

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARADENİZ SAHİL YOLU ÖRNEĞİNDE KARAYOLU HİDROLOJİSİNİN JEO
TEKNOLOJİLER DESTEĞİ İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep AKBULUT

ARALIK 2015

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜDENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARADENİZ SAHİL YOLU ÖRNEĞİNDE KARAYOLU HİDROLOJİSİNİN JEO
TEKNOLOJİLER DESTEĞİ İLE ANALİZİ**

Zeynep AKBULUT

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 / 12 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 28 / 12 / 2015

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Çetin CÖMERT

Trabzon 2015

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalında
Zeynep AKBULUT Tarafından Hazırlanan**

**KARADENİZ SAHİL YOLU ÖRNEĞİNDE KARAYOLU HİDROLOJİSİNİN JEO
TEKNOLOJİLER DESTEĞİ İLE ANALİZİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08 / 12 / 2015 gün ve 1630 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Çetin CÖMERT

.....

Üye : Doç. Dr. Oğuz GÜNGÖR

.....

Üye : Doç. Dr. Halil AKINCI

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Karadeniz Sahil Yolu Örneğinde Karayolu Hidrolojisinin Jeo Teknolojiler Desteği İle Analizi” başlıklı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek, tez çalışmam boyunca bana güvenen ve en kötü zamanlarımda dâhil yanımda olan, öngörüsüne, bilimsel çalışmalara bakış açısına, olayları değerlendirerek çözümler üretme kabiliyetine ve yönlendirmesine hayranlık duyduğum ve hem çalışma prensibi olarak hem de insani değerlerini ve özelliklerini örnek aldığım çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Çetin CÖMERT’e sonsuz teşekkür ederek, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Çalışma kapsamında kullanmış olduğum verilerin temini konusunda yardımcı olarak önerilerde bulunan, bilgi ve birikimlerinden faydalandığım değerli hocam Sayın Doç. Dr. Fevzi KARSLI’ya ve Karayolları 10. Bölge Müdürlüğünde çalışan Harita Mühendisi Sayın Abdullah ERGİN’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca lisans hayatım boyunca her türlü bilgi, birikim ve önerileri ile üzerimde emeği olan ve yüksek lisans hayatım boyunca da deneyim ve görüşlerini benden esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan Tahsin BOSTANCI’ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca benden desteğini esirgemeyen, kıymetli bilgilerinden faydalandığım ve her zaman yanımda olan değerli arkadaşım Arş. Gör. Samed ÖZDEMİR’e sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak çalışmamın her aşamasında desteklerini gördüğüm değerli arkadaşım Arş. Gör. Ziya USTA’ya ve değerli hocam Dr. Deniztan ULUTAş’a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca benden maddi-manevi desteklerini esirgemeyen ailemin her bir üyesine ayrı ayrı teşekkür ederim. Kaybettiğim çok değerli babam Osman AKBULUT’a ise sevgi ve özlem ile teşekkürlerimi sunuyorum.

Zeynep AKBULUT

Trabzon 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Karadeniz Sahil Yolu Örneğinde Karayolu Hidrolojisinin Jeo Teknolojiler Desteği İle Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Çetin CÖMERT’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28/12/2015

Zeynep AKBULUT

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Problemin Tanımı	3
1.3. Çalışmanın Amacı	4
1.4. Metodoloji	5
1.5. Hydroplaning (Aquaplaning)	6
1.6. Hidrolojik Modelleme	8
1.6.1. Deterministik Modeller	9
1.6.2. Stokastik Zaman Serisi Modelleri	10
1.6.3. Birleşik Stokastik-Deterministik Modeller	11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	12
2.1. Kent Hidrolojisi	12
2.2. Yağış Akış Modeli	14
2.3. Karayolu Örneğinde Hidrolojik Modelleme	21
2.3.1. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler	21
2.3.2. Meteorolojik Veri	22
2.3.3. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	25
2.3.4. Modelin Seçimi	31
2.3.5. FLO-2D Modelinin Tanımlanması	34
2.3.6. Uygulama	41
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	50

4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
5.	KAYNAKLAR	64
6.	EKLER	71

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KARADENİZ SAHİL YOLU ÖRNEĞİNDE KARAYOLU HİDROLOJİSİNİN JEO
TEKNOLOJİLER DESTEĞİ İLE ANALİZİ

Zeynep AKBULUT

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Çetin CÖMERT
2015, 70 Sayfa, 6 Ek Sayfalar

Taşkınlar, çevreye ve insan hayatına verdikleri zararlar göz önüne alındığında yönetilmesi, kontrol edilmesi ve erken önlem alınması gereken afetlerdir. Kentsel hayatın akışını sağlayan karayolları ise, kent içi taşkınlar ve aşırı yağmur sularından etkilenen ayrı bir varlık olarak ele alınıp incelenmesi gereken kentsel yapılardır. Mevcut drenaj sistemlerinin yetersiz kalması ile karayolu üzerinden uzaklaştırılmayan yağmur suları, araçları sarsmakta ve kontrollerini kaybettirerek trafik kazalarına neden olmaktadır. Bu kazaların en aza indirilebilmesi için öncelikli olarak karayolu üzerindeki su birikim alanlarının ve su derinliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, FLO-2D Basic Modeli (2009) kullanılarak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üzerinden hidrolojik ve meteorolojik veriler ile Karadeniz sahil yolunun bir bölümünde hidrolojik modelleme yapılmıştır. Bu çalışma ile Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), yolların projelendirilmesi aşamasında yol yüzeyini gerçeğe yakın bir şekilde temsil eden SYM ile yağışı simüle ederek su birikmemesi için gerekli olan enine ve boyuna eğim oranlarını belirleyebilecek veya daha fazla su birikiminin olduğu bölgelere daha büyük boyutlarda drenaj yapıları inşa ederek bu sorunu çözebilecektir. Böylece KGM, hidrolojik model üzerinden gerçekleştirilecek kontrol çalışmaları ile yolun mevzuatına uygun olup olmadığını kısa süre içinde denetleme imkânına sahip olacaktır. Ayrıca suyun birikim gösterdiği alanlar, karayolları için taşkın risk yönetiminde nerelere öncelik verilmesi gerektiğini de açığa çıkartacaktır.

Anahtar Kelimeler: FLO-2D, Hidrolojik Modelleme, Karayolu, Sayısal Yükseklik Modeli, Su Altında Kalan Alanlar, Su Derinliği.

Master Thesis

SUMMARY

ANALYZING HIGHWAY HYDROLOGY ON BLACK SEA COASTAL HIGHWAY
SUPPORTED WITH GEO TECHNOLOGIES

Zeynep AKBULUT

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatic Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Çetin CÖMERT
2015, 70 pages, 6 Appendix pages

Floods are natural disasters that must be managed, controlled and taken precautions before it happens considering the damage they inflicted to environment and human lives. As to highways, the main vein of urban life flow, must be taken into consideration as a different entity that affected by excessive rainfalls and floods. Due to inadequate drainage that allow rainfall to form water ponds on highways cause vehicles to lose control and that lead vehicles to have traffic accidents. To reduce the traffic accidents caused by ponding waters on highways we need to know area of inundation and water depths. In this context we used FLO-2D Basic Model (2009) to hydrological modeling of Black Sea Coastal Highway with meteorological and hydrological data using a Digital Elevation Model (DEM). In this study, ponding areas on highways determined by simulating the rainfall with a high resolution DEM that can represent the actual road surface correctly. With this information, General Directorate of Highways (GDH) can adjust the cross-sectional and longitudinal slope or build better and bigger drainage structures where water accumulated to prevent ponding. With the results obtained from Hydrological Model, GDH can rapidly control highways conformity to regulations before highways come into service. Also these ponding areas acquired by reveals where to prioritize in flood risk managements.

Key Words: FLO-2D, Hydrological Modeling, Highway, Digital Elevation Model, Area of Inundation, Water Depth.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Hydroplaning oluşumu.....	6
Şekil 2. Şehir içi yollarda hydroplaning.....	6
Şekil 3. Hidrolojik modellerin işlem tanımına göre sınıflandırılması	9
Şekil 4. Hidrolojik döngü.....	13
Şekil 5. Birleştirilmiş altyapı sistemi	13
Şekil 6. Trabzon - Zağnos Vadisi su basma alanları.....	14
Şekil 7. Havza hidrolojisi ve yüzeysel akışı etkileyen bazı parametreler	15
Şekil 8. Akış miktarını belirlemek için kullanılan yöntemler	16
Şekil 9. Kentleşmenin su döngüsünün farklı bileşenlerine etkisi	18
Şekil 10. Karadeniz Teknik Üniversitesi ortofoto üzerinden çalışma alanı sınırları	21
Şekil 11. Trabzon-Rize karayolunda havalimanı ile üniversite kavşağı civarında sel sularının karayolunda oluşturduğu taşkın	22
Şekil 12. Yolda araç ulaşımı güçlüğüyle sağlanırken vatandaşların mağduriyeti	22
Şekil 13. Sayısal Yüzey modeli ve sayısal arazi modeli arasındaki fark	25
Şekil 14. Progressive TIN Densification filtreleme metodu	30
Şekil 15. Filtreleme de atılan aykırı noktalar (mavi) ve mevcut yol yüzeyini oluşturan noktalar (kırmızı)	31
Şekil 16. 2D modelleri ile çözülmeye çalışılan parametreler	33
Şekil 17. Grid elemanı sınırlarındaki debi değişimi.....	36
Şekil 18. FLO-2D Sistemi.....	41
Şekil 19. FLO-2D simülasyon arayüzü.....	43
Şekil 20. FLO-2D yazılımı girdi parametreleri ve çıktılar.....	43
Şekil 21. Simülasyon koşum anı	44
Şekil 22. Maximum su yüzeyi yükseklikleri (Fotogrametrik Yöntem)	44
Şekil 23. Her pikseldeki akış derinlik miktarları (Fotogrametrik Yöntem)	45
Şekil 24. Elde edilen son akış derinlikleri (Fotogrametrik Yöntem)	45
Şekil 25. Maximum su yüzey yükseklikleri (İHA)	46
Şekil 26. Piksellerdeki son akış derinlikleri (İHA)	46
Şekil 27. Su altında kalan alanlar (Fotogrametrik Yöntem)	47
Şekil 28. Buharlaşma parametresi dikkate alınarak yapılan analiz sonucu su birikinti.....	48

Şekil 29. Su birikinti alanlarının gösterimi (İHA)	49
Şekil 30. Yol üzerindeki hydroplaning riski taşıyan alanlar (Fotogrametrik Yöntem).....	50
Şekil 31. Yol üzerindeki hydroplaning riski taşıyan alanlar (İHA)	51
Şekil 32. Maksimum hız değerleri (Fotogrametrik Yöntem).....	55
Şekil 33. Maksimum hız değerleri (İHA).....	55
Şekil 34. DEM çözünürlüğünün akış vektörlerine etkisi; soldaki 5 m ve sağdaki 15 çözünürlüğünde	60

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Ölümlü ve Yaralanmalı Trafik Kazalarına Etken Sürücü Kusurlarına Ait Bilgiler-2014.....	2
Tablo 2. Dağıtılmış Hidrolojik Modellerde Havza Ölçeğinde Gerekli Olan Minimum Parametreler.....	19
Tablo 3. Yüze Örtüsüne Göre Başlangıç Su Tutma Miktarları	20
Tablo 4. Yüzeysel Akış Manning Pürüzlülük Katsayıları	20
Tablo 5. Trabzon Meydan (17038) İstasyonu Aylık Maksimum Yağış Miktarları.....	23
Tablo 6. Trabzon Meydan (17038) İstasyonu Günlük Yağış ve Buharlaşma Miktarları ..	24
Tablo 7. ASPRS' e göre ölçek ve konumsal doğrulukları.....	27
Tablo 8. Düşey Doğruluk Gereksinimleri.....	28
Tablo 9. Fotogrametrik Yöntem ile Üretilen Yükseklik Verilerinin Doğruluk Standartlar.....	29
Tablo 10. İHA ile elde edilen verilerin yatay ve düşey doğrulukları	29
Tablo 11. Su altında kalan toplam alan değerleri(Fotogrametrik Yöntem).....	47
Tablo 12. Buharlaşma parametresi dikkate alınarak yapılan analiz sonucu su altında kalan toplam alan değerleri (Fotogrametrik Yöntem).....	48
Tablo 13. Toplam su birikinti alan değerleri (İHA)	49
Tablo 14. Su derinliğine göre önerilen araç hızı.....	51
Tablo 15. Grid Sistem Boyutu	56
Tablo 16. C akış katsayısının belirlenmesi	58

KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Alan
ASPRS:	: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
C	: Courant Number
cm	: santimetre
DEM	: Digital Elevation Model
DHI	: Danish Hydraulic Institute
DTM	: Digital Terrain Model
FHWA	: Federal Highway Administration
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GDS	: Grid Developer System
GPS	: Global Positioning System
HPS	: Hydroplaning speed
INS	: Inertial Navigation System
IMU	: Inertial Measurement Unit
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
km ²	: Kilometrekare
km/s	: Kilometre/saat
KOH	: Karesel Ortalama Hata
mph	: mile per hour
n	: Manning pürüzlülük katsayısı
NDEP	: National Digital Elevation Program
NSSDA	: National Standard for Spatial Data Accuracy
NMAS	: United States National Map Accuracy Standards
P	: Pressure
psi	: pound inch square
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SD	: Spindown Percentage
SY	: Sayısal Yüzey Modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli

TD	: Tread depth
TIN	: Triangulated Irrestrial Network
TXD	: Texture depth
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle
V	: Hz
Q	: Debi
WD	: Water depth
WFT	: Water film thickness

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Taşkınlar, kısa süre içinde meydana getirdikleri hasarlar ve ekonomik kayıplar açısından Federal Acil Durum Yönetim Ajansı'na (FEMA) göre, kuraklıktan sonra dünyanın en yaygın ikinci doğal felaketidir (Karamouz, 2010). Aşırı yağmur, ani kar erimesi, barajdan kontrolsüz su bırakılması gibi olaylar taşkınların ana nedenleridir (Sargın, 2013). Taşkın alanlarının tahmini ile taşkın durumunda meydana gelebilecek hasarların tespit edilebilmesi için taşkın simülasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Taşkın simülasyon çalışmalarının odak noktası su altında kalan yerleri, su derinliğini ve taşkın süresini hassas bir biçimde belirlemektir (Garcia, 2004; Sanyal vd., 2006). Taşkın anında su altında kalabilecek yerlerin önceden belirlenmesi ve buna göre tedbir alınması zararları en aza indirmektedir (Sargın, 2013).

Taşkın simülasyon çalışmaları genellikle nehir yataklarının tarım alanları ve kentiçi yerleşim alanları üzerine olan etkisini incelemektedir. Özellikle kentiçi taşkın olaylarında bina girişlerinde, sokak, cadde, kaldırımlarda ve karayollarında biriken sular insan hayatını olumsuz yönde etkilemektedir. Aşırı yağmur veya farklı nedenlerden dolayı karayolu üzerinde biriken sular kentiçi ulaşımını aksatarak, meydana gelen su yoğunluğuna bağlı olarak ölümlü veya yaralanmalı birçok kazaya sebebiyet vermektedir. Karayolları diğer kentsel yapılardan ayrı olarak ele alındığında, aşırı yağmurlu havalarda meydana gelen trafik kazalarının en aza indirilebilmesi için karayollarında da taşkın simülasyonlarına olan gereksinim açığa çıkmaktadır. Trafik kazaları ve beraberinde getirdiği maddi ve manevi zararlar ise ülke sorunlarının halen başında gelmektedir.

Federal Karayolu İdaresi'ne (FHWA) göre, Amerika'da yıllık 1,561,00'den fazla trafik kazalarından %24'i olumsuz hava koşullarından kaynaklanmaktadır. Her yıl bu kazalarda yaklaşık 673,000 kişi yaralanmakta ve 7,400 kişi hayatını kaybetmektedir. Kaza sıklığı, oranı ve şiddeti bakımından yağmurlu hava koşullarının karlı hava koşullarına göre daha tehlikeli olduğu belirtilerek, hava koşullarından kaynaklanan kazalardan çoğunun yağmurlu havalarda ve ıslak zeminde meydana geldiği belirlenmiştir (Pisano vd., 2008). Yağmur, yıl boyunca ülke genelinde görülebilirken kar ve buz senenin sadece bir mevsiminde ve belirli bölgelerde görülmektedir. Ülkemizde bu konuda geniş çaplı bir

araştırma yapılmamakla beraber Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) sorumluluğundaki yol ağında meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarında sürücüye ait kusurlar incelendiğinde aracın hızının yol, hava ve trafiğin gerektirdiği şartlara uyduramamak sorunsalının yerleşim yerlerinde % 37,12 ve yerleşim dışı alanlarda %53,14 olduğu Tablo 1’de görülmektedir. Özellikle yerleşim alanlarında meydana gelen kazaların büyük bir kısmının yağışlı hava şartlarında meydana geldiği yukarıdaki nedenlere bağlı olarak söylenebilir.

Tablo 1. Ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarına etken sürücü kusurlarına ait bilgiler-2014 (KGM, 2014).

Sürücüye Ait Kusurlar	Yerleşim Yeri		Yerleşim Yeri Dışı		TOPLAM	
	Kusur Sayısı	%	Kusur Sayısı	%	Kusur Sayısı	%
Araç hızını yol hava ve trafiğin gerektirdiği şartlara uyduramamak	47.558	37,12	24.750	53,14	72.308	41,39
Kavşak geçiş önceliğine uymamak	20.520	16,01	2.123	4,56	22 643	12,96
Manevraları düzenleyen genel şartlara uymamak	6.111	4,77	6.173	13,25	12284	7,03
Arkadan çarpmak	8.584	6,70	3.390	7,28	11.974	6,85
Doğrultu değiştirme (dönüş) kurallarına uymamak	9.934	7,75	1.413	3,03	11.347	6,49
Trafik güvenliği ile ilgili diğer kurallara uymamak	3.646	2,85	1.776	3,81	5.422	3,10
Kurallara uygun olarak park etmiş araçlara çarpmak	5.138	4,01	255	0,55	5.393	3,09
Taşıt giremez trafik işareti bulunan yerlere girmek	3.572	2,79	824	1,77	4.396	2,52
Alkolü olarak araç kullanmak	2.863	2,23	1.404	3,01	4.267	2,44
Kırmızı ışık veya görevlinin dur işaretine uymamak	3.188	2,49	257	0,55	3.445	1,97
Şeride tecavüz etme	2.216	1,73	635	1,36	2.851	1,63
Aşırı hızla araç kullanmak	1.567	1,22	840	1,80	2.407	1,38
Geçme yasağı olan yerlerden geçmek	854	0,67	277	0,59	1.131	0,65
Yaya ve okul geçitlerinde yavaşlamamak, yayalara geçiş hakkı vermemek	944	0,74	15	0,03	959	0,55
Hatalı şekilde veya yasak olan yerlere park etmek	371	0,29	437	0,94	808	0,46
Yolcu indirme ve bindirme kurallarına uymamak	532	0,42	13	0,03	545	0,31
Bisiklet, M.bisiklet ve Motosikletleri kurallara uymadan sürmek	420	0,33	28	0,06	448	0,26
Eksik, bozuk veya uygun olmayan araç donanımıyla araç kullanmak	186	0,15	244	0,52	430	0,25
Kaza mahallinde durmamak, gerekli tedbirleri almamak ve yetkililere bildirmemek	231	0,18	129	0,28	360	0,21
Tehlikeli veya aşırı şekilde yükleme yapmak	171	0,13	139	0,30	310	0,18
Diğer	9.530	7,44	1.450	3,11	10.980	6,28
TOPLAM	128.136	100	46.572	100	174.708	100

Aşırı yağmur, drenaj yapılarının yetersiz kaldığı durumlarda yollarda su birikmesine neden olup araç trafiği için tehlike oluşturarak can ve mal kayıplarına neden olan kazalara yol açmaktadır. Bunun yanında biriken sular yolun üst yapısına da zarar vererek yolun ekonomik ömrünü kısaltmaktadır. Zaman içerisinde yol yüzeyinde oluşan değişimlerin belirli aralıklarla izlenerek kontrol edilmesi, buna bağlı olarak su birikim alanlarının tespit edilerek tehlike arz eden yerlere müdahale edilmesi gerekmektedir. Ancak çoğu zaman bu izleme faaliyetleri, can ve mal kayıplarına neden olduktan sonra yapılmaktadır. Çünkü yol her ne kadar suyun drenajı için gerekli olan enine ve boyuna eğim oranlarına göre inşaa edilmiş olsada zamanla deforme olan yol yüzeyindeki değişimler eğimi de etkileyerek daha fazla su birikmesine neden olabilecektir. Bu çalışmada aşırı yağış durumlarında yol üzerinde araç trafiğine risk oluşturan bölgelerin önceden tespit edilebilmesi için, yol mikro yapısını yansıtan Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) ve bölgesel meteoroloji istasyonlarından elde edilen meteorolojik veriler ile yağış akış simülasyonu yapılmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda araç trafiğine risk oluşturabilecek su tabakası kalınlıkları ve alan sınırları belirlenmiştir.

Bu alanlarda meydana gelebilecek su sıçramasından kaynaklanan görüş azalması, yolun kayganlaşması veya araçların hızlarını kontrol edememeleri sonucunda tehlikeli tork (dönme momenti) seviyesine ulaşarak kontrollerini tamamen kaybetmeleri gibi kazalara sebebiyet veren durumları (Brown vd., 2001) en aza indirebilmek için mevcut durum tespiti yapılmış ve araçların su biriken alanlara giriş anındaki kritik hız sınırları incelenmiştir.

1.2. Problemin Tanımı

Kentsel alanlarda meydana gelen taşkınlar ve ani su baskınları günlük yaşantıyı olumsuz yönde etkilemektedir. Yol üzerinde biriken sular seyir halindeki araçlar ve sürücüleri için sorun teşkil ederek trafikte aksaklıklara yol açmaktadır. Biriken sular sonucunda yollar kapanarak şehir de ulaşım sağlanamaz hale gelmektedir ve şehrin altyapı sistemi zarar görmektedir. Dahası, yüksek hız ile hareket eden bir aracın yol üzerinde oluşan su birikintilerine girmesi durumunda lastikle yol yüzeyi arasına su girmekte (hydroplaning) ve araçların kaymasına, savrulmasına sebep olmaktadır.

Karayolları Kesin ve Ön Projeleri Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi'nde (2014), yolların yatay ve düşey hatları belirlenirken güzergâh çalışmalarında; geometrik

standartları, yol drenajı, tali yol, kavşak yerleri ve park alanları, bakım ve işletim şartları, trafik güvenliği ve yolun geleceğe yönelik planlaması gibi hususların dikkate alınarak planlanmasından bahsedilmektedir. Fakat yolların geleceğe yönelik planlanması yerine mevcut drenaj sistemi korunarak üzerine yeni yollar inşa edilip sadece o güne özgü çözüm üretilerek gelecekteki durum göz ardı edilmektedir.

Yol dokusu ve drenaj sisteminde meydana gelen hasarlar ve biriken sular nedeniyle trafiğin aksaması, çalışılan bölgenin coğrafi olarak sürekli etkin yağışlara maruz kalması artı olarak denetim, kontrol, bakım çalışmalarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Ülkemizde şehiriçi yollardan Karayolları Bölge Müdürlükleri ve Belediye sınırı içinde kalan yollardan ilgili Belediyeler, şehirlerarası yollardan ise Karayolları Genel Müdürlüğü sorumludur. Şehiriçi ve şehirlerarası yollarda, trafiğin tüm hava şartlarında güvenli bir şekilde sürdürülebilmesi için karayollarının ve karayoluna ait yapıların mevzuatına uygun projelendirilmesinden uygulama bitene kadarki süreç içinde, sorumlu kurum ve kuruluşlar tarafından sürekli olarak kontrol edilmesi ve bittikten sonra da bakımlarının belirli periyotlarda düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Fakat her koşulda güvenirliliğin sağlanması konusunda hem sorumlu kurum ve kuruluşlar yetersiz kalmakta hem de iş birliği içinde birlikte hareket etmemektedirler.

Yol üzerinde biriken suları önleyebilmek veya en aza indirebilmek için yağışın güncel yol yüzeyini yansıtan veriler üzerinden simüle edilmesi, meydana gelebilecek risklerin önceden tespit edilerek herhangi bir hasar ile karşılaşmadan önce erken önlem alınabilmesini mümkün kılacaktır. Ayrıca KGM ve Bölge Müdürlükleri yolların mevzuatına uygun olarak yapılıp yapılmadığının kontrolü konusunda yetersiz kalmakta ve bunun sonucunda da meydana gelebilecek kaza riskleri artmaktadır. Bu çalışma ile hem Karayolları Müdürlüklerinin sorumlulukları, yolu kullanıma açmadan önce yaptıkları kontroller ve aldıkları erken önlemler sonucunda azalacak hem de kötü hava koşulları dikkate alındığında ulaşım daha güvenli hale gelecektir.

1.3. Çalışmanın Amacı

KGM ve Bölge Müdürlükleri, yağmur sularının yol yüzeyinden uzaklaştırılmasını sağlayan enine ve boyuna eğim oranlarının belirlenmesi ile suyun deşarj olacağı drenaj sistemlerinin boyutlandırılması aşamalarında, yolların inşaatı sırasındaki denetleme, kullanıma açılmadan önce ve kullanım durumundaki periyodik kontrol çalışmalarında

eksik ve yetersiz kalmaktadır. Günümüzde hala yol yüzeyinde biriken sular bu eksikliklerin bir kanıtı olmaktadır. Yapılan hidrolojik modelleme ile karayolu üzerindeki su birikim alanları ve akış derinlikleri tespit edilerek, bu suların karayolu ulaşımını aksatmaması ve kazalara neden olmaması için gerekli olan enine ve boyuna eğim oranlarının veya drenaj yapılarının yeterli olup olmayacağını kontrolleri kolayca yapılabilir hale gelecektir. Böylece yolların, yüklenici firma tarafından teslim edilmeden önce Karayolları Müdürlüklerince denetlenerek meydana gelebilecek sorunların önüne geçilmesi mümkün hale gelecektir.

