



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

**ORMAN YOLLARINDA HİDROLİK YAPILARIN HEC-RAS  
YAZILIMI KULLANILARAK BOYUTLANDIRILMASI**

**AHMET AÇIL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. ABDURRAHİM AYDIN**

**DÜZCE, 2020**

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

**ORMAN YOLLARINDA HİDROLİK YAPILARIN HEC-RAS**  
**YAZILIMI KULLANILARAK BOYUTLANDIRILMASI**

Ahmet AÇIL tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN

Düzce Üniversitesi

**Eş Danışman**

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DUYAR

Karabük Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Yasin DÖNMEZ

Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 11/05/2020

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

11 Mayıs 2020

Ahmet AÇIL



## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve “Orman Yollarında Hidrolik Yapıların Hec-Ras Yazılımı Kullanılarak Boyutlandırılması” isimli bu tez çalışmasının seçimi, planlanması ve hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN’a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli görüşleriyle yol gösteren eş danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DUYAR’a candan teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarında, verilerin analizi ve hidrolik modellerin oluşturulması sürecinde her türlü yardımı sağlayan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Remzi EKER’e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarında ve verilerin analizi sürecinde sağladığı yardımlar için arkadaşım Orman Mühendisi Yalçın SEFER’e de teşekkürü borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca sürekli destek vererek bugünlere gelmemde karşılığı ödenemeyecek emekler harcayan sevgili aileme ve bu çalışma boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili eşime sonsuz sevgi ve yürekten teşekkürlerimi sunarım.

**11 Mayıs 2020**

**Ahmet AÇIL**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
HARİTA LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xii
SİMGELER.....	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. TEMEL KAVRAMLAR.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.1. Su Akıtıcı (Hidrolik) Sanat Yapıları.....</b>	<b>6</b>
1.1.1.1. Büzler.....	6
1.1.1.2. Menfezler.....	8
1.1.1.3. Koruge Borular.....	9
1.1.1.4. Kasisler.....	10
1.1.1.5. Köprüler.....	11
1.1.1.6. Hava Payı.....	12
<b>1.2. LİTERATÜR ÖZETİ.....</b>	<b>13</b>
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. MATERYAL.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1. Çalışma Alanının Tanıtılması.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2. Veri Alımında Kullanılan Cihazlar.....</b>	<b>17</b>
2.1.2.1. DJI Mavic Pro Model İHA (İnsansız Hava Aracı) Platformu.....	17
2.1.2.2. Satlab SL600 CORS-GPS.....	18
<b>2.1.3. Verilerin İşlenmesinde Kullanılan Yazılımlar.....</b>	<b>18</b>
2.1.3.1. Agisoft Metashape Professional.....	18
2.1.3.2. ArcGIS 10.7.....	19
2.1.3.3. HEC-RAS 5.0.7.....	20
<b>2.2. YÖNTEM.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1. Kullanılan Haritalar.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2. Havza Alanlarının Tespit Edilmesi.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.3. Akışa Geçen Yağış Miktarının Hesaplanması.....</b>	<b>28</b>
2.2.3.1. Rasyonel Formül.....	28
2.2.3.2. WUNDT Formülü.....	30
2.2.3.3. KURSTEİNER Formülü.....	30
2.2.3.4. SCS-CN Yöntemi.....	31
<b>2.2.4. Yola Ait Ortofoto ve Dere-Yol Kesişimlerinin Sayısal Yükseklik Modellerinin Oluşturulması.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.5. Enine Drenaj Yapılarının Boyutlandırılması.....</b>	<b>44</b>

2.2.5.1. TALBOT Formülü .....	44
2.2.6. Yapıların HEC-RAS Yazılımında Analizinin Yapılması .....	45
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>49</b>
3.1. HAVZA ALANLARININ TESPİT EDİLMESİ.....	56
3.2. AKIŞA GEÇEN YAĞIŞ MİKTARLARININ HESAPLANMASI.....	60
3.3. YAPILARIN HEC-RAS ANALİZLERİ VE BOYUTLANDIRMA.....	67
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>91</b>
4.1. SONUÇ .....	91
4.2. ÖNERİLER.....	93
<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>95</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>99</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Dairesel kesitli büzler. ....	6
Şekil 1.2. Sepet kulplu büzün cepheden görünüşü ve iç ölçüleri. ....	7
Şekil 1.3. Sepet kulplu büzlerin memba (solda) mansap (sağda) kısımlarının su toplama kanatları ve mansap temel desteği. ....	7
Şekil 1.4. Bir menfeze ait kanat duvarlarının cepheden ve üstten görünüşü. ....	8
Şekil 1.5. Üç gözlü kutu menfez cepheden görünüşü. ....	9
Şekil 1.6. Koruge borunun menfez olarak kullanımı. Memba yönü (solda), mansap yönü (sağda). ....	10
Şekil 1.7. Büzlü kasis örneği. ....	11
Şekil 2.1. DJI Mavic Pro genel görünümü. ....	17
Şekil 2.2. Satlab SL600 CORS-GPS. ....	18
Şekil 2.3. Agisoft Metashape Professional yazılımı arayüzü. ....	19
Şekil 2.4. Arc MAP 10.3 programı arayüzü gösterimi. ....	20
Şekil 2.5. Hydrologic Engineering Center’s River Analysis System (HEC-RAS) yazılım arayüzü. ....	20
Şekil 2.6. “Orman Yollarındaki Hidrolik Yapıların Hec-Ras Yazılımı İle Boyutlandırılması” iş akış şeması. ....	23
Şekil 2.7. Sırtlardan geçen su ayırım çizgisi (solda), yüzey altı su ayırım çizgisi (sağda). ....	25
Şekil 2.8. SYM deki düzensiz çukur ve yüksekliklerin giderilmesi. ....	26
Şekil 2.9. D8 kodlamasına göre akış yönü tayininin şematik gösterimi (Maidment, 2002). ....	26
Şekil 2.10. Akış toplanmasının şematik gösterimi. ....	27
Şekil 2.11. Dökülme noktası ve havza alanının tespiti. ....	27
Şekil 2.12. İntersect yöntemi. ....	34
Şekil 2.13. Sayısal Yüksekli Modellerinin Oluşturulmasında kullanılan cihazlar ve detaylar. ....	40
Şekil 2.14. UgCS(Universal Ground Control Software) yazılımı arayüzü. ....	41
Şekil 2.15. Agisoft Metashape Professional yazılımında görüntülerin yönlendirilmesi işlem adımı. ....	42
Şekil 2.16. Agisoft Metashape Professional ölçülen YKN lerin eklenmesi ve model doğruluğunun artırılması. ....	43
Şekil 2.17. 3B modelin yüksek yoğunlukta yeniden oluşturulması işlem adımı. ....	43
Şekil 2.18. HEC- RAS program arayüzü (altta) ve Ras Mapper menü Arayüzü (üstte). ....	46
Şekil 2.19. Geometrik Veri Editörü (View/ Edit Geometric Data). ....	47
Şekil 2.20. “Manning’s n or k values” sekmesi gösterimi. ....	48
Şekil 3.1. Enine drenaj yapısı inşa edilmeyen kesişim noktası (solda) ve dik açılan kazı şevinde meydana gelen göçme (sağda). ....	50
Şekil 3.2. Enine drenaj yapısı inşa edilmeyen kesişim noktası ve kazı şevinde meydana gelen göçme. ....	50
Şekil 3.3. Dere yatağı düzenlenmemiş ve enine drenaj yapısı tesis edilmemiş dere-	

yol kesişimi ve meydana gelen göçme.....	51
Şekil 3.4. Dere yatağı düzenlenmemiş, enine drenaj yapısı tesis edilmiş dere-yol kesişimi ve meydana gelen göçme.....	51
Şekil 3.5. Kazı şevi eğiminin standartlara göre daha dik verilmesi sonucu meydana gelen göçme.....	52
Şekil 3.6. Ters eğimlerin kesiştiği noktada enine drenaj yapısı inşa edilmemesi sonucu kenar hendeğinden yol platformuna taşan su.....	53
Şekil 3.7. Suyun yol dolgusunu oymasına nedeniyle yer değiştirmiş yapı örneği.....	55
Şekil 3.8. 3 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto (sağda) ve SYM (solda).....	68
Şekil 3.9. 6 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto (sağda) ve SYM (solda).....	68
Şekil 3.10. 7 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto (sağda) ve SYM (solda).....	69
Şekil 3.11. 13 ve 14 Numaralı havzalara ait dere-yol kesişimlerine ait ortofoto (sağda) ve SYM (solda).....	69
Şekil 3.12. 15 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto (sağda) ve SYM (solda).....	70
Şekil 3.13. İHA ile üretilen SYM kullanılarak oluşturulan modele ait enkesit.....	71
Şekil 3.14. GPS ile arazide toplanan koordinatlardan elde edilen enkesit ve araziyi temsil etme kabiliyeti.....	71
Şekil 3.15. 3 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda) kullanılarak 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.....	75
Şekil 3.16. 3 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda) ile 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler kullanılarak kutu menfez için yapılan HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.....	76
Şekil 3.17. 6 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda) kullanılarak 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.....	78
Şekil 3.18. 7 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda) kullanılarak 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.....	80
Şekil 3.19. 7 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda) ile 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler kullanılarak iki gözlü kutu menfez için yapılan HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.....	81
Şekil 3.20. 13 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda)-kullanılarak 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.....	83
Şekil 3.21. 13 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda)-ile 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler kullanılarak koruge boru menfez için yapılan HEC-	

RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri. ....	84
Şekil 3.22. 14 numaraları havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda)-kullanılarak 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri. ....	85
Şekil 3.23. 15 numaraları havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda)-kullanılarak 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri. ....	87
Şekil 3.24. 15 numaraları havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda)-ile 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler kullanılarak iki gözlü kutu menfez için yapılan HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri. ....	88



