

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAĞMURSUYU DRENAJ SİSTEMLERİNİN TAŞKIN PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak ÇIRAĞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

TEMMUZ 2021

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAĞMURSUYU DRENAJ SİSTEMLERİNİN TAŞKIN PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burak ÇIRAĞ
36183621009**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

TEMMUZ 2021

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemededen beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mahmut FIRAT'a,

Universal Yazılım firmasından Özgüray AYDIN'a,

Çalıőmalarımnda ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalıőmalarım süresince benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme ve sevgili eőime,

Tezin uygulama aşamasında vermiő oldukları maddi ve manevi destekten dolayı, İnönü Üniversitesi BAP birimine (İÜ BAP-FYL 2020/2058)

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Doktora veya yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Yađmursuyu Drenaj Sistemlerinin Taşkın Performansının Deđerlendirilmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı dūřecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Burak ÇIRAĞ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1.GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. ŞEHİR TAŞKINLARI	8
4. ÇALIŞMA ALANI	11
5.YÖNTEM.....	12
5.1 InfoWorks ICM Taşkın Analizi Matematiksel Yapısı.....	12
5.1.1 Kapalı kanal modeli.....	12
5.1.2 Temel 2 boyutlu hidrolik teorisi	14
5.2 Tamamen Dağıtılmış Hidrolik Model	16
5.2.1 Kentsel yağmursuyunun modellenmesi.....	16
6.TAŞKIN ANALİZİNİN YAPILMASI	19
6.1 Verilerin Hazırlanması ve Gerekli Ön Hazırlıkların Yapılması	19
6.1.1 Yağmursuyu şebekesi veri temini	19
6.1.2 Sayısal yükseklik modelinin düzenlenmesi.....	21
6.1.3 Pürüzlülük verisi oluşturma.....	27
6.1.4 Bina verilerinin düzenlenmesi	30
6.1.5 Yağış verisinin temini.....	33
6.2 InfoWorks ICM’de Verilerin Aktarılması ve Gerekli Ön Hazırlığın Yapılması.....	37
6.2.1 Üçgen ağı oluşturma.....	54
6.2.2 Yağış verilerinin yüklenmesi ve taşkın analizi.....	60
7.TAŞKIN ANALİZİ.....	66
7.1 Taşkın Analizi Sonuçları	68
7.1.1 5 Dakikalık yağış süresine sahip yağışlar için analiz	71
7.1.2 10 Dakikalık yağış süresine sahip yağışlar için analiz	92
7.1.3 15 Dakikalık yağış süresine sahip yağışlar için analiz	115
7.1.4 Derinlik-zaman ve hız-zaman grafiklerinin tekerrür aralığı ve yağış süresine göre analizi	132
8.SONUÇ VE ÖNERİLER	138
9.KAYNAKLAR	140
ÖZGEÇMİŞ	145

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6.1 : Boruların öznitelik tablosu.	20
Çizelge 6.2 : Baca ve mazgalların öznitelik tablosu	20
Çizelge 6.3 : Arazi kullanım türüne göre pürüzlülükler	27
Çizelge 6.3 : Arazi kullanım türüne göre pürüzlülükler(devamı).....	28
Çizelge 6.4 : Malatya ili için standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri.....	34
Çizelge 6.5 : Tekerrür aralığına ve yağış süresine bağlı olarak gelebilecek yağış yükseklikleri tahminleri	35
Çizelge 6.6 : Çalışma alanı için kullanılacak yağış ve yağış şiddetleri değerleri	35



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 : Sel - taşkın - şiddet yağış afetleri 1940-2010 yılları arasındaki gözlenme sayıları	8
Şekil 3.2 : Çalışma alanında geçmişte yaşanmış taşkın	9
Şekil 3.3 : Çalışma alanında geçmişte yaşanmış taşkın	10
Şekil 3.4 : Çalışma alanında geçmişte yaşanmış taşkın	10
Şekil 4.1 : Çalışma alanı.	11
Şekil 5.1 : Boru kesiti	13
Şekil 5.2 : Yarı dağıtılmış (a) ve tam dağıtılmış (b) hidrolik modeller.....	16
Şekil 6.1 : Boru ve bacaların genel görünümü	19
Şekil 6.2 : Uygulama alanına ait SYM verisi görünümü	21
Şekil 6.3 : Uygulama alanında <i>shp</i> formatında veri oluşturulması	22
Şekil 6.4 : Oluşturulacak verinin özellikleri	22
Şekil 6.5 : Uygulama alanında ArcGis çizim işlemleri	23
Şekil 6.6 : Uygulama alanında 2 boyutlu alan	23
Şekil 6.7 : Programda clip komutunun kullanılması.....	24
Şekil 6.8 : Uygulama alanında kesilen 2 boyutlu alanın görünümü	24
Şekil 6.9 : Uygulama alanında 2 boyutlu alanın özellikleri.....	25
Şekil 6.10 : Uygulama alanında hücre boyutunun değiştirilmesi.	25
Şekil 6.11 : Hücre boyutu değiştirilmiş 2 boyutlu alanın özellikleri.	26
Şekil 6.12 : Nokta verisinin görünümü	26
Şekil 6.13 : Arazi kullanım türü verisinin, çalışma alanına uygun kesilmiş görünümü.....	29
Şekil 6.14 : Kesilen arazi pürüzlülük verisinin yeni alanlarının hesaplanması.....	29
Şekil 6.15 : Arazi pürüzlülük değerlerine uygun Mannings n değerlerinin girilmesi	30
Şekil 6.16 : Binalar ve 2 boyutlu alanın görünümü	30
Şekil 6.17 : Bina verilerinin, oluşturulan 2 boyutlu alana göre kesilmesi	31
Şekil 6.18 : Şebeke boru, baca ve düzenlenmiş bina verileri ile görünümü	31
Şekil 6.19 : Bina verilerinde görünen hatalar.....	32
Şekil 6.20 : Bina verilerinin düzenlenmesi	32
Şekil 6.21 : Düzenlenmiş bina verilerinin görünümü	33
Şekil 6.22 : InfoWorks ICM'de veri tabanının oluşturulması.	36
Şekil 6.23 : InfoWorks ICM'de şebeke ağının oluşturulması	37
Şekil 6.24 : Programa verilerin aktarılması	38
Şekil 6.25 : Programa 2 boyutlu alanın aktarılması	39
Şekil 6.26 : Aktarılan 2 boyutlu alanın görünümü ve özellikleri.....	40
Şekil 6.27 : Programa pürüzlülük verisinin aktarılması.....	40
Şekil 6.28 : Aktarılan pürüzlülük verisinin görünümü ve özellikleri	41
Şekil 6.29 : Baca ve mazgalların programa daha kolay aktarılması için “config” kısayolunun oluşturulması.....	42
Şekil 6.30 : Baca ve mazgalların programa aktarılması	43
Şekil 6.31 : Şebeke borularının aktarılması için kısayol oluşturulması	44
Şekil 6.32 : Şebeke borularının programa aktarılması	45
Şekil 6.33 : Bina verilerinin programa aktarılması	46
Şekil 6.34 : Aktarılan verilerin genel görünümü.....	47
Şekil 6.35 : Bacaların yüksekliklerine göre çıkış bacalarının belirlenmesi.	47
Şekil 6.36 : Belirlenen çıkış bacalarının programa tanıtıldıktan sonraki özellikleri ...	48
Şekil 6.37 : Analiz öncesi, şebeke boru ve bacaların kontrol edilmesi.....	48
Şekil 6.38 : Veriden kaynaklı hataların düzeltilmesi	49
Şekil 6.39 : Koordinat sisteminin ayarlanması için kullanılacak komut.....	49

Şekil 6.40 : Koordinat sisteminin 2 boyutlu alana göre düzenlenmesi	50
Şekil 6.41 : Yer modelinin oluşturulması için kullanılacak komut.....	51
Şekil 6.42 : Yer modelinin oluşturulması için, ArcGis’de oluşturulan nokta verilerinin aktarılması	52
Şekil 6.43 : Yer modelinin oluşturulması	53
Şekil 6.44 : Oluşturulan yer modelinin görünümü.....	53
Şekil 6.45 : Üçgenleme işleminin yapılması için kullanılan komut	54
Şekil 6.46 : Üçgen ağı özellikleri	55
Şekil 6.47 : Bina verilerinin üçgenleme yapılmadan önce, oluşturulacak üçgenlerle kesişmemesi için programa tanıtılması.....	56
Şekil 6.48 : Üçgenleme işleminin başlatılması	57
Şekil 6.49 : Üçgenleme işleminin takip edilmesi.....	58
Şekil 6.50 : Üçgenleme işleminin takip edilmesi.....	58
Şekil 6.51 : Üçgenleme işlemi neticesinde oluşturulan üçgenlerin programa yüklenmesi.....	59
Şekil 6.52 : Yüklenen üçgenlerin görünümü	59
Şekil 6.53 : Üçgenlerin, bina verileri ile görünümü.....	60
Şekil 6.54 : Yağış verisini ekleme komutu	61
Şekil 6.55 : “Rainfall event” komutu üzerinde yapılan değişikliklerin gösterimi	61
Şekil 6.56 : Yağış verilerinin düzenlenmesi	62
Şekil 6.57 : Yağış verilerinin düzenlenmesi	63
Şekil 6.58 : Bütün yağış verilerinin programa yüklenmesi.....	63
Şekil 6.59 : Taşkın analizini başlatmak için kullanılan “Run” komutu.	64
Şekil 6.60 : “Run” komutu üzerinde yapılan değişiklikler	64
Şekil 6.61 : Taşkın analizi aşamaları.....	65
Şekil 6.62 : Taşkın analizleri.....	65
Şekil 7.1 : Tema ayarlarının açılması komutu	66
Şekil 7.2 : Tema ayarlarının düzenlenmesi	67
Şekil 7.3 : Boruların, yönetmeliğe uygun renklerin verilmesi işlemi	68
Şekil 7.4 : Şebeke hatlarının numaralandırılması ve sayısal haritada gösterilmesi ..	69
Şekil 7.5 : Tüm analizler için başlangıç debisi gösterimi	70
Şekil 7.6 : 2 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm	72
Şekil 7.7 : 5 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm	73
Şekil 7.8 : 10 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm.	74
Şekil 7.9 : 2 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm.	75
Şekil 7.10 : 5 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm	76
Şekil 7.11 : 10 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm	77
Şekil 7.12 : 2 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi.....	79
Şekil 7.13 : 5 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi.....	80
Şekil 7.14 : 10 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi.....	81
Şekil 7.15 : 501714 numaralı üçgenleme sonucu elde edilen üçgenin grafik ve tablo değerleri	82
Şekil 7.16 : 2 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 5 numaralı kesitin görünümü	84
Şekil 7.17 : 5 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 5 numaralı kesitin görünümü.....	85

Şekil 7.18 : 10 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 5 numaralı kesitin görünümü	86
Şekil 7.19 : 2 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü	88
Şekil 7.20 : 5 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü.	89
Şekil 7.21 : 10 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü.	90
Şekil 7.22 : 10 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın maksimum durumdaki 4 numaralı kesitte bulunan boruların analiz sonucundaki tablo görünümü ...	91
Şekil 7.23 : 2 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm	93
Şekil 7.24 : 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm	94
Şekil 7.25 : 10 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm	95
Şekil 7.26 : 2 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm	96
Şekil 7.27 : 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm	97
Şekil 7.28 : 10 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm	98
Şekil 7.29 : 2 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi.	99
Şekil 7.30 : 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi.....	100
Şekil 7.31 : 10 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi	101
Şekil 7.32 : 2 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesinde doluluk oranı 0.9'dan büyük boruların görünümü.....	102
Şekil 7.33 : 2 yıl tekerrürlü ve 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyede karşılaştırılması ...	104
Şekil 7.34 : 2 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 7 numaralı kesitin görünümü	105
Şekil 7.35 : 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 7 numaralı kesitin görünümü	106
Şekil 7.36 : 10 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 7 numaralı kesitin görünümü	107
Şekil 7.37 : 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 7 numaralı kesitteki ters eğimin görünümü	109
Şekil 7.38 : 2 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 8 numaralı kesitin görünümü	111
Şekil 7.39 : 5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 8 numaralı kesitin görünümü ...	112
Şekil 7.40 : 10 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 8 numaralı kesitin görünümü	113
Şekil 7.41 : 10 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 8 numaralı kesitteki 108.1 numaralı borunun tablo görünümü	114
Şekil 7.42 : 2 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm	116
Şekil 7.43 : 5 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm	117
Şekil 7.44 : 10 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm	118
Şekil 7.45 : 2 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm....	119
Şekil 7.46 : 5 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm	120
Şekil 7.47 : 10 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm	121

Şekil 7.48 : 2 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi.....	122
Şekil 7.49 : 5 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi.....	123
Şekil 7.50 : 10 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi.....	124
Şekil 7.51 : 2 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 6 numaralı kesitin görünümü....	126
Şekil 7.52 : 5 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 6 numaralı kesitin görünümü.....	127
Şekil 7.53 : 10 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 6 numaralı kesitin görünümü.....	128
Şekil 7.54 : 2 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü.....	129
Şekil 7.55 : 5 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü.....	130
Şekil 7.56 : 10 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü.....	131
Şekil 7.57 : 501714 numaralı ve 0,013 Manning's n değerine sahip üçgenin farklı tekerrür aralıklarında, aynı yağış süresine göre derinlik-zaman, hız-zaman grafikleri....	133
Şekil 7.58 : 1227949 numaralı ve 0,013 Manning's n değerine sahip üçgenin farklı tekerrür aralıklarında, aynı yağış süresine göre derinlik-zaman, hız-zaman grafikleri.....	134
Şekil 7.59 : 1055669 numaralı ve 0,08 Manning's n değerine sahip üçgenin farklı tekerrür aralıklarında, aynı yağış süresine göre derinlik-zaman, hız-zaman grafikleri.....	135
Şekil 7.60 : 1227949 numaralı ve 0,013 Manning's n değerine sahip üçgenin aynı tekerrür aralıklarında, farklı yağış süresine göre derinlik-zaman, hız-zaman grafikleri.....	136

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Q	: Debi
A	: Kesit alanı
g	: Yerçekimi ivmesi
θ	: Yatağın yatayla yaptığı açı
S_0	: Yatağın eğimi
K	: İletim
B	: Serbest yüzey genişliği
A_f	: Dolu boru alanı
C_p	: Su basıncı dalgasının dolu boru hızı
h	: Su derinliği
u, v	: Hız
$S_{0,x}, S_{0,y}$: Yatak eğimleri
$S_{f,x}, S_{f,y}$: Sürtünme eğileri
C	: Courant sayısı
MASKİ	: Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
KTB	: Kültür ve Turizm Bakanlığı
SYM	: Sayısal yükseklik modeli
CBS	: Coğrafi bilgi sistemleri

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAĞMURSUYU DRENAJ SİSTEMLERİNİN TAŞKIN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

BURAK ÇIRAĞ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

145+XI sayfa

2021

Danışman: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Yağış rejimleri ve davranışları, iklim değişikliğine bağlı olarak değişmektedir. Yağış süreleri kısaldıkça, şiddeti artmaktadır. Kentsel alanlarda bina yoğunluğunun artması, doğal derelerin yapısındaki bozulmalar ve düzensiz yapılaşmalar sonucu drenaj sistemleri yetersiz kalmaktadır. Yağış davranışlarının değişmesi ve kentsel alanlarda geçirimli yüzeylerin azalmasından dolayı, şehir taşkınları ciddi zararlara neden olmaktadır. Şehir taşkınlarının güvenli bir biçimde uzaklaştırılabilmesi için yağmursuyu drenaj sistemleri kullanılmalıdır. Bu tür sistemlerin işletilmesi sırasında, yanlış hidrolik hesap yapılması, deşarj noktalarının doğru belirlenememesi, yanlış imalat ve kötü işçilik gibi birçok sebepten dolayı sistem doğru çalışmamakta ve aksamaktadır. 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 5, 10 ve 15 dakikalık yağış süreleri, 2, 5 ve 10 yıl tekrarlanma periyotları için model oluşturulmuştur. Ayrıca uygulama alanında sayısal yükseklik modeli, drenaj hattı, karakteristik bilgileri ve bina yerleşimleri göz önünde bulundurulmuştur. Taşkın analizi coğrafi bilgi sistemleri ve InfoWorks ICM yardımıyla yapılmıştır. Analizler sonucunda taşkın yayılım haritaları hazırlanmıştır. Yağmursuyu drenaj hattının bazı bölgelerde yetersiz kaldığı, mal ve can kaybına sebebiyet verebileceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağmursuyu Drenaj Sistemleri, Taşkınlar, Taşkın Analizi

ABSTRACT

Master Thesis

EVALUATION OF FLOOD PERFORMANCE OF RAINWATER DRAINAGE SYSTEMS

BURAK ÇIRAĞ

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

145+XI sayfa

2021

Supervisor: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Precipitation regimes and behaviours change depending on the climate change. As the duration of precipitation decreases its intensity increases. Because the density of buildings increases in urban areas, drainage systems remain inadequate as a result of deterioration in the structure of natural streams and irregular structures. Urban floods lead to serious damage because of the change in precipitation behaviour and the decrease in permeable surfaces in urban areas. Stormwater drainage systems should be used for removing city floods safely. During the operation of such systems, the system does not work correctly and malfunctions due to many reasons such as incorrect hydraulic calculations, inability to determine the discharge points correctly, incorrect manufacturing and poor workmanship. 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 5, 10 and 15 minutes of precipitation and 2, 5 and 10 years repetition periods. In addition, the digital elevation model, drainage line and characteristic information as well building layouts were taken into consideration in the application area. The flood analysis was done with the help of geographic information systems and InfoWorks ICM. As a result of the analysis, flood spread maps were prepared. It has been observed, the rainwater drainage line is insufficient in some areas, and may cause loss of property and life.

Keywords: Stormwater Drainage Systems, Floods, Flood Analysis

1. GİRİŞ

Dünyada kentsel bölgelerde yaşamın ön planda olması, kırsal bölgelerden kentsel bölgelere göç etme hızının artışı şehirleşme ile doğru orantılıdır. Buna bağlı olarak kentsel bölgelerde, yapılaşmanın artışı ile arazinin suyu emme katsayısı düşmekte, yüzeysel akış artmakta ve yeraltı suları azalmaktadır. Kentsel bölgelerde yağışın birleşik veya ayrık altyapı sistemleri ile uzaklaştırılması gerekmektedir. Fakat bazen mevcut altyapı sistemleri hesaplanmalar yapılmış olsa bile yağışı düzgünce deşarj edememekte ve mal ve can kaybına sebep olabilecek taşkın riski oluşturmaktadır. Bunun için mevcut altyapı sistemleri, geçmiş dönemlerdeki yağışlar göz önüne alınarak taşkına neden olabilecek yağışlara göre geleceğe yönelik sürdürülebilir alt yapı sistemleri olarak inşa edilmelidir.

Kentsel alanlarda meydana gelen ve şehir taşkınları olarak adlandırabileceğimiz bu taşkın temel olarak aşağıdaki nedenlerden meydana gelmektedir;

- Yağmursuyu drenaj sistemleri veya kanalizasyon sistemlerinin uygun ölçüde seçilmemiş olması veya gelecekteki koşulları göz önünde bulundurulmamış olması
- Birleşik drenaj sistemlerinde meydana gelen arızalar
- Nüfus artışına bağlı olarak kentleşmenin artması ve buna bağlı olarak geçirimli yüzeylerin azalması
- İklim değişikliğine bağlı olarak yağış karakteristiklerinin değişerek kısa süreli ve şiddetli bir hal almasından dolayı mevcuttaki hatların yetersizliği

Bu çalışmada, kentsel alanlarda mevcutta hizmet veren yağmursuyu drenaj sistemlerinin taşkın performansı analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için Malatya il merkezinde yer alan ve mevcutta hizmet veren yağmursuyu hatları pilot uygulama bölgesi olarak belirlenmiştir. Çalışmada, taşkın performansının daha gerçekçi sonuçlar vermesi için analize, bölgede geçmişte gözlenmiş yağış verileri, arazi pürüzlülük verisi, bina verileri, sayısal yükseklik modeli (SYM) parametreleri dahil edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilecek sonuçların gelecekte taşkına dair çalışmalara bir örnek teşkil edebileceği düşünülmektedir. Çalışmanın amacı temel olarak;

- Kentsel alanlarda bulunan yağmursuyu drenaj sistemlerinin taşkın performanslarının değerlendirilmesi
- Farklı tekerrür aralıkları ve yağış süreleri için taşkın simülasyonlarının yapılması
- Analiz sonucuna göre taşkın yayılım haritalarının oluşturulması

Taşkın yayılım haritalarının sürdürülebilir şehir planlamaları için önemli bir rol üstlenebileceği düşünülmektedir. Haritaların sonucuna göre, yaşam alanlarında gelecekte meydana gelebilecek taşkınların incelenmesi, hangi bölgelerin veya daha küçük ölçekte düşünülürse hangi binaların su altında kalacağı öngörülebileceği için gerekli önlemlerin alınmasına fayda sağlayacaktır. Ayrıca bu haritaların imara açılacak yeni bölgeler için geleceğe yönelik yağmursuyu drenaj sistemlerinin tasarlanmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Malatya ilinde bulunan ve mevcutta kullanılan 8 farklı yağmursuyu drenaj sisteminin taşkın performansının analiz edilmesinde temel olarak sırasıyla aşağıdaki yol izlenmiştir;

- Temin edilen sayısal yükseklik modelinin (SYM), coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımıyla çalışma alanına uygun bir şekilde düzenlenmesi
- Temin edilen yağmursuyu drenaj sistemlerinin, taşkın analizinin yapılacağı aracı programa CBS yardımıyla uygun olarak düzenlenmesi
- Temin edilen bina verilerinin CBS yardımıyla konumlarının belirlenip gerekli düzenlemelerin yapılması
- Çalışma alanına ait arazi pürüzlülük verilerinin elde edilmesi
- Yağış verilerinin analizin yapılacağı programa göre uygun formatta düzenlenmesi
- Temin edilen ve düzenlenen verilerin, taşkın analizinin yapılacağı InfoWorks ICM yazılımına entegre edilmesi
- InfoWorks ICM yazılımında taşkın analizi için gerekli düzenlemelerin yapılması
- InfoWorks ICM yardımıyla taşkın performans analizinin gerçekleştirilmesi
- Yağmursuyu drenaj sistemlerinin taşkın performansı açısından risk faktörlerinin belirlenmesi

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Korving vd. (2009) yaptıkları çalışmada, birçok kanalizasyon sistemi, şehirleşme, kentsel yenileme ve iklim gibi girdilerdeki değişikliklerin yanı sıra kanalizasyon altyapısının bozulması sonucu performanslarındaki azalma nedeniyle pahalı rehabilitasyona ihtiyaç duymakta olduğunu belirtmiştir. Rehabilitasyonun verimli bir şekilde tasarlanması ve uygulanması gerektiği açıklanmıştır. Bu makale, kanalizasyon sistemi boyutlarındaki belirsizlik, yağmurdaki doğal değişkenlik ve çevresel zararı tanımlayan maliyet fonksiyonundaki belirsizlik göz önünde bulundurularak riske dayalı bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır.

Haghighi ve Bakhshipour (2012) kanalizasyon şebekelerinin tasarımı için bir optimizasyon modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Yaklaşım özellikle sorunun doğrusal olmayan ve ayrık kısıtlamalarını ele almaya odaklanmaktadır. Bunun için kanalizasyon şebekelerinin optimizasyonu için uyarlanabilir bir genetik algoritma tanıtılmaktadır. Tanıtılan bu ikili genetik algoritma, kanalizasyon sistemlerinin tasarımındaki tüm kısıtlamaları dikkate alarak maliyeti minimuma indirmeyi amaçlamıştır.

Fortunatoa vd. (2014) kentsel drenaj sistemlerinin tasarımında oluşabilecek muhtemel hasarları esas alarak optimum yağış geri dönüş periyodu için bir metot tanımlamaya çalışmıştır. Çalışmada sistemin inşaat, bakım ve işletme maliyetleri ve faydaları dikkate alınmıştır. Önerilen metodolojide binaların bodrumunun olup olmadığı, kat sayısı gibi faktörler, su derinlikleriyle birlikte hesaba katılarak ortalama bir maliyet çıkarılmıştır.

Stephenson ve D'Ayala (2014) yılında yaptıkları çalışmada, İngiltere'deki tarihi binaların sel baskını esnasındaki korunmasız yanlarını araştırmıştır. Son yıllarda meydana gelen ani ve şiddetli yağışların oluşturduğu sellerin tarihi binalardaki yarattığı riskler konusundaki endişeler dile getirilmiştir. Ayrıca çalışma, üç farklı özelliklere sahip kentsel vakayı inceleyerek, binaların içsel özelliklerini bütüncül bir şekilde sunan bir yaklaşım için bir metodoloji önermiştir. Çalışma gelecekte yapılması öngörülen, bina zaafiyetini ve sel tehlikesini içeren çalışmalar için bir temel oluşturmaktadır.

Karovic ve Mays (2014) yaptıkları çalışmada kanalizasyon sistemleri için minimum maliyeti hesaplamak için Excel tabanlı bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Çalışmada, taşkına karşı kanalizasyon sistemleri tasarlanırken optimizasyon uygulanarak tasarlanan ve normal tasarlanan sistemi karşılaştırmıştır. Optimizasyon kullanarak tasarlanan sistemler de önemli ölçüde maliyet azalmıştır.

Pina vd. (2014) yaptıkları çalışmada yaşanmış bir taşkın olayını yarı dağıtılmış ve tam dağıtılmış hidrolik modellerde modelleyerek, iki yöntem arasında karşılaştırma yapmıştır. Tam dağıtılmış hidrolik modellerin daha fazla ve ayrıntılı veriye ihtiyaç duyduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Cherqui vd.(2015) yaptıkları çalışmada kentsel drenaj sistemlerinin analizinin ve taşkın simülasyonlarının oldukça karmaşık 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 koşulların da önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Golz vd. (2015) kent taşkınlarına dikkat çekmiş, sentetik yaklaşımla binaların taşkın dayanımlarını değerlendirmiş ve taşkın dayanıklılık teknolojisinin (FReT) bina ölçeğinde değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu nedenle çalışma, taşkın hasarının azaltılmasına ilişkin FreT uygulamasının potansiyel etkilerine ilişkin kanıt sağlamak için taşkın hassasiyet analizine ilişkin sentetik yaklaşımın dört aşamalı bir uzantısını önermektedir. Vaka çalışmasından elde edilen modelleme sonuçları, FreT uygulama seviyesine bağlı olarak sel hasarı onarımı için olası maliyet düşüşlerini örneklemektedir.

Zhu vd. (2016) kentsel drenaj sistemlerinde risk değerlendirmesi için yeni ve başarılı bir yaklaşım önererek kentsel drenaj sistemlerinin taşkına karşı hazırlıklı olması için rehberlik edecek yaklaşım önermiştir. Taşkın riskini değerlendirmek için hidrolik, çevresel ve drenaj indeksleri belirlemiştir. Önerilen yaklaşım, SWMM modeline, takip yöntemine, kriging yöntemine ve gözlemlenen yağış ve akış verilerine dayanmaktadır. Bu yaklaşım taşkın riskinin çalışma alanındaki dağılımını hesaplayabilmekte ve taşkın riski değerlerindeki farklılıklara göre çeşitli seviyelere bölebilmektedir. Bu seviyeler, taşkın riski tehlikelerini ve taşkından etkilenen en büyük alanı belirlemek için kullanılabilir.

Reza Ghazavi vd. (2016) kentsel drenaj sistemlerinin hidrolojik olarak tasarlanmasında yağış şiddeti – süre – frekans eğrisinin önemli olduğunu belirtmiştir. Çalışmada temel amaç, Zanzan şehir havzasının yağış yoğunluklarını, yağış şiddeti-süre-frekans eğrilerinin genel ilişkisine ve uygun saatlik yağış tahmini modellerine (Sherman yöntemi, Ghahreman ve Abkhezr yöntemi) dayanarak tahmin etmektir. Yağış parametrelerindeki değişim, kentsel akışın tasarlanması ve yönetilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmada, Ghahreman ve Abkhezr yöntemi kullanıldığında yağış şiddeti ve taşkın hacmi azaldığı belirtilmiştir.

Zongxue Xu ve Gang Zhao (2016) yaptıkları çalışmada kentleşmenin yağış-akış süreleri üzerine etkisini araştırmış ve uygulama alanı olarak Çin'deki Liangshui Nehri havzasını ele almıştır. Bu çalışmada, Pekin'deki Dahongmen havzasındaki yağış-akış sürecini simüle etmek için farklı kent senaryoları ve insan kökenli sorunları dikkate alan SWMM modeli başarıyla uygulanmıştır. Ölçülen akış verileri, model kalibrasyonu için kullanılmıştır. Farklı kent senaryoları altında taşkın özelliklerinin değişimini analiz etmek için farklı girdi dönemlerine sahip yağışları model girdisi olarak kullanılmıştır. Çalışmaya göre, SWMM modeli, kentleşmeden önce ve sonra yağış-akış sürecinin simülasyonu için iyi bir performansa sahiptir. Nash-Sutcliffe verimliliği 0.6'dan büyük çıkmıştır. 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.

Ogidan ve Giacomoni (2016) yaptıkları çalışmada mevcut kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen taşmaları azaltmak veya ortadan kaldırmak için uygun maliyetli rehabilitasyon stratejileri tasarlamak için genetik algortima metodolojileri önermiştir. Bunun için iki yöntem belirlenmiştir. Birincisi boru çaplarını arttırarak akış katsayısını arttırmak, ikincisi ise pik akışı azaltmak için depoların konulması şeklindedir. Kanalizasyon taşmalarını ve rehabilitasyon maliyetlerini azaltma sorunlarının çok amaçlı problem haline getiren bir formülasyon uygulanmıştır. Çok amaçlı problem formülasyonunun ilk sonuçları, sistemdeki tüm kanalizasyon taşmalarını ortadan kaldıran herhangi bir çözüm bulamamıştır. Fakat çok amaçlı optimizasyonlar, tek amaçlı optimizasyonlardan elde edilenlerden daha ucuz çözümler üretmiştir.

Steele vd. (2016) yaptıkları çalışmada kentsel yağmursuyu sistemleri ve kanalizasyon sistemlerinin tasarımı iki sorunun çözülmesinden oluştuğu ifade etmiştir. Bunlar, sistemin bir düzeninin oluşturulması ve yükselteleri, eğimleri ve boru boyutlarını içeren boru tasarımı şeklinde belirtilmiştir. Taşkın kanalizasyon şebekesinin optimal (minimum maliyet) yerleşimini ve boru tasarımı belirlemek için sezgisel bir model sunulmaktadır. Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (GAMS) kullanılarak çözülen karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama (MINLP) problemi olarak formüle edilen bir kanalizasyon düzeni modeli planlanmıştır. Oluşturulan bir düzenin boru tasarımı için simüle edilmiş bir optimizasyon prosedürü Excel'de geliştirilmiştir.

Safavi ve Geranmehr (2016) belirli bir düzen için karma tamsayı doğrusal programlama (MILP) kullanılarak 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. Çalışma da önerilen optimizasyon yönteminin, tüm gerçek hayat kısıtlamalarının doğru bir şekilde kullanıldığı kanalizasyon optimal tasarımı için uygulanabilir bir yöntem olduğu iddia edilebilir.

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.

Shimabuku vd. (2018) yağmursuyunun yerel bir su kaynağı olarak kullanılması ve taşkın risklerinin azaltılması için yağmursuyunun kontrol edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca çalışma da yağmursuyu yönetimi için yasal çerçeveyi oluşturan ilgili düzenlemelerin, yasaların ve eyalet çapındaki girişimlerin bir özeti sunulmaktadır. Yağmursuyu hasadının toplum yaşanabilirliğinin artırılması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi gibi ek yan faydalarının olduğu belirtilmiştir.

Miao vd. (2018) kentsel drenaj şebekesinin taşkın önleme ve su kirliliği üzerinde hayati bir etkisi olan kentsel altyapı projesi olduğunu belirtmiştir. Bunun için Çin'deki bir şehri pilot alan belirleyerek 6 milyondan fazla izleme verisi kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak yağmur ve atık suların karışması ve gelgit sularının problemi gibi birçok olayı çözüme kavuşturulması amaçlanmıştır. Bu araştırmanın yağış sırasında gelgit seviyesini önceden tahmin edilmesini, acil durum planlarının hazırlanmasını, taşkın kontrolü ve drenaj sisteminin yönetilmesini güçlendireceği düşünülmektedir.

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 yağmursuyunu tahliye etmek için yağmursuyu 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 yağmursuyu boru hattındaki karmaşıklık miktarını belirlemenin önemli bir etken olduğunu belirtmişlerdir.

Mohammad Alhumaid vd. (2018) kurak bölgelerde yer alan kentsel alanlardaki yağmursuyu drenaj sistemleri, genellikle akışın toplanması ve bertarafı için kanalizasyon şebekelerinden oluştuğunu, nüfus artışı sonucunda şehirlerin sınırlarındaki genişleme nedeniyle mevcut drenaj sistemlerinin kapasitesinin tükendiğini belirtmiştir. Bu araştırmada kurak bölgelerin kentsel alanları için farklı yağmursuyu drenaj seçeneklerini

değerlendirmek için bir sistem geliştirilmiştir. Bu araştırmada, kurak bölgelerin kentsel alanları için farklı yağmursuyu drenaj seçeneklerini değerlendirmek için bir çerçeve geliştirilmiştir.

Tanrıverdi (2018) 25 yıl tekerrürlü yağışın verilerini kullanarak 1 saatlik yağışın simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Mevcut yağmursuyu drenaj sisteminin eksik ve yeterli yönleri tespit edilmiştir. Sorunun çözümü için boru çapları ve muayene bacaları yeniden hesaplanarak, maliyet analizi çıkarılmıştır. Mevcut sisteme alternatif olarak daha sürdürülebilir alt yapı açısından bekletme havuzu uygulanarak yeniden hesaplanmıştır. Bekletme havuzu kullanılarak yapılan sürdürülebilir altyapı tasarımı, klasik sisteme göre %15'lik tasarruf sağlayıp, su taşkınlarını da engellediği belirtilmiştir.

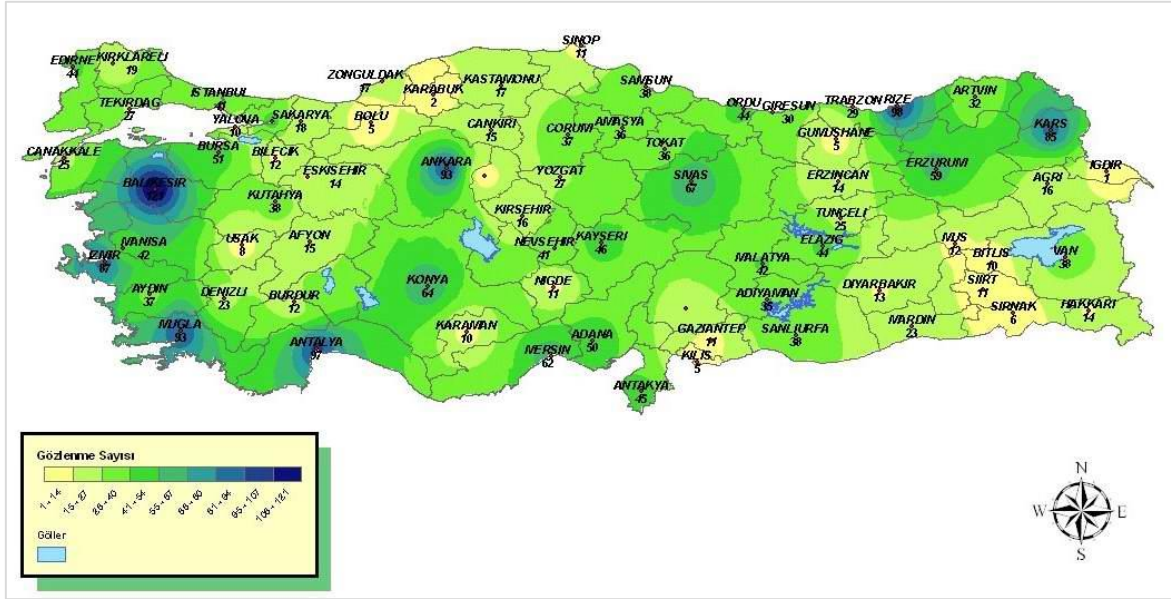
Papaioannou vd. (2018) sıkça taşkın olaylarının gözlemlendiği Yunanistan'ın Volos şehrini çalışma alanı kabul ederek, kentsel alanlarda taşkın riski yönetimi için vurgulanan AB Taşkın Yönetmeliği'nin, Yunanistan'da uygulanmasına yönelik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Analizlerin sonucunda, yetkilendirilmemiş havzalar için tipik mühendislik uygulamaları büyük belirsizliklere tabi olsa da, hidrolojik deneyim eksik bilgileri dengeleyerek oldukça gerçekçi sonuçlar sağlayabildiği belirtilmiştir.

Laouacheria vd. (2019) yağmursuyu şebekesinin şebekesinin davranışlarını anlamayı ve tahmin etmeyi, böylece yapısal ve işletmeden kaynaklı sorunlara etkin çözümler bulmayı amaçlamıştır. Hidrolik modelleme simülasyonunda, 10, 25 ve 50 yıllık yağışları Azzaba şehir havzası için kullanılmış ve yağmursuyu yönetim modelinin toprak koruma servisi-eğri numarası ve çift üçgen yağış modelinden yararlanmışlardır. Yağmursuyu modelini kentsel havzalar için çok uygun olduğunu ve farklı yağış olayları süreleri ve dönüş süreleri için hidrolik modellemeyi gerçekleştirebileceğini gösterdiği belirtilmiştir. Hidrolik modelleme sonuçlarının tasarım yağış koşulları altında karşılaştırılması, kısa süreli ve farklı geri dönüş süresine sahip çift üçgen yönteminin tepe akışı artırdığını vurgulanmıştır.

Jang vd. (2019) çatı oluklarının kentsel taşkınları üzerindeki etkisini analiz etmek için, üç farklı akış modelini birleştirerek yeni bir yaklaşım önermiştir. Bu birleştirilmiş yaklaşımı, kanalizasyon borularına doğrudan akan basitleştirilmiş bir yaklaşımla karşılaştırmışlardır. Birleştirilmiş yaklaşımda yüzey suyu, önce oluklara oradan da yanal borularla kanalizasyon borularına aktarılmaktadır. Basit yaklaşımda ise yüzey suyu herhangi bir yanal boru olmadan direkt kanalizasyon borularına aktarılmaktadır. Sonuç olarak birleştirilmiş yaklaşım, basit yaklaşıma göre taşkının tahmin edilmesini yüzde 27 oranında etkilemiştir.

3. ŞEHİR TAŞKINLARI

Taşkın, genellikle şiddetli ve kısa süreli yağışlardan dolayı meydana gelmektedir. Fakat kentsel alanlarda yetersiz drenaj ağı ve geçirimsiz yüzeylerden kaynaklı, dağlık bölgelerde kar erimesi bazen de barajların çökmesi gibi sebeplerden de meydana gelebilir (MGM,2021b). Taşkınlar, özellikle eğimli ve geçirimsiz topraklarda, nehir kapasitesinin üzerinde normalden fazla yağışın gelmesi veya kar erimesinden kaynaklı meydana gelmekte ve maddî/manevî zarar verebilmektedir.



Şekil 3.1 : Sel - Taşkın - Şiddet Yağış Afetleri 1940-2010 Yılları Arasındaki Gözlenme Sayıları (MGM,2021b)

Şehir taşkınları, kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin fazla olması ve drenaj ağlarının yetersiz olmasından kaynaklı meydana gelen ani su basmalarındır (Kadioğlu, 2019). Taşkınlar, yerleşim yerlerinin bulunduğu konuma göre değişiklik göstermektedir. Kıyı ve deniz kenarında bulunan yerleşim yerlerinin kıyı veya nehir taşkınları riski vardır. Şehir merkezlerinde su infiltrasyonunu sağlayacak zemin çok bulunmadığından, yağışın çoğunluğu drenaj sistemleri ile tahliye edilmelidir. Ancak tahliye işlemini gerçekleştirecek olan kanalizasyon ve yağmursuyu drenaj sistemleri, mevcut hattın yeterli kapasiteye sahip olmaması durumunda, gelecekteki nüfusa ve imara uygun yapılmadığında, kullanım ömrü boyunca oluşabilecek taşkınları karşılayamayacak seviyede inşa edildiğinde kentsel taşkınlar meydana gelmektedir.



Şekil 3.2 : Çalışma alanında geçmişte yaşanmış taşkın

Kentsel taşkınlar günümüzde ciddi bir sorun haline gelmekte ve birçok araştırmamızın konusu olmaktadır. Kentsel taşkınların sebebiyet verdiği göreceli olarak değişen birçok olumsuz etkisi vardır. Genellikle yerleşim yerlerinin büyük bir su kütlesi altında kalması olarak tanımlanan bu taşkın türü, insanların evlerinden göç etmesi gibi toplumsal zararlara da neden olmaktadır. Bu etkilerin yanı sıra, düzgün yapılmamış mevcut sistemin yenilenme maliyeti, su fiyat artışı, turizm kaybı vb. taşkınların birçok olumsuz yan etkileri ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde kentsel taşkınlar oldukça sık görülmekte ve gündelik hayatı olumsuz etkilemektedir. Kentsel taşkınlar yolların kapanmasına neden olarak insanların gündelik işlerini aksatmaktadır. Taşkınlar, coğrafi yapıya göre düz bir yerleşim yeri ise gündelik hayatı çok etkilemeden insanlar hayatına devam edebilmektedir. Fakat eğimli ve dik bir yerleşim yeri ise, ani ve şiddetli yağışlarda ciddi mal ve can kaybına neden olabilmektedir.

Günümüzde şehir merkezlerinde artan nüfus yoğunluğu, daha geçirimsiz yüzeylere neden olmaktadır. Dolayısıyla taşkınların zararları artmaktadır. Doğal derelerin insanlar tarafından kapatılması, derelere atıkların boşaltılması da taşkınlara sebebiyet vermektedir.



Şekil 3.3 : Çalışma alanında geçmişte yaşanmış taşkın



Şekil 3.4 : Çalışma alanında geçmişte yaşanmış taşkın

İklim değişikliği, kentleşme gibi nedenlerden dolayı yağış davranışları değişmektedir. Yağış süreleri kısalmakta yağış şiddeti ise artmaktadır. Yağış şiddetinin artması suyun yeraltına sızmasını azaltmakta ve taşkın ihtimalini artırmaktadır.

4. ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışmada kentsel alanlarda yağmursuyu drenaj sistemlerinin performansının analiz edilmesinde Malatya il merkezi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Malatya; Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Havzasında ve Adıyaman, Malatya, Elazığ, Bingöl, Muş, Van çöküntü alanının güneybatı tarafında yer almaktadır. Malatya'nın yüzölçümü 12.313 km² olup nüfusu 786,676 kişidir. Merkez olarak bilinen Yeşilyurt ve Battalgazi merkez ilçelerinde ise mevcut nüfus 618,000 kişidir. Malatya ili 2012 yılında 6360 sayılı yasayla büyükşehir statüsüne kavuşmuştur. Büyükşehir statüsü ile birlikte içme suyu ve kanalizasyon hizmetleri Malatya Su ve Kanal İdaresi (MASKİ) tarafından yürütülmektedir.

Malatya şehrinde içme suyu herhangi bir arıtmaya ihtiyaç duymadan, doğal kaynaktan ve yeraltı suyundan temin edilmekte ve şebekeye sadece klorlama 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. Malatya ilinin 2020 Eylül ayı itibarıyla; Yeşilyurt ilçesinde 121.397 m, Battalgazi ilçesinde 80.768 m yağmursuyu drenaj hattı mevcuttur (MASKİ,2021).

Malatya İli, Güneydoğu Anadolu Bölgesi karasal yağış rejimi ve Akdeniz Bölgesi denizel yağış rejimi ile Doğu Anadolu Bölgesi karasal yağış rejimi ve İç Anadolu Bölgesi karasal yağış rejimleri arasında bir geçiş alanı durumundadır. Bu nedenle Malatya İli, Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunuyor olmasına rağmen, daha az soğuk ve daha az karasal iklim özelliği göstermektedir (KTB,2021).



Şekil 4.1 : Çalışma alanı

5.YÖNTEM

5.1 InfoWorks ICM Taşkın Analizi Matematiksel Yapısı

Bu çalışmada yağmursuyu drenaj ağının taşkın performansının analizinde InfoWorks ICM yazılımı (İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Lisansı bulunmaktadır) kullanılmıştır. Bu hesaplama aracı bir boyutlu (1B) ve iki boyutlu (2B) hidrolik model denklemlerini esas alarak analiz gerçekleştirmektedir. Bu bölümde hesaplama aracında 1B ve 2B hidrolik model denklemlerinin genel yapısı ve matematiksel ifadeleri açıklanmış ve detaylandırılmıştır.

5.1.1 Kapalı kanal modeli

Kapalı kanal, şebekedeki iki düğüm arasında uzunluğu bilinen bir bağlantı olarak temsil edilir. Bağlantı ile düğüm arasındaki sınır koşulu ya tahliye ya da basınç kaybı tipindedir. Bir kapalı kanalın eğimi, bağlantının her bir ucundaki en düşük görülebilir yükseklik ile tanımlanır. Bu, düğümlerdeki seviye süreksizliklerini veya negatif eğim durumunu engellemez (www.innovye.com, 2021).

Hem kapalı borular hem de açık kanallar için daha önceden belirlenen çeşitli enkesit şekilleri seçilebilir. Dairesel borular tek bir boyutla (çap), diğerleri ise yükseklik ve genişlikle tanımlanır. Yükseklik, açık kanallarda kanal kaplamasının tepe noktasına kadar alınır. Standart olmayan enkesit şekilleri, boyutsuz bir yükseklik/genişlik ilişkisi tanımlanarak modellenebilir. Biri kapalı kanalın alttaki üçte birlik kısmı için ve diğeri geri kalan kısmı için olmak üzere iki farklı hidrolik pürüzlülük değeri belirlenebilir. Kanalın en düşük seviyesinde kalıcı tortu derinliği tanımlanabilir; erozyon veya çökeltme dikkate alınmaz. Korunum modeli denklemleri ise Saint-Venant denklemleridir (Yen, 1973). Kütle ve momentumun korunumuna ilişkin bu denklemler aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = 0 \quad (1)$$

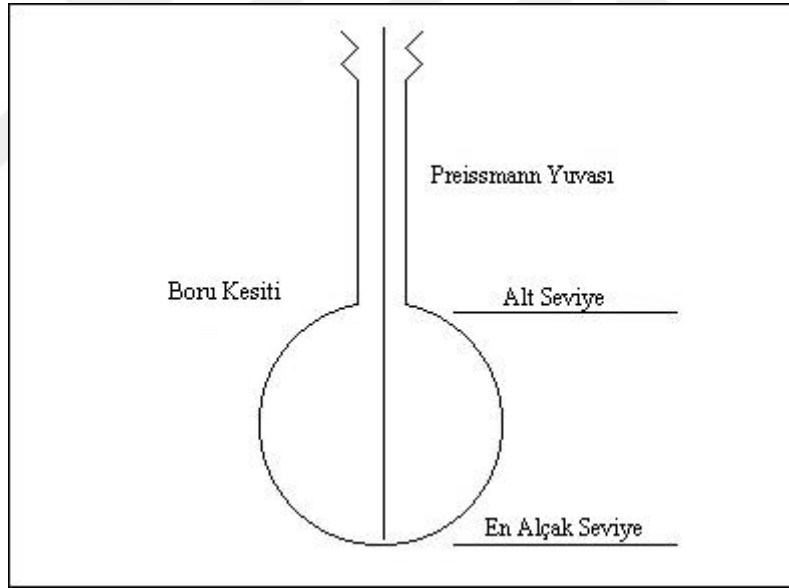
$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\cos \theta \frac{\delta y}{\delta x} - S_0 + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0 \quad (2)$$

Bu denklemlerde, Q , debi (m^3/s); A , kesit alanı (m^2); g , yerçekimi ivmesi (m/s^2); θ , yatağın yatayla yaptığı açı (derece); S_0 , yatağın eğimi; K , iletim şeklinde ifade edilir. İletim fonksiyonu, Colebrook-White veya Manning denklemlerine dayanmaktadır (Wallingford Prosedürü,1976).

Basınçlı boru akışı korunum modeline ilişkin denklemler, serbest yüzey genişliğinin kavramsal olarak nispeten küçük bir terimle değiştirilmesiyle farklılık göstermektedir.

$$B = \frac{gA_f}{C_p^2} \quad (3)$$

Bu eşitlikte, B , serbest yüzey genişliği (m); g , yerçekimi ivmesi (m/s^2); A_f , dolu boru alanı (m^2); C_p , Su basıncı dalgasının dolu boru hızı (m/s) olarak ifade edilir. Saint-Venant denklemlerinin çözümü, boru alt yüzeyine uygun şekilde dar bir yuva (Preissmann yuvası) yerleştirilerek basınçlı akışta da kullanılabilir (Cunge ve Wegner, 1964). Böylece, serbest yüzey ve aşırı yük koşulları arasında yumuşak bir geçiş sağlanır. Preissmann Yuvası, su seviyesi kapalı kanalın üst seviyesinin üzerinde olduğu durumda akış için kavramsal bir serbest yüzey koşulu sağlayan kavramsal dikey ve dar bir yuvadır.(www.innovyze.com, 2021)



Şekil 5.1 : Boru kesiti (www.innovyze.com, 2021)

Preissmann yuvasını doğrudan boru alt yüzeyine yerleştirmenin etkisi, yüzey genişliğinin türevinde ani bir değişiklik ve basınçlı koşullara geçişte dalga hızı olarak görülebilir. Doğru boru geometrisi ile Preissmann yuvasının genişliği arasında tekdüze kübik olarak tanımlanan modele bir geçiş bölgesi dahil edilmiştir (www.innovyze.com, 2021).

Yuva genişliğinin kendisi ise, yuvadaki dalga hızının, kapalı kanal yüksekliğinin yarısındakinin on katı olacak şekilde tanımlanır. Bu, basınçlı akışın doğru şekilde modellenmesini sağlar (Gomez vd., 1992) ve yuva genişliği olarak kapalı kanal genişliğinin %2'si bulunur. Kapalı bir boruda maksimum iletim aslında boru alt yüzeyinin altında meydana gelecek ve 'boru tam dolu' değerinden daha büyük olacaktır. İletim, dönüm noktasından ve birden fazla sayısal çözüm olasılığından kaçınmak için monotonluk dayatarak bunu yaklaşık olarak karşılar.

5.1.2 Temel 2 boyutlu hidrolik teorisi

InfoWorks ICM'de kullanılan 2B altyapısı, Alcrudo ve Mulet-Marti (2005) tarafından açıklanan işlemleri esas almaktadır. 2B akışın matematiksel gösteriminde sığ su denklemleri (SWE), yani Navier-Stokes denklemlerinin derinlik-ortalama versiyonu, kullanılır (Alcrudo & Mulet-Marti, 2005). SWE, akışın ağırlıklı olarak yatay ekseninde olduğunu ve dikey eksenindeki hız değişiminin ihmal edilebileceğini varsaymaktadır. InfoWorks'te kullanılan SWE korunum formülleri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (www.innovyze.com, 2021):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D} \quad (4)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1d} \quad (5)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(hv^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial x} = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1d} \quad (6)$$

Bu eşitliklerde, h su derinliği; u ve v , sırasıyla x ve y yönlerindeki hızlar; $S_{0,x}$ ve $S_{0,y}$, sırasıyla x ve y yönlerindeki yatak eğimleri, $S_{f,x}$ ve $S_{f,y}$, sırasıyla x ve y yönlerindeki sürtünme eğimleri, Q_{1D} birim alan başına memba debisi, U_{1D} ve V_{1D} ise kaynak deşarjının sırasıyla x ve y yönlerindeki hız bileşenleridir.

Sığ su denklemlerinin korunumu formülü, temel kütle ve momentum değerlerinin korunmasındaki esas formüldür. Bu tür formüller, akıştaki süreksizlikleri ile kademeli ve hızlı şekilde değişen akışlar arasındaki değişikliklerin gösterilmesini sağlar. SWE korunum denklemleri, birinci dereceden sonlu hacimler yöntemi kullanılarak ayrık hale getirilir. Sonlu hacimler yöntemleriyle, modelleme alanı geometrik şekillere bölünmüştür. Kontrol hacmi sınırları boyunca akış denklemlerinin elde edilmesi için bu geometrik şekiller üzerinde SWE kullanılmıştır. SWE'nin çözümünde kullanılan yöntem, Gudunov'un sayısal

yöntemine dayanmaktadır ve kontrol hacimlerinin sınırları boyunca geçen akışlar, standart Roe'nun yaklaşık Riemann çözücüsü kullanılarak sayısal olarak hesaplanmaktadır. Genel olarak, sonlu hacim yöntemlerinin korunum, geometrik esneklik ve kavramsal olarak basitlik açısından bir takım avantajlar sağladığı düşünülmektedir (www.innovyze.com, 2021).

Kullanılan şema açık çözüm yöntemi olduğu için, 1B yönteminde olduğu gibi tanımlanan toleranslar dahilindeki kararlılığa ulaşmak için iterasyon yapılmasına gerek yoktur. Bunun yerine, her bir elemanın kararlılığa ulaşması için gereken zamanda adım aralığı Courant-Friedrichs-Lewy kararlılık sabiti kullanılarak hesaplanır. Bu hesaplamada Courant-Friedrichs-Lewy kararlılık sabiti aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$c \frac{\Delta x}{\Delta t} \leq 1 \quad (7)$$

Bu ifade C, boyutsuz bir Courant sayısıdır (2B parametrelerde ayarlanan Zamanda Adım Aralığı Kararlılık Kontrolü, Varsayılan değeri 0.95'dir). Hücre ıslatma ve kurutma işlemi, bir hücrenin ıslak olup olmadığını belirlemede kriter olarak bir eşik derinliği kullanılarak gerçekleştirilir; eğer derinlik eşik değerinin altındaysa (2B Parametrelerde Hız Eşiği, varsayılan değeri = 0.001 m) hızın sıfır olarak alınır. Böylece, ıslatma/kurutma alanlarında yapay olarak yüksek hız oluşması önlenir. Infoworks ICM'de 2B alanının temsilinde yapılandırılmamış bir ağ görünümü kullanılmaktadır. Bu ve kullanılan yöntem sayesinde hızla değişen akışların (şok yakalama) yanı sıra süper kritik ve transkritik akışlar da güçlü bir şekilde simüle edilebilmektedir.

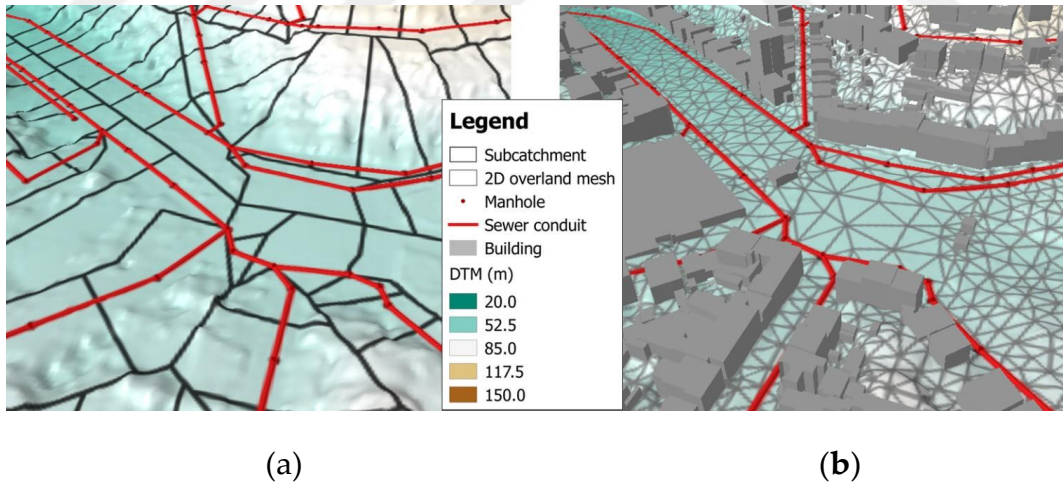
InfoWorks ICM'nin 2B modülü, kapalı kanal (şehir kanalizasyon sistemi) veya nehir kollarından oluşabilen 1B şebekeye bağlanabilir. 2B elemanlar ve 1B nehir kolları arasındaki bağlantıda, 1B kanalların yanal veya sıralı yatak hatları ile 1B kapalı kanalların bacaları temsil edilir. 1B ve 2B alanlar arasındaki değişim debisini 1B ve 2B alanlarını birbirine bağlanmasında kullanılan baca tipine bağlı olarak belirlemek için bir savak denklemi, deşarj basıncı veya kullanıcı tanımlı bir ilişki kullanılır (www.innovyze.com, 2021).

5.2 Tam Dağıtılmış Hidrolojik Model

5.2.1 Kentsel yağmursuyunun modellenmesi

Kentsel yağmursuyu modelleri, kentsel havzalarda yağmursuyunun akışıyla ilgili ana fiziksel süreçleri tanımlayan algoritmalar ve yöntemler içeren simülasyon araçlarıdır. Genellikle üç ana modülün birleştirilmesine dayanmakta olup bunlar yağış-akış, kara akışı ve kanalizasyon akışı şeklindedir. Yağış, onu yüzey akışına dönüştüren yağış-akış modülü için ana veri girişidir. Akış daha sonra, akışı kentsel yüzey alanı aracılığıyla kara akışına ve kanalizasyon sistemindeki akışı hesaba katan kanalizasyon akış modülüne girilir (Pina vd., 2016).

Kentsel yağmursuyu modelleri, yağış-akış modülünün mekânsal ayrıştırmasına bağlı olarak yarı dağıtılmış (YD) veya tam dağıtılmış (TD) olarak kabul edilir (Pina vd., 2016). YD modelleri, yağış miktarının uygulandığı, sızma ve akışların tahmin edilip çeşitli arazi kullanım türlerine sahip alt havza birimlerine dayanmaktadır. TD modellerinde, akış hacimleri tahmin edilir ve doğrudan kara yüzeyinin 2B bir modelinin elemanlarına uygulanır. TD modelleri daha gerçekçi bir yaklaşıma dayalıdır, çünkü oluşturulan şebeke hücresi akışı doğrudan 2B kara akışı modülüne yönlendirilir (Pina vd., 2016).



Şekil 5.2 : Yarı dağıtılmış (a) ve tam dağıtılmış (b) hidrolik modeller (Pina vd., 2016)

Yarı ve tam dağıtılmış hidrolik modellerin arasındaki farklar şu şekilde ifade edilebilir (Pina vd., 2014);

- Yağışın girilme şekli: YD hidrolik modellerde alt havzalar yoluyla – TD hidrolik modellerde doğrudan 2B yüzey modelinde girilmektedir.

- Akış hacminin tahmin edilme şekli: YD hidrolik modellerde alt havza ölçeğinde - TD hidrolik modellerde 2B yüzey modelinin şebeke veya ağ elemanında yapılır.
- Akış hacimlerinin modele girilme şekli: YD hidrolik modellerde, her bir alt havzadaki tahmini akış doğrudan 1B kanalizasyon modelinin düğümlerine girilirken - TD hidrolik modellerde, ağ elemanında üretilen akış 2B yüzey boyunca yönlendirilir, topoğrafyaya ve kanalizasyon kanallarının konumuna bağlı olarak kanalizasyon sistemine girebilir veya girmeyebilir (Pina vd., 2014).

Bu farkların dışında TD daha fazla ve ayrıntılı verilere ihtiyaç duymaktadır. Bundan dolayı analiz yapmadan önce modelleme şekillerini detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

İlk kayıplar: Temel fark, çöküntü sularının depolanmasının temsili ile ilgilidir. Çöküntü depolaması, hem geçirimsiz hem de geçirimli yüzeylerde (yüzey ıslatma), kara yüzeyindeki küçük çöküntülerde (su birikintisi oluşturan) ve yüzey malzemelerinin gözeneklerinde tutulan yağmursuyudur. YD hidrolik modellerde bu tutulan sular, genellikle sabit bir değerle veya doğrudan yağıştan çıkarılan tek bir değerle ifade edilir. Bu değer alt havzaların eğimine ve yüzey tipine göre değişiklik gösterebilir. TD hidrolik modelde ise daha ince çözünürlük yapısına sahip olduğu için, karadan akış modülü ve su birikintisi oluşumunu başlatan unsurlar daha ayrıntılı bir şekilde analize katılabilir (Pina vd., 2016).

Devam eden kayıplar: Temel fark, sızmanın nasıl modellendiği ile alakalıdır. Sızma, toprağa karışan yağış yüzdesidir. YD hidrolik modellerde, toprağın doygunluğuna bağlı olarak her alt havza için infiltrasyon tahmin edilir ve analizden önce yağıştan çıkarılır. TD hidrolik modellerde ise zeminin türü modele yansıtılabildiği için, toprak doygunluğuna ve su derinliğine bağlı olarak her 2D eleman için sızma tahmin edilebilir. Bu nedenler, tamamen dağıtılmış hidrolik model tarafında tahmin edilen sızma, geçirimsiz yüzeylerden geçirimli yüzeylere hareket eden suyun davranışını da yakalayabilir (Pina vd., 2016).