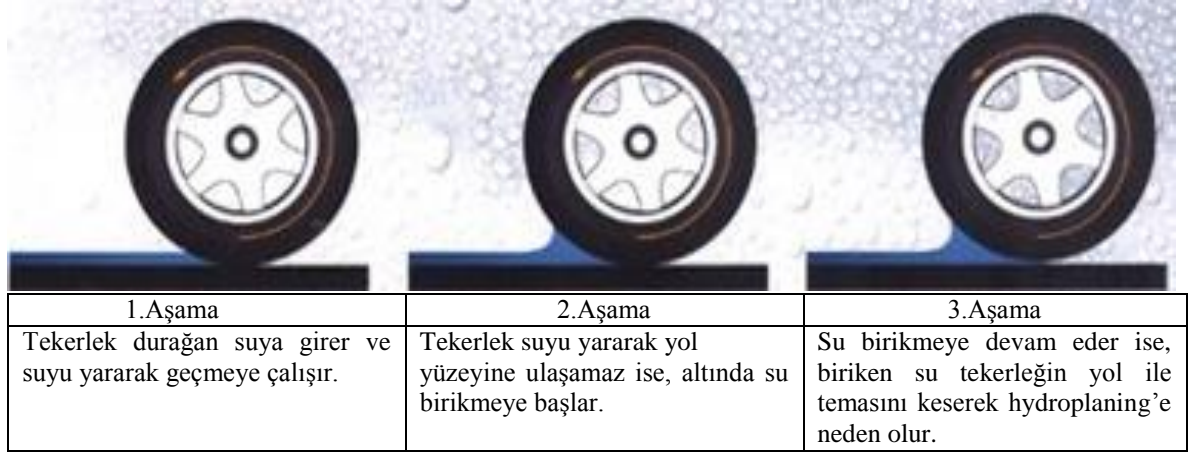
1.4. Metodoloji

Karayollarında su altında kalan alanların Jeo Teknolojiler yardımı ile belirlenerek hydroplaning oluşmasına neden olan yerlerin tespit edilerek, KGM'nin yolların projelendirilmesi, inşaatı ve kullanıma açıldıktan sonraki kontrol çalışmalarına kolaylık getirecek bir öneri niteliğinde yapılan çalışmamızda aşağıdaki işlem adımları izlenmiştir.

- Karayolu üzerindeki su birikimlerini önleyebilmek ve meydana getirebileceği kazaları en aza indirebilmek için mevcut durumun incelenmesi.
- Uygulama alanının seçilmesi.
- Uygulama alanındaki mikro topografik detayları belirleyebilecek çözünürlükte ve yeterli doğruluktaki SYM temini.
- Meteorolojik verilerin (yıllara göre günlük maksimum yağış ve buharlaşma miktarları ile günlük yağış devam saatleri) temin edilmesi.
- Uygulama bölgesine ait yüzey karakteristiklerinin belirlenmesi.
- Toplam yağmur kayıplarının (rainfall abstraction) hesaplanması.
- Çalışma için en uygun modelin seçilmesi.
- Modeldeki veri gereksinimlerinin tespit edilmesi ve temini (deşarj noktaları, refüj vb.).
- Meteorolojik ve hidrolojik verilere dayalı olarak jeo teknolojiler desteği ile simülasyonun çalıştırılması.
- Karayolu üzerinde su altında kalan yerlerin (area of inundation) ve su akış derinliklerinin belirlenmesi.
- Araçlar için hydroplaning'e sebep olan riskli bölgelerin tespit edilmesi.

1.5. Hydroplaning (Aquaplaning)

Hydroplaning, karayolu araçlarının yeteri kadar hızla su filmi üzerinden hareket ederken yol kaplaması (asfalt) ile tekerlek temasının azalması sonucu araçların yön kontrollerini kaybetmesi olarak tanımlanan doğal bir olaydır (Glennon, 2006).



Şekil 1. Hydroplaning oluşumu (URL-1, 2015)



Şekil 2. Şehiriçi yollarda hydroplaning (URL-2, 2015).

Hydroplaning'i etkileyen 3 temel faktör vardır. Bunlar; araç hızı, lastik diş derinliği ve su derinliğidir (URL-3, 2015). Aracın hızı arttıkça ıslak zeminde yol tutuşu (traksiyon) önemli ölçüde azalır. Hydroplaning traksiyon ve araç kontrolünün kaybedilmesi ile sonuçlandığından hızın azaltılması ve trafikte dikkatin artırılması ile kontrol altına alınabilir (URL-3, 2015). Lastiklerin aşınmış olması yani diş derinliğinin azalmış olması, su

derinliğinin artmış olması hydroplaning'e olan direnci azaltmaktadır. Fakat aracın lastiklerine ve hızına bağlı olarak ince bir su tabakası üzerinde de kısa sürede hydroplaning olma ihtimali yüksektir.

Hydroplaning'i etkileyen faktörler;

Yol faktörleri

- Yol kaplamasının mikro dokusu
- Yol kaplamasının makro dokusu
- Yol enine eğimi
- Karayolu sınıfı
- Yol genişliği
- Karayolunun kıvrımı
- Uzunlamasına girintiler

Çevresel Faktörler

- Yağış şiddeti
- Yağmur süresi

Sürücü faktörleri

- Hız
- İvme
- Frenleme
- Direksiyon kontrolü

Araç Faktörleri

- Lastik dişlerindeki aşınma
- Lastik basıncı
- Aracın cinsi (Glennon, 2015).

Tüm bu faktörler içinde hydroplaning oluşumunu etkileyen en önemli faktörler yol yüzeyindeki su derinliklerini meydana getiren çevresel faktörlerdir. Yağışlı hava koşullarındaki yüksek hız oranları kazaları direk olarak etkilemektedir. Tez çalışması kapsamında sadece çevresel faktörler dikkate alınarak genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Yağışların fazla olması, drenaj yetersizliği, yol tabakasının stabil olmaması, altyapı drenaj yetersizliği ve altyapının şartname esaslarına göre inşa edilmemesi, trafik yoğunluğu ve dingil yükünün fazla olması nedenleri ile tekerlek izlerinde oturmalar meydana gelerek yol kaplamasındaki su havuzlarını oluştururlar (KGM, 1998). Karayolu

üzerindeki tekerlerk izleri vb. mikro özelliklerin belirlenebilmesi için yüksek çözünürlüklü SYM kullanımı gerekmektedir. Zamansal olarak karayolları üzerindeki bu çökmeler, çukurlar, suyun birikmemesi için gereken enine ve boyuna eğim oranları kontrol edilerek hydroplaning'e sebebiyet verebilecek alanlar ve su derinliklerinin değişimleri tespit edilmelidir. Yol yüzeyindeki su birikimleri ve değişimlerinin belirlenebilmesi ise hidrolojik modelleme çalışmalarını gerektirmektedir.

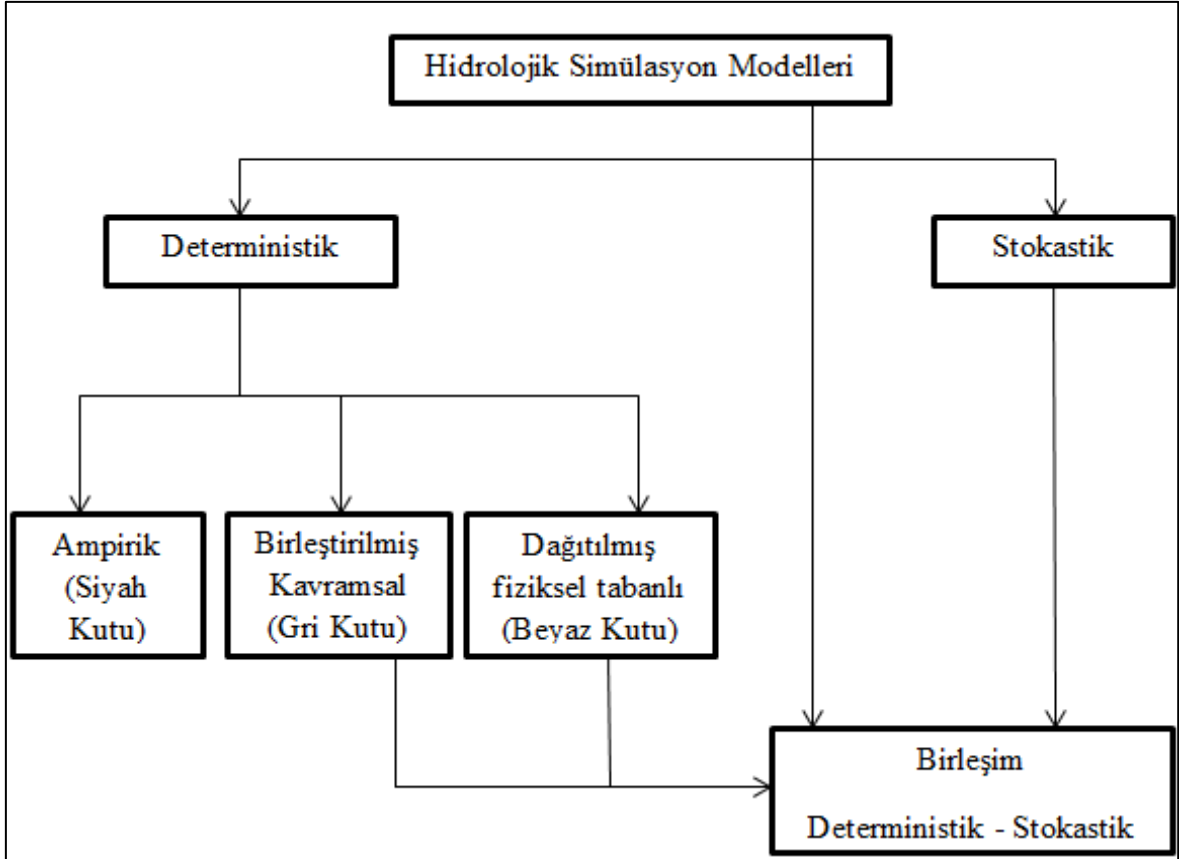
1.6. Hidrolojik Modelleme

Fiziksel olayları daha kolay ve iyi anlayabilmek için modellemeler kullanılır. Modelleme yapılırken bilinmeyen veya yeterince anlaşılmayan olaylar bilinen ve anlaşılabilir olgulara göre çözümlenir. Mevcut veri veya veri kümelerinden hareketle bilinmeyen bir olayı, basit ve anlaşılabilir bir hale getirmek için yapılan işlemler bütününe modelleme, modelleme sonucu çıkan ürüne ise model adı verilmektedir. Hidrolojik süreç ise yağış, akış, sızma, buharlaşma, erozyon gibi konularda geliştirilen modellerden oluşur (Singh, 1996; Demir, 2015).

Fiziksel modeller; sistemin, kütle, hareketin ve enerjinin korunumu prensiplerini esas alarak, analizler içerisinde havzaların hidrolojik özelliklerini fiziksel açıdan ayrıntılı bir şekilde ifade eder (Singh, 1996; Demir, 2015).

Hidrolojik büyüklüklerin birçoğu fizik yasalarıyla tam olarak açıklanamayan rastgele değişkenlerdir. Bunun en önemli sebebi yağışın düzensiz karakteridir. Bir hidrolojik büyüklüğün düzensiz değişkenliği önemli değilse bu yanı ihmal edilip ortalama değeri ile çalışılarak olay deterministik bir yaklaşımla incelenebilir. Ancak taşkın debisi gibi bazı büyüklükler için böyle bir yaklaşım anlamlı olmamaktadır. Bu durumda olasılık teorisi ve istatistik bilimlerine dayanan olasılık dağılım modellerinden yararlanılır (Beyazıt, 1998; Demir, 2015).

Deterministik ve stokastik modeller en temel ya da klasik 2 hidrolojik modellerdir. Temelde farklı bu iki yaklaşımın sağladığı çalışma olanakları sayesinde, konumsal farklılıkların dikkate alınması ve modellemedeki belirsizliklerin değerlendirilmesi gibi hidrolojinin en temel problemlerine çözüm üretiminde fayda sağlanmaktadır (Refsgaard, 1996).



Şekil 3. Hidrolojik modellerin işlem tanımına (process description) göre sınıflandırılması (Refsgaard, 1996; Fleming, 1975; Woolhiser, 1973).

1.6.1. Deterministik Modeller

Deterministik modeller uygulanacağı bölgenin birleştirilmiş (lumped) ya da dağıtılmış (distributed) tanımına göre ve yapılan hidrolojik işlemlerin ampirik, kavramsal (conceptual) veya fiziksel tabanlı olup olmasına göre sınıflandırılır. Çoğu kavramsal modeller birleştirilmiş modellerdir ve çoğu fiziksel tabanlı modeller de dağıtılmış modellerdir (Refsgaard, 1996).

Deterministik modeller 3 ana gruba ayrılır;

- Ampirik modeller (Siyah kutu)
- Birleştirilmiş kavramsal modeller (Gri kutu)
- Fiziksel tabanlı dağıtılmış modeller (Beyaz kutu)

Ampirik Modeller

Ampirik modeller (siyah kutu), havzanın eşzamanlı mevcut verilerinden alınan bilgiler ile sistemin karakterize edildiği ve kullanılan verilerin temelinde bulunan fiziksel

işlemlerin dikkate alınmadığı yalnızca yağış ve akış arasındaki ilişkilerin değerlendirildiği matematiksel modelleri içermektedir (Kokkonen ve Jakeman, 2001; Koivusalo, 2003; Özlü, 2008).

Birleştirilmiş (Lumped) Kavramsal Modeller

Birleştirilmiş kavramsal model tipleri genellikle yağış-akış modelleme alanında kullanılmaktadır. “Birleştirilmiş” tanımından dolayı, bütün parametreler ve değişkenler bütün havza alanındaki ortalama değerleri temsil eder (Refsgaard, 1996).

Her bir bağımsız, toprak türü için geçerli olan parametrelerin doğrudan üzerine kurulamaz. Bundan dolayı denklemler yarı ampiriktir, ancak bir fiziksel tabanları vardır. Bu yüzden, model parametreleri doğrudan arazi verisi üzerinden elde edilmek yerine kalibrasyon yardımı ile elde edilmelidir (Refsgaard, 1996). Bu yüzden araştırma yapılan havzanın özelliklerine göre model parametreleri yalnızca alansal veriler kullanılarak belirlenmeyip ayrıca kalibrasyon yapılarak belirlenmesi gerekmektedir (Refsgaard, 1996). Bu durum genel olarak bir havzada modelin performansını artırırken sonuçların diğer bölgelere transfer edilmesinde modelin güvenilirliğinin azalmasına neden olmaktadır.

Dağıtılmış Fiziksel Tabanlı Yöntemler

Dağıtılmış modellerde bir havza alt havzalara bölünerek fiziksel ve hidrolojik özelliklerinin mekânsal değişimi dikkate alınmaktadır. Dağıtılmış (distributed) modellerde havzanın eğimi, bakışı, toprak özellikleri, bitki örtüsü ve yükseltisi gibi fiziksel özellikleri ile sabit veya değişken iki veya üç boyutlu grid yaklaşımları kullanılmaktadır (Leavesley, 1989).

Bu modeller, temelinde çok sayıda veri ile desteklenmiş güçlü matematiksel birikim ve hesaplamalara dayanmaktadır (Kokkonen ve Jakeman, 2001; Özlü, 2008). Birleştirilmiş kavramsal modellerin aksine, dağıtılmış fiziksel tabanlı modeller bir alandaki suyun akışının birkaç depolama birimi arasında gerçekleştiğini düşünmez. Onun yerine, suyun akışını ve enerjisini doğrudan Kısmi Diferansiyel Denklemleri üzerinden hesaplanır. Fiziksel temelli modeller havzanın hidrolojik süreçlerinin tanımını diğer modellerden daha doğru ve detaylı vermektedir (Refsgaard, 1996).

1.6.2. Stokastik Zaman Serisi Modelleri

Hidrolojik bir olayın oluşumunda birçok bilinmeyen etken olması deterministik modellere olan ilginin yavaş yavaş azalmasına ve son yıllarda hidroloji ile uğraşanları,

hidrolojinin rasgeleliği ve stokastik yaklaşımlar üzerinde çalışmaya yönlendirmiştir. Bazı çalışmalarda, basit bir stokastik yaklaşımın, zor bir deterministik yaklaşımdan daha iyi sonuçlar verebileceği gösterilmiştir (Keskin ve Taylan, 2007; Özlü, 2008). Stokastik modeller planlama/tasarım için veri üretmek ya da süreçlerin gelecekteki değerlerini tahmin etmek/senaryolar üretmek amacıyla, karar verme sürecinin önemli bir bileşeni olarak da kullanılabilir (Baran ve Bacanlı, 2006).

Bu modeller zamana bağlı olarak ifade edilen olayların dizisine uygulanmakta ve geleneksel olarak tarihsel kayıtların zaman serisi analizlerinden türetilmektedir. Belirli istatistiksel özelliklere sahip değişik sentetik serilerin üretim tekniği olarak ifade edilmektedir (Refsgaard, 1996; Özlü, 2008). Bazı akarsularda mevcut kayıtların yetersiz ya da kullanılamaz durumda olması halinde analizlerde kullanılmak üzere sentetik akım serileri üretilmektedir. Genellikle sentetik serilerin üretilmesi ve geleceğe yönelik tahminlerin yapılması amacıyla stokastik modeller kullanılmaktadır (Keskin ve Taylan, 2007; Özlü, 208).

1.6.3. Birleşik Stokastik-Deterministik Modeller

Hidrolojik işlemlerin önemli bir parçası olan hidrolojik parametrelerin mekânsal ve zamansal değişimleri ve değişkenleri günümüzde deterministik simülasyon modelleri kullanılarak tanımlanabilir. Diğer taraftan, parametre değerleri ve girdi değişkenleri hakkındaki bilgiler ise her zaman eksik kalmaktadır. Hidrolojik simülasyonda bu bilgilerin eksikliği, meydana gelen belirsizliğin önemli bir kaynağı olmaktadır (Refsgaard, 1996).

Bundan dolayı, birleşik stokastik ve deterministik yaklaşımına dayalı bazı model türleri geliştirilmiştir. Bu modeller her iki yaklaşımdan derlenmiştir, stokastik bir çerçevede deterministik bir çekirdek olarak tanımlanan prensipte eşit öneme sahip 2 parça gibi düşünülebilir. Stokastik simülasyon modelinin aksine buradaki deterministik çekirdek birleştirilmiş kavramsal modeller veya dağıtılmış fiziksel modeller gibi daha kapsamlı modeller üzerinden derlenmiştir (Refsgaard, 1996).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kent Hidrolojisi

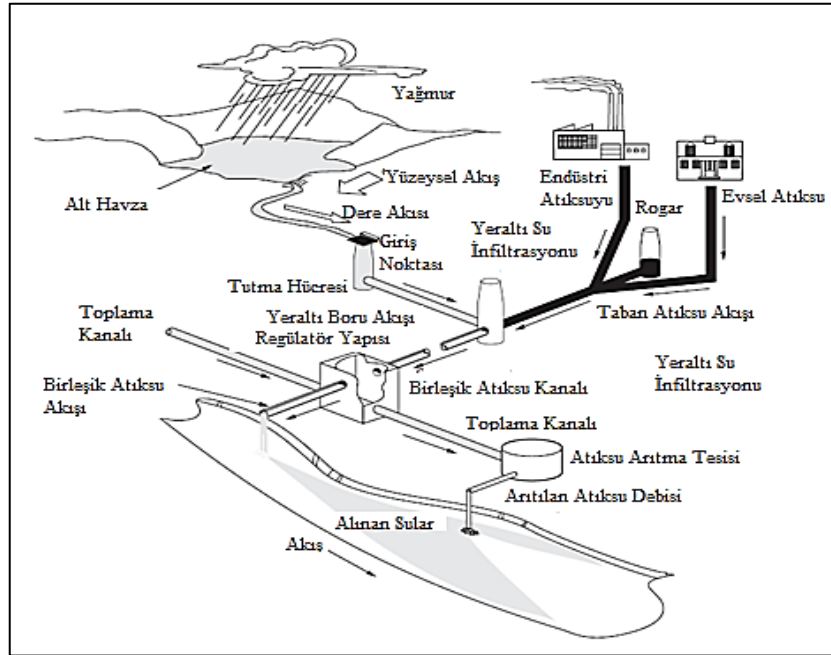
Hidroloji; yer küresinde (yeryüzünde, yer altında ve atmosferde) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir (Aksoy, 2015). Hidrolojik model, hidrolojik sistem davranışlarının anlaşılması için geliştirilen yaklaşımlar ile hidrolojik süreçleri anlatan ifadelerin toplamı ve doğal bir sistemin basitleştirilmiş temsilidir (Refsgaard, 1996; URL-4, 2015). Hidrolojik sistemler genellikle matematiksel olarak ifade edilmektedir. Matematiksel bir model ise, gerçek ve doğal bir sistemi simüle edebilmek için birleştirilen bir dizi matematiksel ifadeler ve mantıksal durumlardan oluşmaktadır. Böylece, hidrolojik model içindeki işaretler ve kavramlar matematiksel bir dil ile düzenlenmiş olurlar. Simülasyon ise, doğal bir sistemin davranışının takliti olarak görülebilir. Böylelikle hidrolojik model simülasyonları ile doğal sistemin zaman içerisindeki değişimi yansıtılarak “gerçek” aynalanmaya çalışılmaktadır (Refsgaard, 1996).

Kentsel alanlardaki hidrolojik işlemlerin kırsal alanlardaki işlemlerden farkı zamansal ve mekânsal ölçeklerinin daha küçük olmasıdır. Kentiçi hidrolojik model çalışmaları, kent içindeki su dağıtım sistemleri, yağmursuyu drenaj sistemleri ve atıksu toplama sistemlerini içeren tüm su ağlarının modellenmesini gerektirmektedir. Doğru bir modelleme için, yüzeysel sular ve yeraltı suları ile altyapı sistemlerinden gelen suların olası bir dolup, taşma durumunda bunların tamamından eş zamanlı gelen su hacimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için yüzeysel akışlar ile boru içindeki su akışlarını modelleyebilecek ve yeraltı su seviyelerini tespit edebilecek birleştirilmiş bir modele ihtiyaç vardır. Ayrıca kent içinde nehir bulunması durumunda modelin yağmursuyu ağları, yüzeysel akışlar, taşkın yatağı ve nehir kanalını da kapsamaması gerekmektedir (Cornelius vd., 2011).



Şekil 4. Hidrolojik döngü (URL-5, 2015).

Yer üstü ve yer altındaki tüm bağlantıların hidrolojik ve hidrolik olarak karakterize edilmesi ile taşkın durumunda, yağışın zamana ve konuma bağlı olarak değişimi ile akış daha doğru bir biçimde modellenecektir.



Şekil 5. Birleştirilmiş altyapı sistemi (Walski vd., 2003)

Kentsel alanlarda meydana gelen taşkınlar su kaynaklarına, kanalizasyonlara, drenaj tesislerine, şehir yollarına ve yapılara zarar vermektedir. Tüm bu zararlar sonucunda çevresel sorunlar oluşarak insanların sağlıkları tehlikeye girmektedir ve işletmeler, ticari kurumlar, sanayiler küçük veya orta ölçekte hasar görmektedirler. Örneğin yetersiz alt yapı, derelerin üzerinin kapatılması ve dere yataklarındaki yapılaşma etkili sağanak yağışlar sonrasında kentsel alanlarda sel ve su baskınlarına neden olmaktadır.



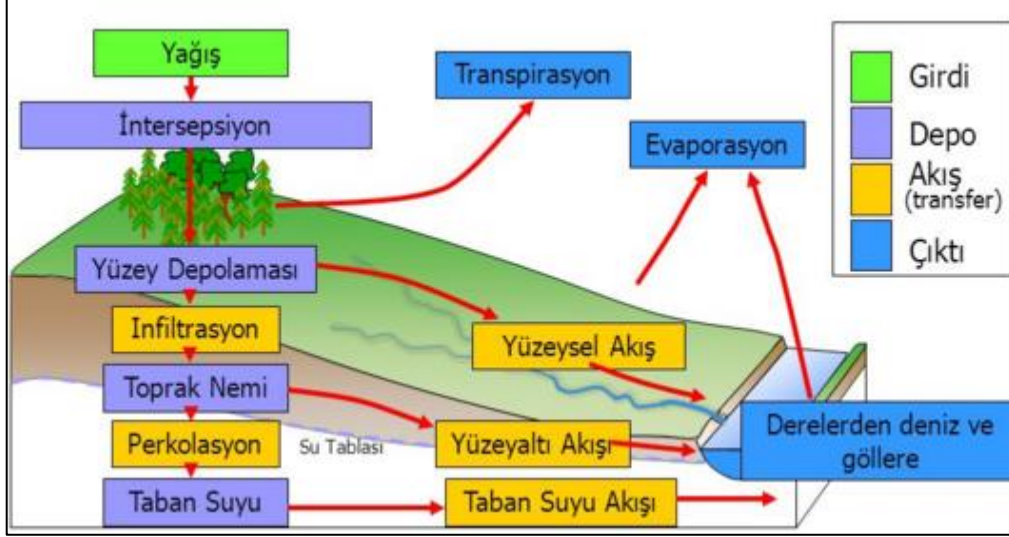
Şekil 6. Trabzon - Zağnos Vadisi su basma alanları (URL-6, 2015).

2.2. Yağış Akış Modeli

Yağış Akış Modeli; atmosferden sıvı formda düşen yağışın, su kayıpları (abstaction) sonucunda topografyanın şekline bağlı olarak yüzeysel akışa geçmesidir (Beven, 2012; FHWA, 2002).

Yağış miktarı coğrafik, zamansal ve mevsimsel olarak değişmektedir. Yağış miktarındaki hem bölgesel hem de zamansal değişimlerin bilinmesi hidrolojik çalışmalarda ve su kaynaklarının planlanmasında önemlidir. Walski vd.'ne (2003) göre yağmur, toplam hidrolojik su kaybı değerini aştıktan sonra yüzeysel akışa geçmektedir. Hidrolojik Su Kaybı; yağış ile gelen suyun akışa geçerek havzayı terk etmeden önce yağışın bir miktarının yok olmasına neden olan süreçlere verilen genel bir isimdir. Bu süreçler buharlaşma (evaporation), terleme (transpiration), kesme (interception), sızma (infiltration), çöküntü depolaması (depression storage) ve tutma (detention storage)

depolamasıdır. Yüzeysel akışın belirlenmesinde en önemli olan su kayıpları; sızma, çökme depolaması ve tutma depolamasıdır (FHWA, 2002).



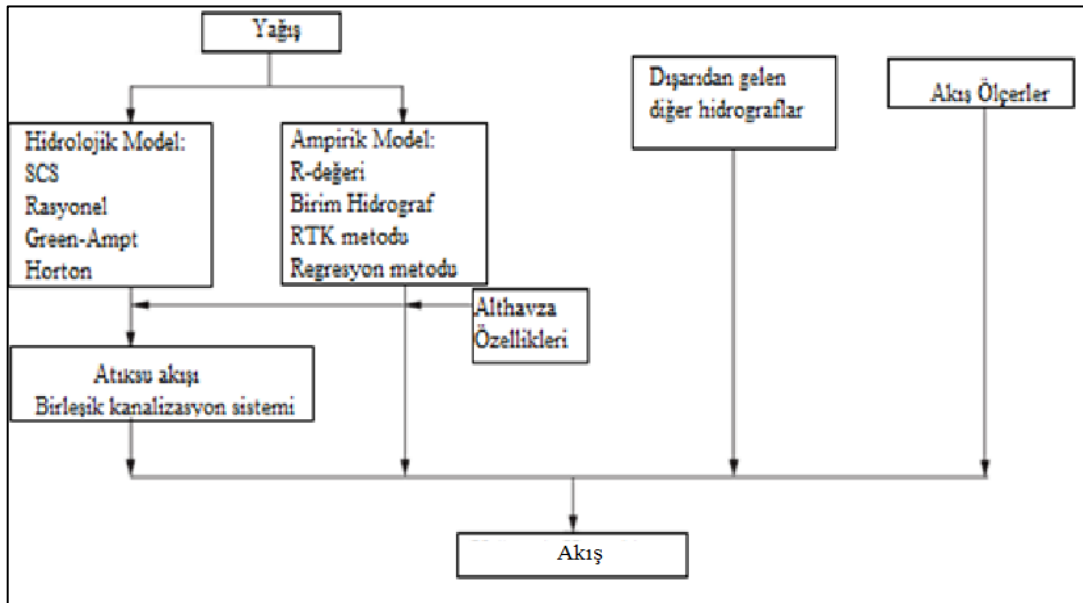
Şekil 7. Havza hidrolojisi ve yüzeysel akışı etkileyen bazı parametreler (URL-7, 2015).

