

DOI: [10.38027/ICCAUA2021TR0049N8](https://doi.org/10.38027/ICCAUA2021TR0049N8)

Analysis of the Flood Performance of Stormwater Drainage Systems for Different Return Periods

* Burak ÇIRAĞ¹, Prof. Dr. Mahmut FIRAT², Özgüray AYDIN³
Atatürk University, Faculty of Engineering, Erzurum, Turkey¹
İnönü University, Faculty of Engineering, Malatya, Turkey²
Universal Information Technology, Istanbul, Turkey³

E-mail¹: burak.cirag@atauni.edu.tr, E-mail²: mahmut.firat@inonu.edu.tr E-mail³: oaydin@uni-yaz.com

Abstract

Precipitation regimes and behaviours change depending on the climate change. As the duration of precipitation decreases its intensity increases. On the other hand, the density of buildings increases in urban areas, and drainage systems remain inadequate as a result of deterioration in the structure of natural streams and irregular structures. Due to the change in precipitation behaviour and the decrease in permeable surfaces in urban areas, urban floods lead to serious damage. In this study, it is aimed to analyse the flood performance of rainwater drainage systems currently serving in urban areas for precipitation with different repetition periods. For this purpose, the drainage line in Malatya provincial centre has been selected as the pilot application area. Considering the rainfall records observed in the past, a model was created for 15 minutes of precipitation and 2, 5 and 10 years repetition periods. In addition, the digital elevation model, drainage line and characteristic information and building layouts were taken into consideration in the application area. As a result of the analysis, flood spread maps were created. It has been observed that as the repetition period increases, the rainwater drainage line is insufficient in some areas and may cause loss of property and life.

Keywords: Floods; Storm water Drainage Systems; Flood Performance.

Yağmursuyu Drenaj Sistemlerinde Farklı Tekrarlanma Periyotları için Taşkın Performansının Analizi

Özet

İklim değişikliğine bağlı olarak yağış rejimleri ve davranışları değişmektedir. Yağış süreleri kıaldıkça, şiddeti artmaktadır. Diğer taraftan kentsel alanlarda bina yoğunluğu artmakta, doğal derelerin yapısındaki bozulmalar ve düzensiz yapılaşmalar sonucu drenaj sistemleri yetersiz kalmaktadır. Yağış davranışlarının değişmesi ve kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin azalmasından dolayı, şehir taşkınları ciddi zararlara neden olmaktadır. Bu çalışmada, kentsel bölgelerde mevcutta hizmet veren yağmursuyu drenaj sistemlerinin farklı tekrarlanma periyoduna sahip yağışlar için taşkın performansının analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Malatya il merkezi mevcutta hizmet veren drenaj hattı pilot uygulama bölgesi olarak seçilmiştir. Geçmişte gözlenmiş yağış kayıtları dikkate alınarak 15 dakikalık yağış süresi ve 2, 5 ve 10 yıl tekrarlanma periyotları için model oluşturulmuştur. Ayrıca uygulama alanında sayısal yükseklik modeli, drenaj hattı ve karakteristik bilgileri ve bina yerleşimleri göz önünde bulundurulmuştur. Analizler sonucunda taşkın yayılım haritaları oluşturulmuştur. Tekrarlanma periyodu arttıkça yağmur suyu drenaj hattının bazı bölgelerde yetersiz kaldığı ve mal ve can kaybına sebebiyet verebileceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taşkınlar; Yağmursuyu Drenaj Sistemleri; Taşkın Performansı.

1. Giriş

Şehirlerde yapılaşmanın artmasına bağlı olarak zeminde sızma kapasitesi düşmekte, yüzeysel akış artmakta ve yeraltı suları azalmaktadır. Kentsel bölgelerde yağışın birleşik veya ayrıklı altyapı sistemleri ile uzaklaştırılması gerekmektedir. Fakat bazen mevcut altyapı sistemleri yağış sularını deşarj edememekte ve mal ve can kaybına sebep olabilecek taşkın riski oluşturmaktadır. Bunun için, geçmiş yağışlar göz önüne alınarak taşkına neden olabilecek yağışlara göre geleceğe yönelik sürdürülebilir alt yapı sistemleri inşa edilmelidir. Literatürde Shimabuku vd. (2018) yağmur suyunun yerel bir su kaynağı olarak kullanılması ve taşkın risklerinin azaltılması için yağmur suyunun kontrol edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca çalışmada yağmur suyu yönetimi için yasal çerçeveyi oluşturan ilgili düzenlemelerin, yasaların ve eyalet çapındaki girişimlerin bir özeti sunulmaktadır. Cherqui vd. (2015) kentsel drenaj sistemlerinin analizinin ve taşkın simülasyonlarının oldukça karışık bir hal alabileceğinden bahsetmiştir. Bundan dolayı kanalizasyon veri tabanlarını daha iyi kullanmak için bir yöntem önerilmiştir. CBS