Yüzey akışının yönlendirilmesi: YD hidrolik modellerde yüzey akışı, yağmur akış modeline dayanan bir hidrograf ile temsil edilir. TD hidrolik modellerde ise yüzey akışı doğrudan kara yüzeyinde yönlendirilir. Buna ek olarak, yüzey birikintisi sularındaki akış hacimleri TD hidrolik modellerde dikkate alınırken, YD hidrolik modellerde alt havza tanımına ve deşarj tanımlarına bağlı olarak bu hacimler ihmal edilebilir (Pina vd., 2016).

Giriş hacimleri: YD hidrolik modellerde, kanalizasyon sistemlerinin giriş kapasitesi dikkate alınmaz. Bu da modelin, akış kanalizasyon sistemine gelmeden önce, sınırlı giriş

kapasitesinden dolayı meydana gelebilecek yağmursuyu taşmasını temsil edemeyeceği anlamına gelir. Sonuç olarak, taşkın yalnızca kanalizasyon sistemi aşırı şarj olduğunda meydana gelir. TD hidrolik model ise giriş hacimlerini analize yansıtabilir.

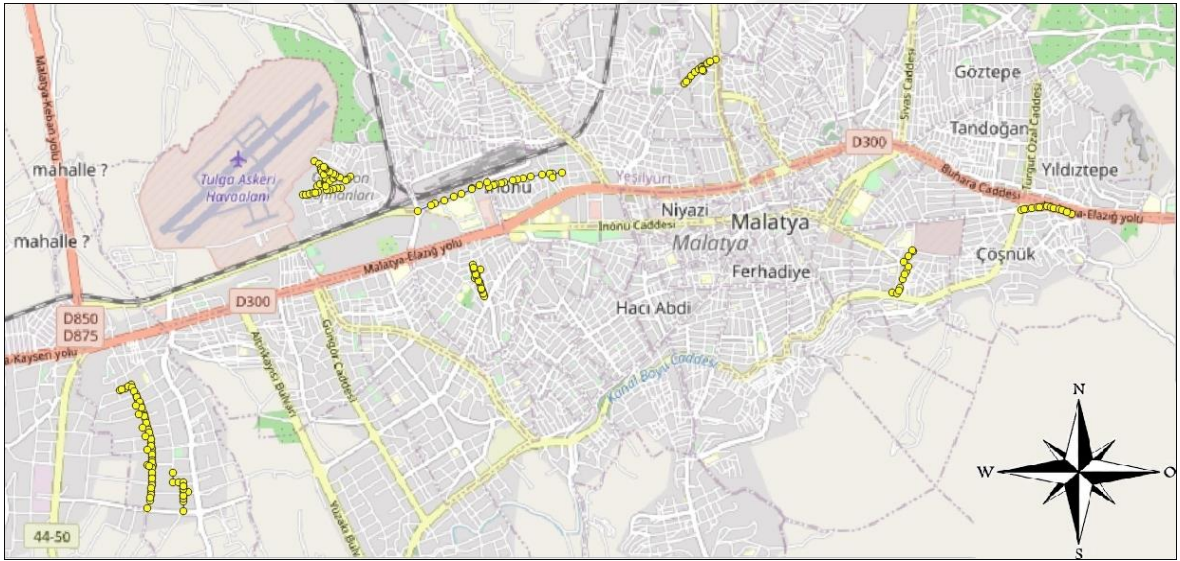


6.TAŞKIN ANALİZİNİN YAPILMASI

6.1 Verilerin Hazırlanması ve Gerekli Ön Hazırlıkların Yapılması

6.1.1 Yağmursuyu şebekesi veri temini

Kentsel taşkın analizlerinin yapılabilmesi için en önemli adım verilerin temin edilmesi ve gerekli ön hazırlıklarının yapılmasıdır. Bu amaçla Malatya ili merkez yağmursuyu şebekesi pilot uygulama alanı olarak belirlenmiştir. Uygulama alanında yağmursuyu şebeke verileri MASKİ'den temin edilmiştir. Bölgenin genelinde gerek yağmursuyu şebekesinin olmaması gerekse mevcut şebeke bilgilerinin eksik olmasından dolayı sadece Şekil 6.1'de verilen boru hatları için analiz gerçekleştirilmiştir. Analizin yapılacağı InfoWorks ICM platformunda baca ve mazgalların boru kotu ve zemin kotu bilgileri, borular için ise bağlı olduğu bacaların kotu, uzunluğu, çapı gibi parametrelerin bulunması gereklidir (Şekil 6.1-Çizelge 6.1-Çizelge 6.2).



Şekil 6.1 : Boru ve bacaların genel görünümü

Çizelge 6.1 : Boruların öznitelik tablosu

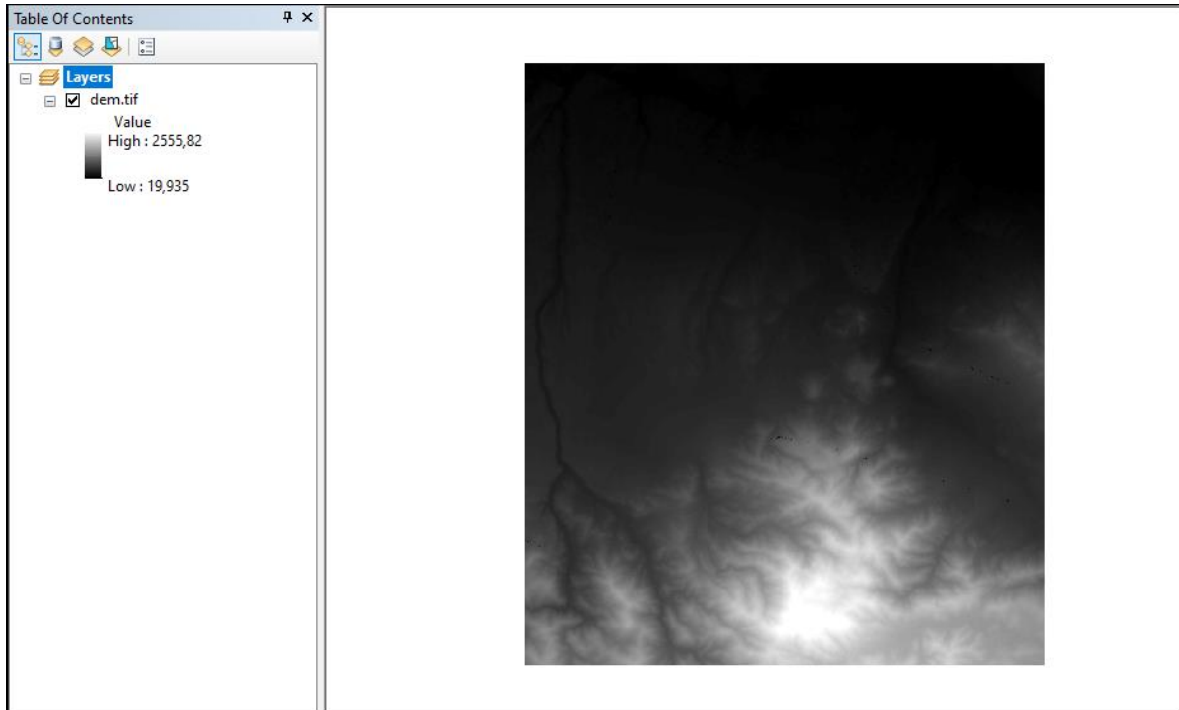
ID	Çap(mm)	Uzunluk(m)	Başlangıç baca ID	Bitiş baca ID	Başlangıç baca kotu(m)	Bitiş baca kotu(m)
147	300	50,35	177	176	968,6	968,56
148	400	10,64	172	171	967,29	967,26
149	400	82,04	171	170	967,26	967,1
150	400	88,97	170	169	967,1	966,91
151	600	49,72	169	168	966,91	966,59
152	600	50,50	168	167	966,59	966,53
153	600	24,42	167	166	966,53	966,51
154	600	56,64	166	165	966,51	966,15
155	800	30,35	165	164	966,15	965,95
156	800	83,07	161	160	965,49	965,3
157	800	122,94	160	159	965,3	964,9
158	800	32,73	158	157	964,56	964,37
159	800	93,18	157	156	964,37	963,913
160	800	74,07	159	158	964,9	964,56
161	300	48,76	179	158	966,35	964,56
162	800	55,53	162	161	965,53	965,49
163	800	58,88	163	162	965,71	965,53
164	800	88,02	164	163	965,95	965,71
165	400	124,27	173	172	967,81	967,29
166	400	84,28	174	173	968,01	967,81
167	300	98,15	176	175	968,56	968,44
168	300	105,46	175	174	968,44	968,01
169	300	144,02	178	177	969,72	968,6

Çizelge 6.2 : Baca ve mazgalların öznitelik tablosu

ID	Baca alt kotu(m)	Baca üst kotu(m)	ID	Baca alt kotu(m)	Baca üst kotu(m)
156	963,913	967,213	168	966,59	970,09
157	964,37	966,97	169	966,91	969,51
158	964,56	967,358	170	967,1	969,452
159	964,9	967,499	171	967,26	969,66
160	965,3	968,452	172	967,29	969,893
161	965,49	969,035	173	967,81	970,012
162	965,53	969,031	174	968,01	969,81
163	965,71	969,309	175	968,44	969,936
164	965,95	970,05	176	968,56	970,164
165	966,15	970,253	177	968,6	970,247
166	966,51	970,41	178	969,72	973,016
167	966,53	970,43	179	966,35	968,045

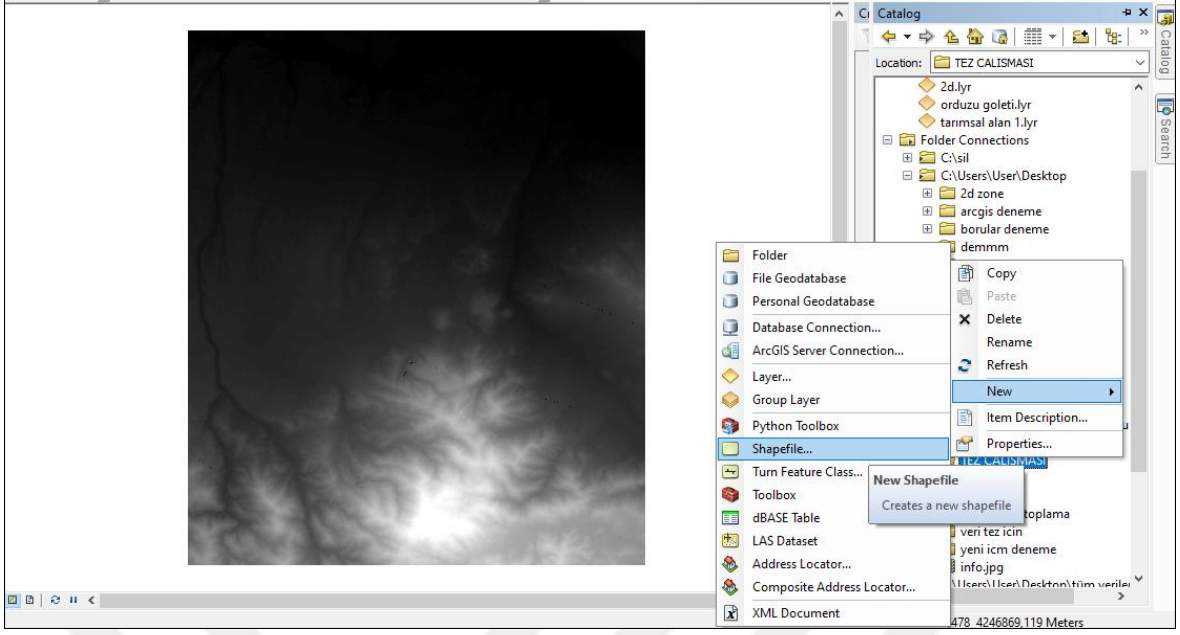
6.1.2 Sayısal yükseklik modelinin düzenlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde uygulama alanına ait sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturulmuştur (Şekil 6.2). SYM, genelde coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan, daha önceden araziden elde edilen yükseklik verilerinin çeşitli matematiksel işlemlerle dijital ortama aktarılması sonucu elde edilen haritalardır. Çalışmada kullanılan SYM 1 m hassasiyete sahip olup 2017 yılında tamamlanan Malatya ili içme suyu rehabilitasyon projesi kapsamında üretilen veri tabanından temin edilmiştir (MASKİ, 2017; Kılıç, 2018). Bu veriler kullanılarak ArcGIS 10.5 (İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Lisanslı olarak kullanılmaktadır) yardımıyla çalışma alanına ait SYM haritası elde edilmiştir (Şekil 6.2).

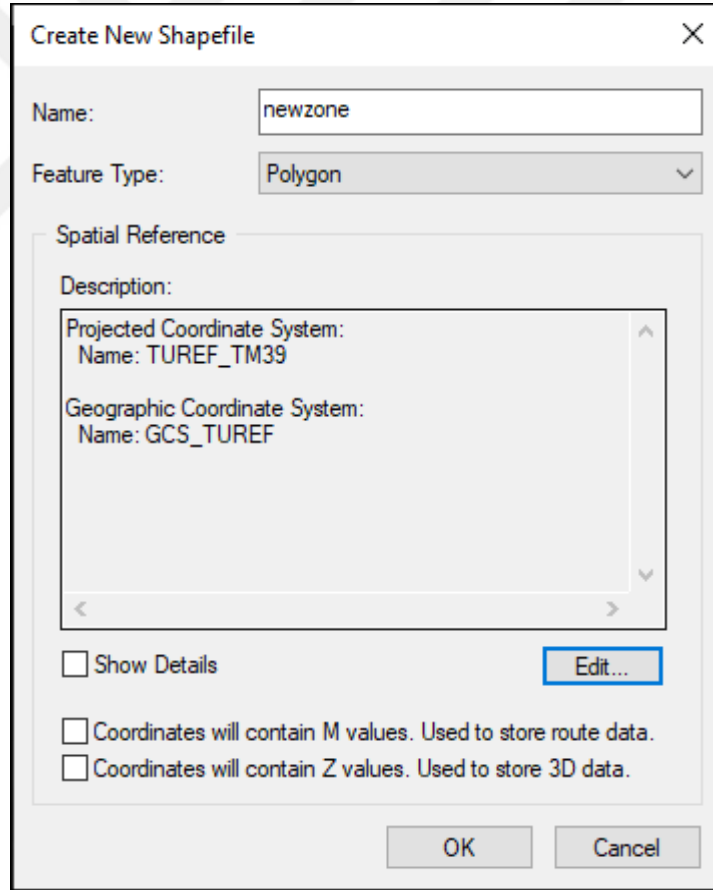


Şekil 6.2 : Uygulama alanına ait SYM verisi görünümü

Temin edilen SYM verisi Malatya ilinin tamamını kapsadığından dolayı oldukça büyük veri hacmine sahiptir. Bu kadar büyük bir veriyle çalışmak ön hazırlık aşamasında ve taşkın analizlerinin yapılmasında güçlük çıkarmaktadır. Taşkın analizleri yapılacak olan yağmursuyu şebekelerinin uygulama alanı merkez bölgesinde yer alması sebebiyle, şebekeye her yönden gelecek yağışı kesmeyecek şekilde iki boyutlu bir pilot alan oluşturulmalıdır. Bunun için öncelikle *.shp* formatında bir veri oluşturulmalıdır (Şekil 6.3). Bu verinin tipi poligon şeklinde olmalıdır ve koordinat sistemi SYM verisine göre ayarlanmalıdır (Şekil 6.4).

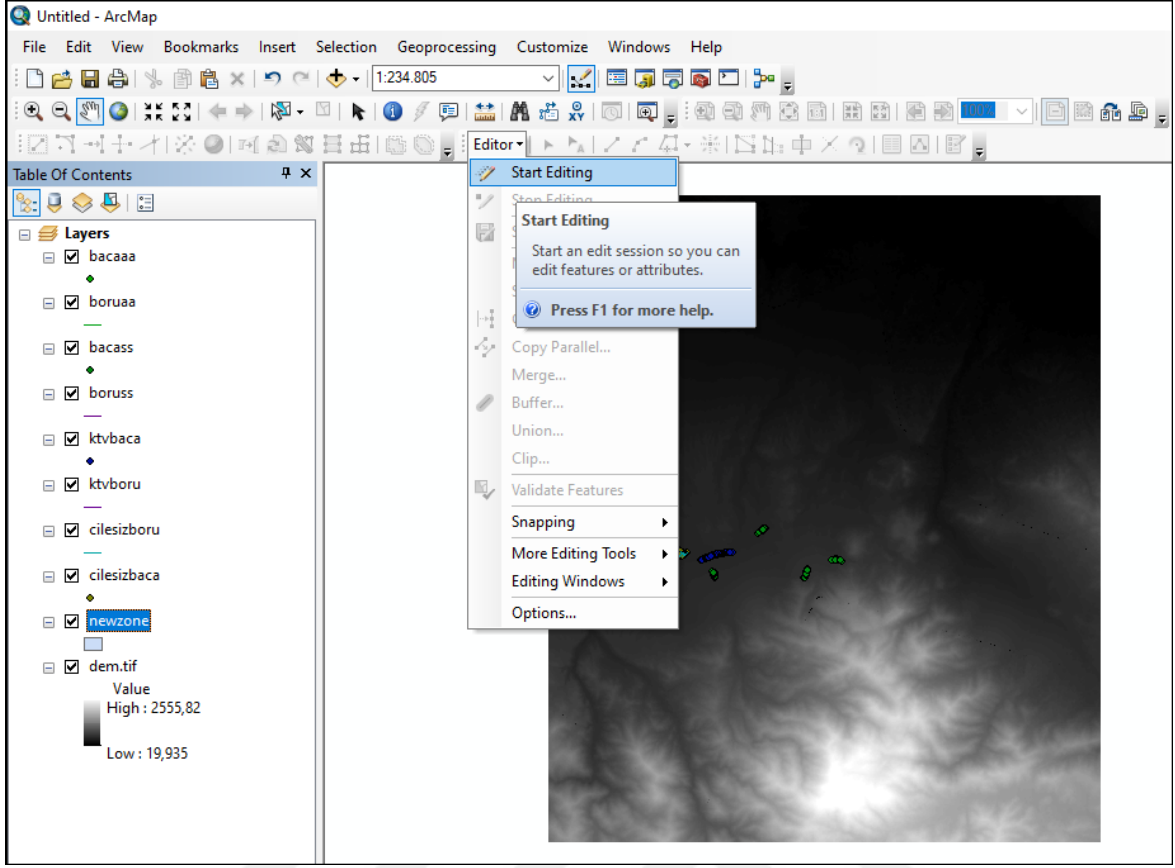


Şekil 6.3 : Uygulama alanında *shp* formatında veri oluşturulması

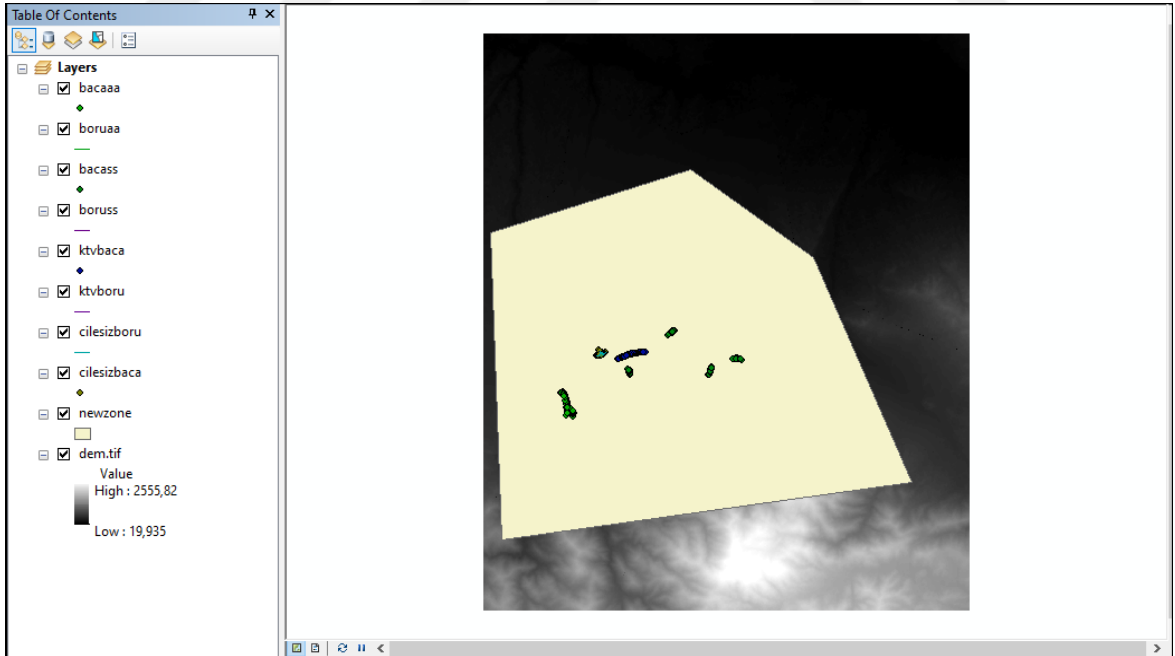


Şekil 6.4 : Oluşturulacak verinin özellikleri

Çalışmada kullanılacak olan yağmursuyu şebekeleri ArcGIS'e aktarılarak, çizim yapılması işlemine başlanılmıştır (Şekil 6.5). Çalışma alanındaki şebekeyi etkilemeyecek şekilde iki boyutlu alan oluşturulmuştur (Şekil 6.6).



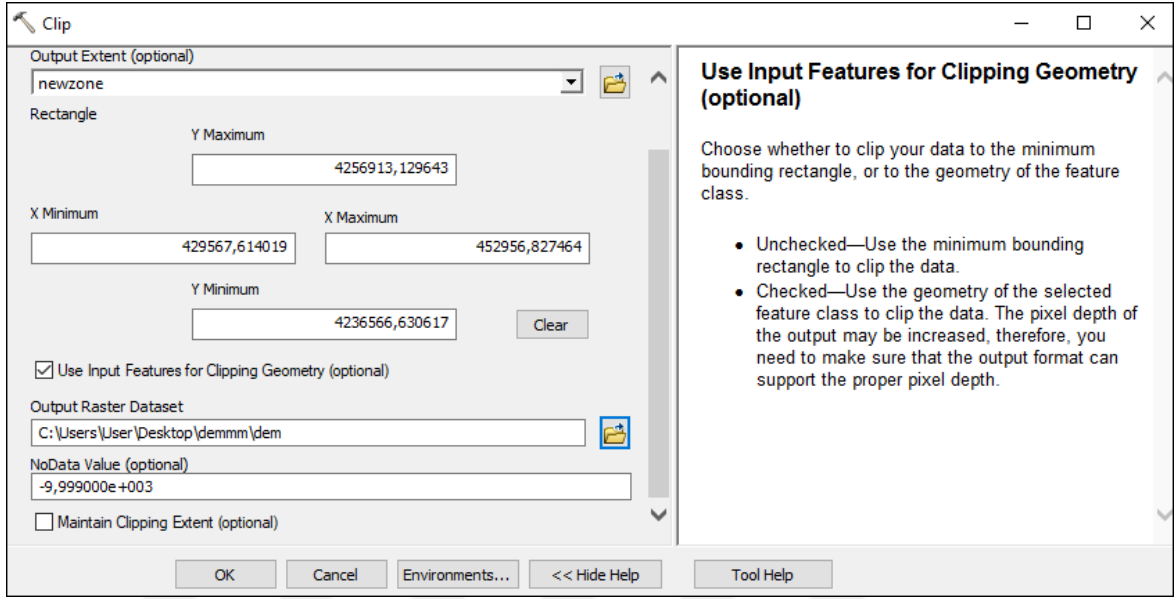
Şekil 6.5 : Uygulama alanında ArcGis çizim işlemleri



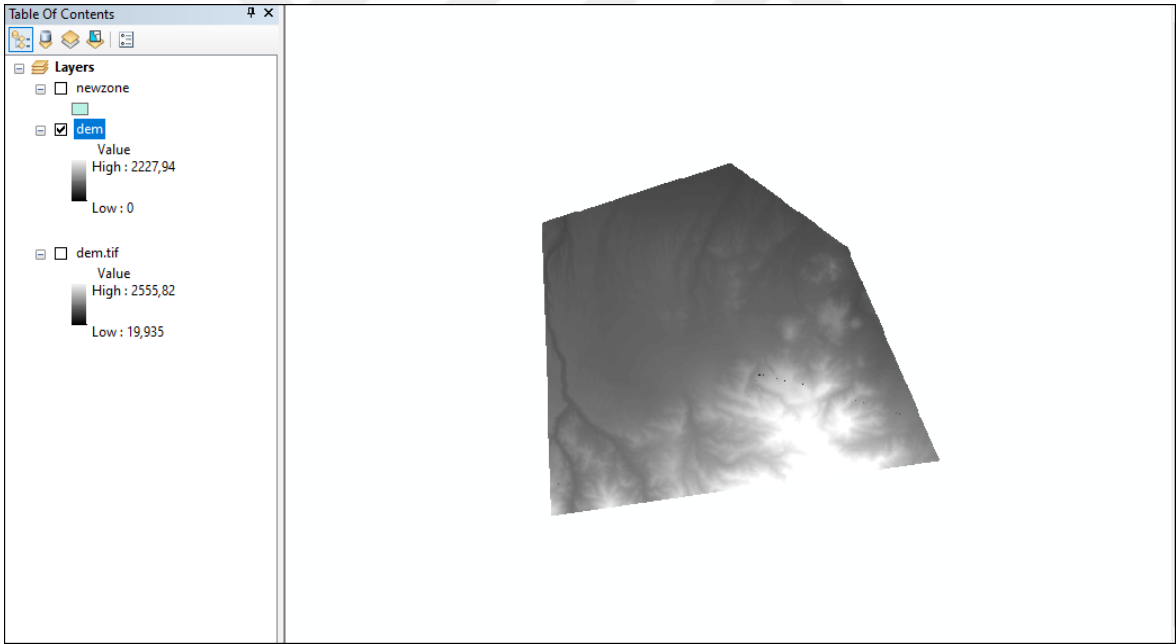
Şekil 6.6 : Uygulama alanında 2 boyutlu alan

Taşkın analizlerinin gerçekleştirilmesi için SYM verisinin nokta veri tipine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle SYM verisi oluşturulan iki boyutlu

alan boyutunda “Clip” komutuyla kesilmiştir (Şekil 6.7). Kesilen SYM haritası 0 – 2227,94 m kotları arasında oluşmaktadır (Şekil 6.8).

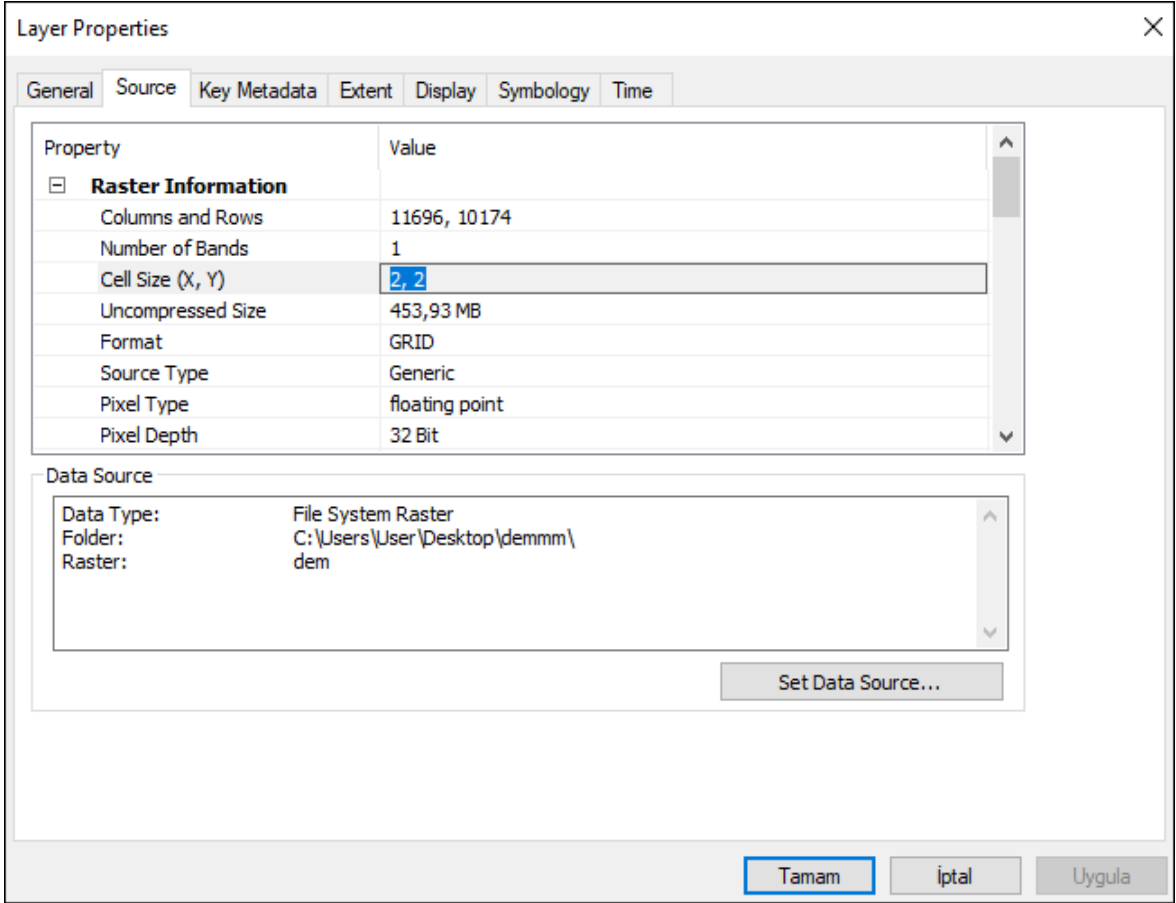


Şekil 6.7 : Programda clip komutunun kullanılması

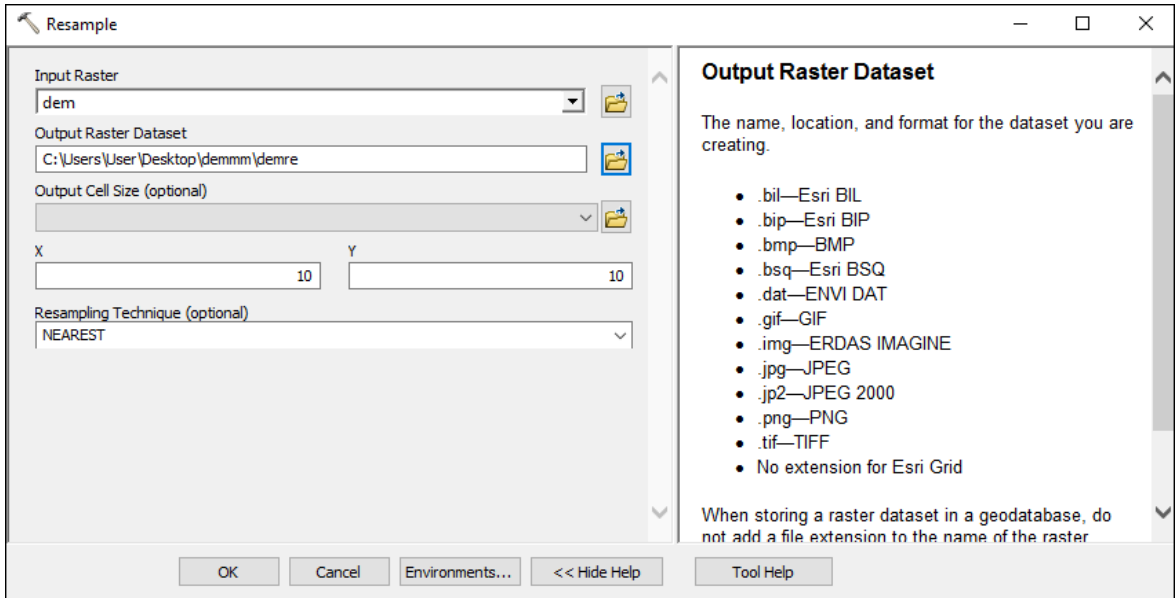


Şekil 6.8 : Uygulama alanında kesilen 2 boyutlu alanın görünümü

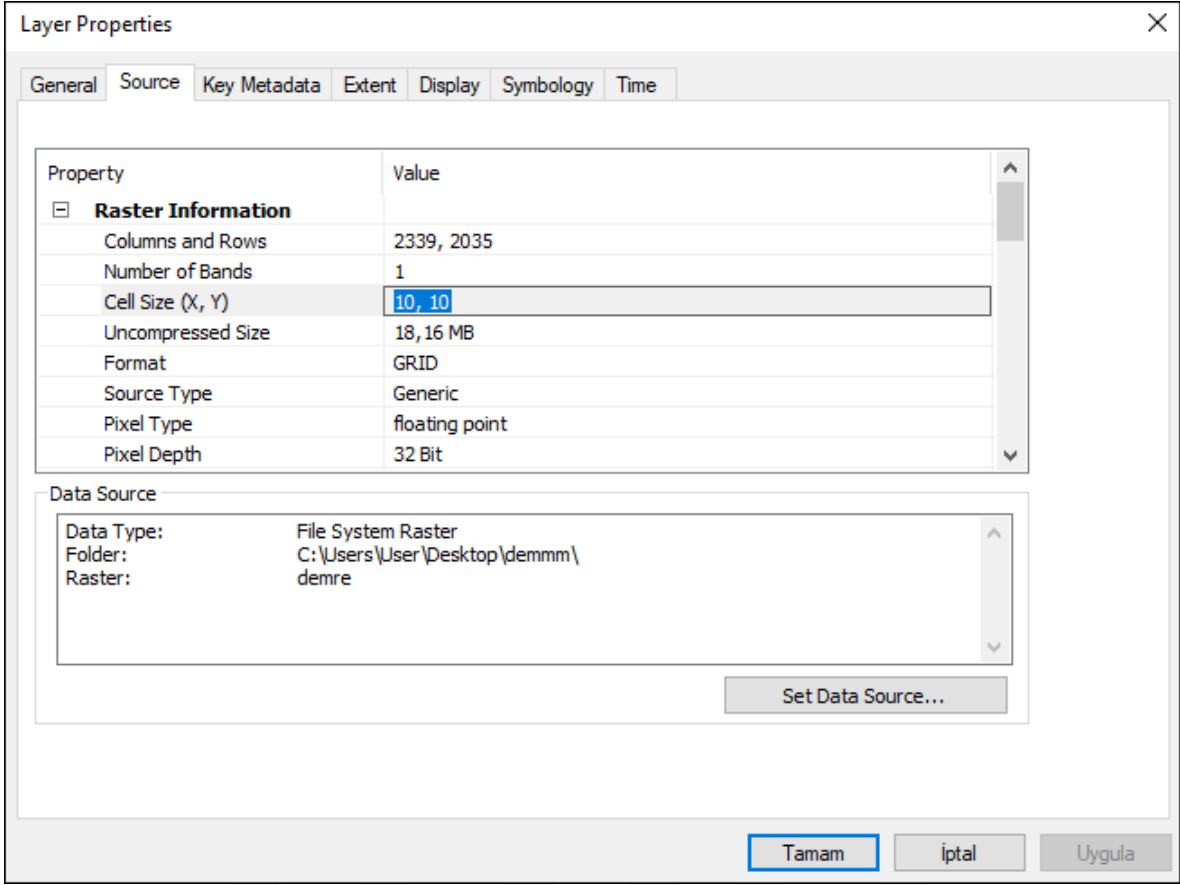
Temin edilen SYM haritası 2 – 2 m boyutundaki piksellerden oluşmaktadır. Bu da verinin oldukça büyük olmasını sağlamaktadır (Şekil 6.9). Çalışmanın kolaylaşması ve büyük veri hacminden kurtulmak amacıyla, “Resample” komutu kullanılarak hücre boyutları 10 -10 m boyutuna getirilmiştir (Şekil 6.10, Şekil 6.11).



Şekil 6.9 : Uygulama alanında 2 boyutlu alanın özellikleri

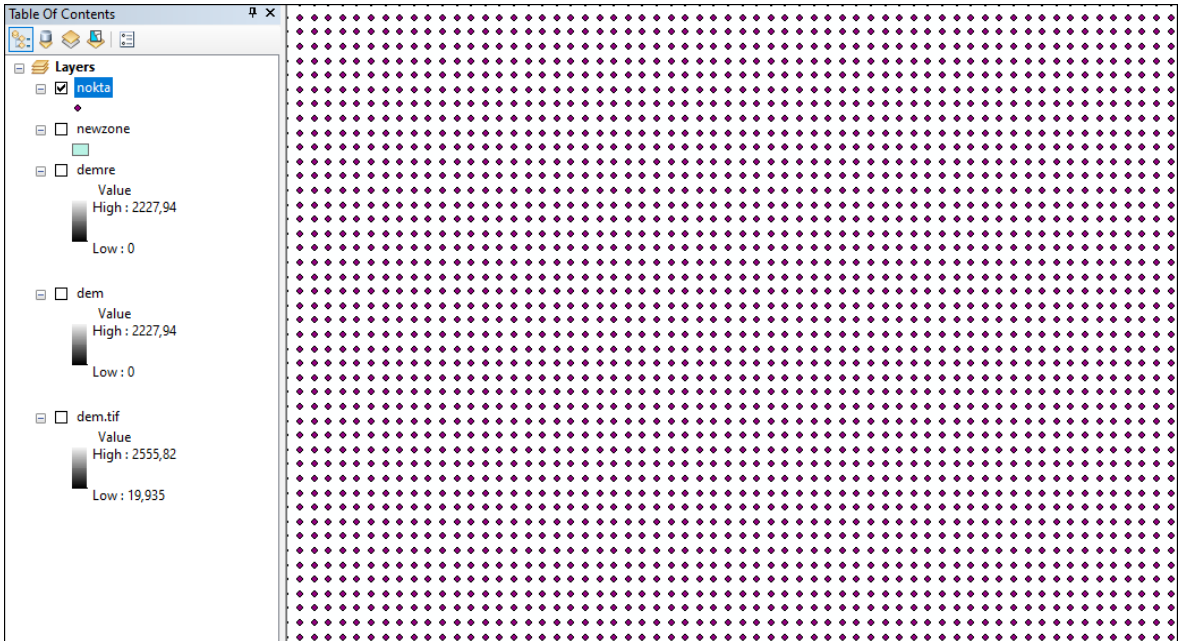


Şekil 6.10 : Uygulama alanında hücre boyutunun değiştirilmesi



Şekil 6.11 : Hücre boyutu değiştirilmiş 2 boyutlu alanın özellikleri

Elde edilen SYM verisi taşkın analizinde kullanılması için nokta verisine dönüştürülmüştür. Bunun için “Raster to point” komutu kullanılmıştır (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 : Nokta verisinin görünümü

6.1.3 Pürüzlülük verisi oluşturma

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 Mannings pürüzlülük (n) değerleri, Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan temin edilen arazi kullanım türü verileriyle eşleştirilerek kullanılmıştır (Çizelge 6.3).

Malatya ilinin merkezi yoğun bina ve yol içerdiğinden yağın yağmurun akışa geçmesi daha kolay gerçekleşmektedir. Fakat Malatya ilinin alt bölgelerinde tarım arazileri içerdiğinden yağın yağmurun akışa geçmesi daha az gerçekleşmektedir. Bu farklılıkların analize katılması gereklidir. Taşkın analizinin daha gerçekçi bir sonuç vermesi için ArcGIS ve QGIS yardımıyla shp formatında bir pürüzlülük verisi elde edilmiştir.

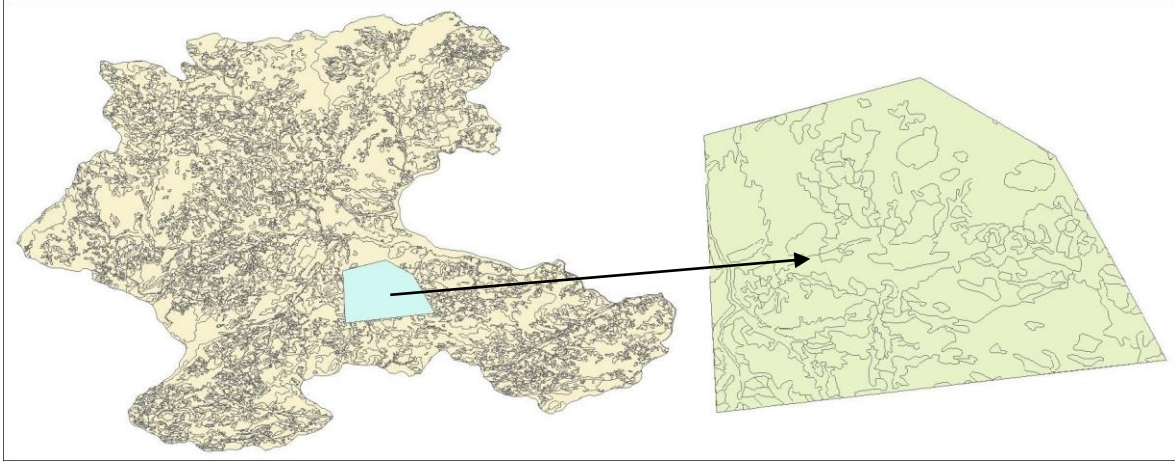
Çizelge 6.3 : Arazi kullanım türüne göre pürüzlülükler (Papaioannou et al., 2018)

Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Mannings n
1 Yapay Yüzeyler	1.1 Kentsel yapılar	1.1.1 Sürekli kentsel yapılar 1.1.2 Kesikli/Süreksiz kentsel yapılar	0.013
	1.2 Endüstriyel, ticaret ve Ulaşım birimleri	1.2.1 Endüstriyel ve ticari birimler 1.2.2 Karayolu ve demiryolları ve ilgili alanlar 1.2.3 Limanlar 1.2.4 Havaalanları	0.013
	1.3 Maden ocağı, boşaltım ve inşaat sahaları	1.3.1 Maden çıkarım sahaları 1.3.2 Boşaltım sahaları 1.3.3 İnşaat Sahaları	0.013
	1.4 Yapay, tarımsal olmayan yeşil alanlar	1.4.1 Yeşil şehir alanları 1.4.2 Spor ve eğlence alanları	0.025
	2 Tarımsal alanlar	2.1 Ekilebilir alan	2.1.1 Sulanmayan ekilebilir alanlar 2.1.2 Sürekli sulanan alanlar 2.1.3 Pirinç tarlaları
	2.2 Sürekli ürünler	2.2.1 Üzüm bağları 2.2.2 Meyve bahçeleri 2.2.3 Zeytinlikler	0.08
	2.3 Meralar	2.3.1 Mera alanları	0.035

Çizelge 6.3 : Arazi kullanım türüne göre pürüzlülükler(devam) (Papaioannou et al., 2018)

2 Tarımsal Alanlar	2.4Karışık tarımsal alanlar	2.4.1Sürekli ürünlerle birlikte bulunan senelik ürünler	0.04
		2.4.2Karışık tarım alanları	0.04
		2.4.3 Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	0.05
		2.4.4Ormanla karışık tarım alanları	0.06
3 Orman ve yarı doğal alanlar	3.1Ormanlar	3.1.1 Geniş yapraklı ormanlar	0.1
		3.1.2 İğne yapraklı ormanlar	
		3.1.3Karışık ormanlar	
3.2Maki ve otsu bitkiler	3.2.1Doğal çayırliklar 3.2.2Fundalıklar 3.2.3Sklerofil bitki örtüsü 3.2.4Bitki değişim alanları	3.2.1Doğal çayırliklar	0.04
		3.2.2Fundalıklar	0.05
		3.2.3Sklerofil bitki örtüsü	0.05
		3.2.4Bitki değişim alanları	0.06
3.3Bitki örtüsü ile kaplı olmayan veya az miktarda bitki örtüsü ile kaplı açık alanlar	3.3.1Sahiller, kumsallar ve kumluklar 3.3.2Çıplak kayalıklar 3.3.3Seyrek bitki alanları 3.3.4Yanmış alanlar 3.3.5Buzul ve kalıcı kar	3.3.1Sahiller, kumsallar ve kumluklar	0.025
		3.3.2Çıplak kayalıklar	0.035
		3.3.3Seyrek bitki alanları	0.027
		3.3.4Yanmış alanlar	0.025
		3.3.5Buzul ve kalıcı kar	0.01
4 Sulak alanlar	4.1 Karasal bataklıklar	4.1.1Karasal bataklıklar	0.04
		4.1.2Turbalıklar	
4.2Denize yakın ıslak alanlar	4.2.1Tuz bataklığı 4.2.2Tuzlalar 4.2.3Gelgit olayı ile oluşan düzlükler	4.2.1Tuz bataklığı	0.04
		4.2.2Tuzlalar	
		4.2.3Gelgit olayı ile oluşan düzlükler	
5 Su yapıları	5.1Karasal/İç sular	5.1.1Su yolları	0.05
		5.1.2Su kütleleri	
5.2 Deniz suları	5.2.1Kıyı lagünleri 5.2.2Nehir ağızları, deltalar 5.2.3Deniz ve okyanus	5.2.1Kıyı lagünleri	0.07
		5.2.2Nehir ağızları, deltalar	
		5.2.3Deniz ve okyanus	

Arazi pürüzlülük verisi, çalışma alanı poligon verisiyle birlikte programa aktarılmıştır. Daha sonra “Clip” komutu ile arazi pürüzlülük değeri verisi, çalışma alanı poligon verisine uygun olarak kesilmiştir (Şekil 6.13).



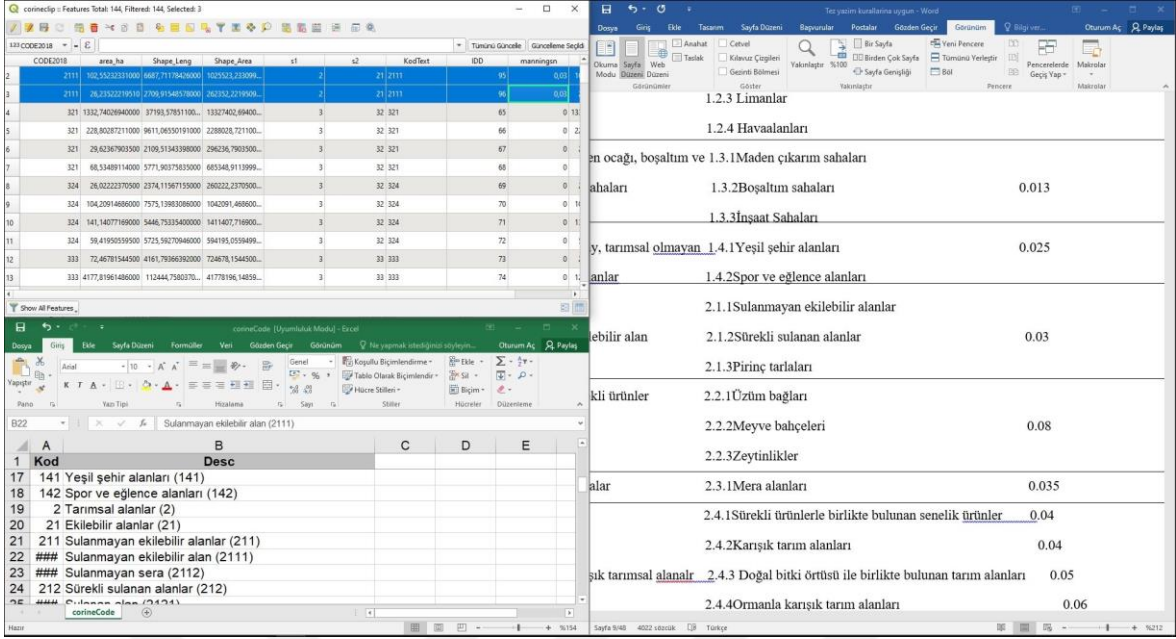
Şekil 6.13 : Arazi kullanım türü verisinin, çalışma alanına uygun kesilmiş görünümü

Arazi pürüzlülük verisi çalışma alanına uygun olarak kesilince, bazı poligonların alanlarında değişiklikler olmaktadır. Bunun için öznitelik tablosundan “Calculate geometry” komutu ile yeni alanlar hesaplanmıştır (Şekil 6.14).

FID	Shape *	CODE2018	area ha	Shape Leng	Shape Area	s1	s2	KodText	IDD	manningn	area
0	Polygon	111	521.467911	15103.765283	5214679.10965	1	11	111	1	0	0
1	Polygon	121	108.961478	6014.862154	1089614.7792	1	12	121	2	0	0
2	Polygon	121	108.421928	5172.680895	1084219.28015	1	12	1	3	0	0
3	Polygon	121	89.230747	4601.687894	892307.466099	1	12	121	4	0	0
4	Polygon	121	737.088102	20546.577666	7370881.0249	1	12	121	5	0	0
5	Polygon	121	25.510211	2052.397607	255102.1107	1	12	121	6	0	0
6	Polygon	121	281.251246	8534.294588	2812512.46115	1	12	1	7	0	0
7	Polygon	121	51.888039	4394.41488	518880.3892	1	12	121	8	0	0
8	Polygon	121	178.002992	7195.468705	1780029.9213	1	12	121	9	0	0
9	Polygon	121	42.839962	2618.926696	428399.617396	1	12	121	10	0	0
10	Polygon	122	37.638455	4297.518995	376384.546449	1	12	122	11	0	0
11	Polygon	124	284.217889	7332.518839	2842178.8905	1	12	124	12	0	0
12	Polygon	131	52.445041	3996.499148	524450.40645	1	13	131	13	0	0
13	Polygon	132	67.491954	3634.069765	674919.54235	1	13	132	14	0	0
14	Polygon	133	38.782785	3958.654056	387827.89351	1	13	133	15	0	0
15	Polygon	133	25.507734	2344.518701	255077.3415	1	13	133	16	0	0
16	Polygon	133	29.130722	3226.878479	291307.215501	1	13	133	17	0	0
17	Polygon	133	25.783384	2058.588986	257833.8435	1	13	133	18	0	0
18	Polygon	133	25.14828	2580.810121	251482.89775	1	13	133	19	0	0
19	Polygon	133	26.891229	3306.566705	268912.287898	1	13	133	20	0	0
20	Polygon	141	67.038185	6110.659836	670381.847	1	14	141	21	0	0
21	Polygon	142	58.833187	2479.773597	588331.8688	1	14	142	22	0	0
22	Polygon	221	245.784452	8932.758295	2457844.52415	2	22	221	23	0	0
23	Polygon	221	685.580874	23604.188174	6855808.7436	2	22	221	24	0	0
24	Polygon	221	29.809441	2286.419311	298094.40965	2	22	221	25	0	0
25	Polygon	231	74.235831	4988.584458	742358.310801	2	23	231	26	0	0
26	Polygon	231	25.445821	3031.548559	254458.21195	2	23	231	27	0	0
27	Polygon	231	91.95776	7559.512217	919577.596401	2	23	231	28	0	0
28	Polygon	231	198.559085	11543.130018	1985590.85355	2	23	231	29	0	0
29	Polygon	231	986.78594	29222.865684	9867859.4023	2	23	231	30	0	0
30	Polygon	231	133.338483	6052.15154	1333384.62735	2	23	231	31	0	0
31	Polygon	231	426.29746	18283.48837	4262974.5964	2	23	231	32	0	0
32	Polygon	231	89.881355	4855.351784	898813.553786	2	23	231	33	0	0
33	Polygon	231	1557.272853	43420.724586	15572729.5334	2	23	231	34	0	0
34	Polygon	231	75.444422	5483.799787	754444.218951	2	23	231	35	0	0
35	Polygon	231	132.896006	9594.682792	1328960.05975	2	23	231	36	0	0
36	Polygon	231	109.058886	7880.843611	1090588.8624	2	23	231	37	0	0
37	Polygon	231	500.413111	18975.42817	5004131.19265	2	23	231	38	0	0
38	Polygon	231	25.182844	2004.684828	251828.444699	2	23	231	39	0	0
39	Polygon	243	70.178724	4327.951844	701787.244801	2	24	243	40	0	0
40	Polygon	243	205.888524	10521.65931	2058885.23915	2	24	243	41	0	0
41	Polygon	243	49.018937	4765.921407	490189.88848	2	24	243	42	0	0
42	Polygon	243	773.814329	24170.937001	7738143.2921	2	24	243	43	0	0

Şekil 6.14 : Kesilen arazi pürüzlülük verisinin yeni alanlarının hesaplanması

Tarım ve Orman Bakanlığı’ndan alınan arazi kullanım türü verilerinin, George Papaioannou vd. 2018 yılında yayınladığı arazi kullanım türüne göre Mannigns n değerlerine göre pürüzlülük verisi oluşturulan poligon verisinin öznitelik tablosuna QGIS yardımıyla manuel olarak düzenlenmiştir (Şekil 6.15).



Şekil 6.15 : Arazi pürüzlülük değerlerine uygun Mannings n değerlerinin girilmesi

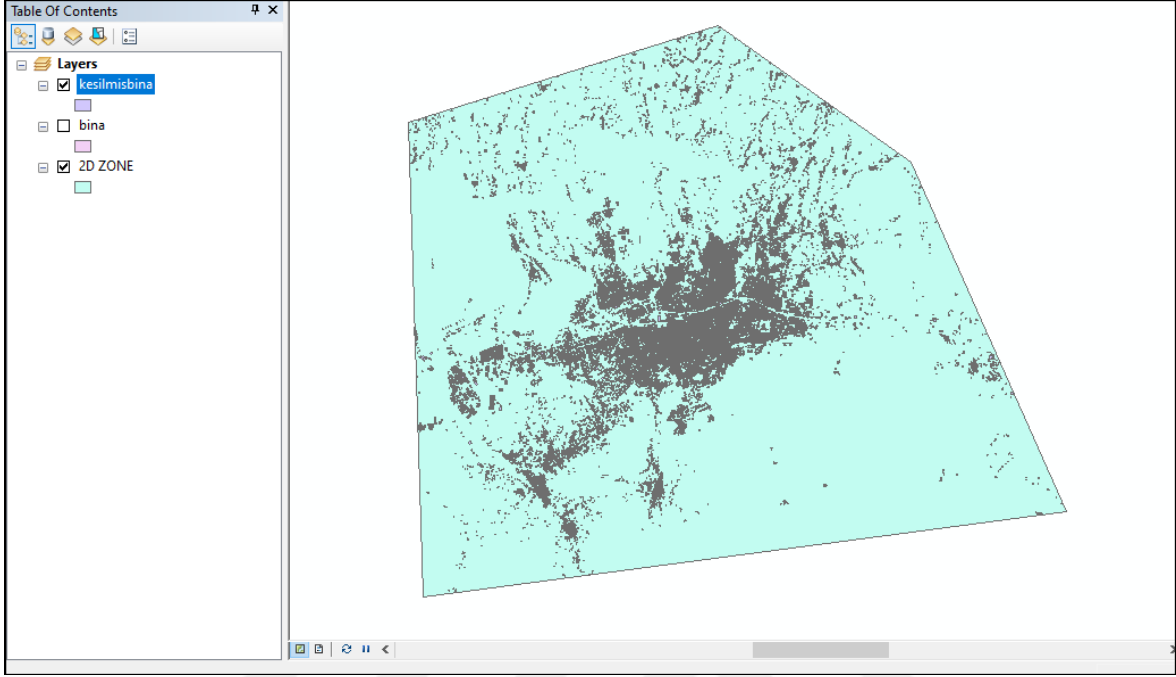
6.1.4 Bina verilerinin düzenlenmesi

Çalışmada yapılacak olan taşkın analizinde binaların akışı değiştirebileceğinden yağmursuyu şebekelerindeki bacaların geri tepmesi sonucu binalardaki olası hasarın hesaplanması gibi nedenlerden dolayı analize katılması gerekmektedir. Bunun için ArcGIS kullanılarak binalar düzenlenmiştir (Şekil 6.16).



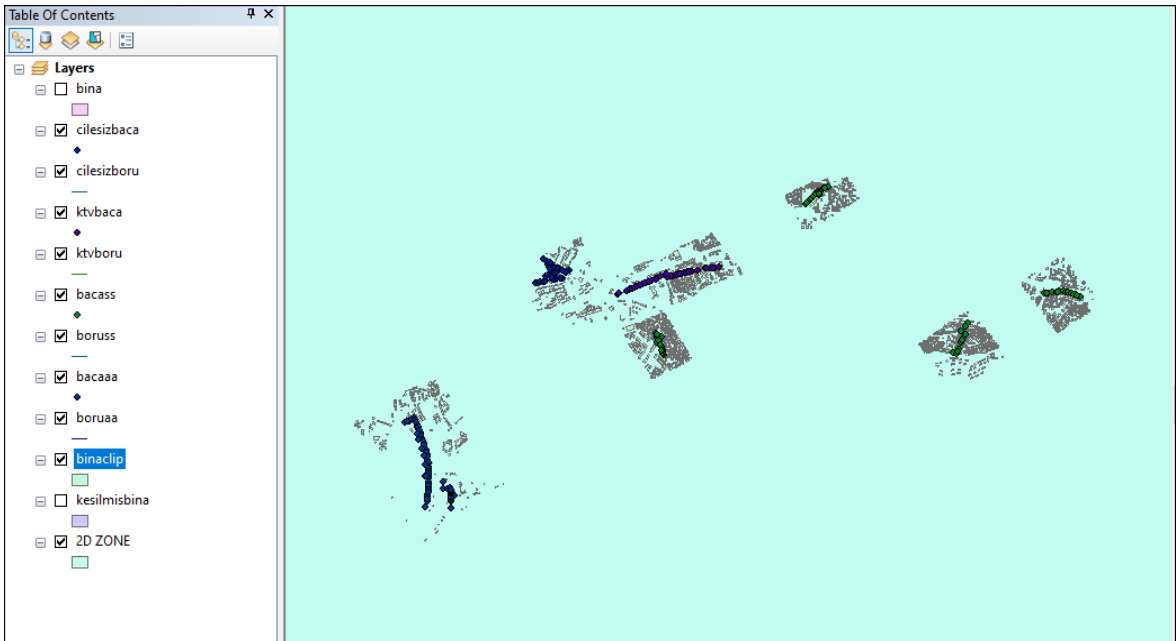
Şekil 6.16 : Binalar ve 2 boyutlu alanın görünümü

Çalışmada, analizleri yapılacak olan yağmur suyu şebekelerini etkileyecek binaları kullanmak yeterli olacaktır. Bundan dolayı “Clip” komutuyla iki boyutlu alanımızın ölçülerinde bina verisi kesilmelidir (Şekil 6.17).



Şekil 6.17 : Bina verilerinin, oluşturulan 2 boyutlu alana göre kesilmesi

Yağmursuyu şebeke boru ve bacaları programa aktarılarak bina verileri tekrar düzenlenmiştir (Şekil 6.18).



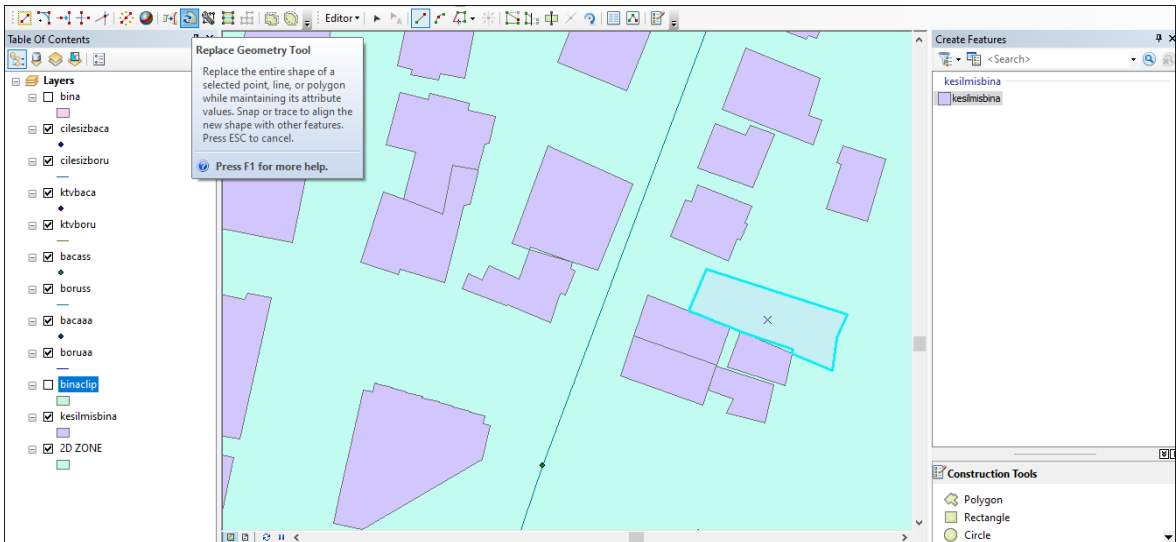
Şekil 6.18 : Şebeke boru, baca ve düzenlenmiş bina verileri ile görünümü

Bina verilerindeki düzensizliğinde taşkın analizi yaparken InfoWorks ICM programında binaların üst üste binmesi, aralarında çok küçük boşluklar olup hata vereceğinden düzeltilmesi gerekmektedir (Şekil 6.19).