Hidrolojik su kayıplarını tanımlayacak olursak;

- Buharlaşma, toprakta yeryüzeyi üzerinde bulunan suyun buharlaşarak atmosfere dönmesi işlemidir. Yeterince yüksek sıcaklıklarda bu durum sürekli olarak gerçekleşir (FHWA, 2002).
- Terleme, bitkilerin büyümesi gibi yaşamsal faaliyetler ile suyun havzadan fiziksel olarak çekilmesidir. Yeşil bitkiler nefes alırken topraktan suyu alarak yapraklarından bu suyu buhar biçiminde terleyerek atmosfere vermesi işlemidir (FHWA, 2002).
- Kesme, suyun ıslaklık olarak bina, ağaç ve bitkiler üzerinde kalmasıdır (FHWA, 2002).
- Sızma, akmakta olan suyun topraktan süzülerek yer altına geçmesidir. Sızma işlemi çok karmaşıktır ve toprak türü, bitki örtüsü, toprağın nem durumu, bir önceki yağıştan itibaren geçen süre, yağış yoğunluğu ve sıcaklık gibi pek çok etken tarafından etkilenmektedir. Belirli bir yağış olayında taşkın havzasının tepkisinin belirlenmesindeki en önemli abstraction sızmadır (FHWA, 2002).

- Çöküntü depolaması, herhangi bir doğal yüzeyin bir karakteri olan küçük çöküntülerin suyu tutarak akışa geçmesinin engellenmesi durumuna verilen isimdir (FHWA, 2002).
- Tutma depolaması, akışın gerçekleşebilmesi suyun geçici olarak depolanan miktarıdır. Depolanacak olan su miktarı, toprak kullanımı, bitki örtüsü, eğim ve yağış yoğunluğu gibi etkenlere bağlıdır (FHWA, 2002). Toprak nemi ile ilişkilidir.
- Süzülme (Perkolasyon): Suyun doygun ortamda toprak içinde düşey hareketidir (URL-8, 2015).

Kısaca, yağmur suyu yeryüzüne ulaştığında, bir miktar su buharlaşacak, bir miktar su toprağa sızacak ve kayıplar sonucunda geriye kalan su ise akışa geçecektir. Yüzeysel su akışının gerçekleşebilmesi için yağış miktarının toprağın infiltrasyon kapasitesini aşması gerekmektedir (URL 9 ve 10, 2015). İnfiltrasyon kayıplarını hesaplayarak akışa geçen yağış miktarının hesaplanmasında kullanılan yöntemler Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Akış miktarını belirlemek için kullanılan yöntemler (Walski vd., 2003).

Ayrıca yağmurun yol ve diğer beton, asfalt gibi geçirimsiz yüzeylere düşmesi ile de yüzeysel akış meydana gelmektedir (URL 9 ve 10, 2015). Yüzeyin örtü türü (asfalt, toprak vb.) bu eylemleri büyük oranda etkileyecektir. Yüzey, çeşitli örtülerle kaplı olabilir ve bu

yüzden bir yerin yağış-akış modellemesi yapılırken tek bir parametre ile modelleme yapılamaz (URL-9, 2015). Akışı etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

Akışı etkileyen meteorolojik faktörler:

- Yağışın tipi (yağmur, kar, karla karışık yağmur vb.)
- Yağmur şiddeti
- Yağmur miktarı
- Yağmur süresi
- Drenaj havzası üzerinde yağışın dağılımı
- Yağmur hareketinin yönü
- Daha önce meydana gelen yağışlar ve toprak nem durumu
- Sıcaklık, rüzgar, bağıl nem ve mevsim, evapotranspirasyonu (terleme ve buharlaşma) etkileyen diğer meteorolojik ve iklimsel koşullardır.

Akışı etkileyen fiziksel özellikler:

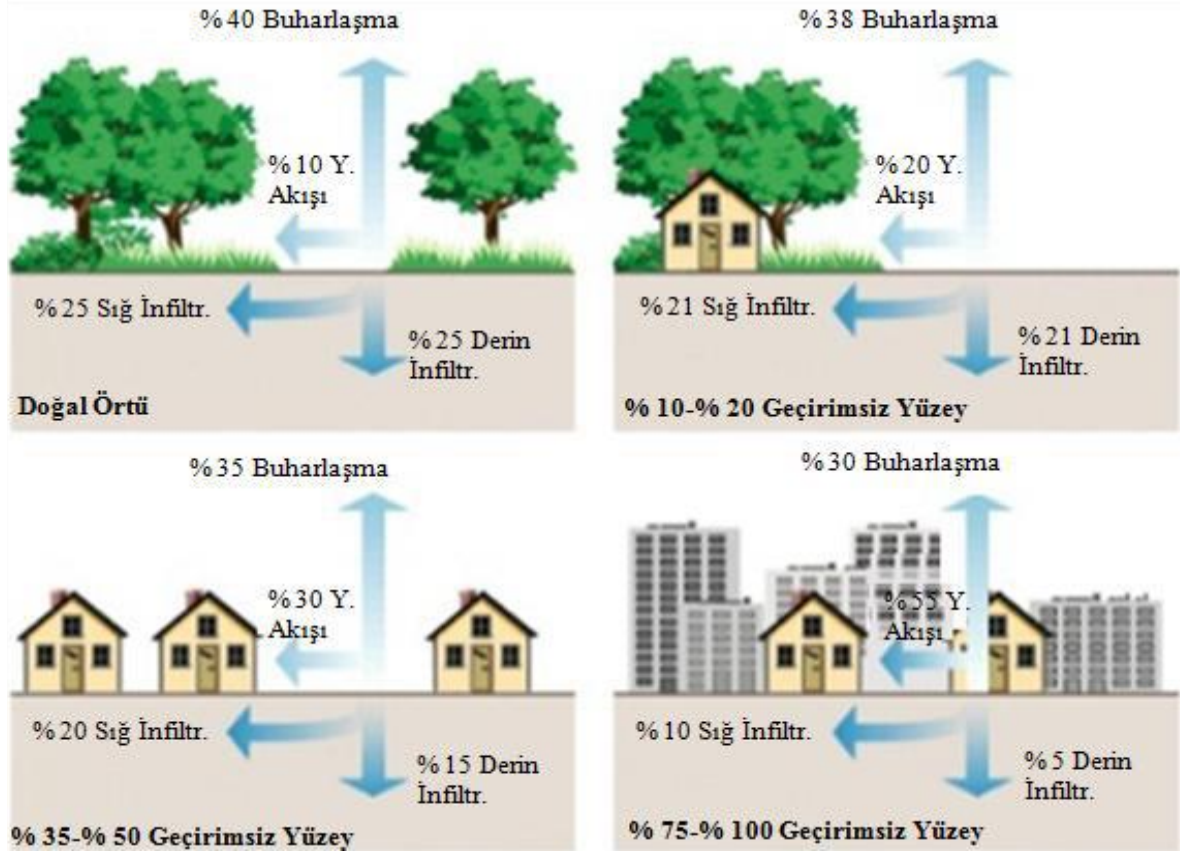
- Arazi kullanımı
- Bitki örtüsü
- Toprak tipi
- Drenaj alanı
- Havza şekli
- Yükseklik
- Eğim
- Topografya (özellikle arazinin eğimi)
- Drenaj ağı modelleri
- Havuzlar, göller, rezervuarlar, çukurlar suyun akışını engelleyici ya da geciktirici diğer fiziksel özelliklerdir (Raghunath, 2006; URL-11, 2015).

Akışı etkileyen insan faktörleri:

İnsan sayısının artması ile daha fazla gelişmenin ve kentleşmenin sonucu olarak doğal alanların yerini yollar, evler, park alanları ve binalar gibi geçirimsiz yüzeyler almaktadır. Böylelikle meydana gelen yüzeysel suların geçirimsiz yüzeylerden yeraltına infiltrasyonu ya olmamaktadır ya da çok az olmakla birlikte akış hızları artmaktadır. Geçirimsizliğin artmasıyla birlikte bitkiler ile toprağın kaldırılmış olması ve drenaj kanallarının oluşturulması yağışın akışa geçişini hızlandırarak akış süresini kısaltır. Sonuç

olarak taşkın pik debisi, hacim ve taşkın frekansı nehir içinde ve yakın civarında artar (URL-11, 2015).

Şekil 9’da, kentleşmenin yüzeysel akış modelleri gibi hidrolojik işlemler üzerinde büyük ölçüde etkili olduğu ve geçirimsiz yüzeylerde infiltrasyon olamayan suyun hızlı bir şekilde akışa geçtiği görülmektedir.



Şekil 9. Kentleşmenin Su Döngüsünün Farklı Bileşenlerine Etkisi (WMO/GWP, 2008; Kaya, 2012).

Beven’e (2012) göre, hidrolojik modelleme çalışmalarının önemli bileşenleri; akışa geçen yağmur miktarı ve topografyanın şekline göre akışın arazi üzerindeki dağılımıdır. Hidrolojik olayların gerçeğe yakın bir biçimde modellenebilmesi için gerekli olan tüm parametrelerin tanımlanması ve temin edilmesi günümüz şartlarında da hala problem olmaktadır. Tablo 2’de gösterilen parametreler dağıtılmış hidrolojik modellerin doğru biçimde gösterilmesi için gerekli olan minimum parametrelerdir.

Tablo 2. Dağıtılmış hidrolojik modellerde havza ölçeğinde gerekli olan minimum parametreler (Beven, 2012).

Parametre	Sembol	SI Birimi
Yeraltı Suyu Akış Parametreleri		
Doygun Hidrolik İletkenlik	K_s	ms^{-1}
Porozite	Q_s	-
Toprak Nem Karakteristik Özellikleri		
Bitki Örtüsü Parametreleri (her bir bitki örtüsü için)		
Bitki örtüsünden geçerek direk yüzeye düşen yağmur suyu	p	-
Bitki örtüsünün yağmur suyunu engelleme ve depolama kapasitesi	C	m
Bitkinin drenaj parametresi		-
Aerodinamik direnç (üst bitki tabakasından rüzgar hızına göre değişen buharlaşma)	r_a	sm^{-1}
Üst bitki tabakası direnci (diğer varyasyonlara göre değişebilir)	r_c	sm^{-1}
Albedo (Yüzeyin yansıtabilirliği)	α	-
Etken köklerin Et (x, y, z) oranında elemanlar üzerinden dağıtılması		
Yüzeysel Akış Parametreleri		
Yüzey akış pürüzlülüğü (Akış derinliğine göre değişebilir)	f	-
Lokal yüzey eğim açısı	S	-
Kanal Akış Parametreleri (her bir akış yolu için)		
Kanal akış pürüzlülüğü (akış derinliği ile değişebilir)	f	-
Set kenarları akış pürüzlülüğü (akış derinliği ile değişebilir)	f	-
Lokal kanal yatak eğimi	S_o	-
Kar Parametreleri (derece – gün modeli)		
Eşik sıcaklık	T_o	K
Derece-gün faktörü (zaman göre değişebilir)	F	mm/gün/K

Bu parametrelere erişim olanakları açısından önemli eksiklikler bulunmaktadır. Kurum ve kuruluşlardan elde edilen verilerin sayısal ortamda ya da uygun formatta olmayışı veya temin edilen verilerin doğrulukları konusunda önemli sıkıntılar bulunmaktadır. Az parametre ile çalışmak için su kaybı değeri belli olan kentiçi karayolları çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Karayolu yüzeyi için Tablo 3'ten seçilen başlangıç su kaybı değeri 0,05 inç yani 1,27 mm'dir. Böylelikle karayolları için yapılacak hidrolojik modelde yağmur miktarı ve su kaybı değerinin bilinmesi yeterli olacaktır.

Tablo 3. Yüzey örtüsüne göre başlangıç su tutma miktarları (URL-12, 2015).

Yüzey Örtüsü	Abstraction (Su Tutma)
Doğal	
Çöl ve meralar	0,35
Bikti örtüsü olan dağlar	0,25
Yerleşim Alanları	
Çim alanları	0,20
Kullanılmayan alan	0,1
Yol	0,05
Kırsal alanlar ve otlaklıklar	0,5
Kozalaklı ağaçlar	0,01-0,36
Ahşap, sert odun	0,001-0,08
Çalılık	0,01-0,08
Çimenlik	0,04-0,06
Ormanlık alan	0,02-0,44

Kullanılan diğer parametre yüzeysel akış pürüzlülük katsayısı (manning) asfalt yüzeyler için 0,02 olan Tablo 4'ten alınmıştır.

Tablo 4. Yüzeysel Akış Manning Pürüzlülük Katsayıları (URL-12, 2015).

Yüzey	n-value
Çayırılık	0,17-0,80
Yoğun çim ve bitki örtüsü	0,17-0,48
Çalılık ve orman, mera	0,30-0,40
Ortalamanın üzerindeki çimenlikler	0,20-0,40
Pürüzlü yüzey üzerindeki az çimenlikler	0,20-0,30
Kırlar	0,10-0,20
Seyrek bitki örtüsü	0,05-0,13
Az çamurlu meralar	
0% örtü	0,09-0,34
20% örtü	0,05-0,25
İşlenmiş veya sürülmüş tarla	
Ekilmemiş toprak	0,008-0,012
Geleneksel Toprak İşleme	0,06-0,22
Çizel ile işlenmiş toprak	0,06-0,16
Disk ile işlenmiş	0,30-0,50
Toprak işlemez (ilaçla)	0,04-0,10
Toprak işlemez (%20-40 tarım ilacı kalıntısı)	0,07-0,17
Toprak işlemez (% 60-100 tarım ilacı kalıntısı)	0,17-0,47
Çamurlu açık yer	0,10-0,20
Yüzeyi parlak asfalt/beton (0,25-1)	0,10-0,15
Nadasa bırakılmış alan	0,08-0,12
Açık yüzey, çamursuz	0,04-0,10
Asfalt veya beton yüzey	0,02-0,05

2.3. Karayolu Örneğinde Hidrolojik Modelleme

2.3.1. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Çalışma alanı olarak Trabzon-Rize sahil yolunun, Havalimanı ile Karadeniz Teknik Üniversitesi'nin C kapısı bölümünde kalan yaklaşık 610 m uzunluğundaki bir bölümü seçilmiştir. Bölge seçiminde etkili olan faktörler daha önceki ani ve şiddetli yağış durumlarında meydana gelen su birikintisinin mevcut drenaj sistemleriyle uzaklaştırılamaması, buna bağlı olarak bölge trafiğinin yavaşlaması ve araçlar için kazalara neden olabilecek birikintilerin meydana gelmiş olmasıdır.

Çalışma alanına ait topografik veri, İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Fotogrametrik Yöntem kullanılarak elde edilmiş olan SYM'lerden sağlanmıştır. Meteorolojik veriler ise, Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.



Şekil 10. Karadeniz Teknik Üniversitesi ortofoto üzerinden çalışma alanı sınırları



Şekil 11. Trabzon-Rize karayolunda Havalimanı ile Üniversite kavşağı civarında sel sularının karayolunda oluşturduğu taşkın (URL-13, 2015).



Şekil 12. Yolda araç ulaşımı güçlükle sağlanırken vatandaşların mağduriyeti (URL-14, 2015).

2.3.2. Meteorolojik Veri

Bir noktaya düşen yağışın derinliği yağış ölçer (raingage) veya pl viyometre (pluviometer) denilen standart aletlerle  l l r. Yağış miktarı, birim alana düşen yağış derinliği (mm) veya ağırlığı olarak (kg/m^2) olarak ifade edilir. Yani, 1 m^2 'ye düşen su

miktarı (kilogram) olarak ifade edilir. Bu da 1 mm yüksekliğindeki suya eşittir. Bu nedenle yağış miktarı milimetre cinsinden de ifade edilir (URL-15, 2015).

Çalışma alanı yakınında bulunan Havaalanı Otomatik Gözlem İstasyonu (OGİ) aktif olmadığından çalışma alanına yakın ve aktif olan Trabzon Meydan OGİ verileri kullanılmıştır. Maksimum yağış miktarına göre gerçekleştirilecek simülasyon için, o dönemlere ait buharlaşma miktarları da temin edilmiştir.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü'nden alınan meteorolojik veriler aşağıda Tablo 5 ve Tablo 6 de gösterilmiştir.

Tablo 5. Trabzon meydan (17038) istasyonu aylık maksimum yağış miktarları

T.C. ORMAN ve SU İŞLERİ BAKANLIĞI METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ												
Aylık Maksimum Yağış (mm)												
-9999: Yağış Yoktur. // Boşluk: Yağış Ölçümü Yapılmamıştır.												
İSTASYON ADI/NO: TRABZON MEYD. / 17038												
YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	31.6	17.0	34.0	13.8	30.2	16.2	14.0	11.2	28.0	20.2	0.0	14.8
2011	10.8	36.0	7.8	17.0	21.4	17.0	16.4	6.4	10.0	25.0	25.4	3.2
2012	19.6	6.4	6.0	9.6	11.2	32.4	11.8	4.6	11.8	14.8	18.2	13.8
2013	34.0	9.8	21.6	9.8	10.6	6.0	8.6	6.2	43.8	27.0	6.4	21.2
2014	11.6	14.8	16.2	12.0	14.4	19.8	12.4	63.4	35.4	60.6	23.0	25.0

Tablo 6. Trabzon meydan (17038) istasyonu günlük yağış ve buharlaşma miktarları

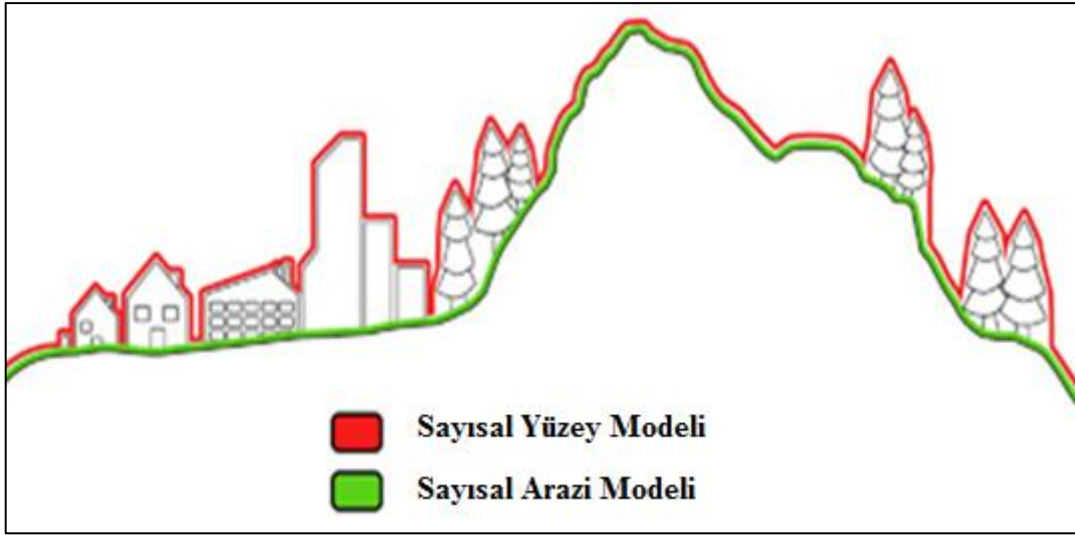
Istasyon No	Istasyon Adı	Yıl	Ay	Gün	Günlük Yağış Toplamı (mm)	Toplam Günlük Öneçlenme Bûresi (sa)	Günlük Buharlaşma Toplamı (mm)
17038	TRABZON MEYDAN	2010	1	25	31.6	0.0	
17038	TRABZON MEYDAN	2010	2	22	17.0	0.0	
17038	TRABZON MEYDAN	2010	3	16	34.0	0.0	
17038	TRABZON MEYDAN	2010	4	22	13.8	0.0	0.8
17038	TRABZON MEYDAN	2010	5	21	30.2	1.6	0.8
17038	TRABZON MEYDAN	2010	6	17	16.2	1.6	1.8
17038	TRABZON MEYDAN	2010	7	13	14.0	3.2	3.7
17038	TRABZON MEYDAN	2010	8	15	11.2	4.0	2.2
17038	TRABZON MEYDAN	2010	9	3	28.0	1.8	0.5
17038	TRABZON MEYDAN	2010	10	6	20.2	0.0	0.5
17038	TRABZON MEYDAN	2010	11	26	0.0	2.7	2.1
17038	TRABZON MEYDAN	2010	12	7	14.8	0.0	
17038	TRABZON MEYDAN	2011	1	1	10.8	0.0	
17038	TRABZON MEYDAN	2011	2	16	36.0	0.0	
17038	TRABZON MEYDAN	2011	3	3	7.8	0.0	
17038	TRABZON MEYDAN	2011	4	17	17.0	0.2	0.3
17038	TRABZON MEYDAN	2011	5	6	21.4	10.6	0.1
17038	TRABZON MEYDAN	2011	6	28	17.0	0.0	1.8
17038	TRABZON MEYDAN	2011	7	23	16.4	8.5	6.3
17038	TRABZON MEYDAN	2011	8	20	6.4	10.0	3.4
17038	TRABZON MEYDAN	2011	9	25	10.0	0.0	0.9
17038	TRABZON MEYDAN	2011	10	3	25.0	1.0	3.7
17038	TRABZON MEYDAN	2011	11	17	25.4	0.3	1.0
17038	TRABZON MEYDAN	2011	12	9	3.2		
17038	TRABZON MEYDAN	2012	1	17	19.6	0.0	
17038	TRABZON MEYDAN	2012	2	10	6.4	0.0	
17038	TRABZON MEYDAN	2012	3	9	6.0	8.4	
17038	TRABZON MEYDAN	2012	4	23	9.6	1.4	0.8
17038	TRABZON MEYDAN	2012	5	29	11.2	7.0	2.4
17038	TRABZON MEYDAN	2012	6	8	32.4	1.2	1.8
17038	TRABZON MEYDAN	2012	7	2	11.8	5.7	3.9
17038	TRABZON MEYDAN	2012	8	15	4.6	0.3	0.9
17038	TRABZON MEYDAN	2012	9	23	11.8	0.5	1.8
17038	TRABZON MEYDAN	2012	10	31	14.8	3.6	0.7
17038	TRABZON MEYDAN	2012	11	8	18.2		
17038	TRABZON MEYDAN	2012	12	24	13.8		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	1	8	34.0		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	2	28	9.8		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	3	17	21.6		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	4	11	9.8		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	5	19	10.6		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	6	7	6.0		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	7	2	8.6		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	8	31	6.2		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	9	22	43.8		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	10	3	27.0		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	11	18	6.4		
17038	TRABZON MEYDAN	2013	12	11	21.2		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	1	31	11.6		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	2	1	14.8		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	3	30	16.2		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	4	22	12.0		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	5	7	14.4		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	6	22	19.8		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	7	6	12.4		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	8	29	63.4		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	9	19	35.4		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	10	19	60.6		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	11	3	23.0		
17038	TRABZON MEYDAN	2014	12	31	25.0		

29.08.2014 tarihinde yağmış olan toplam 63,4 mm'lik yağış simülasyon için seçilen yağış miktarıdır. Trabzon Meydan İstasyonunda 2012 yılı Kasım ayından itibaren

buharlaşma ölçümü yapılmadığından, buharlaşmanın dikkate alınacağı durumlar için 15.08.2010 tarihindeki buharlaşma miktarı 2,2 mm seçilmiştir.

2.3.3. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Sayısal Arazi Modeli (SAM) ve Sayısal Yüzey Modelinin (YM), yüzeye ait yükseklik bilgisi içeren üst kümesidir (URL-16, 2015). Sayısal Yüzey Modelinde, Sayısal Arazi Modelinden farklı olarak bina, ağaç vb. üst yüzey detayların da yükseklik değerleri bulunmaktadır.



Şekil 13. Sayısal Yüzey Modeli ve Sayısal Arazi Modeli arasındaki fark (URL-17, 2015).

SAM gerçekte, arazinin topoğrafik yüzeyinin, matematiksel tanımı yapılabilen bir yüzeyle temsil edilmesi problemidir. Bu problem, topoğrafik yüzey üzerinde üç boyutlu koordinatlarıyla tanımlanmış dayanak noktalarına dayalı olarak çözülebilmektedir (Koçak, 1998). Cömert'e (2015) göre ise, bu matematiksel problem yüzey uydurma veya eğri uydurma problemidir. Yüzey uydurma (surface fitting) işleminde, yüzeyin yükseklik değeri x ve y 'nin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

$$z = f(x,y)$$

“f” fonksiyonu örneklem noktalarına bağlı olarak hesaplandığında ise yüzey tanımlanmış olacaktır (Cömert, 2015).

Çalışma kapsamında altlık olarak Fotogrametrik Yöntem ve İHA olmak üzere iki farklı şekilde elde edilen SYM’ler kullanılmıştır. SYM üretimi için iki yöntemde de kullanılan veri kaynağı hava fotoğrafıdır. Genel hatlarıyla hava fotoğraflarından SYM üretimi, arazide yer kontrol noktalarının tesisi, bindirmeli olarak gerçekleştirilen fotoğraf çekimi, kontrol noktalarının fotoğraf üzerinden artırıldığı fotogrametrik nirengi işlemi, fotoğraf çiftlerinden oluşturulan stereo modeller ve stereo model görüntüler üzerinden sonuç olarak SYM’nin üretilmesi aşamalarını kapsamaktadır.

Stereo görüntüden otomatik olarak görüntü eşleme teknikleri kullanılarak grid yapıda nokta üretilir. Burada örnekleme aralığının önemi artmaktadır. Ne kadar sık veri toplanırsa, oluşan SYM araziye o kadar iyi temsil eder (Esirtgen, 2010). Enterpolasyon, SYM üretiminde toplanan veriler görüntü eşlemenin başarılı olmadığı yerlerde oluşan boşlukların doldurulması ve ayrıca arazi yüzeyinde toplanan düzensiz yapıdaki noktalardan düzenli yapıdaki grid verilerin üretilmesinde kullanılır. Enterpolasyon ve seçilen yöntem sayısal yükseklik modelinin doğruluğunu etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Esirtgen, 2010).