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Menfezlerde bırakılması gereken en az hava payı.....	12
Çizelge 1.2. Köprülerde açıklığa göre en az hava payı mesafesi. ....	12
Çizelge 2.1. Akım katsayıları (Sonuç, 1977; Singh, 1992). ....	29
Çizelge 2.2. Adaptasyon katsayısı. ....	30
Çizelge 2.3. Hidrolojik Toprak Grupları (Mockus, 1964; SCS, 1964; SCS, 1986). ....	31
Çizelge 2.4. BTG özelliklerine göre HTG değerlendirme kriterleri. ....	32
Çizelge 2.5. Nisan-Ekim ayları yağış öncesi nem durumu sınıfları. ....	33
Çizelge 2.6. Kasım-Mart ayları yağış öncesi nem durumu sınıfları. ....	33
Çizelge 2.7. Enine drenaj yapısı tasarımı için belirli bir proje ömründe taşkın tekrarlama aralıklarına göre sanat yapısının yetersiz olma (işlevini yerine getirememe) olasılıkları (Chow, 1964). ....	39
Çizelge 2.8. Talbot Katsayıları. ....	45
Çizelge 3.1. Meydana gelen göçmelere ait bilgiler. ....	54
Çizelge 3.2. Havzalara ait havza alanı ve havza çevresi bilgileri. ....	58
Çizelge 3.3. Farklı yöntemlerle hesaplanan en yüksek akım debileri (m <sup>3</sup> /s).....	65
Çizelge 3.4. Talbot formülüne göre belirlenen, dere-yol kesişimlerine inşa edilecek enine drenaj yapılarına ait kesit alanları. ....	73
Çizelge 3.5. Mevcut sanat yapılarına ait boyutsal özellikler. ....	73
Çizelge 3.6. Mevcut yapılara, Talbot formülüne göre belirlenen ve taşkın debilerine göre HEC-RAS analizleri sonucu uygun olduğu belirlenen kesit alanları. ....	89

## HARİTA LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Harita 2.1. Çalışma alanının konumu. ....	16
Harita 3.1. 410 kod numaralı yola ait ortofoto ve yol boyunca kazı ve dolgu şevlerinde meydana gelen göçükler. ....	49
Harita 3.2. Enine drenaj yapısı tesis edilmiş noktalar.....	56
Harita 3.3. 410 kod numaralı yol üzerine düşen havzalar. ....	57
Harita 3.4. Düzenlenmiş havza alanları haritası. ....	58
Harita 3.5. “Büyük Toprak Grupları” haritası. ....	61
Harita 3.6. Arazi kullanım türlerinin tespit edilmesine yönelik hazırlanan “Meşcere tipleri” haritası. ....	61
Harita 3.7. Her arazi kullanım türü ve BTG sınıfı için hesaplanmış alan ağırlıklı ortalama eğim sınıfları haritası. ....	62
Harita 3.8. “Hidrolojik Toprak Grupları” haritası. ....	63
Harita 3.9. Yağışın akışa geçme miktarının tespitinde kullanılan “Eğri Numarası” grupları haritası. ....	64

## KISALTMALAR

BTG	Büyük Toprak Grupları
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DEM	Digital Elevation Model
DSİ	Devlet Su İşleri
EDK	Eğim-Derinlik Kombinasyonu
GMI	Gerede Meteoroloji İstasyonu
GPS	Global Positioning System
HEC- RAS	Hydrologic Engineering Center's River- Analysis System
HGK	Harita Genel Komutanlığı
HTG	Hidrolojik Toprak Grupları
İHA	İnsansız Hava Aracı
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
ÖND	Önceki Nem Durumu
RTK	Real Time Kinematic
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SCS- CN	Soil Conservation Service-Curve Number
SGHM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TIN	Triangular Irregular Network
UgCS	Universal Ground Control System
USACE	United States Army Corps of Engineers
USDA	United States Department of Agriculture
USGS	United States Geological Service
YKN	Yer Kontrol Noktası

## SİMGELER

cm	Santimetre
CN	Eğri numarası
ha	Hektar
km	Kilometre
m	Metre
Qmax	Maksimum akım



## ÖZET

### ORMAN YOLLARINDA HİDROLİK YAPILARIN HEC-RAS YAZILIMI KULLANILARAK BOYUTLANDIRILMASI

Ahmet AÇIL

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN

Mayıs 2020, 98 sayfa

Orman yollarının uzun ömürlü ve kendilerinden beklenen işlevleri sürdürülebilir şekilde yerine getirmesi için yağış sularının yoldan hızlı bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu kapsamda orman yollarının dereler ile kesiştiği noktalarda inşa edilecek olan hidrolik sanat yapıları tasarlanırken, bu noktaya proje ömrü boyunca gelebilecek olan maksimum debinin bilinmesi ve yapıya ait açıklığın (kesit alanı) bu debiyi sorunsuz olarak geçirecek şekilde tasarlanmasıdır. Bu çalışmada Bolu orman bölge müdürlüğüne bağlı Gerede orman işletme Müdürlüğü ne ait Acısu orman işletme şefliği işletme sınırları içerisinde yer alan 410 kod numaralı orman yolu çalışma alanı olarak belirlenmiş ve üzerinde inşa edilmiş veya edilmesi gereken hidrolik sanat yapıları bakımından değerlendirilmiştir. Yol 2018 yılında yapıldığından memleket haritaları üzerinde yer almamaktadır. Bu nedenle İnsansız Hava Aracı (İHA) platformu kullanılarak 410 kod numaralı yolun ortofoto haritası oluşturulmuş ve orman yolu boyunca sanat yapısı bulunması gereken noktalar bu haritadan tespit edilmiştir. 410 kod numaralı orman yolundan suyu geçmesi gereken 15 adet havza alanı tespit edilmiş bunlardan 6 adet havza deresi koruge boru yerleştirmek sureti ile yolu geçirildiği görülmüştür. Ayrıca 9 noktada daha yapı ihtiyacı olduğu anlaşılmıştır. Ortofoto üzerinde yapılan incelemeler sonucu toplam uzunluğu 6+000 km olan yol boyunca 9 farklı noktada kazı ve dolgu şevlerinde toplamda 648m göçük meydana geldiği ve 8 noktada meydana gelen göçüklerin enine drenaj yapısı eksikliğinden veya mevcut yapıda kesit alanının darlığından kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca havzalardan gelecek debilerin hesaplanmasına yönelik havza alanları, eğim, dere aks uzunluğu ve dere eğimi gibi parametrelerin tespiti için memleket haritaları, arazi kullanımının belirlenmesinde meşcere tipleri haritası ve toprak tiplerinin belirlenmesinde Türkiye Büyük Toprak Grupları (BTG) haritası kullanılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak Hidrolojik Toprak Grupları, akışa dönüşme oranının tespitinde kullanılan Eğri Numaraları ve alan ağırlıklı ortalama eğim sınıfları haritaları oluşturulmuştur. Alana ait yağış verileri ise 01/01/1963 yılından bu yana kayıt altına alındığı Gerede Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiştir. Bu parametreler kullanılarak hesaplama yapan yağış akış oranı tespit yöntemleri ile havzalara ait proje debileri hesaplanmıştır. Dere yol kesişimlerine tesis edilmiş yapıların açıklığının belirlenmesinde HEC-RAS yazılımının kullanılabilmesi için bu noktaların hidrolik modellerinin oluşturulması gerekmektedir. HEC-RAS yazılımı ile oluşturulan modelin önemli girdi parametrelerinden biri olan geometri verisinin oluşturulması için Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)'ne ihtiyaç bulunmaktadır. Modelde kullanılacak SYM verisinin yüksek doğruluk ve çözünürlükte olması sonuçların doğruluğuna da etki etmektedir. Bu nedenle mevcut haritalardan üretilen SYM kullanılmamış, İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemleriyle mevcut yapıların bulunduğu kesişim noktalarından alınan görüntülerden hedeflenen doğruluk ve

özünürlükte SYM verileri üretilmiştir. Oluşturulan hidrolik modellerle yapılan simülasyonlar sonucu gelen debiyi sorunsuz geçirecek yapı açıklığı (kesit alanı) tespit edilmiş ve gelen suyun yola taşmaması için dere yataklarında yapılması gereken düzenlemeler önerilmiştir. Mevcut 6 adet yapıda hesaplanan debilere göre yapılan simülasyonlarda 4 adet yapı gelebilecek debiyi geçirmeye yetersiz kalmıştır. Bu yapıların 2 adedinin debiyi geçirmeye yeterli olmasına rağmen baş ve kanat duvarları olmadığından ve dere yatağı düzenlenmediğinden küçük de olsa yayımlara sebebiyet vermiştir. Ayrıca yapılara ait doğrudan kesit alanını veren ampirik formül olan “Talbot Formülüne” göre de açıklıkları hesaplanmıştır. Alanda mevcut bulunan yapıların kesit alanları, aynı yapıların “Talbot Formülü” ve debilere göre HEC-RAS kullanılarak bulunan kesit alanları ile kıyaslanmıştır. Bunun sonucunda “Talbot Formülüne” göre bulunan kesitlerin de HEC-RAS ile bulunan kesit alanlarına göre dar olduğu görülmüştür.

**Anahtar sözcükler:** Drenaj, Hidrolik yapı boyutlandırma, HEC-RAS, İHA-SYM, Orman yolları, Yağış-Akış.

## **ABSTRACT**

### **DIMENSIONING OF THE HYDRAULIC STRUCTURES ON THE FOREST ROADS BY USING HEC-RAS SOFTWARE**

Ahmet AÇIL

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forest Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN

May 2020, 98 pages

The precipitation waters should be cleared from the forest roads quickly so as to make these roads durable and let them perform the expected functions in a sustainable way. Within this scope, maximum flow rate that may hit the intersections of the forest roads with the streams throughout the life span of the project should be known while hydraulic structures are constructed at this point and the span of the structure should be designed to pass this flow smoothly. In this study, 410 code numbered forest road which is located in Acısu Forest Management Directorate in Gerede Forest Management Directorate which is affiliated to Bolu Forest Regional Directorate has been specified as the working area and examined in respect to hydraulic structures that were built or should be built on this road. The road is not situated on the country maps as it was built in 2018. Because of this reason, the orthophoto map of the 410 numbered road was created by using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) platform and the points where there should be hydraulic structures on the forest road were identified on this map. Fifteen watershed areas of which water should flow through the 410-code numbered forest road was detected and it was found that six of them passed the road by placing corrugated pipes. It was also detected that construction was needed at nine more points. In consequence of the examinations on orthophoto, it was identified that a total of 648m landslide took place at 9 different points along the road which is 6+000 km long in total. It was also found that landslides that occurred at 8 points was because of the lack of transverse drainage structure or the narrowness of the sectional area in the existing structure. Besides, Grand Soil Group (GSP) map of Turkey was used in order to specify the soil types, stand data map was used to specify the land use, and country maps were used in order to specify the parameters for the calculation of the flow rate such as catchment areas, slope, stream axis length and stream slope. Using the data obtained, maps of Hydrological Soil Groups, Curve Numbers that are used in determining the rate of conversion to flow, and map of area-weighted average slope classes were created. Precipitation data, which has been recorded since 1963, were provided from by Meteorology Station. By using these parameters, design discharges for the watersheds were calculated with the precipitation to flow rate determination methods that calculate runoff from rainfall intensity. For HEC-RAS software to be able to be used in determining the span of the structures established at the stream-road intersections, hydraulic models of these points should be built. Digital Elevation Model (DEM) is required to generate geometry data which is one of vital input parameters of the model made up with HEC-RAS software. The high accuracy and resolution of the DEM data that will be used in the model affects the accuracy of the results as well. Because of this reason, DEM data which was obtained from the existing maps was not able to be used.

