

### ARAŞTIRMA MAKALESİ

#### Öne Çıkan Sonuçlar:

- Ülkemizde mevcut olan basınçlı sulama sistemlerinin hidrolik performans analizlerinin EPANET yazılımı ile yapılabileceği tespit edilmiştir.
- Sorunlu alanların kolayca tespit edilebileceği ortaya konulmuştur.
- Döngü yönteminin sorunlu alanların rehabilitasyonu açısından daha ekonomik bir yaklaşım olabileceği sonucuna varılmıştır.

#### Yazışma yazarı:

Ezgi KURTULMUŞ  
ezgikaberli@uludag.edu.tr

#### Referans:

Kurtulmuş, E., Kuşçu, H., Demir A. O., (2018), Basınçlı Sulama Sistemlerinin EPANET Yazılımı Kullanılarak Performans Analizi Ve Rehabilitasyonu, Su Kaynakları, 3, (2) 14-21,

Makale Gönderimi : 27 Temmuz 2018  
Online Kabul : 21 Eylül 2018  
Online Basım : 1 Ekim 2018

## Basınçlı Sulama Sistemlerinin EPANET Yazılımı Kullanılarak Performans Analizi ve Rehabilitasyonu

Ezgi Kurtulmuş<sup>1</sup>, Hayrettin Kuşçu<sup>1</sup>, Ali Osman Demir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

**Özet** Son yıllarda Türkiye dahil bir çok ülkede, basınçlı sulama sistemlerine doğru bir yönelme söz konusudur. 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 sistemlerin performans analizi diğer sistemlere oranla daha büyük önem taşımaktadır. Bu amaca yönelik olarak, günümüzde çok sayıda bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Bu çalışmada, istek yöntemi ile işletilen bir basınçlı sulama sisteminin performansı, özellikle içme suyu şebekelerinin hidrolik davranışının belirlenmesinde kullanılan EPANET yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. EPANET yazılımı ile sistem performansı, toplam yük, basınç, akış ve birim yük kaybı parametreleriyle analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, dallanmış şebekenin sorunlu hatlarının rehabilitasyonunda döğümler kullanılmış ve mevcut sistem üzerinde görülen aksaklıklar alternatif senaryolar ile düzeltilmiştir. Su şebekeleri ve bu tür sulama sistemlerinde yazılımın pratikliği daha ileri uygulamalar için tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Basınçlı sulama, EPANET, Hidrolik performans, İstek yöntemi

## Performance Analysis And Rehabilitation Of Pressurized Irrigation Systems Using EPANET Software

**Abstract** In recent years, many countries including Turkey have tended to use pressurized irrigation 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. For this purpose, many computer softwares have been developed recently. In this study, performance of on-demand pressurized irrigation systems was analyzed by using EPANET which especially for determination of hydraulic behavior of drinking water networks. The system performance was analyzed with parameters total head, pressure, flow and unit head loss using EPANET software. As a result of the analyzes, loops were used in the rehabilitation of the failure lines of the branch network and the problems observed on the existing system were corrected with alternative scenarios. Water networks and the practicality of software in such irrigation systems are discussed for further applications.

**Keywords:** Pressurized irrigation, EPANET, Hydraulic performance, On-demand irrigation

## 1. Giriş

Su, insan 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. Bu nedenle, mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanılması zorunlu hale gelmektedir (Anonim 2007).

Dünyada sulamanın toplam su kullanımı içerisindeki payı %70 olup, gelişmekte olan ülkelerde bu oran %90'a kadar çıkmaktadır. Sulama, bitkilerin ihtiyacı olan ve doğal yollarla karşılanamayan suyun bitki kök bölgesine kontrollü bir şekilde verilmesidir. Son yıllarda sulu tarımda karşılaşılan en önemli problemlerden birisi, aşırı su ve enerji kullanımudur. Özellikle, artan küresel ısınma problemi tüm ilgiyi tarım sektörü üzerine çevirmiştir. Küresel ısınmanın sonucu olarak su kaynaklarında ciddi bir azalma söz konusudur. Bu sebeple, kaynakların daha verimli kullanılması gerekmektedir (Barutçu, 2011).