tabanlı ve riski değerlendirmeye dayalı bu yöntem Fransa'da taşkına müdahalede kullanılmıştır. Sistemdeki tıkanmaların her zaman hattın kendisinden ve bozulmasından kaynaklı olmadığını ve sistemdeki çevresel koşullarında önemli olduğunu belirtmişlerdir. Xu & Zhao (2016) kentleşmenin yağış-akış süreleri üzerine etkisini araştırmış ve uygulama alanı olarak Çin'deki Liangshui Nehri havzasını ele almıştır. Çalışmada, Pekin'deki Dahongmen havzasındaki yağış-akış sürecini analiz etmek için farklı kent senaryoları ve insan kökenli sorunları dikkate alan SWMM modeli uygulanmıştır. Ölçülen akış verileri, model kalibrasyonu için kullanılmıştır. Kentleşmeden sonra yüzey akışının hacmi, kentleşmeden öncesine göre 3.5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Taşkın pik seviyesinin oluşum zamanı, kentleşmeden sonra çok az değişiklik gösterdiği görülmektedir. Pina vd. (2016) taşkın analizlerinde kullanılan yarı dağıtılmış ve tamamen dağıtılmış hidrolik modellerin karşılaştırmasını yapmıştır. InfoWorks ICM ile yaptığı analizde tamamen dağıtılmış hidrolik modelin daha gerçekçi ve güvenilir olduğunu kanıtlamıştır. Lee vd. (2018) uygulama alanı olarak kullandıkları Güney Kore'deki Seul gibi mega şehirlerin kısa süreli taşkınlar da bile çok fazla ekonomik zarar gördüğünü belirtmiştir. Bunun için şehirdeki geçirimsiz bölgelerde yağmur suyunu tahliye etmek için yağmur suyu şebekesi kullanılmaktadır. Bu nedenle yağmursuyu şebekesinin, akışı hızlı ve verimli bir şekilde boşaltılması için dikkatlice tasarlanması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca kentsel taşkın riskini azaltmak için bir yağmur suyu boru ağındaki karmaşıklık miktarını belirlemek önemli bir faktör olduğunu belirtmiştir. Safavi & Geranmehr (2017) belirli bir düzen için karma tamsayı doğrusal programlamayı kanalizasyon şebekelerinin optimize edilmesi için bir yöntem sunmuştur. Amaç fonksiyonu, doğrusal olarak ifade edilen ve her birinde minimum ve maksimum kanalizasyon deşarj oranları için minimum ve maksimum izin verilen eğimler, hızlar ve nispi derinliklere tabi olan boru satın alımı, boru döşeme ve menhol inşaatı maliyetlerinin toplamı olarak tanımlanmıştır. Çalışmada önerilen optimizasyon yönteminin, tüm gerçek hayat kısıtlamalarının doğru bir şekilde kullanıldığı kanalizasyon optimal tasarımı için uygulanabilir bir yöntem olduğu iddia edilebilir.

Bu çalışmada kentsel alanlarda yağmursuyu drenaj sistemlerinin farklı tekrarlanma periyotlarına sahip yağışlar için taşkın performansı analiz edilmiştir. Bunun için Malatya ili merkez yağmursuyu drenaj sistemi uygulama alanı olarak seçilmiş ve taşkın yayılım haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmadan elde edilen çıktıların özellikle can ve mal kaybını önleyecek önlemler alınması için altlık oluşturulması ve sürdürülebilir şehirler için katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Çalışma alanı olarak seçilen Malatya iline ait sayısal yükseklik modeli, bina verileri, yağmursuyu drenaj sistemleri verisi ve arazi pürüzlülük verileri kullanılmıştır. Bu amaçla CBS ve InfoWorks ICM programları kullanılmıştır.

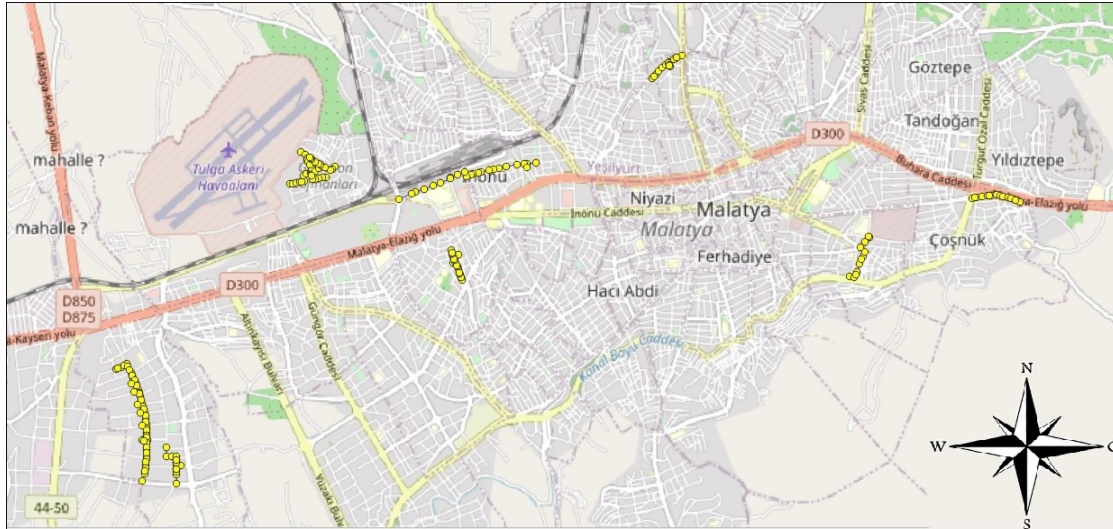
2. Çalışma Alanı ve Veri

Bu çalışmada kentsel alanlarda yağmursuyu drenaj sistemlerinin taşkın performansının analiz edilmesinde Malatya ili merkezi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Malatya şehrinde içme suyu herhangi bir arıtmaya ihtiyaç duymadan, doğal kaynaktan ve yeraltı suyundan temin edilmekte ve şebekeye sadece klorklama yapılarak verilmektedir. Toplamda 618.000 nüfuslu Yeşilyurt ve Battalgazi merkez ilçelerinin içme suyu ihtiyacını karşılayan tek su kaynağı, Yeşilyurt ilçesine bağlı Gündüzbey sınırları içerisinde çıkan Pınarbaşı su kaynağıdır (MASKİ, 2021). Malatya ilinin 2020 Eylül ayı itibarıyla; Yeşilyurt ilçesinde 121.397 m, Battalgazi ilçesinde 80.768 m yağmur suyu drenaj hattı mevcuttur. Çalışma kapsamında 8 farklı mevcutta kullanılan yağmursuyu sistemi kullanılmıştır ve sistemin suyu tahliye ettiği diğer sistemlerin verisi olmadığından suyun sistemin son bacasında yok olduğu kabul edilmiştir. Malatya ili de iklim değişikliklerine maruz kalan iller arasındadır. Bunun için yağmursuyunun düzgün bir şekilde tahliye edilmesi veya depolanıp kullanılması su ihtiyacını destekleyecektir.

