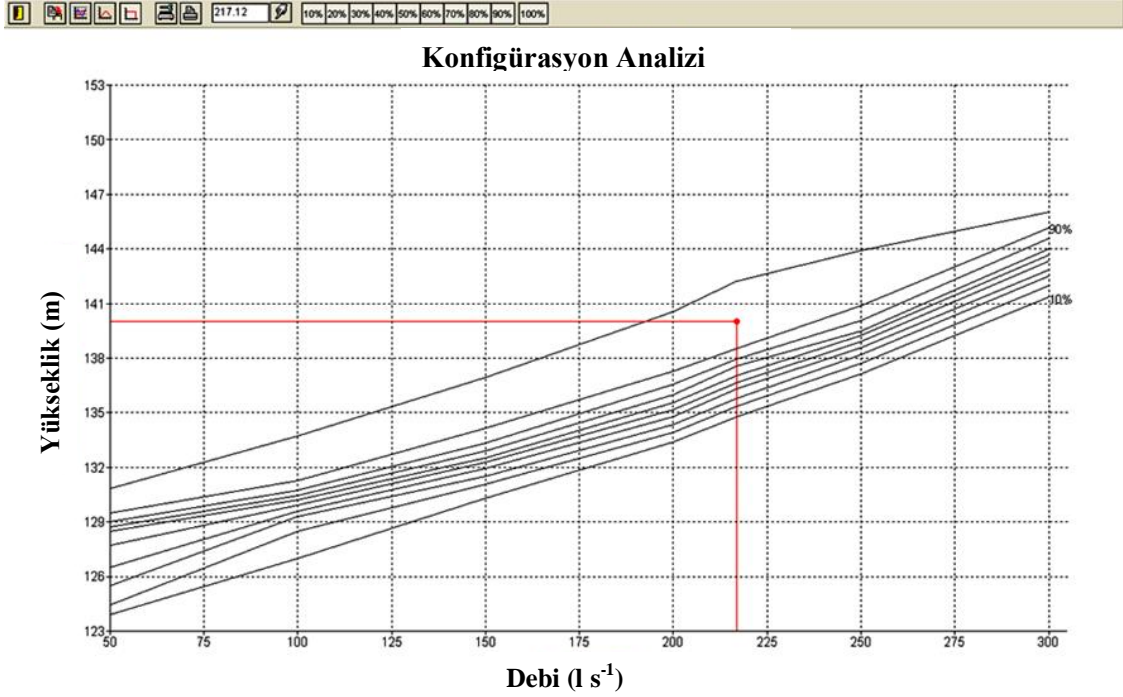


Şekil 4.10. Yetersiz hidrantların yüzde temsili (PUH, %) (kaynağın deniz seviyesinden yüksekliğinin 60 m'den 140 m'ye kadar olduğu durumlar için)

4.2. Alternatif Senaryo

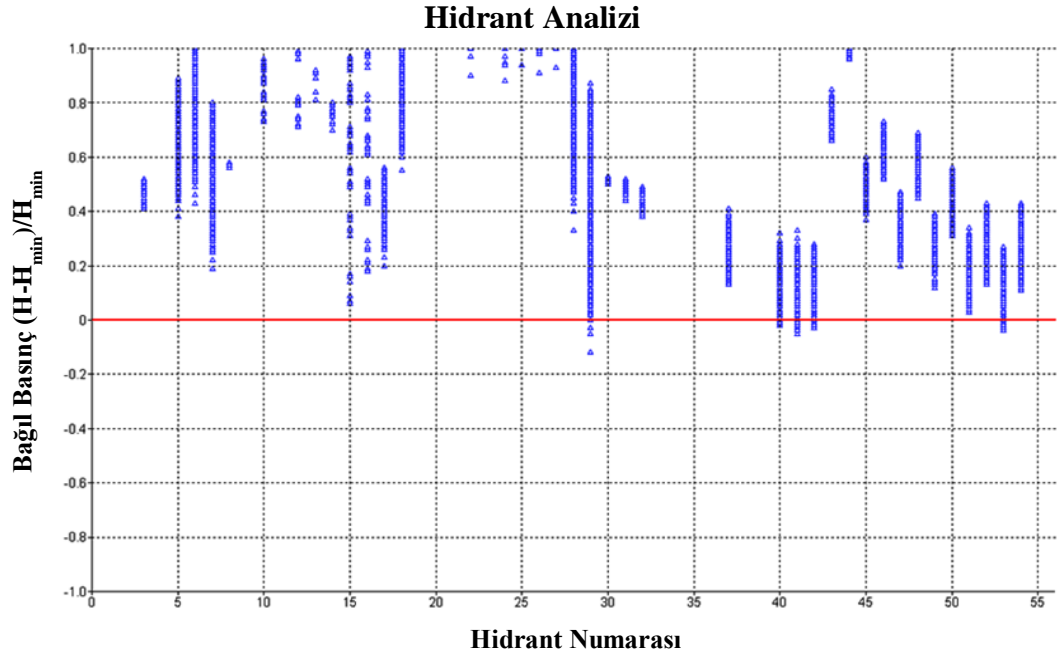
Analiz edilen sulama şebekesi için, alternatif bir senaryo olarak boru çapları COPAM programına seçtirilerek (hesaplanan boru çapları Ek 3'te verilmiştir) yeniden performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.11'de sistemin debisi ve yüksekliği 1000 rastgele hidrant konfigürasyonu için karşılaştırıldığında, şekilden de anlaşıldığı üzere, kesişim noktası (set point) P_0 'ın karakteristik eğrinin yaklaşık % 95'e düştüğü gözlenmektedir. Bu, araştırılan konfigürasyonların % 95'inin karşılandığı anlamına gelmektedir.