Şekil 6.19 : Bina verilerinde görünen hatalar

Bunun için “Replace Geometry Tool” komutu kullanılmıştır (Şekil 6.20 - Şekil 6.21).



Şekil 6.20 : Bina verilerinin düzenlenmesi



Şekil 6.21 : Düzenlenmiş bina verilerinin görünümü

6.1.5 Yağış verisinin temini

6.1.5.1 Standart zamanlardaki maksimum yağışlar ve tekerrür analizi

Günümüzde can ve mal kayıplarına sebep olan sel ve taşkınların kontrolü, tüm su yapısı (baraj, gölet, sulama ve drenaj kanalları, kanalizasyon vb.) tasarımları, taşkın kontrol işlerinin planlama ve projelendirilmesi, mevcut kaynakların en uygun kullanımı göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Bu durum yağış değerlerinin güvenilir biçimde toplanması ve geleceğe yönelik doğru biçimde tahmin edilmesi gereğini ortaya çıkarmaktadır (MGM, 2021). Veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Meteoroloji bu verileri üretmek için aşağıdaki fonksiyonları ve işlemleri yapmıştır. Türkiye maksimum yağışları ve tekerrür analizlerinde en az 10 yıl güvenilir gözlemi olan plüviograf (yazıcı yağışölçer) istasyonlarımızın yağış verileri kullanılmaktadır. Yıllık olarak standart zamanlardaki (5, 10, 15, 30 dakika, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat) maksimum yağış değerleri tespit edilir. Yağış-Şiddet-Süre Tekerrür Analizleri yapılarak 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür periyotlarında olması muhtemel yağış miktarı hesaplanır. Bu hesaplamalarda; 2 ve 3 parametrelili Logaritmik Normal dağılım fonksiyonu (LN2 ve LN3), Gumbel (G), 2 parametrelili Gama (G2) ve 3 parametrelili Logaritmik Pearson (LP3) olmak üzere 5 farklı istatistiksel dağılım fonksiyonu kullanılmıştır (MGM, 2021a). Çalışma alanı olan Malatya ili için standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün çeşitli fonksiyonları kullanarak oluşturduğu, tekerrür aralığına ve yağış süresine bağlı olarak gelebilecek yağış yükseklikleri aşağıdaki şekildedir:

Çizelge 6.5 : Tekerrür aralığına ve yağış süresine bağlı olarak gelebilecek yağış yükseklikleri tahminleri (MGM)

	DAKİKA				SAAT										
	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24	24+
N	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	55
Y-ORT	4,8	7,0	8,3	10,2	11,6	14,9	16,8	18,9	20,0	21,2	23,3	25,8	29,0	33,4	33,2
Y-EB	17,0	22,3	25,5	27,5	28,0	28,7	29,0	34,2	38,8	39,5	41,4	49,0	60,9	61,4	61,4
Std.S	2,61	3,64	4,00	4,58	4,27	4,81	5,05	5,82	6,54	7,11	7,99	9,11	9,46	9,44	9,40
Car.K	2,25	1,97	2,06	1,88	1,35	1,05	0,69	0,40	0,48	0,44	0,30	0,52	0,85	0,78	0,81
UDF	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3
2 YIL	4,1	6,1	7,4	9,1	10,8	14,2	16,3	18,5	19,5	20,7	22,9	25,1	27,8	32,1	32,2
5 YIL	6,3	9,3	10,8	13,1	14,6	18,5	20,8	23,6	25,3	26,9	29,9	33,2	36,3	40,5	40,7
10 YIL	8,0	11,5	13,3	15,9	17,2	21,3	23,5	26,5	28,6	30,5	33,8	37,9	41,5	45,6	45,8
25 YIL	10,3	14,6	16,7	19,8	20,4	24,7	26,7	29,8	32,4	34,6	38,1	43,2	47,8	51,8	52,0
50 YIL	12,2	17,1	19,5	22,8	22,9	27,1	28,9	32,0	35,0	37,3	41,0	47,0	52,3	56,2	56,3
100 YIL	14,1	19,7	22,4	25,4	26,0	29,6	31,0	34,1	37,5	39,9	43,6	50,5	56,7	60,5	60,5
200 YIL	16,3	22,4	25,4	27,9	29,3	32,0	33,1	36,1	39,8	42,4	46,1	53,8	60,9	64,6	64,6
PLF	0,19	0,28	0,32	0,37	0,39	0,47	0,51	0,57	0,62	0,66	0,73	0,82	0,92	1,00	1,00
PLV	0,15	0,22	0,27	0,32	0,37	0,47	0,52	0,58	0,61	0,64	0,70	0,78	0,87	1,00	1,00

Çalışma da analizin yapılacağı InfoWorks ICM'de yağış verileri yağış şiddeti şeklinde olmalıdır. Bunun için $i = \frac{\Delta P}{\Delta t}$ dönüşümü dikkate alınmıştır. Burada i , yağış şiddeti (mm/dk); ΔP , yağış yüksekliği (mm); Δt , zaman aralığı (dk) kullanılarak mm biriminde olan yağış yükseklikleri yağış şiddetine dönüştürülmüştür.

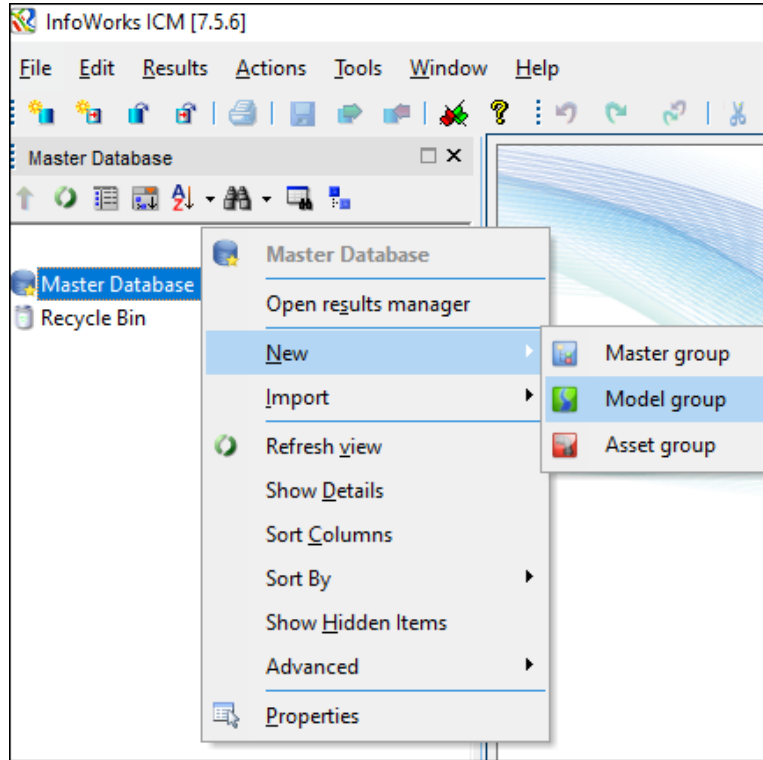
Çizelge 6.6 : Çalışma alanı için kullanılacak yağış ve yağış şiddetleri değerleri

Yağış Süresi / Tekerürü Aralığı	5 dakika	10 dakika	15 dakika
2 yıl	4,1 mm	6,1 mm	7,4 mm
5 yıl	6,3 mm	9,3 mm	10,8 mm
10 yıl	8,0 mm	11,5 mm	13,3 mm
Yağış Şiddeti / Tekerürü Aralığı	5 dakika	10 dakika	15 dakika
2 yıl	49,2 mm/saat	36,6 mm/saat	29,6 mm/saat
5 yıl	75,6 mm/saat	55,8 mm/saat	43,2 mm/saat
10 yıl	96 mm/saat	69 mm/saat	53,2 mm/saat

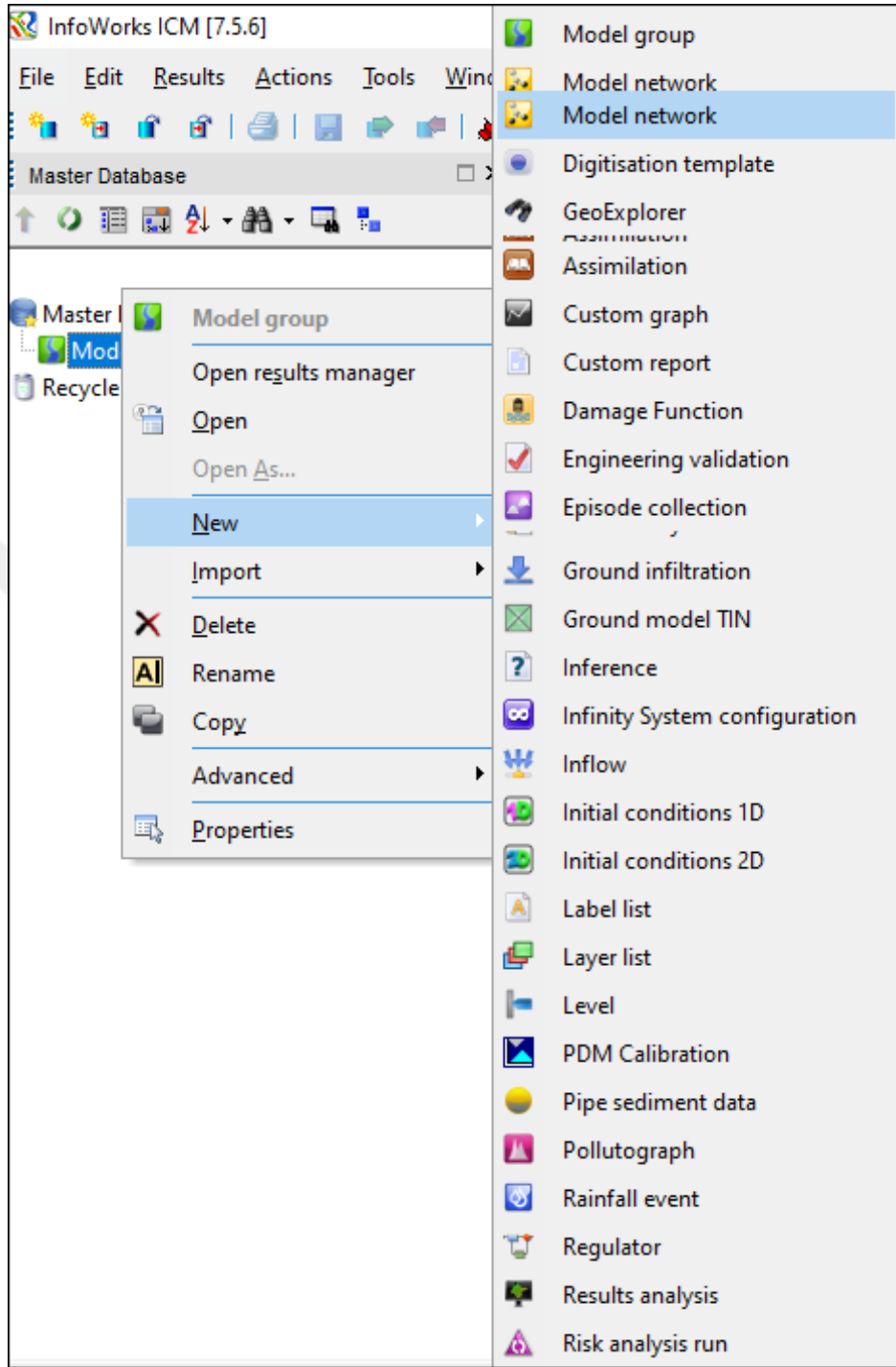
Çizelge 6.6'da çalışma alanı için uygulanacak taşkın analizinde kullanılacak yağış şiddeti değerleri görülmektedir.

6.2 InfoWorks ICM'de Verilerin Aktarılması ve Gerekli Ön Hazırlığın Yapılması

InfoWorks ICM, havzadaki tüm unsurların, birbirleri ile etkileşimli olarak hidrolik ve hidrolojik mühendislik modellemesine olanak sağlayan bir yazılımdır. Yağmursuyu şebekeleri, atık su şebekeleri, doğal ve yapay tüm akış unsurlarını 1D ve 2D dinamik model ara yüzünde simüle edebilir. Böylece en hassas hesaplamaları yapabilir, en uygun hidrolik ve hidrolojik çözümleri bulunabilir. Tüm havza hidrolojisi ve hidroliği tek bir modelde etkileşimli olarak çözülür. Tek bir model veri tabanı üzerinde çoklu kullanıcı çalıştırabilen tek platformdur. Farklı departmanların aynı ortamda, bütünleşik havza mantığı ile çalışabilme imkanı vardır. Modele online verileri otomatik olarak alarak, kullanıcısız çalışma ve uyarılar oluşturabilme imkanı sağlar. InfoWorks ICM hem kentsel hem de nehir havzalarını birleştiren ilk tam entegre modelleme platformudur. 1D ve 2D hidrodinamik simülasyon tekniklerinin tam entegrasyonu ile, tüm akış yollarını doğru bir şekilde temsil etmek için hem yer üstü hem de yer altı havza elementleri modellenir. InfoWorks ICM, doğal ve insan yapımı ortamların hidroliğinin ve hidrolojisinin tek bir modelde birleştirilmesini sağlar (www.uni-yaz.com, 2021). InfoWorks ICM de ilk aşama olarak ana veri tabanı oluşturulmalı ve çalışma alanı için bir model grubu oluşturulmalıdır (Şekil 6.22). Oluşturulan model grubuna bağlı olarak şebeke ağı oluşturulmalıdır (Şekil 6.23).

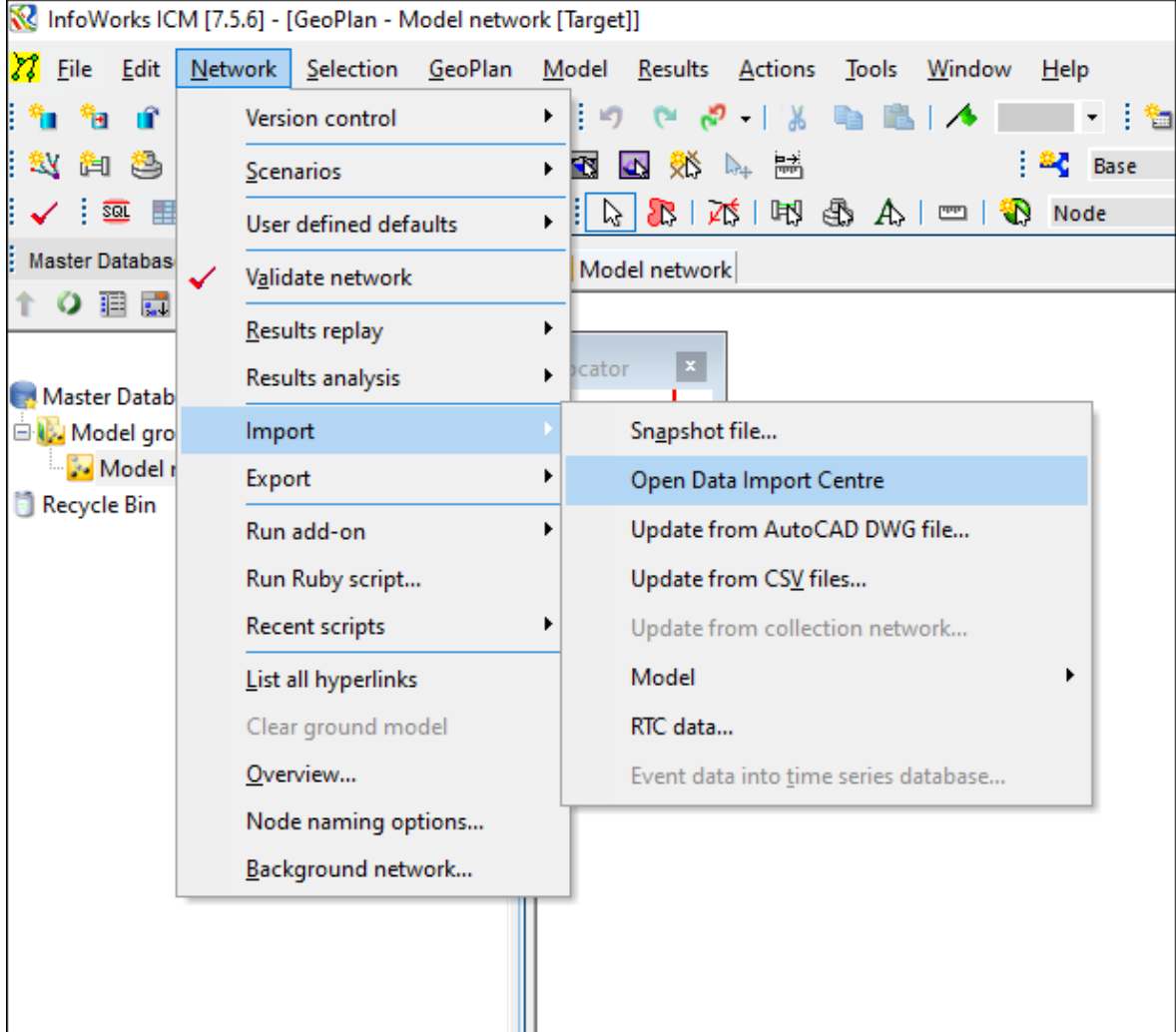


Şekil 6.22 : InfoWorks ICM'de veri tabanının oluşturulması



Şekil 6.23 : InfoWorks ICM’de şebeke ağının oluşturulması

InfoWorks ICM’de taşkın analizi yapabilmek için önceden hazırlanmış olan verilerin programa aktarılması ve çeşitli ayarlamaların yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı “Open Data Import Centre” komutu kullanılmalıdır (Şekil 6.24).



Şekil 6.24 : Programa verilerin aktarılması

Oluşturulan iki boyutlu alan “2d zone” veri tipini seçerek sisteme aktarılmalıdır (Şekil 6.25-Şekil 6.26).

Open Data Import Centre

Table To Import Data Into
2D zone
Subtable:

Flag Behaviour
 Import flags from data source
Otherwise, set flag on imported fields to:
Flag when Default Value is used:

Data Source
Source Type: Raw Shape File
Feature:
File: C:\Users\User\Desktop\tum veriler toplama\

Script File (optional)
Reload

Units Behaviour
User

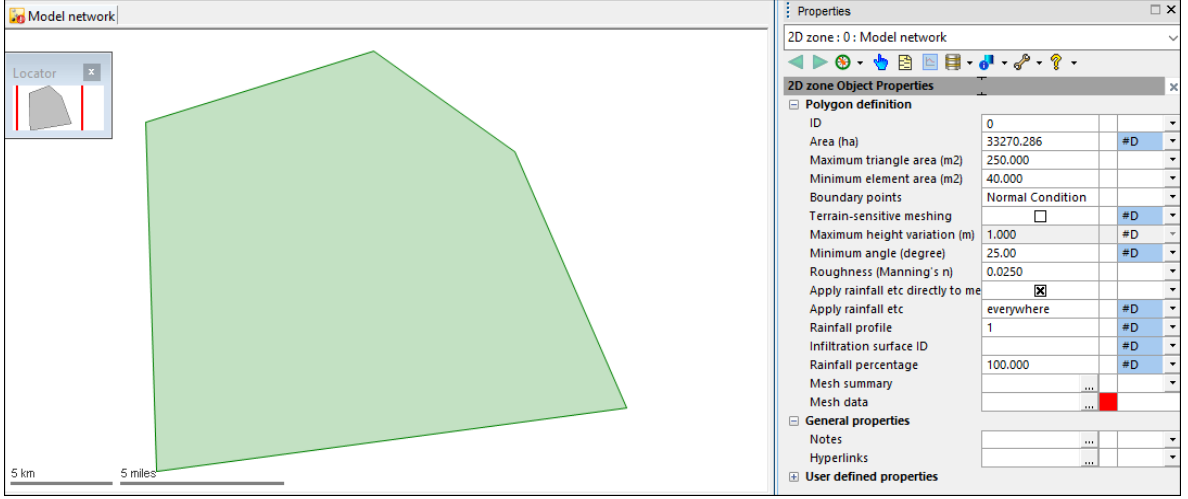
Field Mapping Configuration: Load Config... Save Config... Clear Config Auto-Map

Object Fields	Import Fields	Default Values
ID	ID	
Boundary points		
Area		
Maximum triangle area		
Minimum element area		
Maximum height variation		
Terrain-sensitive meshing		
Minimum angle		
Roughness (Manning's n)		
Apply rainfall etc directly to mesh ele		

Updating and Delete Options
 Prompt Merge Update based on asset ID
 Overwrite Ignore Only update existing objects
 Delete missing objects Use auto-name option for generated nodes
 Import multi-parts

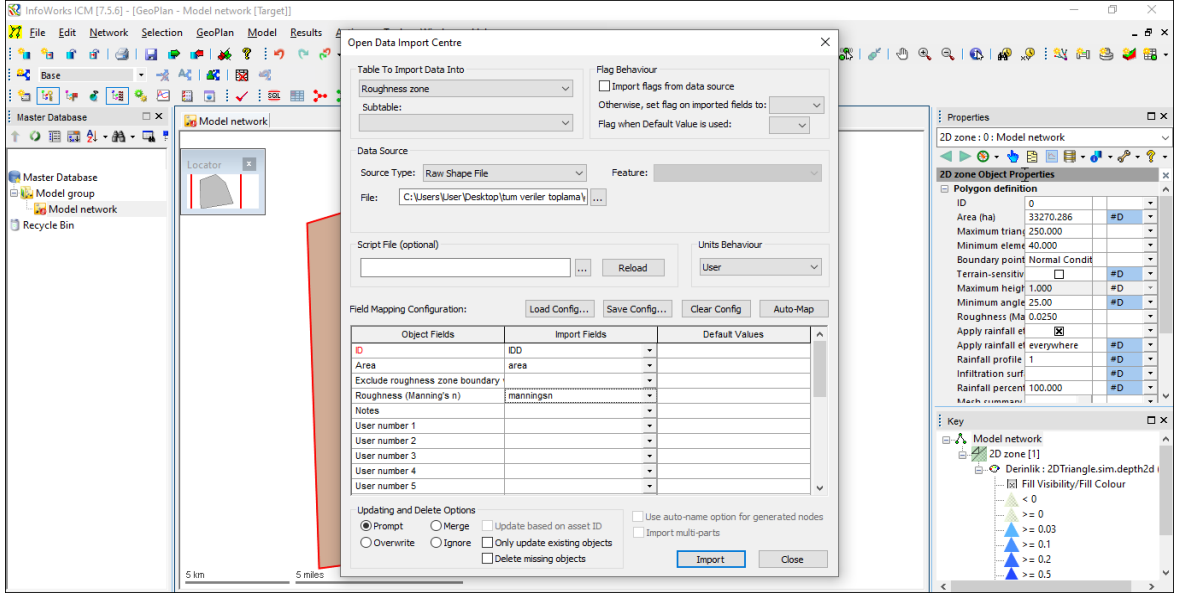
Import Close

Şekil 6.25 : Programa 2 boyutlu alanın aktarılması

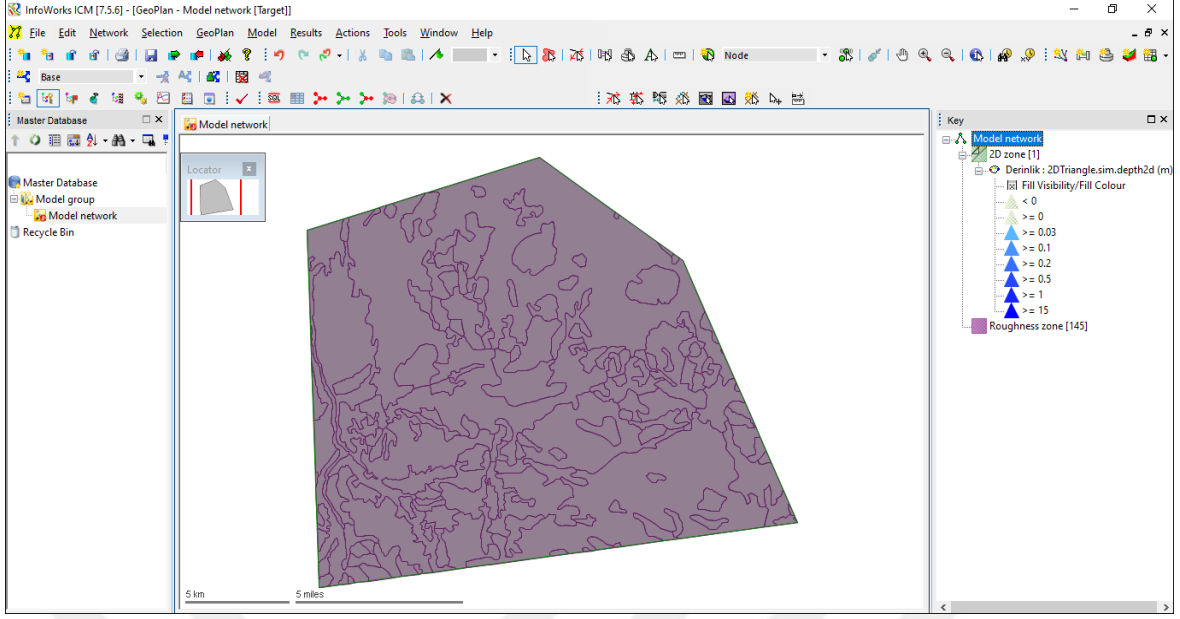


Şekil 6.26 : Aktarılan 2 boyutlu alanın görünümü ve özellikleri

Oluşturulan arazi kullanım türü verisini programa aktarmak için “Roughness zone” veri tipini seçmek gerekmektedir (Şekil 6.27-Şekil 6.28).

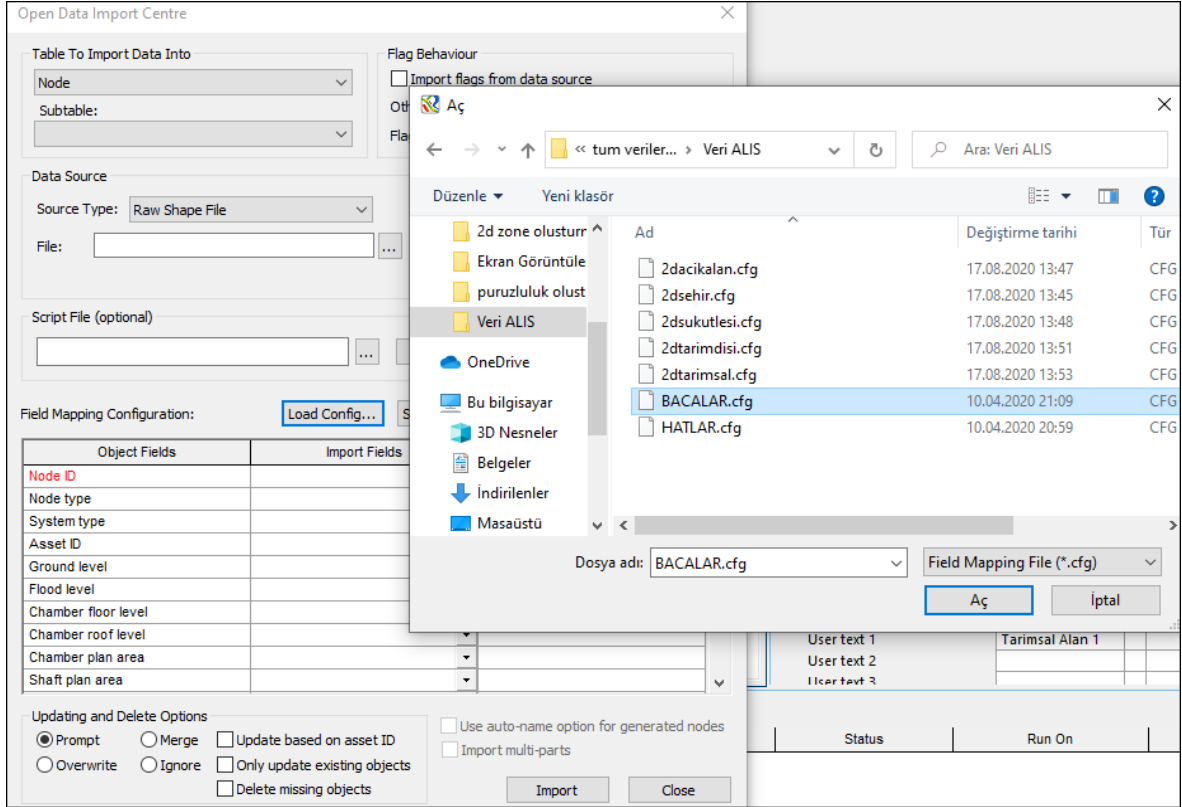


Şekil 6.27 : Programa pürüzlülük verisinin aktarılması



Şekil 6.28 : Aktarılan pürüzlülük verisinin görünümü ve özellikleri

Program, çoklu veri girişi gereken şebekeler için verilerin daha kolay ve hızlı şekilde aktarılmasını sağlamak amacıyla “Config” komutunun kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Çoklu veriler için, verinin özellikleri, aktarılacak öznitelik tablolarını veri tipine göre “Config” yardımıyla kayıt edilmiştir. Baca ve mazgal verilerinin aktarılması için öncelikle “Config” kısa yolu oluşturulmuştur (Şekil 6.29).



Şekil 6.29 : Baca ve mazgalların programa daha kolay aktarılması için “config” kısa yolunun oluşturulması

Oluşturulan kısa yolla birlikte baca ve mazgal verileri programa aktarılmıştır (Şekil 6.30).

Open Data Import Centre

Table To Import Data Into
Node
Subtable:

Flag Behaviour
 Import flags from data source
Otherwise, set flag on imported fields to:
Flag when Default Value is used:

Data Source
Source Type: Raw Shape File
Feature:
File:

Script File (optional)
Reload

Units Behaviour
User

Field Mapping Configuration: Load Config... Save Config... Clear Config Auto-Map

Object Fields	Import Fields	Default Values
Node ID	IDD	
Node type		Manhole
System type		combined
Asset ID		
Ground level	terrain_el	
Flood level	terrain_el	
Chamber floor level	geos_base_	
Chamber roof level	terrain_el	
Chamber plan area		2.0
Shaft plan area		2.0

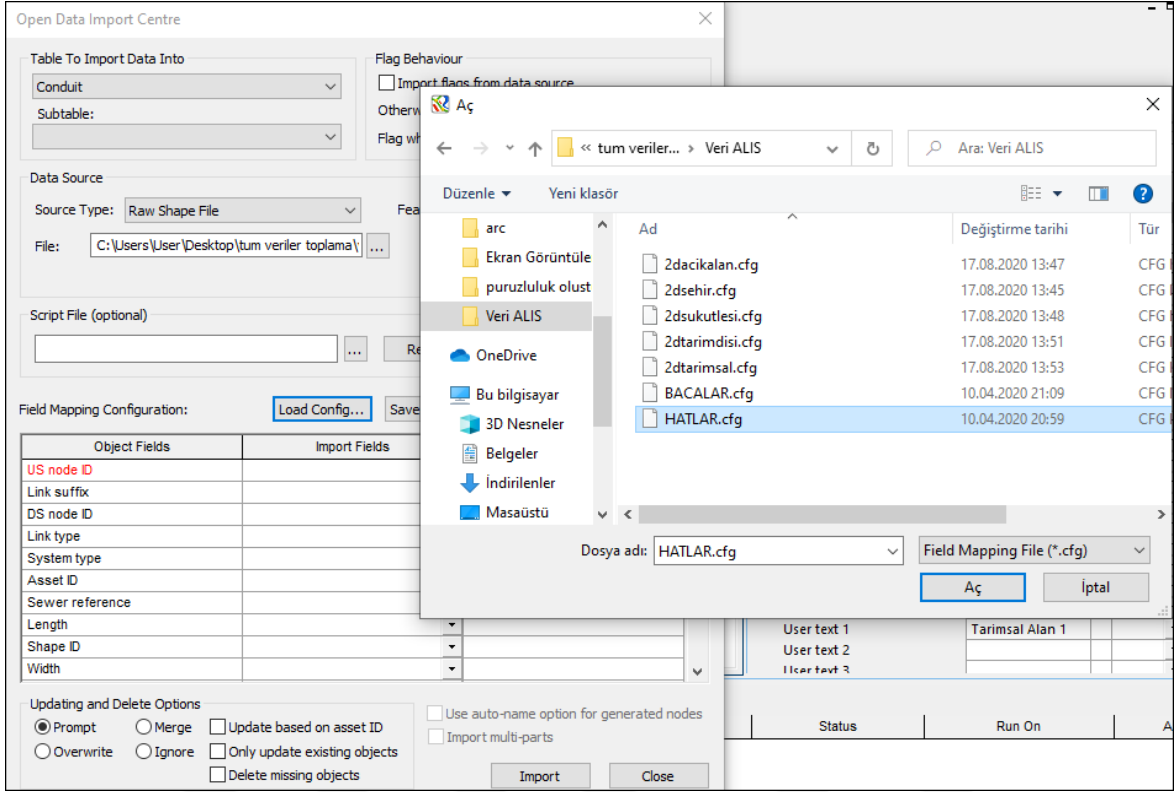
Updating and Delete Options
 Prompt Merge Update based on asset ID
 Overwrite Ignore Only update existing objects
 Delete missing objects

Use auto-name option for generated nodes
 Import multi-parts

Import Close

Şekil 6.30 : Baca ve mazgalların programa aktarılması

“Config” komutuyla yağmursuyu şebeke boruları için de kısayol oluşturulup programa aktarılmıştır (Şekil 6.31-Şekil 6.32).



Şekil 6.31 : Şebeke borularının aktarılması için kısayol oluşturulması

Open Data Import Centre

Table To Import Data Into
 Conduit
 Subtable:

Flag Behaviour
 Import flags from data source
 Otherwise, set flag on imported fields to:
 Flag when Default Value is used:

Data Source
 Source Type: Raw Shape File
 Feature:
 File: C:\Users\User\Desktop\tum veriler toplama\ ...

Script File (optional)
 Reload

Units Behaviour
 User

Field Mapping Configuration: Load Config... Save Config... Clear Config Auto-Map

Object Fields	Import Fields	Default Values
US node ID		
Link suffix		
DS node ID		
Link type		
System type		combined
Asset ID		
Sewer reference		
Length		
Shape ID		
Width	diameter	

Updating and Delete Options
 Prompt Merge Update based on asset ID
 Overwrite Ignore Only update existing objects
 Delete missing objects
 Use auto-name option for generated nodes
 Import multi-parts

Import Close

Şekil 6.32 : Şebeke borularının programa aktarılması

Düzenlenmiş bina verisini programa aktarmak için “Polygon” veri tipi seçilmiştir (Şekil 6.33).

Open Data Import Centre

Table To Import Data Into
Polygon
Subtable:

Flag Behaviour
 Import flags from data source
Otherwise, set flag on imported fields to:
Flag when Default Value is used:

Data Source
Source Type: Raw Shape File
Feature:
File: C:\Users\User\Desktop\tum veriler toplama\

Script File (optional)
Reload

Units Behaviour
User

Field Mapping Configuration: Load Config... Save Config... Clear Config Auto-Map

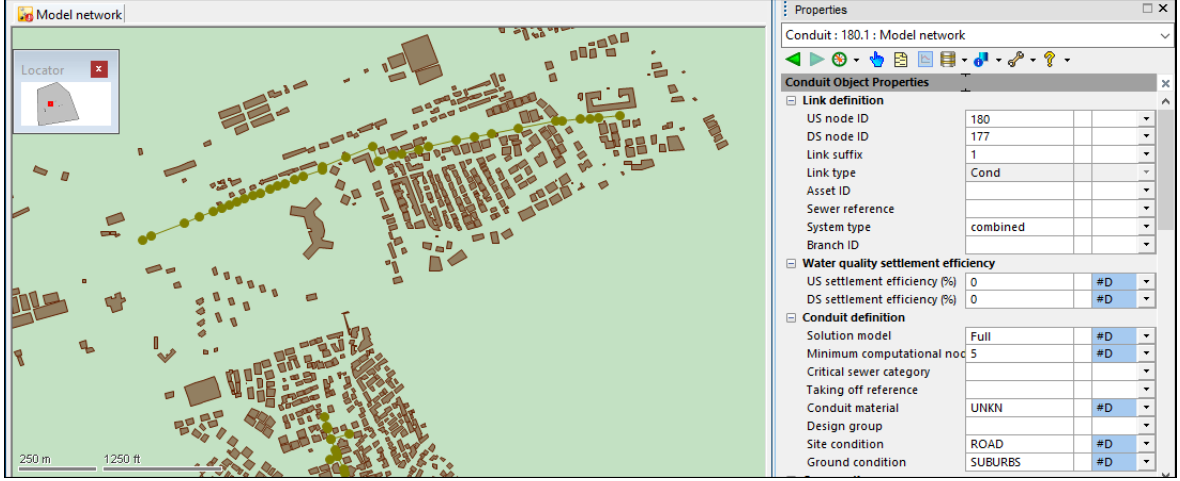
Object Fields	Import Fields	Default Values
ID	mslink	
Category		
Area	area	
Notes		
User number 1		
User number 2		
User number 3		
User number 4		
User number 5		
User number 6		

Updating and Delete Options
 Prompt Merge Update based on asset ID
 Overwrite Ignore Only update existing objects
 Delete missing objects

Use auto-name option for generated nodes
 Import multi-parts

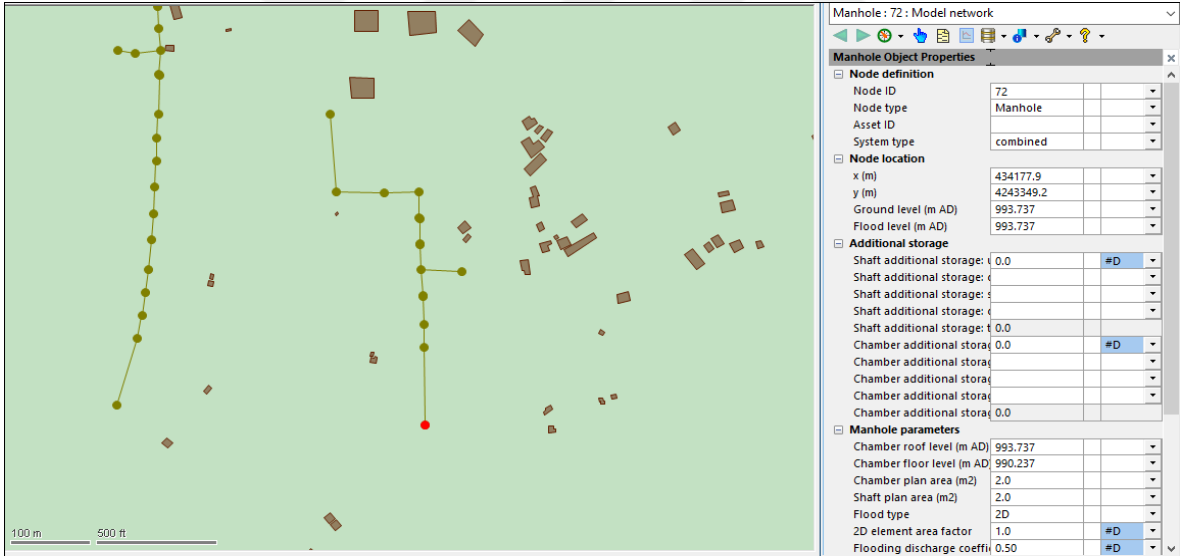
Import Close

Şekil 6.33 : Bina verilerinin programa aktarılması



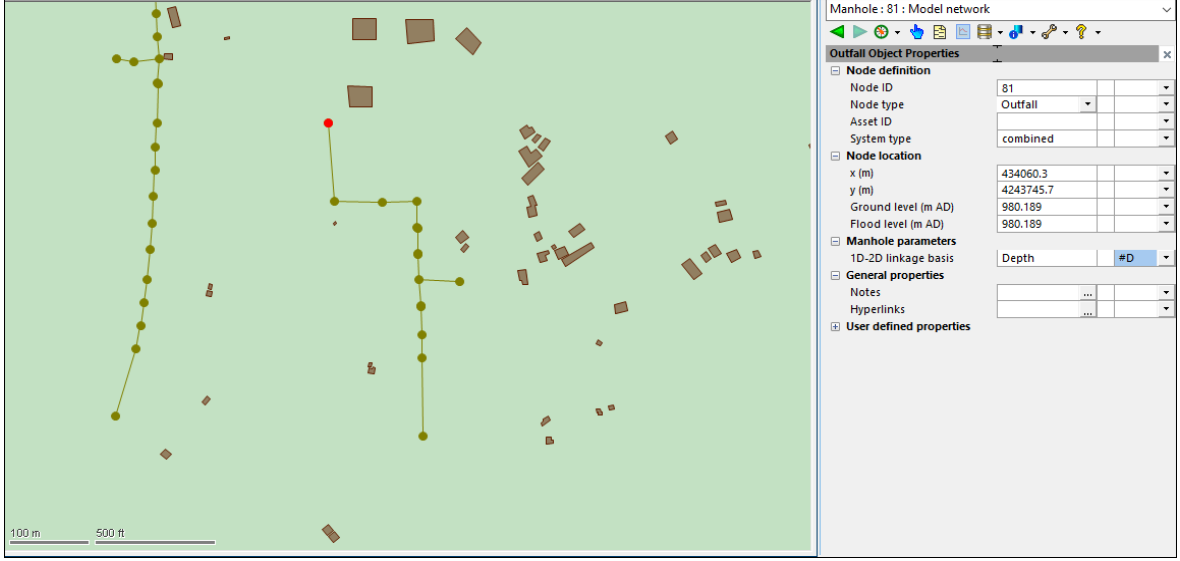
Şekil 6.34 : Aktarılan verilerin genel görünümü

Yağmursuyu şebekeleri kot farkına bağlı olarak çalışan drenaj ağlarıdır ve yüksek kottan düşük kota doğru akış olmaktadır. Bunun sebebi aktarılan her yağmursuyu şebekesi için InfoWorks ICM’de bulunduğu şebeke içerisindeki çıkış bacası “Outfall” komutu yardımıyla belirtilmelidir (Şekil 6.35-Şekil 6.36).



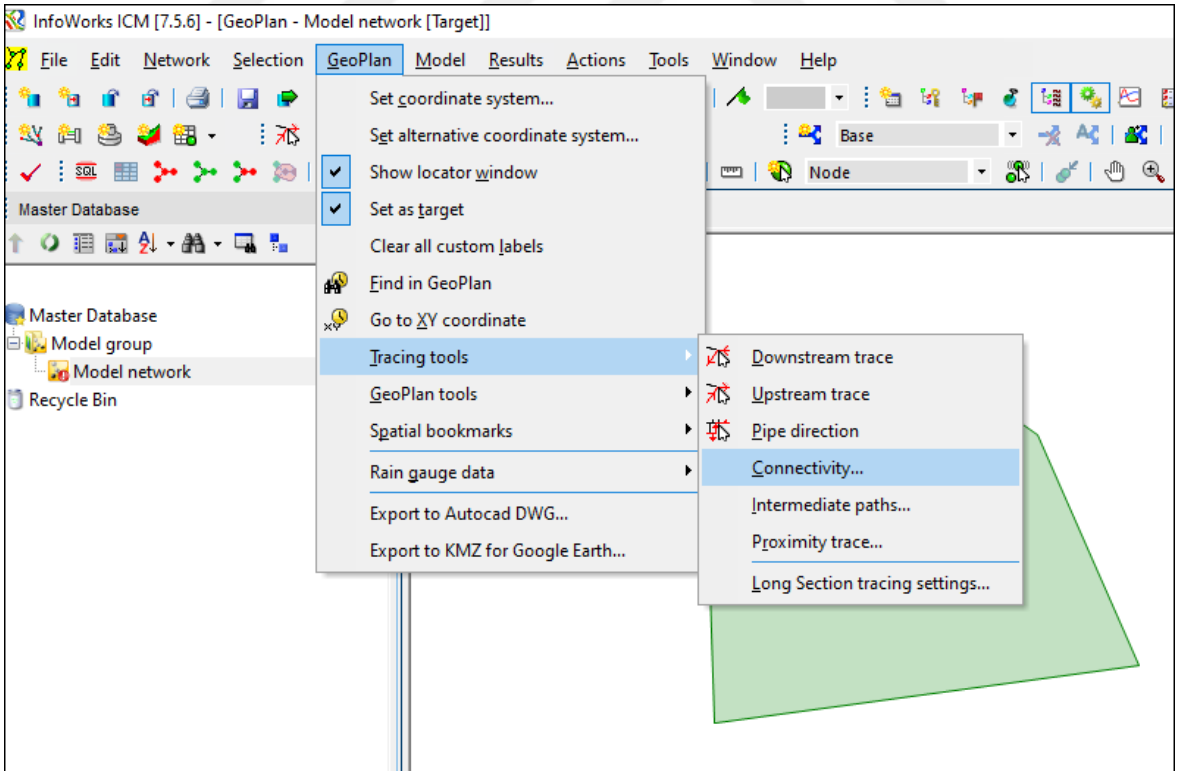
Şekil 6.35 : Bacaların yüksekliklerine göre çıkış bacalarının belirlenmesi

Çıkış bacasının “Outfall” olarak belirtilmesi yağmursuyunun son bacadan çıktığında yok oluyor anlamına gelmektedir. MASKİ personelleriyle görüşüldüğünde yağmursuyunun çıkış bacalarından çıkınca daha büyük kesitli tahliye borularına boşaltıldığını belirtmişlerdi. Bundan dolayı suyun bacadan çıkınca yok oluyormuş anlamına gelen “Outfall” komutu en gerçekçi sonuca ulaşılmasına yardım etmektedir.

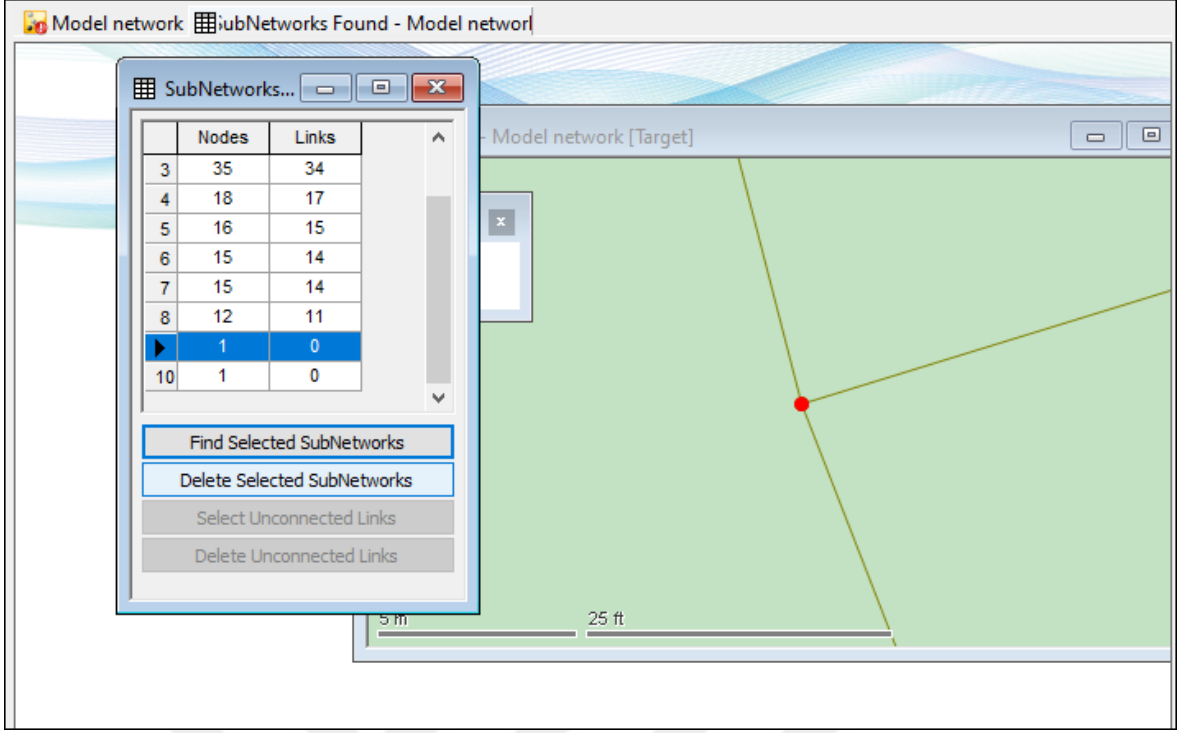


Şekil 6.36 : Belirlenen çıkış bacalarının programa tanıtıldıktan sonraki özellikleri

Program, aktarılan yağmursuyu şebekesinin analiz öncesinde verilerde bulunabilecek hataları tespit edilmesi için bir kontrol mekanizmasına sahiptir. Bu mekanizma ile üst üste binan mazgallar veya borular tespit edilip düzeltilebilir (Şekil 6.37-6.38).

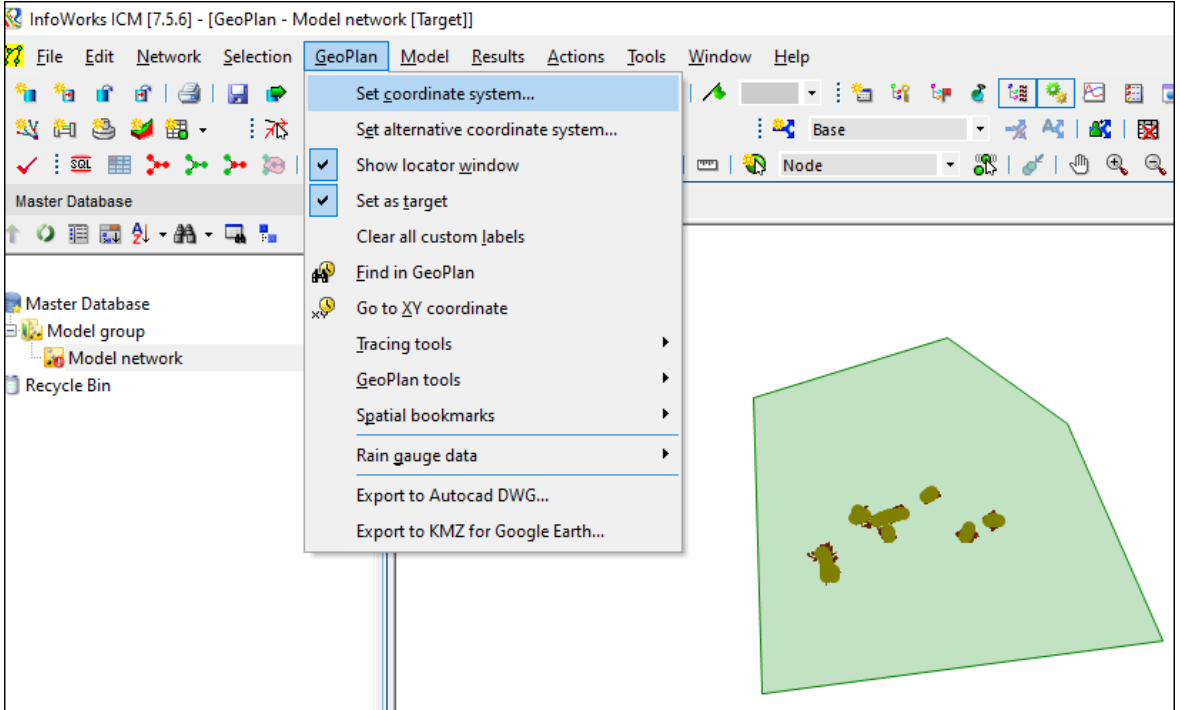


Şekil 6.37 : Analiz öncesi, şebeke boru ve bacaların kontrol edilmesi

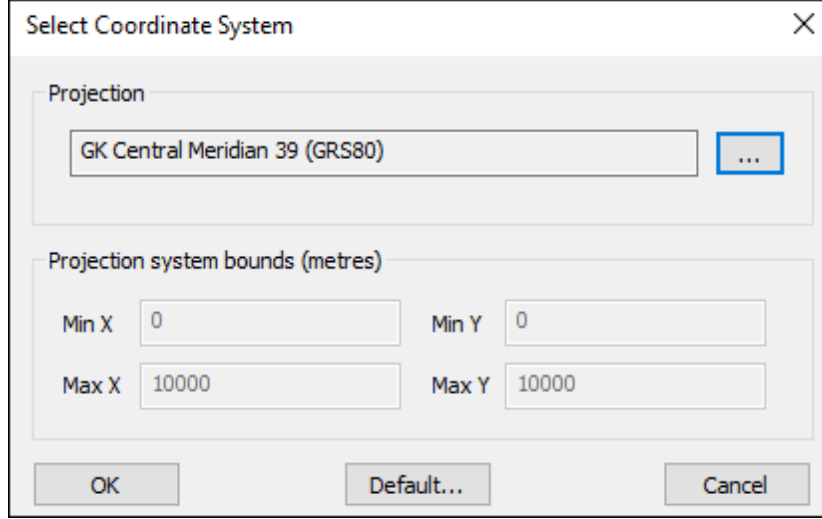


Şekil 6.38 : Veriden kaynaklı hataların düzeltilmesi

Aktarılan verilerin birbirine karşı entegre bir şekilde çalışması için InfoWorks ICM yazılımında koordinat sistemi Turkish Coordinate System (GK 3 Degree) GK Central Meridian 39 (GRS80) olarak düzenlenmiştir (Şekil 6.39-Şekil 6.40).

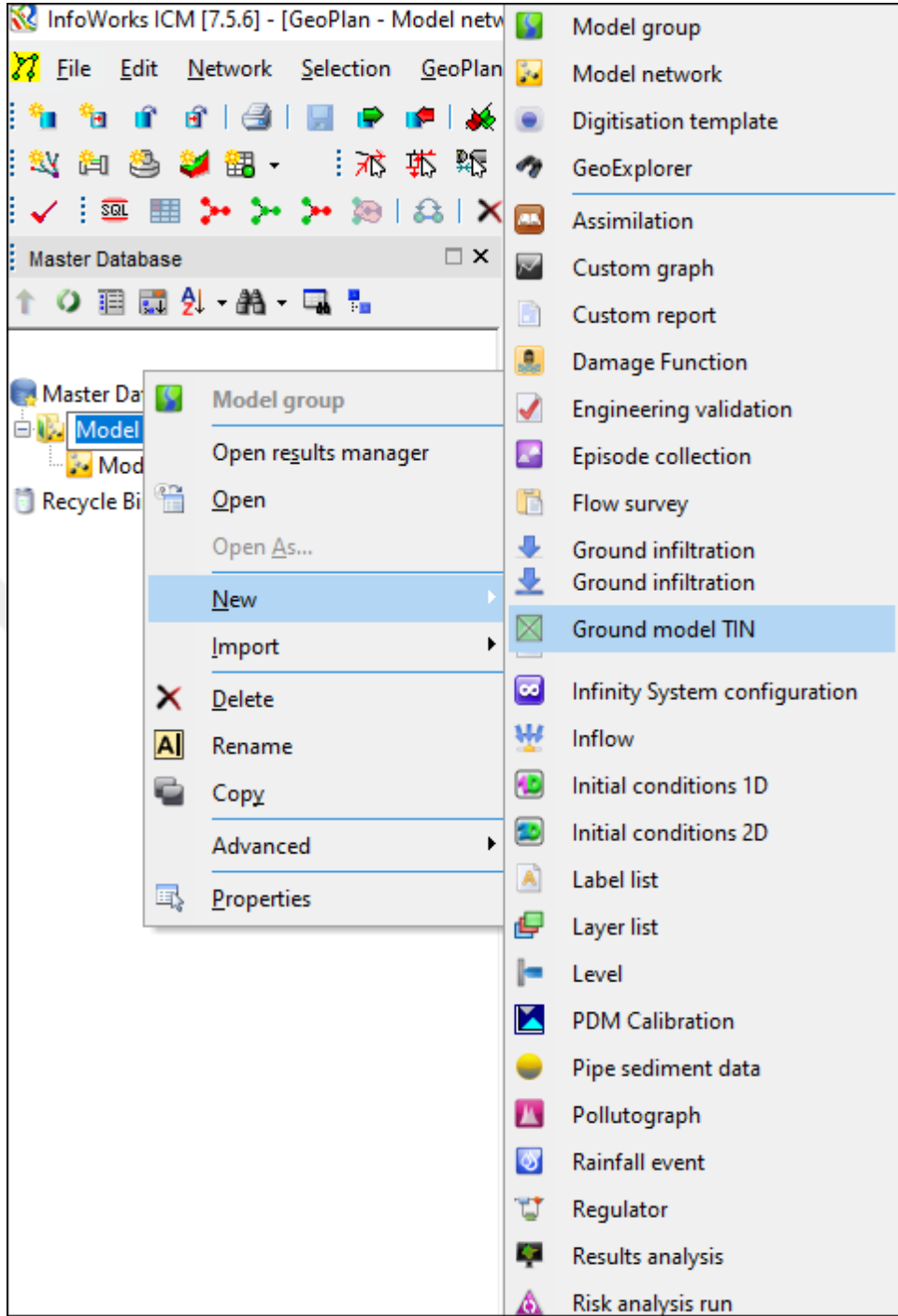


Şekil 6.39 : Koordinat sisteminin ayarlanması için kullanılacak komut

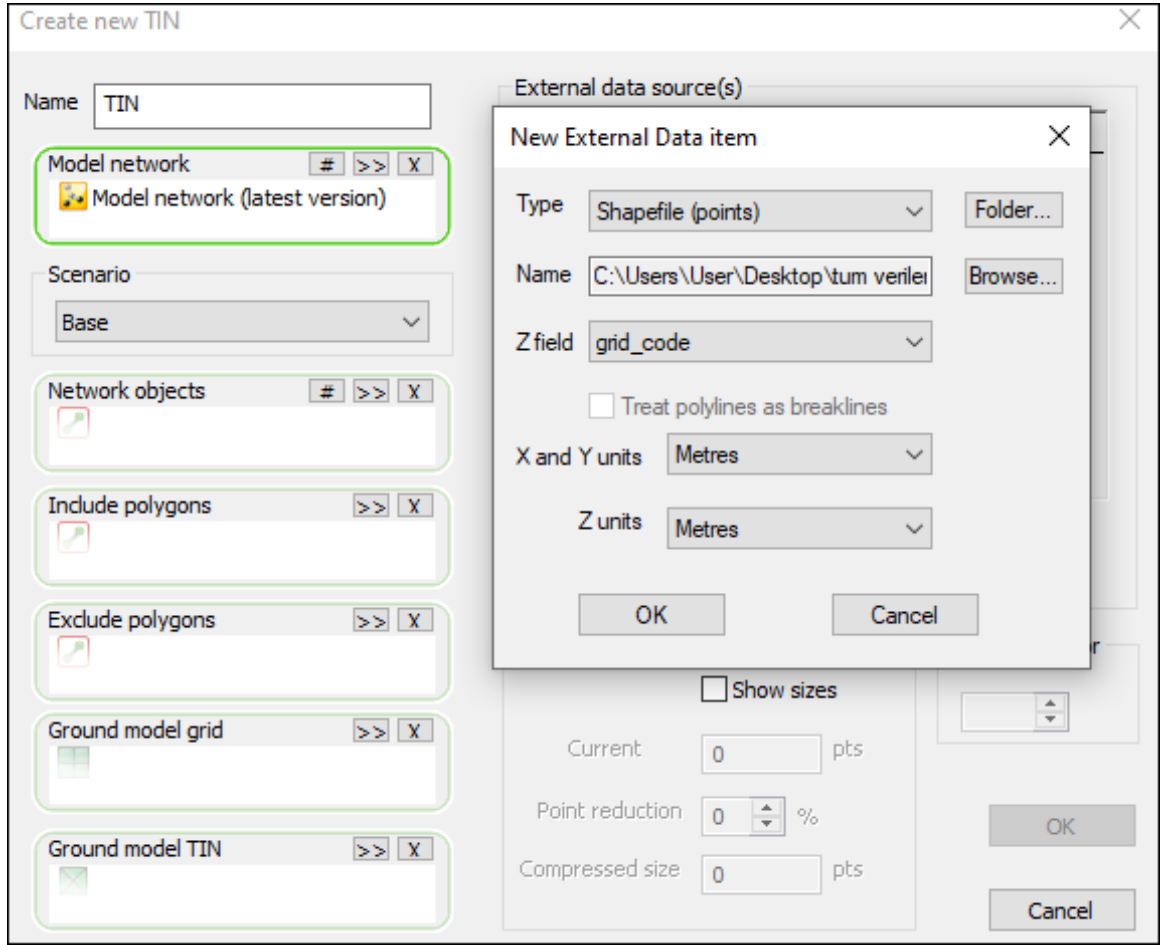


Şekil 6.40 : Koordinat sisteminin 2 boyutlu alana göre düzenlenmesi

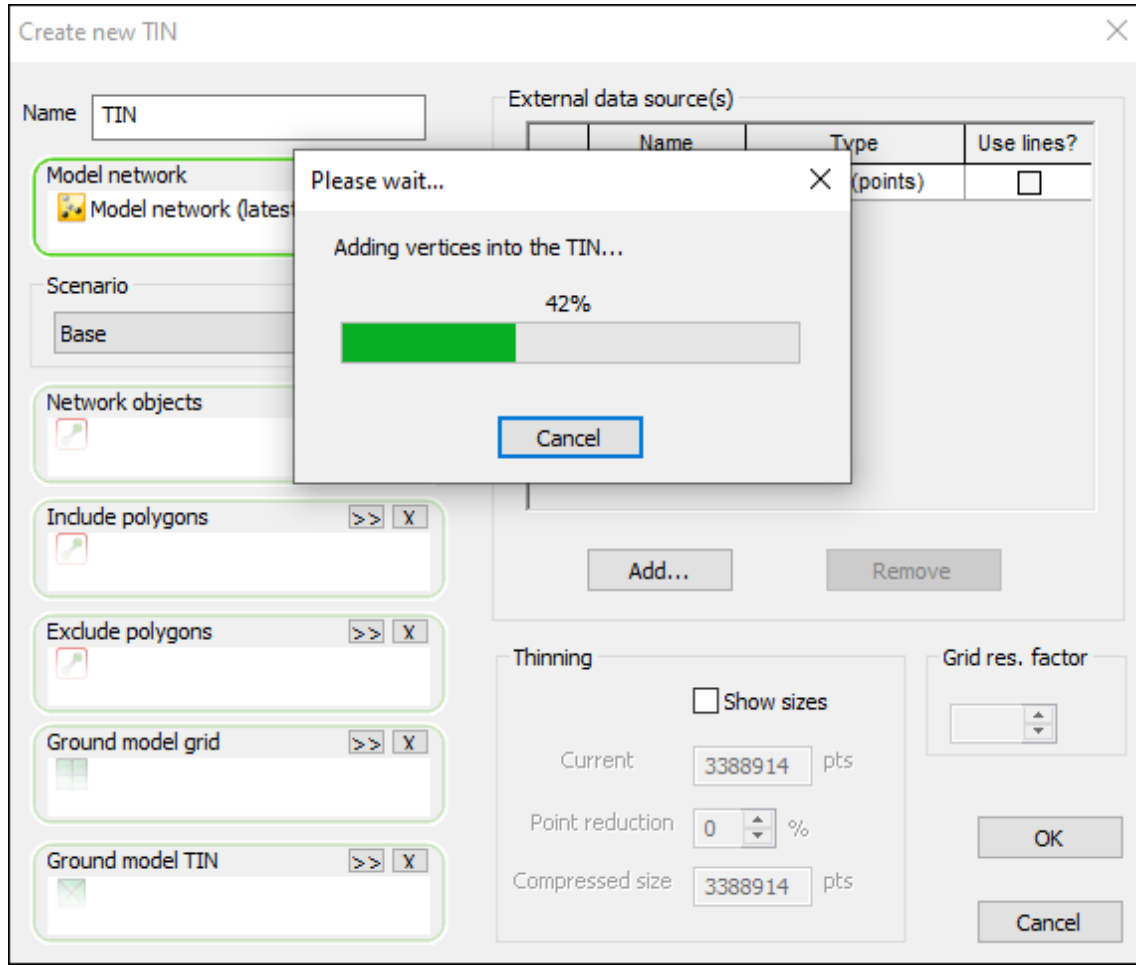
Yüzey modelini oluşturmak için TIN (Triangular Irregular Networks) verisinin üretilmesi gerekmektedir. Daha önceden oluşturulmuş nokta verisini kullanarak “Ground Model TIN” komutuyla yüzey modeli oluşturulur (Şekil 6.41-6.42-6.43-6.44). InfoWorks ICM’e aktarılacak TIN verisi, daha önce aktarılan 2 boyutlu alandan daha büyük sınırlarda olmalıdır. Yani TIN verisi 2 boyutlu alanı içermelidir.