SYM, taşkın modelleme çalışmalarındaki en önemli veri kaynağıdır (Garrote ve Bras, 1995). 2-D hidrolojik modellerin hesapladığı sonuçlar doğrudan SYM’nin yatay ve düşeydeki doğruluğuna bağlıdır (Bates vd., 1996). SYM’nin doğruluğu ise veri kaynağına, türüne ve enterpolasyon algoritmasına bağlıdır (Tennakoon, 2004). SYM’nin yatay ve düşey doğruluğu birbirleriyle doğrudan ilişkilidir. Amerika Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliğinin Teknik Özellikler ve Standartlar komitesi (ASPRS) tarafından SYM’lerin konumsal doğruluğu, Karesel Ortalama Hata (KOH) ile ifade edilir. KOH; yer kontrol ölçümleri ile üretilen harita ya da SYM arasındaki farkların toplamının ortalamasının kareköküdür. Düşey doğruluk ise, sadece iyi tanımlanmış noktaların düşey datumun da ki KOH hatası olarak tanımlanır. (Esirtgen, 2010). Tablo 7’de gösterilen değerler ASPRS tarafından ölçeklerine bağlı olarak 1. sınıf haritalar olarak 1/20000 ölçeğe kadar sınıflandırılan haritaların konumsal doğruluklarıdır. 1. Sınıf haritalar için yükseklikteki KOH hatası sınırları sadece iyi belirlenmiş noktalar için yükseklik eğrisi aralığının 1/3’ü kadar olacağı belirlenmiştir.

Tablo 7. ASPRS'e göre ölçek ve konumsal doğrulukları (Esirtgen, 2010).

1. Sınıf Haritalar için Konumsal Doğruluk KOH (Metre)	Ölçek
0,0125	1:50
0,025	1:100
0,050	1:200
0,125	1:500
0,25	1:1.000
0,50	1:2.000
1,00	1:4.000
1,25	1:5.000
2,50	1:10.000
5,00	1:20.000

Arazinin tipine bağlı veya SYM boyutuna bağlı olarak SYM doğruluğu hakkında herhangi bir kabul edilen kıstas bulunmamaktadır. Klasik eş yükseklik haritalarında eş yükseklik eğrisi aralıkları ile eş yükseklik doğruluğu arasında tanımlanmış ilişkiler bulunmaktadır (Şahin, 2007). Grid boyutunun özellikleri ile ilgili olarak belirgin olmayan kuralların bulunduğunu söyleyen Şahin'e (2007) göre, SYM'lerin düşey doğrulukları, doğrusal grid boyutunun düzgün arazilerde 1/20'si kadar, engebeli arazilerde 1/10'u kadarına karşılık gelmesi gerektiğini ifade etmektedir.

Fotogrametrik Yöntem ile üretilen noktaların düşey ve yatak doğrulukları birçok parametreye göre değişmesine rağmen büyük oranda uçuş yüksekliğine ve kameranın çözünürlüğüne göre değişmektedir. Uçağın düşük yüksekliklerde uçması, ölçeğin büyümesi ile daha küçük yer örnekleme aralıklarına sahip (küçük piksel boyutları) hem yatay da hem de düşey de daha yüksek doğruluk ile veri üretilmesini sağlar (ASPRS, 2014).

ASPRS dışında Amerika da, Birleşmiş Milletler Ulusal Harita Doğruluk Standartları (NMAS), Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (FEMA), Ulusal Konumsal Doğruluk Veri Standartları (NSSDA) ve Ulusal Sayısal Yükseklik Programı (NDEP) SYM'nin doğruluk analizi ve kalitesi hakkında değerlendirme yapmışlardır. SYM'nin doğruluğu, noktalardan oluşan gridin ayırım gücüne (çözünürlüğüne) bağlıdır. Başka bir deyişle, sürekli bir yüzeyin örnekleme noktaları arasındaki mesafeye bağlıdır (Demirkese, 2003). FEMA'nın 2014 de yayınladığı "Taşkın Risk Analizi ve Haritalama için Rehber" de taşkın analizleri için düşey doğruluk gereksinimleri ile yer örnekleme aralığının olması gereken mesafeler, taşkın

derecelerine (nüfus yoğunluğuna göre derecelendirilmiş) ve çalışılan bölgenin eğimine göre sınıflandırılarak Tablo 8 de verilmiştir. Tablodaki değerler, Fotogrametrik Yöntem ve Lidar teknolojisi kullanılarak üretilen altlıklar için geçerlidir (URL-18, 2015).

Temel Düşey Doğruluk (FVA), açık alanda çıplak topografya üzerindeki noktaların yükseklik doğruluklarını, Birleştirilmiş Düşey Doğruluk (CVA) ise, hem açık alan hemde ağaç, bina vb. üst yüzey detaylarında içinde bulunduğu haritaların düşey doğruluk gereksinimleridir.

Tablo 8. Düşey Doğruluk Gereksinimleri (FEMA, 2014)

Taşkın Risk Derecesi	Eğimler	Derecesi	Düşey Doğruluk (FVA)/(CVA)	Yer Örnekleme Aralığı (Lidar)
Yüksek	Düz	En yüksek	24.5 cm / 36.3 cm	≤ 2 metre
Yüksek	Engebeli	Yüksek	49.0 cm / 72.6 cm	≤ 2 metre
Yüksek	Dik	Orta	98.0 cm / 145 cm	≤ 3.5 metre
Orta	Düz	Yüksek	49.0 cm / 72.6 cm	≤ 2 metre
Orta	Engebeli	Orta	98.0 cm / 145 cm	≤ 3.5 metre
Orta	Dik	Düşük	147 cm / 218 cm	≤ 5 metre
Düşük	Hepsi	Düşük	147 cm / 218 cm	≤ 5 metre

Tez çalışması kapsamında kullanılan Fotogrametrik Yöntem ile elde edilen SYM, Doğal Afet Sigortalar Kurumu (DASK) tarafından ihalesi yapılan ve teknik koordinatörlüğünü Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü'nün yürüttüğü “Gerçek Ortofoto ve Coğrafi Veri Üretim İşİ” projesi kapsamında temin edilen SYM'dir ve yer örnekleme aralığı (ground sampling distance) 8 cm'dir. Düşey doğruluğu ise 25 cm'dir.

Fotogrametrik yöntem ile elde edilebilecek doğruluk standartları ASPRS tarafından eşyükselti aralıklarına göre ilk altı düşey doğruluk sınıfı için bitki üst detaylarının olup olmasına göre Tablo 9'daki görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır. Tabloda bulunan %95 güven aralığı ise, Greenwalt ve Schultz (1968) tarafından belirlenen düşey hatanın normal dağılımlı olması durumundaki KOH ile doğruluk arasında %95 güven aralığında 1.96 değerinde bir katsayıdır. Doğruluk $z = 1.96 \times KOH$ olarak hesaplanır (Esirtgen, 2010).

Tablo 9. Fotogrametrik Yöntem ile Üretilen Yükseklik Verilerinin Doğruluk Standartları (ASPRS, 2014).

Düşey Doğruluk Sınıfı	Bitki örtüsü olmayan alanlarda KOHz (cm)	Bitki örtüsü olmayan alanlardaki %95 güven aralığındaki (NVA) düşey doğruluk (cm)	Bitki örtüsü olan alanlarda (VVA) %95 güven aralığındaki düşey doğruluk (cm)	Yaklaşık Eşyükseklik Aralığı (cm)
I	1.0	2.0	3.0	3 cm
II	2.5	5.0	7.5	7.5 cm
III	5.0	10.0	15.0	15 cm (~6")
IV	10.0	20.0	30.0	30 cm (~1')
V	12.5	25.0	37.5	37.5 cm
VI	20.0	40.0	60.0	60 cm (~2')

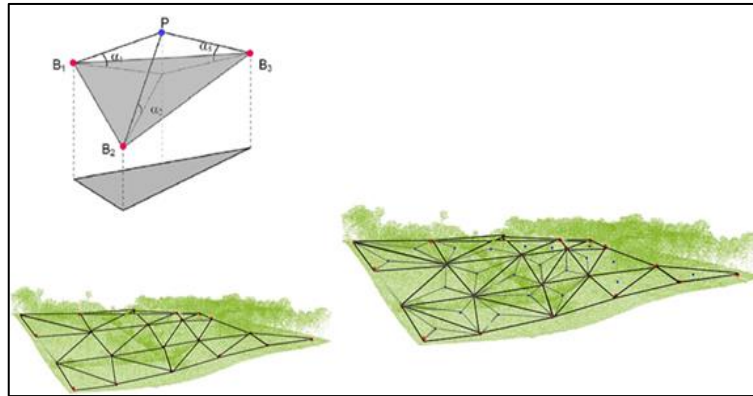
Diğer altlık ise, Gatewing X-100 insansız hava aracı kullanılarak Yılmaz vd., (2015) tarafından üretilen, Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Yerleşkesinin SYM'sidir. Yılmaz vd., (2015), çalıştıkları alana ait aldıkları görüntüleri, görüntü işleme yazılımında değerlendirilerek 13 cm konumsal çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli üretmişlerdir. Temin edilen SYM'nin düşey doğruluğu bilinmemekle birlikte, doğruluğun uçuş yüksekliği ve kamera gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği bilinen bir gerçektir. İHA ile üretilen SYM'lerin doğrulukları hakkında genel bir değerlendirme yapan Akgül vd.'ne (2015) göre, İHA ile uçuş yüksekliğine bağlı olarak 2,4 cm ile 24 cm arasında görüntü çözünürlüğe sahip veriler elde edilebilmektedir. Ayrıca Trimble (2013), Gatewing X-100 İHA ile farklı uçuş yüksekliklerine, farklı bindirme oranlarına ve farklı sayılardaki yer kontrol noktalarına göre yaptıkları uçuş denemeleri sonucunda 0,030 ile 0,048 m arasında düşey doğruluk elde etmişlerdir.

Tablo 10. İHA ile elde edilen verilerin yatay ve düşey doğrulukları (Trimble, 2013).

Uçuş&Görüntü Bindirme oranı	Yer Örnekleme Aralığı (cm)	Dengelemede kullanılan Yer Kontrol Noktası(YKN)	Kontrol olarak kullanılan YKN Sayısı	KOH XY (m)	KOH Z(m)
150m 70%	5	5	28	0.038	0.048
150m 70%	5	9	24	0.029	0.046
150m 80%	5	5	28	0.03	0.033
100m 70%	3.3	5	28	0.034	0.036
75m 80%	2.4	6	4	0.019	0.030

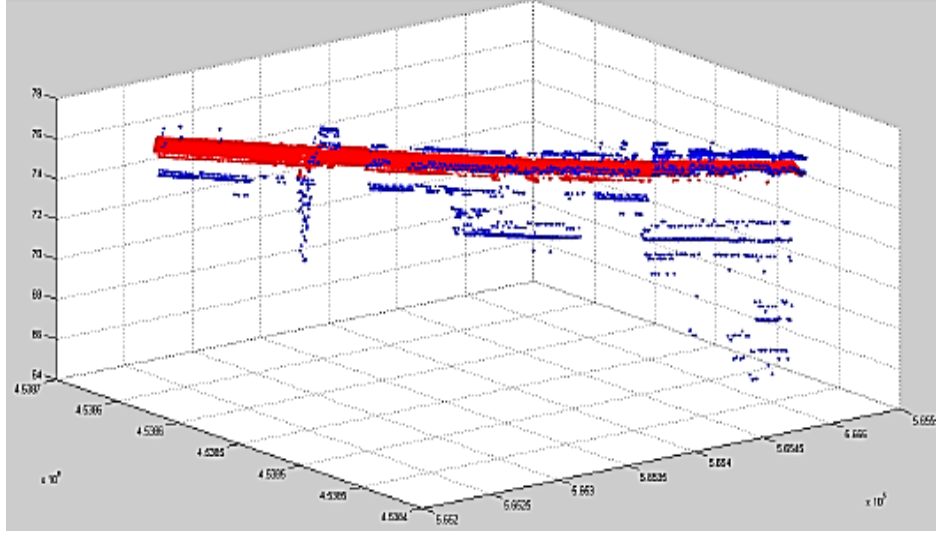
Yüksek çözünürlüklü SYM, taşkın sınırlarının ve derinliklerinin belirlenmesinde büyük öneme sahip olan mikro-topografya bilgilerini bulduran binlerce noktaya sahiptir (Schumann vd., 2008). Buna karşılık, düşük ve orta çözünürlükteki SYM’lerde topografya daha düz görünür, bu da bir grid elemanındaki SYM yükseklik değişiminin görmezden gelinmesine neden olur. Fakat yüksek çözünürlüklü sayısal topoğrafya ile elde edilecek bilgiler, topoğrafyadaki ani yükseklik değişimlerinden dolayı, bazı detayların birbirinden ayırt edilememesi gibi yeni sorunlara yol açabilir. Bu anlamda fazlalık (artık) bilgi, taşkın simülasyonu ve analiz çalışmalarını olumsuz yönde etkiler. Fazlalık ya da yanlış bilginin ortadan kaldırılması için çalışma alanında bulunan aykırı noktaları (outlier) yok edebilmek için filtreleme işlemi yapılır.

Simülasyon çalışmalarında İHA ile elde edilmiş SYM kullanılırken, çalışma alanına düşen bölgelerde bazı piksellerde filtrelemeden kaynaklı hatalar olduğu tespit edilmiştir. Filtreleme işlemi açık kaynak kodlu yazılım olan LAStools ile gerçekleştirilmiştir. İHA ile elde edilen SYM’deki nokta bulutları, XYZ dosya formatında LAStools yazılımına aktarılmıştır. LAStools yazılımının filtreleme algoritması Progressive TIN Densification yöntemine dayanmaktadır. Filtreleme prensibine göre nokta bulutları üzerinden Düzensiz Üçgen Ağ (TIN) modeli oluşturulmaktadır. Oluşan üçgen yüzeyler Şekil 14 de görülmektedir. Eşik değeri (threshold) 0,5 metre seçilerek, yüzey (B_1 , B_2 , B_3) bu eşik değere uymayan noktalar (P) atılarak tüm yüzey için uygulanmak suretiyle aykırı noktalar atılmıştır.



Şekil 14. Progressive TIN Densification filtreleme metodu (URL-19, 2015).

Filtrelenen aykırı noktalar mavi renk ile mevcut yolu gösteren noktalar ise kırmızı renk ile Şekil 15 gösterilmiştir. Bu işlem sonucunda İHA ile üretilen SYM verisi de simülasyon çalışması için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 15. Filtreleme de atılan aykırı noktalar (mavi) ve mevcut yol yüzeyini oluşturan noktalar (kırmızı)

İki farklı SYM verisi ile çalıştırılacak analiz için grid boyutu her iki altlıkta da eşit olacak şekilde 1×1 m boyutunda seçilmiştir. Daha küçük piksel boyutlarında çalışıldığında kentsel özellikleri daha iyi temsil eden modeller oluşturulabilir fakat piksel boyutunun küçülmesi ile artan piksel sayısı sonucu hesaplama süresi artmaktadır. Piksel sayıları ile sınırlandırılmış detaylı bir 2D modelleme çalışmasında SYM'deki kentiçi özelliklerin korunarak, çalışma alanının sınırlarının optimum bir biçimde belirlenmesi ve en uygun hesaplama süresinin elde edilmesi piksel boyutunun doğru biçimde belirlenmesine bağlıdır. Grid boyutunun neden 1 m seçildiği Bölüm 3'de irdelenmiştir.

2.3.4. Modelin Seçimi

Hidrolojik ve hidrolik modeller kullanılarak taşkın havzalarının belirlenmesi, taşkın simülasyonu, su altında kalan yerlerin taşkın derinliği, alanı ve taşkın süresinin hesaplanabilmesi için 1D, 2D, 1D-2D birleştirilmiş modeller ve 3D modeller olmak üzere çeşitli matematiksel modeller kullanılmaktadır.

1D Modeller, nehir kanallarında enine kesitler boyunca su derinliklerini ve akış yönündeki hızları hesaplar. Örnek olarak HEC-RAS, LISS-FLOOD, MIKE 11 ve HYDROF verilebilir. Bu modeller geniş taşkın alanlarındaki akış ile ilgili kapsamlı bilgi vermemektedir. Bunun için 2D modeller geliştirilmiştir. 2D Modeller, akışı ana akışa paralel olarak değil de her iki mekânsal boyutta modellerler. Örnek olarak Telemac 2D, Sobek 1D2D, Mike 21 verilebilir. Ancak, 2D modeller de ciddi hesaplama süresi gerektirir. Bundan dolayı 1D nehir akışı modelleri ve 2D taşkın havzası akış modellerini birleştirmek için çalışmalar yapılmıştır. 1D-2D birleştirilmiş modellerin, taşkın olaylarının gerçek zamanlı modellenmesinde 2D modellere göre daha kısa hesap süresi gerektirmesi en büyük avantajıdır. Bu yaklaşımda ana nehir hattındaki akışın 1D modeller ile simülasyonu yapılır. Nehir duvarlarını aşarak taşkın havzasına dökülen suyun modellenmesi ise 2D denklemler ile yapılır. 3D Modeller ise, 3 yöndeki (x, y, z) hız bileşenlerini de hesaplamaktadır. Örnek olarak Finel 3D, CFX, Fluent, Phoenix, Delft 3D verilebilir (Kadam ve Sen, 2012). Yukarıda belirtilen 1D nehir akışı simülasyon modellerine ek olarak DWOPER, FLDWAV, ISIS ve SOBEK vb. ticari yazılımları, 2D akış simülasyonu için de son dönemlerde yaygın olarak kullanılmakta olan FLO-2D ticari yazılımı örnek olarak eklenebilir.

Hidrolojik modelleme çalışmaları için birçok ticari ya da açık kaynak kodlu (open source) yazılımlar mevcuttur. Özellikle Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilen yeraltı ve yerüstü sularını ayrı ayrı veya birleştirerek hem kent içi hem de kırsal alanlarda hidrolojik modelleme imkanı sunan MIKE 11, MIKE 21, MIKE URBAN, MIKE FLOOD, MIKE SHE önemli yazılım paketlerdir. MIKE FLOOD, 1D kanal akışı modeli (MIKE 11) ve 2D yüzeysel akış modeli (MIKE 21) ile entegre edilmiştir (Delaney vd., 2015). MIKE URBAN, şehir içindeki tüm su şebekelerini kapsayan, su dağıtım sistemlerini, yağmur suyu drenaj sistemlerini ve atıksu toplama sistemlerini ayırabilen ve tüm bunları toplayabilen bir sistem modelidir (URL-20, 2015).

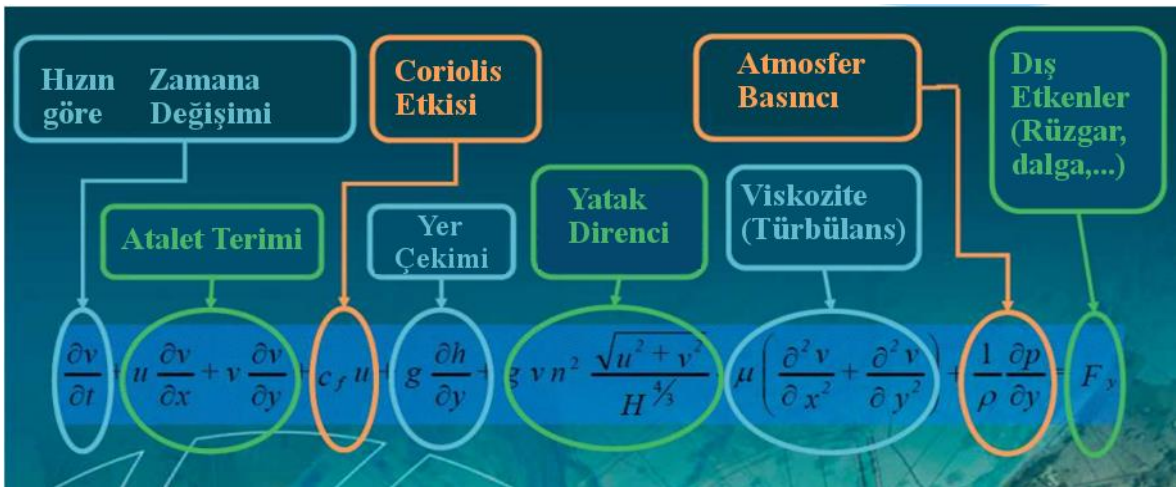
Global Mapper, Analysis aracı ile su toplama havzaları ve su yükseklik seviyesi simüle edilebilmektedir. Ayrıca, ArcGIS Hydrology Tools ve eklentileri olarak çalışabilen nehir ve kanal akışlarının modellenmesinde kullanılan, Amerikan Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından, yerüstü ve yeraltı hidrolojisi, nehir hidroliği ve sediment taşınımı, hidrolojik risk analizleri, su kontrolü yönetimi gibi birçok hidrolojik işlemler için model geliştirmiştir. Hec-RAS (River Analysis System), Hec-GeoRAS, HEC-HMS

(Hydrologic Modelling System) ve HEC-GeoHMS bunlara örnek olarak verilebilir (URL-21, 2015).

Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme kapsamında Open Source yazılımlara örnek olarak;

- Topmodel (Topography-based models)
- TAUDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models)
- Topoflow
- MUDFLOW
- Qgridder
- Tufflow
- SWAT (Soil and Water Assessment Tool)
- HSPF (Hydrologic Simulation Program–FORTRAN)
- SWMM (Storm Water Management Model)
- SAGA GIS, QGIS ve GRASS GIS (Terrain Analysis ve eklentileri) (URL-22, 2015).

Gerçekleştirilecek hidrolojik modelleme çalışmalarında 2D akış denklemlerinin (flow equations) çözülmesi için çeşitli sayısal şemalar geliştirilmiştir. Sayısal modeller genel olarak sonlu farklar yöntemine ve sonlu elemanlar yöntemine dayanmaktadır. Ancak sonlu farklar yöntemi nispeten daha kısa hesaplama süresi sunduğu için modelleme de daha çok tercih edilmektedir (Kadam ve Sen, 2012).



Şekil 16. 2D Modeller ile çözülmeye çalışılan parametreler (Akyürek, 2013).

FLO-2D taşkın risk belirlemesi için etkili bir modeldir. Taşkın dalgası taşkın havzasında, kanallarda veya sokaklarda ilerlerken; ters eğimlerin üzerinden geçen akış, taşkın dalgasının zayıflaması, göllenme ve geriye akış etkilerinin tamamı simüle edilir. Yerleşim alanlarında binalar ve akış engelleyen diğer engeller simüle edilerek taşkın havzasının su tutma kapasitesi ve akış güzergâhı, bu veriler dikkate alınarak belirlenir.

Sonlu farklar çözüm algoritması ile daha kısa hesaplama süresi sunan FLO-2D modeli, grid bazında çözüm ürettiği için diğer birçok yazılımdan farklı olarak her pikseldeki akış hızı ve su derinliklerini hesaplama imkânı sunmaktadır. Diğer pek çok program ile kıyaslandığında nehir yatağı olmadan herhangi bir debi miktarını girdi (input) olarak programa girmeden yağışa bağlı debiyi hesaplayarak bu şekilde manning pürüzlülük, hidrolik iletkenlik vb. özelliklerin grid elemanlarında değiştirilmesine müsaade eden sonlu farklar modeline dayalı basit sayısal yaklaşımdır. Ayrıca yağıştan akışa geçilirken meydana gelen kayıpları da ayrı ayrı dikkate alıp hesaplayarak bir bütün halinde modelleyebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı tez kapsamında FLO-2D Basic Model (2009) seçilerek uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

2.3.5.FLO-2D Modelinin Tanımlanması

FLO-2D'nin ilk versiyonu MUDFLOW olarak bilinir. İlk olarak 1988 yılında Kolorado'da bir alüvyon yerleşim alanının değerlendirilmesi için Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (FEMA) tarafından taşkın sigortalarının incelenmesi için geliştirilmiştir.

FLO-2D, sınırlanmamış bir yüzey ya da kanaldan Dinamik Dalga Denklemlerini (Full Dynamic Wave Equation) kullanarak yağış-akışı temsil edebilen fiziksel bir işlem modelidir. Ayrıca taşkın hacmini bir dizi kareler üzerinde hareket ettiren basit bir hacim koruma modelidir. Model, belirlenmiş bir grid sistemi tarafından temsil edilen akış havzası üzerinde akışkan bloklarını dolaştırır. FLO-2D, belirlenen taşkın havzasında taşkın dalgasının ilerleyişini simüle etmek ve geçen zamanı belirlemek için hacmi sonlu akışkan bloklarına dağıtır. Mantık olarak akışkan bloklarını grid sistemi üzerinde sayısal kararlılık koşulu ile kontrol ederek hacim korunumu modeline göre dolaştırır (FLO-2D, 2009).

Genel akış denklemleri, süreklilik denklemi ve hareket denklemi (dinamik dalga momentum denklemi) ile elde edilir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hV}{\partial x} = i$$

$$S_f = S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$$

h: akış derinliği

V: 8 akış yönünden herhangi birine olan ortalama derinliğe göre hesaplanan hız

i: yağış yoğunluğu

Sürtünme eğimi bileşeni S_f manning denkleminde dayanmaktadır. Diğer terimler ise; nehir yatağı eğimi S_0 , basınç değişimi, iletken ve yerel ivmelenmedir. Bu denklem 1 boyuttaki derinliğe göre ortalaması alınmış kanal akışını temsil etmektedir. Taşkın havzası için FLO-2D çok yönlü akış modeli olduğundan, bir grid elemanı boyunca tek bir yön için hesaplanan ortalama akış hızı hareket denklemleri ile elde edilir. Her bir hız hesabı temelde 1 boyutludur ve her bir yön için ayrı ayrı hesaplanır. Bu açık sayısal şemanın kararlılığı değişken zaman adımının sıkı bir biçimde kontrol edilmesi kriterine dayanmaktadır (FLO-2D, 2009).

Kinematik dalga ($S_0=S_f$) orta derecede dikliğe sahip eğimlerde kararlı ve düzenli akış ile taşkın dalgasının ilerleyişinin modellenmesi için yeterlidir ve basınç değişimi, hızlanma terimi ihmal edilebilir. Basınç değişiminin eklenmesi ile oluşan Diffusive Wave Equation (DWE), karmaşık yapıya sahip topoğrafyadaki yüzey akışının benzetimini daha iyi hale getirecektir. Basınç değişimine sahip DWE, havzanın su tutma kapasitesindeki değişimin ve taşkın dalgasının yayılma hızındaki düşüşün hesaplanması için gereklidir. Yerel ve iletken hızlanma terimleri, düz veya ters eğimli yerlerde, çok dik eğimlerde veya kararsız akış durumlarında taşkın güzergâhının belirlenmesi için önemlidir. FLO-2D'de sadece Tam Dinamik Dalga Denklemi (Full Dynamic Wave Equation) kullanılmaktadır. Bu model de yerçekimi, sürtünme kuvveti, basınç değerleri, ivmelenme dikkate alınarak çözüm yapılır.

FLO-2D modelindeki süreklilik ve momentum denklemlerinin diferansiyel yapısı, merkezi sonlu farklar sayısal şemasına göre çözülür. Bu açık algoritma, bir anda sadece bir grid elemanında, o grid elemanı boyunca olan akış hızının belirlenmesi için momentum denklemini çözer. Momentum denklemlerinin diferansiyel yapısının çözümü, bu denklemin tek bir nokta için çözümünün özel bir gösteriminden ortaya çıkmaktadır. Açık

şemaların formüle edilmesi kolaydır ancak genellikle sıkı sayısal kararlılık koşulları yüzünden küçük zaman adımları ile sınırlıdır. Sonlu farklar şemaları, hızlı yükselen ya da alçalan taşkın dalgalarında, çok değişken en kesit yapısına sahip kanallarda, eğimdeki ani değişimlerde uzun hesap süreleri gerektirmektedir (FLO-2D, 2009).