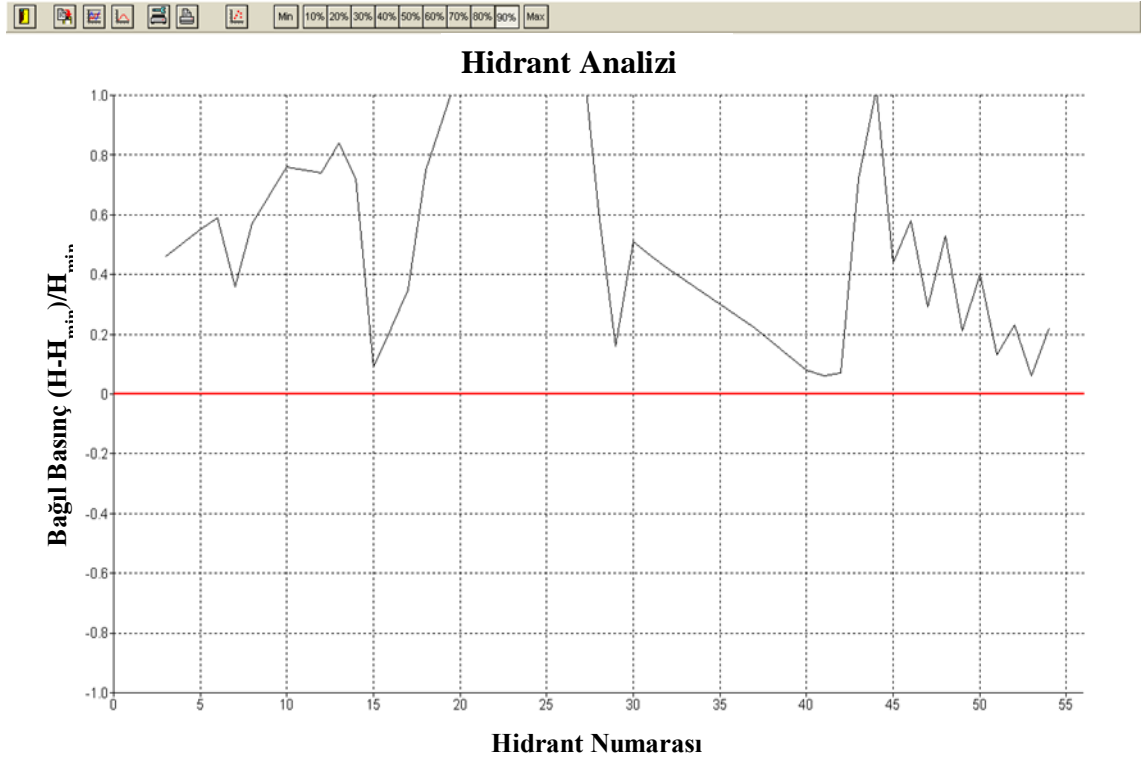


Şekil 4.11. Çalışma kapsamında karakteristik eğriler

Şekil 4.12 ve 4.13'te görülen yeni boru çaplarına göre hidrant analiz sonuçları elde edilmiştir. Şekil 4.12'de hidrant numaralarına karşılık bağıl basınç değerleri verilmiştir. Şekil 4.13 ise Şekil 4.12'deki sonuçların % 10 olasılığı hariç tutularak elde edilmiştir. İki şekilde de tasarım debisi $Q= 217 \text{ l s}^{-1}$ ve kaynağın yüksekliği 140 m alınarak elde edilmiştir. Şekil 4.12'de bağıl basınç değeri olan sıfırın altında yer alan hidrant yok denecek kadar azdır ve bu durumun % 10 olasılığı hariç tutularak oluşturulan Şekil 4.13'te bütün hidrantların bağıl basınçları sıfırın üzerinde olduğu belirtilmektedir. Bu durumda sistemde basınç yönünden yetersiz hidrant probleminin olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