Sulu tarımda, su tasarrufu bakımından, açık kanallara oranla önemli avantajlara sahip olan basınçlı sulama sistemlerinin son zamanlarda oldukça yaygınlaşmış olduğu bilinmektedir. Sulama suyunun sağlanması için suyun kaynaktan kullanıcıya kadar bir su işletim yöntemi ile iletilmesi gerekmektedir.

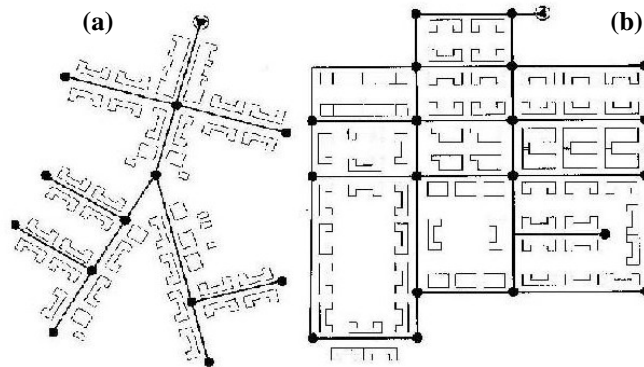
Su işletim yöntemi, sulama suyunun ulaştırılacağı tüm araziye yeterli miktarda sulama suyunu sağlayabilmelidir. Genel olarak üç temel su işletim yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar; sürekli akış yöntemi, rotasyon yöntemi ve istek yöntemidir (Labye vd., 1988).

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. Dönüşümlü sulama olarak da bilinen rotasyon yöntemi ise 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 (Aküzüm ve Öztürk, 1996).

İstek yönteminde, şebekeye dahil her çiftçi, gereksinim duyduğu su miktarını ve bunun zamanını sulama işletmesine bildirir. Su dağıtımı çiftçinin isteğine göre düzenlenir. İsteğin çok fazla olması durumunda su verme zamanı sulama işletmesi tarafından belirlenir (Çevik ve Tekinel, 2000). Sistem, sulama şebekelerinde gereksinim duyulan su miktarının sağlanması temeline dayanmaktadır. Üreticinin istediği zamanda, borulu sistemlerde hidrantta, açık sistemlerde tarla başı prizinde suyu hazır bulduğu işletim yöntemidir. 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 basınçlı 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 (Lamaddalena, 1997).

Suyun basınçlı bir biçimde dağıtımında genellikle dallanmış ve döngülü şebekeler kullanılmaktadır (Şekil 1). Basınçlı sulama sistemlerinde, sistem maliyeti dikkate alındığında genellikle dallanmış şebekeler kullanılmaktadır. Döngülü şebekeler, sulama sisteminin hidrolik performansında bir düşüklük görüldüğünde, mevcut sulama sistemini güçlendirmek için gerekli olduğunda kullanılır.



Şekil 1. Dallanmış (a) ve Döngülü (b) Sulama Sistemleri

Hem dallı hem de döngülü su dağıtım sistemlerinin performansının analizi, tanımlanması gereken bir dizi faktörü içeren karmaşık bir süreçtir. Bu işlemi kolaylaştırmak için hem çeme hem de sulama suyu dağıtım sistemlerinin performansını değerlendirmek için matematiksel modeller geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Sık kullanılan yazılım paketlerinden bazıları COPAM-AKLA (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000), EPANET (Rossman, 2000) ve GESTAR (Estrada vd., 2009) 'dir.

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 dağılımı tekdüzelikliğini de olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Optimum verimin (enerji ve su kullanımı açısından) sistem işletme koşulları süresince hidranta gerekli minimum basıncın sürekli sağlanmasıyla başarılabilirliği bildirilmiştir. Bunun ise, geleneksel pompaların değişken hızlarda işletilmesi ve hız kontrolünün uygun işletme metodolojisinin kurulmasıyla mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