Yağmursuyu drenaj sistemlerinin taşkın performans analizleri için kısa süreli ve şiddetli yağışlar kullanılmıştır. Çünkü mevcut yağmursuyu drenaj sistemi kısa süreli ve şiddetli yağışları düzgün bir şekilde tahliye edebilirse uzun süreli ve daha az şiddetli yağışları zaten tahliye edebileceği düşünülmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanında geçmişte yaşanmış taşkın



Şekil 2. Taşkın analizinde kullanılan boru ve macaların görünümü

Çalışma alanı olan Malatya ili için taşkın analizinde kullanılacak olan, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri temin edilmiştir. Geçmişte meydana gelen yağışları istatistiksel dağılım fonksiyonlarıyla analiz ederek 2, 5 ve 10 yıllık tekerrür aralıkları için meydana gelebilecek 15 dakikalık yağışları mm cinsinden hesaplamıştır (Tablo 1) (MGM, 2021). Çalışmada analizin yapılacağı InfoWorks ICM'de yağış verileri yağış şiddeti şeklinde olmalıdır. Bunun için $i = \frac{\Delta P}{\Delta t}$ şeklinde hesaplama yapılmıştır. Burada i , yağış şiddeti (mm/dk); ΔP , yağış yüksekliği (mm); Δt , zaman aralığı (dk) kullanılarak mm cinsinde olan yağışlar yağış şiddetine dönüştürülmüştür.

Tablo 1. Çalışma alanı için kullanılacak yağış ve yağış şiddetleri değerleri

| Yağış Süresi / Tekerrür Aralığı | 15 dakika | Yağış Şiddeti / Tekerrür Aralığı | 15 dakika |
|---------------------------------|-----------|----------------------------------|--------------|
| 2 yıl | 7.4 mm | 2 yıl | 29.6 mm/saat |
| 5 yıl | 10.8 mm | 5 yıl | 43.2 mm/saat |
| 10 yıl | 13.3 mm | 10 yıl | 53.2 mm/saat |

3. Taşkın Analizi

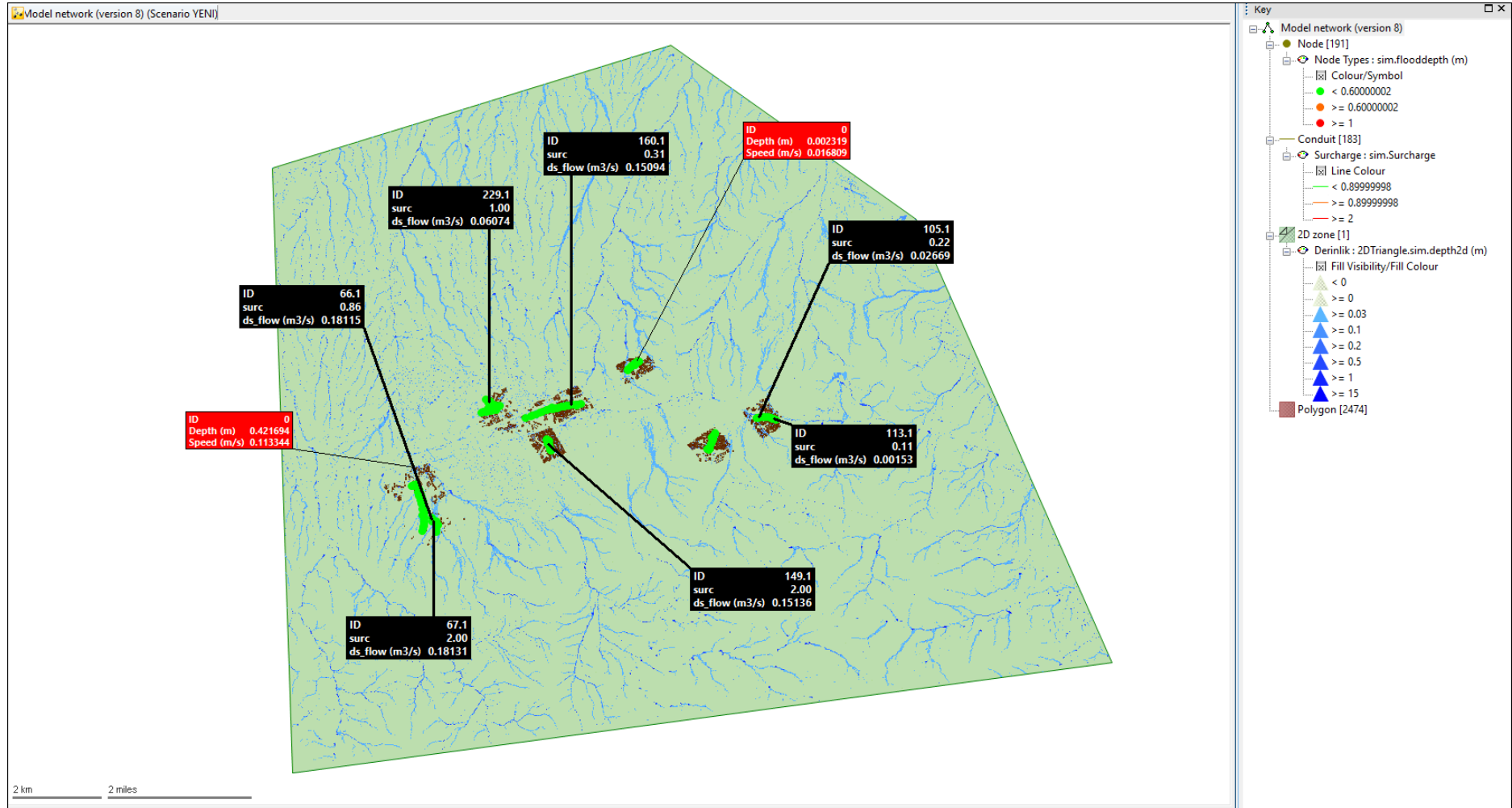
Bu çalışmada taşkın analizi için InfoWorks ICM yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, havzadaki tüm unsurların, birbirleri ile etkileşimli olarak hidrolik ve hidrolojik mühendislik modellemesini sağlayan yazılımdır (www.uni-yaz.com, 2021).