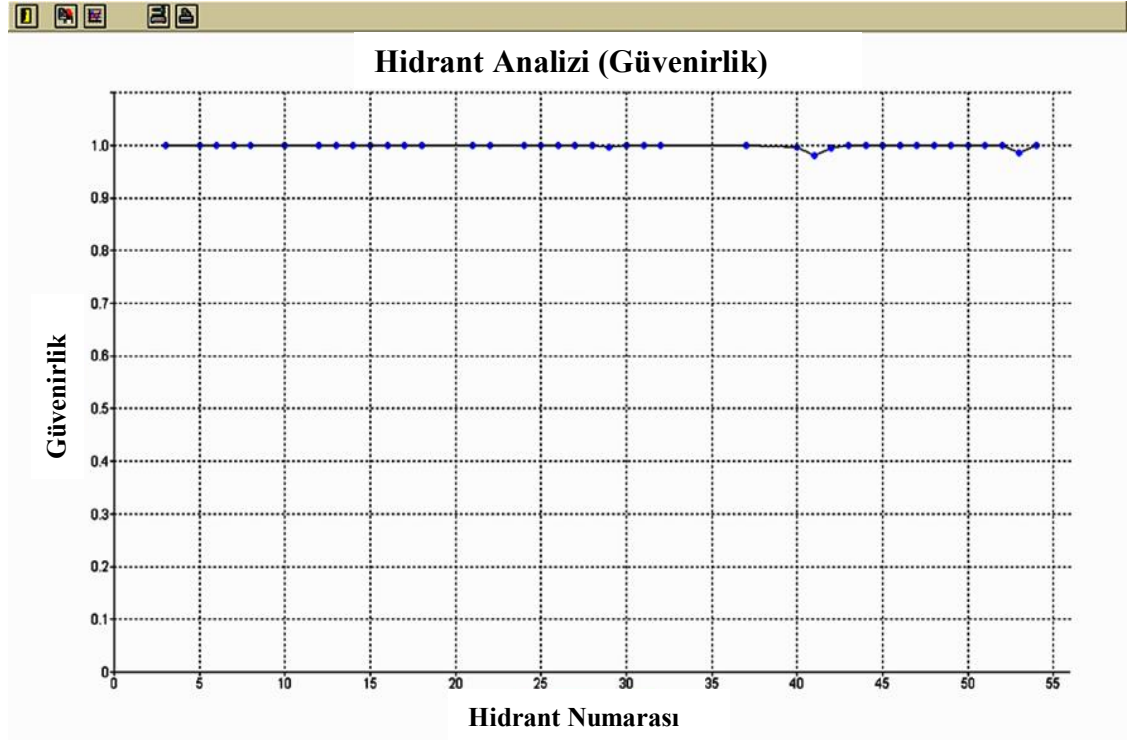


Şekil 4.12. Her bir hidranttaki bağıl basınç eksiklikleri (alternatif senaryo için)



Şekil 4.13. Hidrant numaralarına karşılık gelen bağıl basınç (alternatif senaryo için)

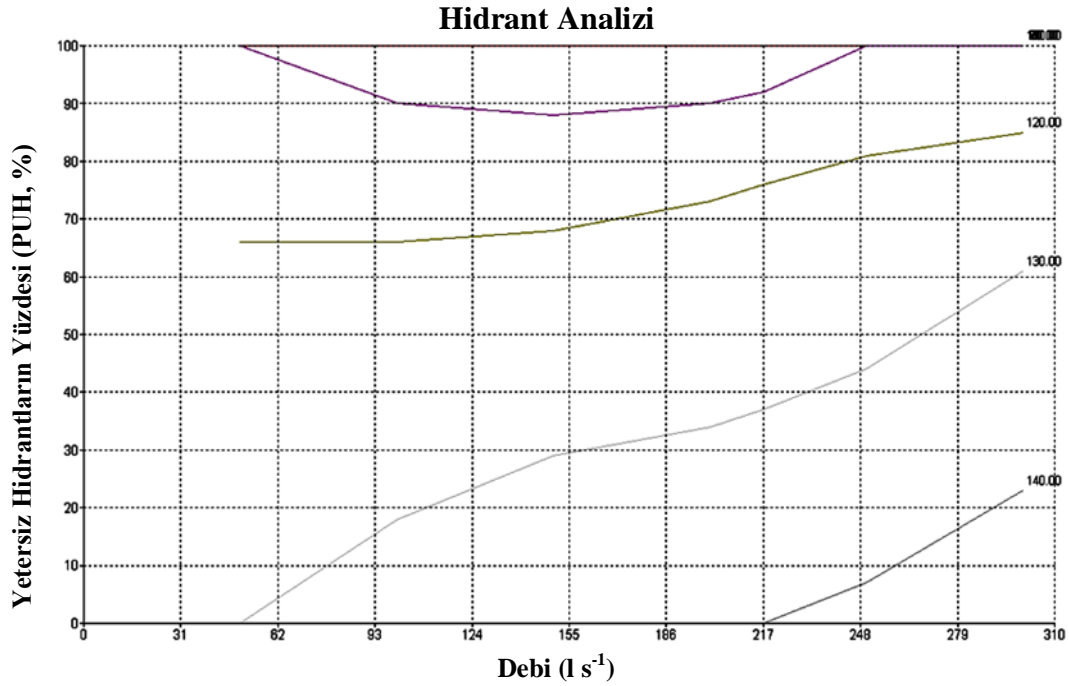
Alternatif senaryoya ilişkin 217 l s^{-1} debide ve 1000 rastgele konfigürasyondaki güvenilirlik analizi sonuçları Şekil 4.14'te görülmektedir. Hidrant güvenilirliklerinin grafik üzerindeki dağılımları incelendiğinde, hidrantların neredeyse tamamının % 100 güvenilirlikli olduğu ve bunların dışında kalan hidrantların da % 100'e oldukça yakın güvenilirlikte olduğu saptanmıştır. Güvenilirlik analizi sonuçlarına göre sistemde riskli hidrant olmadığı rahatlıkla belirtilebilir.