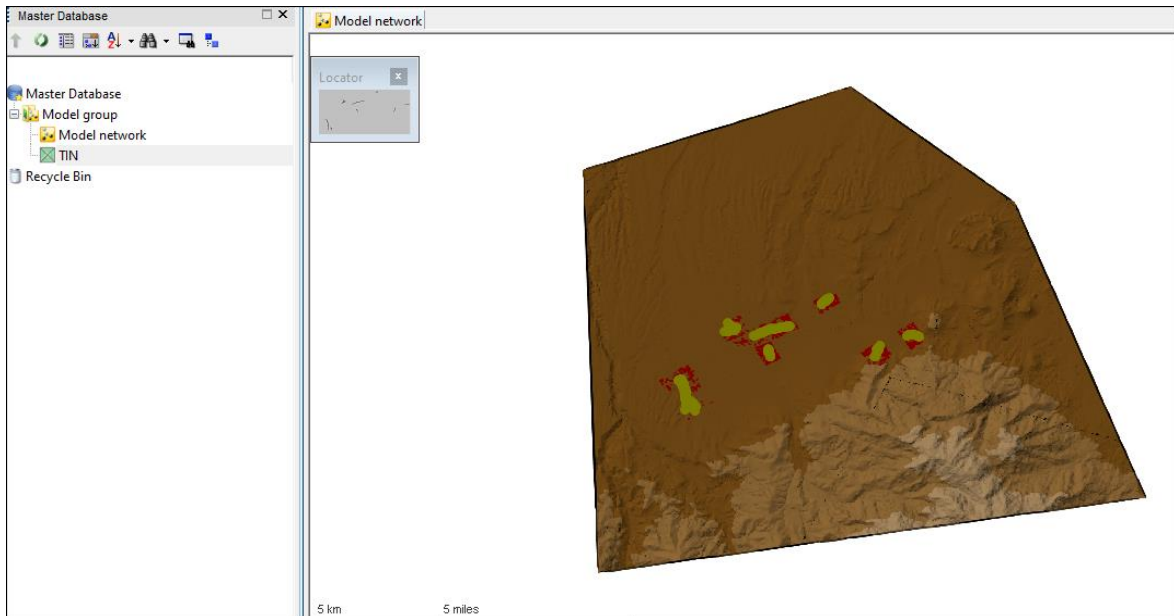
Şekil 6.41 : Yer modelinin oluşturulması için kullanılacak komut



Şekil 6.42 : Yer modelinin oluşturulması için, ArcGis’de oluşturulan nokta verilerinin aktarılması



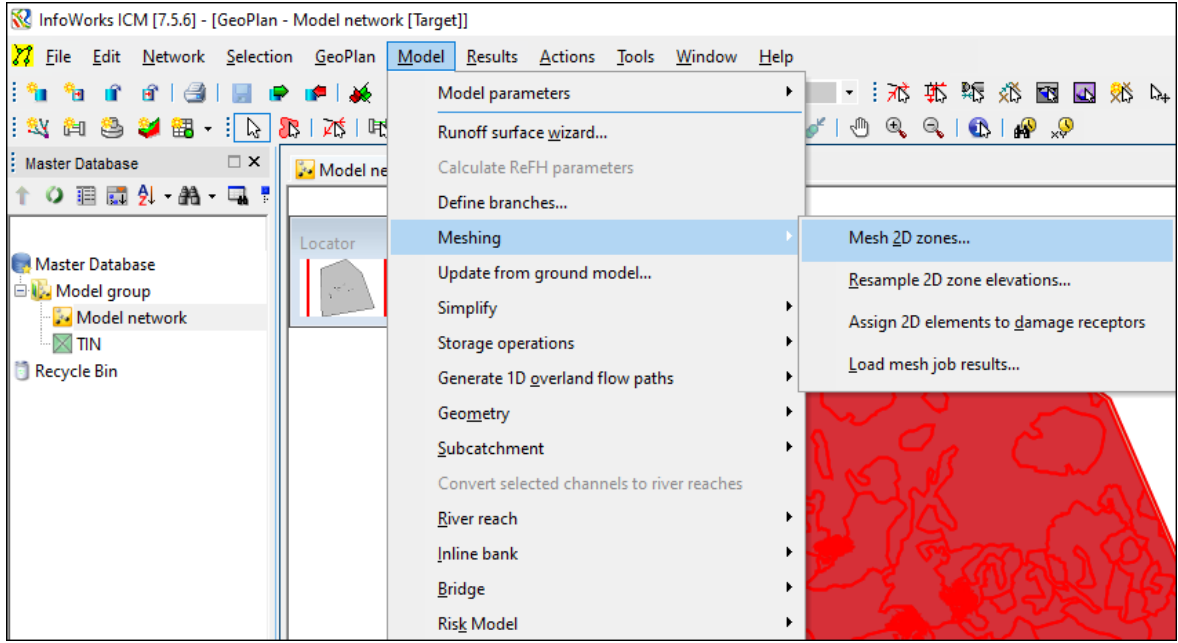
Şekil 6.43 : Yer modelinin oluşturulması



Şekil 6.44 : Oluşturulan yer modelinin görünümü

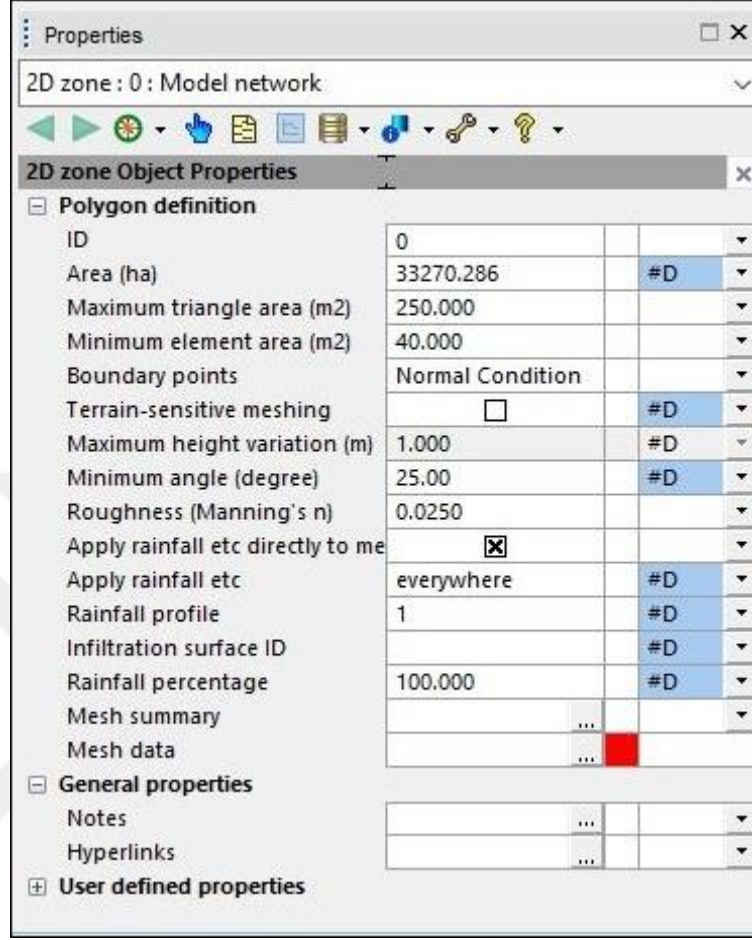
6.2.1 Üçgen ağı oluşturma

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’de üçgenleme işlemi “Mesh 2D Zones” komutu yardımıyla yapılmaktadır (Şekil 6.45).



Şekil 6.45 : Üçgenleme işleminin yapılması için kullanılan komut

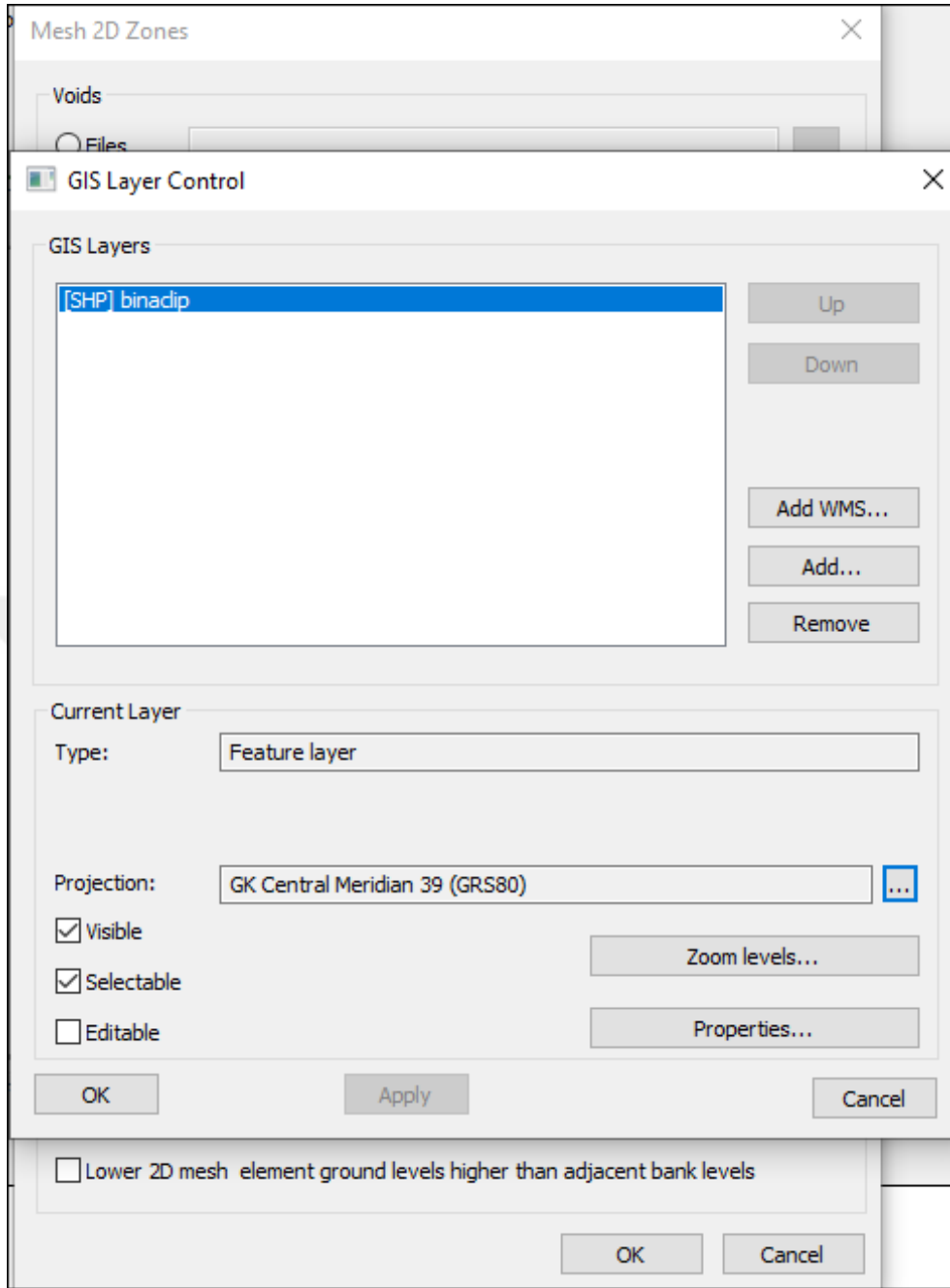
Bu çalışma da oluşturulacak üçgenler 40 m² ile 250 m² arasında değişmektedir (Şekil 6.46).



Şekil 6.46 : Üçgen ağı özellikleri

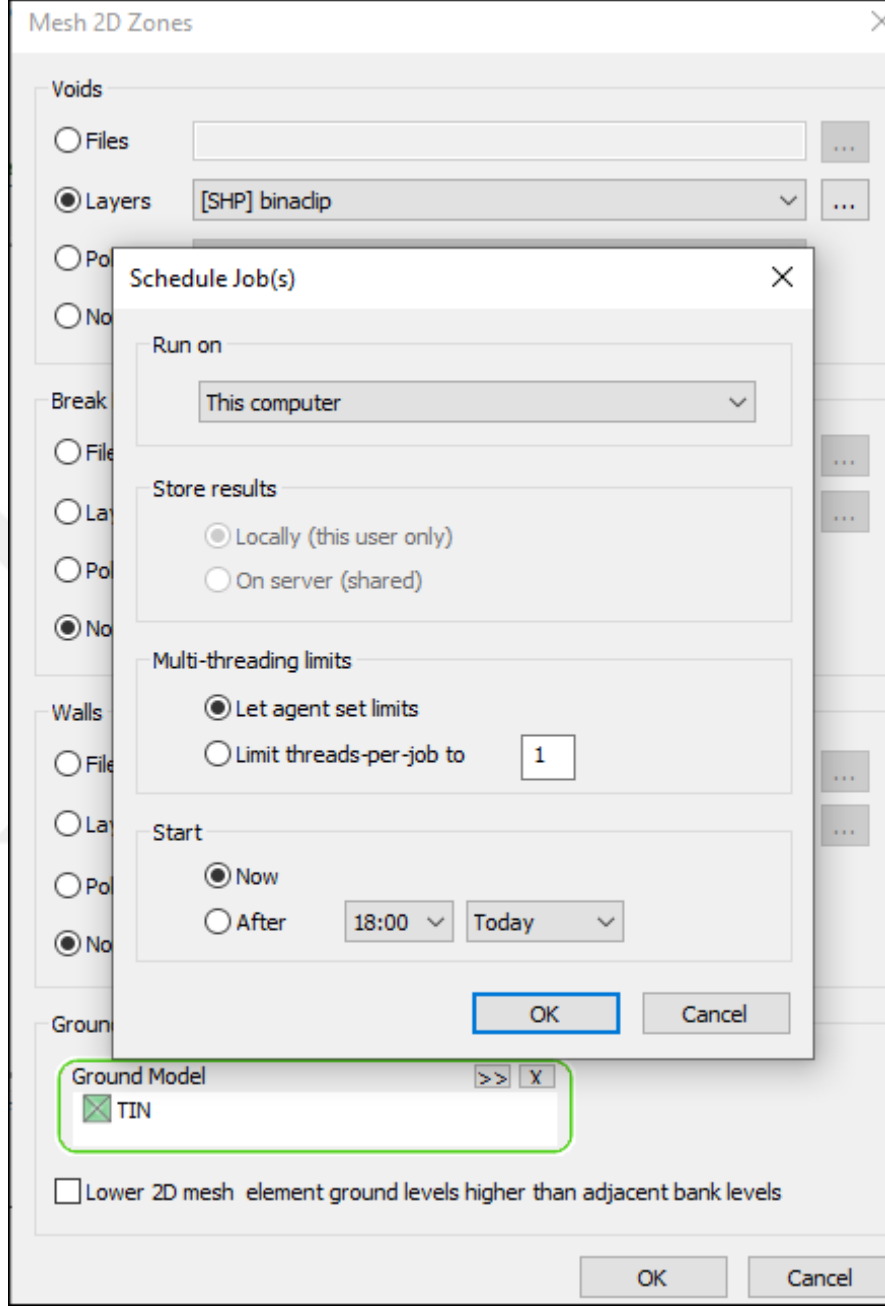
Çalışma alanı olarak seçilen bölge büyük bir alana sahip olduğu için üçgenlerin boyutları yeterlidir. Daha küçük bölgeler de çalışılmak istenilirse daha küçük üçgenleme aralığı bırakılarak daha detaylı analiz yapılmalıdır.

Üçgenleme yapılırken çalışma alanında bulunan binaları “Mesh 2D Zones” komutunun içerisinde bulunan “GIS Layer Control” sekmesiyle üçgenlerin binaların üzerine gelmesini engellemek amacıyla programa tanıtılmalıdır (Şekil 6.47).



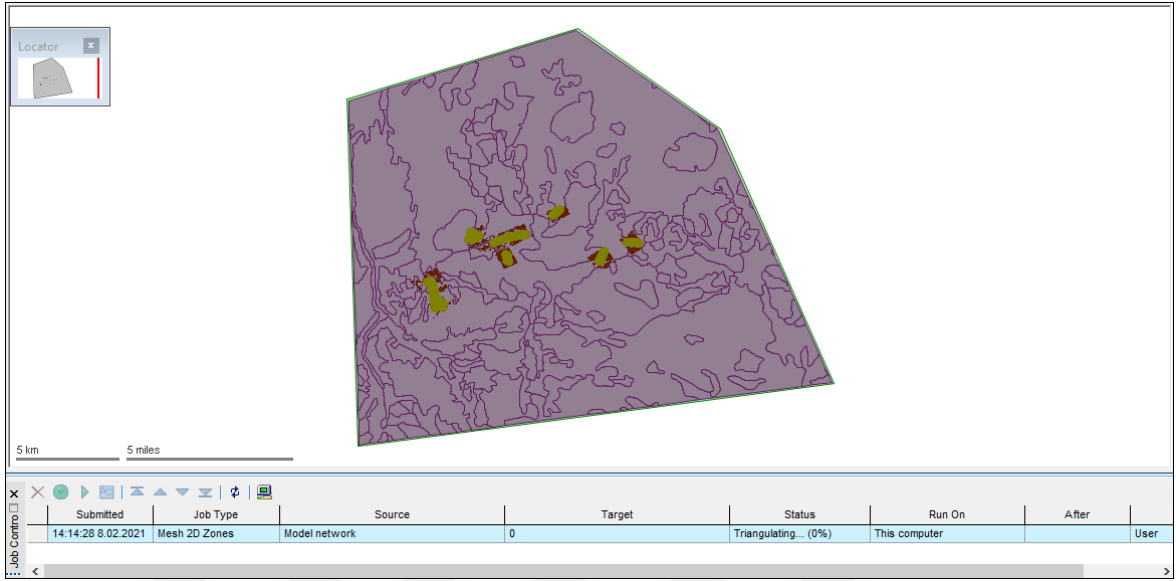
Şekil 6.47 : Bina verilerinin üçgenleme yapılmadan önce, oluşturulacak üçgenlerle kesişmemesi için programa tanıtılması

Üçgenlemeye başlamadan önce “Ground Model” sekmesine önceden oluşturulan TIN modeli eklenmelidir (Şekil 6.48).

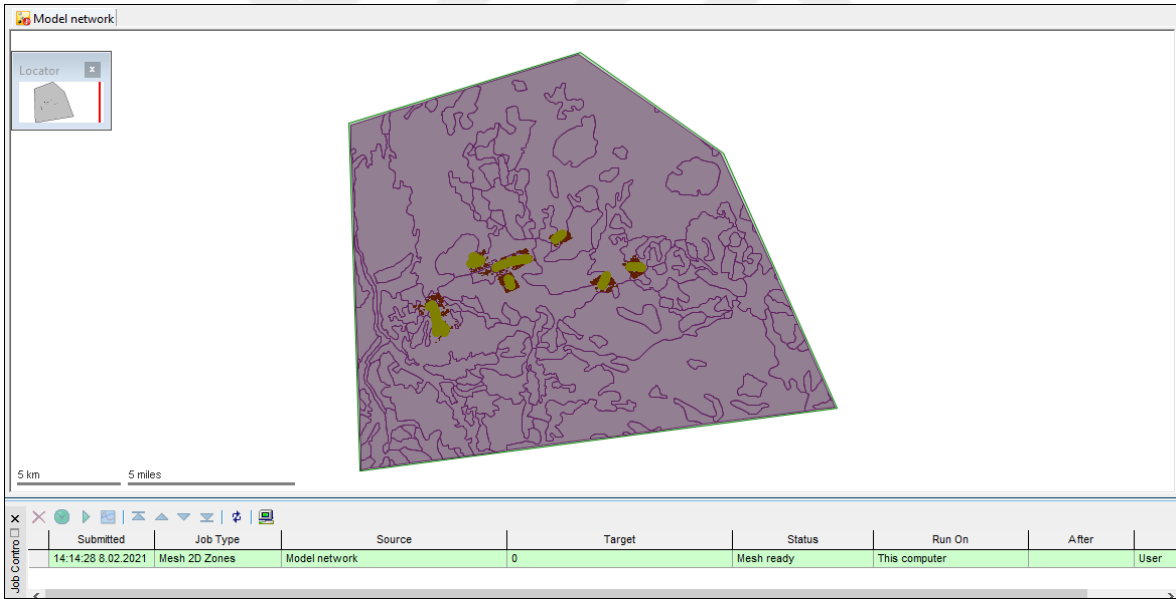


Şekil 6.48 : Üçgenleme işleminin başlatılması

“Job Control Window” penceresi açılarak üçgenleme işleminin aşamaları takip edilmelidir (Şekil 6.49-Şekil 6.50).

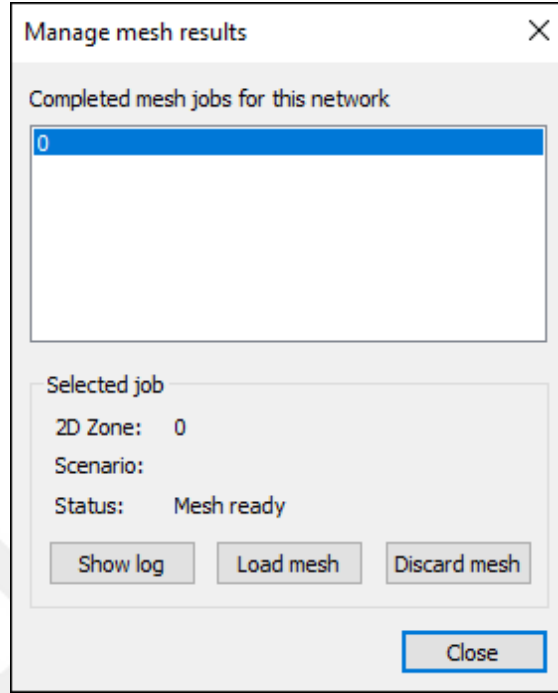


Şekil 6.49 : Üçgenleme işleminin takip edilmesi



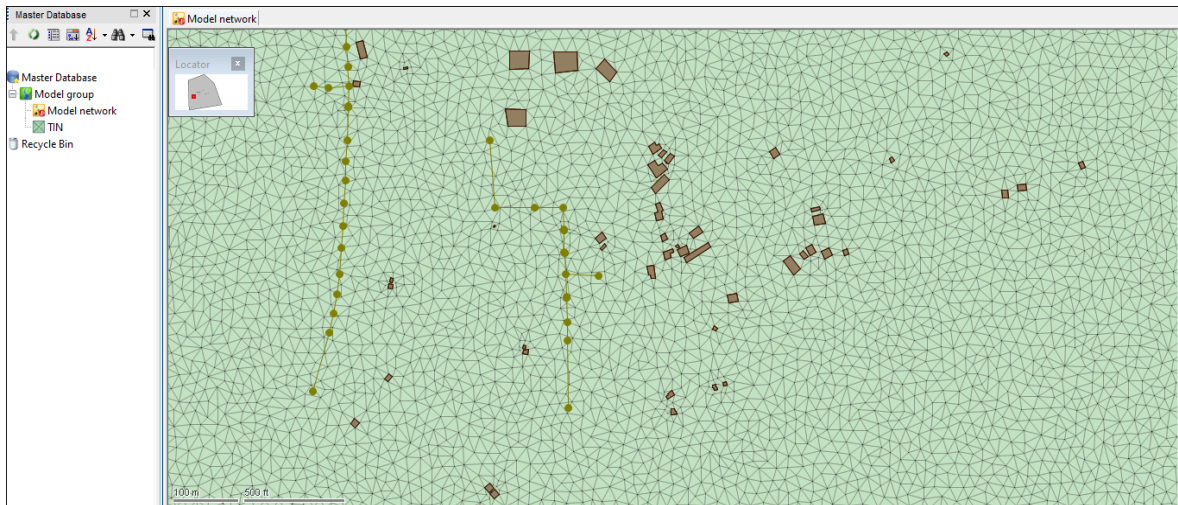
Şekil 6.50 : Üçgenleme işleminin takip edilmesi

“Status” sütununda “Mesh ready” yazdığıında üçgenleme işlemi tamamlanmış ve yüklenmiştir (Şekil 6.51).

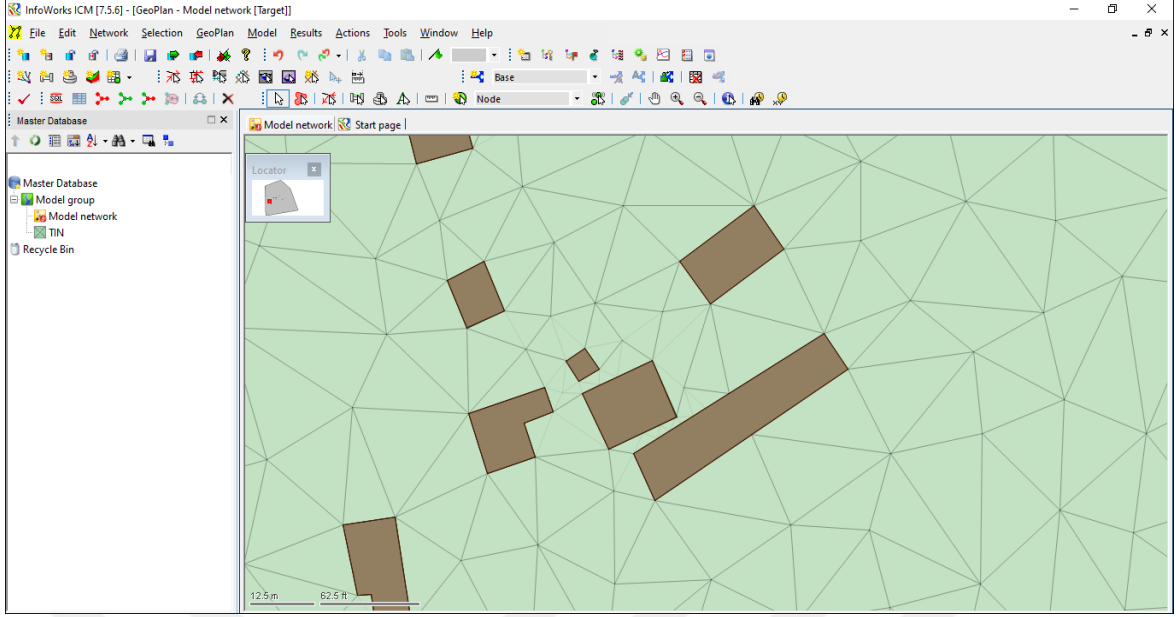


Şekil 6.51 : Üçgenleme işlemi neticesinde oluşturulan üçgenlerin programa yüklenmesi

InfoWorks ICM’de simülasyon yaparken program en düzensiz üçgen hangisiyse o hızda simülasyon yapabilmektedir. Yani simülasyon 2.saniyeye geçmek için 1.saniyedeki bütün üçgenleri simüle etmiş olması gerekmektedir. Binaların köşelerinde yüzlerce üçgenler oluşmaktadır ve bu simülasyonu geciktirip hata vermesine neden olmaktadır. Bu yüzden bina verileri programa aktarılmadan önce mutlaka düzenlenmelidir (Şekil 6.52-Şekil 6.53).



Şekil 6.52 : Yüklenen üçgenlerin görünümü



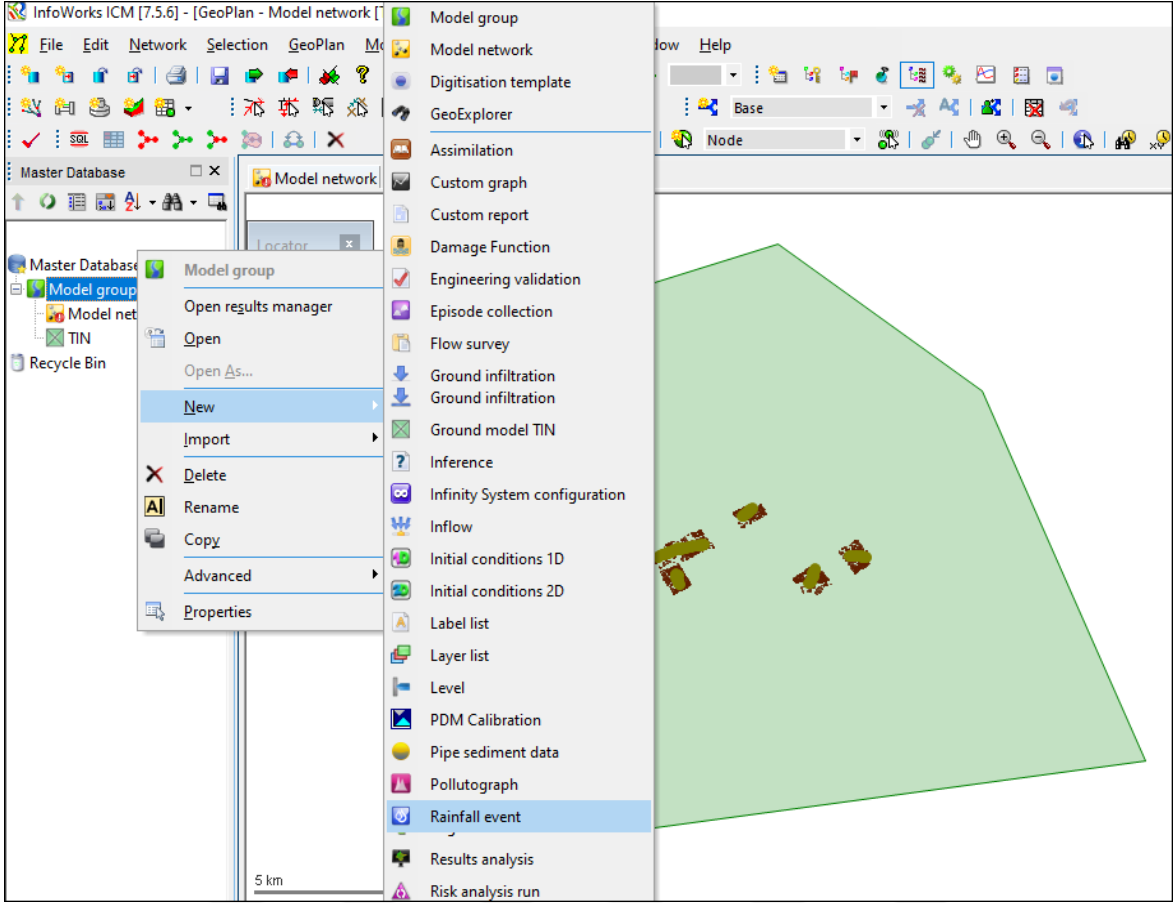
Şekil 6.53 : Üçgenlerin, bina verileri ile görünümü

6.2.2 Yağış verilerinin yüklenmesi ve taşkın analizi

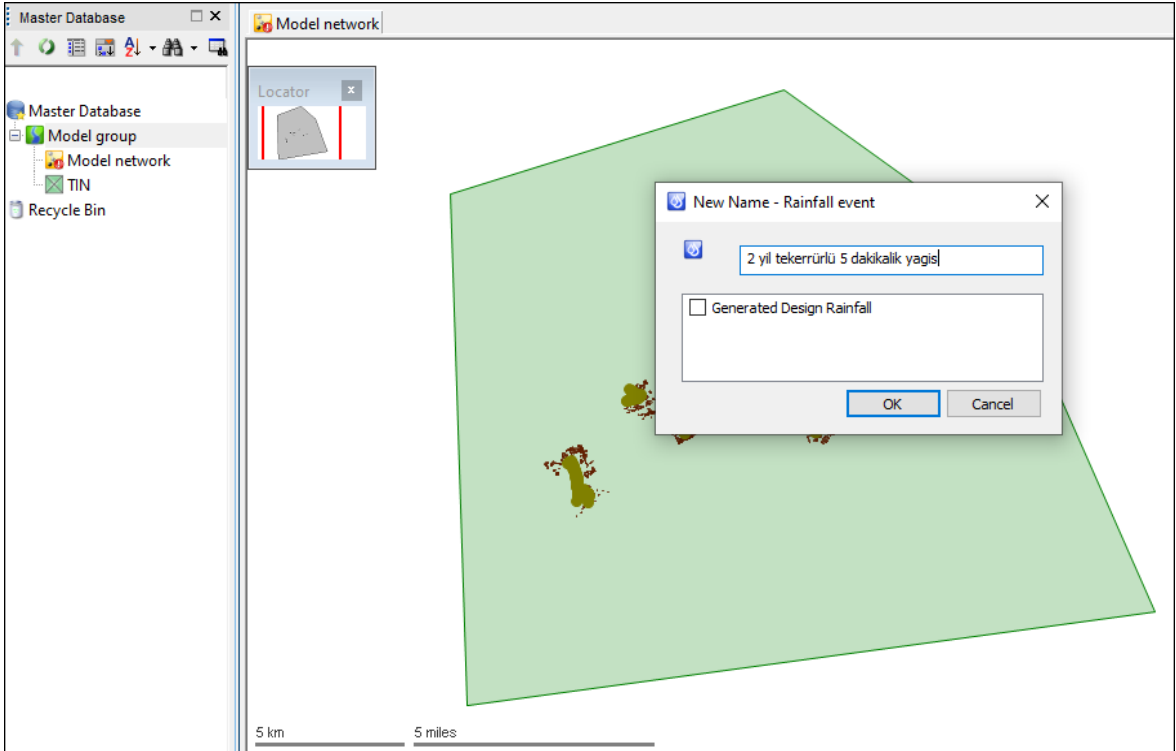
Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan yağış verileri 5,10,15 dakikada meydana gelen mm cinsinden yağış yükseklikleri şeklindedir. InfoWorks ICM’de taşkın analizinin yapılabilmesi için, yağış yükseklikleri yağış şiddetine çevrilmiştir.

Taşkın analizlerinin ön hazırlığı ne kadar önemli ise kaç yıllık tekrürde kaç dakikalık yağışın analiz edileceği de o kadar önemlidir. Kısa süreli ve şiddetli yağışlar taşkın oluşturmaktadır. Taşkın analizinde kullanılacak 30 dakikalık yağışın şiddeti 10 dakikalık yağışın şiddetinden düşüktür. Fakat düşen toplam yağış miktarı 30 dakikalık yağışta daha yüksektir. Mevcut drenaj sistemi 10 dakika boyunca meydana gelen bir taşkın yağışını deşarj edebiliyorsa, 30 dakikalık yağışı kolay bir şekilde deşarj edebileceği tahmin edilmektedir. Çünkü drenaj ağı, her 10 dakika da bir gelen yağışı boşalttığı için 30 dakikalığı kolayca boşaltabilir.

Yağış verilerini programa aktarmak için “Rainfall event” komutu ile bir altlık oluşturulur (Şekil 6.54-Şekil 6.55).

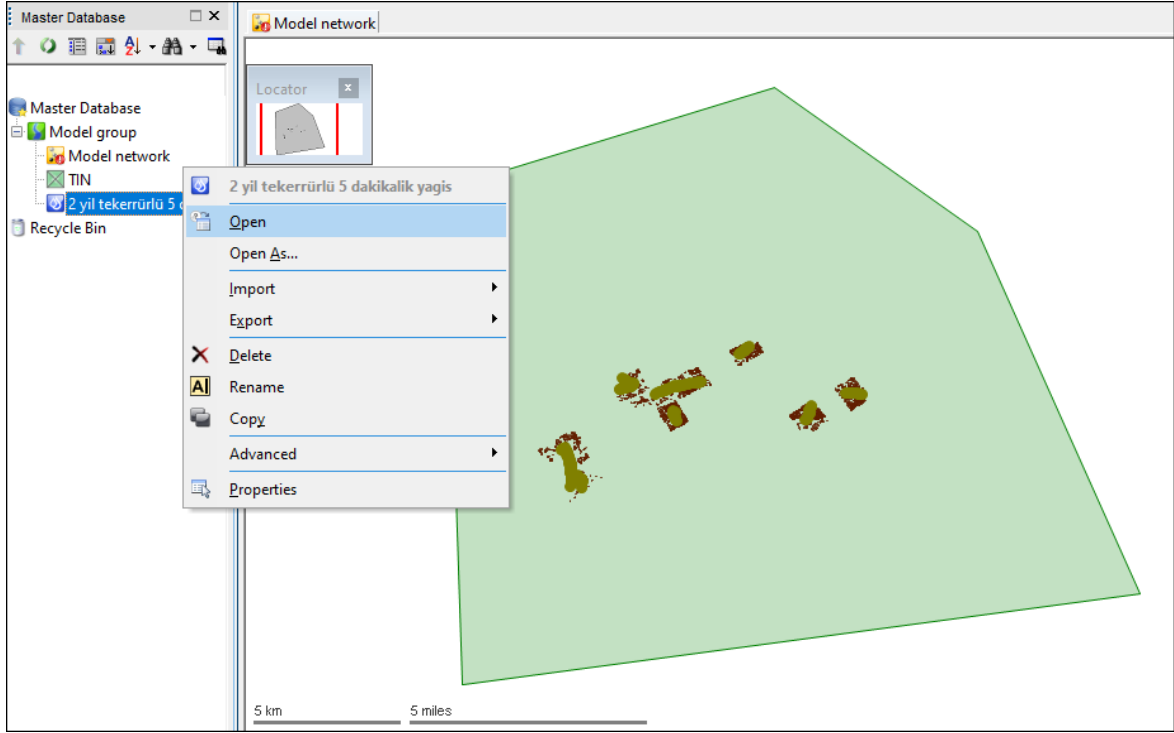


Şekil 6.54 : Yağış verisini ekleme komutu



Şekil 6.55 : “Rainfall event” komutu üzerinde yapılan değişikliklerin gösterimi

Oluşturulan altlık üzerinde, hesapladığımız yağış şiddetine göre düzenlemeler yapılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan yağış verileri, standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri ve taşkın analizinde kullanılacak değerler olduğu için yüksek yağış şiddetine sahiplerdir. Bu yağış şiddetleri sıfırcı saniyeden birinci saniyeye geçerken birden meydana gelebileceği için, taşkın analizini bozmayacak şekilde rastgele bir ivme ile artırılarak hesaplanacak yağış şiddeti programa aktarılmıştır (Şekil 6.56-Şekil 6.57).

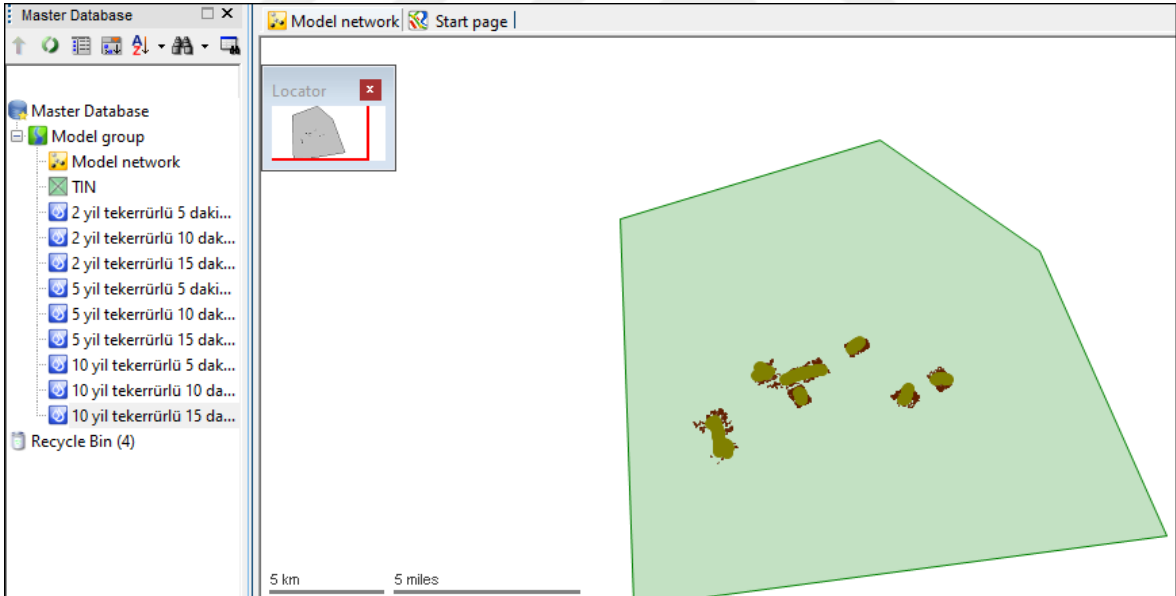


Şekil 6.56 : Yağış verilerinin düzenlenmesi

Time	1 (mm/hr)
SUB-EVENT 1	
00::00:00	0.000000
00::00:01	20.000000
00::00:02	40.000000
00::00:03	49.200000
00::00:04	49.200000
00::00:05	49.200000
00::00:06	49.200000
00::00:07	49.200000
00::00:08	40.000000
00::00:09	20.000000
00::00:10	0.000000
*	

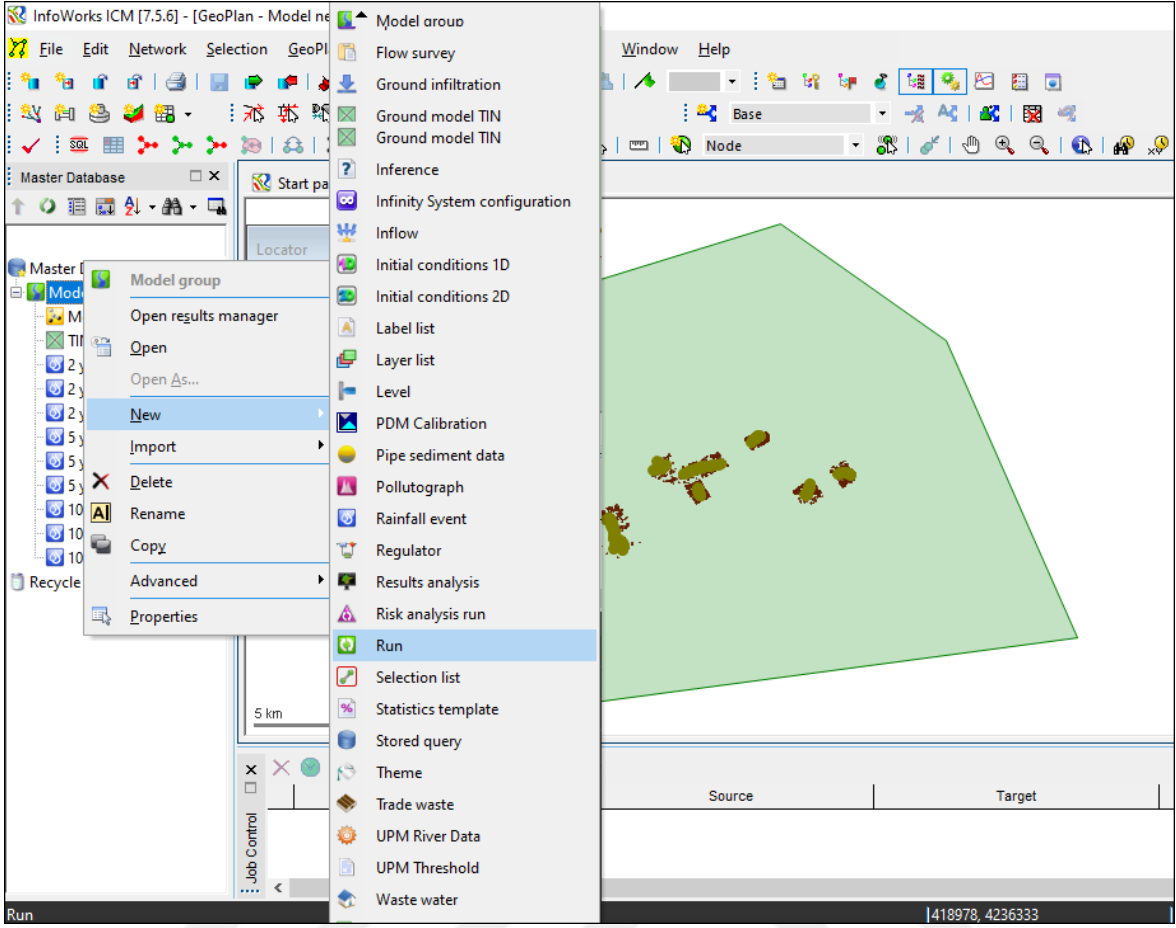
Şekil 6.57 : Yağış verilerinin düzenlenmesi

Analizde kullanılacak bütün yağış verileri programa aktarılır (Şekil 6.58).



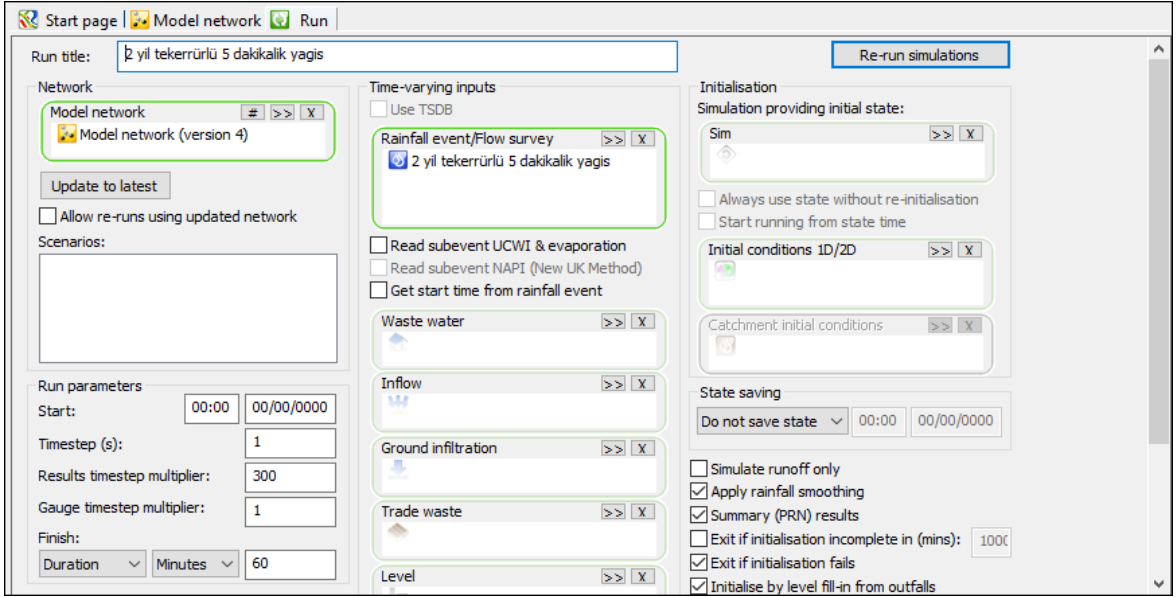
Şekil 6.58 : Bütün yağış verilerinin programa yüklenmesi

Taşkın analizini başlatmak için “Run” komutu kullanılır (Şekil 6.59).



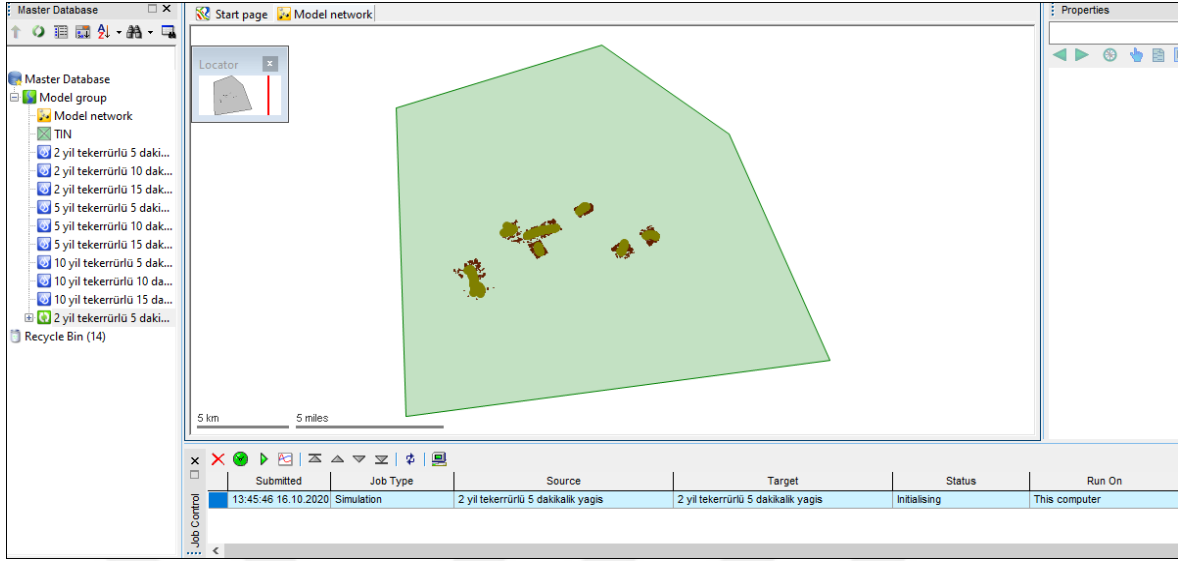
Şekil 6.59 : Taşkın analizini başlatmak için kullanılan “Run” komutu

“Run” komutu üzerinde, taşkın analizinin süresi, sonuç raporları verme süresi gibi değişiklikler yapılmıştır (Şekil 6.60).



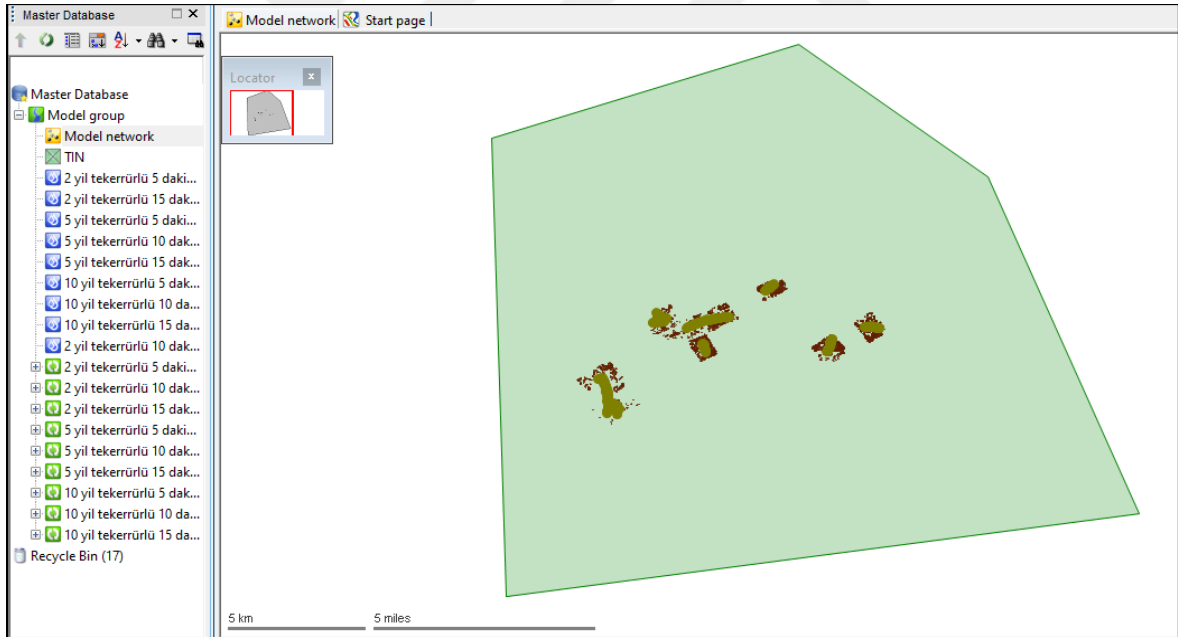
Şekil 6.60 : “Run” komutu üzerinde yapılan değişiklikler

Analizin durumunu öğrenmek için “Job control window” penceresi açılır (Şekil 6.61). “Status” sütununda “Ready” yazdığına analiz tamamlanmıştır.



Şekil 6.61 : Taşkın analizi aşamaları

Bu işlemler, bütün yağış şiddetleri için ayrı ayrı yapılmıştır (Şekil 6.62).

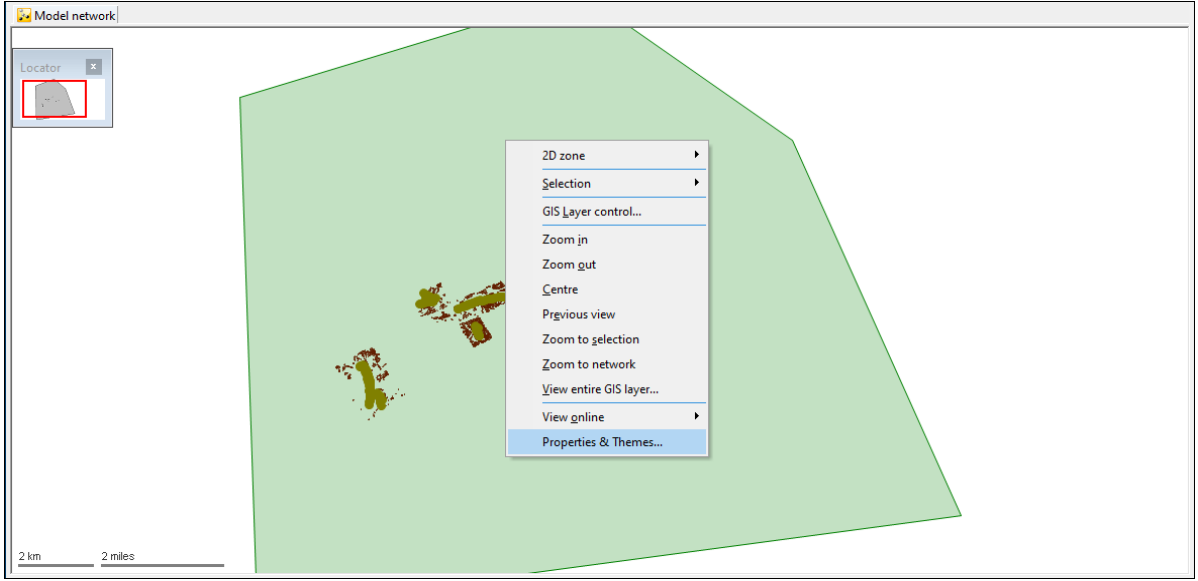


Şekil 6.62 : Taşkın analizleri

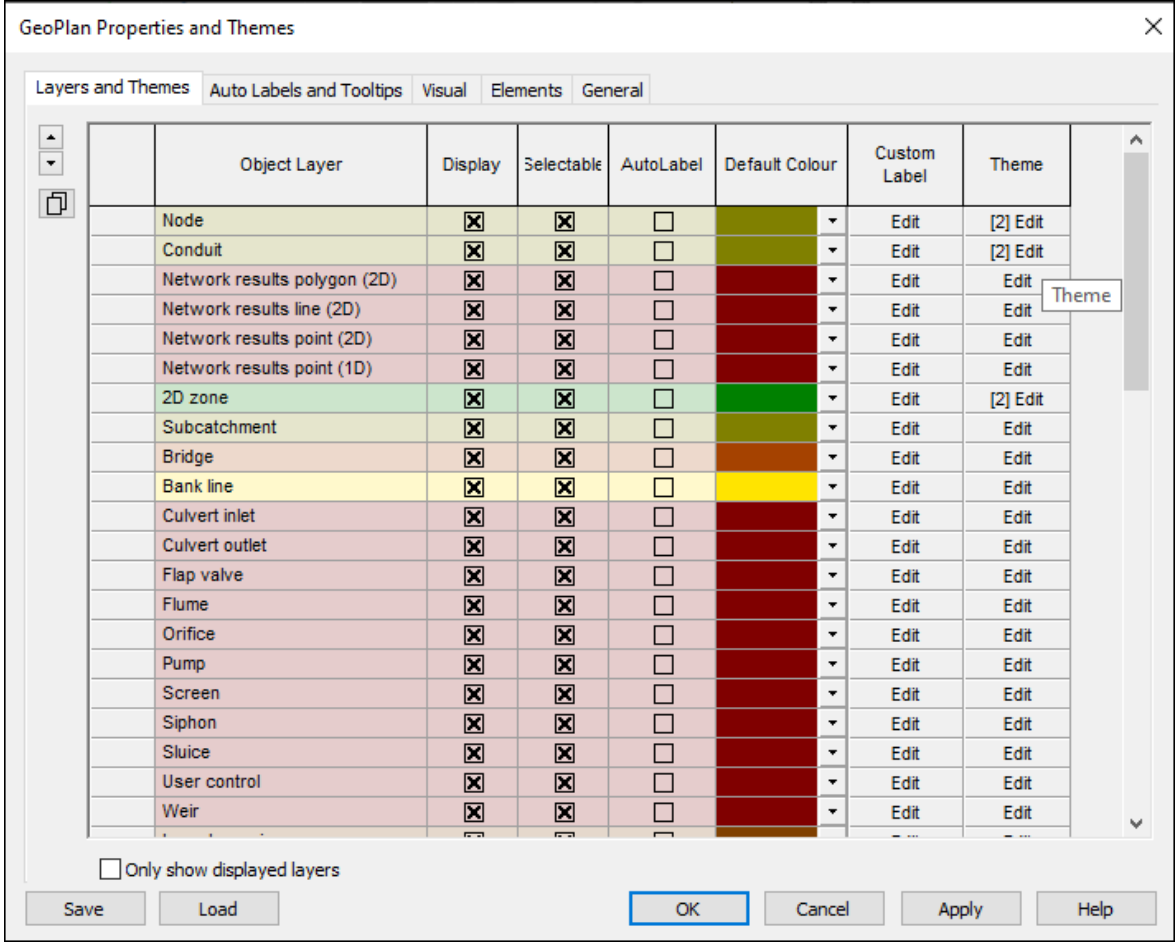
7.TAŞKIN ANALİZİ

Taşkın analizini yapmak kadar yorumlanması da önemlidir. Bunun için InfoWorks ICM’de çeşitli düzenlemeler yapılmaktadır.