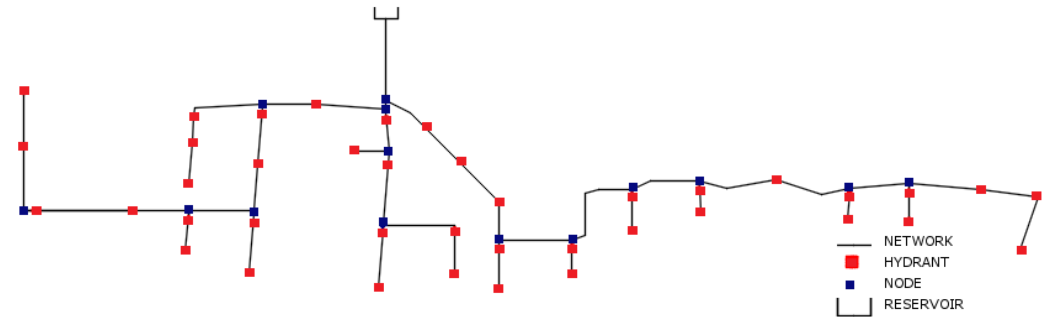
Moreno vd. (2007), İspanya'da bulunan istek yöntemi ile işletilen sulama şebekesinin sistem debisini hesaplamak için Clément ve rastgele günlük istek eğrisi (RDDC) yöntemini karşılaştırmışlardır. Rastgele günlük istek eğrisi yönteminin Clément modeline göre sistem debisi açısından % 35-40 daha iyi sonuç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

Rodríguez Díaz vd. (2009) İspanya'nın Palmera bölgesindeki bir sulama şebekesi üzerinde yaptıkları çalışmada, basınçlı sulama şebekesinin enerji gereksinimi analiz etmişlerdir. Çalışmada, sulama şebekesinin, hidrolik simülasyon EPANET modeline dayanan, çeşitli su istek düzeyleri için dört alternatif yönetim senaryosu kullanılarak simülasyonu yapılmıştır. 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.

Bu çalışmada, istek yöntemi ile işletilen bir basınçlı sulama sisteminin performansı, EPANET yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve düğüm döngü yönteminin sorunlu hatların rehabilitasyonunda kullanım olanakları araştırılmıştır.

## 2. Veri ve Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Marmara Bölgesi'nde, Bursa şehir merkezine 20 km mesafede, Uludağ Üniversitesi Yerleşkesi sınırları içinde, Görükle ve Göbelye köyü arasında yer almaktadır. Sulama alanı en yüksek 104 m, en düşük ise 64 m kota sahip olup, ortalama kotu 85 m ve arazi eğimi ortalama olarak %5'tir. Kullanılan sulama suyu, Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü içerisinde yer alan Göbelye Göleti'nden sağlanmaktadır. Sulama suyu dip savaktan sulama alanının en yüksek noktasında bulunan su toplama havuzuna iki elektropomp yardımıyla basılmakta ve buradan borulu sulama sistemine dağıtılmaktadır (Şekil 2). Basınçlı sulama sistemi istek yöntemi ile işletilecek biçimde tasarlanmış olup, sistemde 40 adet hidrant bulunmaktadır. Sulama alanı 125 ha ve sistem debisi 217 l s<sup>-1</sup>'dir. Mevcut kaynağın deniz seviyesinden yüksekliği 140 m'dir. Her hidranta gerekli minimum yük 25 m'dir.



Şekil 2. Sulama Şebekesinin Planı

## 3. Yöntem

Bu çalışmada, yukarıda özellikleri verilen ve istek yöntemine göre işletilen basınçlı sulama sisteminin performansı, EPANET yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve düğüm döngü yönteminin sorunlu hatların rehabilitasyonunda kullanım olanakları araştırılmıştır. Sistem performansının analizinde, toplam yük, basınç, akış ve birim yük kaybı parametreleri kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, dallanmış şebekenin sorunlu hatlarının rehabilitasyonunda düğümler kullanılarak, borulardaki basınç fazlalığı ve kritik değer üzerinde kalan akış hızı yüksekliği, bu göstergelerin normal olduğu başka bir

boru hattıyla bağlanarak basınç ve hız fazlalığı dağıtılmıştır. Böylelikle mevcut sistem üzerinde görülen aksaklıklar alternatif senaryolar ile düzeltilmiştir. Su şebekeleri ve bu tür sulama sistemlerinde yazılımın pratikliği daha ileri uygulamalar için tartışılmıştır.