FLO-2D'deki çözüm alanı eşit boyutlardaki kare grid elemanlarına bölünmüştür. Yüzey akışı için hesaplama işlemi her bir akış yönündeki debinin hesaplanması ve grid elemanı sınırlarındaki akış derinliğinin lineer tahmini ile başlamaktadır. Sınırdaki tahmin edilen akışın derinliği birbirlerinin sınırlarını paylaşan iki grid elemanı arasındaki akış derinliğinin ortalamasıdır. Manning değeri, akış alanı, eğim, su yüzeyinin yüksekliği gibi parametrelerin de ortalaması alınmıştır.

Sınır boyunca hesaplanan akış hızı (bağımlı değişken), momentum denkleminin çözülmesiyle elde edilmiştir. İki eleman arasındaki ortalama akış alanı kullanılarak, her bir zaman adımı için debi, hız x akış alanı ($Q = V.A$) olarak hesaplanmıştır (FLO-2D).

Tam dinamik dalga denklemi ikinci dereceden non-lineer kısmi diferansiyel bir denklemdir. Bu denklemin bir grid elemanı sınırlarındaki akış hızını bulmak için, ilk başta ortalama su yüzeyi eğimi (nehir yatağı eğimi + baş (head) basınç değişimi) kullanılarak Difüzyon Dalga Denklemi ile hesaplanır. Daha sonra bu hız Newton-Rhapon Tanjant yönteminde ilk tahmin (yaklaşım) olarak kullanılarak tam dinamik dalga denkleminin kökleri belirlenir.

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)} \quad \text{Newton-Rhapon Tanjant}$$

Sürtünme eğimini (friction slope) hesaplamak için Manning denklemi kullanılır.

$$V = \frac{1}{n} . R^{2/3} . J^{1/2} \quad \text{Manning denklemi}$$

Eğer 3. iterasyonda Newton-Rhapon çözümü kapanmazsa, algoritma varsayılan olarak Difüzyon Dalga Denklemine döner.

Grid elemanı sınır boyunca debi, akışın en kesit alanı ile hızın çarpılması ile hesaplanır. Tüm yönler (8 yön) için debi hesaplandıktan sonra grid elemanındaki su hacmindeki net değişim, bu elemana giriş ve çıkış yapan net debinin zaman adımı ile çarpılması ile elde edilir (Şekil 17). Hacimdeki bu net değişim daha sonra yüzey alanına

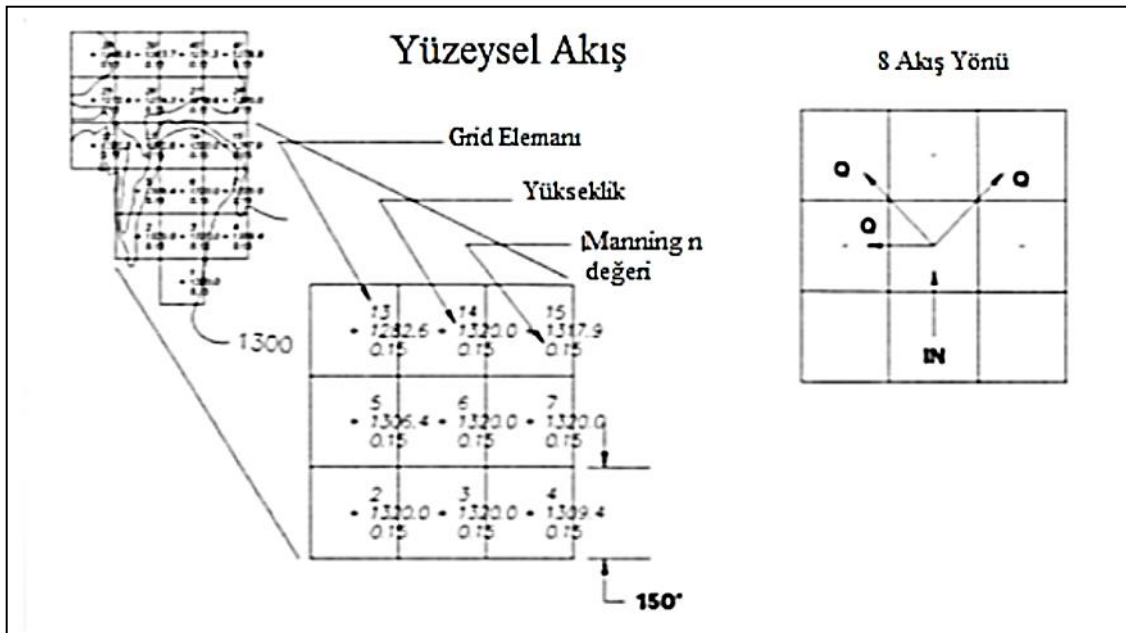
(A_{surf} = depolama alanı) bölünerek, belirlenen bir zaman adımı için akış derinliğindeki değişim elde edilir (FLO-2D, 2009).

$$\sum Q_x^{i+1} = Q_n + Q_e + Q_s + Q_w + Q_{ne} + Q_{se} + Q_{sw} + Q_{nw} = A_{surf} \Delta h / \Delta t$$

Burada: Q_x = bir sınır boyunca debi

A_{surf} = bir grid elemanının yüzey alanı

$\Delta h / \Delta t$ = bir zaman adımında grid elemanındaki akış derinliği değişimi



Şekil 17. Grid elemanı sınırlarındaki debi değişimi (FLO-2D, 2009).

Özetlemek gerekirse, çözüm algoritması aşağıdaki adımları içerir:

- Ortalama akış geometrisi, pürüzlülük ve iki grid elemanı arasındaki eğim hesaplanır.
- Bir grid elemanı boyunca hızın bir sonraki zaman adımında ($i+1$) hesaplanması için akış derinliği d_x bir önceki zaman adımındaki değerlerin lineer olarak tahmin (iki eleman arasındaki ortalama derinlik) edilmesiyle elde edilir.
- Hızın birinci tahmini difüzyon dalga denklemi ile hesaplanır. Difüzyon dalga denklemindeki tek bilinmeyen yüzey, kanal ya da sokak akışının hızıdır.

- Mevcut zaman adımı için belirlenen difüzyon dalga hızı, Newton-Rhapson çözümünde başlangıç değeri olarak kullanılarak buradan tam dinamik dalga denklemindeki sonuç hız bulunur.
- Sınır boyunca debi Q , hız ile akışın en kesit alanının çarpılması ile elde edilir.
- Belirli bir zaman adımında tüm 8 sınırdaki debi (yukarı ya da aşağı yönlü) toplanır.

Grid elemanındaki akış derinliğindeki artışın belirlenmesi için, hacimdeki net değişim (x zaman adımındaki net debi) tüm depolama alanına dağıtılır. Zaman adımı Δt , i ve $i+1$ arasındayken, her 8 yön için debideki net değişim ΔQ_x aşağıdaki gibidir.

$$\Delta d_x^{i+1} = \Delta Q_x^{i+1} \Delta t / A_{\text{surf}}$$

- Daha sonra grid elemanının yeni derinliği sayısal kararlılık koşulu ile kontrol edilir. Eğer sayısal kararlılık koşullarından biri aşılabacak olursa, simülasyon süresi sıfırlanır, zaman adımı artışı azaltılır ve bir önceki zaman adımına göre yapılan tüm hesaplar görmezden gelinerek hız hesaplamaları tekrar başlar.
- Simülasyon, sayısal kararlılık koşulu aşılanaya kadar zaman adımı artırılarak çalışmaya devam eder.

Bir zaman adımındaki geçiş esnasında, debi değişimi girdi elemanlarına eklenir, grid elemanları arasındaki akış hızı ve debi hesaplanır ve daha sonra her bir grid elemanındaki depolama hacmindeki değişim belirlenir. Giriş hacmi, çıkış hacmi, depolamadaki değişim ve ya grid sistemindeki kayıp her zaman adımının sonunda toplanır ve hacim korunumu hesaplanır (FLO-2D, 2009).

Sonlu farklar akış güzergâhı belirleme işleminin etkin bir biçimde gerçekleştirilmesi için gereken temel etmen; sayısal kararlılık koşulunun zaman adımını olabildiğince küçük tutması, ayrıca bu zaman adımının simülasyonu makul bir sürede tamamlamak için yeterince de uzun olmasıdır. Model, sayısal kararlılık koşulunun aşılabacak durumuna göre değişkenlik gösteren zaman adımına sahiptir. Sayısal kararlılık koşulu her bir zaman adımında her bir grid elemanı için çözümün kararlılığını kontrol etmektedir. Pek çok açık sayısal şema Courant-Friedrich-Lewy (CFL) sayısal kararlılık koşuluna dayanmaktadır (Jin ve Fread, 1997). CFL koşulu, taşkın dalgasının hızını model zamanı ve konumsal artışlar ile ilişkilendirir. Bir miktar akışkanın bir zaman adımında Δt bir

konumsal artış miktarı Δx kadar yol gidebilmesi CFL koşulunun fiziksel yorumlaması olarak karşımıza çıkmaktadır (Fletcher, 1990). Zaman adımı Δt aşağıdaki bileşenler tarafından sınırlandırılmaktadır:

$$C = \frac{u\Delta t}{\Delta x}$$

C: Courant sayısı ($C \leq 1.0$)

Δx : kare grid elemanının genişliği

V: hesaplanan ortalama hız (m/sn)

Δt : Zaman adımı

C katsayısı açık güzergâh belirleme algoritmasına bağlı olarak 0,3 ile 1,0 arasında değişmektedir (FLO-2D). C değeri FLO-2D'de en büyük zaman adımını elde edebilmek için 1,0 olarak seçilir.

Zaman adımları genellikle 0,1 ile 30 saniye arasında değişmektedir. Model 1 saniyeye eşdeğer bir zaman adımı ile çalışmaya başlar ve sayısal kararlılık koşulundan biri aşılanaya kadar bu değeri artırmaya devam eder, kararlılık koşulu aşıldıktan sonra zaman adımı küçültülür. Zaman adımı, verilen bir grid elemanı ve boyutlarının debi değişimine göre fonksiyonudur. Dik bir biçimde yükselen hidrograf ve pik debi değeri olan küçük grid elemanları küçük zaman adımları gerektirir. Küçük zaman adımları kullanmak doğruluğa zarar vermez ancak grid sisteminin büyük olduğu durumlarda hesaplama süresini uzatır (FLO-2D, 2009).

Hacim korunumu sayısal kararlılığın ve doğruluğun bir göstergesidir. Her bir zaman adımının sonunda grid sistemindeki giriş çıkış hacmi, depolamadaki değişim, sızma ve buharlaşma kayıpları toplanır. Toplam giren akış ve çıkan akış, depolanan ve kayıpların farkı hacim korunumunun ölçülme şeklidir. Verilerdeki hatalar, sayısal kararsızlık veya düzgün entegre edilememiş bileşenler hacim korunumunda kayıplara neden olur. Hiçbir taşkın simülasyonunda hacim korunumu kesin değildir. Yuvarlama hataları, yaklaşık değerler ve ya interpolasyondan kaynaklanan sayısal hatalar ile karşılaşılması mümkündür, ancak yine de giriş akışın hacminin belirli bir yüzdesi korunmalıdır. Kullanıcı hacim korunumunda ne kadar hataya müsaade edileceğine karar vermelidir. Genel olarak % 0.001 ve ya daha düşük bir değer hacim korunumu için yeterli bir değer olarak kabul edilmektedir (FLO-2D, 2009).

2.3.6. Uygulama

Grid Developer System (GDS), diğ er ön ve ardıl işleyici (pre ve post processor) programlar için gerekli olan FLO-2D grid sisteminin özelliklerini ve veri dosyalarını hazırlayarak bu programlar için platform oluşturan bir ön işleyicidir. FLO-2D modeli için gerekli olan temel girdi dosyalarını hazırlar. Referanslandırılmış hava fotoğrafları, shapefile dosyaları, arkaplan görüntüleri yüklenerek grafik olarak verilerin düzenlenmesi konusunda kolaylık sağlamaktadır. FLO-2D grid sistemini oluşturmasının yanında, GDS kanal, set, sokaklar, geçirimsizlik, alan azaltan etkenler (area reduction factor), taşkın havzası yükseklik ve pürüzlülükleri, giriş ve çıkış akışları (inflow- outflow) gibi konumsal olarak değış en varlıkların eklenmesi ve düzenlenmesi için güçlü araçlar sunmaktadır.

Grafik gösterimleri ise HYDROG, PROFILES ve MAPPER ardıl işleyici programlarında yapılmaktadır. MAPPER programı su yüzeyi yüksekliğı (water surface elevation), her pikseldeki su derinlikleri (water depth), su altında kalan alanlar (area of inundation), suyun akış yönleri ve hızları (direction and flow velocity), zamana bağı lı taşkın havzasındaki değış imleri ve risk haritalarını oluşturmaktadır.

FLO-2D modelinde, kullanıcının sonuçları organize etmesini kolaylaştıran birçok çıktı dosyaları vardır. Taşkın havzası, kanal ve sokak hidroliklerinin hepsi dosyalara yazılır. Hidrolik veriler sekiz akış yönündeki, su yüzeyi yüksekliğı, akış derinliğı ve hızları içerir. Belirlenmiş zaman aralıklarındaki debiler (hidrograf) farklı dosyalara yazılır. Sistemdeki giriş ve çıkış akışları ve depolamayı kıyaslayan kütle korunum özet tablosu summary.out dosyasına yazılır (Ek-2).

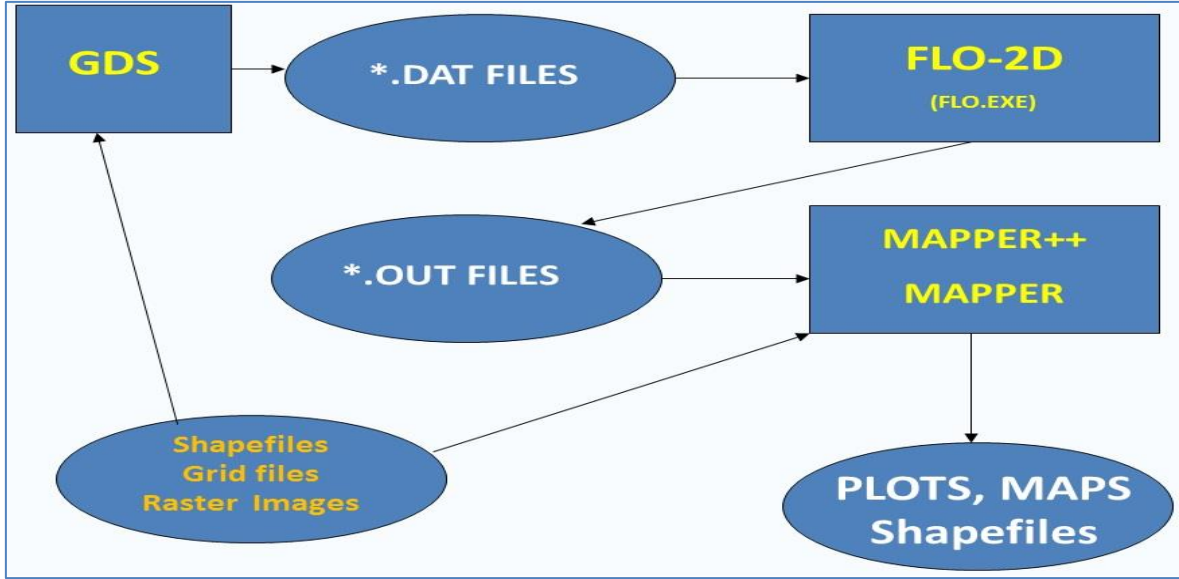
Yazılım için Veri Gereksinimleri

1) Girilmesi zorunlu veriler;

- Arazi Yükseklikleri (DTM, Arcinfo ASCII Grid file, Point Shape, Sayısallaştırılmış harita)
- Hidrograf veya yağmur
- Manning pürüzlülük katsayısı

2) İsteğe bağı lı girilen veriler;

- Hava Fotoğrafları (tiff, jpg ve worldfile dosyaları)
- Toprak ve arazi kullanım veri dosyaları (shapefile)
- Bina (shapefile)
- Kanallar, setler, refüjler vb. veriler



Şekil 18. FLO-2D model sistemi

FLO-2D yazılımı (GDS+Mapper) kullanılarak, HP Z400 Workstation model, bellek (RAM) 8 Gigabyte, İşlemci Intel (R) Xeon (R) CPU W3565 3.20 Gigahertz, işletim sistemi Windows 7 64 Bit olan bilgisayarda, İnsansız Hava Aracı ve Fotogrametrik Yöntem ile üretilen SYM'ler üzerinden gerçekleştirilen uygulama için kullanılan veriler ve izlenen işlem adımları aşağıdaki gibidir.

Uygulama için kullanılan yağmur miktarı (rainfall) 63,4 mm, yağmur süresi (rainfall duration) 2 saat, yağmurun yol yüzeyinde tutulan başlangıç miktarı (initial abstraction) 1,27 mm, buharlaşma miktarı (evaporation) 2,2 mm olmak üzere buharlaşmanın dikkate alındığı simülasyonda toplam su kaybı değeri 3,47 (1,27+2,2) mm olarak, buharlaşmanın dikkate alınmadığı simülasyonlar için ise 1,27 mm olarak hesaba katılmıştır.

Manning pürüzlülük katsayısı refüj (orta kaldırım) bölgesi için program tarafından varsayılan değer 0,04, asfalt yüzey için ise 0,02 girilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Model, akış miktarını hesaplarken Tablo 8'de gösterilen akış miktarı hesaplama yöntemlerinden Green-Ampt ve SCS yöntemlerini kullanmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesinin kullanarak arazi kullanım sınıflarının ve toprak sınıflarının shapefile formatında input olarak girilmesi sonucu abstraction değerlerini shapefile formatında hazırlamak, manning değerlerini yine shapefile olarak arazi kullanım ve toprak tiplerinden belirlemek mümkündür. Uygulama da toprak sınıfları olmadığından ve sadece tek bir yüzey olan asfalt yol üzerinde çalışıldığı için buna ihtiyaç duyulmamıştır. Bir pikselden diğer piksele

akışın olabilmesi için program tarafından kabul edilen TOL değerinin 0,01 metreyi aşması gerekmektedir (Ek-1).

Veri dosyalarının GDS’de hazırlanması;

- Çalışma bölgesini kapsayan ortofoto ve Sayısal Yükseklik Modelinin aktarımı,
- En uygun grid boyutunun seçilmesi ve grid şemasının oluşturulması,
- Çalışma bölgesinin (computational area) poligon olarak seçilmesi,
- Çalışma bölgesi içindeki gridlere yükseklik verilerinin Inverse Distance Weighted (IDW) yöntemi ile enterpolasyonu,
- Yağış miktarının, yağış süresinin ve yağış dağılımının düzenli kabul edilerek RAIN. DAT dosyasının oluşturulması,
- Toplam yağış kayıplarının (rainfall abstraction) belirlenmesi,
- Manning pürüzlülük katsayısı ve dikkate alınacak ise buharlaşma miktarlarının programa aktarılması,
- Refüj tanımlanması,
- Model alan içindeki yol kenarlarındaki drenaj yapılarının (menfez, ızgara vb.) suyun deşarj olacağı noktalar (outflow) olarak halihazır üzerinden işaretlenerek tanımlanması,
- Simülasyon süresinin ve çıktı süresi aralığının (output interval) Şekil 19’da gösterildiği gibi girilmesi,
- FLO-2D modelinin çalıştırılması ve sonuçların OUT uzantılı dosyalar olarak kaydedilmesi.

Sonuçların Mapper da gösterilmesi;

- Su yüzeyi yüksekliklerinin, akış derinliklerinin, akış hızlarının vb. çıktıların alınması,
- Su altında kalan alanların (area of inundation) tespit edilmesi.

Daha sonra su altında kalan alanlar shapefile formatında Global Mapper programına aktarılarak, yol üzerinde meydana gelen birikinti alanları tespit edilmiş ve hydroplaning’e neden olabilecek alanlar belirlenerek uygulama tamamlanmıştır.

Sonuçların hangi SYM’nin kullanılarak alındığını daha kolay ifade edebilmek için şekillerin altına İHA ve Fotogrametrik Yöntem diye kısaltmalar yazılmıştır.

FLO-2D Control Variables

Time Control and Plot Variables

Simulation Time (hrs):

Output Interval (hrs):

Graphics Display: Text Screen Detailed Graphics

Metric Backup File

Global Data Modification

n-value Adjustment: Floodplain Limiting Froude No:

Flow Depth for Depth Duration Analysis: Shallow Flow n-value:

Bulking Concentration: Encroachment Depth:

Area Reduction Factor:

System Component Switches

Main Channel Area Reduction Factors (ARF)

Streets Multiple Channels (Rill and Gullies)

Levees

Physical Processes Switches

Rainfall Infiltration Evaporation

Mud/Debris Sediment Transport None

MODFLO-2D Modelling

Conveyance Structure Switches

Hydraulic Structures Floodway Analysis Debris Basin

Floodplain Display Options

Print Options:

Create Supercritical Output File

Channel Display Options

Check "Main Channel" to activate "Channel Print Options"

Channel Print Options:

Time Lapse Output

Time Lapse Output Output Interval (hrs):

Graphics Display

Select "Detailed Graphics" in "Time Control and Plot Variables" frame

Update Time Interval (hrs):

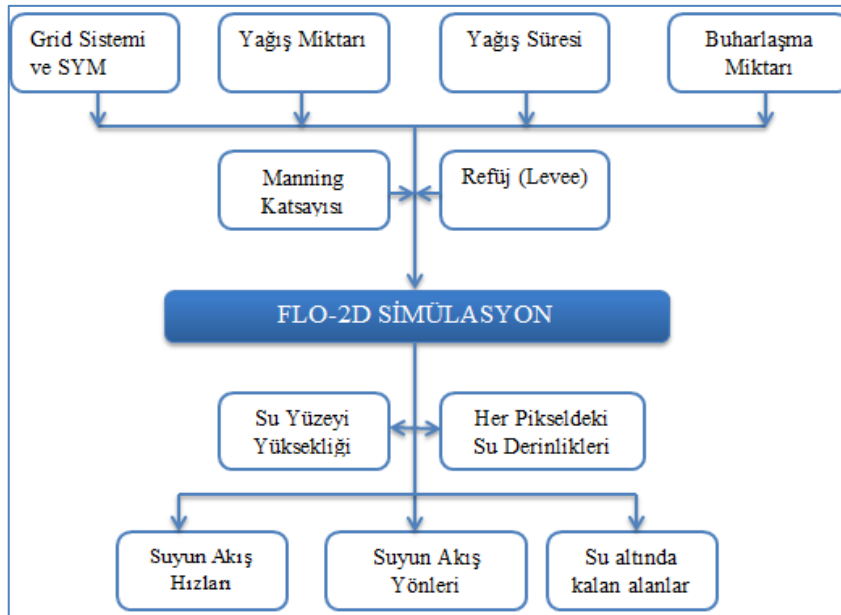
Numerical Stability Parameters

Surface Detention: Dynamic Wave Stability Coefficient:

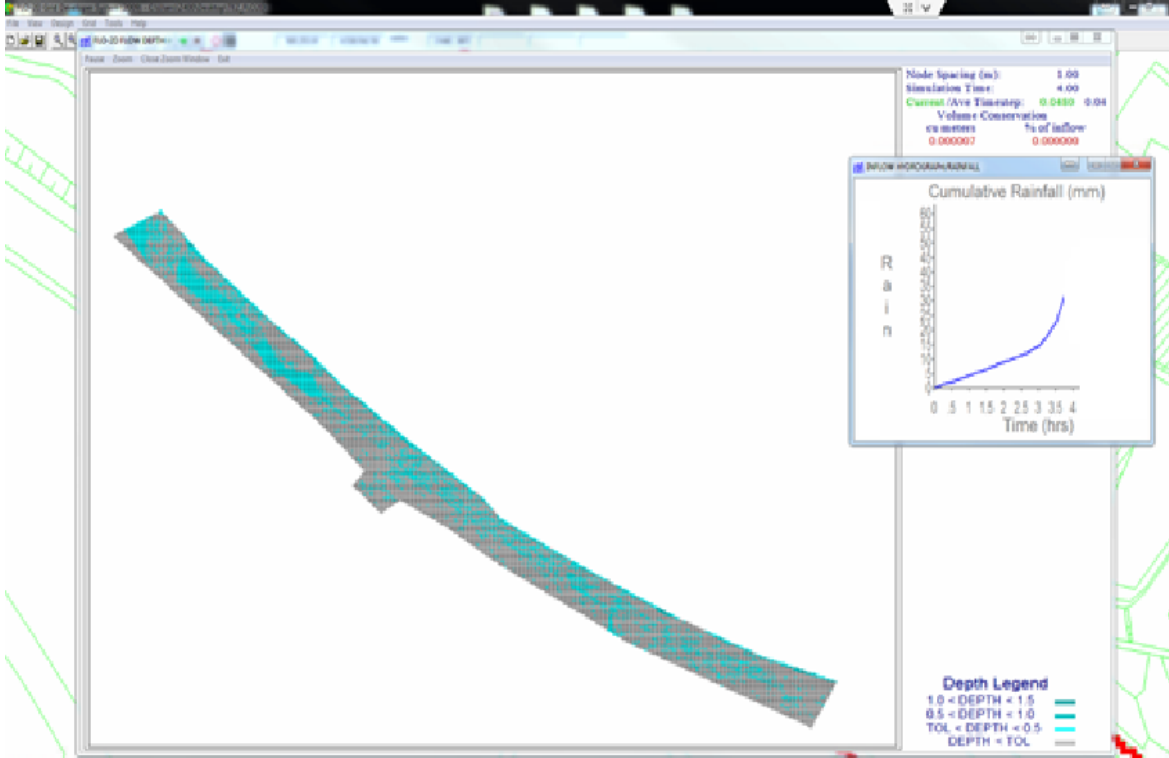
Percent Change in Flow Depth: Courant Number (range: 0.1 to 1.0):