Şekil 4.14. Güvenilirlik testi (alternatif senaryo için)

Alternatif senaryo için, model 60 m'den 140 m'ye kadar değişen farklı deniz seviyesi yüksekliğindeki noktalar için çalıştırılarak ve % 10 luk olasılık eğrisi seçilerek Şekil 4.15 elde edilmiştir. Kaynak debisi 217 l s^{-1} için PUH'un tüm değişim aralığı 110 m'lik deniz seviyesi yüksekliğinde % 100 ile 140 m deniz seviyesinden yükseklik ile % 0 arasındadır. Yani, kaynağın deniz seviyesinden yüksekliğinin, Şekil 4.15'te görüldüğü gibi, 110 m olduğu durumda sulama şebekesindeki hidrantların hepsinin basınç yönünden yetersiz duruma geldiği, kaynak yüksekliğinin 140 m olduğu durumda ise hidrantların hiç birinde basınç yönünden bir yetersizlik olmadığı belirtilebilmektedir. Bu sonuç, alternatif senaryoda sulama şebekesinin mevcut boru çapları kullanılmayıp

COPAM'a seçtirilerek aynı sistem debisi ve kaynak yüksekliğinde seçilen daha küçük çaplı borular ile yapılan hidrant analizinde 140 m kaynak yüksekliğinde yetersiz hidrant olmadığı ortaya konulmaktadır.



Şekil 4.15. Yetersiz hidrantların yüzdesini temsil eden eğriler (farklı yükseklik değerleri ve 1000 rastgele hidrant konfigürasyonu için)

Programda araştırılan mevcut sulama sisteminin boru çapları kullanmayıp, yeni boru çapları seçtirildiğinde, mevcut boru çaplarından daha küçük çaplar bulunduğu ve bulunan bu küçük çaplı borular ile hemen hemen aynı analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuç, sistemin maliyet değerlendirilmesi açısından önemli bir bulgudur.

Eğer programda hesaplanan boru çapları ile sistem tasarlanıp, uygulama yapılsaydı, sistemin aynı performansı göstereceğini oluşturan eğrilerden anlaşıldığı üzere belirtmek mümkündür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Su kaynaklarının azalmasıyla birlikte ülkemizde borulu sulama sistemlerine doğru bir yönelme söz konusudur. Bu sistemlerden daha verimli yararlanabilmek için sistemin performans analizi büyük önem taşımaktadır. Bu amaca yönelik, günümüzde çok sayıda model ve bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir.

İstek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekelerinin hidrant kullanım sıklığı ve su kullanım süreleri bilinmediğinden bu tarz sistemlerin performans analizi diğer sistemlere oranla daha büyük önem taşımaktadır. Çözülmesi oldukça zor olan bu problemin çözümüne yönelik olarak bilgisayar modellerinin kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, U.Ü. Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekesinin, sistem debisi, hidrantlardaki basınç yükü, boru çapları açısından performansını analiz edip eksikliklerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

COPAM programı kullanılarak yapılan U.Ü. Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama şebekesinin performans analiz sonuçları aşağıda özetlenmiştir;

1. Sistem, kaynak yüksekliği-debi verilerine göre değerlendirildiğinde sistemin kesişim noktası olan debi değerinde (217 l s^{-1}) %100'lük verim ile çalışabildiği belirlenmiştir.
2. Çalışmada test edilen hidrant konfigürasyonlarının hiçbirinde yetersiz hidrant olmadığı saptanmıştır.
3. Sistem yeterliliği hidrant düzeyindeki basınç yönünden incelendiğinde, sistemde basınç yetersizliğinden kaynaklanan bir soruna rastlanmamıştır.

4. Sulama sisteminde yer alan hidrantların güvenilirlikleri test edildiğinde iyileştirmeye gereksinim duyulan her hangi bir hidranta rastlanmamıştır.
5. Sistemin farklı kaynak yükseklikleri için yapılan testlerinde de diğer testleri destekleyen bir şekilde sistemin mevcut olan durumunda karşılamayan hidrant bulunmadığı ortaya koyulmuştur.
6. İncelenen sistem sanki yeniden tasarlanmış gibi COPAM programıyla sistemin mevcut diğer verilerine göre boru çapları hesaplatıldığında, daha küçük çaplı borular kullanılarak da sistemde yetersiz hidrant problemi olmadan performans sağlanabileceği çarpıcı bir sonuç olarak saptanmıştır. Böylece, incelenen sulama şebekesinin performans kaybı olmadan boru çapları bakımından daha düşük yatırım maliyetiyle kurulabileceğini belirtmek mümkündür.

İstek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama şebekelerinin performans analizine yönelik olarak geliştirilen COPAM modelinin, sistem hidrolik performansını belirlemede ve sistem tasarımında oldukça kullanışlı olduğu belirtilebilir.

5.2. Öneriler

Ülkemizde, özellikle yüksek yatırım maliyetlerine neden olan büyük ölçekli istek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemlerinin proje tasarımlarında, birçok değişkenin meydana getirdiği olasılıkların simülasyonuna olanak tanıyan COPAM modelinden yararlanılabilir ve bu şekilde uygun sistem tasarımları gerçekleştirilebilir.

COPAM modelinin, tasarım aşamasında olan sistemlerin tasarımında kullanılmasının yanında, mevcut sulama sistemlerinin performans iyileştirilmelerine yönelik kullanılma potansiyeli de bulunmaktadır. Performans analizlerinin sistemlerin iyileştirilmelerine katkıda bulunarak hedeflenen su dağıtım performanslarına ulaşmada yararlı olacağından, mevcut sulama sistemlerinde de bu araçtan yararlanılması önerilmektedir.