Çalışmada sayısal yükseklik modeli, yağmursuyu drenaj sistemleri, arazi pürüzlülük değerleri ve bina verileri birlikte analize katılarak daha gerçekçi sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı büyük bir bölgeyi içerdiğinden farklı toprak ve arazi türlerine sahiptir. Bölgede, asfalt, beton gibi yapılar daha az geçirgen özellik gösteriyorken; tarımsal alanlar, yeşil alanlar daha çok geçirgen özellik göstermektedir. Bunun için bu çalışmada Papaioannou vd. 2018 yılında yayınladığı arazi kullanım türüne göre Mannign pürüzlülük (n) değerleri kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen bölge için farklı tekerrür aralıkları ve 15 dakikalık yağış süreleri dikkate alınarak InfoWorks ICM yardımıyla taşkın simülasyonları gerçekleştirilmiş ve genel durumun maksimum seviyedeki hali için kesitler alınmıştır. Taşkın analizlerinde boruların analiz sonucunda veya analizin herhangi bir kısmında aldığı maksimum doluluk oranları oldukça önemlidir. Taşkını rahat bir şekilde tahliye edecek boru planlamaları maksimum duruma (en kritik) göre yapılmalıdır. Çünkü taşkının en çok zarar veren görüntüsü maksimumdayken meydana gelmektedir. Fakat boruların maksimum seviyeye ulaşması farklı zamanlarda gerçekleşebilir. Örneğin bir boruda maksimum doluluk oranı, analizin 5. dakikasında meydana gelmişken bir başka boruda 15. dakikada meydana gelebilir. InfoWorks ICM yardımıyla analiz süresince boruların maksimum değeri aldığı seviyeyi tüm borular için tek bir görselde görmek mümkündür. Bu çalışmada boru kesitleri maksimum seviye değerleri için alınmıştır. Uygulama alanında 15 dakikalık süreye sahip yağışlar için 2, 5 ve 10 yıllık tekrarlanma periyotlarında analiz gerçekleştirilmiştir. Sonuçların daha kolay ve anlaşılır şekilde yorumlanabilmesi için hatlar numaralandırılmıştır (Şekil 3).