DEM data with the targeted accuracy and resolution was generated from the images of the intersection points where existing structures were situated with the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) systems. Thanks to simulations made with the hydraulic models, the structure span (sectional area) that will carry the flow smoothly was found out and we proposed the arrangements which ought to be made in the stream beds in order not to allow the overflow of the incoming water to the road. In the simulations which were made according to the calculated flow rates in the existing six structures, four of them were found incapable of carrying the flow that might come. Although two of them were capable of carrying the flow, they caused spreading of the flow since they did not have head and wing walls and the stream beds were not arranged. Moreover, their openness was calculated with the "Talbot Formula" which is the empirical formula that gives the direct sectional area of the structures. The sectional areas of the structures existing in the area were compared with the sectional areas that were calculated according to the "Talbot Formula" of the same structures and by using HEC-RAS in accordance with the flows. As a consequence of this, it was seen that the sections calculated according to the "Talbot Formula" were also narrow compared to the sections calculated by HEC-RAS.

**Keywords:** Drainage, Hydraulic structure design, HEC-RAS, UAV-DEM, Forest roads, Rainfall-Runoff.

## 1. GİRİŞ

İnsanlığın varoluşundan bugüne insan ve eşyaların bir yerden başka bir yere taşınma ihtiyacı hissedilmiştir. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla yol ve taşıma araçlarının gelişimi de hayat standartlarının gelişmesine doğru orantılı olarak ilerleme göstermiştir (Gül, 1999). Yollar, dünyanın her yerinde fiziksel, sosyal ve kültürel hayatımızın kalıcı birer parçası haline gelmiş ve çevremizi değiştirirken tarihimizi şekillendirmemize yardımcı olmalarının yanı sıra geleceğimizde de büyük etkiye sahip olacaklardır. Yolların tasarımının gelecekte farklı olması mümkün olmakla birlikte doğal ortamlara inşa edilecek ve doğal ortamlarla birlikte yönetilmesi gerekecektir. Bu sebeple güzergâhları doğaya en az etkiye sahip olacak şekilde planlanmalı, daha çok yaban hayatı geçişleri sağlamalı ve yol kenarları yerel türlerle iyi bir manzaraya kavuşturulmalıdır (Spellerberg, 2002). Zaten ekolojik sisteme doğrudan bir müdahale olan orman yolu inşası, gerekli koruyucu önlemler alınmadan bilimsel mühendislik ölçütlerine bağlı olarak yapılmadıklarında erozyon, sel-taşkın, heyelan ve sedimentasyon gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmaktadırlar (Görçelioğlu, 2004).

Ormanların işletilmeye başlanması, yoğun ve amaca uygun olarak yapılabilen rasyonel ormancılık uygulamasını yapılabilir hale getirmiştir. Bu amaçla yapılacak ormancılık faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için en önemli araçlardan biri orman yollarıdır, öyle ki tüm faaliyetlerin yürütülmesi ancak ulaşım sağlanırsa mümkün olacaktır. Bu da ormanlarda inşa edilen yol ağlarıyla mümkündür.

Orman yolları: ormanlardan elde edilen ürünlerin depolara ya da tüketim alanlarına taşınmasına, ormanların yetiştirilmesine, orman köylerinin ulaşımının sağlanmasına olanak tanır (Seçkin, 1977). Ayrıca insanlara araştırma yapmak, eğlenmek, orman içi yaban hayatı alanlarıyla iç içe olmak, doğal ve düzenlenmiş ekosistemlerin düzenini korumak ve yönetimini sağlamak amaçlı ulaşım sağlar. Bir yandan üretilen odun hammaddesi, personel ve ekipman nakline diğer yandan da orman köylüsünün ulaşım ihtiyacını karşılanmasına olanak sağlarken gerektiğinde askeri amaçlarla da kullanılabilir (Gucinski ve Diğ. 2001, Çalışkan 2003, Acar 2005).

Orman yolları en başta geçtikleri yamaçların stabilitesi üzerinde olumsuz etkiler

yapmaktadır (Pantha vd., 2008). Eker ve Aydın (2014) yaptıkları çalışmada ormanlarda derin ve sığ heyelanları tetiklemede en çok etkisi olan ormancılık faaliyetlerinden birinin ormanlarda gerekli tedbirler alınmadan orman yolu inşa edilmesi olduğu sonucuna varmışlardır. Yolların yamaçlara yük bindirmesi, yapılan kazı ve dolgu şevlerinin dik eğimlere sahip olması, kazı şevlerinin yamaç topuk desteğini ortadan kaldırması ve özellikle akışa geçen yağış sularının yol üzerinde yoğunlaşması ve saptırılması ile duyarsızlıklar ortaya çıkmaktadır (Siddle, 1985). Swanson ve Dyrness (1975) yaptıkları çalışmada yol olmayan ormanlık alanlara göre yol olanlarda kütle hareketlerinin 30 kat daha fazla olduğunu, Allison ve diğ (2004) ise doğal alanlarla karşılaştırıldığında yol yapılan alanlarda her ne kadar genellikle küçük ve uzun mesafe kat eden heyelanlar olmasa da 25 ile 350 kat daha fazla olduğunu ifade etmektedir. Bununla birlikte yollarda oluşan heyelanlar ve yüzey erozyonu hidrolik yapılarının ve yolların tahrip olmasına, akarsu yataklarına sediment dolmasına ve su kalitesinin düşmesine neden olur, doğal kaynaklar üzerinde olumsuz etkiler yaratırken nehir ve göllerdeki balık yataklarını doldurarak yaşam ortamlarını tehdit eder (Görcelioğlu, 1996).

Orman yolları yapılırken sel yataklarından ve dengelerini kolayca yitirebilen yamaçlardan dolayı yol planlama, inşa ve bakımları açısından da sorunlar yaşanmaktadır. Orman yolunun bir dere veya sel yatağı boyunca yapılması veyahut dere kesişiminin olması durumunda yolun zarar görerek tahrip olacağı bilinmektedir. Yol inşası ile daraltılan dere yataklarında hasar tehlikesi daha fazla olmaktadır. Dere yatağının yan yüzlerinde, yolun dolgu şevinde, dere boyunca bulunan kıyı duvarlarında, kaplama ve istinat duvarı gibi koruyucu yapılarda alt oyulmalar meydana gelebilmektedir, bunlarda yolun dolgu şevinde ve sanat yapılarında hasarlara neden olurlar. Çünkü bu yapılar oyulmalara maruz kalarak desteklerini ve dengelerini yitirmektedirler (Görcelioğlu, 2004). Söz konusu bu olumsuzluklardan kaçınmada en önemli etken orman yolu yapımına başlamadan önce yapılması gereken kapsamlı bir planlama çalışmasıdır. Bu planlama çalışmaları çevresel ve ekonomik açıdan çok önemlidir. Orman yollarının yapımında meydana gelen yanlış planlamalar ve yapım esnasında dikkat edilmesi gereken hususların uygulanmaması sonucunda çok büyük maliyet artışları ve çevresel yıkımlar meydana gelebilmektedir (Öztürk vd., 2008).

Bahsedilen bu sebeplerden dolayı yolların gerekli mühendislik ölçütlerine uygun şekilde planlanmaması ve inşa edilmemesi ile bakım-onarım maliyetlerinde de önemli artışlar

ortaya çıkmaktadır. Örneğin Türkiye’de 2002-2011 yılları arasında 9783 km orman yolu büyük onarıma tabi tutularak yaklaşık 70 milyon TL bütçe ayrılmıştır (OGM, 2012, Eker ve Aydın 2014).

Türkiye’de orman yolu yapım çalışmalarına 3204 sayılı kanun ile 1937 yılında başlanmış, 1957 yılında makinelerin kullanılmaya başlanmasıyla yol yapım çalışmaları hız kazanmıştır. Yapılan çalışmaların sağladığı altyapı sayesinde 1963 yılında ormancılıkta planlı işletme dönemi başlamıştır. 1966 yılında yol şubesi kurularak çalışmaların planlanması ve yürütülmesi bu şube tarafından yapılmaya başlanmıştır (Acar 2005). Söz konusu orman yolu yapım çalışmaları günümüzde 292 sayılı tebliğe göre yürütülmektedir (OGM, 2008).

Orman yollarının taşıma kapasitesi ve dayanıklılığı üzerinde rol oynayan en büyük etmen yol platformuna nüfuz eden sudur. Orman yollarının uzun ömürlü ve sürdürülebilir şekilde hizmet vermesi için yağış sularının yoldan hızlı bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Özellikle üst yapının barındırdığı yüksek nem; trafik yükü, yolda yapılan sürütme ve taşıma işleri ve kış aylarında meydana gelen donma ile yol üst yapısının hizmet ömrünün düşmesine neden olur. Kış aylarında yol yüzeyine yakın kısımda kalarak biriken bu su donarak üst katmandaki yol kaplamasının gevşemesine, yolun taşıma kapasitesinin düşmesine ve ömrünün kışalmasına neden olmaktadır (Dawson, 2009).

Orman yollarında drenaj; yol platformuna ve içinde bulunduğu havzaya, yağmur, dolu ve kar halinde düşen, yüzeysel akış oluşturan ya da birikinti yapan yüzeysel sular ile toprağa sızan durgun veya akış halindeki yeraltı sularının yola ve çevreye zarar vermeden uzaklaştırılarak en yakın akarsu ya da göle taşınması olarak tanımlanmaktadır (Demir, 1998; Seçkin, 1978). Basitçe kaplama yapılarak sağlanmıştır yolların ya da herhangi bir kaplama materyali kullanmaksızın açılmış toprak yolların sürekli trafiğe açık tutulabilmesi ve aynı zamanda şevlerden taşınan suyun ulaştığı dere sularının, taşınan sedimentin karışması suretiyle kirlenmesine engel olmak için sağlıklı çalışan bir drenaj sistemi oluşturulması gerekmektedir. İyi bir yol drenaj sistemi yol tabanında ve yüzeyde bulunan suların toplanıp yoldan uzaklaştırılarak yola vereceği zararın önlenmesine, yol şevlerinde ya da yol yüzeyinde oluşacak erozyon, kayma ve göçme gibi olayların önüne geçilmesine, varsa yer altı sularının seviyesi düşürülerek yola zararsız hale getirilmesine olanak sağlar. Bu sistem ise doğru ebatlarda, doğru sayıda ve doğru türde yapılan hidrolik yapılar neticesinde ortaya çıkar (Gül, 1999).