Bu tarz analizlerin bilgisayar ortamında çok hızlı bir şekilde yapılarak sonuçların elde edilmesi, tasarım ve analiz işlerine ayrılan süre ve iş gücünden tasarrufa olanak sağladığından, basınçlı sulama sistemi tasarlayan ve işleten kuruluşlara önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ait Kadi, M., Abdellaoui, R., Oulhaj, A., Essafi, B. 1990.** Design of large-scale collective sprinkler irrigation projects for on demand operation: A holistic approach. Vol 1d. XIV Congress of ICID, Rio de Janeiro, Brazil. pp. 59-78.
- Aküzüm, T., Öztürk, F. 1996.** Topraksu yapıları, s. 492-495.
- Aksoy, E., Özsoy, G., Dirim, M.S., Tümsavaş, Z. 2001.** Arazi örtü/arazi kullanım haritalamada uzaktan algılama ve CBS tekniklerindeki son gelişmeler: U.Ü. kampüs alanı örneği. Gap II. Tarım Kongresi Bildirisi. Şanlıurfa, 24-26 Ekim 2001.
- 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.
- Anonim, 2007.** Kuraklık Eylem Planı. Bursa İl Özel İdaresi. Bursa
- Anonim, 2012a.** Devlet Su İşleri, Toprak ve Su Kaynakları, <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, 2012.
- Anonim, 2012b.** DSİ Genel Müdürlüğü 2012 Faaliyet Raporu. Ankara.
- Anonim, 2014a.** Suyun kullanım alanları ve su kıtlığı. http://www.akifer.com.tr/images/tinyMceBrowser/files/Suyun_Kullanim_Alanlari.pdf (Erişim tarihi: 2014).
- Anonim, 2014b.** [http://tr.wikipedia.org/wiki/Bursa_\(il\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/Bursa_(il)) (Erişim tarihi: 25.06.2014).
- Anonim, 2014c.** <http://www2.dsi.gov.tr/bolge/dsi1/bursa.htm> (Erişim tarihi: 02.03.2014).
- Barutçu, F. 2011.** Basınçlı sulama sistemlerinde değişken hızlı pompalarla enerji kazanım olanaklarının araştırılması. Doktora Tezi. ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana.
- Bethery, J. 1990.** Réseaux Collectifs Ramifiés Sous Pression, Calcul et Fonctionnement. Études Hydraulique Agricole n°6. CEMAGREF, Antony.
- Beyribey, M., Balaban, A. 1992.** Basınçlı sulama dağıtım sistemlerinin optimizasyonu, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No. 1248, Ankara.
- Calejo, M.J., Teixeira, J.L., Pereira, L.S. ve Lamaddalena, N. 2005.** Modelling the Irrigation Demand in a Pressurized System. Proceedings of the EFITA/WCCA 2005 Joint Conference on Information Technologies in Agriculture, Food and Natural Resources, Vila Real, Portugal, 765-770.

Calejo, M.J., Lamaddalena, N., Teixeira, J.L. and Pereira, L.S. 2008. Performance analysis of pressurized irrigation systems operating ondemand using flow-driven simulation models. *Agricultural Water Management*, 95:154-162.

Candoğan, B.N. 2009. Soya fasulyesinin su-verim ilişkileri. Doktora Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Bursa.

Clément, R. 1966. Calcul des Débits Dans les Réseaux D'irrigation Fonctionnant à la Demande. *La Houille Blanche* 5: 553-575.

CTGREF, 1979. Programme ICARE—Calcul des Caractéristiques Indicées. Note Technique 6, CTGREF Division Irrigation, Aix-en-Provence.

Çakmak, B., Aküzüm, T. 2006. Türkiye’de tarımda su yönetimi, sorunlar ve çözüm önerileri. TMMOB Su Politikaları Kongresi. Ankara.

Çevik, B., Tekinel, O. 1995. Sulama şebekeleri ve işletme yöntemleri. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı, Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, Adana.

Değirmenci, H. 1990. Uludağ Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi arazisinin drenaj sorunları ve çözüm yolları üzerinde bir inceleme. Yüksek Lisans Tezi. UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kültürteknik Anabilim Dalı, Bursa.

Değirmenci, H. 2008. Sulama yönetimi ve sorunları. TMMOB 2.Su Politikaları Kongresi. Ankara.

Demir, A.O., Göksoy, A.T., Büyükcangaz, H., Turan, Z.M., Köksal, E.S. 2006. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. *Irrig Sci.*, 24: 279–289.

D’Urso, G. 2001. Simulation and management of on-demand irrigation systems. PhD thesis. Wageningen University, The Netherlands.

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*, 0733-9437/2009/4-421–430.

Hashimoto T. 1980. Robustness, Reliability, Resiliency and Vulnerability Criteria for Planning Water Resources Systems. Ph.D. Dissertation, Cornell University.

Hashimoto T., Stedinger J.R. and Loucks D.P. 1982. Reliability, resilience and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation. *Water Resources Research* 18(1): 14-20.

Hidalgo, M, A, M., Alandi, P, P., Alvarez, F, J., Martin-Benito, T, M, J. 2008. Calibration of on-demand irrigation network models. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, January-February, 10,1061/ ASCE,0733-9437,134:1,36

Katkat, V., Ayla, F., Güzel, İ. 1984. U.Ü. Zir. Fak. Uygulama ve araştırma çiftliği arazisinin toprak etüdü ve verimlilik durumu. U.Ü. Zir. Fak. Dergisi Cilt:3, Bursa.