### 3.1 Hidrolik performans analizi

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu (EPA), basınçlı boru şebekeleri (dallı veya döngülü) için hidrolik ve su kalitesi davranışının uzun süreli simülasyonunu gerçekleştiren EPANET adlı bir bilgisayar programı geliştirmiştir (Rossman, 2000). Bu program "gradient yöntemi" ile çözüm yapan bir su dağıtım şebekesinin hidrolik hesaplamalarını yapmaktadır. EPANET'te belirli bir zaman ve belirli bir noktada şebekenin hidrolik durumunu karakterize eden debi sürekliliği ve yük kaybı eşitliklerini hesaplamak için, hibrit ağ-nokta yaklaşımı kullanılmaktadır. Söz konusu programda, boru uzunlukları, çapları, pürüzlülük katsayıları, düğüm noktalarında su talepleri, arazi kotları, su alma yapıları, pompa ve vana gibi ekipmanlarla ilgili veriler girilerek şebekede hidrolik hesapları yapılabilmektedir. EPANET hızlı sonuç veren tam donanımlı bir hidrolik analiz programıdır ve başlıca şu avantajlara sahiptir:

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

### 3.2 Düğüm döngü yaklaşımı

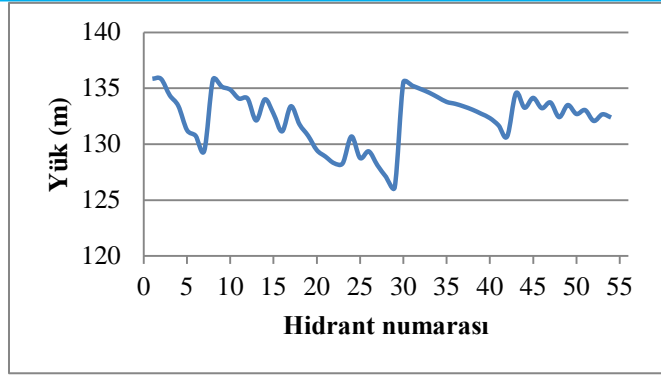
İyileştirme maliyetinin minimumda tutulması için alternatif çözümler sağlamak ve şebeke kapasitesini artırılması olanaklarını değerlendirmek üzere, dallanmış sulama sisteminin belirli alanlarına (sorunlu alanlar) düğüm halkalarının girilmesi araştırılmıştır. Mevcut dallanmış şebekedeki düğüm pozisyonları, performansı kötü olan alanları (hatları) performansı iyi olan alanlara bağlayarak seçilmiştir. Ardından elde edilen düğümlü sistem, sistemin performansını değerlendirmek için aynı performans göstergeleri kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen düğüm sisteminin performansı tatmin edici değilse, sorunlu bölgelerde bazı boru çapları artırılabilir. Bu artırılan çaplar borulardaki akış hızlarına dayanılarak, sonunda tatmin edici bir sonuç bulunana kadar ampirik (deneysel) olarak seçilmiştir. Akış hızının artmasına bağlı olarak, boru boyunca yük kaybı da yükselmekte ve boru çapını arttırmak gerekmektedir.