Yol yüzeyinde, tabanında ve varsa yer altında birikmiş halde bulunan suyun seviyesinin düşürülerek yola zararsız hale getirilmesi boyuna drenaj olarak karşımıza çıkarken, şev hendeklerinde biriken suların, yüzey sularının ya da yolu kesen nehir sularının yolun diğer tarafına geçirilerek yoldan uzaklaştırılmasına enine drenaj denir (Gül, 1999; Çalışkan, 2007). Köprüler ve menfezler bu tür suların yolun altından geçişini sağlamak üzere inşa edilirken yol yüzeyine inşa edilen kasis gibi yapılar da üstünden geçişini kolaylaştırır. Genellikle küçük hidrolik yapılar olarak görülen menfezlerin yolun kalitesine ve uzun yıllar hizmet sağlamasına etkisi çok büyüktür. Enine drenaj yapısının tasarımı bir yol drenajından farklı olarak, daha kapsamlı bir hidrolik analiz gerektirmektedir (Erdaş, 1997; Çalışkan, 2007). Sanat yapısının büyüklüğü ve maliyetinden bağımsız olarak, yapının hidrolik tasarımından önce tamamlanması gereken en önemli çalışma enine drenaj yapısının taşıyacağı anlık maksimum akış hacminin belirlenmesidir.

Orman yolu güzergâhlarının yapısı gereği küçük ve orta ölçekli havzalara ait dere yataklarıyla kesiştiği ve dere yataklarından da geçirilmesi gerektiği için öncelikle araştırılması gereken konu, dere-yol kesişimleri ve bu dereleri besleyen havzaların üreteceği maksimum debinin tasar proje tekerrür aralığı için tespit edilmesi olmalıdır. Kara yollarında olduğu gibi orman yollarında da drenaj yapılarının hidrolik tasarımları yapılırken taşkın (proje) debilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Taşkın (proje) debisi belirli bir süre içerisinde meydana gelmesi beklenen en yüksek akım debisidir. Hidrolik yapıların ömrüne göre belirlenir ve yapının hizmet süresi içerisinde oluşacak en yüksek debiye göre planlanması beklenmektedir. Proje debilerinin yanlış belirlenmesi gerçekte tesis edilecek yapının işlevini tam yerine getirememesine neden olabileceği gibi maliyetin de artmasına neden olabilmektedir (Gül, 1999). İhtiyaç duyulandan küçük ölçülerde inşa edilen yapı gelen debiyi taşıyamayacağından orman yolunun zarar görmesine neden olabilirken, ihtiyaç olandan çok daha büyük yapıların tesis edilmesi de maliyet açısından ekonomik olamayacaktır.

Havzalarda meydana gelen yağışlara göre en yüksek akımların tespit edilmesinde akım hidrografları kullanılmaktadır. Ayrıca yağışlara göre meydana gelen akımların ölçülmesine ve kaydedilmesine yönelik akım istasyonları da kullanılabilir. Ancak söz konusu havzalara ait mevcut bir hidrograf verisi ya da ölçüm istasyonu verisi olmadığında meydana gelen yağışların havzada oluşturacakları akımları tespit etmeye yönelik bazı ampirik formüller ve sentetik yöntemler geliştirilmiştir (Çalışkan 2007).

Hydrologic Engineering Center's River-Analysis System (HEC-RAS) yazılımını doğal bir dere yatağı ya da suni bir su kanalında akan suyu modellemede kullanılmasının yanı sıra dere kesişimlerine inşa edilecek köprü ve menfez tasarımını ve bunların analizini de yapabilmeye olanak sağlamaktadır. İnşa edilmiş bir yol üzerinde mevcut yapıları söz konusu debilere göre analiz edebilirken, yeni inşa edilecek yollarda da tesis edilecek yapıların tasarımında kullanılabilir (USACE 2010a).

Bu çalışmada, Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Gerede Orman İşletme Müdürlüğü, Acısu Orman İşletme Şefliği işletme sınırları içinde yer alan 410 kod numaralı orman yolu üzerinde bulunan mevcut yapıların konumsal doğruluğunun CBS yazılımı yardımıyla incelenmesi ve açıklıklarının HEC-RAS programında oluşturulan modellere göre analizi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra yol üzerinde ihtiyaç olduğu halde sanat yapısı inşa edilmemiş noktaların tespit edilmesi ve bu noktalara inşa edilecek yapıların boyutlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca çalışmanın yeni yapılacak bir orman yoluna ait güzergâhın proje aşamasında incelenip tesis edilmesi gereken sanat yapılarının konumlarının ve boyutlarının yol projelendirme aşamasında belirlenerek oluşabilecek en yüksek akımlara göre analiz edilebilmesine ışık tutması amaçlanmıştır. Çalışmada havzalara ait dere aks uzunluğu, çevre uzunluğu, alan, eğim gibi morfometrik özellikler ve arazi kullanım tipleri, toprak tipleri gibi parametrelerin belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır. Ayrıca havzaların geçmiş yıllarda oluşan yağışlarda meydana gelen en yüksek akımlarına ait bir kayıt olmadığından yağış-akış oranını belirlemeye yönelik bazı ampirik formüller ve Eğri Numarası (SCS-CN) yöntemi kullanılmıştır. İnşa edilecek sanat yapılarına ait proje ömrüne göre oluşan taşkın debilerini kestirebilmek için ise istatistik yöntemler kullanılarak 50 yıllık hizmet ömrüne göre oluşacak en yüksek akımlar hesaplanmıştır. Buradan yola çıkılarak HEC-RAS yazılımında oluşturulan modellerde hesaplanan en yüksek akımlara ait kararlı akım analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde mevcut yapıların verimliliği ve başarı oranı tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan analizlerde havzalara ait tasar maksimum debilerini başarılı şekilde akıtabilecek yapı boyutları da tespit edilmiştir. HEC-RAS yazılımında bir sanat yapısının en doğru şekilde modellenebilmesi için yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeline (SYM) ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu bu modellemede İnsansız Hava Aracı (İHA) platformu kullanılmış olup modellenecek olan sanat yapısına ait alandan veri alınmış ve alınan veri gerekli programlarda işlenerek gerekli altlıklar hazırlanmıştır.

## 1.1. TEMEL KAVRAMLAR

### 1.1.1. Su Akıtıcı (Hidrolik) Sanat Yapıları

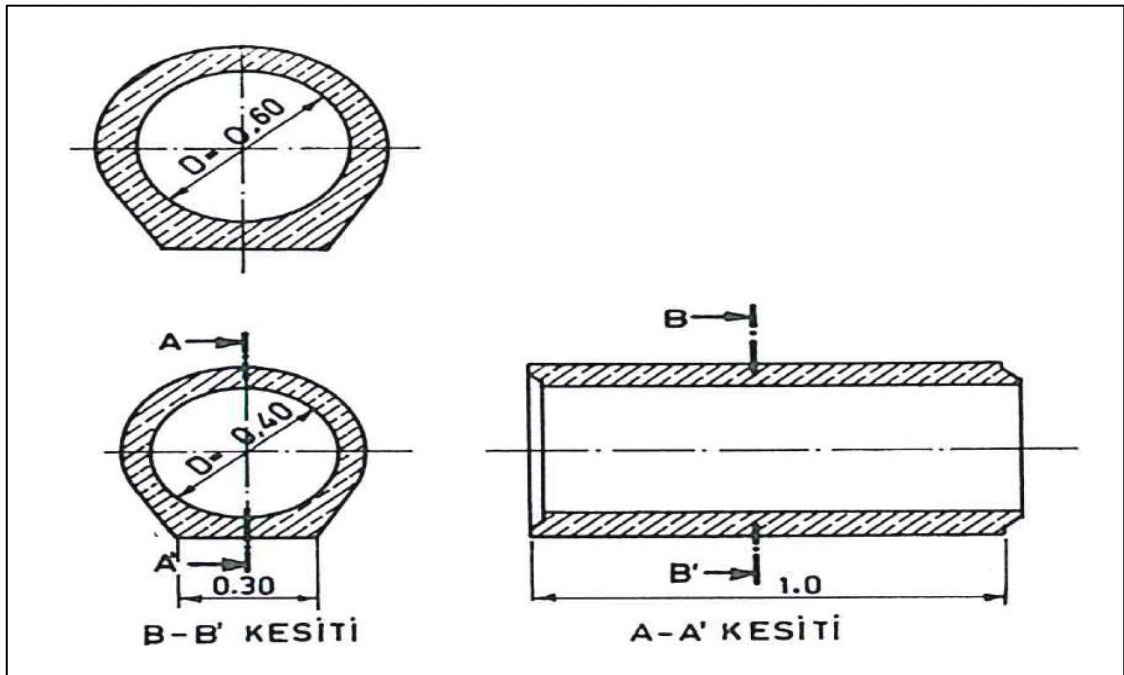
Suların orman yolunun fonksiyonunu yerine getirmesine engel olmadan geçirilmesi, yolun kesintisiz kullanımının sağlanması, kazı ve dolduru şevi çöktürmelerinin önlenmesi gibi amaçlarla yol boyunca inşa edilen köprü, büz, menfez, drenaj hendeği, kanal ve kasis gibi yapılara Hidrolik Sanat Yapıları adı verilir. Su akıtıcı (hidrolik) sanat yapılarının içinde en önemlileri büzler, menfezler ve kasislerdir (Erdaş, 1997; Özçelik, 1982).

Ayrıca karayolları literatüründe büz, menfez, kasis ve köprü gibi hidrolik yapılar “Enine Drenaj Yapıları” olarak da tanımlanmaktadır (Çalışkan, 2007; Gül, 1997).