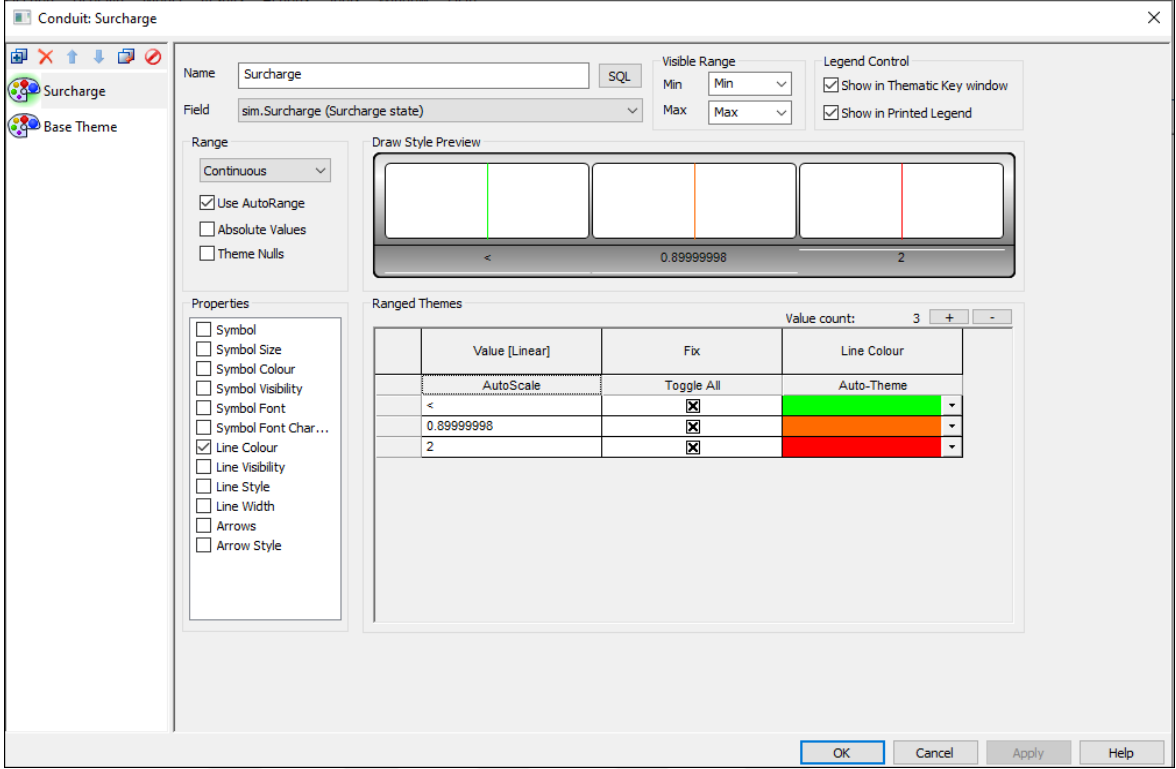
Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan “Yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemleri hakkında yönetmelik” (ÇŞB, 2021) adlı yönetmelikte yağmursuyu kanallarının en fazla %90 doluluğunda akmasına izin verilmektedir. Programda, yağmursuyu borularının doluluğu 0.9’dan az ise yeşil, 0.9 ile 2 arasında ise turuncu renkte görünecek şekilde ayarlanmıştır (Şekil 7.1-7.2-7.3).



Şekil 7.1 : Tema ayarlarının açılması komutu



Şekil 7.2 : Tema ayarlarının düzenlenmesi



Şekil 7.3 : Boruların, yönetmeliğe uygun renklerin verilmesi işlemi

Ani ve şiddetli yağışların yorumlarının daha güvenilir olması için, yağış süreleri aynı olan taşkın yağışları karşılaştırılmalıdır.

7.1 Taşkın Analizi Sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde çalışma alanı için farklı tekerrür aralıkları ve farklı yağış süreleri dikkate alınarak InfoWorks ICM yardımıyla taşkın simülasyonları gerçekleştirilmiş ve farklı zaman adımları için kesitler alınmıştır. Bu simülasyonlar sonucunda yağışın borulardaki maksimum durumu ele alınarak farklı kesitler de görünümle alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma kapsamında mevcut yağmursuyu drenaj sistemleri temel olarak aşağıda verilen analizlerle test edilmiştir.

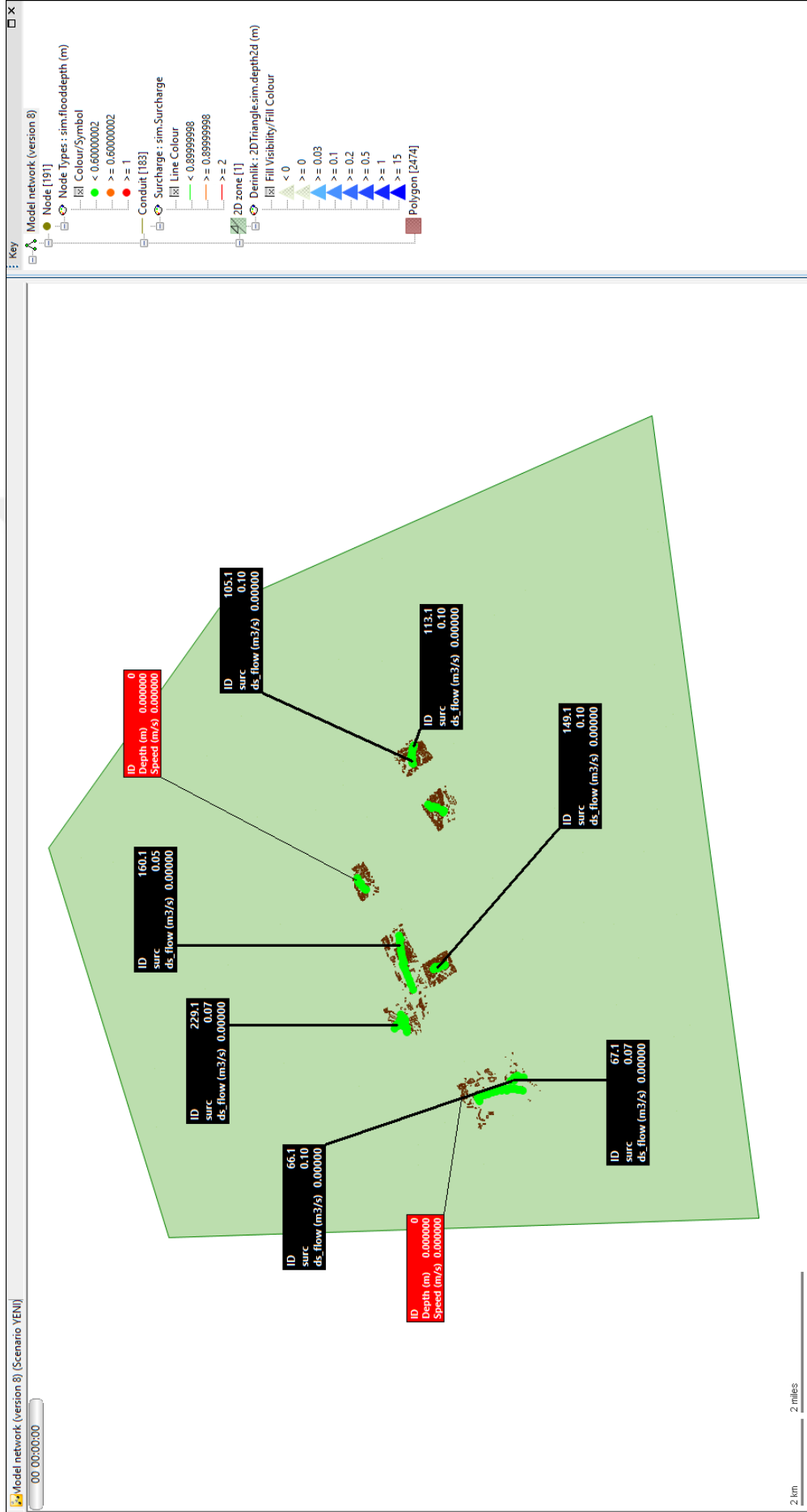
- 5 dakikalık yağış süresine sahip yağışların karşılaştırılması
- 10 dakikalık yağış süresine sahip yağışların karşılaştırılması
- 15 dakikalık yağış süresine sahip yağışların karşılaştırılması

Sonuçların daha kolay ve anlaşılır şekilde yorumlanabilmesi için hatlar numaralandırılmış ve sayısal haritada gösterilmiştir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 : Şebeke hatlarının numaralandırılması ve sayısal haritada gösterilmesi

Çalışma kapsamında tüm analizler için başlangıçta boruların belirli bir dolulukta olduğu kabul edilip InfoWorks ICM tarafından baz akış tanımlanmıştır (Şekil 7.5). Çalışmada yer alan borularda ters eğim bulunduğundan dolayı negatif akış gözlenebilmektedir.



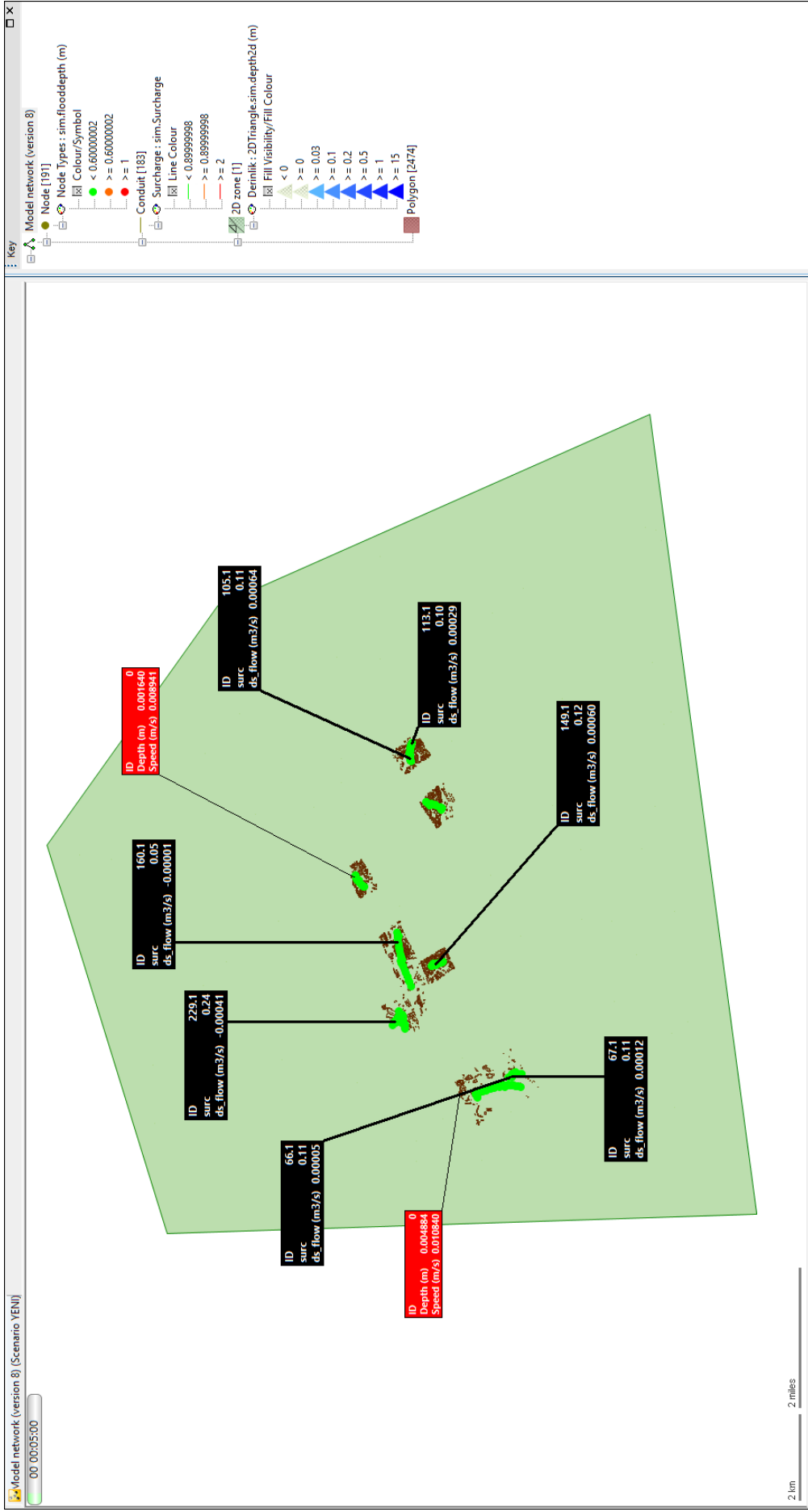
Şekil 7.5 : Tüm analizler için başlangıç debisi gösterimi

Taşkın analizlerinde boruların analiz sonucunda veya analizin herhangi bir kısmında aldığı maksimum doluluk oranları oldukça önemlidir. Sürdürülebilir ve taşkın rahat bir şekilde tahliye edecek boru planlamaları maksimum duruma (en kritik) göre yapılmalıdır. Çünkü taşkın 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 analiz sonucunda elde edilen boru kesitleri maksimum seviye değerleri için alınmıştır.

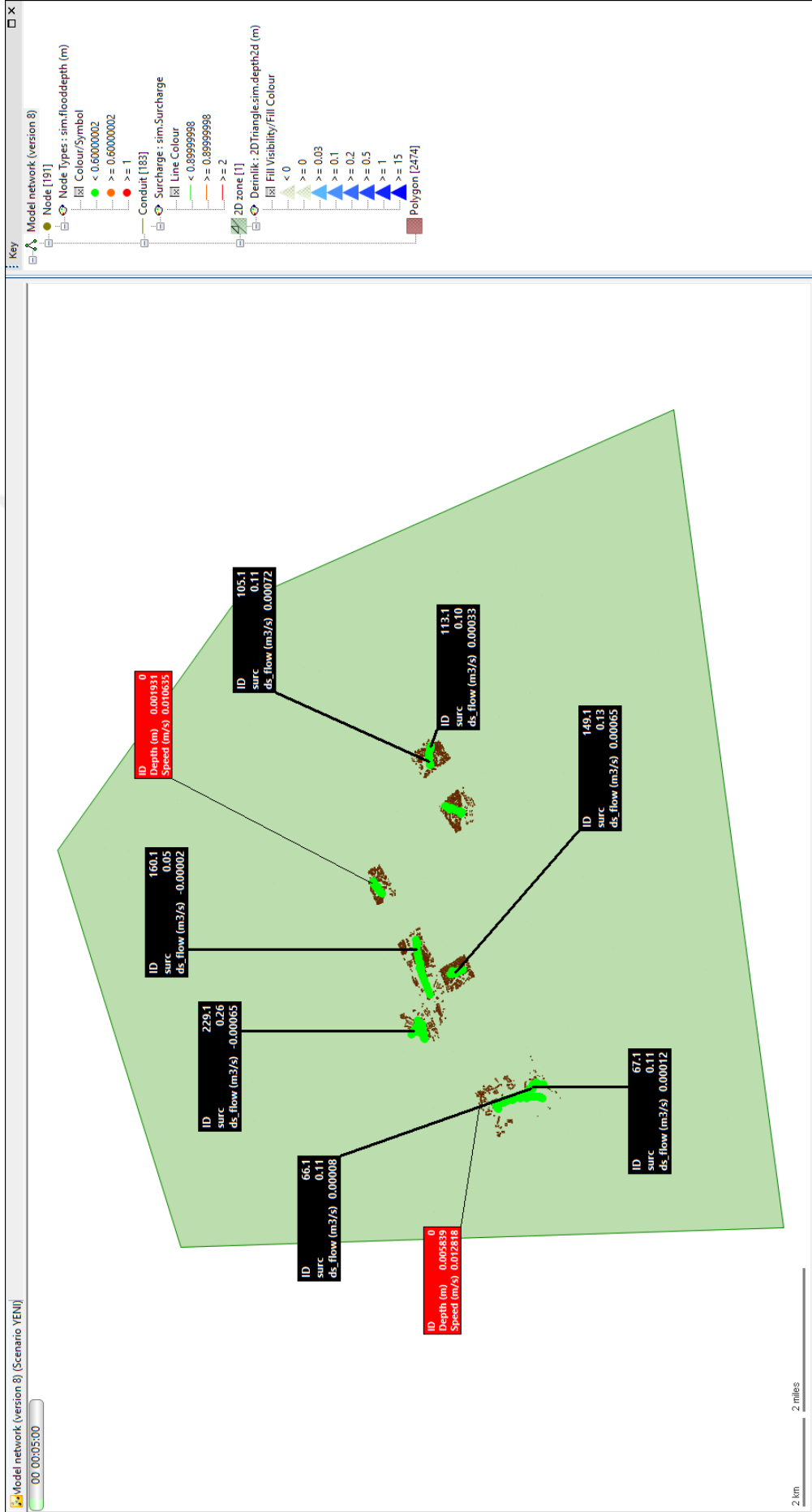
7.1.1 5 Dakikalık yağış süresine sahip yağışlar için analiz

Uygulama alanında 5 dakikalık süreye sahip yağışlar için 2, 5 ve 10 yıllık tekrarlanma periyotlarında analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları sayısal harita üzerinde analizin farklı süreleri için gösterilmiştir.

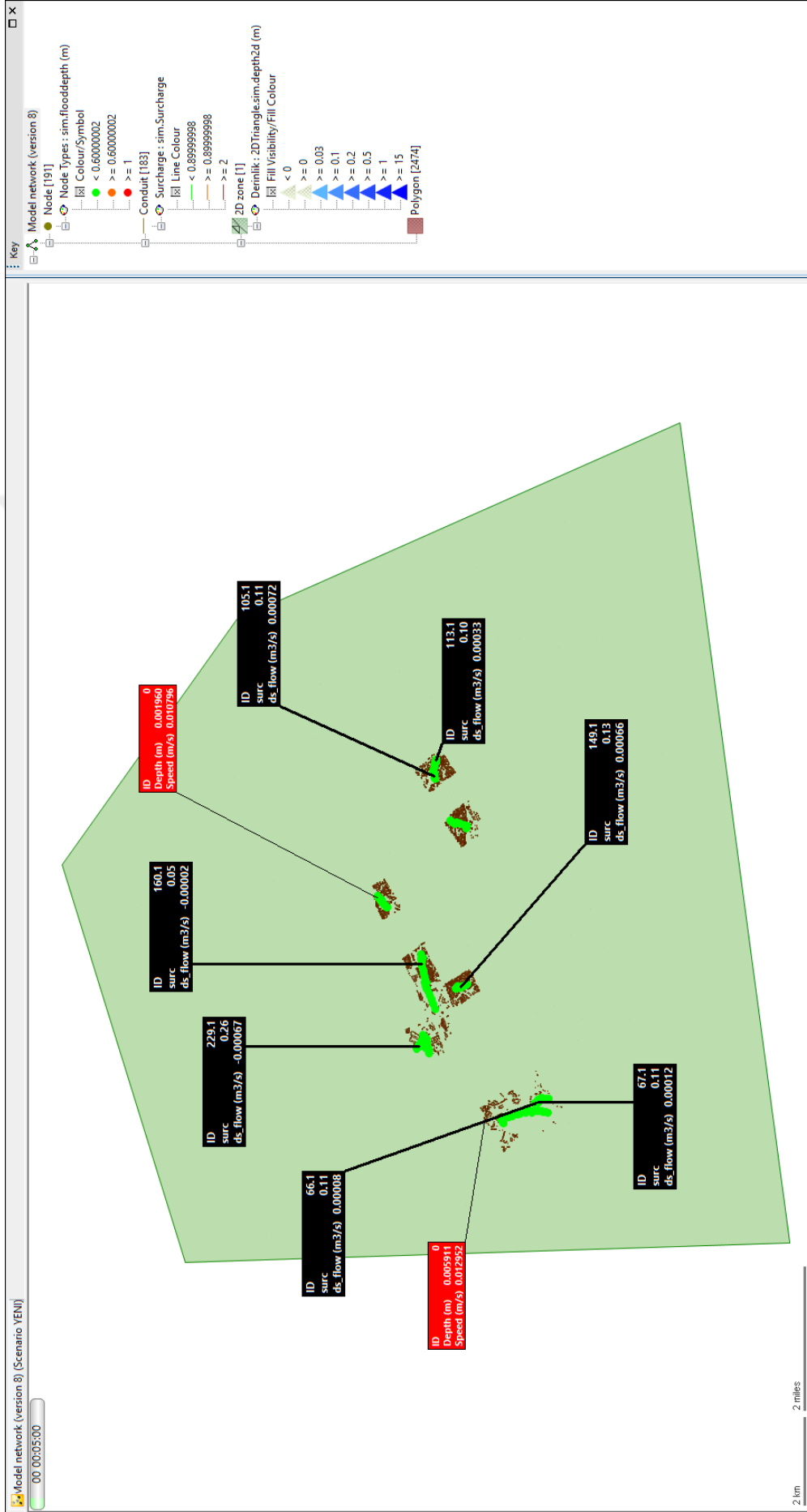
Sayısal haritada verilen taşkın yayılımları incelendiğinde, 2, 5 ve 10 yıl tekerrüre ve 5 dakikalık yağış süresine sahip yağışların 5. dakikasında herhangi bir boruda taşkın oluşturabilecek seviyede doluluk görülmemektedir.



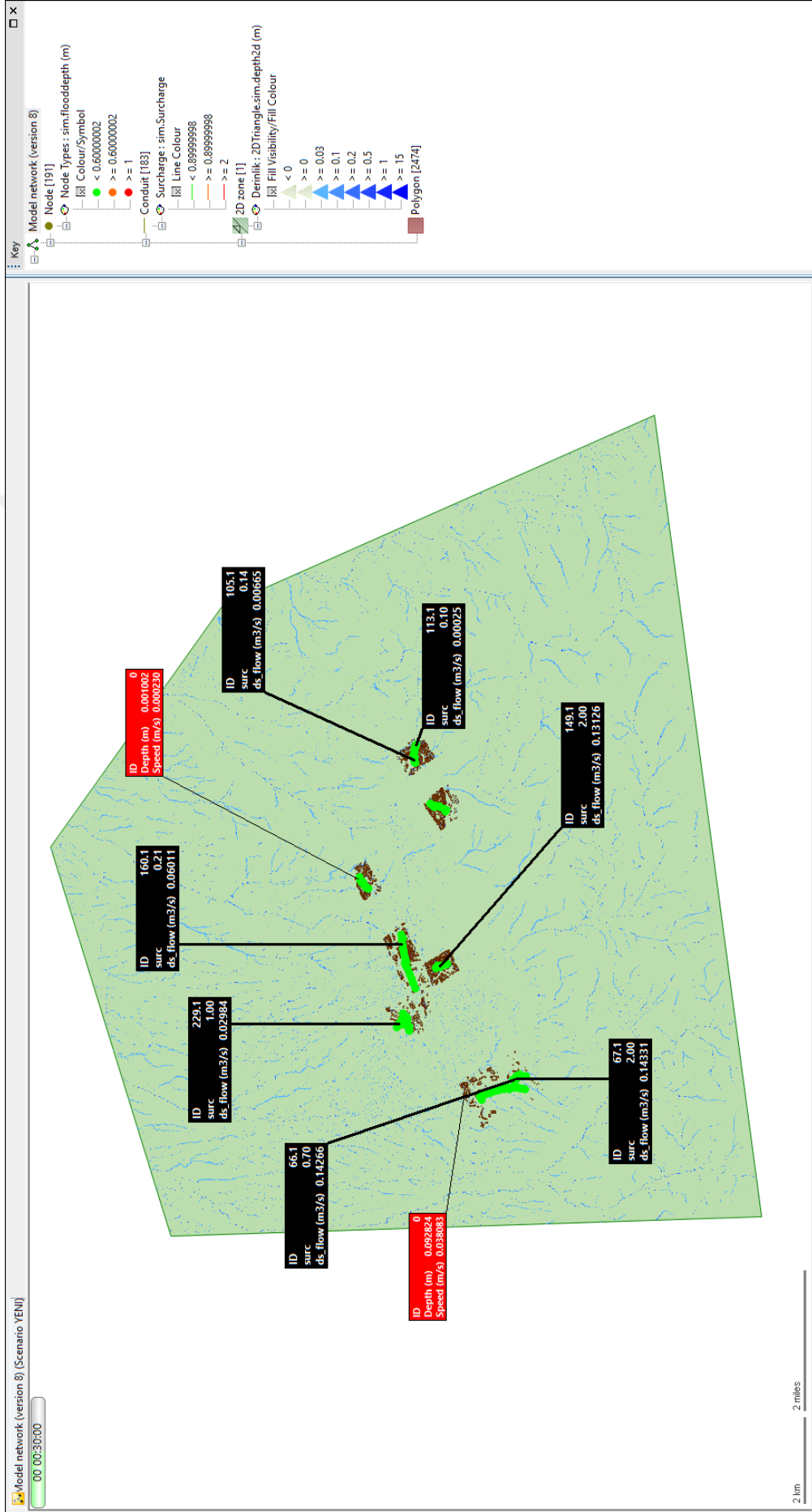
Şekil 7.6 : 2 yıl tekrerrülü 5 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm



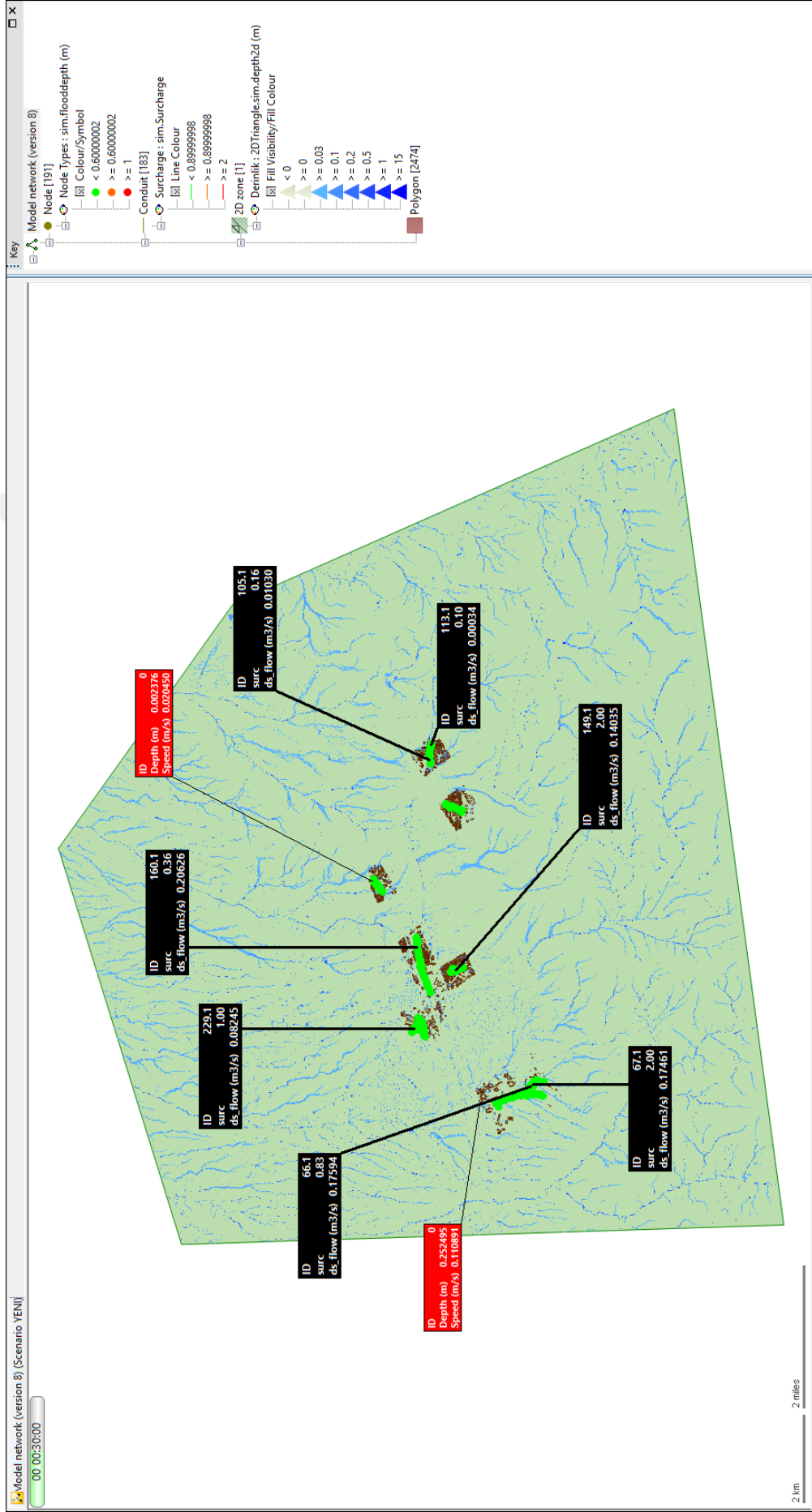
Şekil 7.7 : 5 yıl tekrerrülü 5 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm



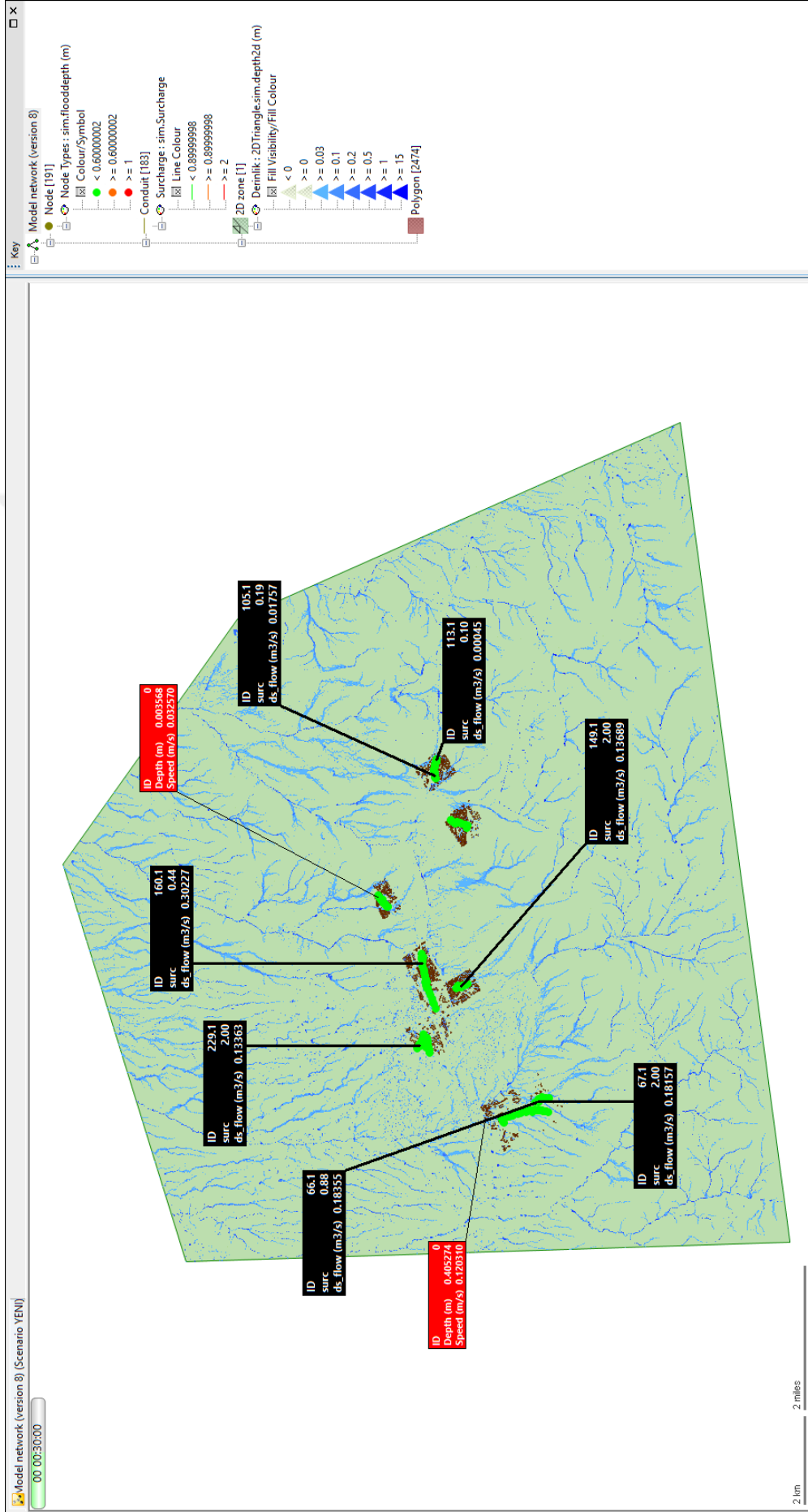
Şekil 7.8 : 10 yıl tekrürlü 5 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm



Şekil 7.9 : 2 yıl tekrürlü 5 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm



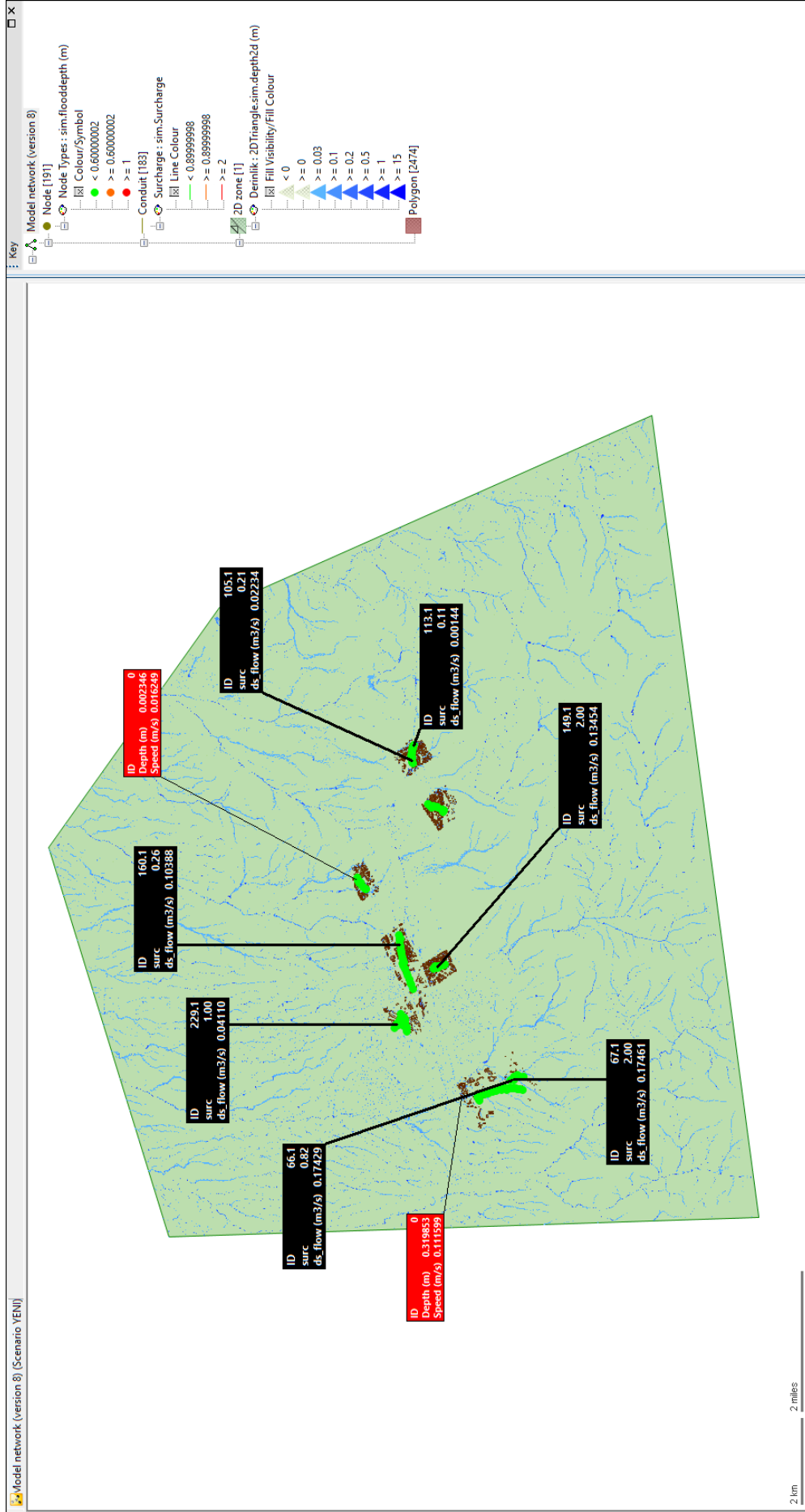
Şekil 7.10 : 5 yıl tekrerrülü 5 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm



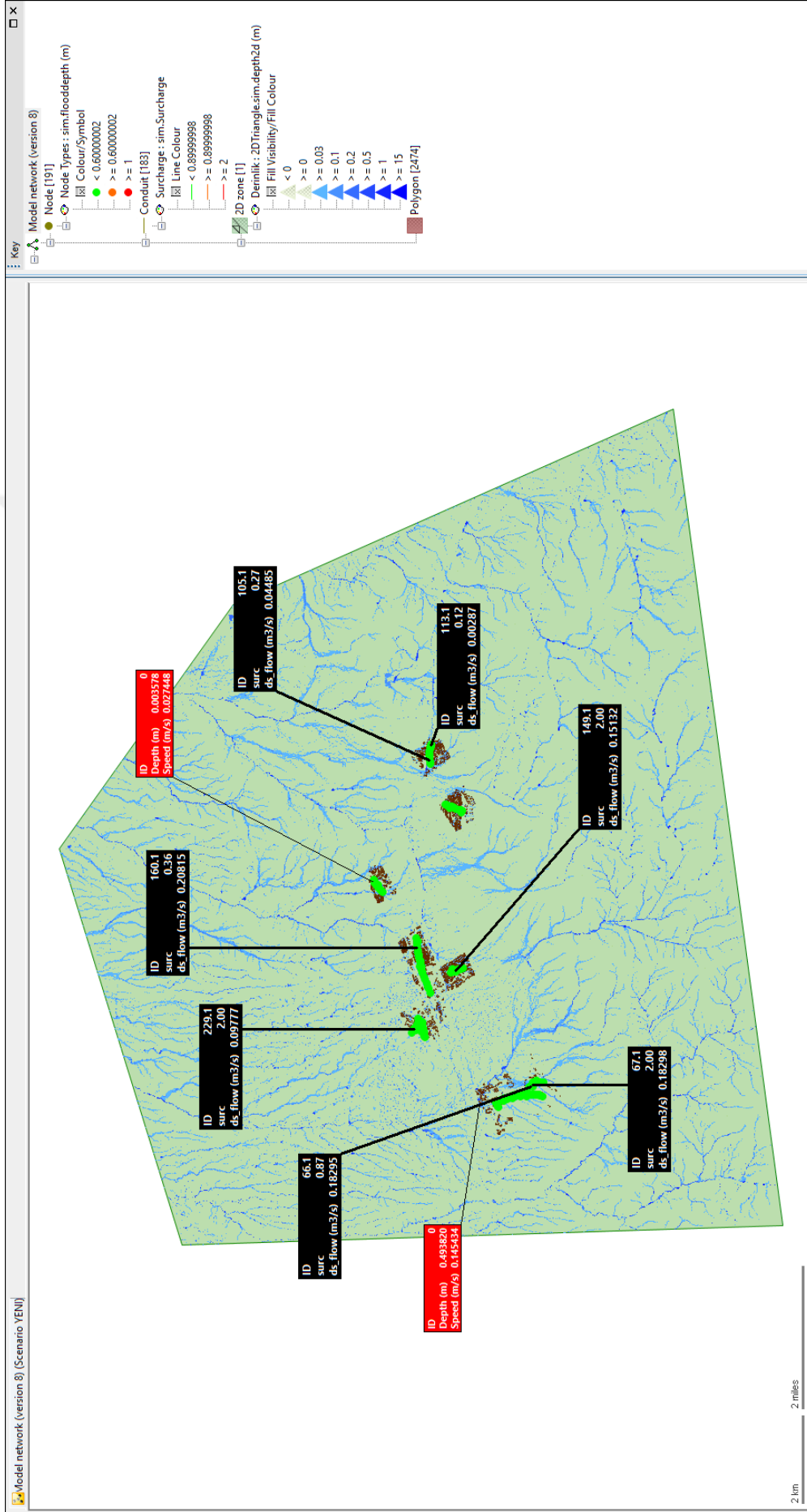
Şekil 7.11 : 10 yıl tekrürlü 5 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm

Yağışın 30. dakikasında genel görünümde suyun şehir yüzeyinde mavi renkte birikmeye başladığı görülmektedir. 5 dakikalık yağış sona erdiği için tüm kesitler de mevcut drenaj sistemindeki birçok boruda doluluk oranı 1'e ulaşmıştır. Hatta bazı borularda 2'ye ulaştığı görülmektedir. Yani artık boruların dolup suyun bacalarda biriktiği hatta bacalardan tekrar yüzeye teptiği görülmektedir. Bu da mevcuttaki yağmursuyu drenaj hattının böyle bir yağışı bazı kesitler de yağış anında tahliye edebilecek kapasitede olmadığını göstermektedir. Kısa ve şiddetli yağışları tahliye edebilecek sistemler, uzun süreli ve yağış şiddeti daha az yağışları daha kolay tahliye edebilmektedir. Bunun için analizlerin kısa süreli ve şiddetli yağışlar için yapılması daha doğru olacaktır.

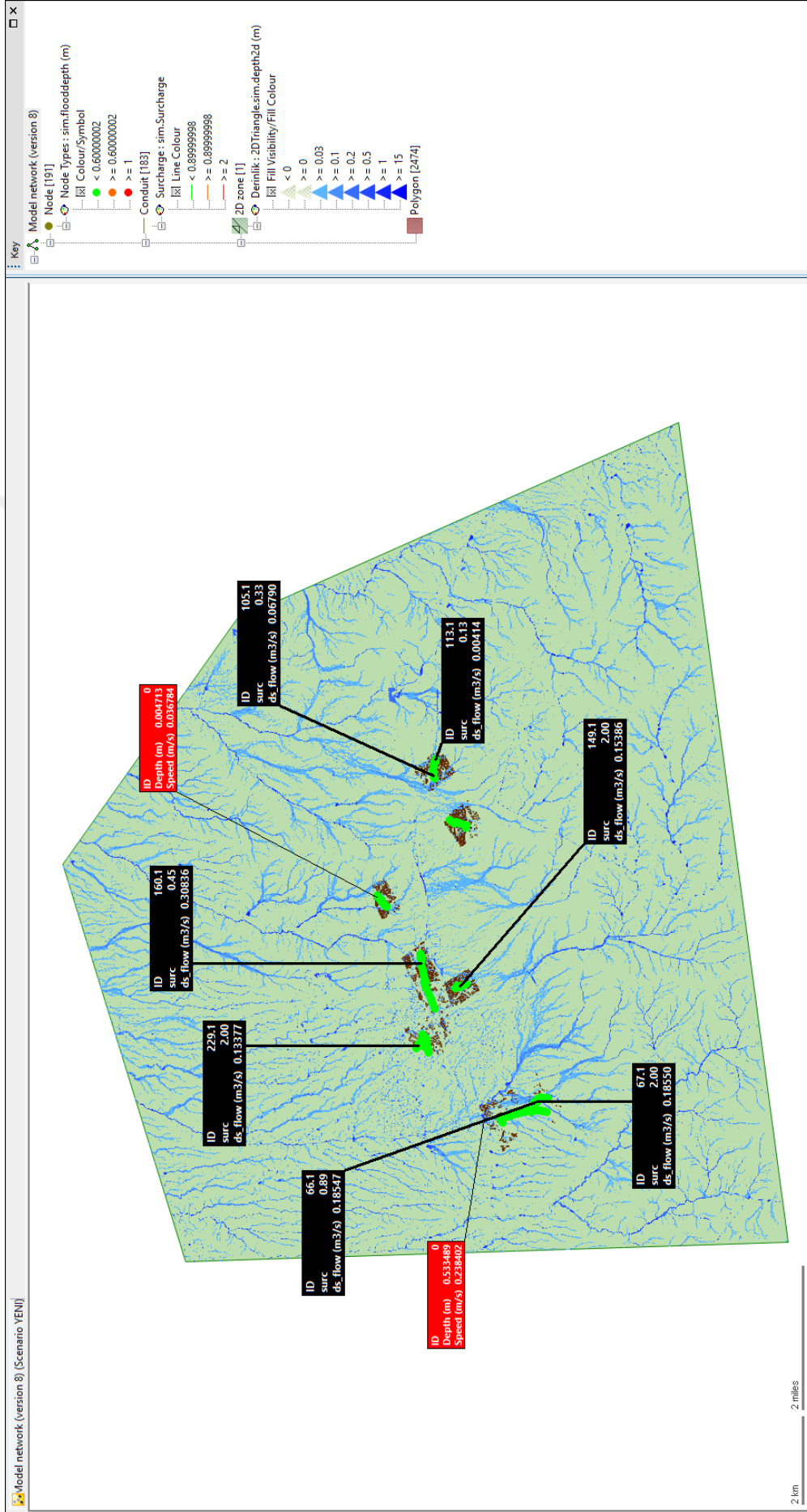




Şekil 7.12 : 2 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi

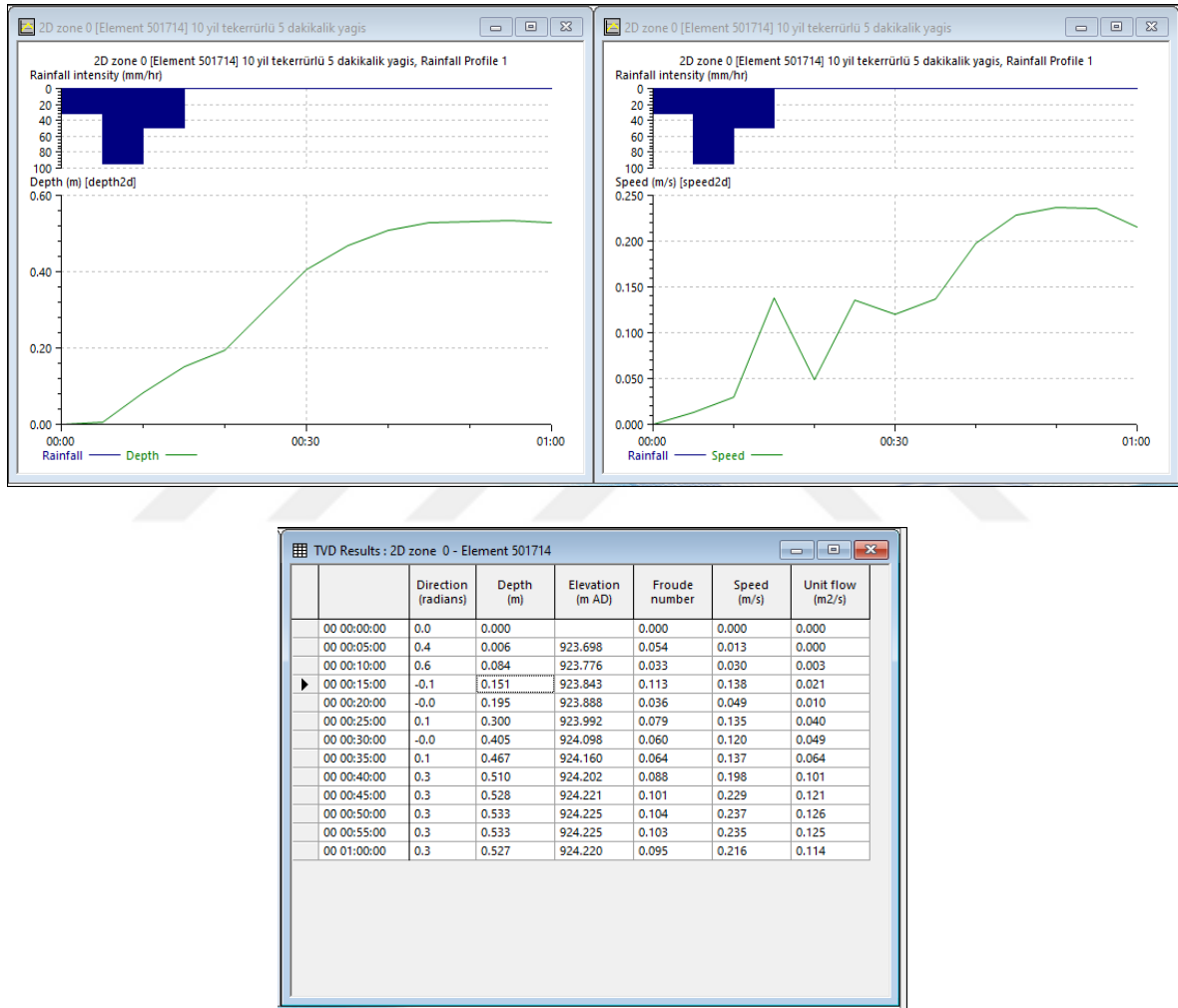


Şekil 7.13 : 5 yıl tekrerrülü 5 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi



Şekil 7.14 : 10 yıl tekrerrülü 5 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi

Maksimum seviyedeki durumda doluluk oranı değerlerine bakıldığında birçok borunun 1’i geçip 2’ye ulaştığı ve bundan dolayı geri tepmeler meydana gelmiştir. 2 yıl tekerrürlü yağışta (Şekil 7.12) genel kesit gözlemlendiğinde maviliğin, yani yağışın çok şiddetli olmadığı görülmektedir. Fakat 5 yıl tekerrürlü yağışta (Şekil 7.13) çalışma alanının yoğun bir yağışa maruz kaldığını, ciddi akışların meydana geldiği görülmektedir. 10 yıl tekerrürlü yağışta ise (Şekil 7.14) akışın daha da şiddetli olduğu ve havzanın diğer kısımlarından şehre doğru akan akışın da sisteme dahil olacağı için, yağış bittikten sonra taşkına sebebiyet verebileceği düşünülmektedir.



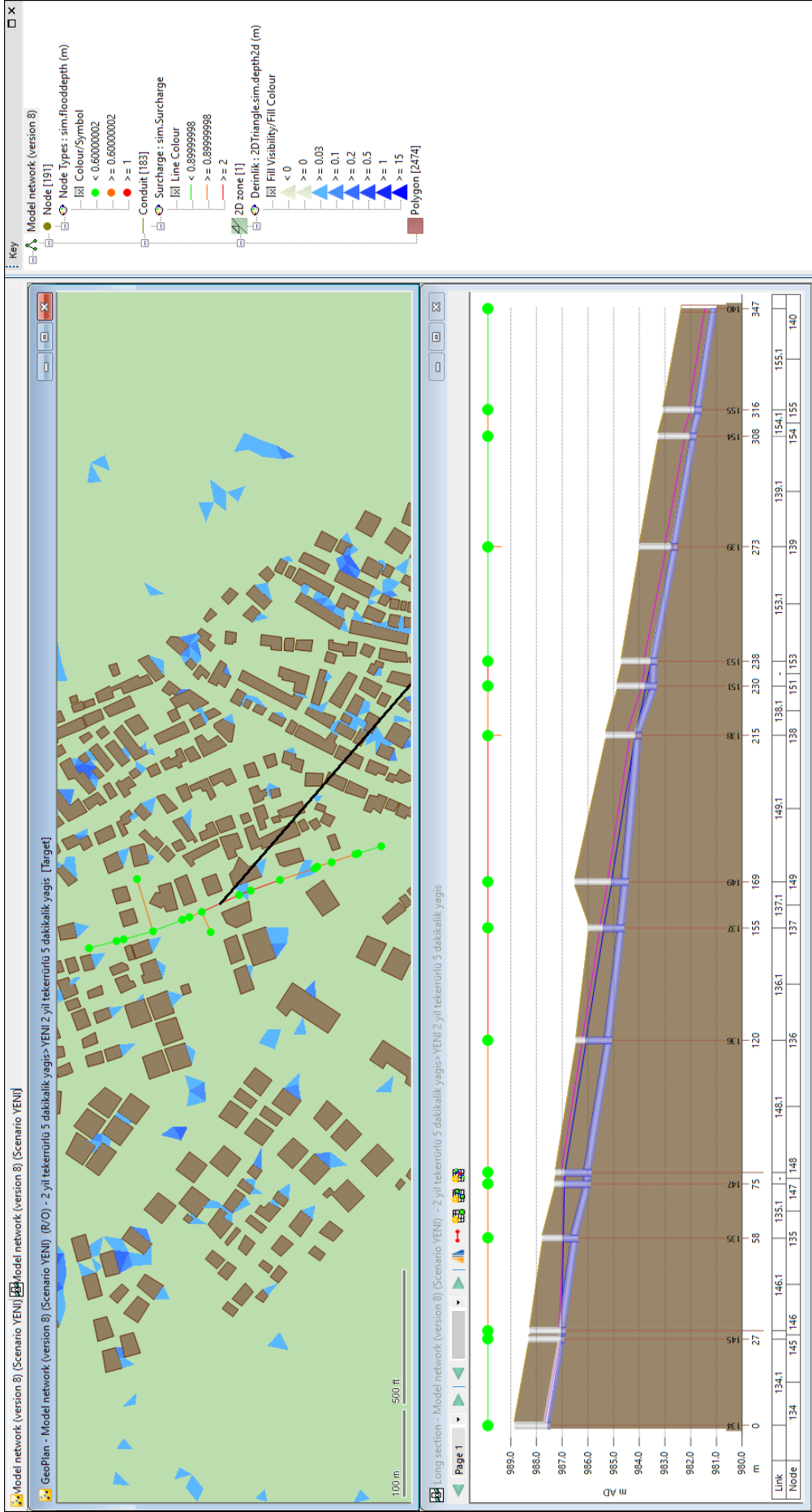
Şekil 7.15 : 501714 numaralı üçgenleme sonucu elde edilen üçgenin grafik ve tablo değerleri

10 yıl tekerrürlü yağış için (Şekil 7.14) kesitin sol tarafında ve 1 numaralı hattın yakınında bulunan 501714 numaralı üçgenden alınan yükseklik değeri 30 dakika sonunda 40 cm ve maksimum seviye de ise 50 cm’yi geçtiği gözlenmektedir. Bu üçgen Malatya’da yoğun trafik akışına sahip ana yol güzergâhlarından olan çevre yolunun alt kısmında, yol

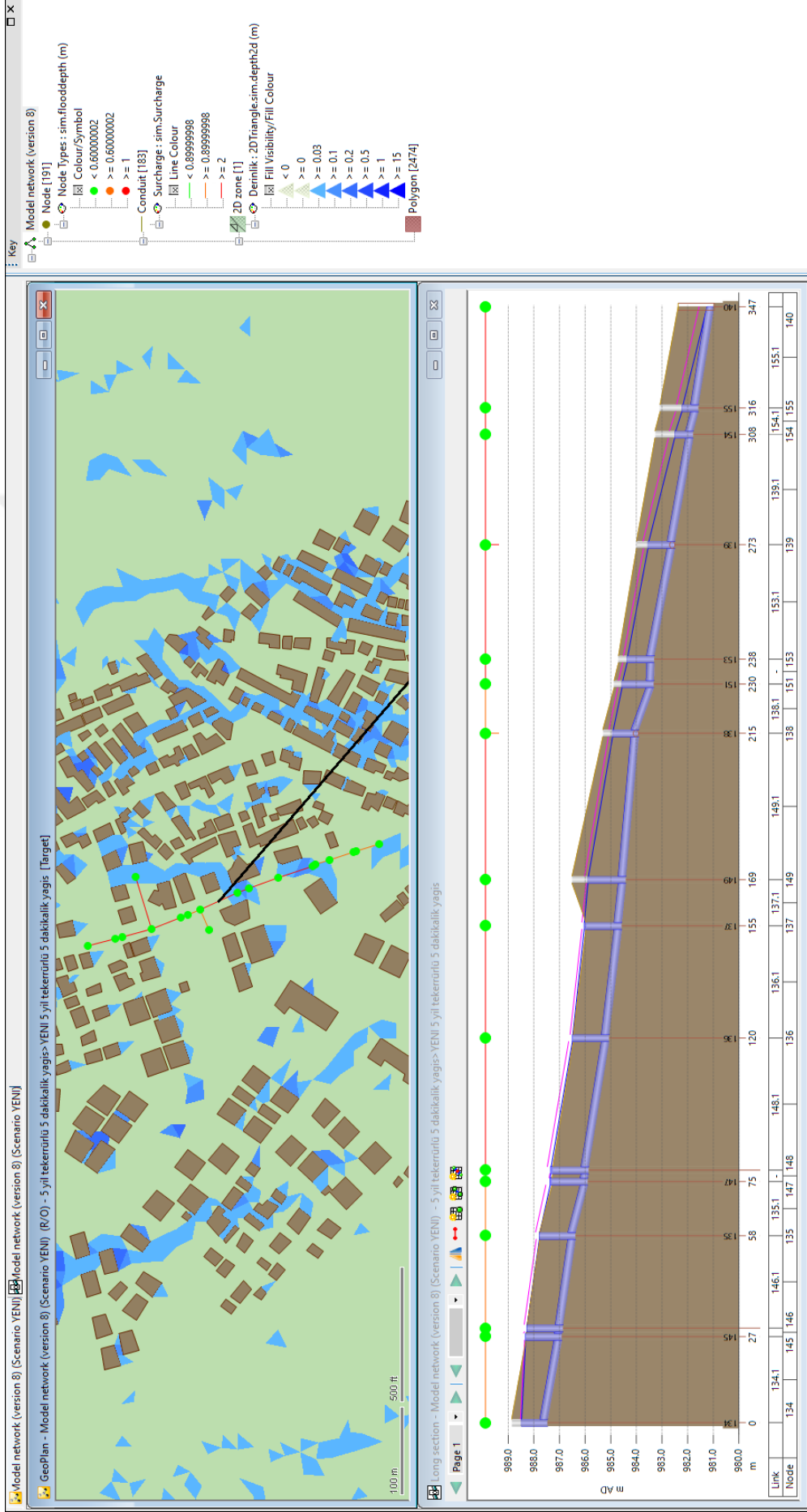
ile bina arasında düşey kot farkının bulunduğu bir yerdir. Dolayısıyla kesitin yetersizliğinden ve düzgün bir şekilde suyun tahliye edilmemesinden kaynaklı, iş yerlerini, binaların bodrum katlarını su basması tehlikesi altında kalmaktadır. Bu nedenlerin dışında arazi pürüzlülük değeri, yağmursuyu drenaj sistemlerinin bakımının yapıp yapılmadığı gibi etkenler de taşkını etkileyen faktörlerdendir.

Örneğin Şekil 7.15’de arazi pürüzlülük değeri olan Mannings n değeri 0.013 olduğu yani şehir merkezi olan bir bölge de bulunan üçgen için verilen grafik ve tablolar incelendiğinde; zeminin geçirgenliği düşük olduğundan, yağış 14. dakikada bitmesine rağmen derinlik-zaman grafiğinde suyun zamana bağlı olarak sürekli arttığı ve biriktiği gözlemlenmektedir. Zemin geçirgenliği bilinmeyen bir üçgen için bile bu grafik incelendiğinde aynı sonuca varılması kaçınılmazdır. Hız-zaman grafiği incelendiğinde ise yağışın en şiddetli olduğu zamanlarda hızın ani yükseldiği, analiz süresi boyunca ise ivmesinin zamanla artırarak analiz sonucunda ise düşüğe geçtiği görülmektedir. Derinlik-zaman ve hız-zaman grafikleri suyun birikip birikmediği ve buna bağlı olarak hızının değişkenliğinin incelenmesi bakımından çok önemlidir.