### 3.3 Uygulama

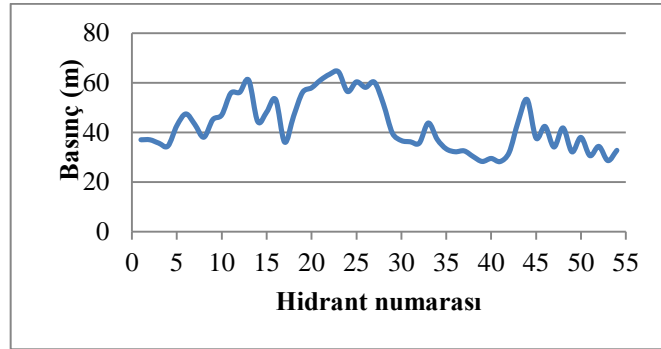
Performans analizi, istek yöntemi ile işletilen sulama sisteminin olası işletme şartları simülasyonu için rastgele boru konfigürasyonlarını oluşturarak başlamıştır. Performans göstergeleri bağlı basınç eksikliği (RPD) ve güvenilirliktir. Bu oluşum, sulama şebekesi içindeki debi akışının geçici değişkenliğini değerlendirmek için oluşturulmuştur. Kaynak debisine ( $Q_0$ ) göre eş zamanlı olarak çalışan hidrant numaraları otomatik olarak ve rastgele seçilmiştir. Her bölüm için yük kayıpları hesaplandıktan sonra, şebekenin belirli bir düğümündeki basınç yükü hesaplanmıştır. RPD ve güvenilirlik göstergelerinin kullanımına ek olarak, suyun akış hızı hesaba katılmış ve yazılım paketi tarafından hesaplanmıştır. Rastgele seçilen hidrantlar arasında kalan borulardaki suyun akış hızının değerlendirilmesinde, hem borulardaki yük kayıpları hem de sistemdeki hidrolik arızalara neden olabilecek maksimum hız değeri  $2.5 \text{ m s}^{-1}$  olarak alınmıştır. Bu değer üstünde bir akış hızı olan boru bölümü, sorunlu bölge olarak tanımlanmıştır.

#### 3.3.1 Mevcut sistemin analizi

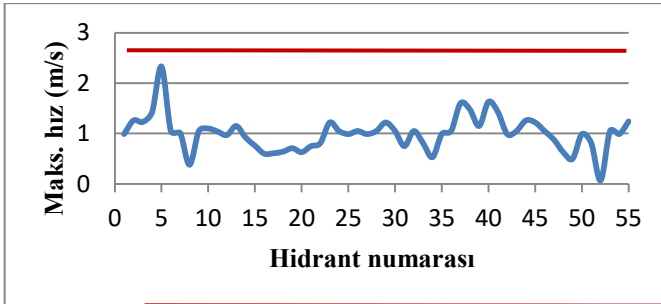
Şebekenin debisi  $217 \text{ l s}^{-1}$  ve mevcut su kaynağının deniz seviyesinden yüksekliği  $140 \text{ m}$ 'dir. EPANET bu mevcut verilerle çalıştırılmıştır. Sistem performansının belirlenmesinde kullanılan yük, basınç ve maksimum akış değerlerine ilişkin sonuçlar sırasıyla Şekil 3, 4 ve 5'te verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, her 3 parametre açısından da mevcut sistemin hidrolik performansı yeterli bulunmuştur. Mevcut koşulda, rastlantısal olarak seçilen hidrantlar arasında kalan boru bölümlerinde ve hidrantlarda oluşan yük değerleri  $126\text{-}136 \text{ m}$ , basınç  $28\text{-}63 \text{ m}$  ve maksimum hız  $0.07\text{-}2.3 \text{ m/s}$  arasında değişmektedir.



Şekil 3. Hidrant Numaralarına Karşılık Yük Değerleri



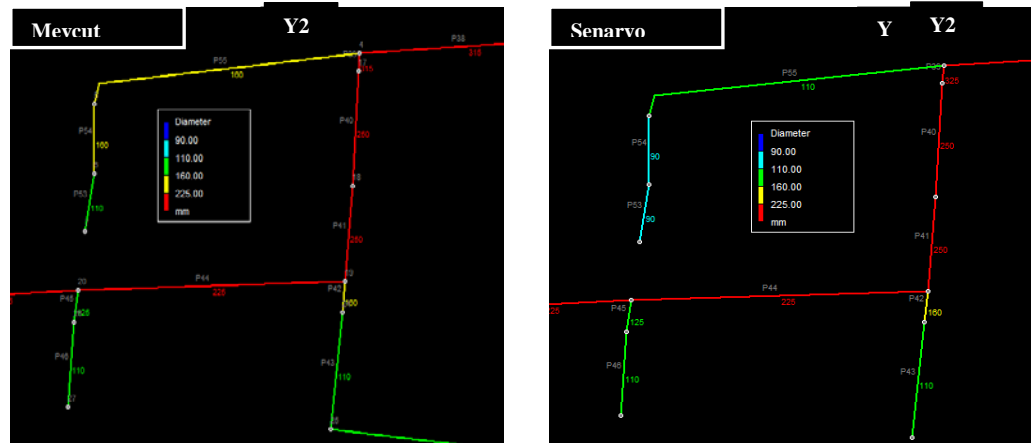
Şekil 4. Hidrant Numaralarına Karşılık Basınç Değerleri