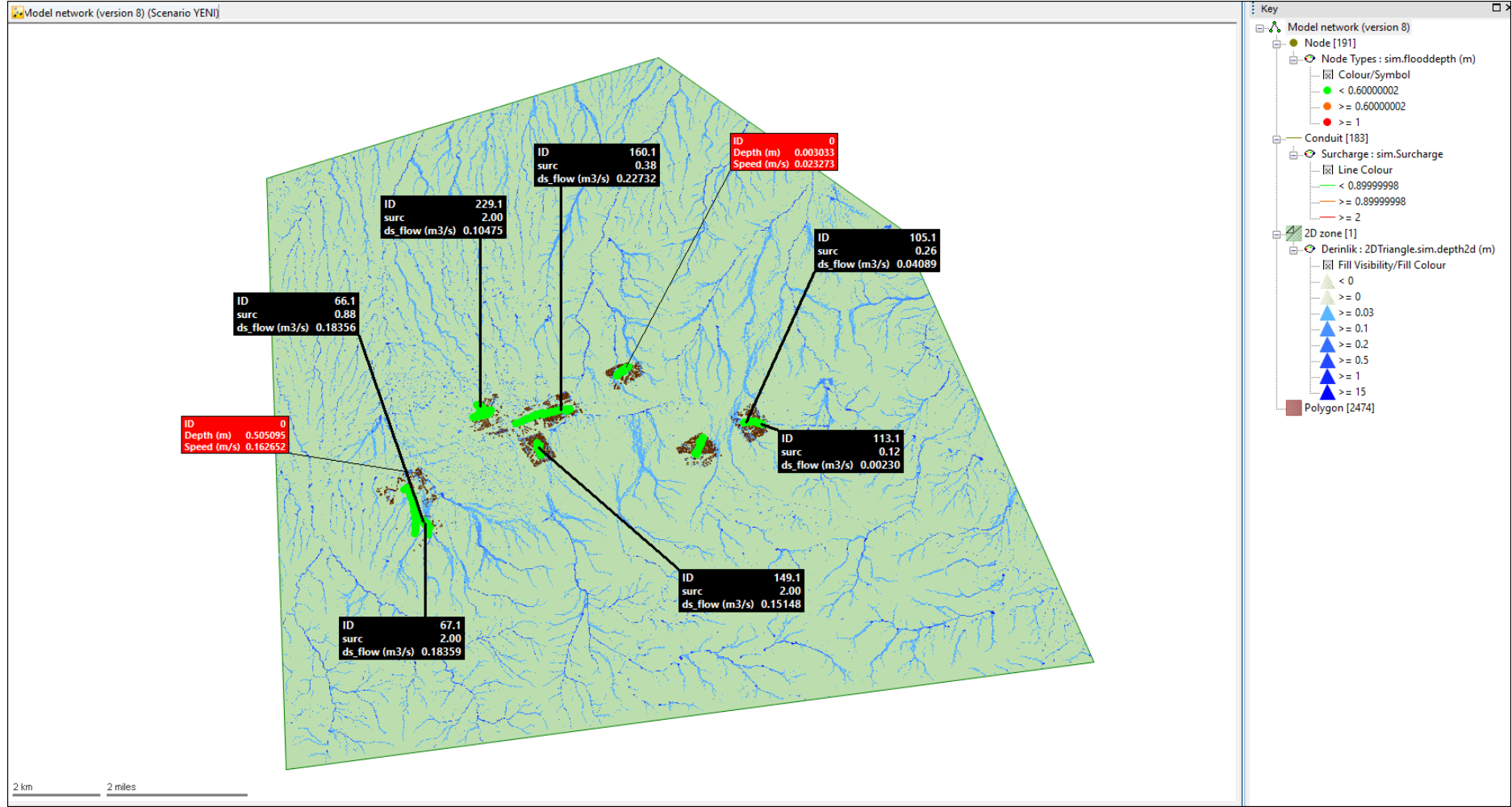


Şekil 3. Şebeke hatlarının numaralandırılması

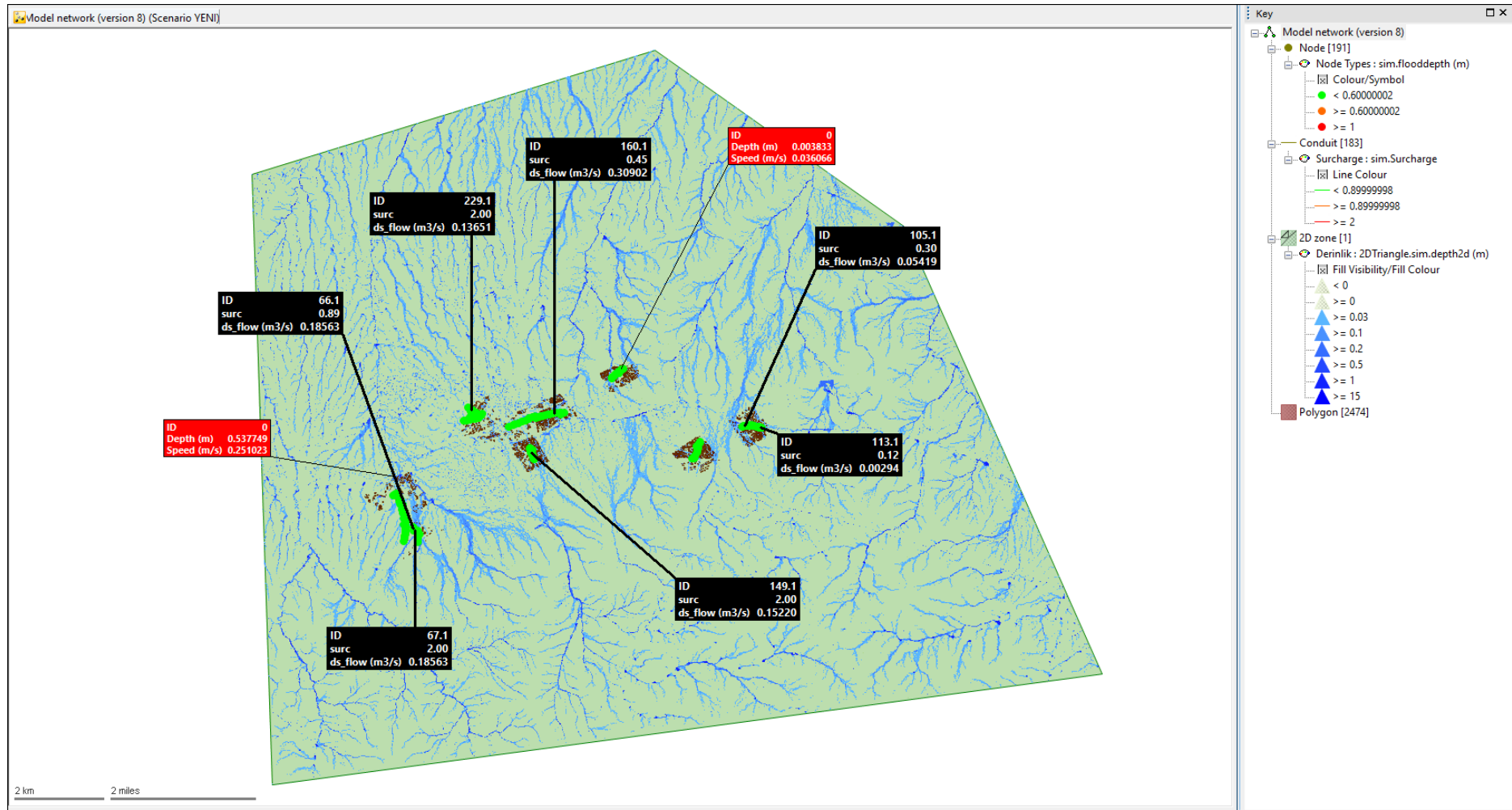
Çalışma alanına uygulanan yağış sonucunda, 2,5 ve 10 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağış süresine sahip taşkın yayılım haritaları oluşturulmuştur. Fiziksel yeryüzü gibi düzgün olmayan yüzeylerin matematiksel olarak ifadesinde zorluklar vardır. Tam olarak ifade edilebilmesi için yüzeydeki tüm noktaların tanımlı olması gerekir ki bu pratik olarak mümkün değildir. Konum verilerinin modellenmesi ve enterpolasyonla ara değer üretilmesi için üçgenleme çoğunlukla kullanılan bir yöntemdir (Yanalak, 2021). InfoWorks ICM programı da sayısal yükseklik modeli haritasına bağlı olarak genel kesit üzerinde üçgenleme yaparak taşkın yayılım haritaları oluşturmaktadır. Yağışa maruz kalan sistemin maksimum seviyedeki durumu incelendiğinde, birçok borunun görevini yerine getiremediği ve tam dolu kapasiteye ulaşip suyu bacalarda biriktirdiği hatta geri tepmeye sebep olduğu gözlemlenmektedir. Genel kesitin sol tarafında bir üçgen için alınan yükseklik değerlerinin ciddi boyutlarda olduğu görülmektedir. 2 yıl tekerrür için (Şekil 4) 0.42 m civarında iken 5 yıl tekerrür için (Şekil 5) 0.51 m, 10 yıl tekerrür için (Şekil 6) 0.53 m olduğu görülmektedir. Üçgenleme işlemi sonucu elde edilen üçgenin yaşam alanları civarında olduğu göz önünde bulundurulursa ciddi olumsuz sonuçlara sebebiyet verebileceği düşünülmektedir. Kısa süreli ve şiddetli yağışlar da mevcut yağmur suyu tahliye sistemlerinin yağışı hatasız bir şekilde tahliye etmesi gerekmektedir. Kısa süreli ve şiddetli yağışlar da uzun süren yağışlara göre toplam yağın su hacmi daha az olsa da tahliye işlemi daha sıkıntılı olmaktadır.