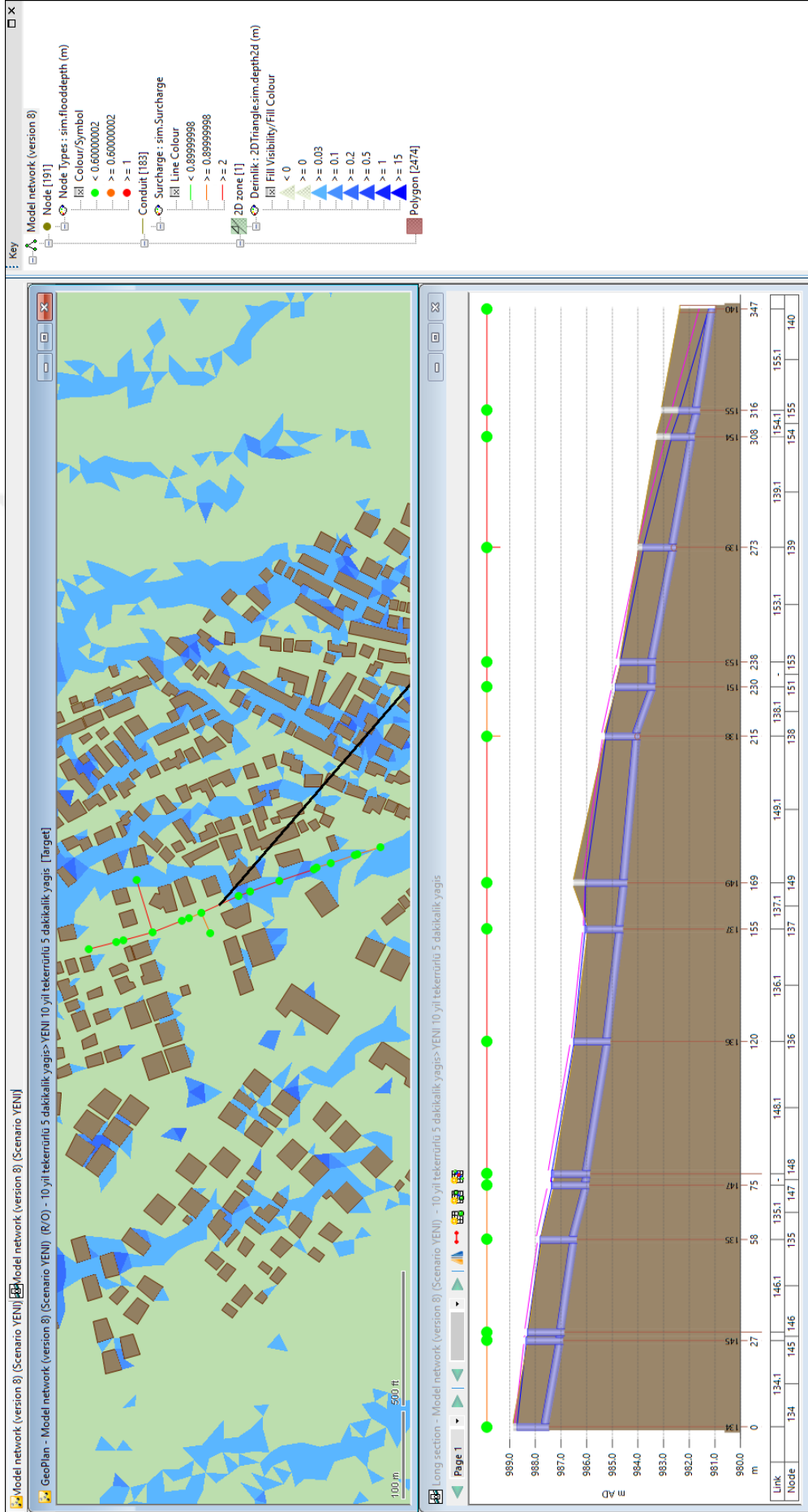
Kısa süreli ve şiddetli yağışlarda mevcut yağmursuyu tahliye sistemlerinin yağışı hatasız bir şekilde tahliye etmesi gerekmektedir. Kısa süreli ve şiddetli yağışlarda uzun süren yağışlara göre toplam yağın su hacmi daha az olsa da tahliye işlemi daha sıkıntılı olmaktadır.



Şekil 7.16 : 2 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 5 numaralı kesitin görünümü



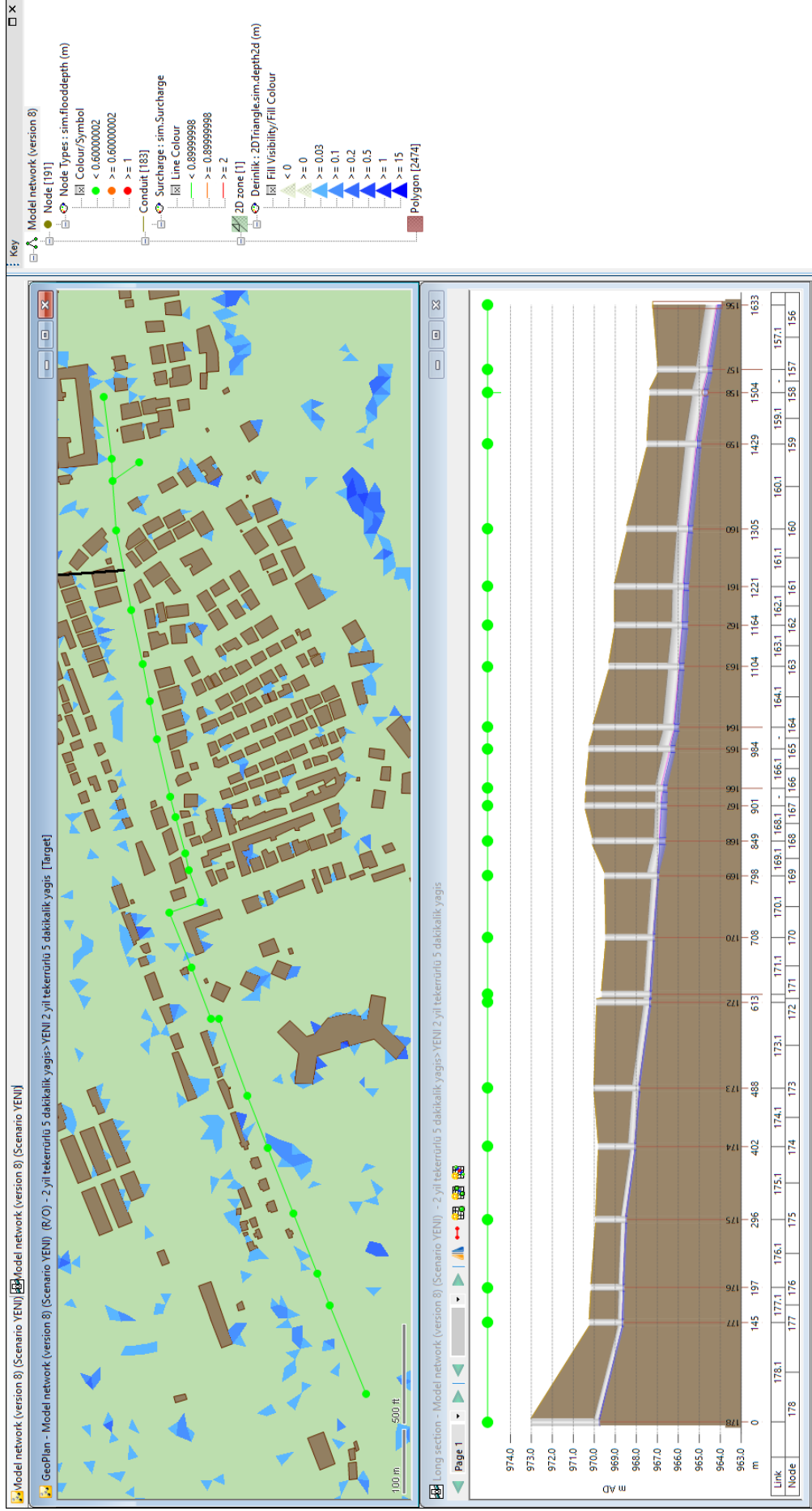
Şekil 7.17 : 5 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 5 numaralı kesitin görünümü



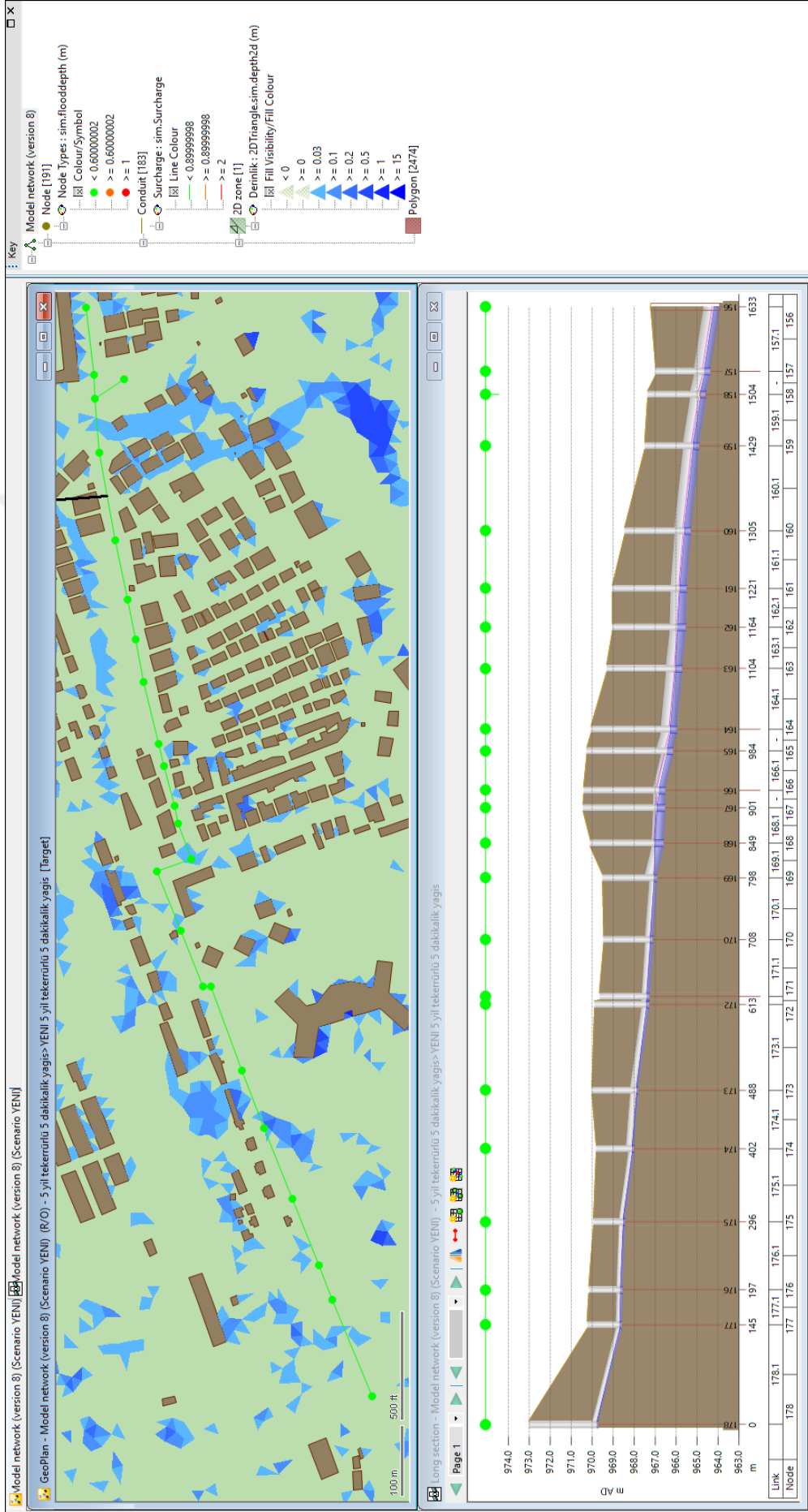
Şekil 7.18 : 10 yıl tekrürlü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 5 numaralı kesitin görünümü

5 numaralı kesitte 2 yıl tekerrürlü yağış için (Şekil 7.16) boruların yönetmeliğın izin verdiğı 0.9 değerini aştığı ve suyu bacalarda biriktirdiğı gözlemlenmektedir. Bu borular turuncu veya kırmızı renkte görölmektedir. 5 yıl (Şekil 7.17) ve özellikle 10 yıl tekerrürlü (Şekil 7.18) yağışlarda ise 5 numaralı kesitin suyu tahliye edemediğı ve bacalardan tekrar yüzeye tahliye edildiğı gözlemlenmektedir. Tüm tekerrürlü yağışlar da neredeyse boruların tamamının dolduğı gözlemlenmektedir. 5 numaralı kesitin mevcut koşullar için rehabilite edilmesi kaçınılmazdır.

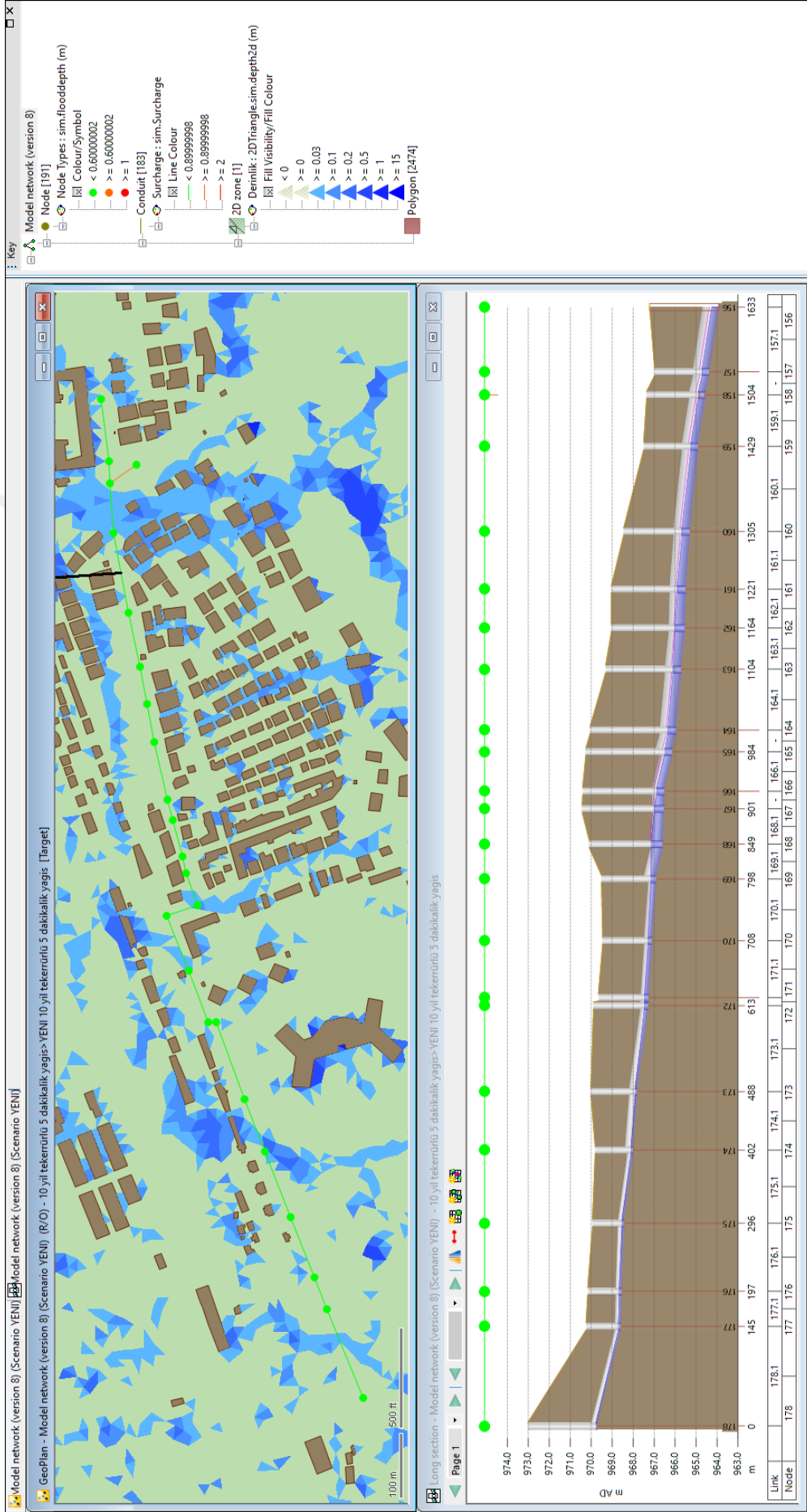
4 numaralı kesitin tüm tekerrür aralıklarında suyu tahliye işleminde herhangi bir problem görölmemektedir. Tüm boruların yeşil renkte olduğı görölmektedir. Ayrıca 10 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın sonucunda (Şekil 7.22) tabloda göröldüğü gibi hiçbir boru yönetmeliğın verdiğı doluluk sınırını aşmamıştır. 4 numaralı kesitin bulunduğı konum birçok hastane ve kamu kurumu binalarının bulunduğı ve ciddi insan yoğunluğı olan bir bölge olmasına rağmen suyu rahatlıkla tahliye etmiştir.



Şekil 7.19 : 2 yıl tekrerrülü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü



Şekil 7.20 : 5 yıl tekrerrülü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü



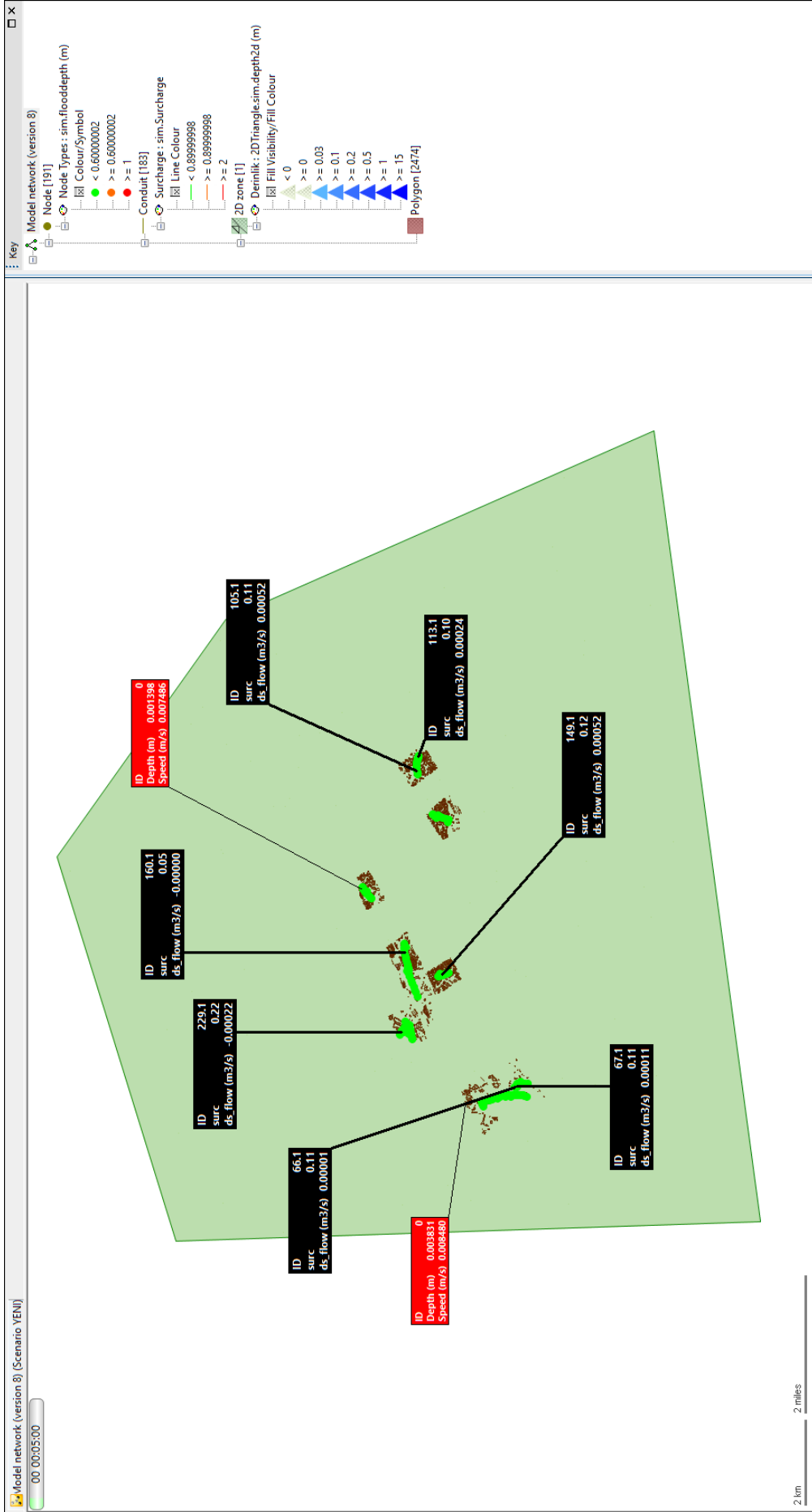
Şekil 7.21 : 10 yıl tekrerrülü 5 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü

7.1.2 10 Dakikalık yağış süresine sahip yağışlar için analiz

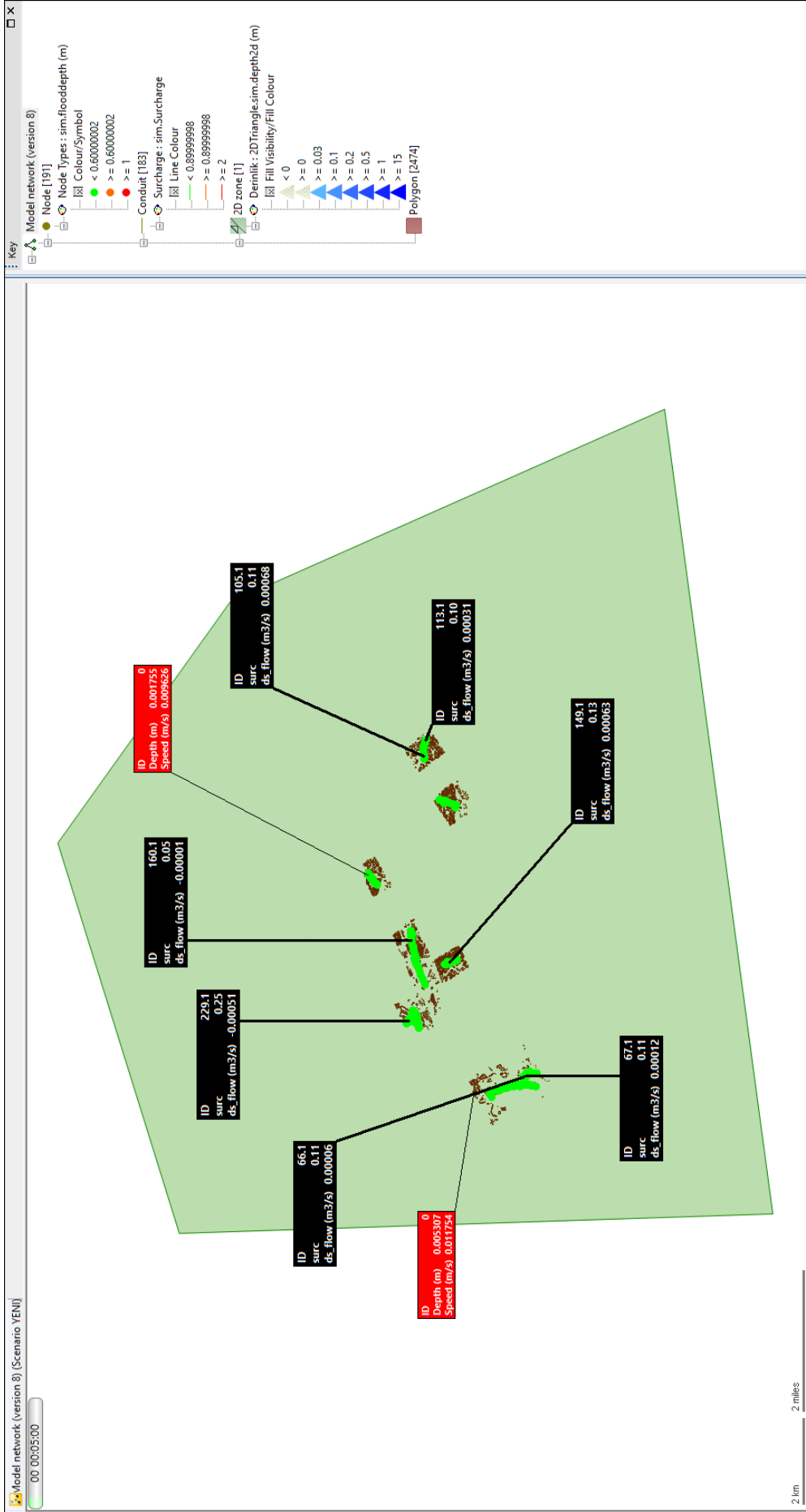
Uygulama alanında 10 dakikalık süreye sahip yağışlar için 2, 5 ve 10 yıllık tekrarlanma periyotlarında analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları sayısal harita üzerinde analizin farklı süreleri için gösterilmiştir.

2 yıl tekerrürlü yağışta (Şekil 7.26) birçok maksimum doluluk oranına ulaşıldığı gözlemlenmektedir. 5 yıl (Şekil 7.27) ve 10 yıl (Şekil 7.28) tekerrür aralığına sahip yağışlar da ise ciddi taşkınlar oluşturabilecek doluluk gözlenmektedir.

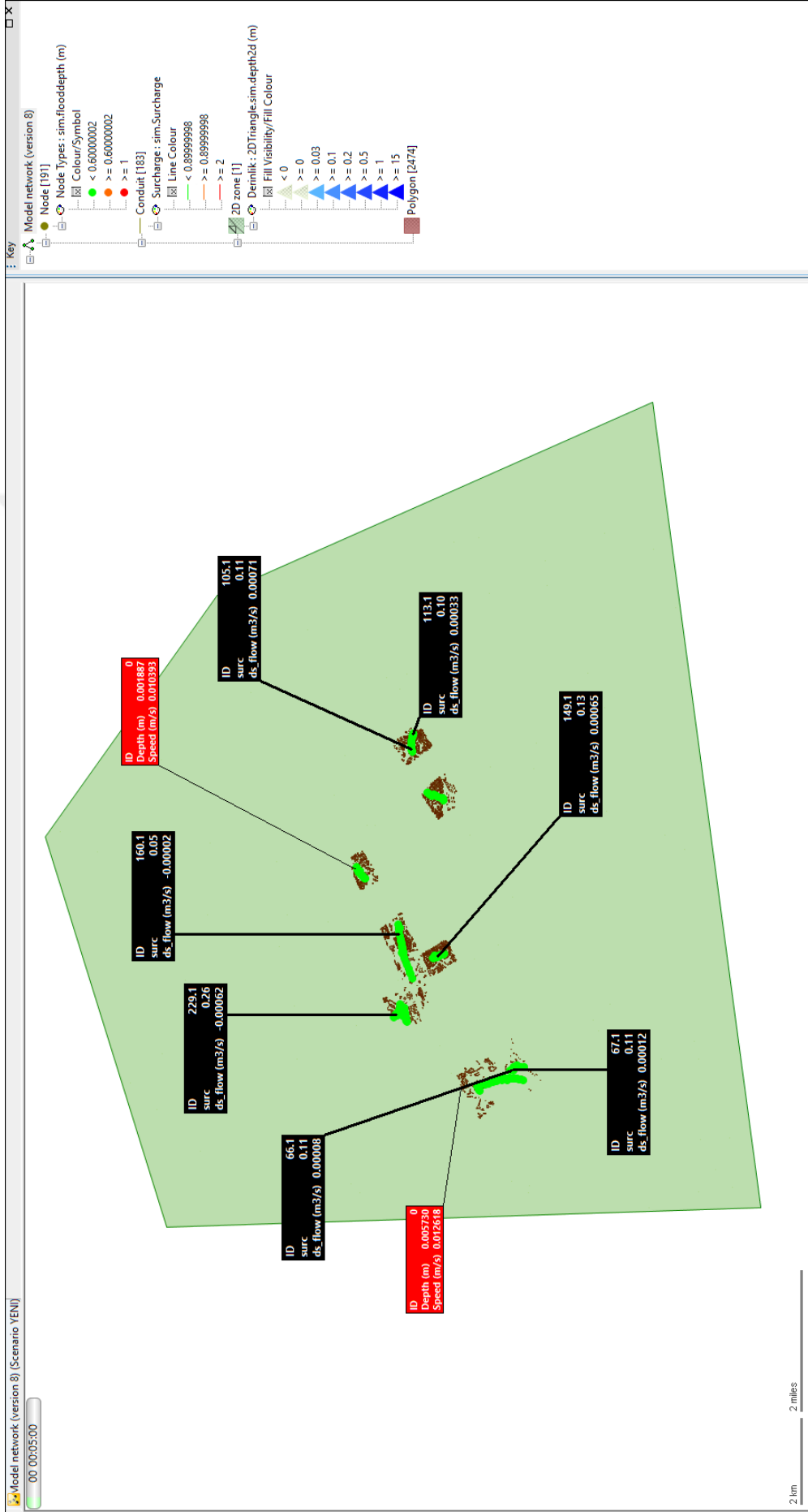
Genel duruma bakıldığında özellikle 5 yıl (Şekil 7.30) ve 10 yıl (Şekil 7.31) tekerrürlü yağışlar da kesitin genelinde yağışın etkileri görülmektedir. Yağışın karakteristiği kısa süreli ve şiddetli olduğu için kesitin geneli ciddi akışlara maruz kalmıştır. 2 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın maksimum seviyedeki durumu için *sql* komutu kullanarak doluluk oranı 0.9'dan büyük olan borular seçilmiştir (Şekil 7.32).



Şekil 7.23 : 2 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm

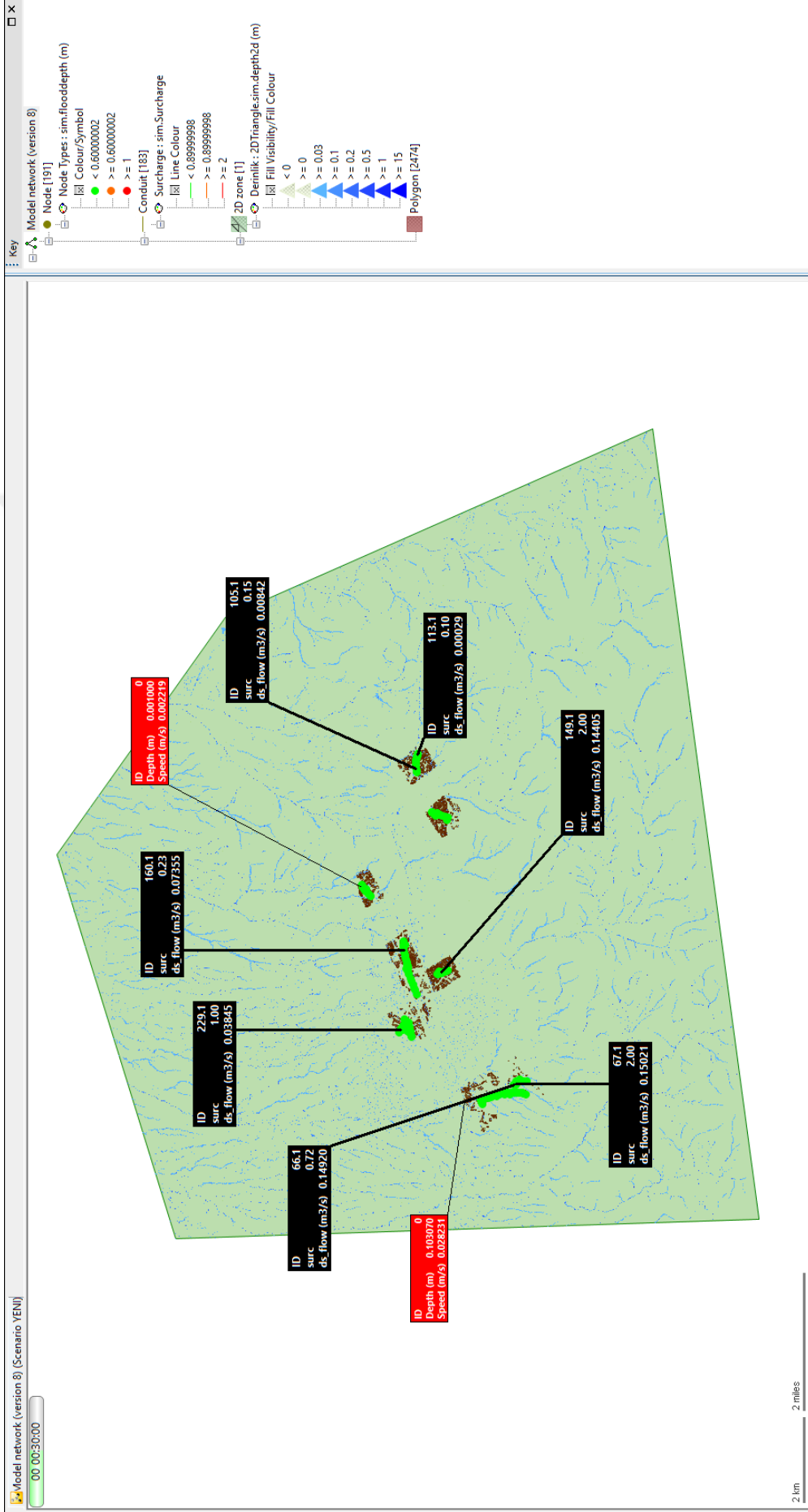


Şekil 7.24 : 5 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm

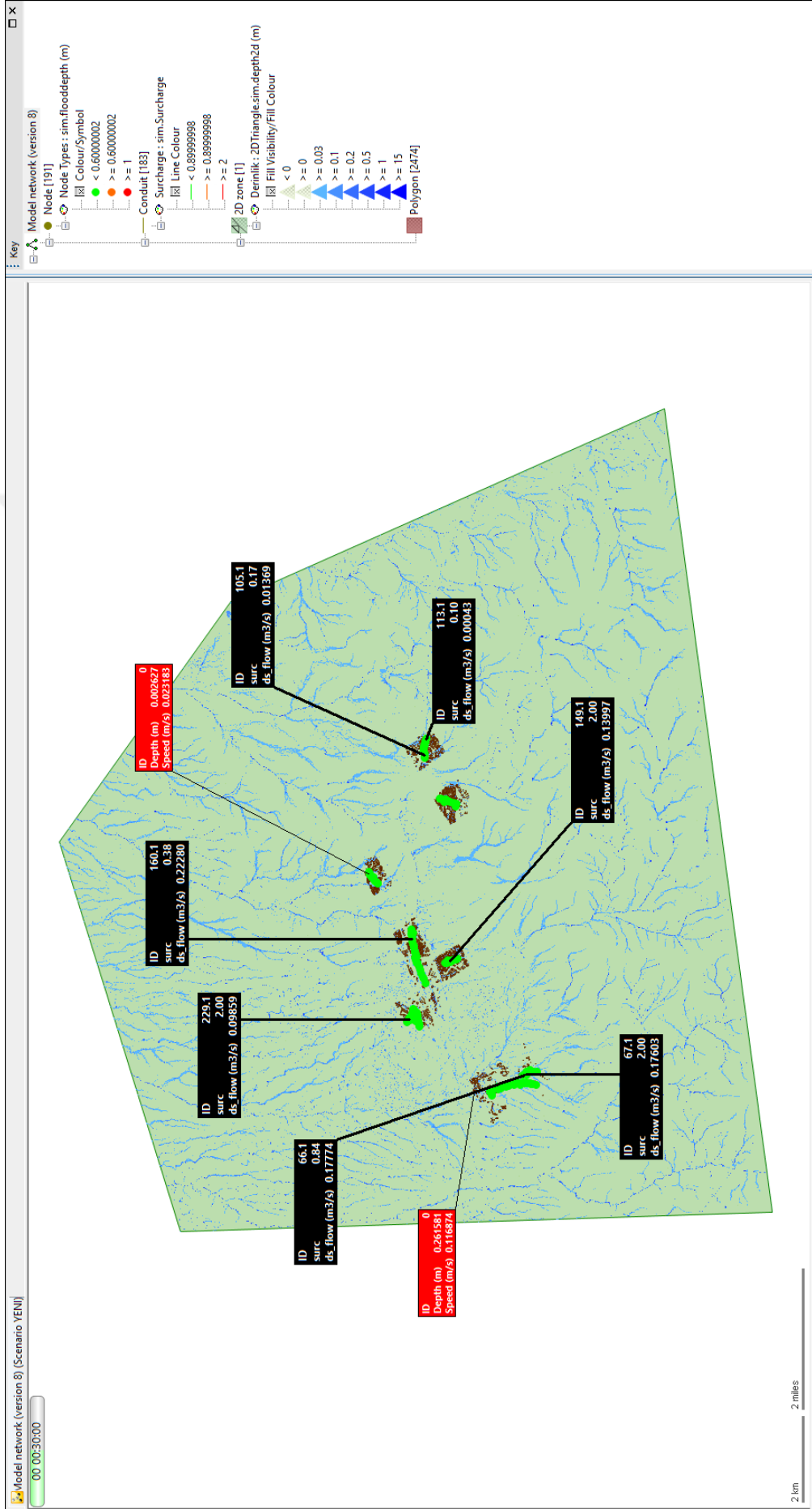


Şekil 7.25 : 10 yıl tekrürlü 10 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm

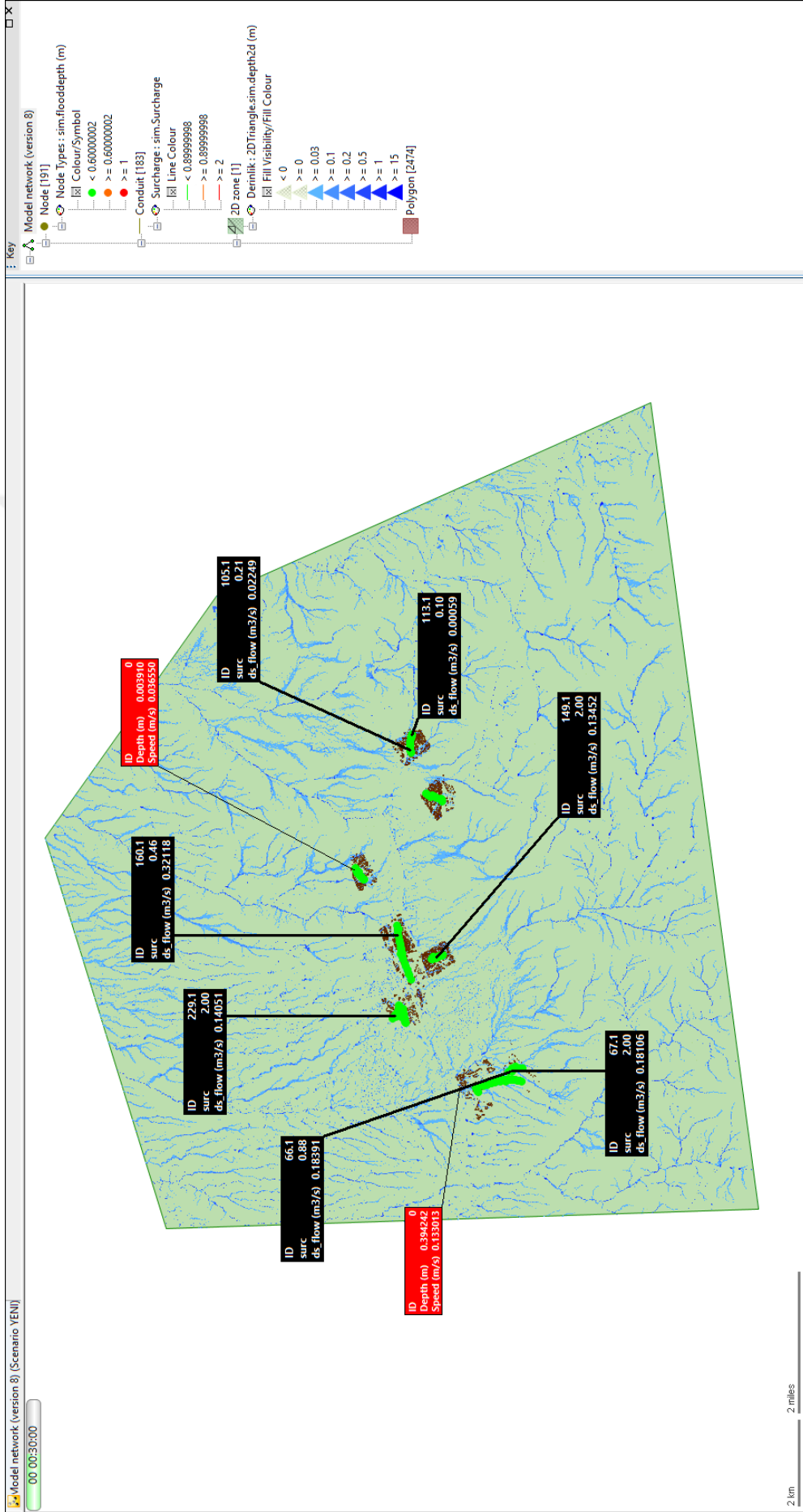
Tüm tekrerrür aralığına sahip yağışların 5. dakikasında herhangi bir boruda doluluk görülmemektedir.



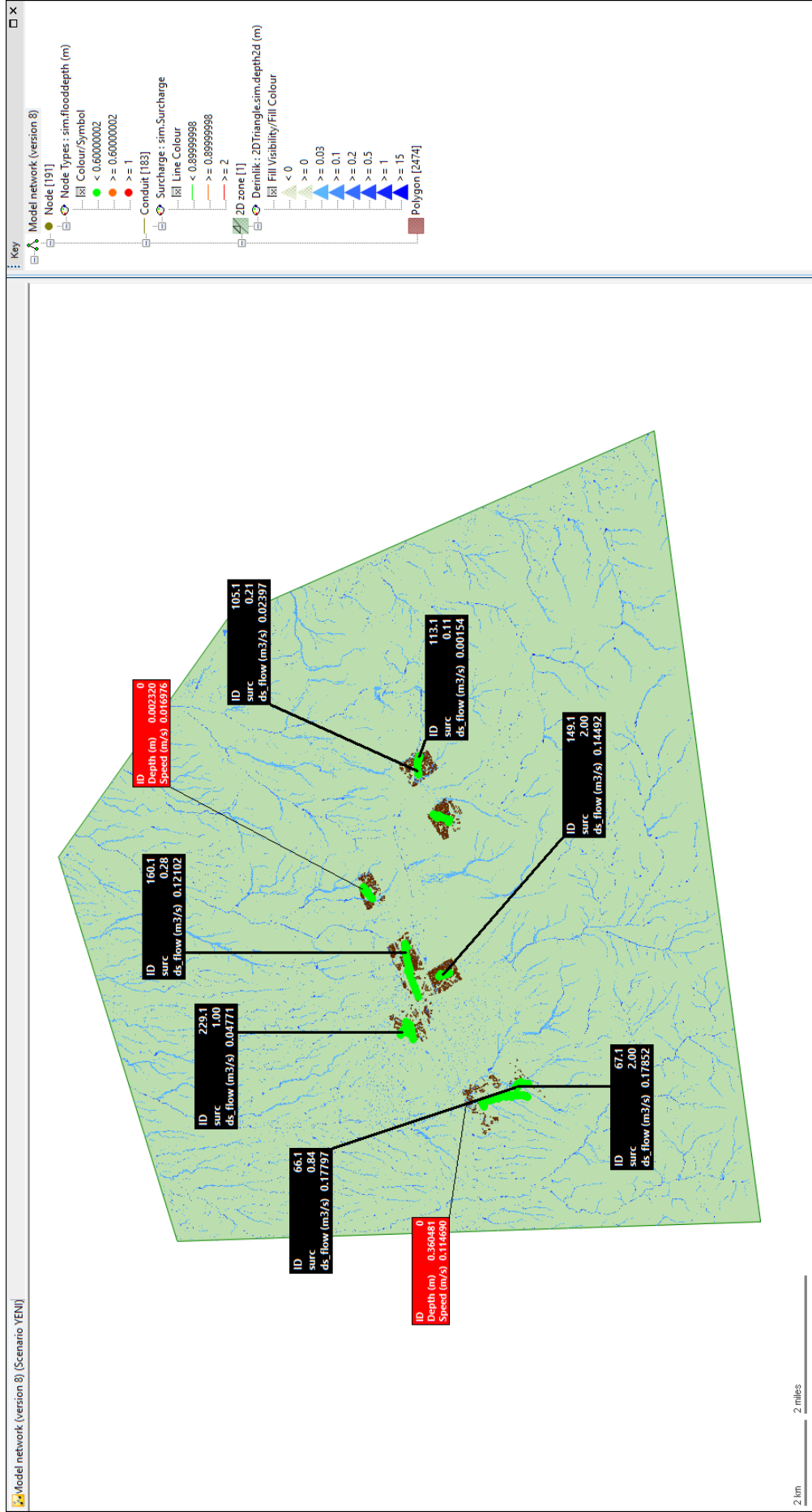
Şekil 7.26 : 2 yıl tekrerrürü 10 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm



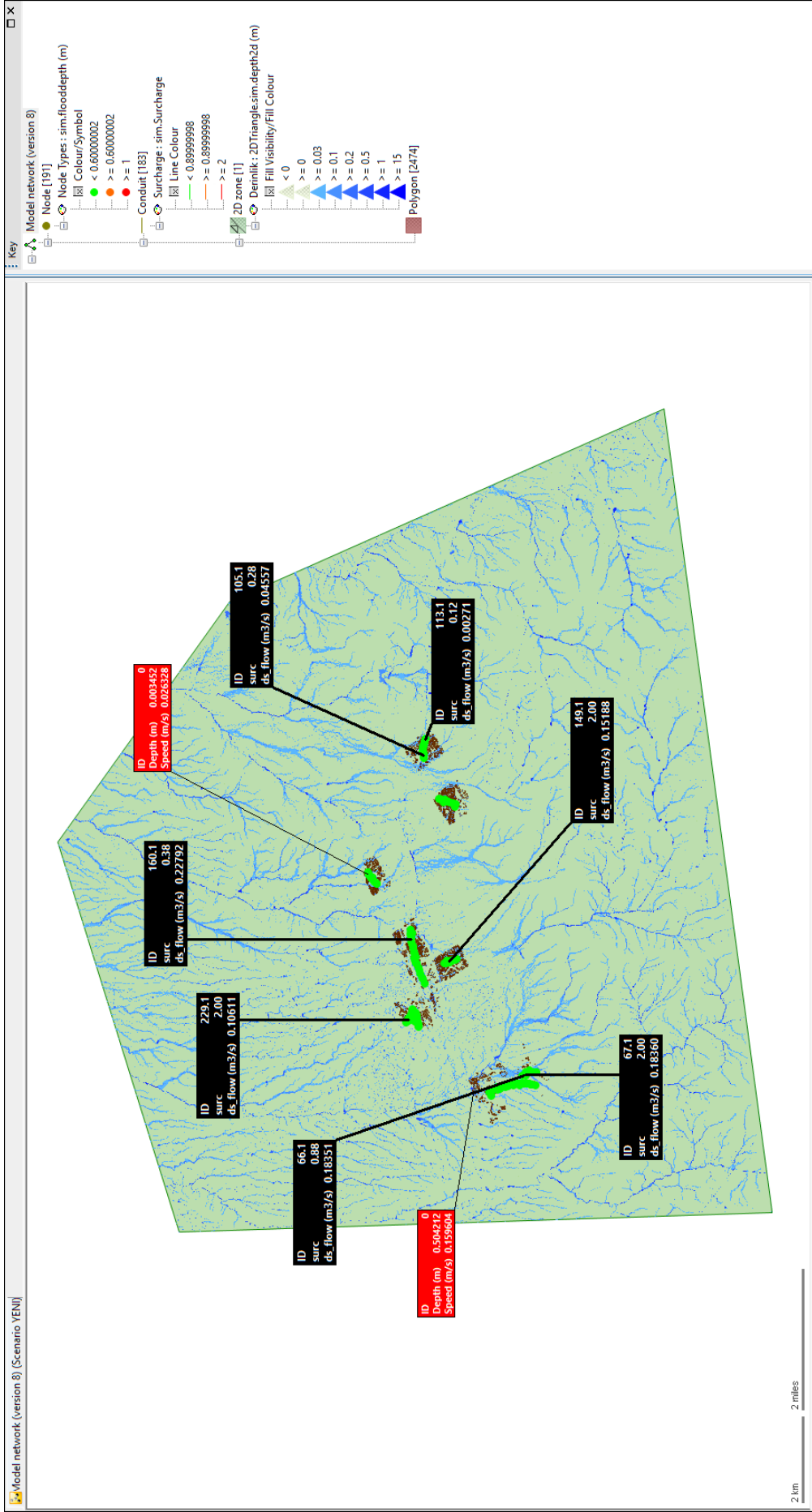
Şekil 7.27 : 5 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm



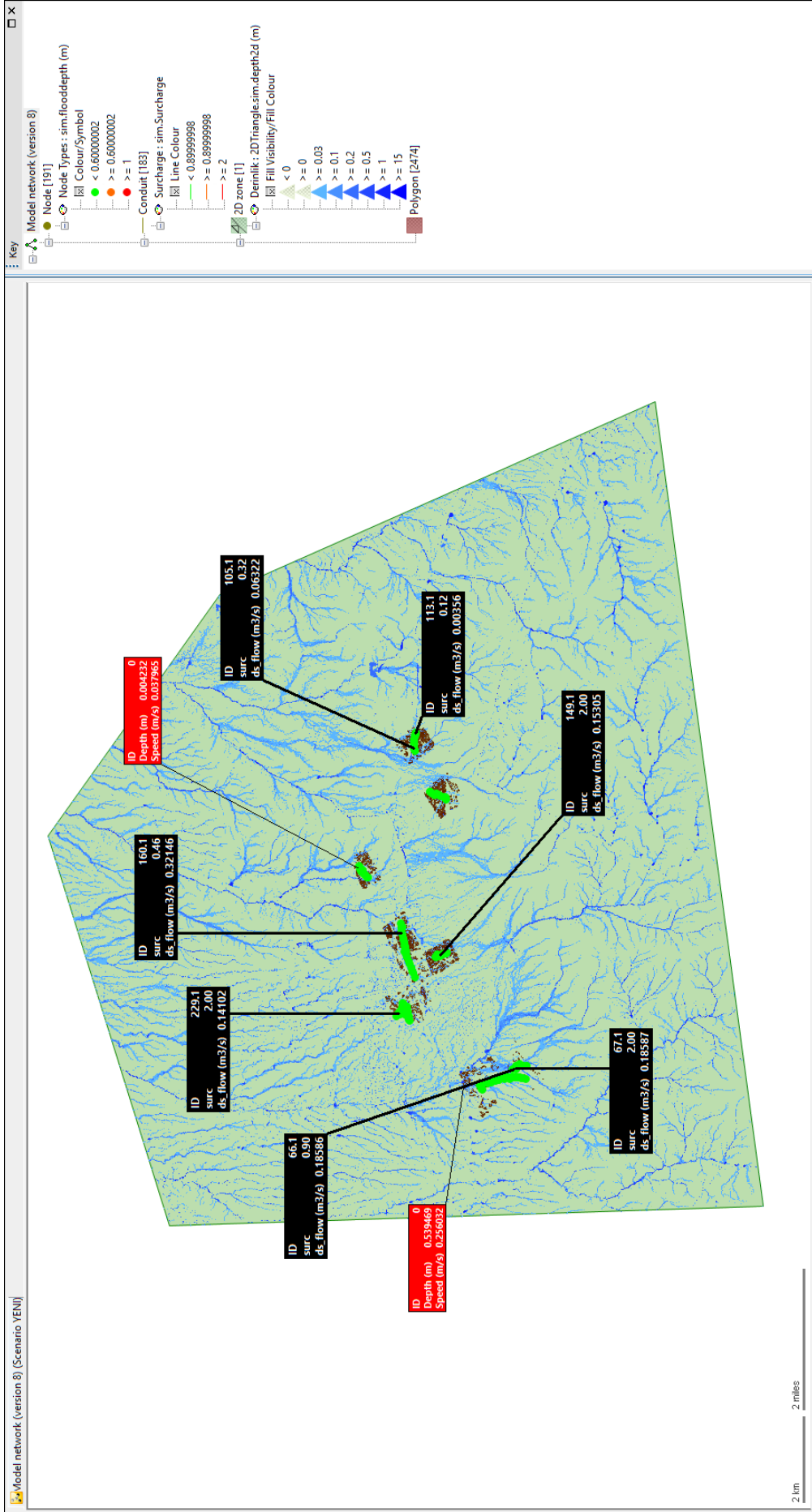
Şekil 7.28 : 10 yıl tekrürlü 10 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm



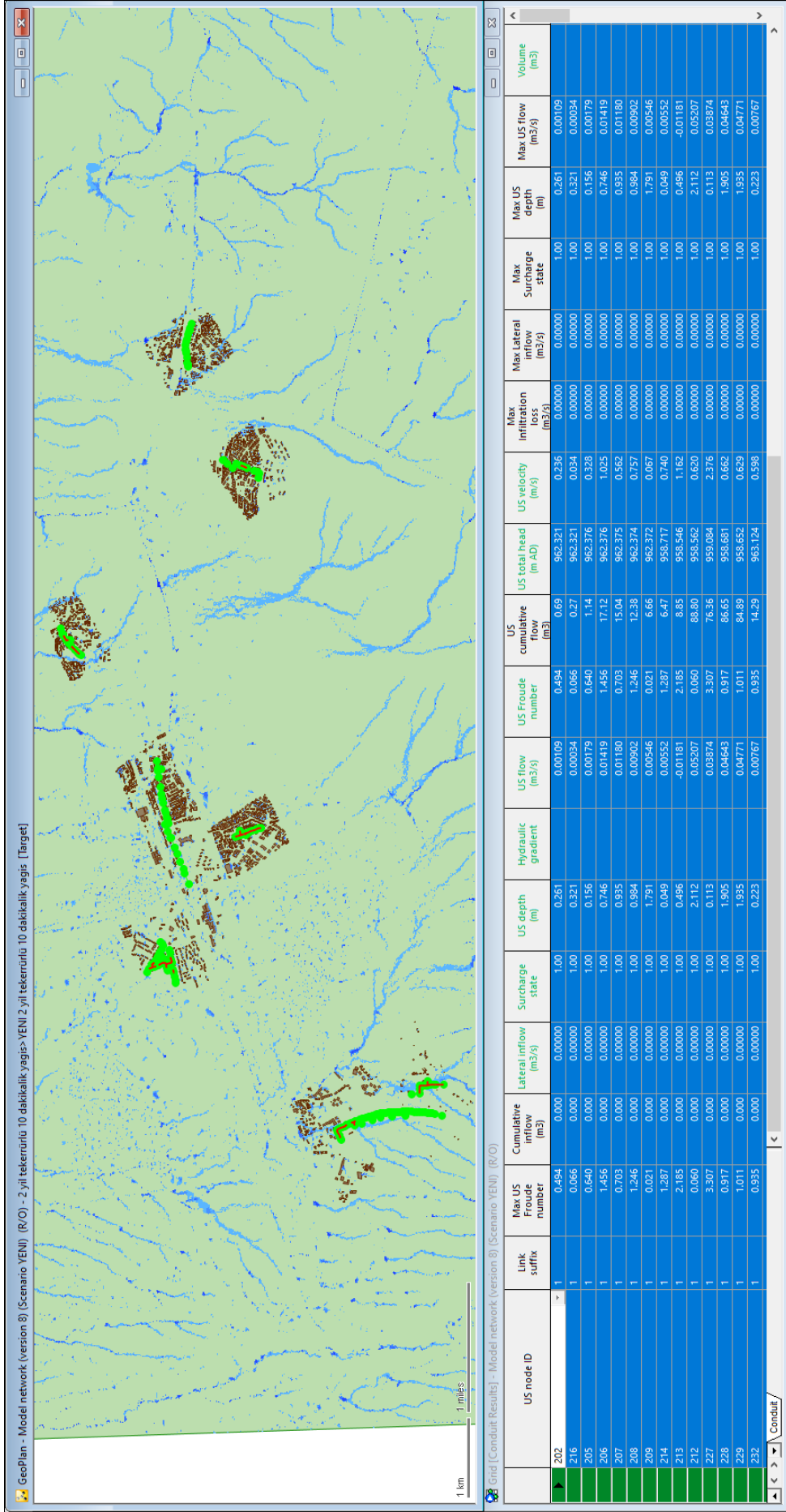
Şekil 7.29 : 2 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi



Şekil 7.30 : 5 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi



Şekil 7.31 : 10 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi



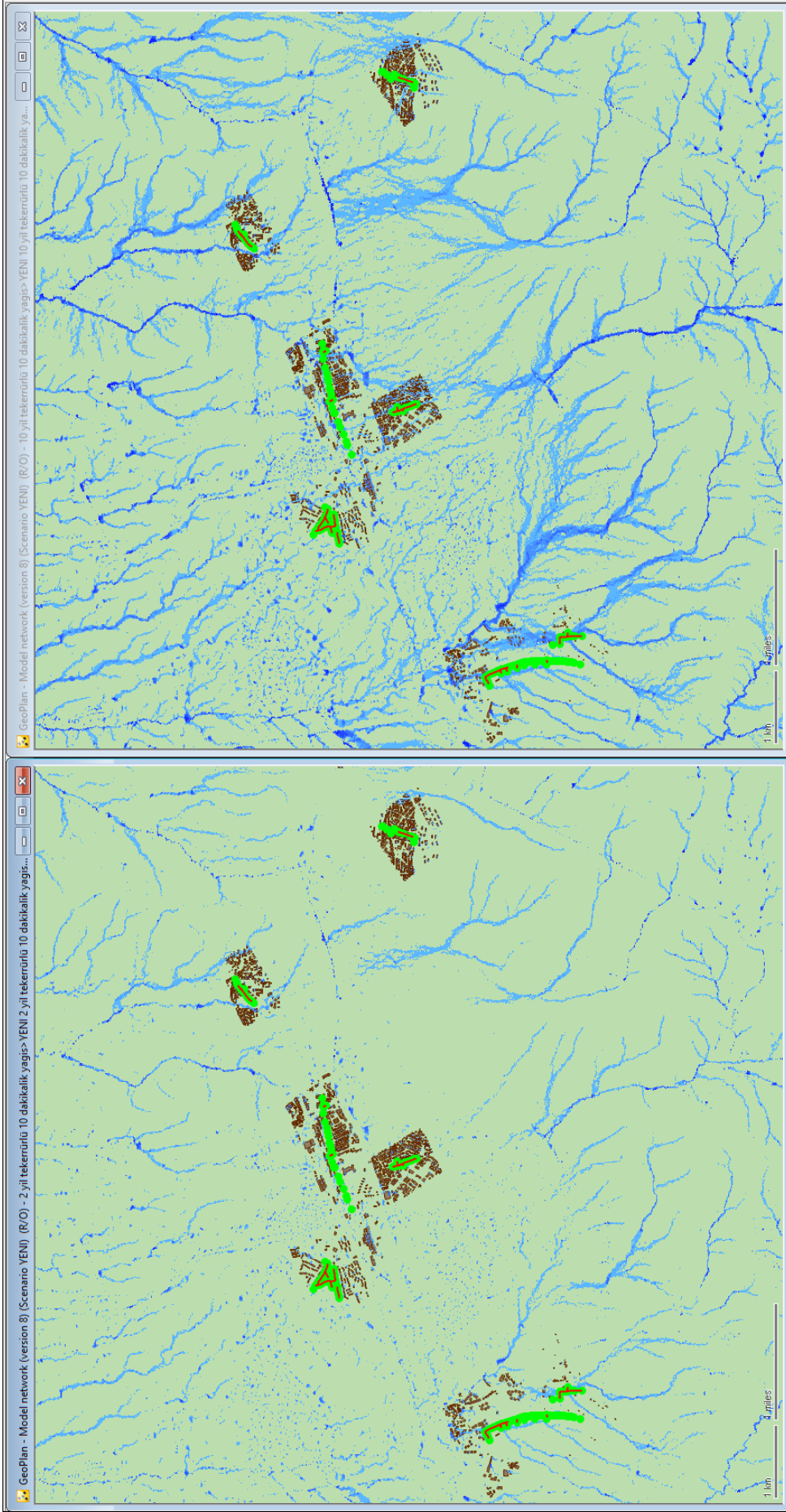
Şekil 7.32 : 2 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyeside doluluk oranı 0.9'dan büyük boruların görünümü

Yağış durumları için yakından detaylı kesitlerin yanı sıra genel kesitinde total bir şekilde incelenmesi önemlidir. Çünkü bir akış farklı iki yağmursuyu drenaj hattını etkileyebilir. Genel kesitin incelenmesi pürüzlülüğü anlamada ve buna karşı önlem almada etkili olabilmektedir. Şekil 7.32’de görüldüğü gibi sistemin genelinde yönetmeliğin verdiği doluluk oranına ulaşan veya bu değeri geçen birçok boru olduğu görülmektedir.