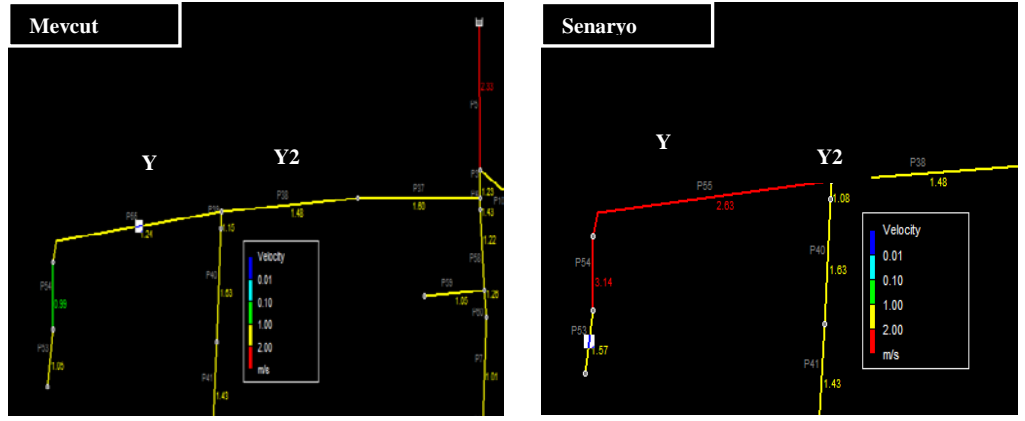
Şekil 5. Hidrant Numaralarına Karşılık Maksimum Hız Değerleri

### 3.3.2 Senaryo oluşturulması

Uygulamada kullanılan sulama sisteminin bazı mevcut verileri değiştirilerek EPANET programında değerlendirmek üzere senaryo üretilmiştir. Senaryoda, şebekenin debisi ( $217 \text{ l s}^{-1}$ ) değiştirilmemiş, mevcut kaynağın deniz seviyesinden yüksekliği 140 m'den 135 m'ye düşürülmüştür. Y2 sekonderi altında yer alan 3 adet hattın boru çapları düşürülerek sistem tekrar çalıştırılmıştır (Şekil 6). Buna göre, aynı hatlarda yer alan maksimum akış hızı değerleri Şekil 7'de verilmiştir.

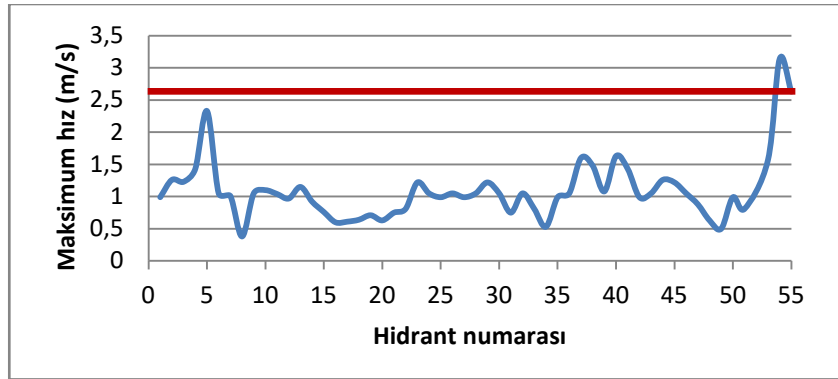


Şekil 6. Mevcut ve Senaryo Durumunda Y2 Hattındaki Boru Çaplarının Gösterimi



Şekil 7. Mevcut ve Senaryo Durumunda Y2 Hattında Borulardaki Akış Hızının Gösterimi