Animate Flow within GDS

Şekil 19. FLO-2D simülasyon arayüzü



Şekil 20. FLO-2D yazılımı girdi parametreleri ve çıktıları



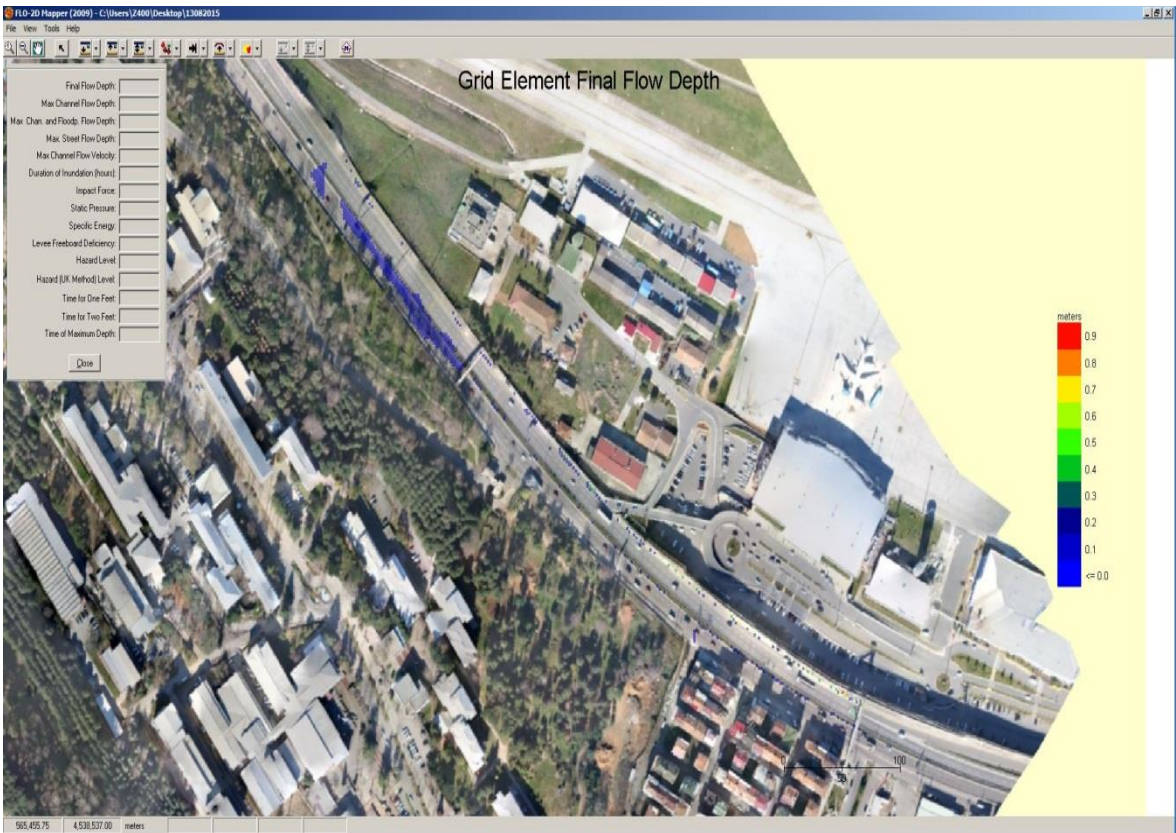
Şekil 21. Simulasyon koşum anı



Şekil 22. Maximum su yüzeyi yükseklikleri (Fotogrametrik Yöntem)



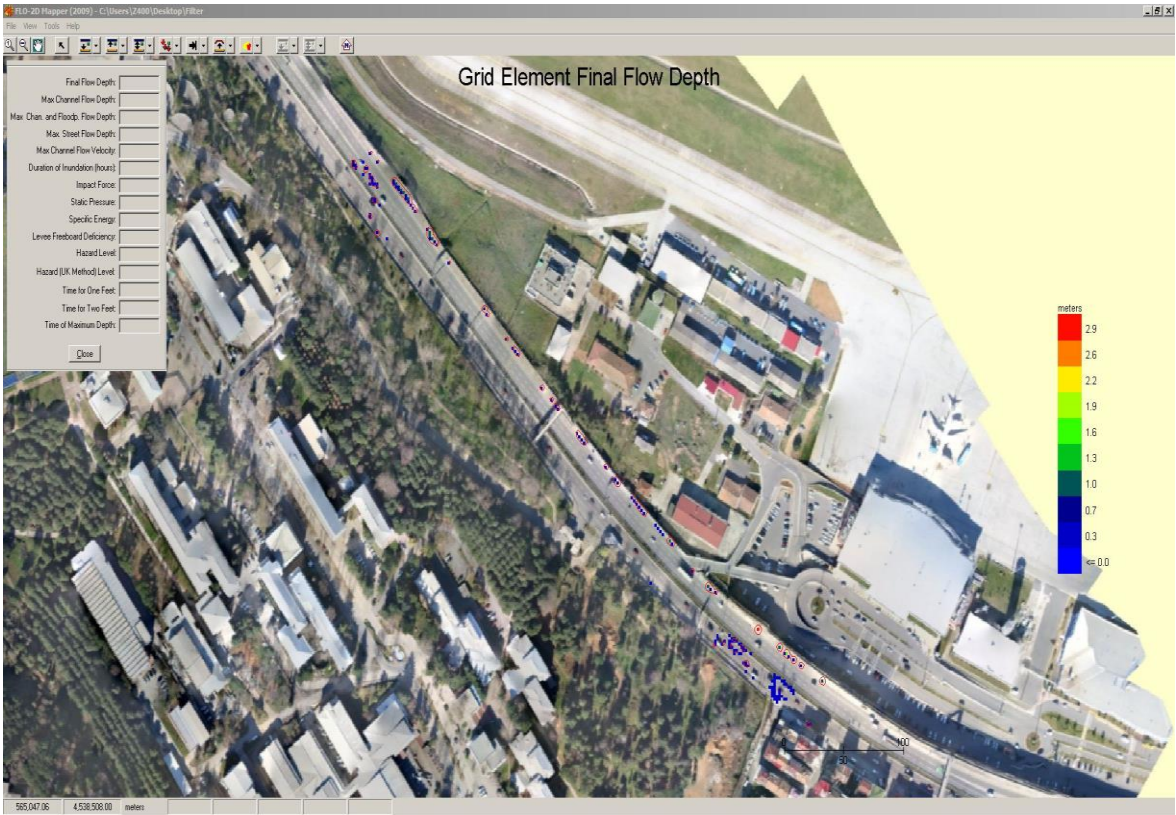
Şekil 23. Her pikseldeki akış derinlik miktarları (Fotogrametrik Yöntem)



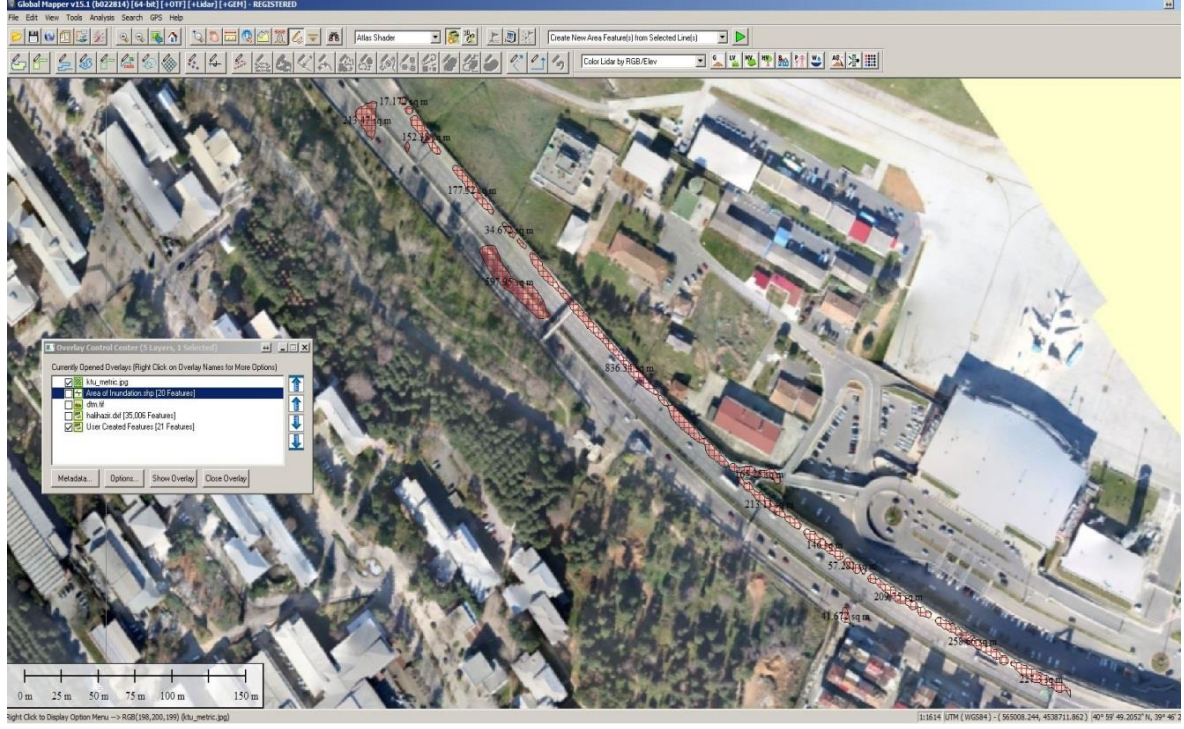
Şekil 24. Elde edilen son akış derinlikleri (Fotogrametrik Yöntem)



Şekil 25. Maximum su yüzey yükseklikleri (İHA)



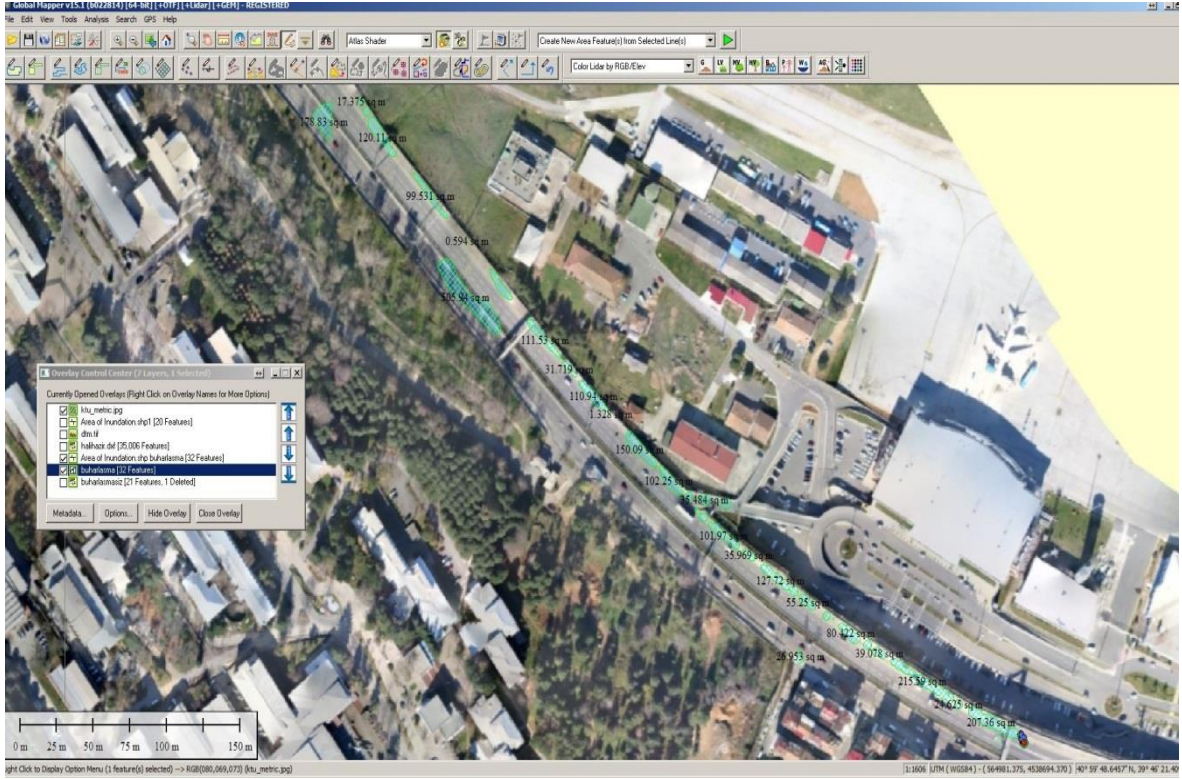
Şekil 26. Piksellerdeki son akış derinlikleri (İHA)



Şekil 27. Su altında kalan alanlar (Fotogrametrik Yöntem)

Tablo 11. Su altında kalan toplam alan değerleri (Fotogrametrik Yöntem)

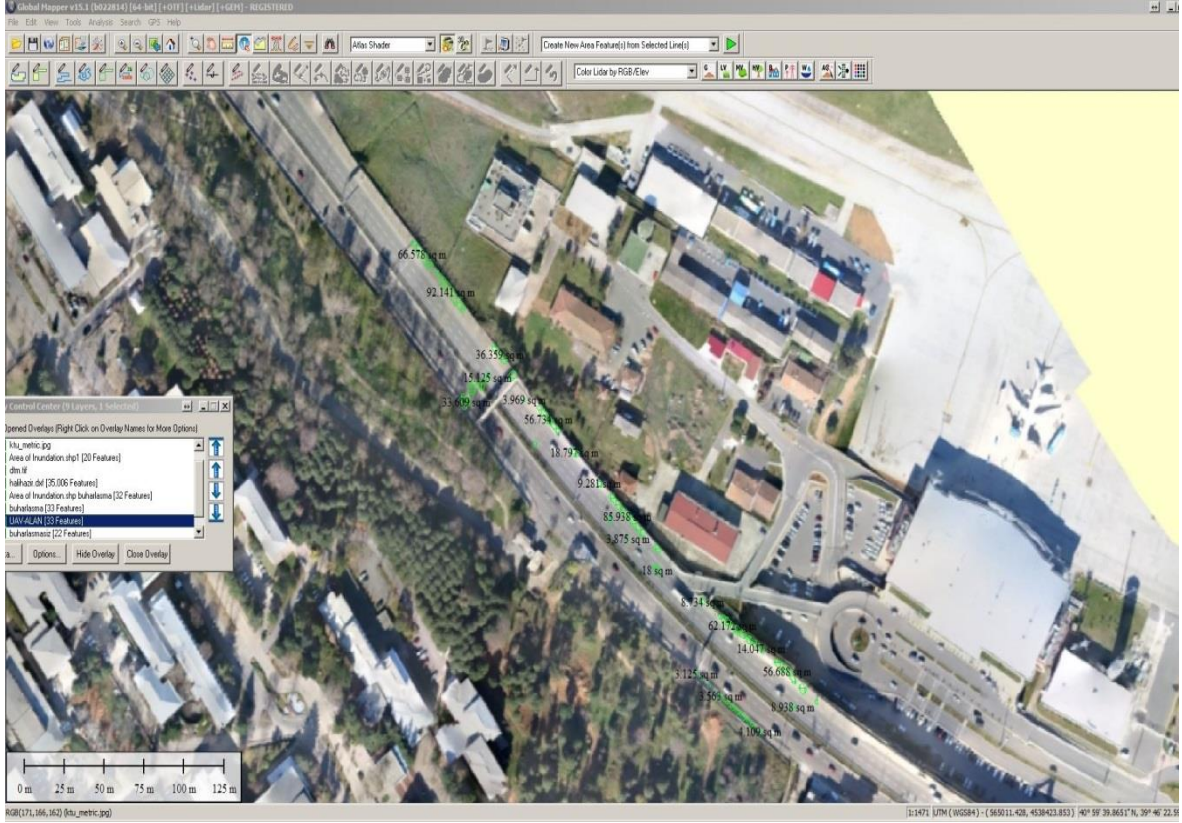
	A	B	C	D	E
1	ENCLOSED_AREA	PERIMETER	Point Count	Area Count	Total Enclosed Area (sq m)
2	1.391 sq m	4.887 m	0	1	1.391
3	12.375 sq m	14.873 m	0	1	12.375
4	146 sq m	72.043 m	0	1	146
5	152.38 sq m	68.72 m	0	1	152.38
6	165.25 sq m	84.624 m	0	1	165.25
7	17.047 sq m	18.731 m	0	1	17.047
8	17.172 sq m	15.208 m	0	1	17.172
9	177.52 sq m	86.462 m	0	1	177.52
10	19.094 sq m	15.993 m	0	1	19.094
11	209.75 sq m	114.38 m	0	1	209.75
12	213.13 sq m	118.06 m	0	1	213.13
13	213.47 sq m	61.817 m	0	1	213.47
14	227.3 sq m	104.83 m	0	1	227.3
15	258.66 sq m	127.34 m	0	1	258.66
16	34.672 sq m	27.584 m	0	1	34.672
17	41.672 sq m	27.703 m	0	1	41.672
18	5.969 sq m	9.467 m	0	1	5.969
19	57.281 sq m	33.851 m	0	1	57.281
20	597.95 sq m	140.14 m	0	1	597.95
21	836.34 sq m	391.29 m	0	1	836.34
22	Su altında kalan toplam alan				3404.423



Şekil 28. Buharlaşma parametresi dikkate alınarak yapılan analiz sonucu su birikinti alanları (Fotogrametrik Yöntem)

Tablo 12. Buharlaşma parametresi dikkate alınarak yapılan analiz sonucu su altında kalan toplam alan değerleri (Fotogrametrik Yöntem)

	A	B	C	D	E
1	ENCLOSED_AREA	PERIMETER	Point Count	Area Count	Total Enclosed Area (sq m)
2	0.594 sq m	3.159 m	0	1	0.594
3	0.891 sq m	3.937 m	0	1	0.891
4	1.328 sq m	4.625 m	0	1	1.328
5	101.97 sq m	57.8 m	0	1	101.97
6	102.25 sq m	50.259 m	0	1	102.25
7	110.94 sq m	57.074 m	0	1	110.94
8	111.53 sq m	68.473 m	0	1	111.53
9	120.11 sq m	64.128 m	0	1	120.11
10	127.72 sq m	71.882 m	0	1	127.72
11	150.09 sq m	63.095 m	0	1	150.09
12	16.703 sq m	15.031 m	0	1	16.703
13	17.375 sq m	15.297 m	0	1	17.375
14	178.83 sq m	56.707 m	0	1	178.83
15	18.531 sq m	15.78 m	0	1	18.531
16	19.813 sq m	16.306 m	0	1	19.813
17	207.36 sq m	88.028 m	0	1	207.36
18	215.59 sq m	109.79 m	0	1	215.59
19	23.547 sq m	17.791 m	0	1	23.547
20	24.625 sq m	18.117 m	0	1	24.625
21	26.953 sq m	21.108 m	0	1	26.953
22	27.734 sq m	27.652 m	0	1	27.734
23	31.719 sq m	29.209 m	0	1	31.719
24	35.156 sq m	22.681 m	0	1	35.156
25	35.484 sq m	23.93 m	0	1	35.484
26	35.969 sq m	26.446 m	0	1	35.969
27	39.078 sq m	25.949 m	0	1	39.078
28	505.94 sq m	129.55 m	0	1	505.94
29	55.25 sq m	33.279 m	0	1	55.25
30	7.031 sq m	12.315 m	0	1	7.031
31	80.422 sq m	41.785 m	0	1	80.422
32	84.031 sq m	50.571 m	0	1	84.031
33	99.531 sq m	72.739 m	0	1	99.531
34					Su altında kalan toplam alan
					2614.095



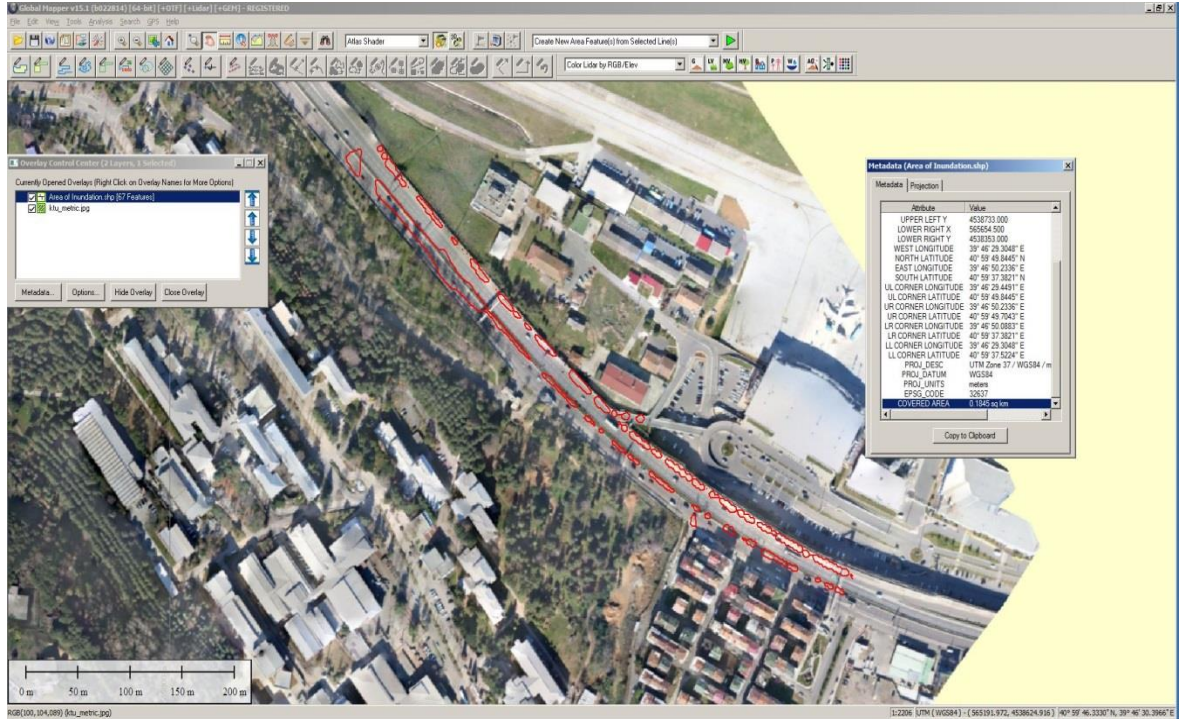
Şekil 29. Su birikinti alanlarının gösterimi (İHA)

Tablo 13. Toplam su birikinti alan değerleri (İHA)

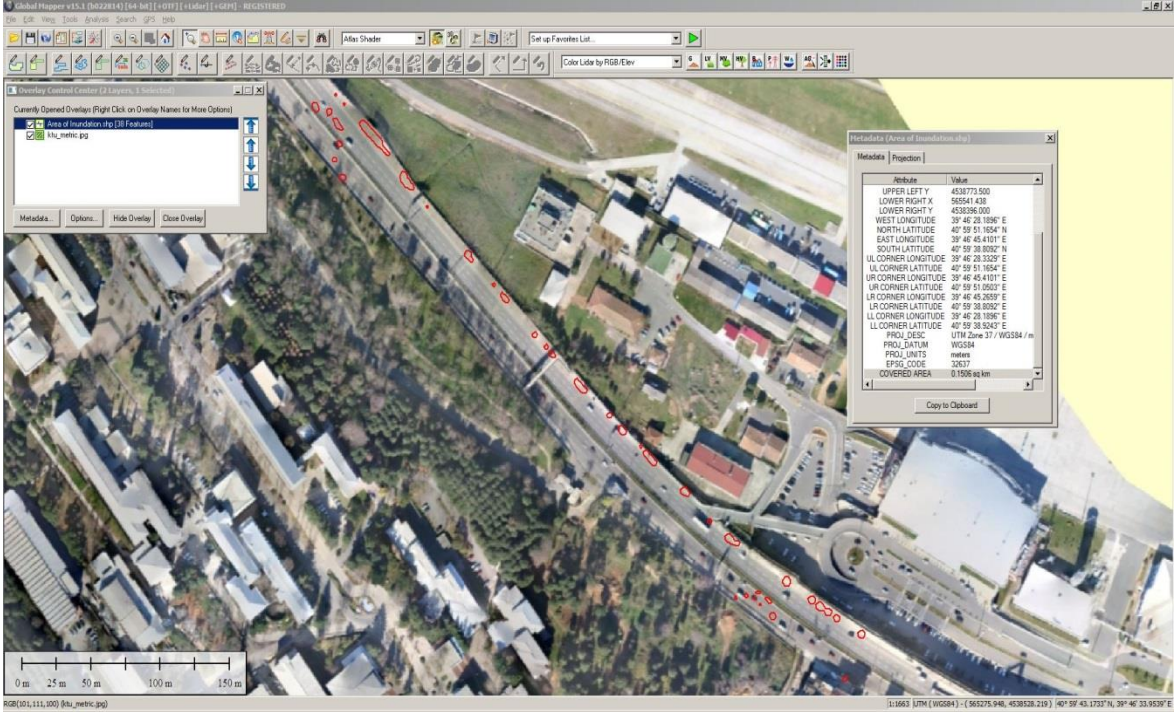
	A	B	C	D	E
1	ENCLOSED_AREA	PERIMETER	Point Count	Area Count	Total Enclosed Area (sq m)
2	0.25 sq m	2.426 m	0	1	0.25
3	0.984 sq m	4.094 m	0	1	0.984
4	1.859 sq m	5.328 m	0	1	1.859
5	10.75 sq m	13.515 m	0	1	10.75
6	14.047 sq m	16.375 m	0	1	14.047
7	15.125 sq m	14.503 m	0	1	15.125
8	15.828 sq m	15.184 m	0	1	15.828
9	178.83 sq m	56.707 m	0	1	178.83
10	18 sq m	17.139 m	0	1	18
11	18.25 sq m	20.167 m	0	1	18.25
12	18.719 sq m	16.137 m	0	1	18.719
13	18.797 sq m	16.493 m	0	1	18.797
14	3.125 sq m	6.755 m	0	1	3.125
15	3.25 sq m	7.653 m	0	1	3.25
16	3.563 sq m	7.096 m	0	1	3.563
17	3.875 sq m	7.418 m	0	1	3.875
18	3.969 sq m	7.585 m	0	1	3.969
19	33.609 sq m	22.831 m	0	1	33.609
20	36.359 sq m	29.335 m	0	1	36.359
21	4.109 sq m	8.199 m	0	1	4.109
22	43.656 sq m	31.894 m	0	1	43.656
23	45.453 sq m	54.996 m	0	1	45.453
24	56.688 sq m	41.336 m	0	1	56.688
25	56.734 sq m	41.818 m	0	1	56.734
26	62.172 sq m	51.185 m	0	1	62.172
27	66.578 sq m	42.652 m	0	1	66.578
28	7.094 sq m	10.048 m	0	1	7.094
29	8.734 sq m	11.09 m	0	1	8.734
30	8.938 sq m	12.523 m	0	1	8.938
31	85.938 sq m	66.086 m	0	1	85.938
32	9.281 sq m	11.5 m	0	1	9.281
33	92.141 sq m	58.646 m	0	1	92.141
34			Su altında kalan toplam alan		946.705

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Fotogrametrik Yöntem ve İHA ile elde edilen SYM'ler üzerinden gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında 10 cm'nin altındaki derinlik değerleri program tarafından tek bir sınıfta toplanmıştır. Simülasyon sonunda elde edilen son akış derinlik değerleri Fotogrametrik Yöntem ve İHA için sırası ile Şekil 24 ve 26'da yukarıda gösterilmiştir. Derinlik değerlerine göre araçların hydroplaning olma durumları incelendiğinde ise Glennon (2006), 1 inç'in onda biri kadar su derinliği olan yerlerde (0,254 cm) ve su birikinti mesafesinin 9 metreyi (30 ft) aştığı yerlerde hydroplaning meydana geldiğini ve bu yerlerde araç hızının 72 km/s (45 mph) aşmamasının karayolları için genel bir kural olduğunu belirtmişlerdir. Bu değerler farklı lastik diş izi, derinliği, basıncı ve araç hızına göre yapılan testler sonucu Hayes vd. (1983) tarafından elde edilmiştir. Buna göre, simülasyon sonuçlarına bakıldığında 10 cm'nin altında ve üzerindeki su derinliklerinin oluşturduğu su altında kalan alanlar (area of inundation), yol üzerinde hydroplaning'e neden olan bölgeleri meydana getirmektedir ve ortofoto üzerinde her iki SYM için gösterilmiştir.