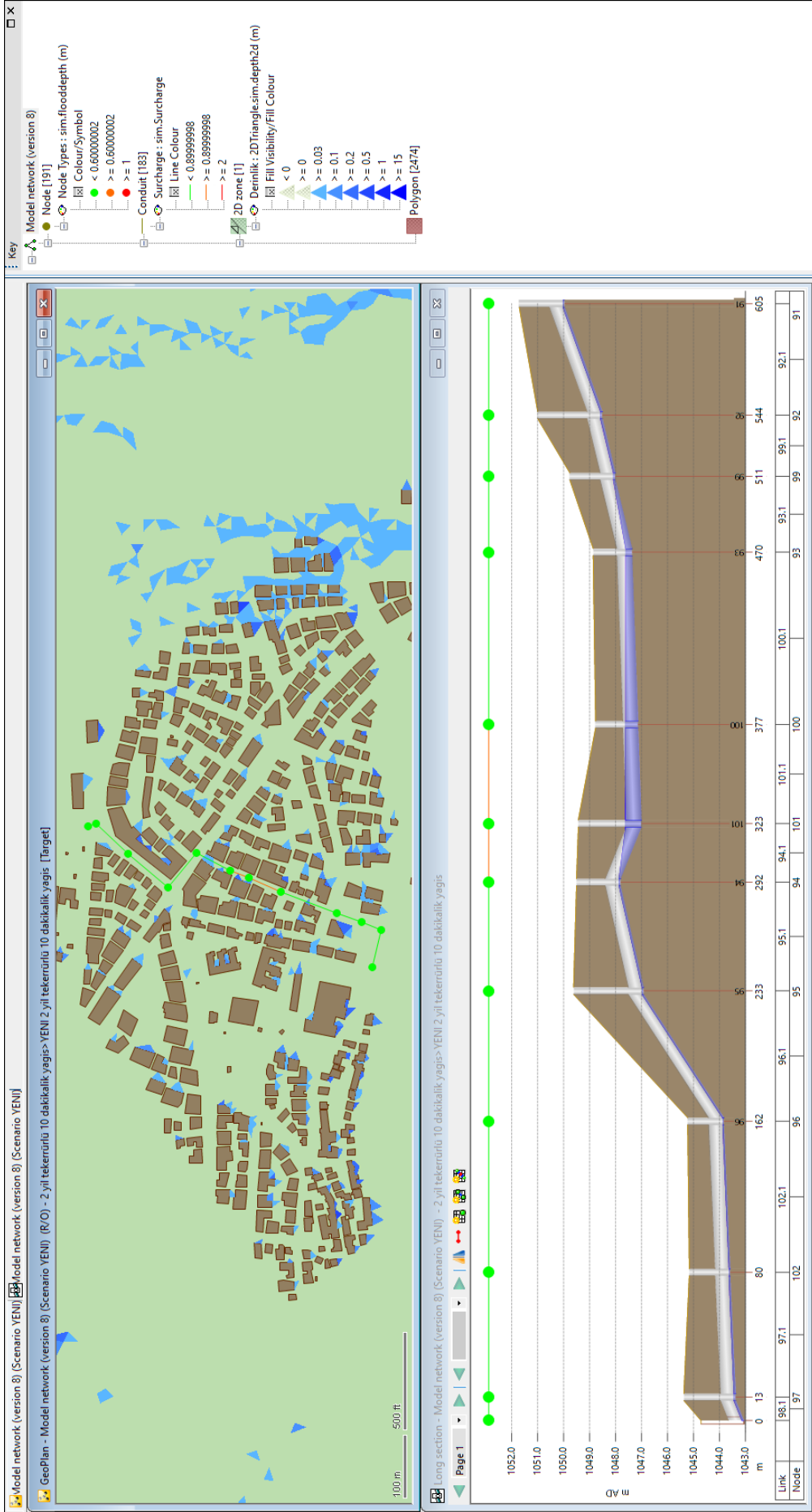
2 yıl tekerrürlü ve 10 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışlara maruz kalan genel kesitin karşılaştırması yapılmıştır (Şekil 7.33).

Karşılaştırmalı olarak genel kesit incelendiğinde, benzer borularda doluluk oranının aşıldığı görülmektedir. Bu kesite bakılarak alınacak önlemler, rehabilite seçenekleri gibi taşkını önleyecek önlemler için önemli bir ipucu verebilmektedir (Şekil 7.33).

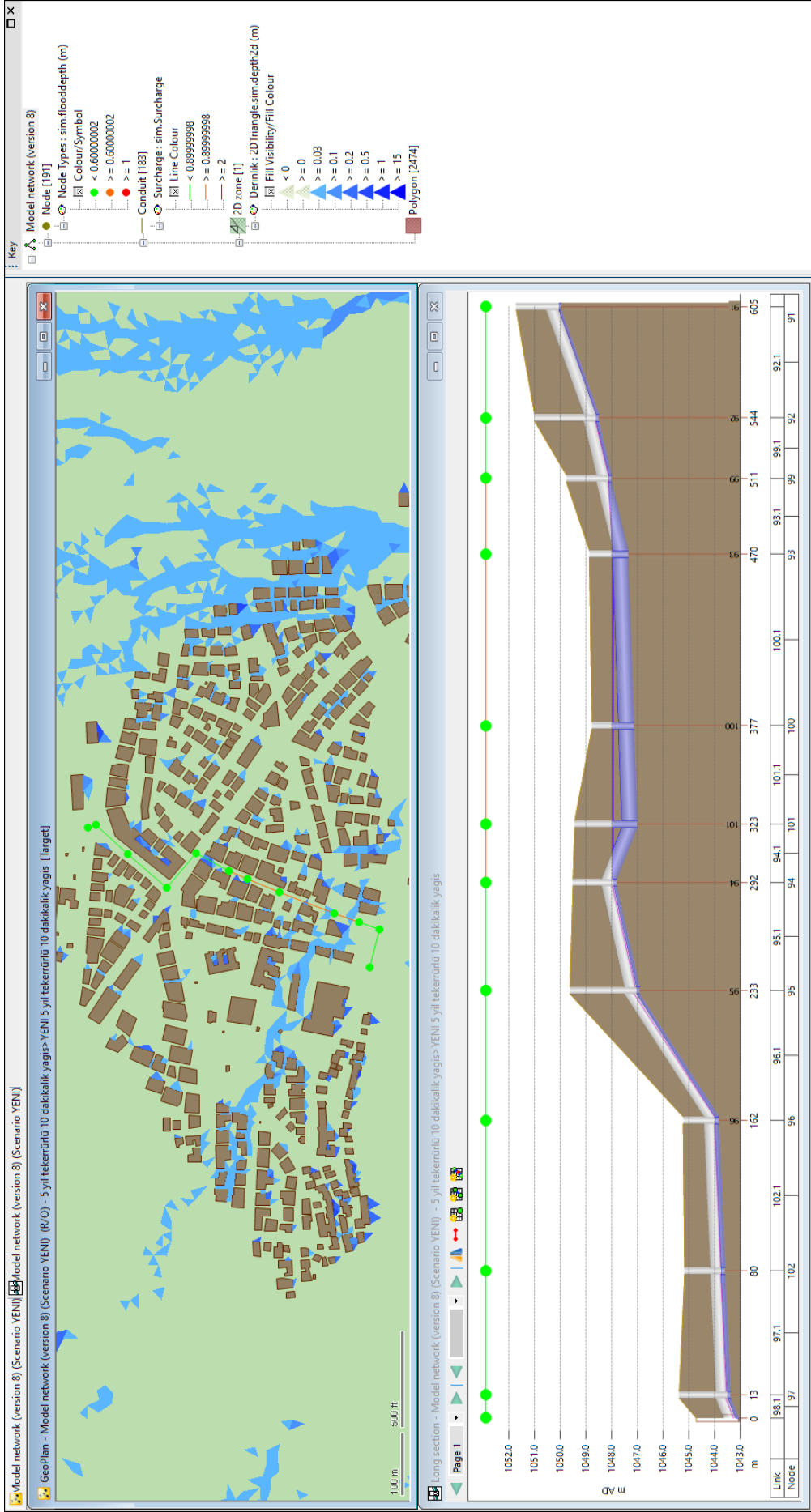




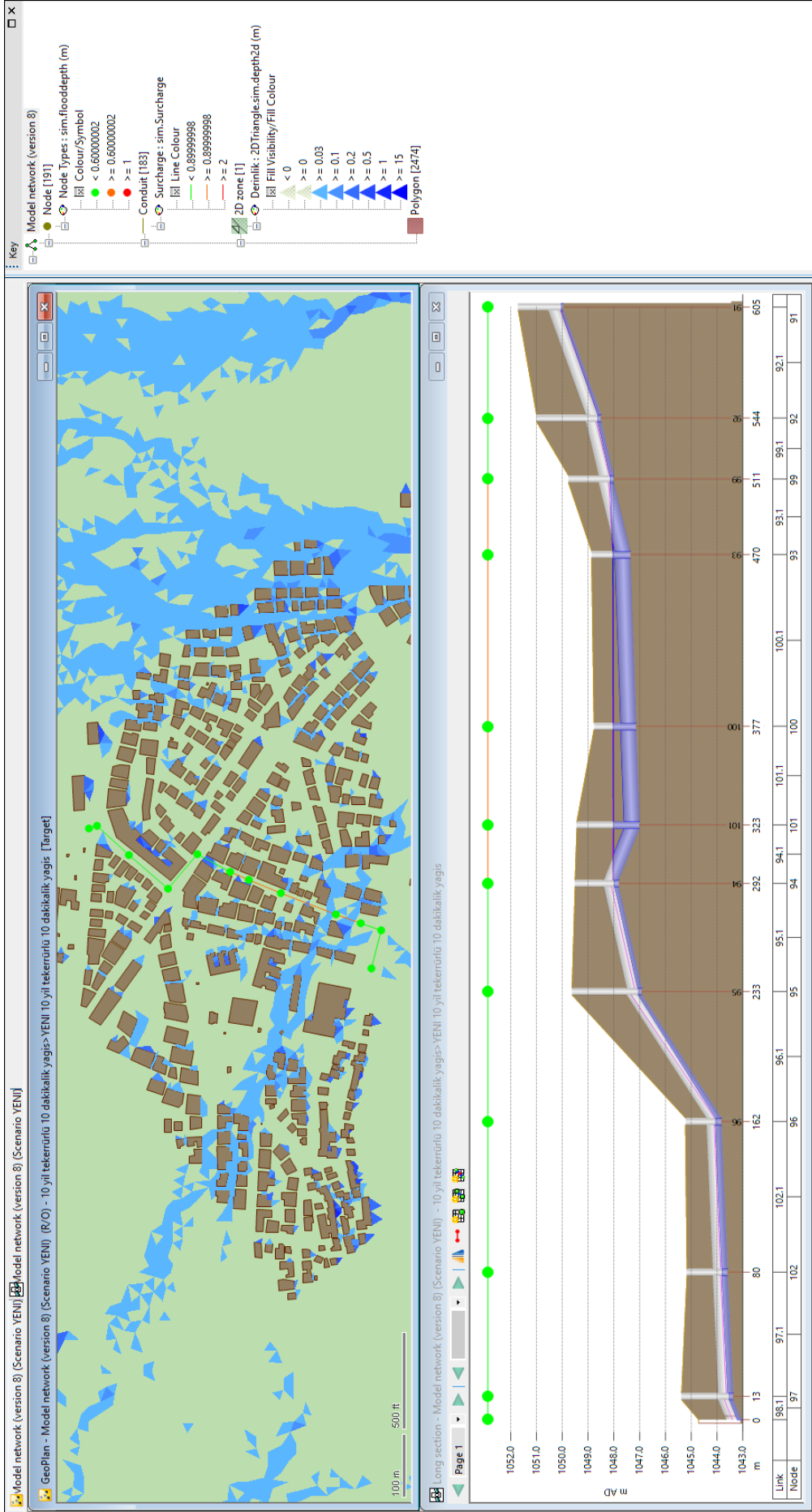
Şekil 7.33 : 2 yıl tekrerrülü ve 5 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağış çalışma alanındaki maksimum seviyede karşılaştırılması



Şekil 7.34 : 2 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 7 numaralı kesitin görünümü

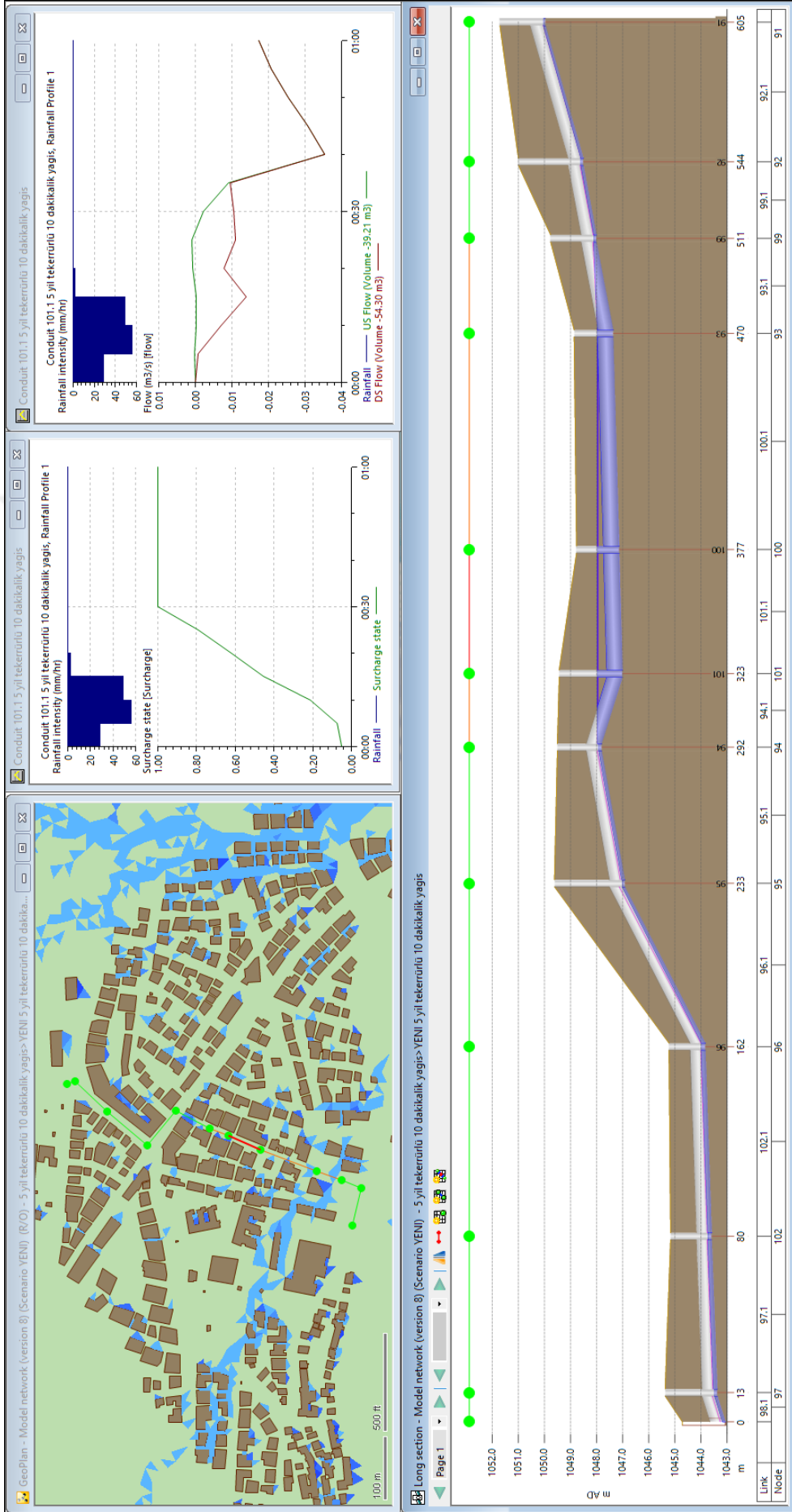


Şekil 7.35 : 5 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 7 numaralı kesitin görünümü



Şekil 7.36 : 10 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 7 numaralı kesitin görünümü

7 numaralı kesitin bir bölümünde ters eğim görülmektedir. Normal şartlar altında ters eğim olmazsa suyu rahatlıkla tahliye edebileceği ve herhangi bir sıkıntı olmayacağı düşünülmektedir. Fakat ters eğimin olması 2 yıl tekerrürlü yağışa (Şekil 7.34) maruz bırakıldığında 94 ve 100 numaralı bacalar arasındaki 2 borunun tam dolu kapasiteye ulaşmasına sebebiyet verdiği görülmektedir. 5 yıl (Şekil 7.35) ve 10 yıl (Şekil 7.36) tekerrürlü yağışlar da ise 94 ve 99 numaralı bacalar arasında 4 tane borunun ters eğimden dolayı tam dolu kapasiteye ulaştığı görülmektedir. Tüm yağış tekerrürleri için, ters eğimden etkilenen boruların bacalarda suyu biriktirdiği ve geri tepmeye neden olmadığı görülmektedir. Fakat eğime bağlı akışa göre planlanan sistemlerde bu gibi durumlar dikkatlice incelenmelidir. Daha şiddetli bir yağışın meydana gelmesi durumu, sisteme çöp veya birikintilerin karışması gibi durumlarda geri tepmeye neden olabileceği düşünülmektedir.

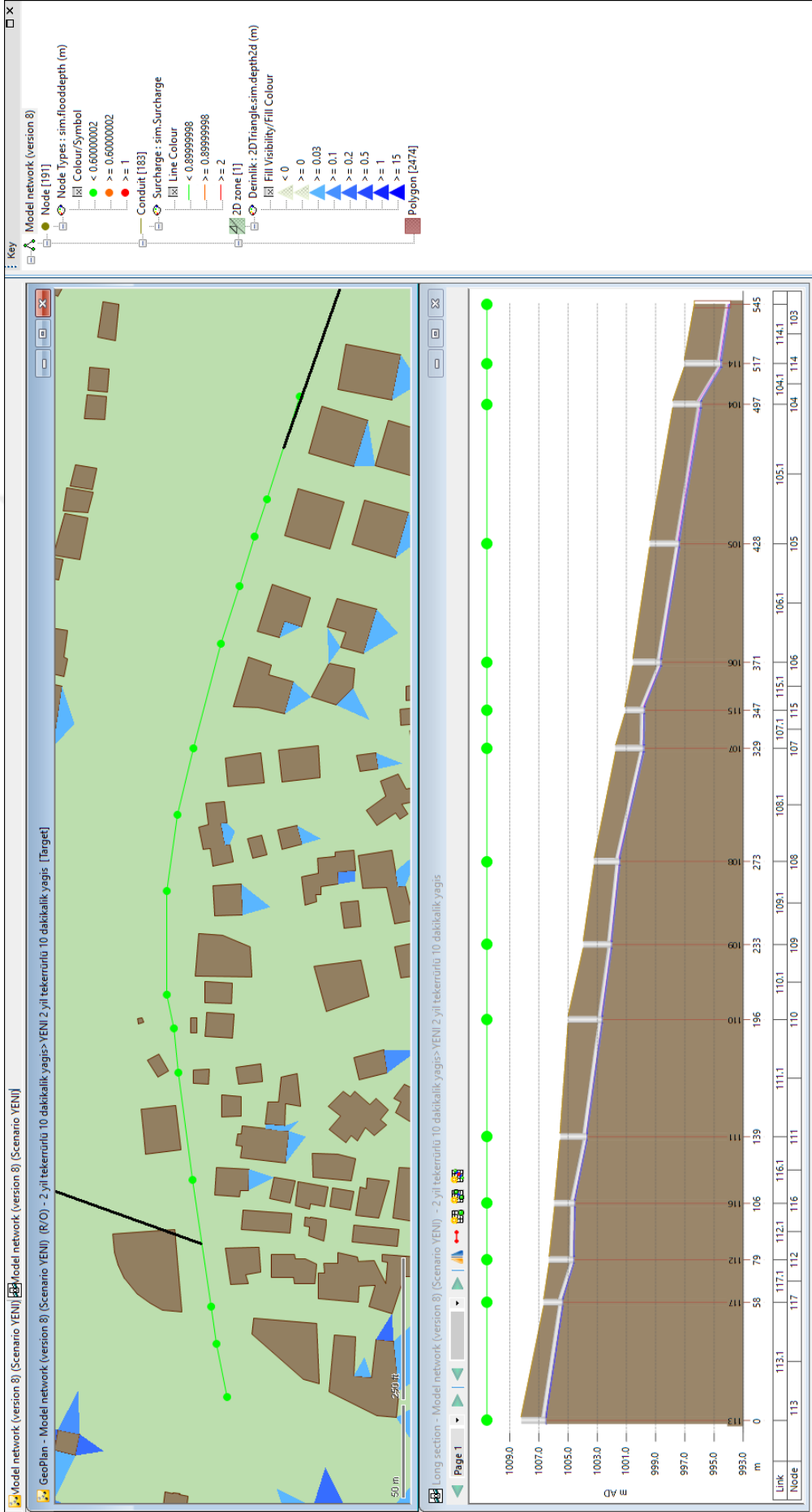


Şekil 7.37 : 5 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 7 numaralı kesitteki ters eğimin görünümü

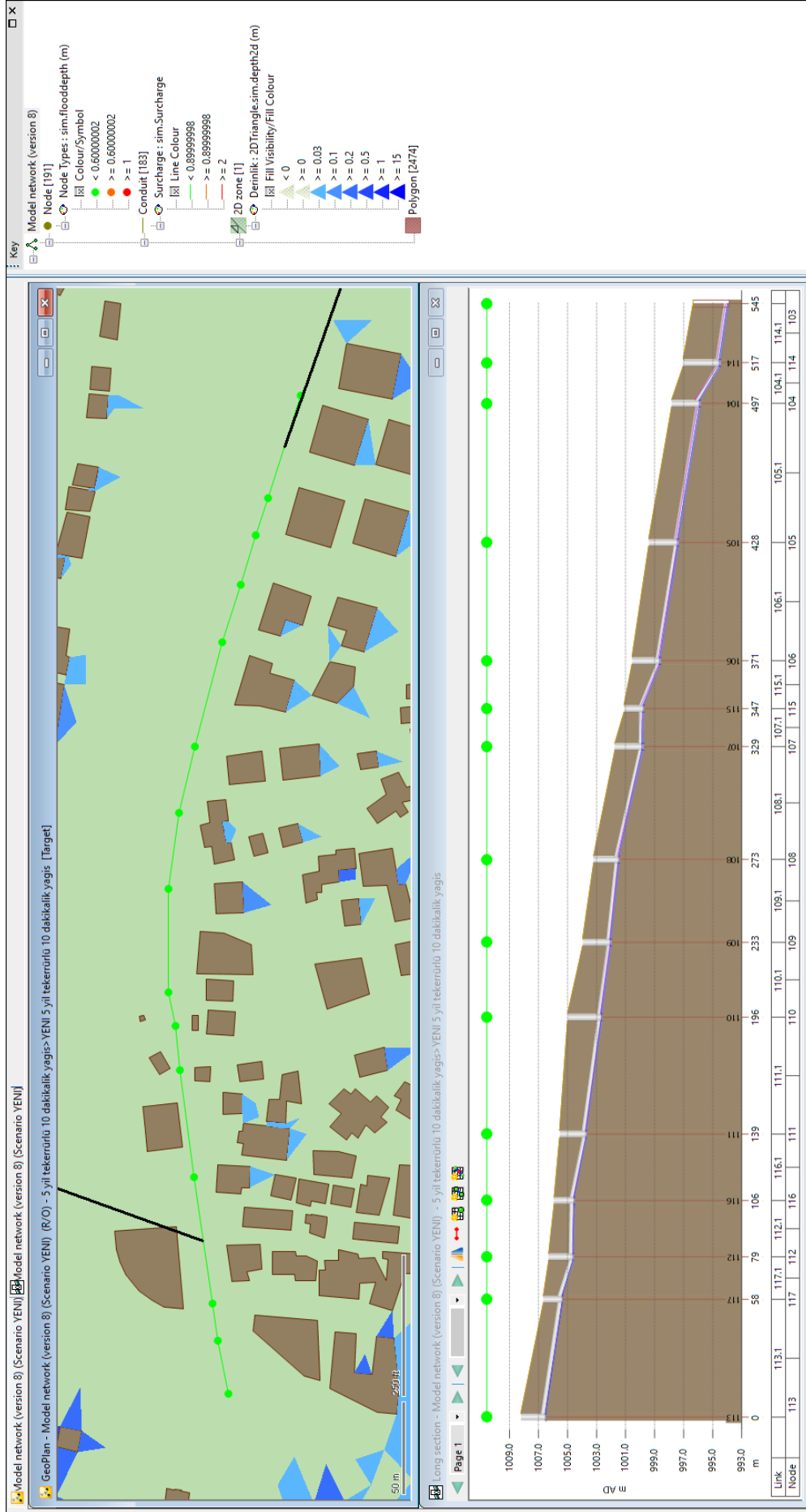
5 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağış için 7 numaralı kesitte (Şekil 7.37) görülen ters eğim, suyu bünyesinde biriktirdiği görülmektedir. Bu taşkın yağışı için geri tepme oluşturmasa da kısa süreli ve şiddetli bir yağışta taşkın oluşturabilme olasılığı yüksektir. Şekil 7.37’de görüldüğü gibi 101.1 numaralı boru da su birikmiştir. Borunun kendisi ters eğime sahip olmasa da kendisinden sonraki boru ters eğimli olduğu için suyu bir sonraki boruya iletememiş ve görevini yerine getirememiştir. Doluluk oranı-zaman grafiği incelendiğinde sürekli bir artış olduğu ve yağışın 30. dakikasından itibaren tam dolu kapasiteye ulaştığı görülmektedir. Debi-zaman grafiği incelendiğinde ise borunun giriş ve çıkış bacalarındaki akış hacminin negatif değer aldığı görülmektedir. Bu değer borunun suyu çıkış noktasına doğru değil de geriye doğru tahliye ettiğini göstermektedir. Ayrıca debi-zaman grafiğinde yeşil renkle görülen giriş bacasının akışının başlangıçta pozitif yönde olduğu fakat kırmızı renkle görülen çıkış bacasının akışı daha yüksek olduğu için giriş bacasının da negatif yönlü bir akışa dönmesine sebebiyet verdiği görülmektedir.

8 numaralı kesitin tüm yağış tekerrür aralıkları için, herhangi bir boruda doluluğun meydana gelmediği ve suyu kusursuz bir şekilde tahliye ettiği görülmektedir.

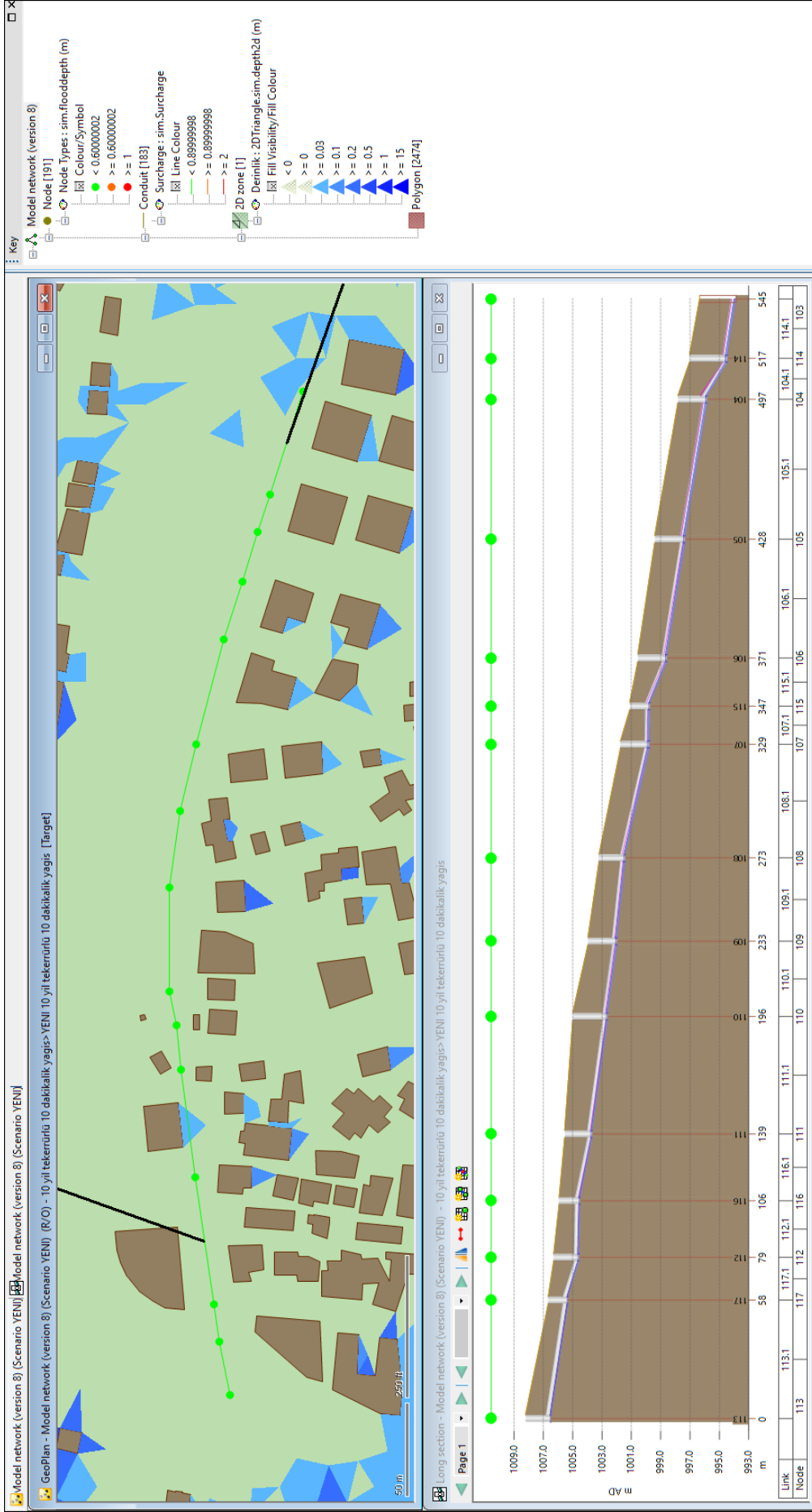
10 yıl tekerrürlü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 8 numaralı kesitteki 108.1 numaralı boruya (Şekil 7.41) ait tablo incelendiğinde yağışın başlangıcından itibaren yarım doluluğa bile ulaşmadan suyu tahliye etmiştir. Yağış anında doluluk oranı 0.38 gibi değerlere ulaşsa da suyu hemen tahliye ederek doluluk oranını düşürmüş ve taşkını önlemiştir.



Şekil 7.38 : 2 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 8 numaralı kesitin görünümü



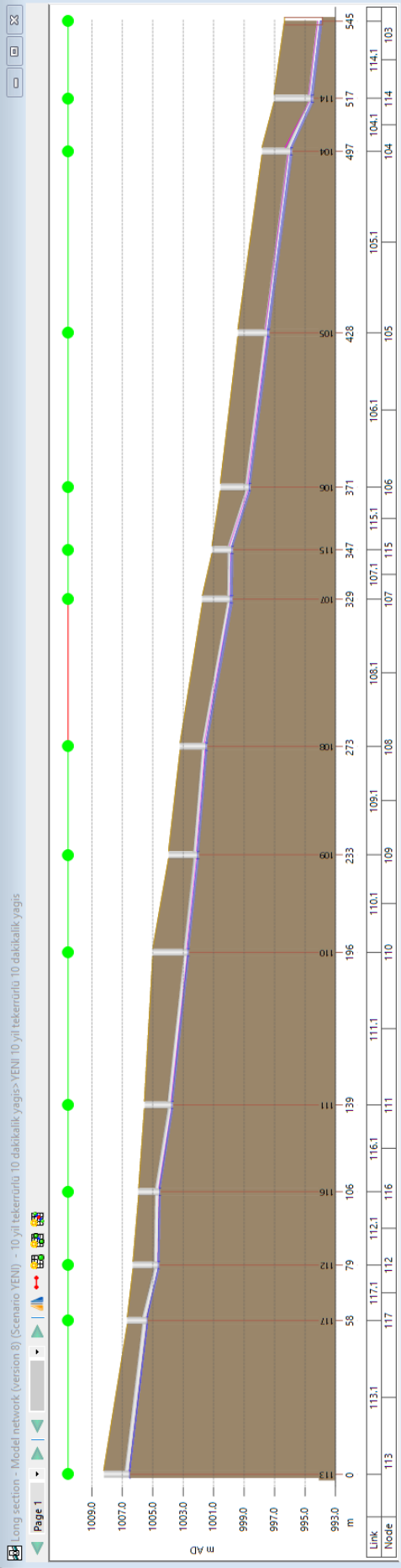
Şekil 7.39 : 5 yıl tekrürlü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 8 numaralı kesitin görünümü



Şekil 7.40 : 10 yıl tekrerrülü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 8 numaralı kesitin görünümü

TVD Results - Conduit 108.1

DS depth (m)	DS flow (m ³ /s)	DS Froude number	DS total head (m AD)	DS velocity (m/s)	Hydraulic gradient	Surcharge state	US depth (m)	US flow (m ³ /s)	US Froude number	US total head (m AD)	US velocity (m/s)	US infiltration loss (m ³ /s)	Lateral inflow (m ³ /s)	Volume (m ³)
00 00:00:00	0.040	-0.00000	999.778	0.000	0.03012	0.10	0.040	0.00000	0.000	1001.443	0.000	0.00000	0.00000	0.4
00 00:05:00	0.042	0.00097	999.781	0.136	0.03014	0.11	0.043	0.00145	0.367	1001.448	0.198	0.00000	0.00000	0.4
00 00:10:00	0.107	0.01469	999.860	0.342	0.02943	0.27	0.069	0.01628	1.645	1001.537	1.127	0.00000	0.00000	0.8
00 00:15:00	0.152	0.02954	999.913	0.677	0.02894	0.38	0.087	0.03028	1.955	1001.606	1.510	0.00000	0.00000	1.2
00 00:20:00	0.143	0.02531	999.901	0.629	0.02897	0.36	0.079	0.02397	1.839	1001.576	1.356	0.00000	0.00000	1.1
00 00:25:00	0.104	0.01262	999.854	0.488	0.02937	0.26	0.063	0.01179	1.443	1001.510	0.939	0.00000	0.00000	0.8
00 00:30:00	0.078	0.00657	999.823	0.381	0.02967	0.19	0.053	0.00615	1.044	1001.476	0.623	0.00000	0.00000	0.6
00 00:35:00	0.062	0.00379	999.805	0.305	0.02966	0.16	0.048	0.00357	0.736	1001.460	0.418	0.00000	0.00000	0.5
00 00:40:00	0.052	0.00236	999.793	0.245	0.02999	0.13	0.045	0.00222	0.517	1001.452	0.285	0.00000	0.00000	0.4
00 00:45:00	0.043	0.00138	999.783	0.188	0.03012	0.11	0.043	0.00131	0.354	1001.448	0.179	0.00000	0.00000	0.4
00 00:50:00	0.042	0.00092	999.781	0.130	0.03012	0.11	0.042	0.00089	0.237	1001.446	0.126	0.00000	0.00000	0.4
00 00:55:00	0.042	0.00069	999.780	0.100	0.03012	0.10	0.042	0.00066	0.181	1001.445	0.095	0.00000	0.00000	0.4
00 01:00:00	0.041	0.00043	999.779	0.064	0.03012	0.10	0.041	0.00041	0.117	1001.444	0.061	0.00000	0.00000	0.4



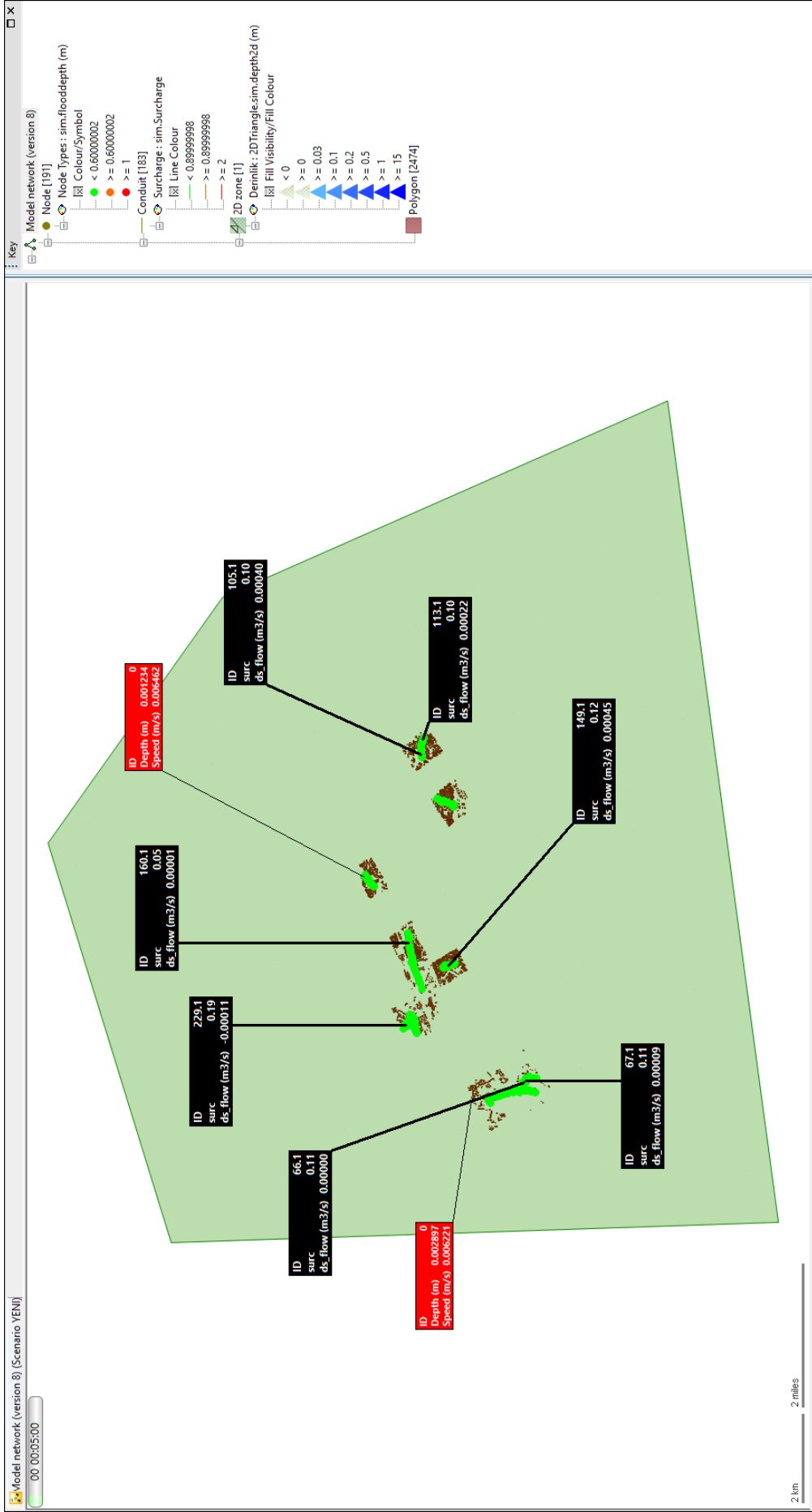
Şekil 7.41 : 10 yıl tekrerrü 10 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 8 numaralı kesitteki 108.1 numaralı borunun görünümü

7.1.3 15 Dakikalık yağış süresine sahip yağışlar için analiz

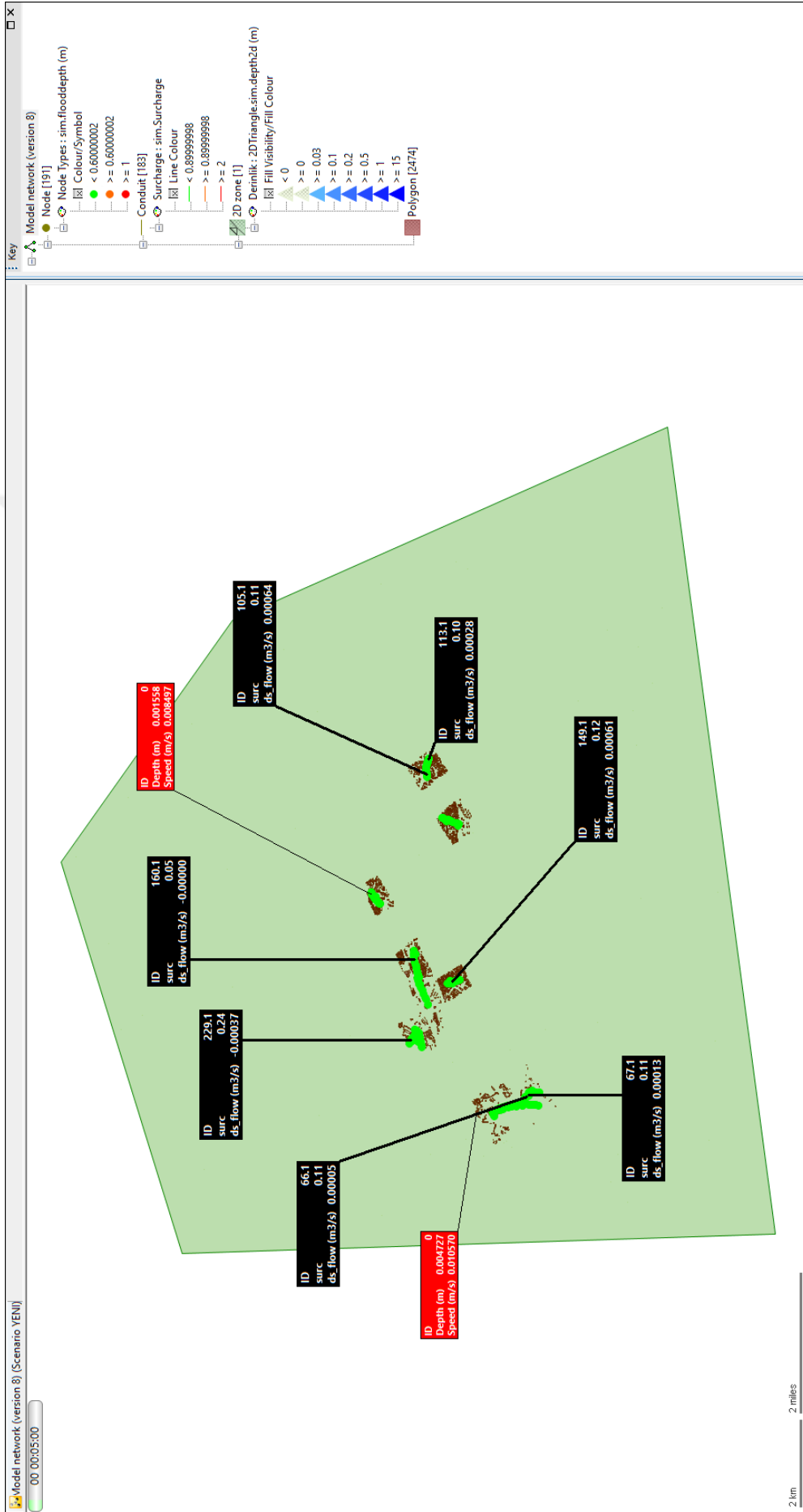
Uygulama alanında 15 dakikalık süreye sahip yağışlar için 2, 5 ve 10 yıllık tekrarlanma periyotlarında analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları sayısal harita üzerinde analizin farklı süreleri için gösterilmiştir.

15 dakikalık yağış süresine sahip yağışlarda yağış şiddeti, 5 dakikalık yağış süresine sahip taşkın yağışlarına göre daha düşüktür. Bundan dolayı mevcut sistem için 15 dakikalık yağış süresine sahip 2, 5 ve 10 yıllık tekerrür süreli (Şekil 7.42-7.43-7.44) yağışlarda, yağışın başlarında taşkın olma olasılığının düşük olduğu fikrine varılmıştır.

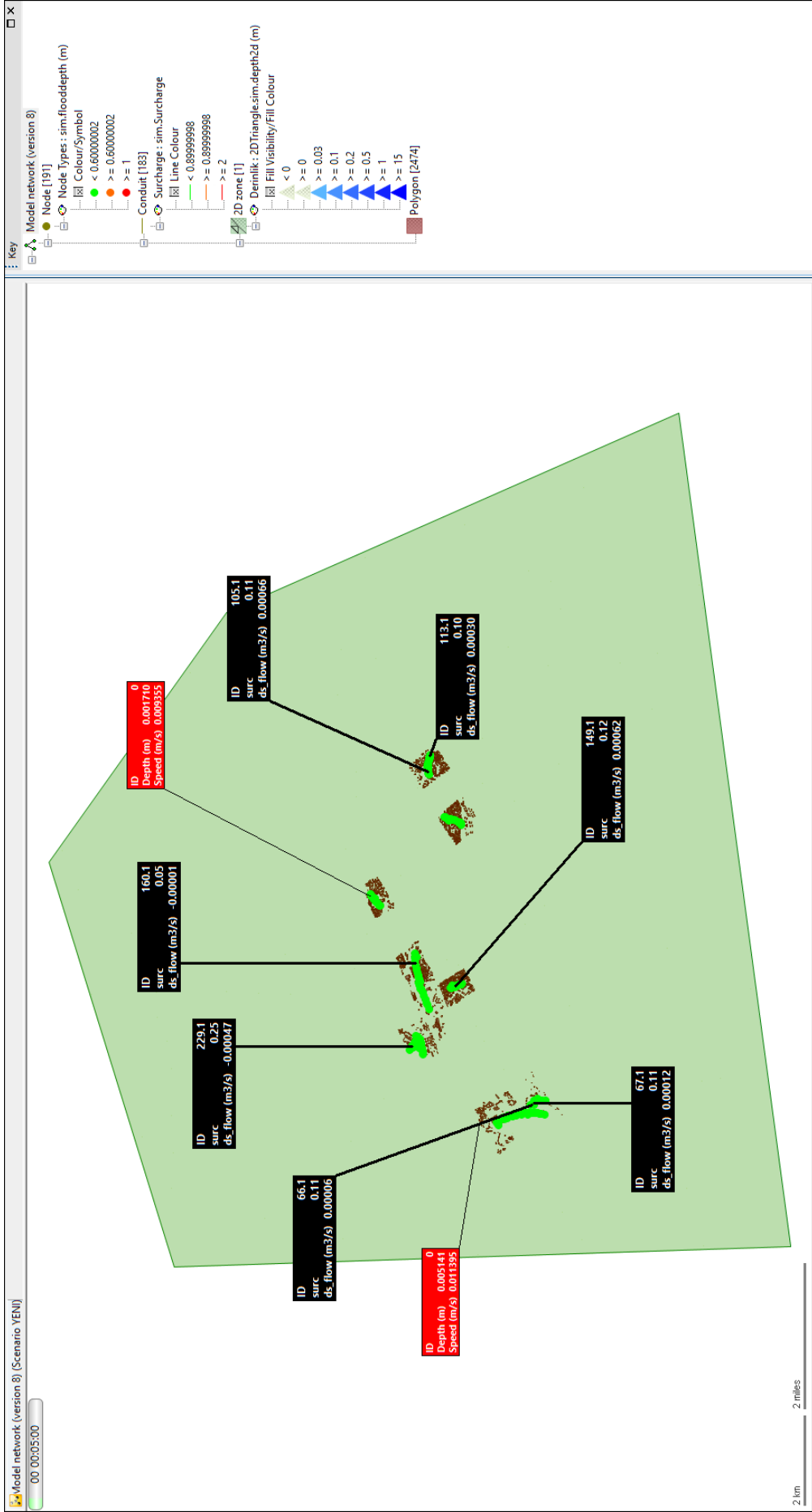
Yağışın 30. dakikası incelendiğinde diğer tekerrür aralıklarına sahip yağışlarda da görüldüğü gibi, aynı boruların tam dolu kapasiteye ulaştığı gözlemlenmektedir.



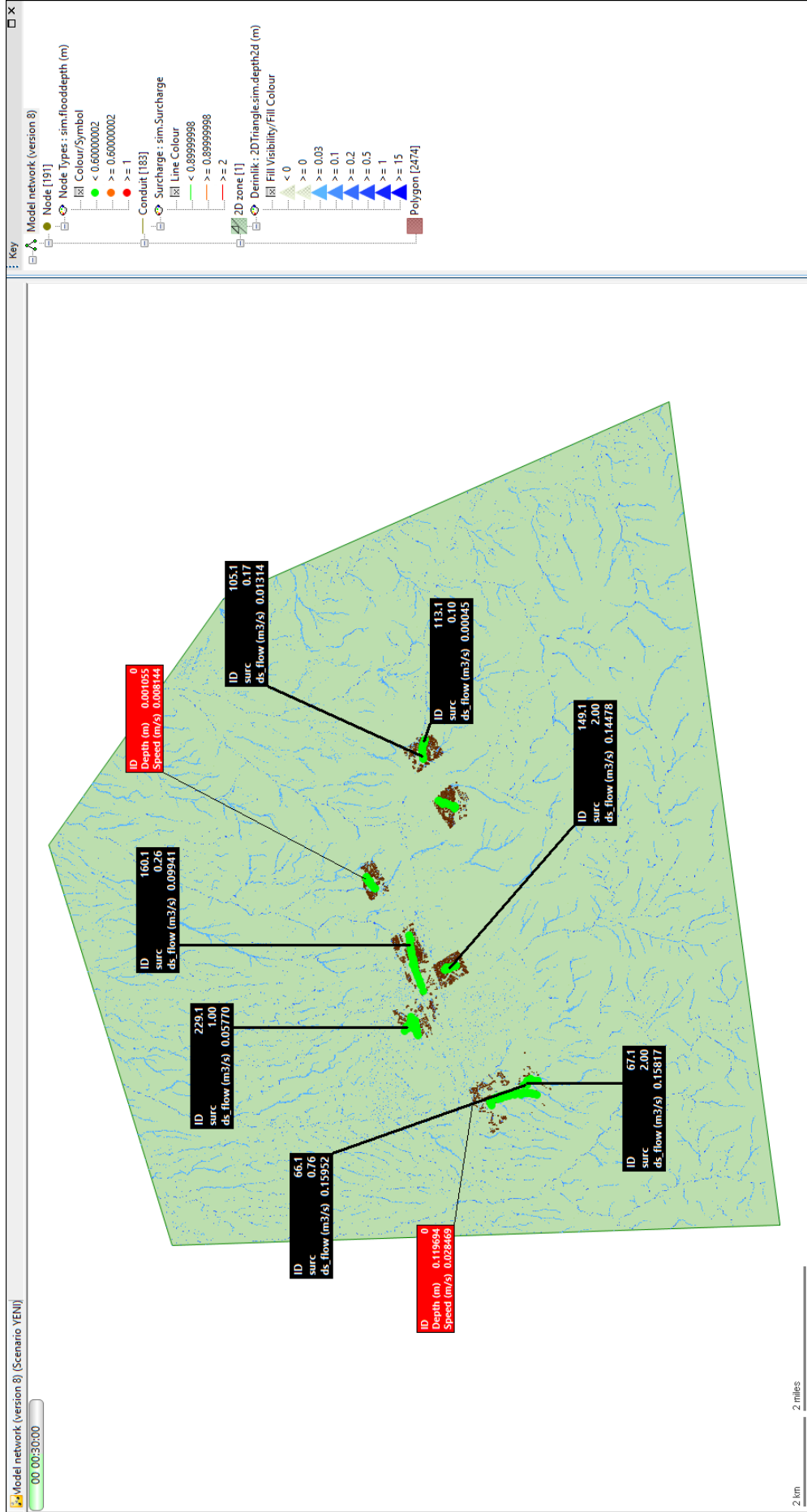
Şekil 7.42 : 2 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm



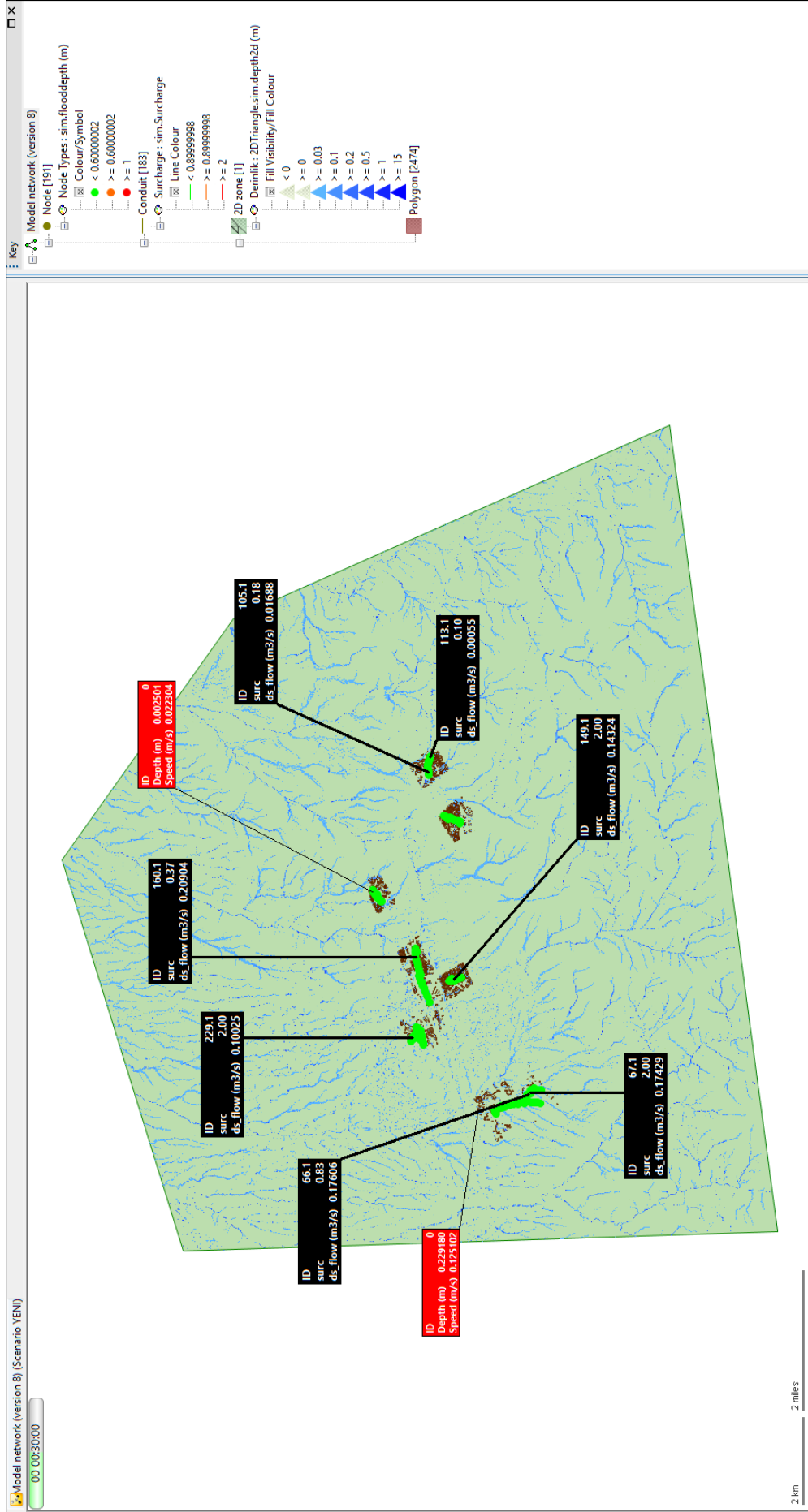
Şekil 7.43 : 5 yıl tekrürlü 15 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm



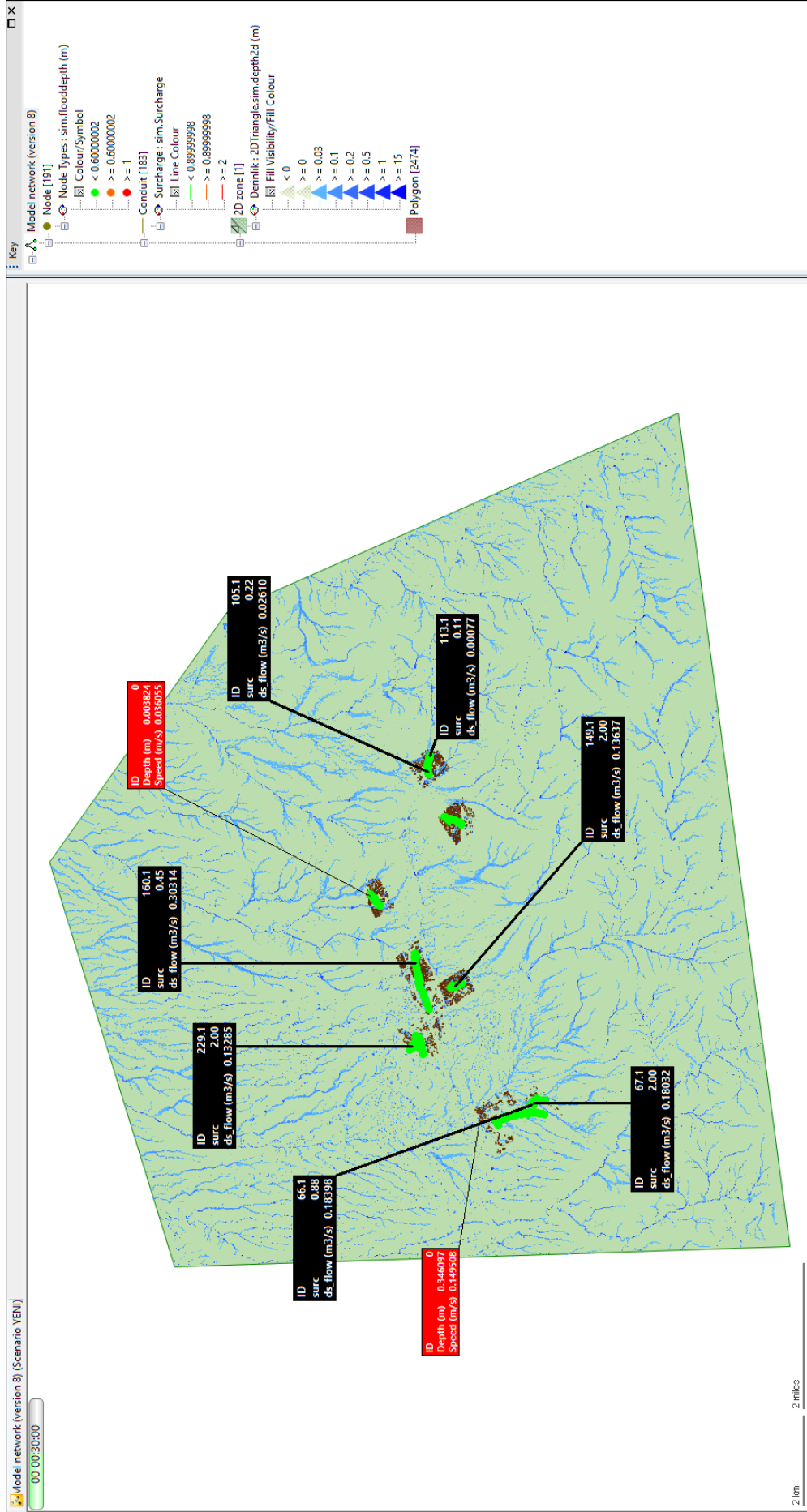
Şekil 7.44 : 10 yıl tekrürlü 15 dakikalık yağışın 5.dakikasındaki görünüm



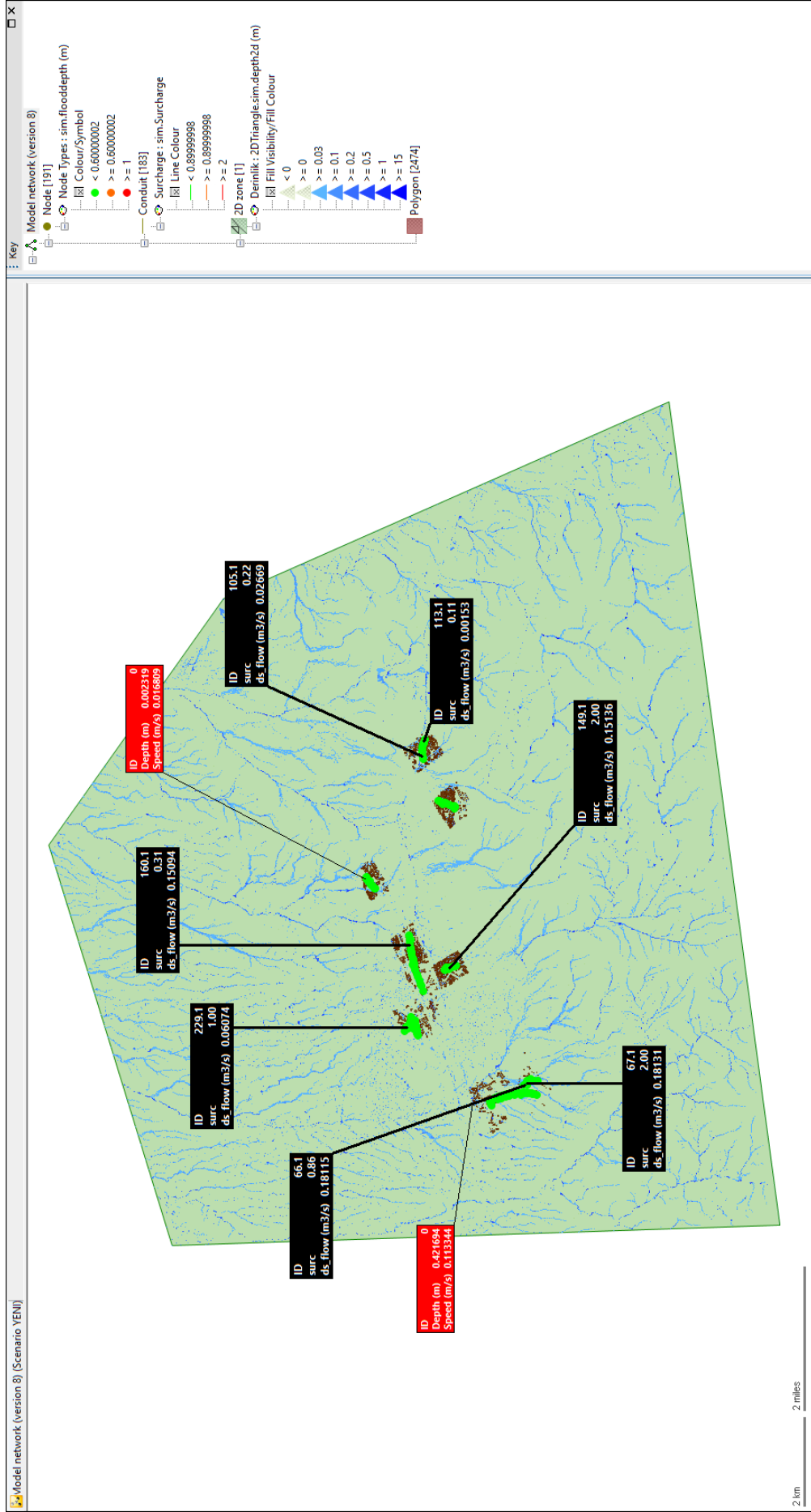
Şekil 7.45 : 2 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm



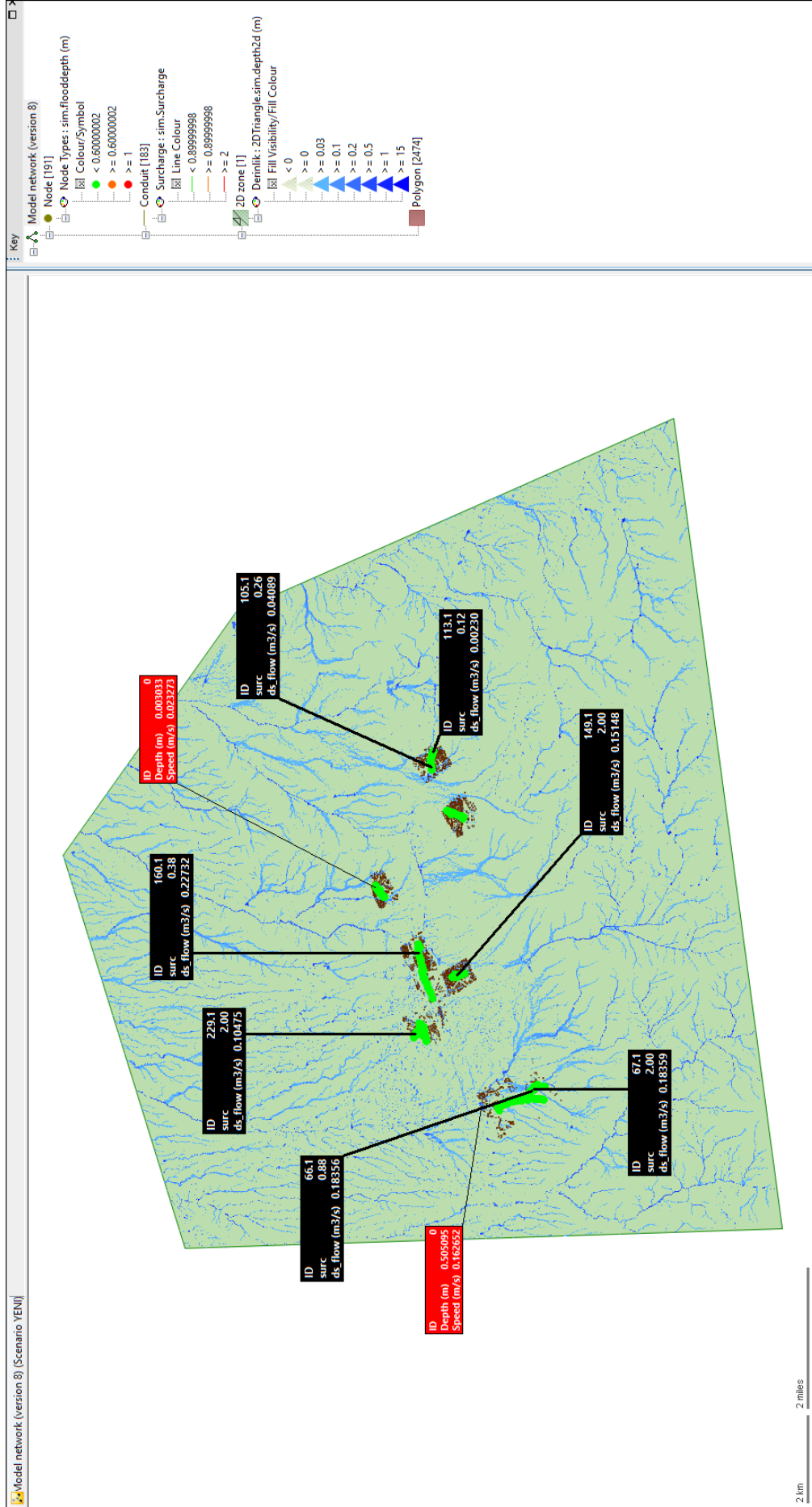
Şekil 7.46 : 5 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm



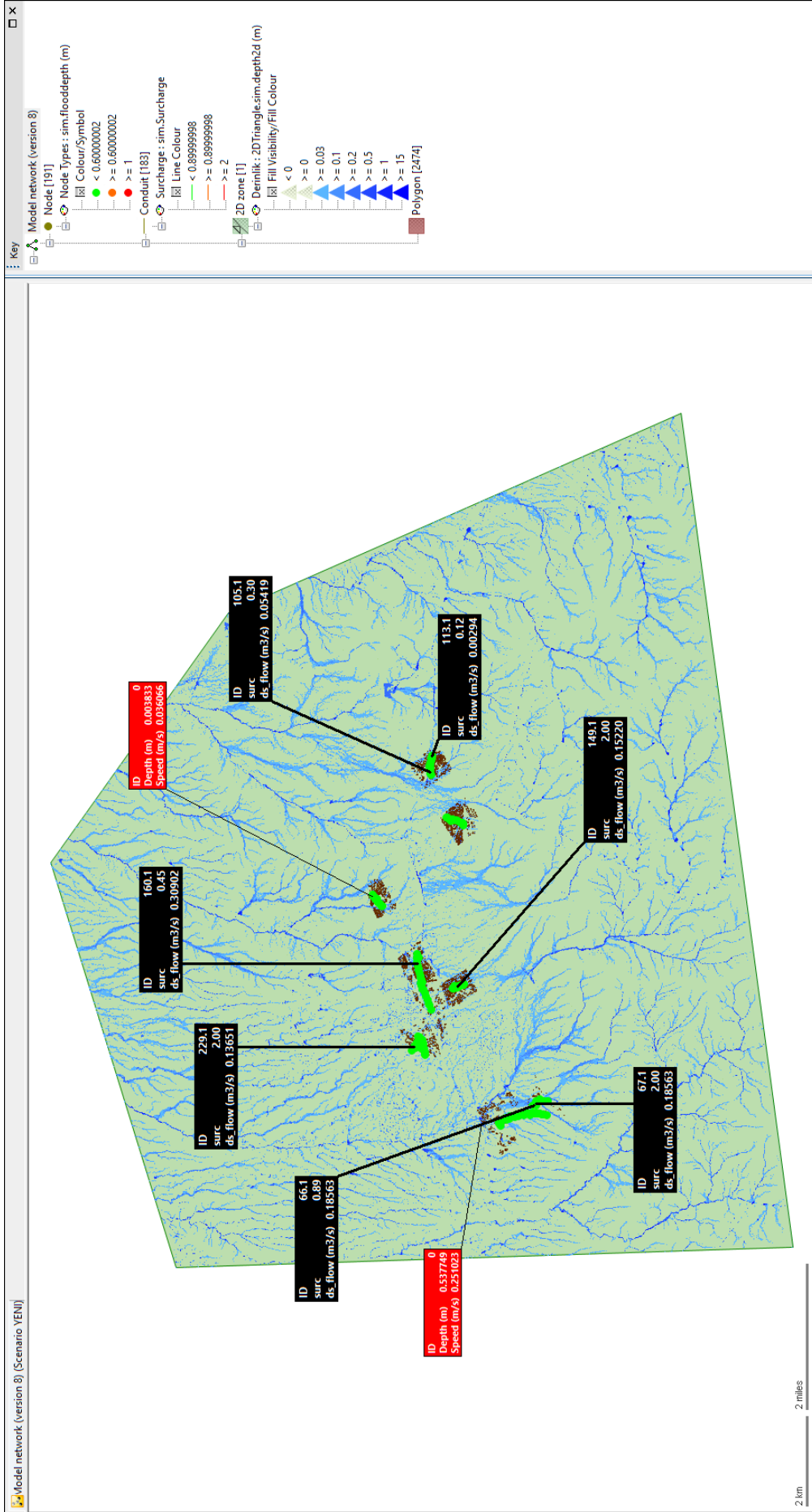
Şekil 7.47 : 10 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışın 30.dakikasındaki görünüm



Şekil 7.48 : 2 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi



Şekil 7.49 : 5 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi

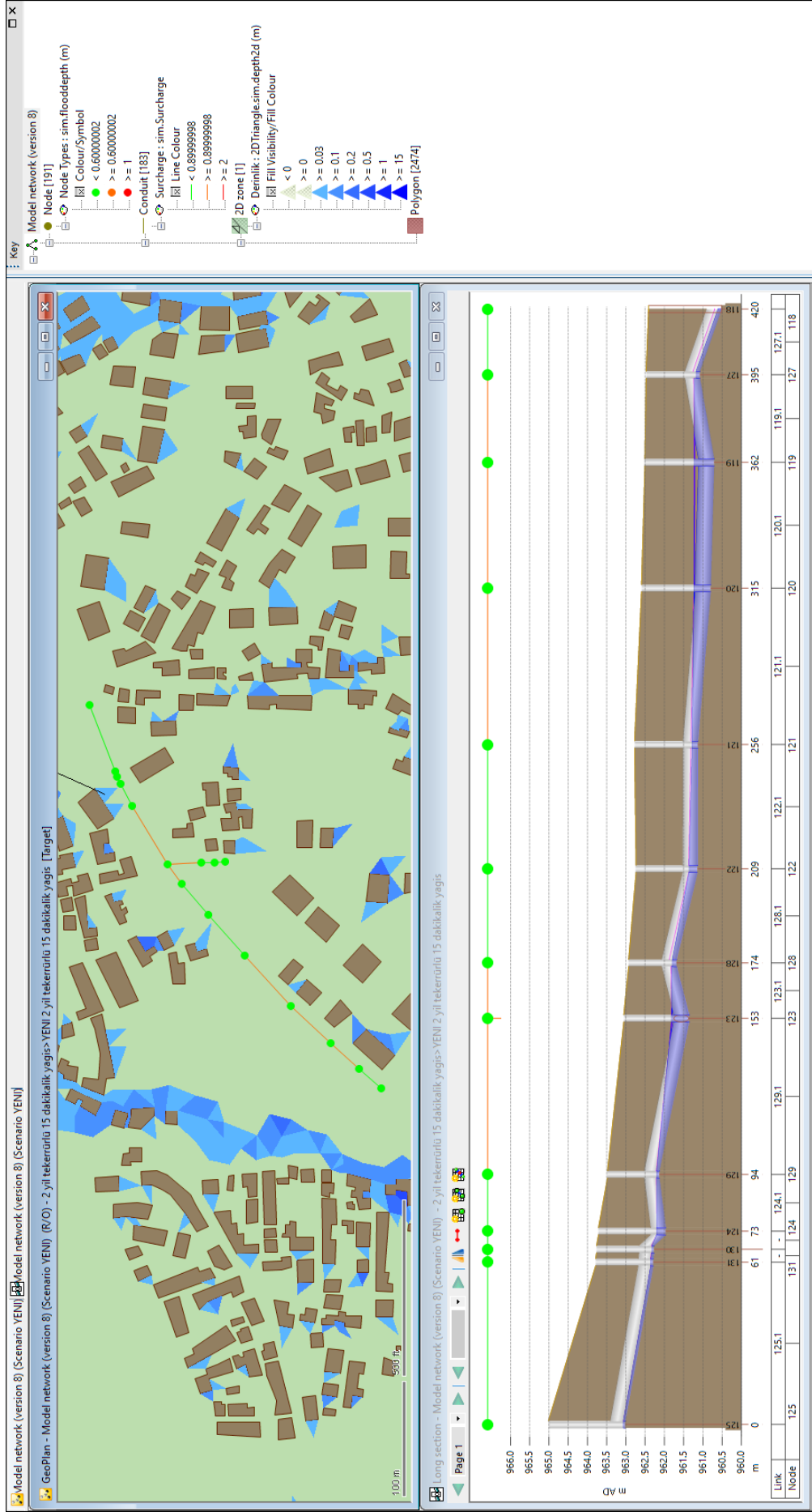


Şekil 7.50 : 10 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışın çalışma alanındaki maksimum seviyesi

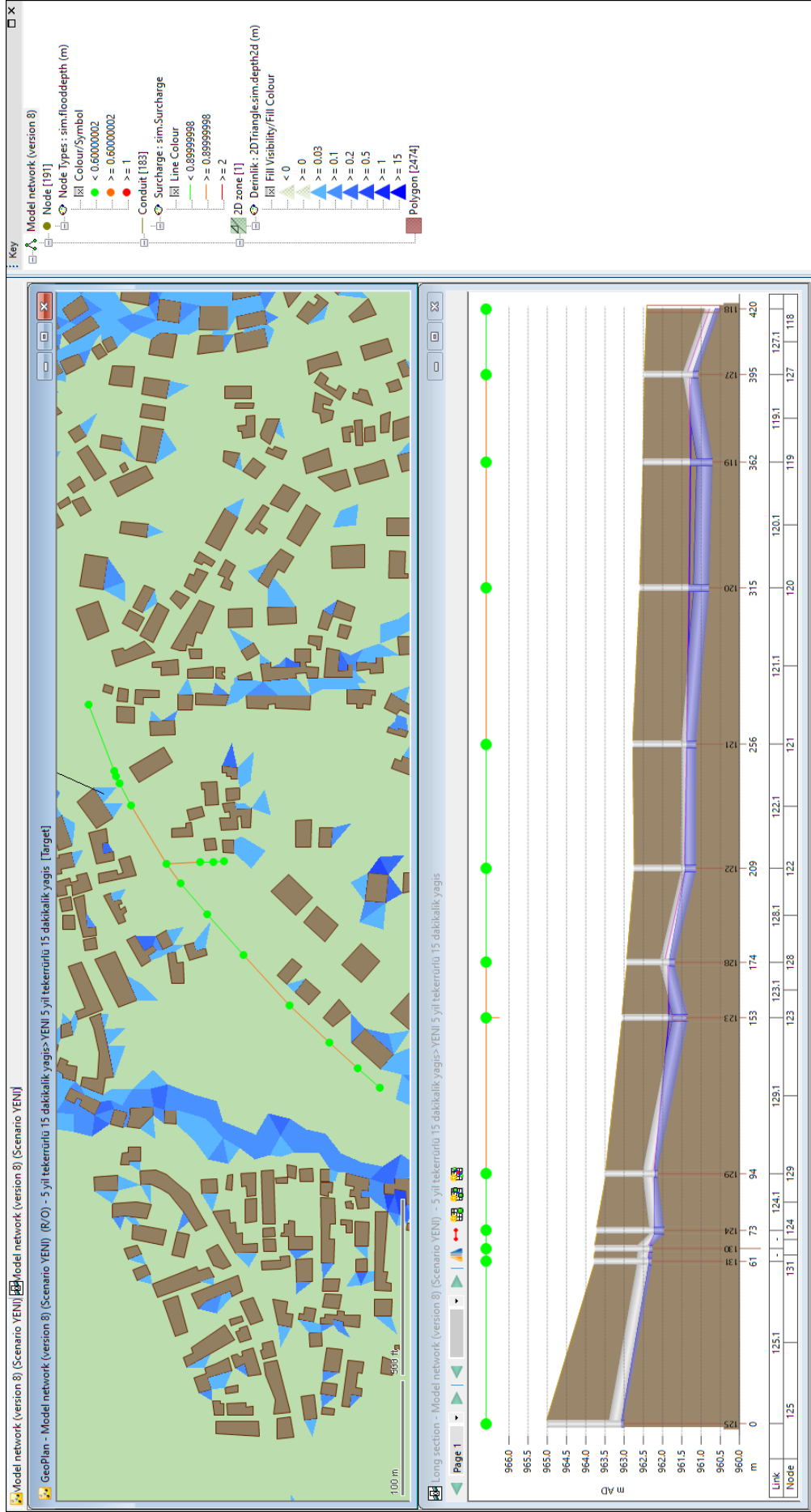
Yağışa maruz kalan sistemin maksimum seviyedeki durumu incelendiğinde, yine birçok borunun görevini yerine getiremediği ve tam dolu kapasiteye ulaşp suyu bacalarda biriktirdiği hatta geri tepmeye sebep olduğu gözlemlenmektedir. Genel kesitin sol tarafında bir üçgen için alınan yükseklik değerlerinin ciddi boyutlarda olduğu görülmektedir. 2 yıl tekerrür için (Şekil 7.48) 0.42 m civarında iken 5 yıl tekerrür için (Şekil 7.49) 0.51 m, 10 yıl tekerrür için (Şekil 7.50) 0.53 m olduğu görülmektedir. *Meshleme* işlemi sonucu elde edilen üçgenin yaşam alanları civarında olduğu göz önünde bulundurulursa ciddi sonuçlara sebebiyet verebileceği düşünülmektedir.

6 numaralı kesit tüm tekerrür aralıkları için 15 dakikalık taşkın yağışlarını yağış anında tahliye ettiği görülmektedir. Fakat kesit ters eğimli borulara sahip olduğu için yakın zamanda meydana gelebilecek yağışlarda, haznesinde su biriktirdiği için taşkın rahat bir şekilde tahliye edememe riski bulundurmaktadır.

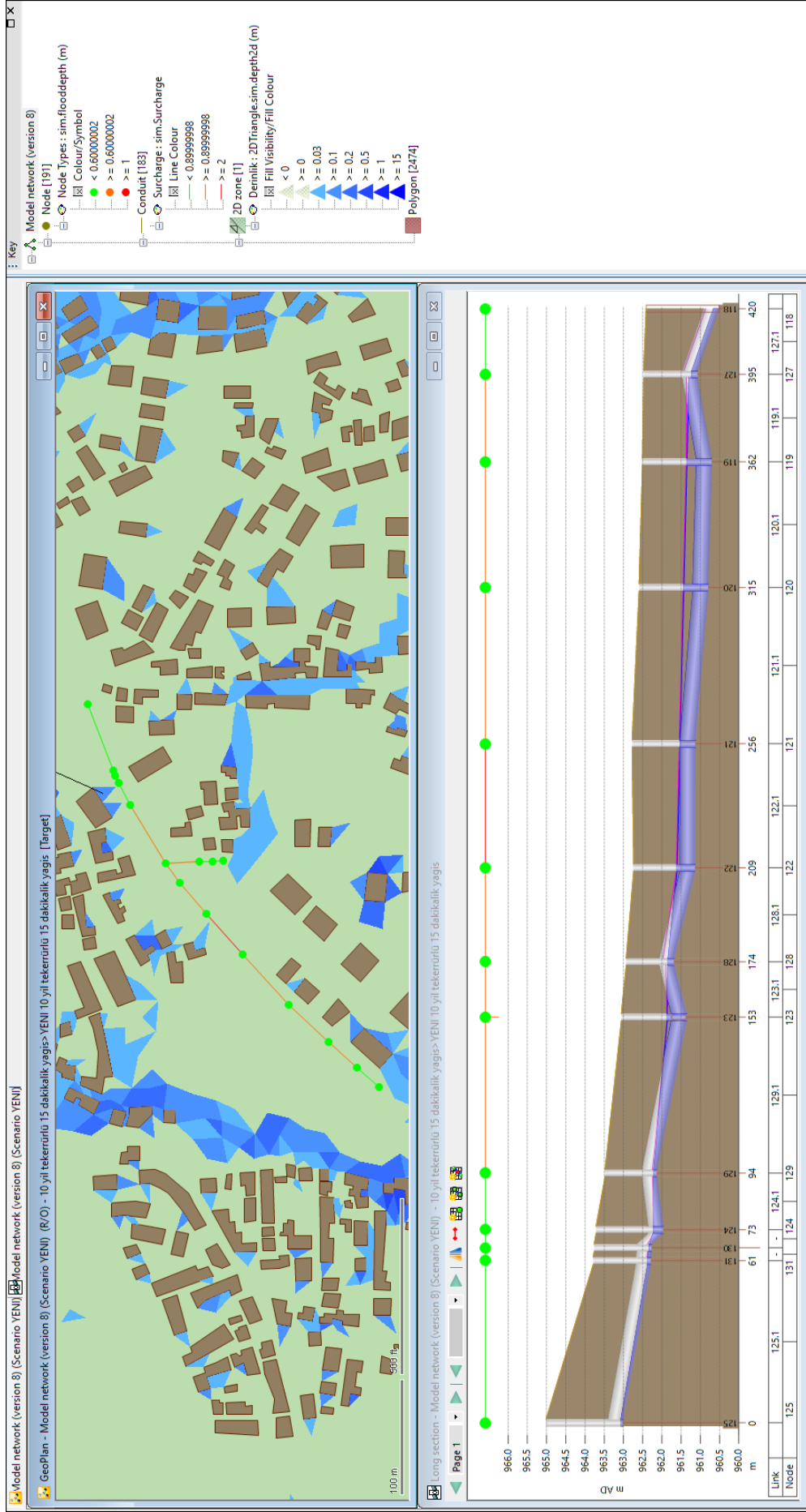
4 numaralı kesit 15 dakikalık taşkın oluşturabilecek yağışa maruz bırakıldığında bazı borularda tam dolu kapasiteye yaklaştığı görülse de herhangi bir problem olmadan suyu tahliye edebildiği görülmektedir. 169 numaralı bacadan sonra boru çapının artırılması taşkın ihtimalini ortadan kaldırmıştır. Bu gibi örnekler sürdürülebilir ve geleceğe yönelik tasarımların ne kadar etkili olduğunu göz önüne koymaktadır.



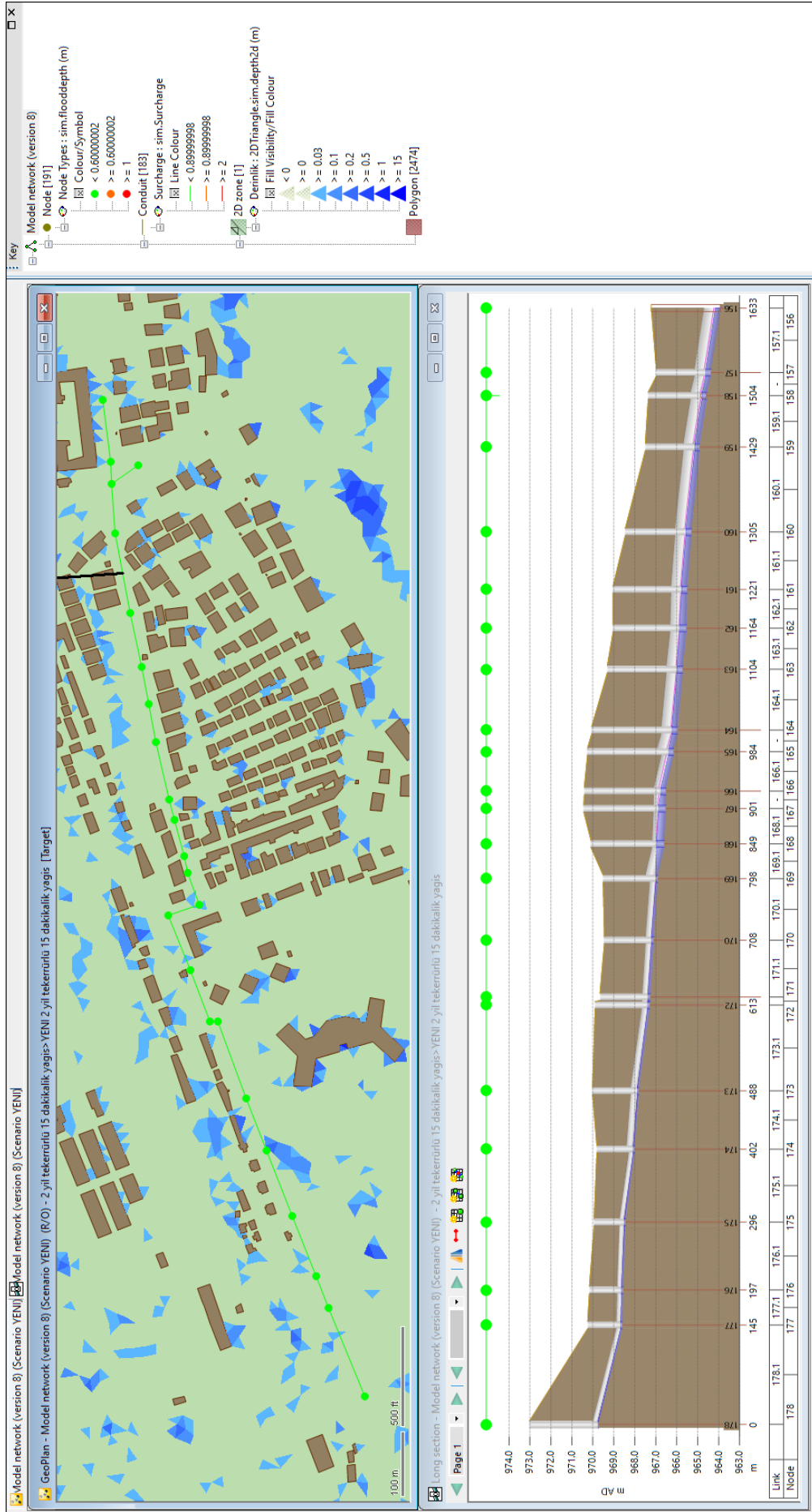
Şekil 7.51 : 2 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 6 numaralı kesitin görünümü



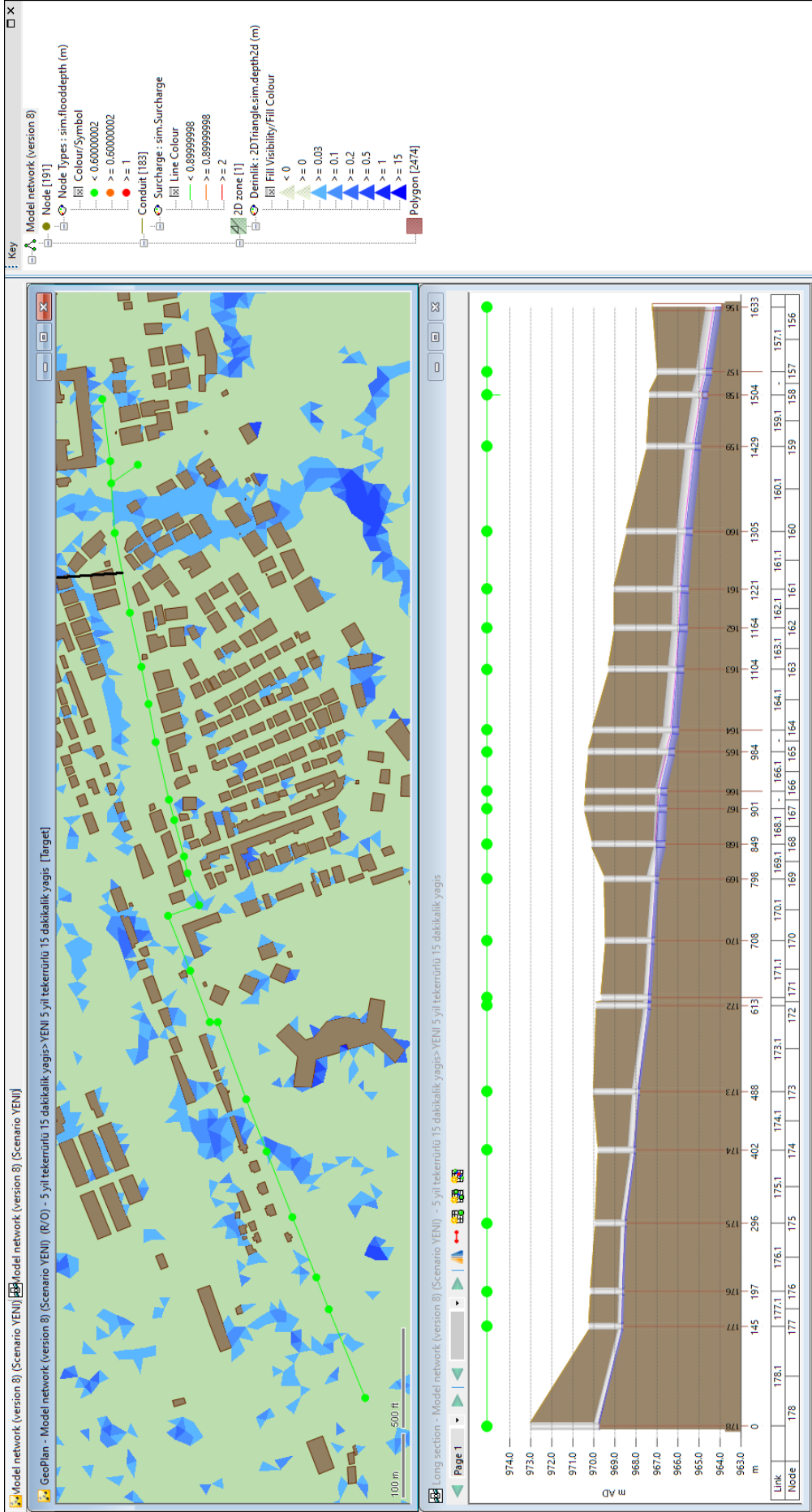
Şekil 7.52 : 5 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 6 numaralı kesitin görünümü



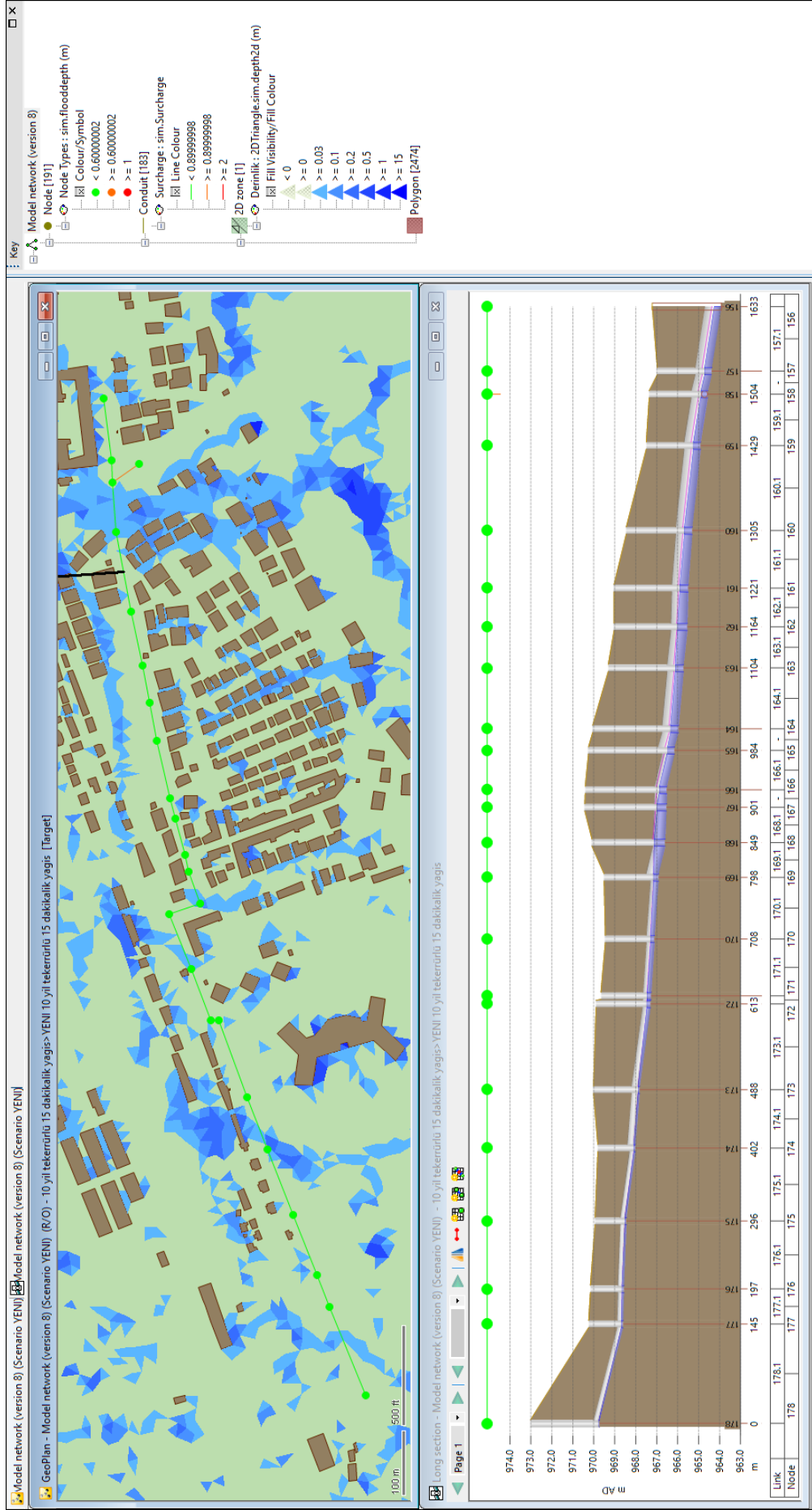
Şekil 7.53 : 10 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 6 numaralı kesitin görünümü



Şekil 7.54 : 2 yıl tekrerru 15 dakikalik yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü



Şekil 7.55 : 5 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü

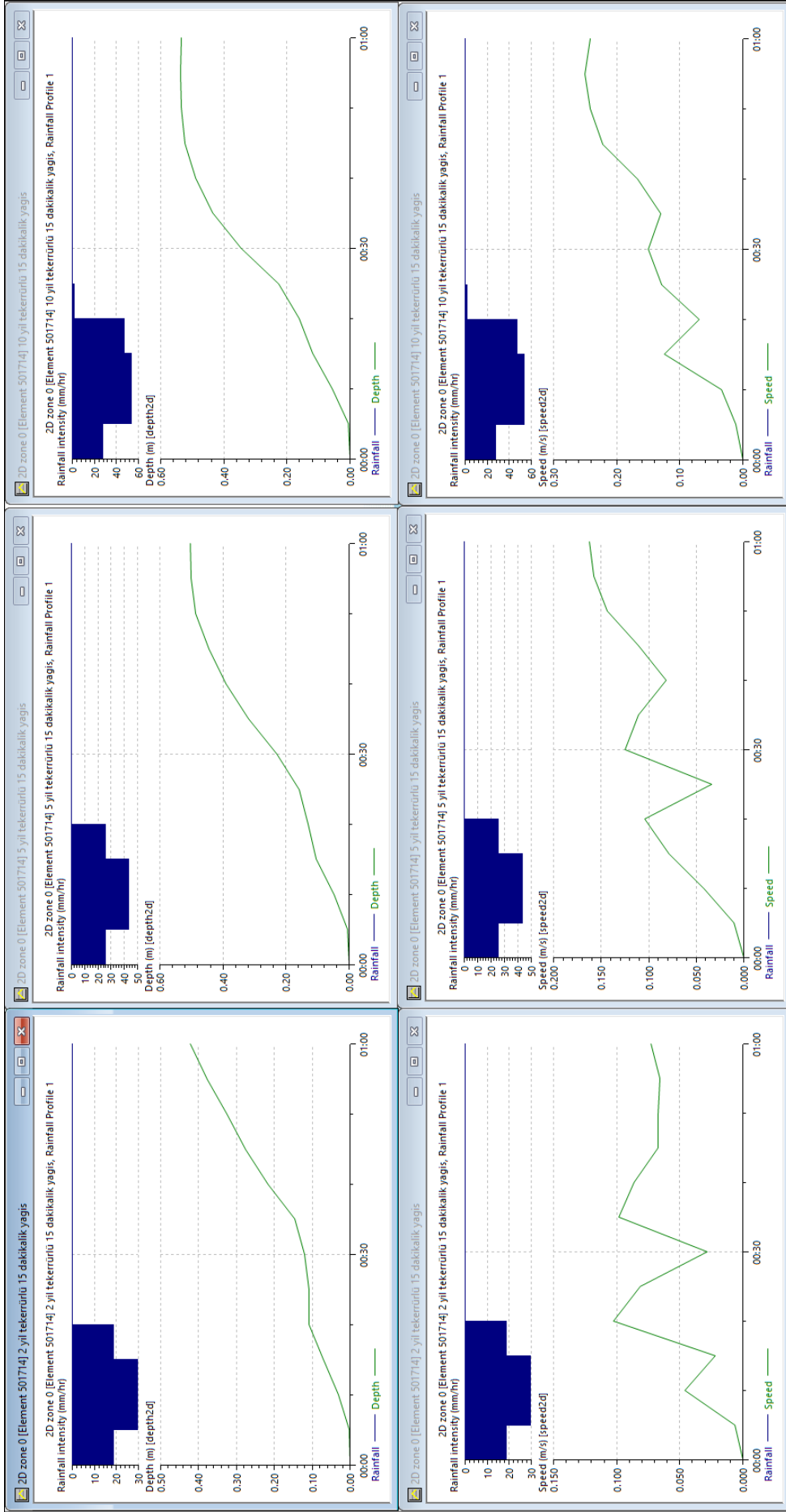


Şekil 7.56 : 10 yıl tekrerrülü 15 dakikalık yağışa maruz bırakılan maksimum durumdaki 4 numaralı kesitin görünümü

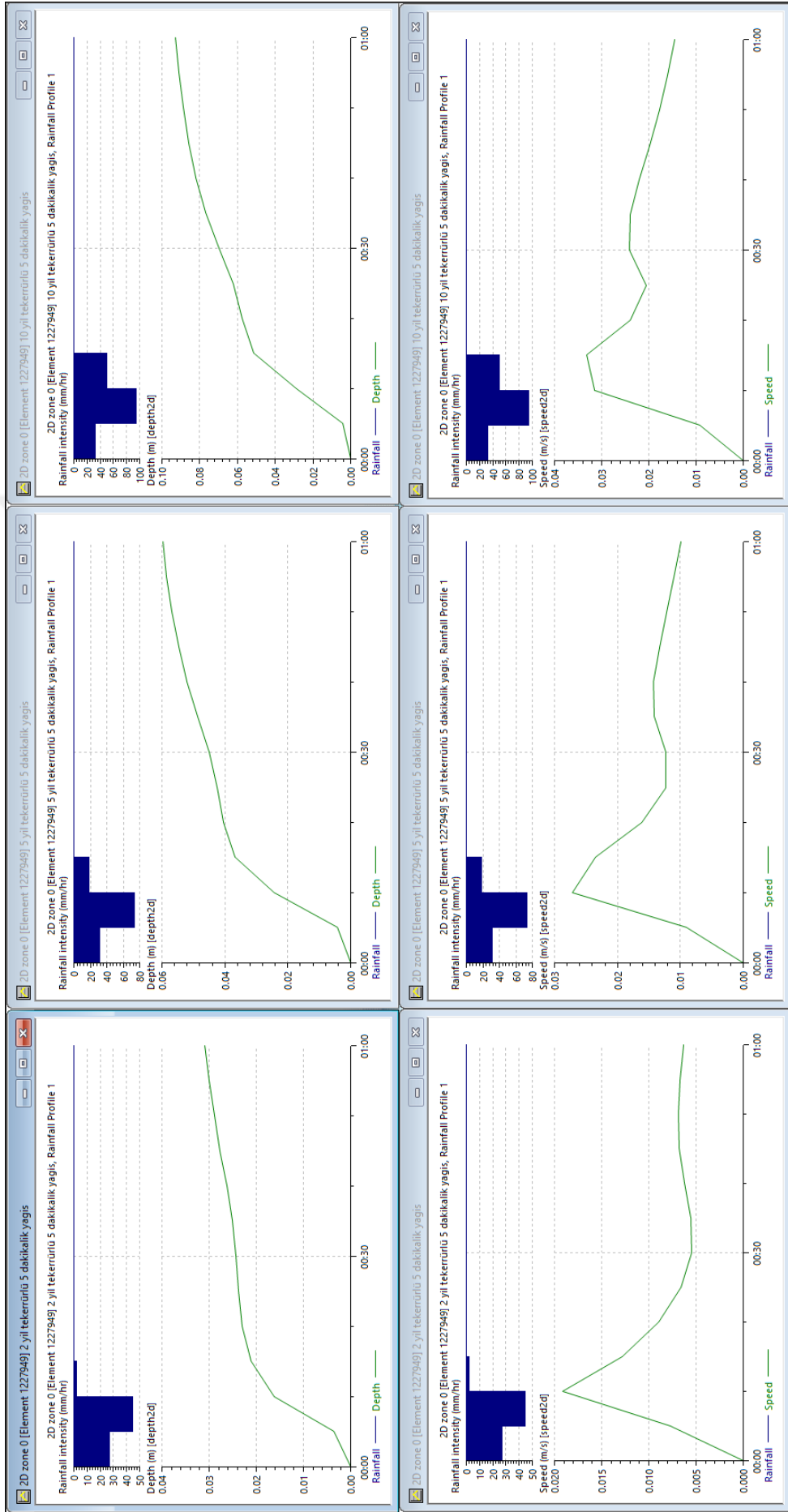
7.1.4 Derinlik-zaman ve hız-zaman grafiklerinin tekerrür aralığı ve yağış süresine göre analizi

InfoWorks ICM programı analiz sonucunda derinlik, debi, hacim, hız gibi birçok değişkenin zamana bağlı değişimini grafik ve tablo halinde görmeye imkan sağlamaktadır. Bu grafik ve tablolardan değişkenler arasındaki ilişki yakından incelenebilmektedir. İnceleme sonucunda taşkın davranışına ait çeşitli tahminler yapılabilmektedir. Arazi kullanım türlerinin yağışa bağlı etkilerinin incelenmesi için rastgele bölgelerden alınan üçgenlerin grafik ve tablo değerleri incelenmiştir (Şekil 7.57-7.58-7.59-7.60).

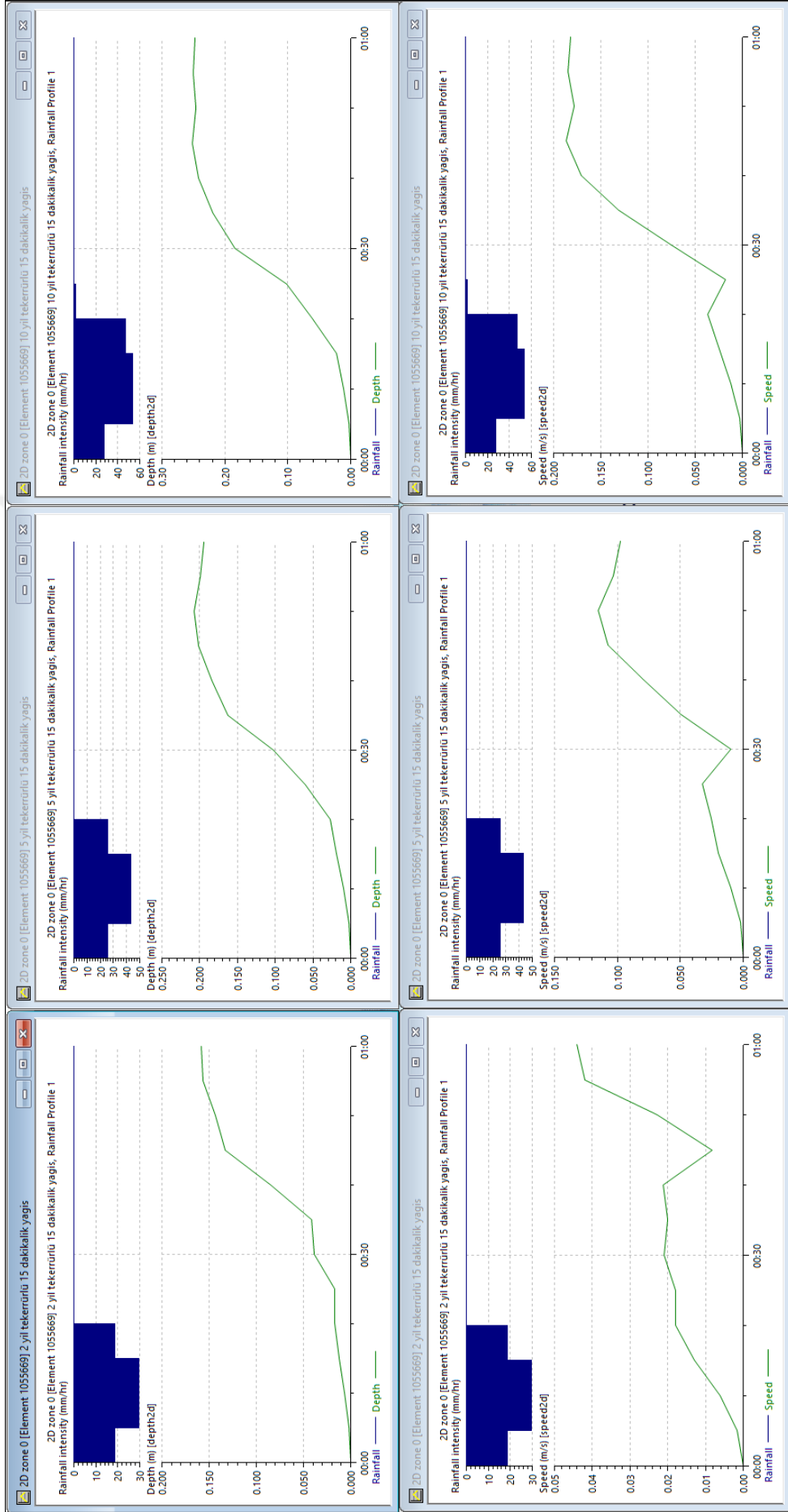




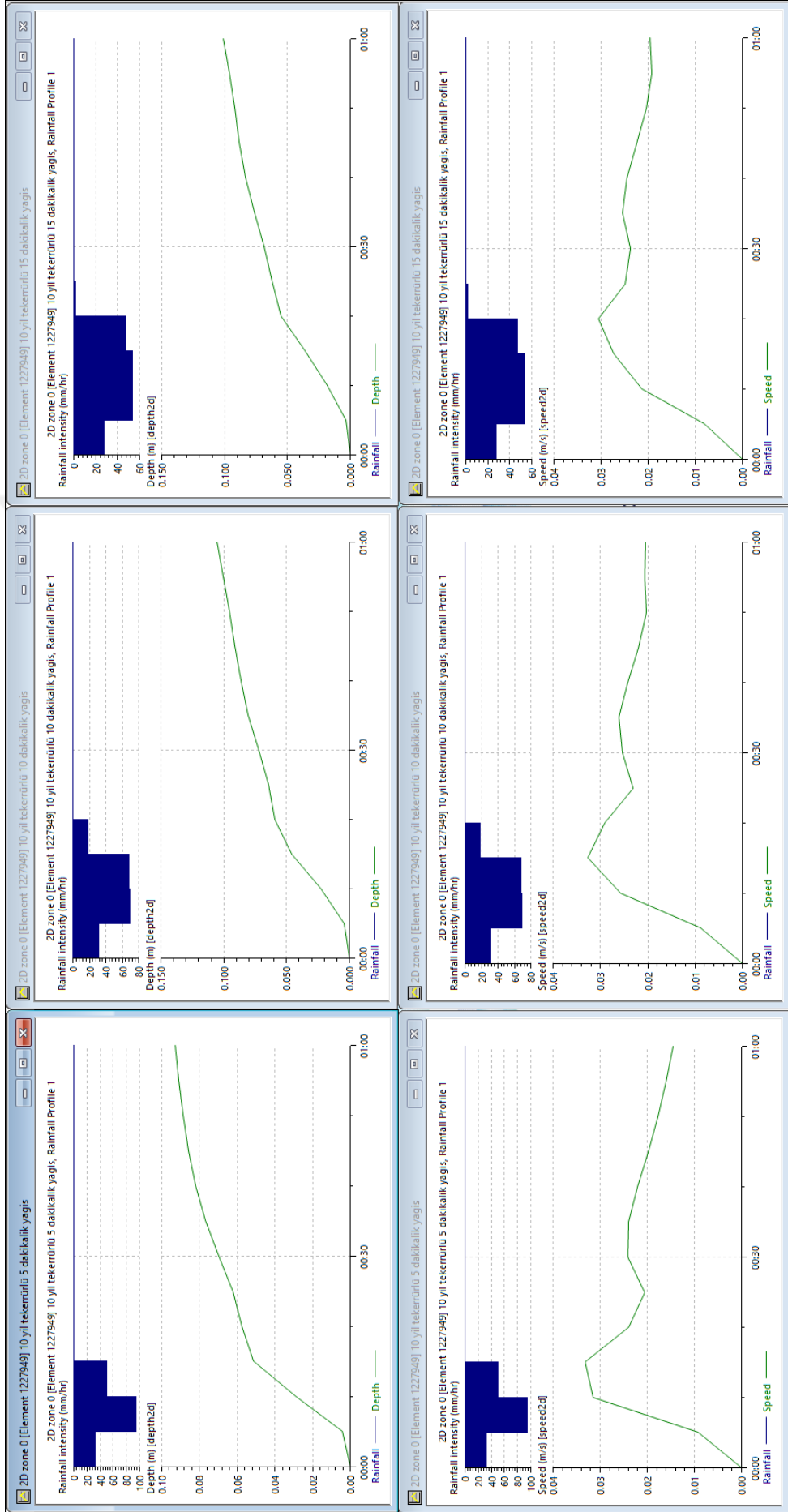
Şekil 7.57 : 501714 numaralı ve 0,013 Manning's n değerine sahip üçgenin farklı tekrür aralıklarında, aynı yağış süresine göre derinlik-zaman, hız-zaman grafikleri



Şekil 7.58 : 1227949 numaralı ve 0,013 Manning' s n değerine sahip üçgenin farklı tekrür aralıklarında, aynı yağış süresine göre derinlik-zaman, hız-zaman grafikleri



Şekil 7.59 : 1055669 numaralı ve 0,08 Manning's n değerine sahip üçgenin farklı tekrür aralıklarında, aynı yağış süresine göre derinlik-zaman, hız-zaman grafikleri



Şekil 7.60 : 1227949 numaralı ve 0,013 Manning' s n değerine sahip üçgenin aynı tekrür aralıklarında, farklı yağış süresine göre derinlik- zaman, hız-zaman grafikleri

Derinlik-zaman ve hız-zaman grafiklerine göre:

Şekil 7.57 için:

- Yağış şiddetinin artmasına bağlı olarak tekerrür aralığı arttıkça derinliğin arttığı görülmektedir.
- Tüm tekerrür aralıkları için de yağış bitiminden sonra akış devam etmiş ve buna bağlı olarak derinliğin zamanla arttığı görülmektedir.

Şekil 7.58 için:

- Yağış şiddetinin artmasına bağlı olarak tekerrür aralığı arttıkça derinliğin arttığı görülmektedir.
- Yağış anında, hızın da derinliğin de arttığı görülmektedir.
- Yağış bitiminden sonra hızın zamanla azalması ile derinlikte git gide doğrusal bir hal alarak sabit bir değere doğru yaklaştığı görülmektedir.
- 2 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağışın 10. dakikasında diğer tekerrür aralıklarına göre hızın en yüksek derinliğin en az olduğu görülmektedir.

Şekil 7.59 için:

- Yağış şiddetinin artmasına bağlı olarak tekerrür aralığı arttıkça derinliğin arttığı görülmektedir.
- Hız-zaman grafiğinde görülen ani düşüş tekerrür aralığı arttıkça yağış anına yaklaştığı görülmektedir.
- Hız-zaman grafiğindeki artış eğiminin düşüklüğünün, arazinin geçirgen bir yapıya sahip olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.
- Hız-zaman grafiğinde ani bir düşüşten sonra ki ani yükselişin nedeni, yeni bir akışın başlamış olabileceği, yeni bir akışın dahil olabileceği veya toprağın doymun hale geldiğinden dolayı olabileceği düşünülmektedir.

Şekil 7.60 için:

- Aynı tekerrür aralığı, farklı yağış şiddetlerinin hız-zaman grafikleri neredeyse birbirinin aynısı olduğu görülmektedir.
- Hız-zaman grafiklerinin yağış bitiminden sonra azalıp daha sonra tekrar arttığı görülmektedir.
- Derinlik-zaman grafiklerinin seyrinin birbirine çok benzer olduğu görülmektedir.

8.SONUÇ VE ÖNERİLER

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 2, 5 ve 10 yıl tekerrür aralıkları için 5,10 ve 15 dakikalık yağış süreleri ile 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 edebildiği görülmektedir.
- 6 ve 7 numaralı yağmursuyu drenaj sistemlerinde bulunan ters eğime sahip borular, suyu kendi bünyesinde bir miktar biriktirdiği için, sonraki yağışlarda taşkına sebebiyet verebileceği düşünülmektedir. Eğime bağlı drenaj sistemlerinde zorunlu olmadıkça taşkına sebebiyet vereceği için ters eğimden kaçınılmalıdır.
- Üçgenleme sonucu elde edilen üçgenlerde, yaşam alanına yakın bölgelerde su derinliğinin 50 cm'yi aştığı bölgeler gözlemlenmektedir. Can ve mal kaybına sebebiyet verecek bu riski geç olmadan minimize edecek önlemler alınabileceği düşünülmektedir.
- Araziden elde edilen üçgenlerin, derinlik-zaman ve hız-zaman grafiklerine bakarak geçirgen veya geçirgen olmayan araziler hakkında fikir elde edilebilir. Bu gibi verilerle imara açılacak bölgelerin taşkın durumu incelenebilir.
- 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 ktlğı problemi olduğundan, yeni kaynak arama ihtiyaını azaltacak yağmursuyu hasadı için çalışmalar yapılabilir. krtme baca, depo gibi yağmursuyunun toplanıp tekrar kullanılmasını sağlayacak sistemler yapılabileceği düşünülmektedir.
- Şebeke yenileme veya yağmursuyu hasadı çalışmaları başlangıçta maliyetli olarak görülse de sürdürülebilir bir şehir için maddi ve manevi birçok faydası olacağı dşnlmektedir.



9.KAYNAKLAR

- Alcrudo, F., Mulet-Marti, J. (2005).** Urban inundation models based upon the Shallow Water equations. Numerical and practical issues. Proceedings of finite volumes for complex applications IV. Problems and perspectives, 3-1.
- Alhumaid, M., Ghumman, A.R., Haider, H., Al-Salamah, I.S., Ghazaw, Y.M., (2018).**Sustainability Evaluation Framework of Urban Stormwater Drainage Options for Arid Environments Using Hydraulic Modeling and Multicriteria Decision-Making.*Water* 2018. doi:10.3390/w10050581
- Angrill, S., Farreny, R., Gasol, C.M., Gabarrell, X., Vinolas, B., Josa, A., Rieradevall, J., (2011).** Environmental analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean climate. doi 10.1007/s11367-011-0330-6.
- Cherqui, F., Belmeziti, A., Granger, D., Sourdril, A., Gauffre, P.L., (2015).** Assessing urban potential flooding risk and identifying effective risk-reduction measures. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.027>
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017).** Yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemleri hakkında yönetmelik. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170623-8.htm>
- Fortunatoa, A., Oliveria, E., Mazzolaa, M.R., (2014).** Selection of the Optimal Design Rainfall Return Period of Urban Drainage Systems. *Article in Procedia Engineering*. doi:10.1016/j.proeng.2014.11.502.
- Ghazavi, R., Rabori, A.M., Reveshty, M.A., (2016).** Modelling and Assessment of Urban Flood Hazards Based on Rainfall İntensity-Duration-Frequency Curves Reformation. doi:10.5194/nhess-2016-304, 2016

- Golz, S., Schinke, R., Naumann, T., (2015).** Assessing the effects of flood resilience technologies on building scale. *Urban Water Journal*.
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.939090>
- Gomez et al. (1992).***Hydraulic Engineering Software IV, Fluid Flow Modelling*
- Haghighi, A., Bakhshipour, A.E., (2012).** Optimization of Sewer Networks Using an Adaptive Genetic Algorithm. doi 10.1007/s11269-012-0084-3
- Hamidreza, S., Geranmehr, M.A., (2016).** Optimization of sewer networks using the mixed-integer linear programming.
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1176222>
- Laouacheria, F., Kechida, S., Chabi, M., (2019).** Modelling the impact of design rainfall on the urban drainage system by Storm Water Management Model. doi: 10.2478/jwld-2019-0013
- Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexiou, S.M., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., Kossieris, P., (2018).** An Operational Method for Flood Directive Implementation in Ungauged Urban Areas. doi:10.3390/hydrology5020024
- Jang, J.H., Hsieh, C.T., Chang, T.H., (2019).** The importance of gully flow modelling to urban flood simulation. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1669198>
- Kadioğlu, M. (2019).** *Kent selleri yönetim ve kontrol rehberi.*
- Karovic, O., Mays, L.W., (2014).** Sewer System Design Using Simulated Annealing in Excel. doi 10.1007/s11269-014-0750-8
- Kılıç, S. (2018).** Kentsel alanlarda drenaj sistemlerinde risk bölgelerinin belirlenmesi: Malatya ili örneği. *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

- Korving , H., Noortwijk, J.M.V., Van Gelder, P.H.A.J.M., Clemens, F.H.L.R.,(2009).** Risk-based design of sewer system rehabilitation. <http://dx.doi.org/10.1080/15732470601114299>
- Lee, J., Chung, G., Park, H., Park, I., (2018).** Evaluation of the Structure of Urban Stormwater Pipe Network Using Drainage Density. doi:10.20944/preprints201807.0168.v2
- Malatya İl Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2021).** İklim ve Bitki Örtüsü. <https://malatya.ktb.gov.tr/TR-58266/iklim-ve-bitki-ortusu.html>
- Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi. (2021).** Malatya ve su. <http://www.maski.gov.tr/sayfa.asp?id=282>.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2021).** Maksimum yağışlar şiddet ve tekerrür analizleri [.https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/maksimum-yagislar.aspx](https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/maksimum-yagislar.aspx).
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2021b).** Meteorolojik karakterli doğal afetler - Sel ve taşkınlar [.http://www1.mgm.gov.tr/arastirma/dogal-afetler.aspx?s=taskinlar](http://www1.mgm.gov.tr/arastirma/dogal-afetler.aspx?s=taskinlar).
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2021a).** Standart zamanlardaki maksimum yağışlar ve tekerrür analizi. <https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=6>.
- Miao, X., Lv, M., Liang, F., Jiao, C., Wang, L., (2018).** Diagnose Urban Drainage Network Problem Based on Internet of Things and Big Data. *MATEC Web of Conferences* 246,02024. <https://doi.org/10.1051/mateccconf/201824602024>
- Ogidan, O., Giacomoni, M., (2016).** Multiobjective Genetic Optimization Approach to Identify Pipe Segment Replacements and Inline Storages to Reduce Sanitary Sewer Overflows. doi 10.1007/s11269-016-1373-z

- Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexiou, 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., Maksimovic, C., (2016).** Semi- vs. Fully-Distributed Urban Stormwater Models: Model Set Up and Comparison with Two Real Case Studies. doi:10.3390/w8020058
- Pina, R.D., Ochoa-Rodriguez, S., Simões, N.E., Mijic, A., Marques, A.S., Maksimovic, C., (2014).** Semi-distributed or fully distributed rainfall-runoff models for urban pluvial flood modelling? <https://www.researchgate.net/publication/278939489>
- Shimabuku, M., Diring, S., Cooley, H., (2018).** Stormwater Capture in California: Innovative Policies and Funding Opportunities.
- Steele, J.C., Mahoney, K., Karovic, O., Mays, L.W., (2016).** Heuristic Optimization Model for the Optimal Layout and Pipe Design of Sewer Systems. doi 10.1007/s11269-015 -1191-8
- Stephenson, V., D'Ayala, D., (2014).** A new approach to flood vulnerability assessment for historic buildings in England. doi:10.5194/nhess-14-1035-2014
- Tanrıverdi, O., (2018).**Modern Kentsel Yağmursuyu Drenaj Uygulaması: Adana İli Örneği.
- The Wallingford Procedure: Design and Analysis of Urban Storm Drainage. (1983).** Department of Environment. National Water Council. Standing Technical Committee Reports No 28.
- Weng, H.T., Liaw, S.L., (2011).** An optimization model for urban sewer system hydraulic design. <http://dx.doi.org/10.1080/02533839.2007.9671228>

www.innovyze.com. Erişim: 2021.

www.uni-yaz.com. Erişim: 2021. InfoWorks ICM, bütnleşik havza modellemesi.
<https://www.uni-yaz.com/projects/butunlesik-havza-modellemesi/>

Xu, Z., Zhao, G., (2016). Impact of Urbanization on Rainfall-Runoff Processes: Case Study in the Liangshui River Basin in Beijing, China. *7th International Water Resources Management Conference of ICWRS*

Yanalak, M. Erişim: 2021. Yüzey modellemede Üçgenleme yntemleri.
<https://www.harita.gov.tr/uploads/files/articles/yuzey-modellemede-ucgenleme-yontemleri-999.pdf>

Yen, B. C. (1973). Open-channel flow equations revisited. *Journal of the engineering mechanics division*, 99(5), 979-1009.

Zhu, Z., Chen , Z., Chen, X., He, P., (2016). Approach for evaluating inundation risks in urban drainage systems. *Science of the Total Environment* 553 1–12.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.025>.

ÖZGEÇMİŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014 - 2018, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : Devam ediyor, İnönü Üniversitesi, Hidrolik Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2020- Atatürk Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

- **Cirag, B., Firat, M., Aydın, O.(2021, May)**. Analysis of the Flood Performance of Stormwater Drainage Systems for Different Return Periods. 4th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism (ICCAUA-2021).