Khadra, R., Lamaddalena, N., Inoubli, N. 2013. Optimization of on demand pressurized irrigation networks and on-farm constraints. *Procedia Environmental Sciences* 19 (2013) 942 – 954.

Korukçu, A., Yazgan, S., Gündoğdu, K. 1989. Bursa ve yöresinde su kaynaklarına ilişkin sorunlar. Marmara Bölgesinde Tarımın Verimlilik Sorunları Sempozyumu, 25-27 Ekim 1997, Bursa. Milli Prodüktivite Merkezi Yay. No:387, Ankara. s. 109-119.

Labye, Y. 1981. Iterative discontinuous method for networks with one or more flow regimes. In: *Proceedings of the International Workshop on Systems Analysis of Problems in Irrigation, Drainage and Flood Control*. New Delhi. 30 November – 14 December. pp. 31-40.

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, pp: 6.

Lamaddalena, N., 1997. Integrated simulation modeling for design and performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems. PhD, Dissertation. Technical University of Lisbon, Portugal, 210s.

Lamaddalena, N., Sagardoy, J.A., 2000. Performance analysis of ondemand pressurized irrigation systems. FAO Irrigation and Drainage Paper No 59, Roma, 132s.

Lamaddalena, N., Pereira, L.S. 2007a. Pressure-driven modeling for performance analysis of irrigation systems operating on demand. *Agricultural Water Management* 90: 36-44.

Lamaddalena, N., Pereira, L.S. 2007b. Assessing the impact of flow regulators with a pressure-driven performance analysis model. *Agricultural Water Management* 90: 27-35.

Lamaddalena, N., Khadra, R., Tlili, Y. 2011. Reliability-Based pipe size computation of on-demand irrigation systems. *Water Resources Management*, 26:307–328.

Lejano, P, R. 2006. Optimizing the layout and design of branched pipeline water distribution systems. *Irrigation and Drainage Systems*, 20: 125–137.

Moreno, M. A., Planells, P., Ortega, J. F., Tarjuelo, J. M. 2005. Problems in the on-demand irrigation networks design. ICID 21st European Regional Conference 15-19 May 2005 Frankfurt (Oder) and Slubice - Germany and Poland.

Moreno, M. A., Planells, P., Ortega, J. F., Tarjuelo, J. M. 2007. New methodology to evaluate flow rates in on-demand irrigation networks. *Journal Of Irrigation and Drainage Engineering*, May-August, 10.1061/0733-9437,133:4 (298).

Özdemir, K. 2009. Aydın ilindeki sulama birliklerinin faaliyetlerinin değerlendirilmesi ve etkinliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, ADÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Aydın.

Pedras, C.M.G., Pereira, L.S., Gonçalves, J.M. 2008. A decision support system for design and evaluation of microirrigation systems. *Agricultural Water Management* 96: 691-701.

Pereira, L.S., Colejo, M.J., Lamaddalena, N., Douieb, A., Bounoua, R. 2003. Design and performance analysis of low pressure irrigation distribution systems. *Irrigation and Drainage Systems* 17: 305–324

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, Paper No: 022192.

Planells, P., Tarjuelo, J.M., Ortega, F., Casanova, I. 2001. Design of water distribution networks for on-demand irrigation. *Irrigation Science* 20: 189-201

Planells, P., Ortega, J.F. and Tarjuelo, J.M. 2007. Optimization of irrigation water distribution networks, layout included. *Agricultural Water Management*, 88:110–118.

Rodríguez Díaz, J.A., López Luque, R., Carrillo Cobo, M.T., Montesinos, P., and Camacho Poyato, E. 2009. Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks. *Biosystems Engineering*, 104(4):552-561

Rossman, L. 2000. Epanet 2 user's manual, Environmental Protection Agency, Cincinnati.

Sefa, S. 1983. Bilecik, Bursa, Kütahya yöresi kuru ve sulanabilir şartlarda kuru soğanın azotlu ve fosforlu gübre isteği ile Olsen Fosfor Analiz Metodu'nun kalibrasyonu. Eskişehir Bölge Toprak su Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları No:173, Eskişehir, s.1-47.

Tuncay, H. 1994. Su Kalitesi (I. Basım), Ege Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 512, İzmir.

USSLS, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook* No: 60, USA, 160 p.

Zaccaria, D., Neale, C.M. 2014. Modeling delivery performance in pressurized irrigation systems from simulated peak-demand flow configurations. *Irrigation Science* DOI [10.1007/s00271-014-0426-4](https://doi.org/10.1007/s00271-014-0426-4)

EK 2

Sınıflandırılmış Karakteristik Eğrilerin Oluşturulmasında Kullanılan Mevcut Veriler
(Uludağ Üni. Ziraat Fakültesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Sulama Sistemi)