#### 1.1.1.1. Büzler

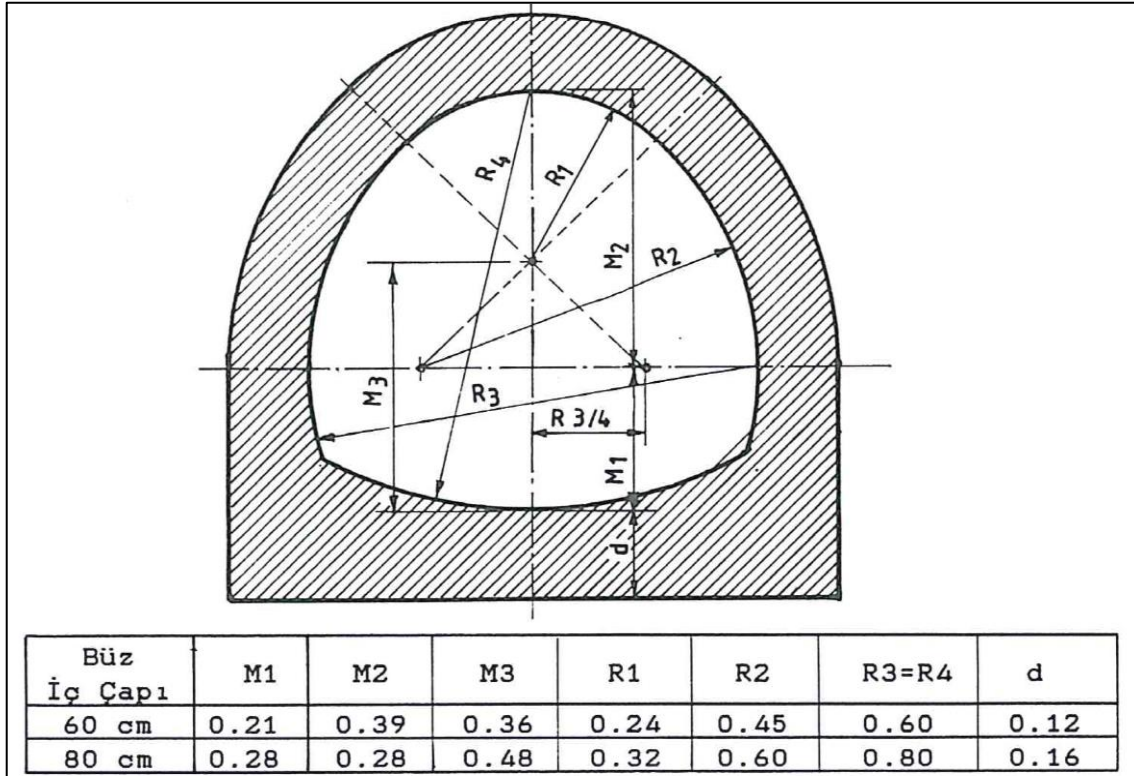
Orman yollarına, kullanılacakları amaca göre, beton veya demirli beton kullanılarak dairesel kesitli ya da sepet kulplu biçimlerde inşa edilen küçük hidrolik yapılardır. Orman yollarında kullanılan büzler dairesel kesitli ve sepet kulplu büzler olmak üzere iki çeşittir (Erdaş, 1997).

*Dairesel kesitli büzler:* Su ve taşkınların yola zarar vermeden akışını sağlayan beton malzemeden daire kesitinde inşa edilen yapılardır (Şekil 1.1.).



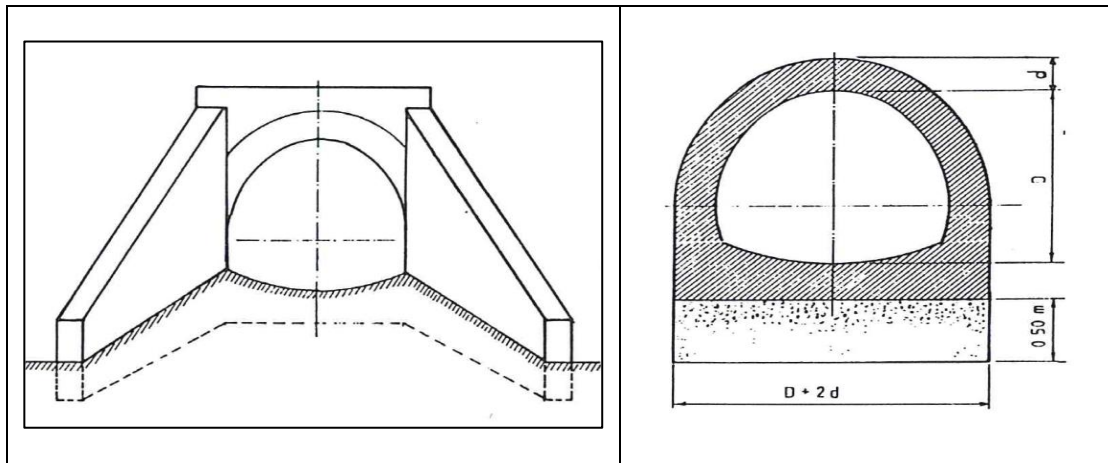
Şekil 1.1. Dairesel kesitli büzler.

*Sepet kulplu büzler:* Yüksek dolgularda (>3 m) meydana gelen yüksek basınçlar nedeniyle dairesel kesitli büzlerin kullanılmadığı yerlerde daha dayanıklı olan sepet kulplu kesitli büzler kullanılır (Erdaş, 1997; Hasdemir, 1991), (Şekil 1.2, Şekil 1.3).



Şekil 1.2. Sepet kulplu büzün cepheden görünüşü ve iç ölçüleri.

Sepet kulplu büzlerin Şekil 1.3'de görüldüğü gibi memba (giriş) tarafına su toplama kanat duvarları inşa edilmeli ayrıca mansap (çıkış) tarafı bir temel üzerine oturtulmalıdır.



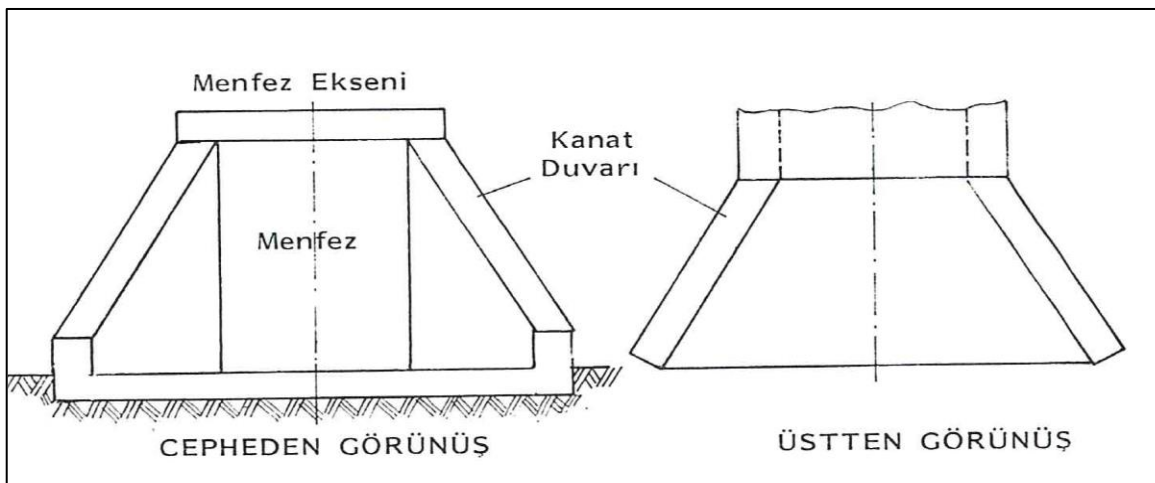
Şekil 1.3. Sepet kulplu büzlerin memba (solda) mansap (sağda) kısımlarının su toplama kanatları ve mansap temel desteği.

Erdaş, 1997 de büzlerin projelendirme esaslarını şöyle sıralamıştır.

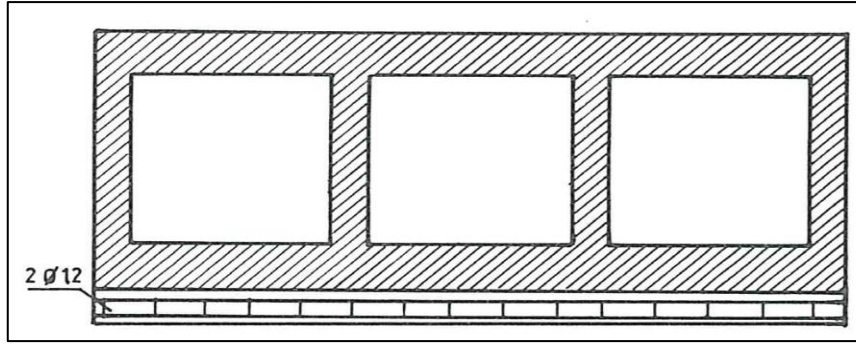
- Orman yollarında ters eğimlerin kesiştiği noktalarda,
- Dere veya kaynak sularının yol ile kesiştiği noktalarda,
- Normal şartlar altında her 200 metrede bir, bataklık veya ıslak arazilerde her 50 metrede bir,
- Drenaj çalışmalarında,
- Orman içlerinde 60 cm'den daha küçük çaplarda, büz kullanılmamalıdır,
- Büzlerin her iki ucuna harçlı taş veya beton baş duvarları yapılmalıdır,
- Büzden suyun düştüğü noktaya 40-80 cm genişliğinde blokaj yapılmalıdır.

#### 1.1.1.2. Menfezler

Büzlere göre daha gelişmiş yapılar olan menfezler, büzlerin geçirmede yetersiz kaldığı durumlarda dere veya akarsulardan gelecek her türlü suyun yoldan geçirilerek uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla yol gövdesi altına inşa edilirler. Menfezlerin açıklığı büzlere göre daha yüksek olduğundan yolun hizmet süresi boyunca herhangi bir taşkına sebebiyet vermeden yolun yıl boyu kesintisiz hizmet vermesini sağlarlar. (Erdaş, 1997; Bayoğlu, 1997; Özçelik 1982; OGM, 2008). Menfezler tesis edilecekleri yerin özelliklerine göre tek gözlü (Şekil 1.4) ya da birden fazla gözlü olarak inşa edilebilir (Şekil 1.5.).



Şekil 1.4. Bir menfeze ait kanat duvarlarının cepheden ve üstten görünüşü.



Şekil 1.5. Üç gözlü kutu menfez cepheden görünüşü.

Menfezler akıttığı suyun debisi ve açıklığına göre küçük ve büyük menfezler olmak üzere ikiye ayrılmıştır (Erdaş, 1997).

*Küçük Menfezler:* Genellikle eğimi yüksek orman yollarına inşa edilen ve dar açıklıklarla yüzeye yakın tesis edilen menfezlerdir. Bunlar da kendi içlerinde yapısal olarak üstü açık ahşap ve taş menfezler ya da beton elemanlı üstü kapalı olmak üzere iki biçimde inşa edilmektedir.

*Büyük Menfezler:* Açıklıkları küçük menfezlere göre daha geniş olan ve büyük akış oluşturacak noktalarda tesis edilen bu menfezler daha derin dolgu altına da inşa edilebilmektedir. Bu menfez türü boyutlandırılırken su bünyesinde gelen materyalin geçirilebilmesi de göz önünde bulundurulur.

Büyük menfezler:

- i) Kutu menfezler,
- ii) Beton ve kâgir kemer menfezler ve
- iii) Tabliyeli menfezler olarak üç tipte inşa edilirler.