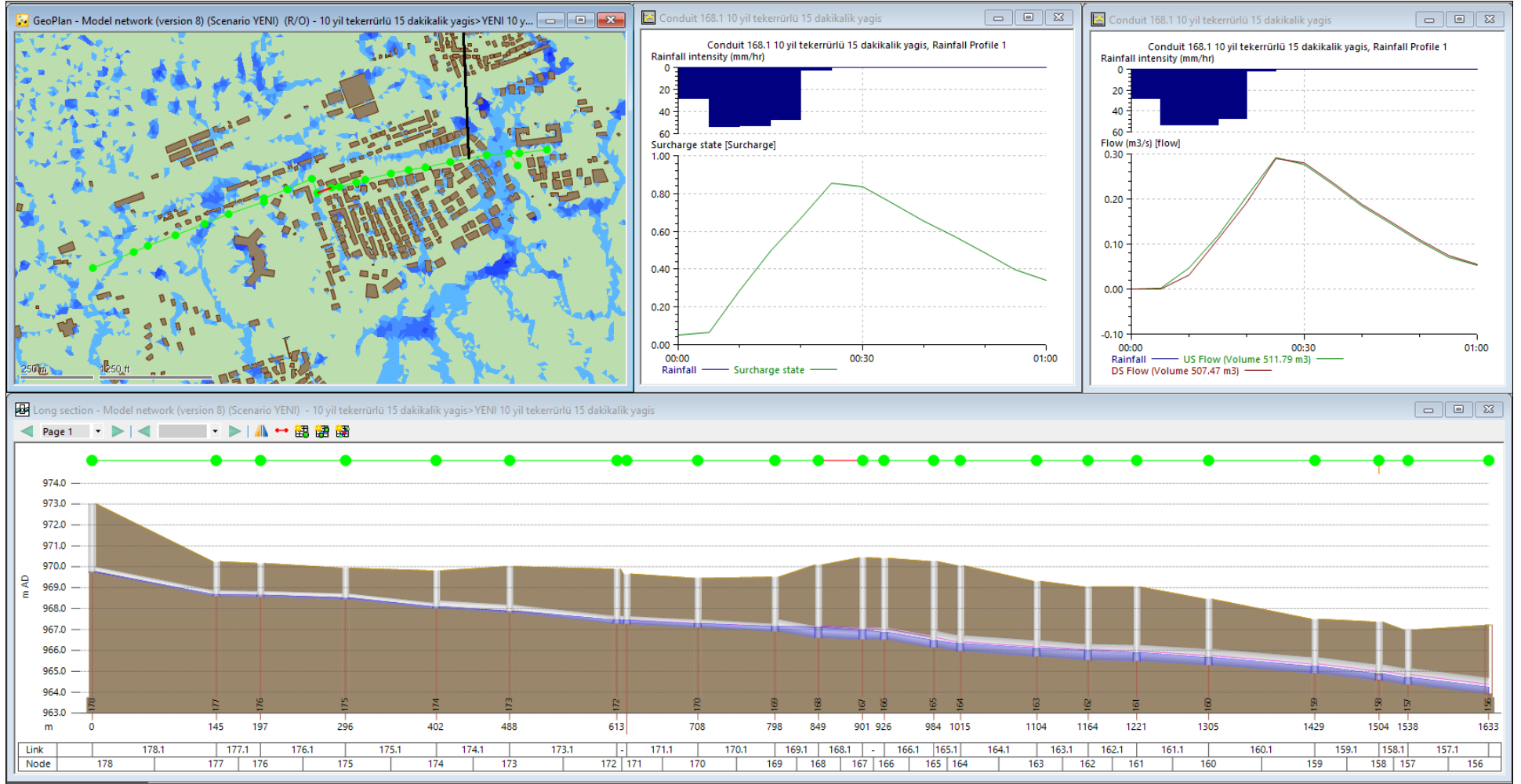
Şekil 4. 2 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi



Şekil 5. 5 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi

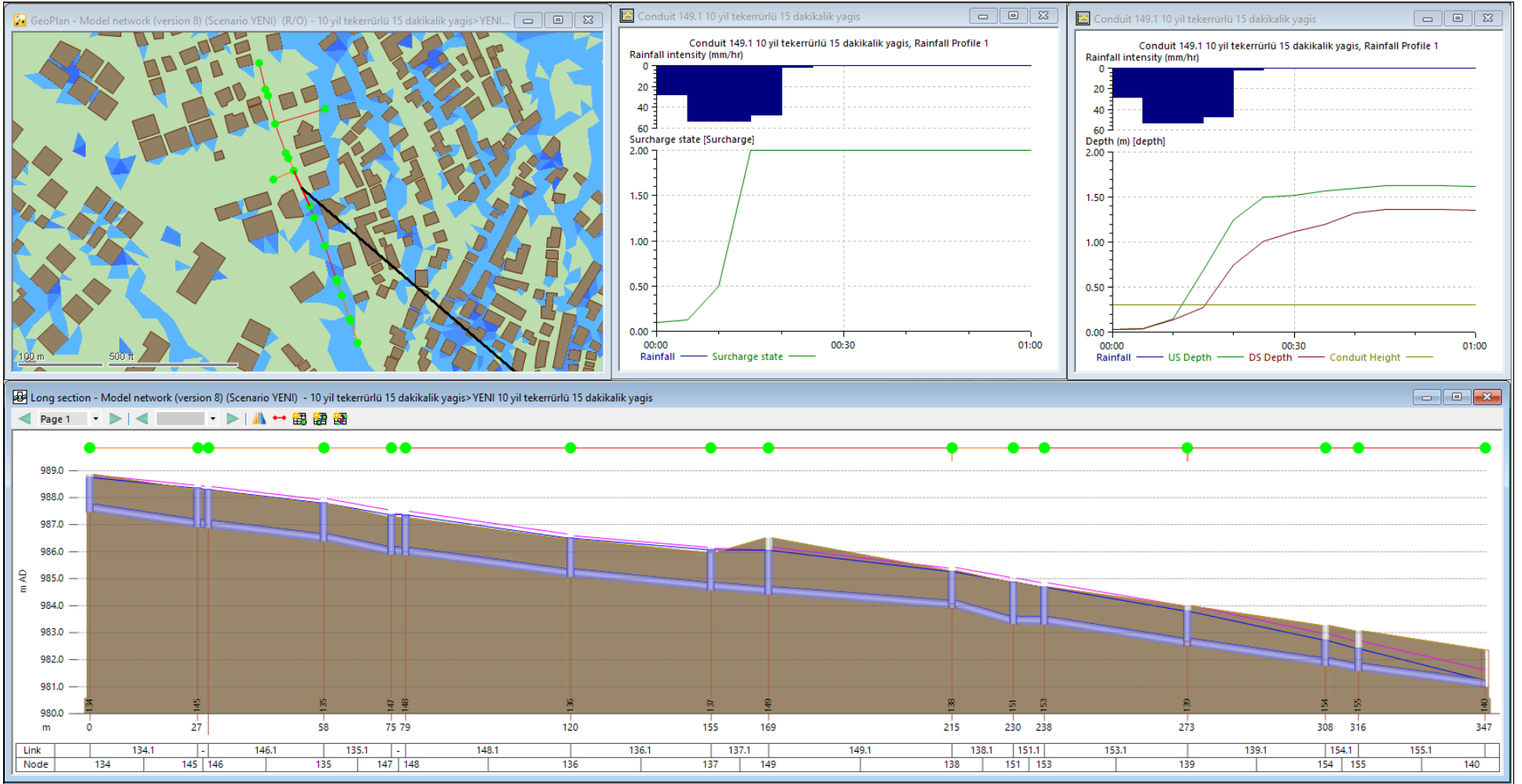


Şekil 6. 10 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi



Şekil 7. 10 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü

4 numaralı kesit 15 dakikalık taşkın oluşturabilecek yağışa maruz bırakıldığında (Şekil 7) herhangi bir problem olmadan suyun tahliye edilebildiği görülmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan “Yağmur suyu toplama, depolama ve deşarj sistemleri hakkında yönetmelik” (ÇŞB, 2017) adlı yönetmelikte yağmur suyu kanallarının en fazla %90 doluluk oranında akmasına izin verilmektedir. Programda, yağmur suyu borularının doluluğu 0.9’dan az ise yeşil, 0.9 ile 2 arasında ise turuncu ve 2’den büyük ise kırmızı renkte görünecek şekilde ayarlanmıştır. Sistemdeki tüm boruların renginin yeşil olduğu görülmektedir. InfoWorks ICM’de seçim yapılan borunun rengi kırmızı olmaktadır. Şekil 7’de görülen bir tane boru da seçim yapıldığı için kırmızı renktedir. 169 numaralı bacadan sonra boru çapının artırılması taşkın ihtimalini azaltmıştır. 168 ve 167 numaralı bacalar arasındaki 168.1 numaralı boru için verilen doluluk oranı-zaman grafiğinin de doluluk oranının Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın izin verdiği 0.9 değerinin altında kaldığı görülmektedir. Doluluk oranının yağışın başlangıcında ivmesinin düşük olduğunu fakat yağış arttıkça ivmesinin de arttığı görülmektedir. Fakat borunun yağış şiddetli olmasına rağmen herhangi bir borunun dolmadığı, herhangi bir bacada suyu biriktirmedi ve bunların neticesinde taşkın suyunu düzgünce tahliye ettiği görülmektedir. Debi-zaman grafiğine bakıldığı zaman ise borunun giriş bacasının debisi ile çıkış bacasının debisinin neredeyse aynı olduğu gözlemlenmektedir. Bu da borunun gelen suyu bir sonraki boruya bir sıkıntı olmadan aktardığı görülmektedir. Fakat sistem de ters eğim olması durumunda giriş bacasının debisinin çıkış bacasının debisinden farklı olacağı düşünülmektedir. Çünkü boru kendi içinde de bir miktar suyu biriktirecekti. Bunun için tasarlanan yağmursuyu tahliye sistemlerinde mümkün olduğunca ters eğimden kaçınılması gerekmektedir. Bu gibi örnekler sürdürülebilir ve geleceğe yönelik tasarımların ne kadar etkili olduğunu göz önüne sermektedir.