Bölüm Numarası	Başlangıç Noktası	Bitiş Noktası	Sulanan Alan (ha)	Hidrant Debisi ($l s^{-1}$)	Uzunluk (m)	Deniz Seviyesinden Yükseklik (m)	Boru Çapı (mm)
1	0	1	0,00	0,00	538,18	98,80	450
2	1	2	0,00	0,00	1,00	98,80	450
3	2	3	3,50	10,00	249,54	98,70	315
4	3	4	0,00	0,00	189,72	98,90	315
5	4	5	2,50	5,00	268,02	88,50	160
6	5	6	5,00	10,00	95,00	83,30	160
7	6	7	5,00	10,00	145,00	86,20	110
8	2	8	2,50	5,00	10,00	97,70	250
9	8	9	0,00	0,00	136,74	90,00	250
10	9	10	4,30	10,00	50,00	87,80	225
11	10	11	0,00	0,00	214,70	78,30	225
12	11	12	5,00	10,00	10,00	77,90	260
13	12	13	5,00	10,00	213,09	71,10	110
14	9	14	4,50	10,00	123,42	89,60	110
15	11	15	4,50	10,00	255,22	84,50	160
16	15	16	5,00	10,00	170,00	77,90	110
17	4	17	5,00	10,00	10,00	97,30	315
18	17	18	5,00	10,00	205,00	85,20	250
19	18	19	0,00	0,00	164,40	74,60	250
20	19	20	0,00	0,00	231,18	71,50	225
21	20	21	5,00	10,00	199,42	67,80	225
22	21	22	2,50	5,00	386,55	63,90	225
23	22	23	0,00	0,00	1,00	63,90	225
24	19	24	5,00	10,00	10,00	74,20	160
25	24	25	5,00	10,00	210,00	68,40	110
26	20	26	2,50	5,00	10,00	71,20	125
27	26	27	4,00	10,00	135,00	67,90	110

Bölüm Numarası	Başlangıç Noktası	Bitiş Noktası	Sulanan Alan (ha)	Hidrant Debisi (l s ⁻¹)	Uzunluk (m)	Deniz Seviyesinden Yükseklik (m)	Boru Çapı (mm)
28	23	28	5,00	10,00	230,00	75,60	160
29	28	29	5,00	10,00	188,23	86,40	125
30	1	30	3,60	10,00	160,00	98,80	450
31	30	31	4,00	10,00	173,51	99,00	450
32	31	32	5,00	10,00	200,00	99,20	450
33	32	33	0,00	10,00	137,19	90,80	400
34	33	34	0,00	0,00	260,81	97,00	400
35	34	35	0,00	0,00	368,41	100,40	400
36	35	36	0,00	0,00	242,78	101,38	400
37	36	37	4,30	10,00	278,00	100,80	355
38	37	38	0,00	0,00	274,01	102,80	315
39	38	39	0,00	0,00	211,36	104,40	250
40	39	40	5,00	10,00	251,00	102,80	225
41	40	41	2,00	5,00	207,02	103,40	160
42	41	42	4,00	10,00	199,77	98,80	125
43	33	43	4,00	10,00	10,00	90,30	160
44	43	44	5,00	10,00	140,00	80,00	110
45	34	45	4,00	10,00	10,00	96,40	160
46	45	46	5,00	10,00	100,00	90,80	110
47	35	47	3,80	10,00	10,00	99,60	160
48	47	48	5,00	10,00	142,39	90,60	110
49	36	49	2,50	5,00	10,00	101,30	125
50	49	50	5,00	10,00	87,08	94,70	110
51	38	51	2,50	5,00	10,00	102,40	160
52	51	52	5,00	10,00	105,00	97,70	110
53	39	53	4,50	5,00	10,00	104,00	125
54	53	54	2,50	5,00	110,00	99,60	110

EK 3

COPAM Tarafından Belirlenen Boru Çapları ile Sınıflandırılmış Karakteristik Eğrilerin Oluşturulmasında Kullanılan Veriler (Uludağ Üni. Ziraat Fakültesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Sulama Sistemi)

Bölüm Numarası	Başlangıç Noktası	Bitiş Noktası	Sulanan Alan (ha)	Hidrant Debisi ($l s^{-1}$)	Uzunluk (m)	Deniz Seviyesinden Yükseklik (m)	Boru Çapı (mm)
1	0	1	0,00	0,00	538,18	98,80	450
2	1	2	0,00	0,00	1,00	98,80	315
3	2	3	3,50	10,00	249,54	98,70	315
4	3	4	0,00	0,00	189,72	98,90	250
5	4	5	2,50	5,00	268,02	88,50	160
6	5	6	5,00	10,00	95,00	83,30	125
7	6	7	5,00	10,00	145,00	86,20	110
8	2	8	2,50	5,00	10,00	97,70	225
9	8	9	0,00	0,00	136,74	90,00	225
10	9	10	4,30	10,00	50,00	87,80	160
11	10	11	0,00	0,00	214,70	78,30	160
12	11	12	5,00	10,00	10,00	77,90	110
13	12	13	5,00	10,00	213,09	71,10	110
14	9	14	4,50	10,00	123,42	89,60	110
15	11	15	4,50	10,00	255,22	84,50	125
16	15	16	5,00	10,00	170,00	77,90	110
17	4	17	5,00	10,00	10,00	97,30	250
18	17	18	5,00	10,00	205,00	85,20	250
19	18	19	0,00	0,00	164,40	74,60	250
20	19	20	0,00	0,00	231,18	71,50	225
21	20	21	5,00	10,00	199,42	67,80	225
22	21	22	2,50	5,00	386,55	63,90	160
23	22	23	0,00	0,00	1,00	63,90	160
24	19	24	5,00	10,00	10,00	74,20	110
25	24	25	5,00	10,00	210,00	68,40	110
26	20	26	2,50	5,00	10,00	71,20	110
27	26	27	4,00	10,00	135,00	67,90	110