#### 1.1.1.3. Koruge Borular

Yüksek yoğunluklu polietilenden üretilen ve kaburgalı yapıları sayesinde yüksek yük dayanımına sahip olan boru türleridir (Crumpler ve Crumpler, 1979). Üretim malzemesi olan polietilenin özelliği sayesinde uzun hizmet ömrüne sahiptir. Pürüzsüz içyapısı yüksek akış verimliliğine ve gelen taşıntı materyalinin kolayca boşaltımına olanak tanımaktadır. Gelişen endüstriyel üretim sayesinde 10- 120 cm çap arasında 5 cm aralıklarla üretilmektedir. Serbest akışın bulunduğu yerlerde su iletim hattı olarak kullanılabilirken, kanalizasyon, altyapı uygulamaları ve drenaj sistemlerinde de kullanılmaktadır (Şekil 1.6). Betonarme büz ve menfezlerin yanı sıra drenaj tesislerinde

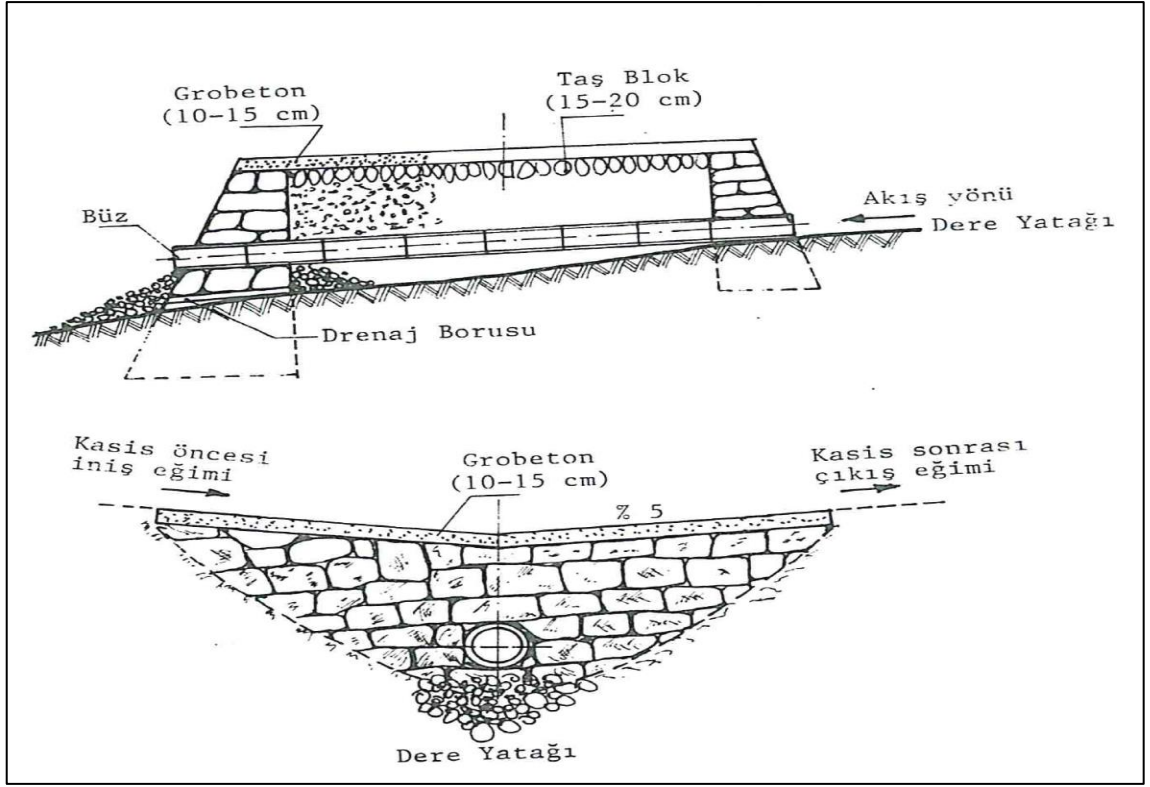
kullanılan bir diğerk yapılarıdır (Plastics Pipe Institute, 2020). Hafif olması nedeniyle taşıma kolaylığı sağladığından orman yollarında da yaygın kullanım alanına sahiptir.



Şekil 1.6. Koruge borunun menfez olarak kullanımı. Memba yönü (solda), mansap yönü (sağda).

#### *1.1.1.4. Kasisler*

Genellikle maliyeti düşük ve yapımı kolay olan sanat yapılarıdır. Taşkın zamanında akış oluşturan ve çok fazla taşıntı materyali getiren dere yataklarına inşa edilirler. Sadece taşkın zamanında akış gösteren derelere büzsüz kasis inşa edilirken, sürekli akış gösteren derelere ise büzlü kasisler inşa edilir (Şekil 1.7). Bu yapılar inşa edilirken dere yatağına oturtulur ve yol geçkisi dere yatağıyla fazla bir kot farkı göstermez. Kasisleri diğerk hidrolik yapılardan ayıran temel tasarım ilkesi ise çok fazla taşıntı materyali içerdiğinden boyutlandırmada herhangi bir hidrolik analiz yapılmasına ihtiyaç duyulmayıp tamamen yol planlama kriterlerine uygun olarak yapılır (Bayoğlu, 1997; Erdaş, 1997)



Şekil 1.7. Büzlü kasis örneği.

#### 1.1.1.5. Köprüler

Yolların akarsu üzerinden geçirilmesi gereken noktalarda büz ve menfezlerin yetersiz kaldığı durumlarda inşa edilen ve orman yollarında açıklığı 6 metreden büyük olan yapılara köprü denir. Köprüler; malzeme, mekanik sistem, kullanım, giriş şekilleri, plandaki durum ve hizmet süresi yönünden birçok sınıflara ayrılabilir (OGM, 2008; Erdaş, 1997; Bayoğlu, 1997; Celasun, 1974). Orman yollarına inşa edilecek köprüler de bu kriterler bakımından aşağıdaki özellikleri taşıması gerekir (Erdaş, 1981):

- Betonarme yapı
- Basit ve tek açıklıklı yapı
- Statik hesaplamaları kolay plak taşıyıcı eleman
- Akarsu yatağına dik geçki
- Devamlılık

#### 1.1.1.6. Hava Payı

Su geçirme yapısı inşa edilecek noktaya ait mevcut taşkın (proje) debisi kaydı var ise bu debiye göre ya da hesaplama yöntemleriyle elde edilen debiye göre tespit edilen en yüksek su seviyesi ile st yapı arasındaki net düşey aralığa hava payı denmektedir. Bu aralık su üzerinde yüzer halde bulunabilecek tomruk, çalı, ağaç kökü gibi taşıntı materyalinin tesise zarar vermeden geçmesini sağlayacak şekilde belirlenmelidir (Erdaş, 1997).

Menfezlerde bırakılması gereken en az hava payı (izelge 1.1) ve Köprü tabliyesinin alt kolu ile yüksek su seviyesi arasındaki hava payı (izelge 1.2) kök ve kütük getiren akarsularda aşağıdaki gibidir (alışkan, 2003; zelik, 1982).

Çizelge 1.1. Menfezlerde bırakılması gereken en az hava payı.

Açıklık (m)	En az hava payı (m)
0,7	0,25
1,0	0,35
2,0	0,60
3,0	0,80

Çizelge 1.2. Köprülerde açıklığa göre en az hava payı mesafesi.

Açıklık (m)	Hava payı (m)
4	1,10
5	1,20
6	1,30
7	1,40
8	1,50

## 1.2. LİTERATÜR ÖZETİ

Çalışkan (2003)' de hidrolik sanat yapılarını tanımlamış, inşa edilirken dikkat edilmesi gereken hususlara değinmiştir. Dere-yol kesişimlerini CBS yazılımı kullanarak tespit etmiş, arazide de yaptığı çalışmalarda sanat yapısı mevcut olan ve eksikliği görülen noktaları GPS kullanarak koordinatlarını almak suretiyle sayısal haritalara aktarmış ve bu noktalara uygun yapıları önermiştir. Ayrıca mevcut yapıları uygunluk açısından değerlendirmiş uygun olmayan yapıların yerine inşa edilmesi gereken yapılarını belirtmiştir. Çalışkan yaptığı bu çalışmada sanat yapılarının değerlendirme ve uygunluk açısından kıyaslamada “Talbot Formülü”nü kullanarak boyutlandırma yapmış ve uygunluk açısından yaptığı değerlendirmeleri elde ettiği sonuçlara göre kıyaslamıştır (Çalışkan, 2003).

Döner (2010) Vezirköprü Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Sariçiçek orman işletme şefliği alanında yaptığı çalışmada CBS yazılımı ve Talbot formülünden yararlanarak hidrolik sanat yapılarının boyutlarının ve konumlarının uygunluğunu araştırmıştır. (Döner, 2010).

Görmez (2012)'in Kırklareli Dereköy Orman İşletme Şefliğine ait orman yollarında 115 ve 116 kod numaralı yollarda sanat yapılarını incelemiştir. Çalışmasında CBS yazılımı kullanarak yollar üzerinde bulunan sanat yapılarını haritalandırmıştır. Söz konusu yolların uzunluğu 11+500 km'dir ve bu yollar üzerinde 46 adet drenaj tesisi bulunmaktadır. Mevcut drenaj yapılarının tiplerini ve deformasyon durumlarını incelemiş ve çözüm önerilerinde bulunmuştur (Görmez, 2012).

Demir (2019) Artvin Tütüncüler Orman İşletme Şefliğinde yaptığı çalışmasında mevcut sanat yapılarını taşkın riski açısından değerlendirmiştir. Bu değerlendirmede çalışma alanına ait sayısal yükseklik modelini hazırlamıştır. Hazırladığı modeli kullanarak orman yolu sanat yapılarının kuru ve sulu dere, arazi eğim sınıfları, kuzey ve güneyli bakılar ve yükseklik kademeleri açısından dağılımını incelemiştir. İşletme Şefliğine ait alanın hidrolik modelini oluşturmuştur. HEC-RAS yazılımı ile DSİ akım istasyonlarına ait 50 yıllık debiyi kullanarak 9 adet yapıda kararlı akım analizleri yapmıştır. Ayrıca bölgede bulunan 59 adet yapıyı yeterlilik bakımından incelemiş ve bunların 50 adedinin yeterli 9 adedinin yetersiz olduğunu tespit etmiştir (Demir, 2019).

Bayoğlu ve Hasdemir (1991) orman yolları üzerine inşa edilen büz ve menfezlerin boyutlandırılması üzerinde çalışmışlardır. Büz ve menfezlerin tesis edildikleri yerin

havza büyüklüğü, topografyası, arazi örtüsü, yağış miktarı, şiddeti vb. özelliklerine uygun boyutlandırılabilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada maksimum debinin bulunmasında rasyonel yöntem, hidrolik sanat yapılarının enkesitlerinin belirlenmesinde Talbot formülü ve boyutların belirlenmesinde akım abaklarını kullanmışlardır. Orman yollarının uzun süre ve sağlıklı hizmet verebilmesi için yol şebeke planları ile birlikte gerekli olan sanat yapının yerlerinin ve niteliklerinin de belirlenmesi gerektiği sonucuna varmışlardır (Bayoğlu & Hasdemir, 1991)

Demir (1998) orman yollarının ömür ve dayanıklılığını etkileyen zararlı suyu önlemek ve orman yollarından en hızlı şekilde uzaklaştırılmasını kapsayan drenaj problemi ve çözüm yolları üzerinde durmuştur ayrıca uygulanabilecek tesisler ve önlemler hakkında bilgiler vermektedir (Demir, 1998).