Şekil 30. Yol üzerindeki hydroplaning risk taşıyan alanlar (Fotogrametrik Yöntem)



Şekil 31. Yol üzerindeki hydroplaning riski taşıyan alanlar (İHA)

Değişen derinlik miktarına bağlı olarak aracın su biriken alanlara giriş hızları farklılık göstermektedir. Tablo 14’de görüldüğü gibi aracın 0,5 cm veya daha fazla su derinliklere 72 km/s (45mph) ve üzerindeki hızlarda girmemesi gerekmektedir.

Tablo 14. Su derinliğine göre önerilen araç hızı (Glennon, 2015)

Hız (mph)	Kritik Su Derinliği (inç)
> 50	0,05
45-50	0,1
< 45	0,2

Bölge için elde edilen sonuçlarda yol yüzeyindeki bozukluk ve çukurların su ile dolmasının yanı sıra yol yüzeyinin bir kısmı 10 cm ve üzerindeki derinliklerde su altında kalmaktadır.

Su derinliklerine bağlı olarak değişen hydroplaning hızları, derinliğin 0,1 inç (0,25 cm) ve daha az olması durumunda Agrawal denklemi ile hesaplanmaktadır (Mounce ve Bartoskewitz, 1993).

$$HPS = 53,34 (WFT)^{-0,259} \quad \text{Agrawal Denklemi}$$

HPS: Hydroplaning hızı (km/s) WFT: su derinliği

Su derinliğinin 0,25 cm'nin üzerinde olması durumunda ise hydroplaning hızları Gallaway denklemi ile araç faktörlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$V = 0,902 SD^{0,04} P^{0,3} \left(\frac{TD}{0,794} + 1 \right)^{0,06} A \quad \text{Gallaway Denklemi}$$

V: Araç hızı (km/s)

SD: Tekerlek hızındaki azalma oranı

P: Lastik basıncı (kPa)

TD: Lastik diş derinliği (mm)

TXD: Yüzey dokusunun derinliği (mm)

A katsayısı ise, $A = \left(\frac{11,008}{WD^{0,06}} + 3,507 \right)$ veya $A = \left(\frac{26,871}{WD^{0,06}} - 6,861 \right) TXD^{0,14}$ denklem sonuçlarından hangisi büyük ise o değer dikkate alınarak hesaplanır (Mounce ve Bartoskewitz, 1993).

WD: Su derinliği (cm)

Ortalama değerlerin dikkate alınması ile araçların su derinliklerine göre kritik hız sınırları belirlenecek olursa;

- TXD, asfalt yüzeyler için 0,33 mm' dir (Meyer ve Reichert, 1990). Denklemde cm olarak dikkate alınır.
- Lastik basınçları 18 psi (124 kPa) ile 36 psi (248 kPa) arasında değişmektedir (Martinez vd., 1972).
- Lastik diş derinliğinin yasal sınırı 1,6 mm'dir (Hillier ve Coombes, 2004).
- SD ise, hydroplaning oluşmaya başladığı anda %10 civarındadır (Mays, 1999).

Simülasyon sonuçlarındaki 10 cm su derinlikleri için hydroplaning hızı lastik basıncının 206 kPa (30 psi) olduğu durum için Gallaway denkleminde hesaplanarak 57 km/s olarak bulunmuştur.

Doğru bir hidrolojik modelleme SYM'nin, ölçümlerin, hidrolojik verilerin çözünürlüğüne ve çalışılan havza ölçeğinde gereken parametrelerin dikkate alınmasına bağlıdır. Tüm parametreler dikkate alınarak gerçeğe çok daha yakın bir modelleme yapılması mümkündür. Fakat çalışmanın doğruluğunu etkileyen en önemli parametre

SYM'dir. Fotogrametrik Yöntem ve İHA ile elde edilen sonuçlarda su altında kalan alanlar sırası ile 3404,423 m² ve 946,705 m² olarak bulunmuştur (Ek-2, Ek-3). Kullanılan grid boyutu, hidrolojik ve meteorolojik parametrelerin tamamının aynı olmasına rağmen bu denli fark çıkmasının nedeni simülasyonlarda kullanılan SYM'lerin doğruluk farklarıdır. Fewtrell vd.'ne (2011) göre, 2-D hidrolojik modellerin taşkın analizi uygulamalarında ortaya çıkan hataların büyük çoğunluğu topoğrafik verideki hatalardan kaynaklanmaktadır. Araziyi mikro topoğrafik ölçekte modelleyebilmek, akış yönlerini en doğru biçimde belirleyerek su birikim alanlarını tespit edebilmek için kullanılan altlığın yeteri doğrulukta olması gerekmektedir. Fotogrametrik Yöntem ile elde edilen SYM doğruluğunun 25 cm olduğu bilinmektedir. Fakat İHA ile üretilen SYM'nin düşey doğruluğu bilinmemektedir. Yapılan çalışmanın kendi içindeki tutarlılığının (rölatif doğruluk) daha önemli olduğu düşünüldüğünde ise mutlak doğruluğun simülasyon için gerekliliği tez kapsamında gözardı edilmiştir. Bu yüzden modeli kendi içinde en doğru şekilde modelleyebilmek için en uygun grid boyutu nedir sorusuna cevap aramak gerekmektedir. Optimum grid boyutuna karar verebilmek için, modellenecek alanın özellikleri, büyüklüğü ve meydana gelen ya da gelebilecek yağış veya debi miktarları dikkate alınmalıdır.

FLO-2D modelinin konumsal ve zamansal çözünürlüğü grid elemanlarının boyutuna ve hidrografın yükselme oranına (debi değişimi) bağlıdır. Küçük grid elemanları daha iyi akış dağılımı yapılmasını sağlasa da daha uzun hesaplama süresi, büyük veri dosyaları ve sınır durumları oluşturur. Hesaplama süresi ile grid elemanı sayısı arasında orta bir yol bulunmalıdır. Pek çok simülasyon için 3 m ile 100 m arasındaki grid boyutu yeterli olmaktadır (FLO-2D, 2009).

Taşkın havzasının topoğrafik yüzeyinin, büyük debileri tutabilmek üzere kare gridlere bölünmesi bazı topoğrafik detayların kaybolmasına neden olacaktır. Topografyadaki değişimin, tüm havza su ile kaplandığında bir etkisi kalmamaktadır. Sığ akışların, dik eğimlerin veya küçük debilerin simülasyonu yapılırken küçük grid elemanları kullanılmalıdır. Grid elemanı boyutu belirlenirken altlık haritanın çözünürlüğü ve doğruluğu göz önünde bulundurulmalıdır. Eşyüksekti doğruluğu ± 0.3 m olan altlıklarda 15 m'den küçük grid elemanları önerilmemektedir (FLO-2D, 2009).

Seçilen grid boyutu ve zaman adımı modelin kararlılığı ile çözümün doğruluğunu etkilemektedir. Sayısal modellemede, optimum grid boyutu ve zaman adımı değerlendirmesi yapılırken yazılımdaki sayısal şemaya bağlı olan Courant Number (Courant sayısı, CFL) yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Kural olarak, saniye

birimindeki zaman adımı metre birimindeki grid boyutunun yarısı olmalıdır (URL-23, 2015). Buna göre, modelin çalıştığı en küçük zaman adımı 0,1 saniye olduğuna göre grid boyutunun 0,2 m yani 20 cm olması gerekmektedir. Böylelikle modelin sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için kullanılabilir olan en küçük grid boyutu çalışılan yazılımın en küçük zaman adımına göre belirlenebilir.

Tez kapsamında courant sayısı FLO-2D tarafından varsayılan (default) değer 0,6 olarak dikkate alınmıştır. Sayısal kararlılık (Numerical stability) için her bir grid elemanında ayrı ayrı hesaplanır. Akış hızına, piksel boyutuna ve zaman adımına bağlıdır. Courant sayısı ile akışkanın yani suyun hesaplanacak gridler arasında nasıl hareket edeceği açıklanmaktadır (URL-24, 2015). Sayısal kararlılık kriteri (Numerical stability criteria), zaman adımlarını kontrol etmek için kullanılır. Herhangi bir hata ile karşılaşmadan ve kararlı bir simülasyon için model, hesaplama yapılan zaman adımını mümkün olan en küçük değere getirerek Courant Sayısını 1 veya daha küçük bir değerde tutmaya çalışmaktadır. Sayısal kararlılığın korunabilmesi için model, zaman adımını en küçük değer alıp kriter değerini (0,6) aşana kadar arttırma yoluna gitmektedir. Fakat modelin sabit bir zaman adımı ile simülasyon başlangıcından sonuna kadar devam edebilmesi için için en uygun grid boyutu seçilmelidir. Courant sayısı ≤ 1 ise; o zaman adımı içinde akışkan parçacıkları bir pikselden diğer piksele hareket edecektir. Courant sayısı > 1 ise; zaman adımı içinde akışkan parçacıkları bir pikselden iki veya daha fazla piksele doğru hareket edecektir ve bu gerçek değere olan yakınlığı olumsuz yönde etkiler.

Ortalama hızlar simülasyon sonuçlarında Şekil 32 ve 33'de görüldüğü gibi 0.3 m/sn olarak bulunmuştur. $C = \frac{u \cdot \Delta t}{\Delta x}$ denkleminde değerler yerlerine koyulduğunda, en küçük ve en büyük zaman adımı için suyun ortalama hızına göre, optimum grid boyutları 5 cm ile 15 m'dir. Fakat yukarıda URL-23'ye (2015) göre belirlenen minimum grid boyutunun 20 cm olması gerekmektedir. Bu nedenle grid boyutunun 20 cm ile 15 m değerleri arasında seçilmesi, modelin sayısal kararlılığı için yeterli olacağı anlamını taşımaktadır.



Şekil 32. Maksimum hız değerleri (Fotogrametrik Yöntem)



Şekil 33. Maksimum hız değerleri (İHA)

URL-12'e (2015) göre, modelin sayısal kararsızlığı grid elemanına girişte veya çıkışta debi akışı için büyük zaman adımları seçilmesinden kaynaklanır. Çoğu nehir taşkınları için courant sayısı yeterli iken, daha karmaşık ve hızlı değişim gösteren akışlar

için dinamik dalga kararlılık kriteri (dynamic wave stability criteria) de kullanılır. Varsayılan değeri 0,25'tir fakat bu iki kararlılık değerleri sayısal kararlılığı sağlamalarının yanı sıra modeli oldukça yavaş çalıştırmaktadır.

Taşkın haritalarının çözünürlüğü ile bilgisayarın taşkın simülasyon koşum zamanının dengeli olması gerekmektedir. URL-12'e göre, çalışma yapılacak alan tespit edildikten sonra, kare grid eleman sistemi oluşturularak uygun grid boyutları belirlenir ve maksimum grid sayısı tespit edilir. Grid sayısına göre de ne kadar süre sonra sonuç alınacağı görülür. Sayısal kararlılığı bozmadan daha kısa sürede yine doğru sonuçlar alabilmek için kullanıcı çalışma alanına göre grid boyutunu kolaylıkla belirleyebilir.

Tablo 15. Grid Sistem Boyutu (URL-12, 2015)

Grid Elemanlarının Sayısı	Model Simülasyon Hızı
1,000 – 15,000	Çok hızlı (1 veya birkaç dakika)
15,000 – 30,000	Hızlı (~ saat)
30,000 – 60,000	Orta derecede (birkaç saat)
60,000 – 150,000	Yavaş (< 24 saat)
> 150,000	Çok yavaş (1 gün veya daha fazla)

Seçilen grid elemanı ile FLO-2D'nin taşkın simülasyonunu ne kadar sürede tamamlayacağı kontrol edilebilir. Örneğin; Karadeniz sahil yolunun 1 km uzunluk ve toplam 30 m genişliğindeki bölümü dikkate alındığında grid boyutu 1 m seçildiğinde piksel sayısı 30,000 olacaktır. Bu durumda Tablo 15'de görüldüğü gibi simülasyon süresi birkaç saat sürecektir. Karadeniz sahil yolunun 604 km uzunluğunda olması, hidrolojik modelleme üzerinden yapılacak kontrol çalışmaları ile kıyaslandığında arazi ekiplerinin çalışma bölgesine erişim sağlayacakları süreden daha az olduğu durumlar olacaktır. Daha güçlü bilgisayarlar kullanıldığında simülasyon hesaplama süresi daha kısa olacaktır. Böylece KGM, mevcut yol yüzeyini yansıtan SYM üzerinden yapılan simülasyon ile kontrol çalışmalarını araziye çıkmadan gerçekleştirebilecektir.

Genellikle seçilen grid eleman boyutu gerekenden daha küçük olur. Küçük grid eleman boyutu yüksek taşkın debi değerleri ile birleştirildiğinde simülasyon süreleri uzun zaman alıcı olmaktadır. Grid eleman boyutunu seçerken, aşağıda gösterilen kriterlerin dikkate alınması URL-12 (2015) tarafından önerilmektedir. Belirlenen pik debinin (Q_{Pik}) bir grid elemanının yüzey alanına bölünmesi ile oluşan değer aralığı;

$0,3 \text{ cms} / \text{m}^2 < Q_{\text{Pik}} / A_{\text{Yüzey}} < 0,67 \text{ cms} / \text{m}^2$ olmalıdır.

Q_{Pik} : Verilen bir hidrografın (debinin zaman içindeki değimini gösteren grafik) anlık maksimum debisi

$A_{\text{Yüzey}}$: Bir grid eleman alanı

URL-12'e (2015) göre, $Q_{\text{Pik}} / A_{\text{Yüzey}}$ oranı $0,3 \text{ cms} / \text{m}^2$ 'ye yaklaştığında model hızlı çalışacaktır. $Q_{\text{Pik}} / A_{\text{Yüzey}}$ oranı $0,67 \text{ cms} / \text{m}^2$ 'den büyük ise modelin daha yavaş çalışması beklenir.

Bu bağlamda, optimum grid boyutu modelin çalışma hızının önemli olduğu durumlarda belirlenebilir fakat mevcut kaynaklar grid boyutu seçilirken hangi parametrelerin dikkate alınması konusunda yeterli bilgi vermemektedir. Ayrıca çalışılan bölgede yağışlarla toplanan suları, akarsu üzerinden bir çıkış noktasına ulaştıran akarsu havzası bulunmadığı için debi yerine yağmur miktarı ile hidrolojik modelleme yapılmıştır. Dolayısı ile programın çalışma hızına bağlı olarak optimum grid boyutu belirlenirken öncelikli olarak yağmur miktarından debi miktarına geçilmesi gerekmektedir. Bunun içinde maksimum debi, en basit ve en çok kullanılan yöntemlerden biri olan ve geçirimsiz alan yüzdesinin büyük olduğu yerlerde iyi sonuçlar veren Rasyonel Yöntem'e göre belirlenebilir (URL-8, 2015). Alanı A olan bir havzaya düşen i şiddetindeki yağışın meydana getireceği maksimum Q debisi;

$$Q = CiA$$

formülü ile bulunmaktadır. Burada; Q: pik debi (m^3/sn), i: yağış şiddeti (m/sn), A: havza alanı (m^2), C: akış katsayısıdır.

Bitki örtüsü, zeminin geçirgenliği ve havzanın eğimine göre belirlenen akış katsayısı C, yollar için 0,70-0,95 arasındadır. Asfalt yollarda geçirimsizliğin çok düşük olması sebebiyle 0,95 olarak hesap yapılabilir.

Tablo 16. C akış katsayısının belirlenmesi (URL-8, 2015)

Ormanlı Bölgeler	0.05 - 0.20
Otla Kaplı Bölgeler (Meralar)	
Kumlu zemin	0.05 - 0.20
Az geçirimli zemin	0.13-0.35
Yerleşim Bölgeleri	
Ayrık nizam	0.30-0.60
Bitişik nizam	0.60-0.75
İş ve Sanayi Bölgeleri	
Seyrek	0.50-0.70
Sık	0.70 - 0.95
Yollar	0.70 - 0.95

Kent içi su altında kalan alanların belirlenmesi kapsamında literatürde optimum grid boyutunun seçimi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde Smith vd. (2006), SYM'nin düşey doğruluğunun 5 cm olması gerektiğini ve konumsal çözünürlüğünün ise 0,5 m olduğu durumlarda kentsel özelliklerin en doğru şekilde tanımlanabileceğini söylemektedirler.

Mark vd. (2004), kentiçi taşkınların analizinde şehir alanındaki yol ve kaldırım arasındaki mesafe vb. önemli detayları kapsayacak şekilde yeteri doğrulukta çözünürlük ile modelleme yapabilmek için kullanılan yükseklik modelinin yer örnekleme aralığının 10-40 cm arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarını daha hızlı sonuçlar almak için 5 m çözünürlüğündeki SYM üzerinden gerçekleştiren Mark vd. (2004), 1 m çözünürlüklü SYM ile yaptıkları analiz sonuçları arasında taşkın yüksekliklerinde belirgin bir doğruluk sağlamadığını fakat taşkın sınırlarının gösteriminde daha iyi sonuçlar aldıklarını söylemişlerdir.

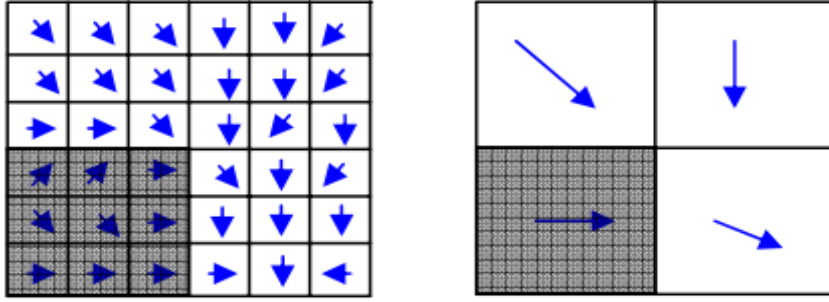
Tennakoon (2004) çalışmasında Danimarka Hidroloji Enstitüsü'ne (DHI) göre SYM'nin caddelerdeki yüzeysel akışın iyi bir şekilde temsil edebilmesi için 0,1 metrenin altındaki değişkenlerin de modellenmesi gerektiği (DHI, 2003) söylemini esas almıştır. Ancak elde ettiği SYM'ler ile kentsel alanların modellenmesinde 0,1 metre çözünürlüğe ulaşamamıştır. Zaman ve kaynak sınırlandırmalarından dolayı 5 m, 7,5 m ve 10 m çözünürlükler ile çalışmıştır. Öneri olarak 1 m veya daha küçük grid boyutu ile çalışmanın daha doğru olacağını vurgulamakla birlikte optimum grid boyutunun seçiminde hesaplama süresi ve modelde temsil edilmek istenen kentsel özelliklerin dikkate alınarak seçilmesi gerektiğini söylemektedir.

Raster tabanlı sayısal yükseklik modellerinin dağıtılmış hidrolojik modellerde ayrıklaştırılarak (discreted) arazinin özelliklerinin belirlenmesi, yağış-akış simülasyonlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile desteklenerek, su yüzey yüksekliklerinin temsil edilmesinde önemli bir yol oynadığını belirten Wu vd. (2006), 2, 4, 10, 30 ve 90 metre çözünürlüklerinde kullandıkları SYM'ler ile su toplanma havzaları belirlemişler ve grid boyutunun artmasıyla birlikte su toplanma alanlarının arttığı ve eğimin azaldığı sonucunu ortaya koymuşlardır.

Liu vd. (2015), kent içi taşkınlarında yağmur sularını modelleyebilmek ve acil durum yönetimi için geliştirdikleri model CA (Cellular Automaton) ile yağmur sularını simule ederek su altında kalan alanları belirlemişlerdir. En uygun grid boyutu olarak belirledikleri 5 m ile çalışan Liu vd. (2015), SYM'nin doğruluğunun ve grid boyutunun taşkın oluşan alanlarda su hacmi ve derinliğinin, suyun akış yönlerinin ve havza sınırlarının tespitinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Bates vd. (2001), çözünürlüğün raster tabanlı taşkın modellemeleri üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında 1000 m ile 10 m arasında seçtikleri çözünürlük değerleri için modelin ulaştığı maksimum performansın 100 m çözünürlüklü SYM olduğunu söylemişlerdir. Yaptıkları çalışmada 100 metrenin altına indikçe artan çözünürlüğün su seviyelerinin tahmininde herhangi bir gelişim göstermediğini söylemişlerdir. Örnek olarak Horritt vd. (2001), aynı SYM üzerindeki grid boyutunu 1000 ile 10 metre arasında değiştirmiş ve yapılan hesaplamalar 100 m'den sonraki çözünürlüklerde gelişim göstermeyi durdurduğunu belirtmişlerdir.

Literatürdeki kentsel taşkınlardan farklı olarak sadece karayolu üzerindeki su altında kalan alanların belirlenmesine rağmen yüksek çözünürlüklü SYM'ye olan ihtiyaç kentsel alanlardaki ihtiyaç ile aynıdır. Yol yüzeyindeki tekerlek izleri, oturmalar, drenaj sistemlerinin, akışın ve buna bağlı olarak su birikim alanlarının en doğru şekilde modellenmesi için topoğrafyaya uygun olarak gerçeği yansıtacak düzeyde grid boyutunun belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 33'de çözünürlüğün akış yönleri üzerine olan etkisi ve bunun sonucunda da hidrolojik modelleme üzerinde ne derece etkili olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 34. DEM çözünürlüğünün akış vektörlerine etkisi; soldaki 5 m ve sağdaki 15 m çözünürlüğünde (Haile vd., 2005).

Piksel boyutu küçültülerek arttırılmak istenilen çözünürlük, çalışılmak istenilen alan için kısıtlama getirmektedir. Daha fazla sayıda nokta için çözümleme yapmak durumunda kalan mevcut bilgisayar, istenilen büyüklükte ve çözünürlükte alan seçimi yapılmasını sınırlandırmıştır. Bu nedenle çalışılan bilgisayarların RAM ve işlemci hızının yetersizliliği sebebiyle 1 metre grid boyutu altına inilememiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda karayolu üzerinde meydana gelen su birikintileri Karayolu Genel ve Bölge Müdürlüklerinin, yolların projelendirme ve inşaatları aşamalarında, tamamlandıktan sonra teslim alırken veya kullanıma açıldıktan sonraki periyodik kontrolleri açısından yetersiz kaldıkları anlamına gelmektedir. Yol üzerindeki istenilmeyen suların, yol yüzeyine verilen enine ve boyuna eğim oranları ile drenaj yapılarına doğru yönlendirilerek uzaklaştırılması hedeflenir. Biriken sular ile karayollarına verilen enine ve boyuna eğim oranlarının yanlış belirlenerek kontrol edilmeden kullanıma açılması sonucu ya da zamanla deforme olan yol yüzeyine bağlı olarak olması gereken oranlardan farklılaştığı sonuçlarına varılabilmektedir. Ayrıca bunlara ek olarak henüz projelendirme aşamasında yetersiz boyutlandırılan veya zamanla tıkanıdığı için yol yüzeyinde daha fazla su birikimine neden olan drenaj sistemlerinin de eksiklikleri açık bir şekilde göstermektedir. Bu gibi sorunlar ile karşılaşmamak için yollar kullanıma açılmadan önce kontrol edilerek gerekli önlemler alınmalıdır.

Bu çalışma ile Karayolu Müdürlükleri projelendirme aşamasında yol yüzeyini doğru bir şekilde temsil eden SYM üzerinden yağışı simüle ederek su birikmemesi için gerekli olan enine ve boyuna eğim oranlarını belirleyebilecek veya daha fazla su birikiminin olduğu bölgelere daha büyük boyutlarda drenaj yapıları inşa ederek bu sorunu çözebilecektir. Yolu kullanıma açmadan önce hidrolojik modelleme üzerinden gerçekleştirilebilecek kontrol çalışmaları ile de yolun mevzuatına uygun olup olmadığını denetleme imkânına sahip olacaktır. Ayrıca inşaatı tamamlanan yol daha sonra herhangi bir zamanda güncel ve yüksek çözünürlüklü bir SYM üzerinden mevcut durum tespit edilerek deforme olan alanlar belirlenip sadece bu alanlara özgü önlemlerin alınması ile yolun kullanım ömrü arttırılabilecektir.

Kötü hava koşullarında karayolu ulaşımının güvenli bir şekilde devam edebilmesi ve yağışa bağlı olarak meydana gelebilecek trafik kazalarının, can ve mal kayıplarının azaltılabilmesi için belirlenen su altında kalan alanlar, karayolları risk yönetimi için öncelik verilmesi gereken alanlardır. Böylelikle can ve mal kayıplarının büyük oranda önüne geçilecektir. Biriken suların mevcut yollarda herhangi bir kazaya sebebiyet vermeden, sonuçlarda belirlenen su altında kalan bölgelere ek drenaj yapılarının yapılması veya bu alanlardaki mevcut drenaj sisteminin boyutlarını artırarak istenilmeyen suların

uzaklaştırılması mümkün hale gelecektir. Böylelikle tüm sistem yerine sadece kritik bölgelerde düzenleme yapılarak zaman ve ekonomik açıdan kazanç sağlanmış olunur. Yeni projelendirilecek yollardaki drenaj sisteminin boyutlandırılması ise yapılacak simülasyon ile yolun geometrisine bağlı olarak suyun birikim gösterdiği alanlarda makro ölçekte, birikim göstermeyen alanlarda ise mikro ölçekte tasarlanmasına imkan sağlayacaktır. Ayrıca KGM ve Bölge Müdürlükleri yol üzerinde meydana gelebilecek su birikim alanları ve maksimum su derinliklerini yeteri doğrulukta bir SYM üzerinden simüle ederek, sonuçlardaki derinlik değerlerine göre optimum enine ve boyuna eğimi belirleyebilirler. Kısaca simülasyon sonuç değerlerinin girdi parametresi olarak dikkate alınması sonucu yol üzerinde istenilmeyen su birikimleri engellenecek ya da minimize edilmiş olacaktır. Böylece yol, bulunduğu bölgenin meteorolojik koşullarına ve topoğrafik yapısına göre kontrollü bir şekilde inşaa edilmiş olunur.

Simülasyon sonuçlarında aşırı yağmurlu havalarda araç güvenliğini tehlikeye atacak miktarda yol üzerinde yer yer su birikintilerinin olduğu saptanmıştır. Araçların su derinliğinin 0,5 cm'yi (0,2 inç) aştığı yerlere girdiklerinde aşmamaları gereken kritik hız literatürde 72 km/s olarak belirlenmiştir. Bu hız sınırının dikkate alındığı durumlarda hydroplaning olma riski azalmış olacaktır. Çalışma sonucunda ise yol yüzeyindeki derinlik değerlerinde 10 cm ve daha fazla su bulunan bölgeler olduğu belirlenmiştir. Bu durumda araçların aşmamaları gereken hız sınırı 57 km/s olarak hesaplanmıştır. Karayolları için risk oluşturan bu durumlarda araç sürücüleri seyir halinde iken çeşitli haberleşme araçları ile uyarılmaları veya araçların hız sınırlarını gösteren elektronik ikaz levhalarında hydroplaning olma riskinin sürücülere gösterilerek farkındalık oluşturulup dikkat etmeleri sağlanabilir. Ayrıca araçların hydroplaning olmalarını önleyebilmek için bir çözüm olarak yol geometrisi, drenaj sistemi, yol dokusu ve geçirimsizliği vb. karayolu üstyapısının değiştirilmesi düşünülebilir.