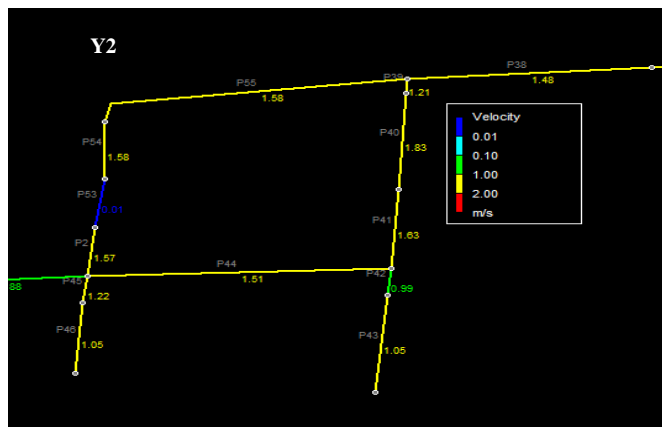
Senaryo üretilip yeniden çalıştırılan ve aynı hidrantlar arasında kalan boru hatlarındaki maksimum hız analiz sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. Analiz sonucunda, Y2 hattında borularda akış hızının arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 7), ve sistemde hidrolik performans sorunlarının olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sorunun çözümüne yönelik düğüm döngü yaklaşımı denenmiştir.



Şekil 8. Oluşturulan Senaryoda Hidrant Numaralarına Karşılık Maksimum Akış Hızları

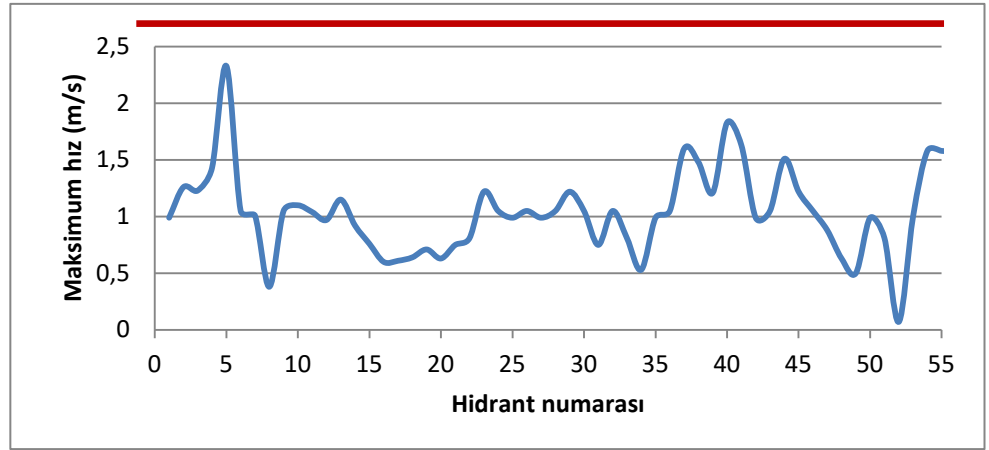
### 3.3.3 Sistemin rehabilitasyonu

Sistemde hidrolik performans sorunu olan Y2 hattı performans bakımından iyi olan bir hatta bağlanarak yeni bir boru hattı oluşturulmuştur. Başka bir deyişle, düğüm eklenerek döngü oluşturulmuş ve sistemin hidrolik performansı artırılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Sistemin Rehabilitasyonu

Sulama sistemi iyileştirildikten sonra borulardaki maksimum akış hızı bakımından yeniden değerlendirilmesi yapılmıştır (Şekil 9). Şekil 7, 8, 9 ve 10 karşılıklı olarak değerlendirildiğinde, sistemde maksimum akış hızında kritik bir değer olan  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ 'nin üstünde yer alan sorunlu boru hatları, düğüm döngü yöntemiyle çözümlenmiş ve maksimum hız değerleri  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ 'nin altına indirilmiştir.