Şekil 8. 10 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 5 numaralı kesitin görünümü

5 numaralı kesit 15 dakikalık yağışa maruz bırakıldığında taşkın suyunu düzgünce tahliye edemediği görülmektedir. Sistemdeki tüm boruların dolduğu hatta bacaların da dolduğu görülmektedir. Bacaların dolması ile suyun yeryüzüne geri teptiği görülmektedir. Sistemin yaşam alanında olduğu düşünülürse mevcut haliyle can ve mal kaybına sebebiyet verebileceği düşünülmektedir. 149 ve 138 numaralı bacalar arasındaki 149.1 numaralı boru için verilen doluluk oranı-zaman grafiğinde borunun henüz yağışın 10. dakikasında tam dolu duruma geldiği görülmektedir. Ayrıca doluluk oranı-zaman grafiğine bakıldığında InfoWorks ICM tarafından analizin başlangıcında tanımlandığı doluluk da görülmektedir. 149.1 numaralı boruya ait derinlik-zaman grafiği incelendiğinde ise yine bu grafiğe bakılarak 300 mm çaplı borunun yağışın 10. dakikasın da tam dolu konuma geldiği görülmektedir. Ayrıca derinlik-zaman grafiğinde görülen giriş ve çıkış bacaları derinliklerinin boru çapını geçtiği, yani bacaların da su biriktirdiği görülmektedir. Grafikteki giriş ve çıkış bacası arasındaki derinlik farkı, bacaların arasındaki kot farkı ve baca uzunluklarından kaynaklanmaktadır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, kısa süreli ve şiddetli yağışların yerleşim yerlerindeki etkilerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Malatya il merkezinde bulunan 8 farklı yağmursuyu drenaj sistemi, gerçekçi sonuçlar elde etmek için bina verileri, arazi pürüzlülük verisi ve sayısal yükseklik modeli ile birlikte analiz edilmiştir. Analiz sonucunda ortaya çıkan sonuç ve öneriler temel olarak:

- Kısa süreli ve şiddetli yağışların mevcut yağmursuyu sisteminin 3 ve 5 numaralı yağmursuyu sistemleri gibi bazı bölgelerinde, sistem yetersiz olduğundan taşkın ihtimali görülmektedir. Bunun için kesitlerin yeniden planlanması ve tasarımının yapılması gereklidir.
- 4 numaralı yağmursuyu sisteminin kamu kurumu ve hastane binalarının yoğun olarak bulunduğu bir bölgede olmasına rağmen suyu düzgünce tahliye edemediği görülmektedir.
- Üçgenleme sonucu elde edilen üçgenler de, yaşam alanına yakın bölgelerde su derinliğinin 50 cm'yi açtığı bölgeler gözlemlenmektedir. Can ve mal kaybına sebebiyet verecek bu riski geç olmadan minimize edecek önlemler alınabileceği düşünülmektedir.
- Taşkın ihtimali şu an için olmayan fakat imara açık bölgelerde, imar planlarının bu gibi analizlerle imara uygun yağmursuyu sistemlerinin tasarlanabileceği düşünülmektedir.
- Yağış bittikten sonra tekrar taşkın oluşturabilecek akışların olduğu ve sisteme dahil olduğu görülmektedir. Bunun için akışın sisteme gelmeden yönünün değiştirilmesi, akışı tahliye edebilecek kanalların yapılması gibi önlemler alınabileceği düşünülmektedir.
- Küresel olarak su kıtlığı problemi olduğundan, yeni kaynak arama ihtiyacını azaltacak yağmursuyu hasadı için çalışmalar yapılabilir. Çökertme baca gibi yağmur suyunun toplanıp tekrar kullanılmasını sağlayacak sistemler yapılabileceği düşünülmektedir.
- Şebeke yenileme veya yağmursuyu hasadı çalışmaları başlangıçta maliyetli olarak görülsede sürdürülebilir bir şehir için maddi ve manevi birçok faydası olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Burak ÇIRAĞ tarafından yapılan Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine desteklerinden dolayı teşekkür etmektedir (İÜ BAP-FYL 2020/2058).

Kaynakça

- Cherqui, F., Belmeziti, A., Granger, D., Sourdril, A., & Le Gauffre, P. (2015). Assessing urban potential flooding risk and identifying effective risk-reduction measures. *Science of the Total Environment*, 514, 418-425.
- ÇŞB. (2017). Yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemleri hakkında yönetmelik. Retrieved from <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170623-8.htm>
- Lee, J., Chung, G., Park, H., & Park, I. (2018). Evaluation of the structure of urban stormwater pipe network using drainage density. *Water*, 10(10), 1444.
- MASKİ. (2021). Malatya ve su. Retrieved from <http://www.maski.gov.tr/sayfa.asp?id=282>
- MGM. (2021). Standart zamanlardaki maksimum yağışlar ve tekrür analizi. Retrieved from <https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=6>
- Papaoannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexioiu, S. M., Koukouvinos, A., . . . Kossieris, P. (2018). An operational method for flood directive implementation in ungauged urban areas. *Hydrology*, 5(2), 24.
- Pina, R. D., Ochoa-Rodriguez, S., Simões, N. E., Mijic, A., Marques, A. S., & Maksimović, Č. (2016). Semi-vs. fully-distributed urban stormwater models: model set up and comparison with two real case studies. *Water*, 8(2), 58.

- Safavi, H., & Geranmehr, M. A. (2017). Optimization of sewer networks using the mixed-integer linear programming. *Urban Water Journal*, 14(5), 452-459.
- Shimabuku, M., Diring, S., & Cooley, H. (2018). Stormwater Capture in California: Innovative Policies and Funding Opportunities. *Pacific Institute*. <https://pacinst.org/publication/stormwater-capture-in-california>.
- www.uni-yaz.com. (2021). InfoWorks ICM, bütünleşik havza modellemesi. Retrieved from <https://www.uni-yaz.com/projects/bütünleşik-havza-modellemesi/>
- Xu, Z., & Zhao, G. (2016). Impact of urbanization on rainfall-runoff processes: case study in the Liangshui River Basin in Beijing, China. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 373, 7-12.
- Yanalak, M. (2021). Yüzey modellemede üçgenleme yöntemleri. Retrieved from <https://www.harita.gov.tr/uploads/files/articles/yuzey-modellemede-ucgenleme-yontemleri-999.pdf>