Karadeniz Sahil Yolu'nun küçük bir bölümü üzerinde yapılan hidrolojik modelleme, Karayolları Müdürlüklerinin kontrol çalışmalarına kolaylık getirebileceğini gösteren örnek bir çalışmadır. Sinop'tan başlayıp Sarp Sınır Kapısı'na kadar uzanan 604 km'lik Karadeniz Sahil yolunun (D-010) tamamı için daha güçlü bilgisayarlarda gerçekleştirilecek uygulama ile yaklaşık 4,2 milyar dolara mal olan yolun kullanım ömrü arttırılacaktır. Bu çalışma ile daha sonra yapılacak olan bu gibi büyük ve maliyeti yüksek projeler için ise yapılan yolların mevzuata uygun olup olmadığı başlangıç aşamasından uygulama bitip teslim

edilene kadar olan süreç içinde daha kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkün hale getirilecektir.

Karayolu üzerindeki suyun akış yönünü değiştirecek mikro topoğrafik detayların belirlenebilmesi için yüksek çözünürlüklü (<2m) SYM kullanılması gerekmektedir. SYM'nin doğruluğu ise, yapılan simülasyon çalışmalarının gerçeğe olan yakınlığını doğrudan etkilemektedir. Yapılan herhangi bir hidrolojik modelleme çalışmasının gerçeği yansıtabilmesi için kullanılan altlıkların düşey doğruluklarının Tablo 8'e uygun olması gerekmektedir. SYM'nin düşey doğruluğu ne kadar iyi ise sonuçlar da o kadar doğru olacaktır. Düşük doğruluk ile elde edilen bir altlığın yüksek çözünürlüklü olması yapılan işin gerçeğe yakın olduğu anlamını taşımamaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A. E., Gülci, S. ve Öztürk, T., 2015. İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 2016, 66, 1, 104-118.
- Aksoy, H., 2015. Hidrolojik Modelleme Çalışmaları. Türkiye Su Bütçesinin Belirlenmesi Çalıştayı & Tuhk Toplantısı, DSİ 14. Bölge Müdürlüğü, İstanbul.
- Akyürek, Z., 2013. Taşkın Tehlike ve Taşkın Risk Haritalarının Oluşturulması. Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Daire Başkanlığı, Hizmet İçi Eğitim Programı, Afyon.
- ASPRS, 2014. ASPRS Positional Accuracy Standarts For Digital Geospatial Data Edition 1, Version 1.0. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 10.14358/PERS.81.3.A1-A26.
- Baran, T. ve Bacanlı, Ü. G., 2006. Uygun Stokastik Model Seçim Ölçütlerinin Değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 3987-4002, 264.
- Bates, P. D. ve Anderson, M. G., 1996. A preliminary investigation into the impact of initial conditions on flood inundation predictions using a time/space distributed sensitivity analysis, *Catena*, 26, 115–134.
- Bates, P. D. ve Horritt, M. S., 2001. Effects of Spatial Resolution on a Raster Based Model of Flood Flow. *Journal of Hydrology*, 253, 239-249.
- Belete, D. A., 2011. Road and Urban Storm Water Drainage Network Integration in Addis Ababa: Addis Ketema Sub-city, Addis Ababa, Ethiopia, *Journal of Engineering and Technology Research* Vol. 3, 7, 217-225.
- Beven, K. J., 2012. Rainfall-Runoff Modelling The Primer Second Edition Lancaster University, UK by John Wiley & Sons, Ltd.
- Beyazıt, M., 1998. "Hidrolojik Modeller", İTÜ inşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Brown, S. A., Stein, S. M. ve Warner, J. C., 2001. Urban Drainage Design Manual, Hydraulic Engineering Circular 22, Second Edition, FHWA-NHI-01-21, HEC-22, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Cornelius, S., Mirfenderesk, H. ve Chong, E., 2011. Experience And Techniques In Modelling Urban Stormwater Networks And Overland Flow Paths. DHI Water & Environment Pty Ltd, Brisbane, QLD.
- Cömert, Ç., 2015. Coğrafi Bilgi Sistemleri Ders Notları. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

- Delaney, P., Qiao, Y., Mereu, T. ve Lorrain, N., Using Detailed 2d Urban Floodplain Modelling To Inform Development Planning In Mississauga, On. <https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiq3rqA3KHKAhVIdCwKHSnNCh8QFgglMAE&url=http%3A%2F%2Fdocplayer.net%2F7728859-Using-detailed-2d-urban-floodplain-modelling-to-inform-development-planning-in-mississauga-on.html&usg=AFQjCNEsNZ1BVg59PDnU8q9pAI-mILaVbw&sig2=l9NUHcPOBzXwCjWHa0gGUw> 11 Aralık 2015.
- Demir, V., 2015. Mert Irmağı (Samsun) Taşkın Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Canik Başarı Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Demirkesen, A. C., 2003. Sayısal Yükseklik Modellerinin Analizi ve Sel Basman Alanlarının Belirlenmesi. TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Poster Bildiri, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Konya.
- DHI, 2003. MIKE 21, 2D Modelling System for Floodplains. DHI Water and Environment Pty Ltd.
- Esirtgen, F., 2010. Farklı Veri Kaynakları İle Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Analizi ve Kalite Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Federal Highway Administration (FHWA), 2002. Highway Hydrology, Hydraulic Design Series No. 2, Second Edition. FHWA-NHI-02-001.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2014. Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping, First Order Approximation Guidance Document 27.
- Fewtrell, T. J., Duncan, A., Sampson, C. C., Neal, J. C. ve Bates, P. D., 2011. Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LiDAR data, Phys. Chem. Earth, 36, 281–291.
- Fleming, G., 1975. Computer simulation techniques in hydrology. Environmental Science Series, Elsevier, New York.
- Fletcher, C. A. J., 1990. Computational Techniques for Fluid Dynamics, Volume I, 2nd ed., Springer-Verlag, New York.
- FLO-2D, 2009. Reference Manuel. Version 2009.
- Garcia, S. G., 2004. GRASS GIS-embedded decision support framework for flood simulation and forecasting, Trans. GIS, 8, 245-254.
- Garrote, L. ve Bras, R. L., 1995. A distributed model for real-time flood forecasting using digital elevation models, J. Hydrol., 167, 279–306.
- Glennon, J. C., 2006. Roadway Hydroplaning- The Trouble with Highway Cross Slope.

- Glennon, J. C., 2015. Roadway Hydroplaning- A Framework to Determine critical Pavement Wheel Rut Depths.
- Greenwalt, C. R. ve Shultz, M. E., 1968. Principles of error theory and cartographic applications. ACIC Technical report, No. 96, pp-89 Aeronautical Chart and Information Center, US Airforce, St Louis MO June.
- Gürer, C., 2012. İnşaat Mühendisliğine Giriş, Ulaştırma Mühendisliği, Karayolu (Highways) Ders Notu. Aydın Kocatepe Üniversitesi.
- Haile, A. T. ve Rientjes T. H. M., 2005. Effects of Lidar Dem Resolution in Flood Modelling: A Model Sentitivity Study For The City of Tegucigalpa, Honduras. ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands, September 12-14.
- Hayes, G. G., Ivey, D. L. ve Gallaway, B. M., 1983. Hydroplaning, Hydrodynamic Drag, and Vehicle Stability in Frictional Interaction of Tire and Pavement. ASTM STP 793, W. E. Meyer & J. D. Walter, Eds., American Society for Testing and Materials, 151-166.
- Hillier, V. A. W. ve Coombes, P., 2004. Hilliers's Fundamentals of Motor Vehicle Technology 5. Edition. Published by Nelson Thornes Ltd, United Kingdom.
- Horritt, M. S. ve Bates, P. D., 2001. Effects of spatial resolution on a raster based model of flood flow, J. Hydrol., 253, 239-249.
- Jin, M. ve Fread, D. L., 1997. Dynamic flood routing with explicit and implicit numerical solution schemes. Hydraulic Eng., ASCE, 123, 3, 166-173.
- Kadam, P. ve Sen, D., 2012. Flood inundation simulation in Ajoy River using MIKE-FLOOD. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 18, 2, 129-141.
- Karamouz, M., Moridi, A. ve Nazif, S., 2010. Urban Water Engineering and Management. Taylor & Francis Group, LLC, International Standard Book Number-13, 978-1-4398-8251-1 (eBook - PDF).
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), 1998. Karayolu Bakım El Kitabı. Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), 2013. Karayolu Teknik Şartnamesi (Yol altyapısı, sanat yapıları, köprü ve tüneller, üstyapı ve çeşitli işler).
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), 2014. Trafik Kazaları Özeti.
- Kaya, Ç. M., 2012. Giresun Pazarsuyu Örneğinde, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Entegrasyonu İle Taşkın Risk Haritalarının Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Keskin, M. E. ve Taylan, E. D., 2007. Orta Akdeniz Havzasındaki Akımların Stokastik Modellemesi. İMO Teknik Dergi, 4271-4291.

- Koçak, E., 1998. Sayısal Arazi Modeli, Yüksek Lisans Ders Notları, ZKÜ, Zonguldak.
- Koivusalo, H., 2003. Process-oriented investigation of snow Accumulation, snowmelt and runoff generation In forested sites in Finland.(Doctorate Thesis). Helsinki University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Laboratory of Water Resources.
- Kokkonen, T. S. ve Jakeman, A. J., 2001. A comparison of metric and conceptual approaches in rainfall-runoff modeling and its implications. Water Resources Research, 37, 9, 2345–2352.
- Leavesley, G. H., 1989. Problems of Snowmelt Runoff Modeling for A Variety of Physiographic and Climatic Conditions. Hydrological Sciences Journal,334, 6, 617–34.
- Liu, L., Liu, Y., Wang, X., Yu, D., Liu, K., Huang, H. ve Hu, G., 2015. Developing an effective 2-D urban flood inundation model for city emergency management based on cellular automata. Natural Hazards Earth System Sciences, 15, 381–391.
- Mark, O. Weesakul, S., Apirumanekul, C., Aroonnet, S. B. ve Djordjevic, S., 2004. Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding. Journal of Hydrology, 299, 284-299.
- Martinez, J. E., Lewis, J. M. ve Stocker, A. J., 1972. A Study of Variables Associated with Wheel Spin-Down and Hydroplaning. The Texas Highway Department in cooperation with the U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Texas.
- Mays, L. W., 1999. Hydraulic Design Handbook.
- Meyer, W. E. ve Reichert, J., 1990. Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies. Symposium cosponsored by ASTM, Philadelphia,PA 19103 ve PIARC/AIPCR 17, 75006 Paris, France.
- Mounce, J. M. ve Bartoskewitz, R. T., 1993. Hydroplaning and Roadway Tort Liabilit. Texas Transportation Institute The Texas A&M University System College Station, Texas.
- Özlü, A., 2008. Bazı Kar-Erime Modellerine Genel Bir Bakış, 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Dsi Yurtiçi Bölgesel Su Toplantıları, Kar Hidrolojisi Konferansı, Mart, Erzurum, Bildiri Kitabı: 123.
- Pisano, P. A., Goodwin, L. C. ve Rossetti, M. A., 2008. U.S. Highway Crashes in Adverse Road Weather Conditions. U.S. DOT Federal Highway Administration; Washington, D.C.
- Raghunath, H. M., 2006. Hydrology, Principles, Analysis, Design Revised Second Edition. New Age International (P) Limited, Manipal University, Karnataka, India.

- Refsgaard, J. D., 1996. Terminology, modelling protocol and classification of hydrological model codes. In: Abbott, M.B., Refsgaard, J.C. (Eds.), *Distributed Hydrological Modelling*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Sanyal, J. ve Lu, X. X., 2006. GIS-based flood hazard mapping at different administrative scales: a case study in Gangetic West Bengal, India, *Singapore J. Trop. Geogr.*, 27, 207–220.
- Sargin, A. H., 2013. Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Taşkın Riski Ön Değerlendirmesi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknoloji Dairesi Başkanlığı.
- Schumann, G., Matgen, P., Cutler, M. E. J., Black, A., Hoffmann, L. ve Pfister L. 2008. Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM, *ISPRS J. Photogramm.*, 63, 283–296.
- Singh, V. P., 1996. “Hydrologic Modeling with GIS”, *Kluwer Acad. Publishers*, Dordrecht.
- Smith, M. J., Edwards, E. P., Priestnall, G. ve Bates, P.D. (2006), Exploitation of new data types to create Digital Surface Models for flood inundation modelling. FRMRC Research report UR3, 78pp.
- Şahin, İ., 2007. Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Tennakoon, K. B. M., 2004. Parameterisation of 2D Hydrodynamic models and flood hazard mapping for Naga City, Philippines.
- Trimble, 2013. Trimble Business Center Photogrammetry Module. TRIMBLE Geospatial Division Westminster, Colorado, USA.
- URL-1, <http://www.wheelwright.co.uk/sites/wheelwright.co.uk/files/Blog-Aquaplaning2.jpg>, 30 Eylül 2015.
- URL-2, <http://www.olay53.com/images/news/6935.jpg>, 23 Eylül 2015.
- URL-3, <http://www.smartmotorist.com/driving-guideline/hydroplaning-aquaplaning.html>, 29 Eylül 2015.
- URL-4, https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrological_modelling, 15 Kasım 2015.
- URL-5, <http://www.pacificwater.org/userfiles/image/Water%20Demand%20Management/waterflow.jpg>, 02 Aralık 2015.
- URL-6, <http://guncel61.com/dosyalar/10624887102028794999325966928764579029713073n-5c8673ca.jpg>, 26 Kasım 2015.
- URL-7, http://images.slideplayer.biz.tr/8/2470122/slides/slide_5.jpg, 16 Kasım 2015.

- URL-8, https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjUjPK_3-PJAhVFeg8KHb2gBJIQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fakademi.itu.edu.tr%2Fkahyae%2FDosyaGetir%2F61092%2F0%2520H%25C4%25B0DROLOJI%2520Ders%2520Notlar%25C4%25B1%25203.ppt&usg=AFQjCNHxZcKxf-MzyxAyCcyOnABCsjZFGg&sig2=UvRH8u3KbrAqg5od40VeQw, 27 Kasım 2015.
- URL-9, <http://training.fema.gov/hiedu/docs/fmc/chapter%202%20-%20types%20of%20floods%20and%20floodplains.pdf>, 15 Kasım 2015.
- URL-10, <http://akademi.itu.edu.tr/kahyae/DosyaGetir/61092/0%20H%25C4%25B0DROLOJI%20Ders%20Notlar%25C4%25B1%203.ppt>, 16 Kasım 2015.
- URL-11, <https://water.usgs.gov/edu/watercyclerrunoff.html>, 21 Ağustos 2015.
- URL-12, https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBsQFjAAahUKEwj8w4Lk8fvIAhULEYwKHU2OCNY&url=http%3A%2F%2Fwww.flo-2d.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F11%20%2FCVFED-FLO-2D-Project-Guidelines.pdf&usg=AFQjCNHFc_Y_0qjutfSiz1kfy8RqE1mKNqw&sig2=XbVqZhyzArfMPi4NDm3nbA, 06 Kasım 2015.
- URL-13, http://www.haber61.net/d/news/yagmur_trafik_duzenlendi-1.jpg, 21 Ağustos 2015.
- URL-14, <http://www.olay53.com/images/news/6936.jpg>, 21 Ağustos 2015.
- URL-15, <http://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojikaletler.aspx?a=j>, 26 Ağustos 2015.
- URL-16, https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjh_-2ZwKlKAhUHjiwKHTWVDTMQFggfMAA&url=http%3A%2F%2Fgis.stackexchange.com%2Fquestions%2F5701%2Fwhat-is-the-difference-between-dem-dsm-and-dtm&usg=AFQjCNEW6M95WU7aJXCNtckZJltAIDmJA&sig2=ldwyZqZhaK_94T3BVp8bJQ&bvm=bv.111396085,d.bGg&cad=rja, 26 Kasım 2015.
- URL-17, http://www.computamaps.com/newsletter/3-3/DTM_vs_DSM.jpg, 26 Kasım 2015.
- URL-18, http://www.mapps.org/resource/collection/DC6E171F-93D8-41FD-AF6E-AEDB B829867A/CHAPTER_3_AccuracyStandards_23_August_2013.docx, 06 Aralık 2015.
- URL-19, http://lbi-archpro.org/als-filtering/uploads/images/filtering_algorithm_LAStools/Resized_images_FA_LT/filtering%2002.jpg, 26 Kasım 2015.
- URL-20, <http://www.mikepoweredbydhi.com/download/mike-by-dhi-2014/mike-urban?ref=%7BCF5835F0-51C9-46F3-8134-57BE71954D19%7D>, 31 Ağustos 2015.
- URL-21, <http://www.hec.usace.army.mil/>, 31 Ağustos 2015.
- URL-22, https://hub.qgis.org/wiki/17/Hydrology_and_Hydraulic_modelling, 2 Eylül 2015.

URL-23, <http://www.hydrocad.net/understanding.htm>, 01 Aralık 2015.

URL-24, <http://evidence.environment-agency.gov.uk/FCERM/en/FluvialDesignGuide/Chapter7.aspx?pagenum=5>, 25 Kasım 2015.

Yılmaz, V., Akar, A., Akar, Ö., Güngör, O., Karlı, F. ve Gökalp, E., İnsansız Hava Aracı İle Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi, http://www.researchgate.net/profile/Volkan_Yilmaz3/publication/261471590_NSANSIZ_HAVA_ARACI_LE_RETLEN_ORTOFOTO_HARTALARDA_DORULUK_ANALIZ/links/004635345480cd268b000000.pdf 11 Aralık 2015.

Zhang, H., Haan, C. T. ve Nofziger, D. L., (1993). An approach to estimating uncertainties in modelling transport of solutes through soils. Journal of Contaminant Hydrology, 12, 35-50.

Walski, T. M., Barnard, T. E., Harold, E., Merritt, L. B., Walker, N. ve Whitman, B. E., 2003. Wastewater Collection System Modeling and Design. Bentley Enstitute Press.

WMO/GWP, 2008. Associated Programme on Flood Management, Urban Flood Risk Management-A Tool for Integrated Flood Management, APFM Technical Document No. 11, Flood Management Tool Series.

Woolhiser, D. A., 1973. Hydrologic and watershed modelling. State of the art. Transactions of the ASAE, 16, 533-559.

Wu, S., Li, J. ve Huang G. H., 2007. Modeling the effects of elevation data resolution on the performance of topography-based watershed runoff simulation. Environmental Modelling & Software, 22, 1250-1260, Canada.

6. EKLER

EK 1

TOL

(r) Surface detention (feet or meters). TOL is a minimum value of the flow depth for flood routing. A typical value is 0.10 ft (see comment 2). Use a small TOL value for rainfall runoff (0.025 ft to 0.05 ft; 0.01 m to 0.015 m). A TOL value for streets (0.03 ft or 0.01 m) is hardwired in the model.

DEPTOL

(r) Tolerance value for the percent change in the channel flow depth for a given timestep. When DEPTOL is exceeded for any channel element, the timestep will be reduced. If DEPTOL = 0, then the timestep is governed by the prescribed numerical stability criteria (see comment 3). Suggested value for DEPTOL = 0.2. Range: 0.1 to 0.3.

WAVEMAX

(r) Maximum value of the numerical stability coefficient for full dynamic wave flood routing. Initially set WAVEMAX = 1.0. WAVEMAX directly controls the maximum timestep for the full dynamic wave. Reduce WAVEMAX to improve volume conservation or reduce surging. Increase WAVEMAX to speed up the flood simulation. There are several options for WAVEMAX:

Option Result

1. Set WAVEMAX in the range 0.10 to 1.00 (typical value = 0.25). Dynamic wave stability criteria increments and decrements the computation timestep when WAVEMAX. Model runs, but is stable.

2. Assign WAVEMAX as a negative number using same range of values -0.10 to -1.00 (typical value = -0.25). The dynamic wave numerical stability criteria are turned off. The timestep will be incremented or decremented only by the DEPTOL variable or the Courant stability criteria. The floodplain Manning's n-values are incremented when the dynamic wave stability criteria is exceeded, but the timestep is not decreased. Model runs faster and makes n-value adjustment in grid elements with potential stability problems. Changes to n-values are written to the ROUGH.OUT file. The increase and decrease of the n-values occur according to the following relationships: $n = n + 0.0006616 * e^{-10.9 n}$ when the limiting timestep is exceeded. $n = n - 0.00005$ when the limiting timestep is not exceeded.

3. WAVEMAX is assigned a value of 100 plus WAVEMAX. (e.g. 100,25) The dynamic wave numerical stability criteria are turned off. The timestep are increment or decrement only by the DEPTOL variable or the Courant stability criteria. There is no n-value adjustment.

Instructional Comments for the TOLER.DAT File

1. The TOL value prescribes the flow depth for a floodplain or channel grid element below which no flood routing will be performed. TOL is analogous to a depression storage rainfall abstraction. The TOL value for streets is hardwired (0.03 ft or 0.01 m).

2. DEPTOL controls the percent change in channel flow depth for a given timestep. It is a generic control that eliminates further analysis of the dynamic wave stability criteria. DEPTOL affects the computer runtime and flow depth resolution. If a flood simulation yields poor results either by failing to conserve volume or by noted erratic or surging discharge, then the DEPTOL parameter may be too high for channel numerical stability. Decreasing DEPTOL will reduce the timestep and improve the numerical stability. Lower values will also result in more flow depth iterations, higher resolution, and longer computational times. Setting DEPTOL equal to 0 dictates that only the dynamic stability criteria will be applied for channel numerical stability. Significant numerical instability may require revisions in channel slope, flow area or roughness. Erratic discharge may be a related to mudflow surging or channel return flow and may not always indicate numerical instability.

The check for the percent change in flow depth for the floodplain is hardwired in the computer code and is a function of the flow depth. The relationship is as follows:

$$\text{DEPTOL} = 0.2 * e^{-0.057 * \text{DEPTH}}$$

3. Decreasing the maximum dynamic wave stability decreases the timestep and improves the numerical stability and volume conservation for the full dynamic wave. By increasing WAVEMAX, the flood simulation speeds up by using larger timesteps but also permits greater variation in the water surface elevations that can adversely affect the numerical stability and volume conservation. Review the CHANMAX.OUT file and the HYDROG program hydrograph plots for hydrograph spikes and dips (surging). You can also review MAXPLOT or Mapper to determine if floodplain velocities are too high. If

surging or volume conservation problems are observed, reduce WAVEMAX. A typical range for WAVEMAX is 0.1 to 1.0. The TIME.OUT file will identify which floodplain or channel grid elements cause the most timestep decreases. The guidelines for applying WAVEMAX are as follows:

i. Run the model with WAVEMAX = -0.25 and an appropriate limiting Froude number (e.g. FROUDL in CONT.DAT = 0.9 subcritical flow on an alluvial surface). This will calibrate the model n-values for reasonable Froude numbers and for the movement of the floodwave using the dynamic wave stability criteria.

ii. Review the maximum velocities in MAXPLOT or MAPPER to determine the location of any inappropriate high velocities related to numerical surging and increase the n-values in the vicinity of the grid elements with high velocities.

iii. Review the n-values in ROUGH.OUT and FPLAIN.RGH. Make n-value adjustments in FPLAIN.RGH based on any exceeding high n-values in ROUGH.OUT and any adjustments required by any observed high maximum velocities in step 3 above. Replace FPLAIN.DAT with FPLAIN.RGH.

iv. Run the simulation and repeat steps 3 and 4 making adjustments to FPLAIN.RGH until ROUGH.OUT is essentially empty. A few incremental n-values changes will not affect the simulation. You can also make adjustments to WAVEMAX and FROUDL to decrease the number of required n-value adjustments.

v. Set WAVEMAX = WAVEMAX = 100 and run the model again. The model will run faster. Check the maximum velocities for any inappropriate high velocities and make n-value adjustments. If the model has numerical surging, set WAVEMAX to the original WAVEMAX as a positive number and run the model. The model will run slower, but will eliminate the numerical surging.

FLOODPLAIN STORAGE	688.05
FLOODPLAIN OUTFLOW HYDROGRAPH	548.95

FLOODPLAIN OUTFLOW, INTERCEPTION & STORAGE	1248.72

=====

*** TOTALS ***

TOTAL OUTFLOW FROM GRID SYSTEM	548.95
TOTAL VOLUME OF OUTFLOW AND STORAGE	1248.72

SURFACE AREA OF INUNDATION REGARDLESS OF THE TIME OF OCCURRENCE:
(FOR FLOW DEPTHS GREATER THAN THE "TOL" VALUE TYPICALLY 0.1 FT OR 0.03
M)

THE MAXIMUM INUNDATED AREA IS: 3404.423 SQ. METERS

=====

COMPUTER RUN TIME IS : 2.32324 HRS

THIS OUTPUT FILE WAS TERMINATED ON: 8/13/2015 AT: 19:5:2

INFLOW HYDROGRAPHS + RAINFALL 935.96

=====

*** OUTFLOW (CU METERS) ***

RAINFALL INTERCEPTION 1.27 MM

OVERLAND FLOW

WATER

WATER LOST TO INTERCEPTION 13.01

FLOODPLAIN STORAGE 496.90

FLOODPLAIN OUTFLOW HYDROGRAPH 426.05

FLOODPLAIN OUTFLOW, INTERCEPTION & STORAGE 935.96

=====

*** TOTALS ***

TOTAL OUTFLOW FROM GRID SYSTEM 426.05

TOTAL VOLUME OF OUTFLOW AND STORAGE 935.96

SURFACE AREA OF INUNDATION REGARDLESS OF THE TIME OF OCCURRENCE:

(FOR FLOW DEPTHS GREATER THAN THE "TOL" VALUE TYPICALLY 0.1 FT OR 0.03 M)

THE MAXIMUM INUNDATED AREA IS: 946.705 SQ. METERS

=====

COMPUTER RUN TIME IS : 2.91724 HRS

THIS OUTPUT FILE WAS TERMINATED ON: 6/13/2015 AT: 0:47:51

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Trabzon Yomra'da doğdu. İlköğretim eğitimini Yomra Merkez İlköğretim Okulu'nda ortaöğretim eğitimini ise Yomra Yabancı Dil Ağırlıklı Lise'de tamamladı. 2008 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2009 yılında ise aynı üniversitenin İnşaat Mühendisliği Bölümünde Çift Anadal Programına kayıt yaptırdı. 2012 Haziran ayında Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden hem Mühendislik Fakültesi birincisi hem de üniversite birincisi olarak mezun oldu. 2012-2013 eğitim-öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans programına başladı. Yüksek lisansı devam ederken Gümüşhane Üniversitesinde 2009 yılında başlamış olduğu Çift Anadal Programını tamamlayarak 2013 Haziran ayında İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2013 Kasım ayında Araştırma Görevlisi olarak Gümüşhane Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümüne atandı ve bu görevine halen devam etmektedir. Bildiği yabancı dil ise İngilizce'dir.