Gül (1999) Aydın-Denizli otoyolu üzerinde birkaç menfez seçmiş, menfezleri hem ile hesap yöntemi ile hem de menfez tasarıma yönelik 3 yöntemi kullanarak (Alandaki eski bir yapının veya yukarı ve aşağı yöndeki yapıların incelenmesi; Doğrudan gerekli olan açılma boyutunu belirlemek için bir ampirik formülün kullanılması; Menfezlere ulaşan su miktarını belirlemek için bir formülün kullanılması, ardından bu su miktarını taşımak için gereken menfezin boyutunu belirlemek için ikinci bir prosedür) yeniden tasarlayarak sonuçları değerlendirmiştir. Menfezlerin bazı genel özellikleri ile birlikte menfezlere ilişkin hidrolojik ve hidrolik özellikleri ifade etmiştir. Yerli ve yabancı kaynaklardan derleyerek elde ettiği alternatif bir tasarım yöntemini önermektedir (Gül, 1999).

Çitgez (2011) Düzce ili Kaynaşlı ilçesinde yaptığı çalışmada Kaynaşlı dere havzasında, havzanın morfometrik özelliklerine göre sel üretme potansiyelini incelemiş, havzada yağış akış ilişkisi kurarak farklı tekerrür sürelerindeki maksimum akımları elde etmiştir. Bu akımları kullanarak Kaynaşlı ve Kurur dere havzasında Coğrafi Bilgi Sistemlerine entegre çalışan HEC-RAS yazılımını kullanarak taşkın analizi yapmıştır ayrıca Kaynaşlı deresinin kesitinin geçirebileceği en yüksek debiyi Toprak Koruma Servisi Eğri Numarası (SCS-CN) modeli kullanarak hesaplamıştır. Havzada ve derelerde alınması gerekli önlemler konusunda önerilerde bulunmuştur (Çitgez, 2011).

Jain, Mishra ve Singh. (2006) yaptıkları çalışmada SCS-CN modelini ve bu modelin modifiye edilmiş versiyonu olan Mishra ve Singh (MS) modellerini belirli bir arazi kullanımına, toprak tipine ve bunların büyük alanlarda kullanımına yönelik bir

değerlendirmesini yapmışlardır. MS modelinin iki farklı versiyonunun karışık arazi kullanım tipinde yüksek ve düşük akıntı veren havzalar için uygun olduğu sonucuna varmışlardır (Jain vd. 2006)

Reddy vd. (2004) Hindistan'da Vena nehir havzasında yaptıklarında çalışmada Uzaktan algılama verilerini ve CBS'nin drenaj morfometrisi ve bazaltik bir arazide arazi özelliklerine etkisi üzerinde potansiyel kullanımını araştırmışlardır. Doğrusal, rölyef ve alan morfometrik parametrelerinin değerlendirilmesinde tekstür, drenaj ve arazi erozyonu gibi toprak formlarının ve derinlik gibi toprak parametrelerinin özellikleri üzerindeki etkilerini analiz etmekte bu yöntemleri kullanmışlardır.

Ludlow (2009)'un Ghana Accra'da yaptığı çalışmada akış göstergesi verilerinin ve taşkın modellerini desteklemekte diğer verilerin kısıtlı olduğu alanlarda sel sularının azami hacmini ve zamanlamasını tahmin etmekte basit bir yarı dağılımlı yağış akış modelini desteklemek için uzaktan algılama ve CBS'nin kullanımını araştırmayı amaçlamıştır. Her alt havzada bitki örtüsü, geçirimsiz yüzey ve toprak örtüsünün yüzdesini sınıflandırmak için SMA (Spectral Mixture Analyze) ve NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) kullanmıştır. Akışların hacmini, zamanlamasını ve olası taşmaların gözlemlenmesinde HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modelling System) kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar zaman içinde meydana gelen afet raporlarıyla karşılaştırılmış, mevcut sel risk verisine yardımcı bilgiler sağladığı sonucuna varmıştır.



bölgesinde bulunmaktadır. Bölgede hâkim ağaç türleri olarak Doğu Karadeniz Göknarı (*Abies nordmanniana*), Sarıçam (*Pinus sylvestris*), Karaçam (*Pinus nigra*), Doğu Kayını (*Fagus orientalis*), Sapsız Meşe (*Quercus petraea*), saf ve karışık meşcereleri yer almaktadır (Mayer ve Aksoy, 1998).

## 2.1.2. Veri Alımında Kullanılan Cihazlar

### 2.1.2.1. DJI Mavic Pro Model İHA (İnsansız Hava Aracı) Platformu

DJI Mavic Pro modeli satışa hazır İHA bataryası ile birlikte 743 gr ağırlığa sahip katlanabilir pervaneli taşınabilen bir sistemdir (Şekil 2.1). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) İHA yönetmeliğine göre İHA-1 (500gr- 4 kg aralığında) İHA sistemleri kategorisinde tanımlanmaktadır. Gövdesinde engel algılayıcı 5 adet sensöre sahiptir. Maksimum 15m/sn hızla uçuş yapabilen cihaz üzerinde barındırdığı 1/2,3 inç ve 12,3 mega piksel (MP) çözünürlüğe sahip CMOS sensör sayesinde 12 MP DNG ve RAW formatında fotoğraflar çekebilmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen uçuşlarda görüntüler “.jpeg” formatında alınmıştır. DJI Mavic Pro model İHA platformu, üzerinde şarj, irtifa, menzil gibi teknik bilgileri kullanıcıya gösteren LCD ekrana sahip bir kumandaya akıllı cep telefonu veya tablet bilgisayar bağlanarak kontrol edilebilmektedir (Eker, 2018). Bu tez çalışmasında platform Acısu Orman İşletme Şefliği 'ne ait '410' kod numaralı yola ait SYM'leri oluşturmak üzere kullanılacak yüksek çözünürlük ve doğruluğa sahip stereo görüntülerin alınmasında kullanılmıştır.



Şekil 2.1. DJI Mavic Pro genel görünümü.

### 2.1.2.2. Satlab SL600 CORS-GPS

SL600 GNSS alıcısı 6 farklı küresel konumlama sistemi ile çalışabilmektedir, kullanımda olan GPS, GLONASS ve SBAS uydularını izlemektedir ve test aşamasında olan ve gelecekte kullanıma girecek GALILEO, QZSS ve BEIDOU uydularını da izleme kapasitesine sahip cihaz, bu geniş bant izleme özelliğinden dolayı 6G GNSS alıcısı sınıfına girmektedir. Dâhili GSM modem ve dâhili-dijital UHF modem donanımları ile CORS, RTK Sabit, RTK Gezici, İnternet RTK ve statik veri toplama kapasitesine sahip bir alıcıdır. Fonksiyon eksikliği olmamasından dolayı GNSS alıcısı ile yapılacak bütün ölçmelerde kullanılabilir (Şekil 2.2). Bu tez çalışmasında Satlab SL600 CORS-GPS kullanılarak Agisoft Metashape Professional yazılımında oluşturulacak SYM'lerin konumsal doğruluğunu artırmak için kullanılan yer kontrol noktalarının (YKN) koordinatları <3 cm hassasiyete sahip olarak alınabilmektedir.



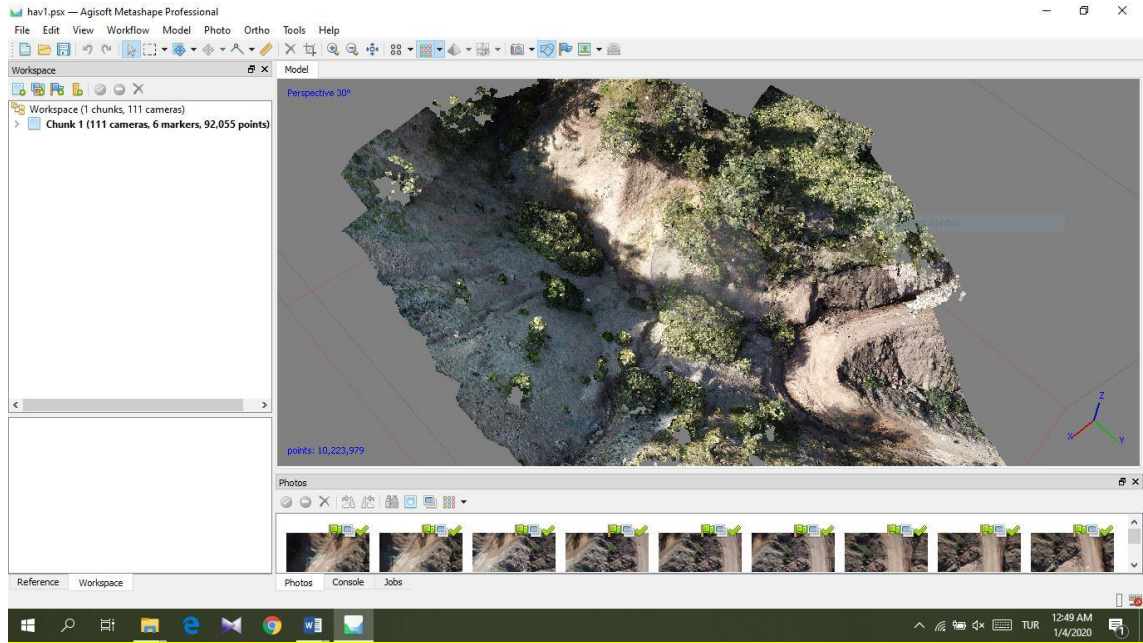
Şekil 2.2. Satlab SL600 CORS-GPS.

### 2.1.3. Verilerin İşlenmesinde Kullanılan Yazılımlar

#### 2.1.3.1. Agisoft Metashape Professional

Agisoft Metashape Professional programı, havadan bindirmeli olarak çekilmiş görüntüleri 3 boyutlu (3B) modelleyerek nokta bulutu oluşturmada kullanılır.