**Şekil 10.** Sistem İyileştirildikten Sonra Hidrant Numaralarına Karşılık Maksimum Akış Hızı

#### 4. Tartışma ve sonuç

Bu çalışmada, istek yöntemiyle işletilen basınçlı sulama dağıtım şebekelerinde hidrolik performansın değerlendirilmesi ve sorunlu bölgelerin tespit edilerek rehabilitasyonunda EPANET yazılımının kullanım olanakları araştırılmıştır. Çalışmada, U.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından işletilen 125 ha'lık bir alana hizmet eden basınçlı sulama sistemi analiz edilmiştir. Bu amaçla, borularda oluşan, kritik değerlerin üzerinde kalan, akış hızları ve yük kayıplarını azaltmak ve hidrant düzeyinde su dağıtımını gerçekleştirmek için yeni bir yaklaşım olan düğüm döngü yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar çalışma alanına özgüdür; bununla birlikte, düğümlerin kullanımının etkili bir çözüm olduğunu ve basınçlı sulama dağıtım sistemlerinin rehabilitasyonu için dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Benzer bir çalışmada, Lamaddalena vd. (2015), istek yöntemine göre işletilen basınçlı bir sulama sisteminin hidrolik performans analizini gerçekleştirmiş, sistemde akış hızı bakımından yaptığı değerlendirme sonucunda sorunlu hatlar tespit etmiş ve bu hatların rehabilitasyonunda düğüm döngü yöntemini kullanmışlardır. Bunun sonucunda, mevcut sistem üzerindeki boruların çaplarının değiştirilmesi temeline dayanan klasik rehabilitasyon yaklaşımıyla karşılaştırıldığında düğüm döngü yönteminin kullanılması halinde rehabilitasyon maliyetinin %80 düzeyinde azaltılabileceğini bildirmişlerdir.

Bu çalışma ile ülkemizde mevcut olan basınçlı sulama sistemlerinin hidrolik performans analizlerinin EPANET yazılımı ile yapılabileceği, sorunlu alanların kolayca tespit edilebileceği ortaya konulmuştur. Ayrıca, düğüm döngü yönteminin sorunlu alanların rehabilitasyonu açısından daha ekonomik bir yaklaşım olabileceği sonucuna varılmıştır. Bunun ötesinde, ülke genelinde yeni kurulacak su dağıtım sistemlerinin basınçlı borulu şebekeler bazında tesis edileceği dikkate alındığında, bu şebekelerin tasarımdan sonra tesis edilmeden önce hidrolik performansının EPANET yazılımıyla belirlenmesi önerilebilir.

#### 5. Kaynaklar

- 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, 24-26 Ekim, Şanlıurfa, 2001.
- Akyol, A. (2012), "Basınçlı Sulama Şebekesinde Proje Debisi Hesaplamasına İlişkin Yöntem Karşılaştırması", Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Anonim. (2007), "Kuraklık Eylem Planı", Bursa İl Özel İdaresi, Bursa
- Barutçu, F. (2011), "Basınçlı Sulama Sistemlerinde Değişken Hızlı Pompalarla Enerji Kazanım Olanaklarının Araştırılması", Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.
- Çevik, B., Tekinel O. (2000). Sulama Şebekeleri ve İşletme Yöntemleri. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, No: A4., 188s., Adana.
- Estrada C., González C., Aliod R., Paño., J. (2009), "Improved Pressurized Pipe Network Hydraulic Solver For Applications In Irrigation Systems", J Irrig Drain Eng 135 (4):421-430. doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000100
- Labye, Y., Olson, M.A., Galand, A., Tsiouris, 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", Technical University of Lisbon, PhD, Dissertation. Portugal.
- Lamaddalena, N., Sagardoy, JA. (2000), "Performance Analysis Of On-Demand Pressurized Irrigation Systems", FAO Irrigation And Drainage Paper, vol 59, FAO, Rome.

- Lamaddalena, N., Khadra, R., Fouia, A. (2015), Use Of Localized Loops For The Rehabilitation Of On-Demand Pressurized Irrigation Distribution Systems, Irrigation Science ISSN: 0342-7188 DOI 10.1007/s00271-015-0481-5.
- Moreno, MA., Planells, P., Ortega, JF., Tarjuelo, JM. (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).
- Rossman, LA. (1993), EPANET Users Manual, US Environmental Protection Agency, Drinking Water Research Division, Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, Ohio, USA.
- Rossman, LA. (2000) EPANET 2 users manual. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, USA.
- Rodríguez Díaz, JA., López Luque, R., Carrillo Cobo, MT., Montesinos, P., and Camacho Poyato, E. (2009), Exploring Energy Saving Scenarios For On-Demand Pressurised Irrigation Networks, Biosystems Engineering, 104(4):552-561.