Bölüm Numarası	Başlangıç Noktası	Bitiş Noktası	Sulanan Alan (ha)	Hidrant Debisi (l s ⁻¹)	Uzunluk (m)	Deniz Seviyesinden Yükseklik (m)	Boru Çapı (mm)
28	23	28	5,00	10,00	230,00	75,60	160
29	28	29	5,00	10,00	188,23	86,40	160
30	1	30	3,60	10,00	160,00	98,80	400
31	30	31	4,00	10,00	173,51	99,00	355
32	31	32	5,00	10,00	200,00	99,20	355
33	32	33	0,00	10,00	137,19	90,80	355
34	33	34	0,00	0,00	260,81	97,00	355
35	34	35	0,00	0,00	368,41	100,40	355
36	35	36	0,00	0,00	242,78	101,38	315
37	36	37	4,30	10,00	278,00	100,80	315
38	37	38	0,00	0,00	274,01	102,80	315
39	38	39	0,00	0,00	211,36	104,40	250
40	39	40	5,00	10,00	251,00	102,80	225
41	40	41	2,00	5,00	207,02	103,40	225
42	41	42	4,00	10,00	199,77	98,80	110
43	33	43	4,00	10,00	10,00	90,30	110
44	43	44	5,00	10,00	140,00	80,00	110
45	34	45	4,00	10,00	10,00	96,40	110
46	45	46	5,00	10,00	100,00	90,80	110
47	35	47	3,80	10,00	10,00	99,60	110
48	47	48	5,00	10,00	142,39	90,60	110
49	36	49	2,50	5,00	10,00	101,30	110
50	49	50	5,00	10,00	87,08	94,70	110
51	38	51	2,50	5,00	10,00	102,40	110
52	51	52	5,00	10,00	105,00	97,70	110
53	39	53	4,50	5,00	10,00	104,00	160
54	53	54	2,50	5,00	110,00	99,60	110

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ezgi KURTULMUŞ

Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir 09.09.1987

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bahçelievler Lisesi 2005

Lisans :U.Ü. Ziraat Fakültesi, Ziraat Mühendisliği
Bölümü, 2010

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Fırtına CBS Arazi Topplulaştırma İnş.Ltd.Şti.
2010-2011

U.Ü. Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği
Bölümü, 2011-....

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

Yayımları :

Kirmikil, M., Kaberli, E., Keskin, B., Akkaya Aslan, Ş.T., Arıcı, İ. 2012. Arazi Topplulaştırması Ve Gizli Parçalılık, Konya İli Karapınar İlçesi Akören Köyü Örneği,II. Ulusal Tarımsal Yapılar ve Sulama Sempozyumu, 24-25 Mayıs 2012, Bornova, İzmir.

Kaberli, E.,Şapolyo, D., Candoğan, B.N., 2013. Usage of The Water Harvesting Techniques. 3. International Bursa Water Congress and Exhibition, Bursa.

Candoğan, B.N.,Şengönül, G., Kaberli, E., Yazgan, S. 2013. Usage Opportunities of Treated Wastewater With Sub-Surface Drip Irrigation Methods in Recreation Areas 3. International Bursa Water Congress and Exhibition, Bursa.

Sapolyo, D., Kaberli, E., Keskin, B., Kirmikil, M., 2013. The Effects of Village Renewal on Quality of Rural Lie: Evidence from Eskikaraagac, Bursa, Turkey. International Conference on Tropical and Subtropical Agricultural and Natural Resource Management, Hohenheim, Germany.

Kaberli, E.,Demir, A.O., Büyükcangaz, H., Candoğan, B.N., 2013. Basınçlı Sulama Sistemlerinin Performans Analizi: COPAM Bilgisayar Yazılımı. Uludağ Üniversitesi III. Bilgilendirme ve AR-GE Günleri, 12-13 Kasım 2013, Bursa.

Candoğan, B.N., Büyükcangaz, H., Kabekli, E., Yazgan, S., 2013. Sulama Zamanının Planlanmasında İnfared Termometre ve Basınç Odası Kullanımı. Uludağ Üniversitesi III. Bilgilendirme ve AR-GE Günleri, 12-13 Kasım 2013, Bursa.

Büyükcangaz, H., Candoğan, B.N., Kabekli, E., 2013. Bitki Su Gereksinimlerini Uydulardan öğrenebilir miyiz? Uludağ Üniversitesi III. Bilgilendirme ve AR-GE Günleri, 12-13 Kasım 2013, Bursa.

Kurtulmuş, E., Keskin, B., Şapolyo, D., Demir, A.O., Büyükcangaz, H. 2014. İstek yöntemi ile işletilen basınçlı sulama sistemlerinin performans analizlerine yönelik simülasyon modelleri. 12. Ulusal Kültür Teknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2014, Tekirdağ.

Keskin. B., Şapolyo. D., Kurtulmuş. E., Gündoğdu. K.S. 2014. Arazi toplulaştırma projelerinde proje yönetim tekniklerinin kullanılması. 12. Ulusal Kültür Teknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2014, Tekirdağ.