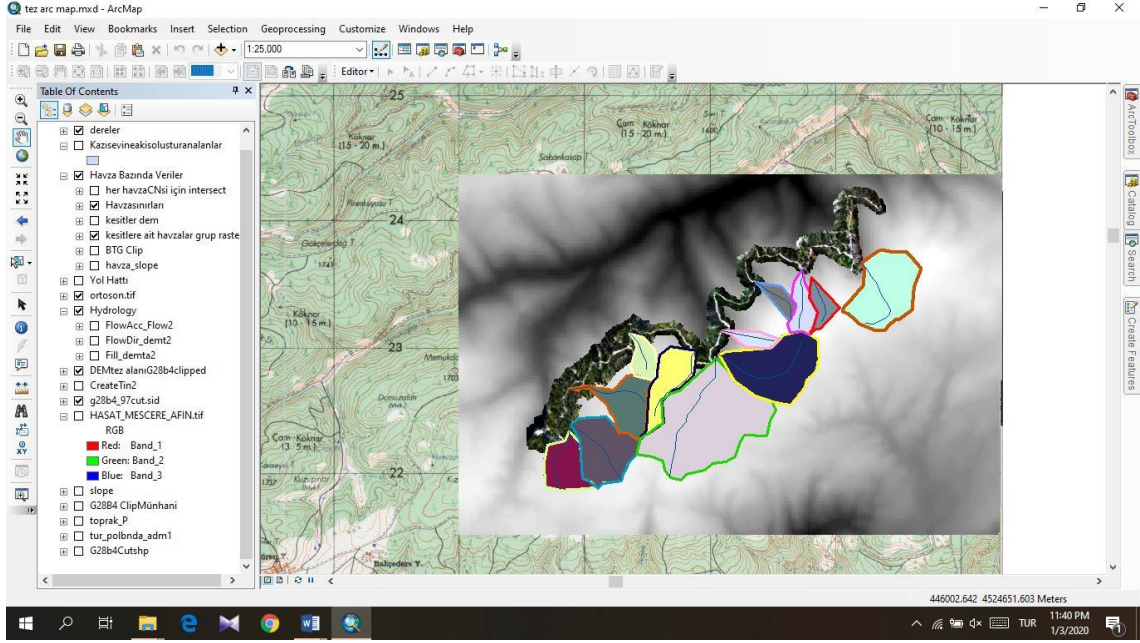
Oluşturulan bu nokta bulutu kullanılarak arazi yüzey modellemesi ve kübaj hesapları gibi çalışmalar yapılabilir (Şekil 2.3). Bu tez çalışmasında program ArcGIS ve HEC-RAS yazılımlarında altlık olarak kullanılacak SYM'lerin oluşturulmasında kullanılmıştır.



Şekil 2.3. Agisoft Metashape Professional yazılımı arayüzü.

### 2.1.3.2. ArcGIS 10.7

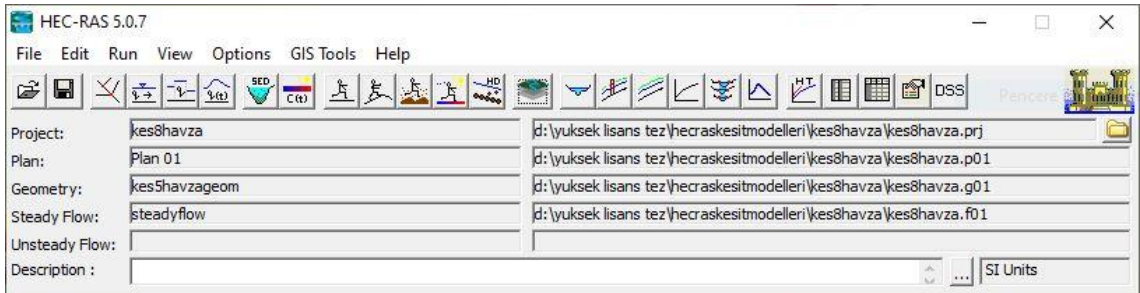
Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) coğrafi bilgiyi işlenebilir hale getirmekte ve bu işlenebilir veriyi analizlerden geçirerek ürünler elde etmekte kullanılmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanım alanları son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte Coğrafi Bilgi Sistemlerinin konumsal tabanlı çalışmalarda bulunan kişi, kurum ve kuruluşlar için önemli ölçüde fayda sağlaması ve farklı meslek dallarında geniş bir yelpazede kullanılabilmesi de Coğrafi Bilgi Sistemlerine duyulan ihtiyacı artırmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri: ' karmaşık planlama ve yönetim sorunlarının çözülebilmesi için tasarlanan; mekândaki konumu belirlenmiş verilerin kapsanması, yönetimi, işlenmesi, analiz edilmesi, modellenmesi ve görüntülenebilmesini kapsayan donanım, yazılım ve yöntemler sistemidir' (Yomralıoğlu, 2000). Bu çalışmada CBS meşcere tipleri ve toprak haritası verilerini işlemek, havza sınırlarını tespit etmek amacıyla haritaların hazırlanmasında ve akışa geçen su miktarını hesaplamaya yönelik elektronik tablolara veri üretmek için kullanılmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Arc GIS programı arayüzü gösterimi.

### 2.1.3.3. HEC-RAS 5.0.7

United States Army Corps of Engineers (USACE) tarafından geliştirilen Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS) (Şekil 2.5) dere akımı yüzey seviyelerinin ve taşkın yayılım alanlarının ve su seviyelerinin belirlenmesinde önemli ölçüde hesap ve analiz kolaylığı sağlamaktadır. HEC-RAS yazılımı bütünsel olarak dendritik bir nehir ağını işlerken aynı zamanda hidrolik sanat yapılarının hidroliğini de analiz edebilmektedir (USACE, 2010a). 5.0 sürümü kullanıma sunulmadan önce program yalnızca bir boyutlu (1B) modelleme yapabilirken yeni sürümüyle birlikte enkesitlerde meydana gelen şekil değişikliklerini, yatak kısırımaları gibi akışın iki ve üç boyutlu etkilerini de doğrudan modelleyebilmekte ve sediment taşınımı gibi analizlerin yapılmasına imkân vermektedir.



Şekil 2.5. Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS) yazılım arayüzü.

Program kararlı ve kararsız akışların su yüzü profillerinin hesaplanabilmesine olanak sağlamaktadır. Köprülerin, menfezlerin savak ve hidrolik sanat yapılarının yanı sıra, kritik altı, kritik üstü ve karışık akış rejimlerini modelleyebilmektedir. Yazılımda kararlı akım su yüzeyi temelde bir boyutlu enerji denklemiyle hesaplanmaktadır. Kararlı akım simülasyonu genelde taşkın alanının belirlenmesi ve hidrolik yapıların kesitlerindeki su yüzeyinin belirlenmesi gibi amaçlarla kullanılabilir. Kararlı akım analizi yaparken enerji kayıpları yataktaki sürtünmeye, daralma ve genişlemelere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca hidrolik sıçramalar, köprülerin hidroliği ve dere yataklarının keşiştiği noktalardaki ani değişimlere bağlı dinamik su yüzeyi değişimlerinin hesaplanmasında da momentum denklemini kullanmaktadır.

Kararsız akım simülasyonunda yaptığı hesaplamalarda ise UNET (Barkau, 1992) modelinden adapte edilen denklemi kullanmaktadır. Programın bu modülü öncelikle kritik altı akışların hesaplanmasında kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

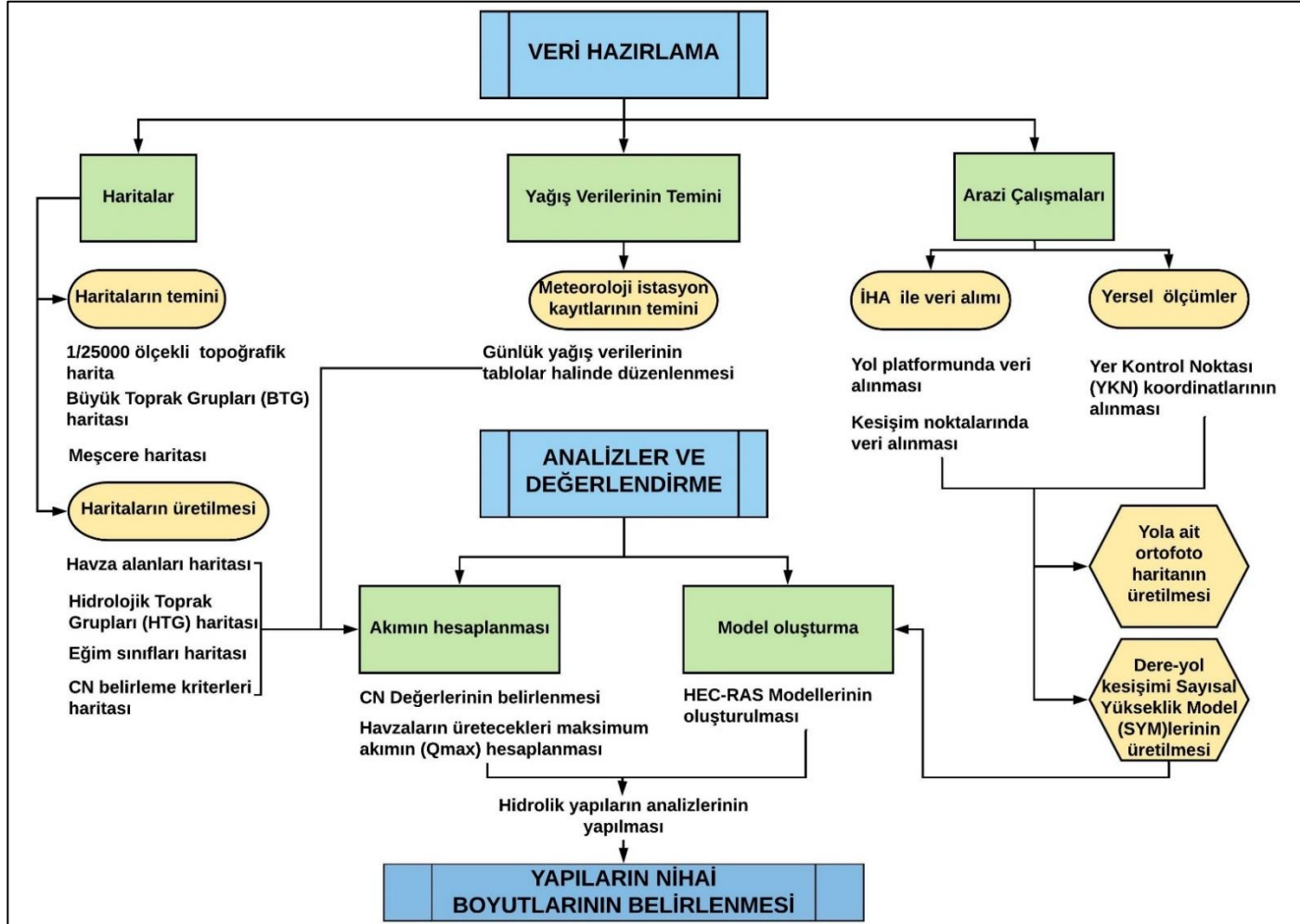
Bu çalışmada HEC-RAS yazılımı orman yollarına tesis edilen hidrolik sanat yapılarını modellemek ve bunların proje debilerine göre kesit alanlarını belirlemek için kullanılmıştır.



## 2.2. YÖNTEM

Topladığı suyu çalışmaya konu orman yolu üzerinden geçirme zorunluluğu olan derelere ait küçük havzaların oluşturduğu yüzeysel akış hesaplanmış ve yol yapımında tesis edilmiş ve/veya edilecek olan enine drenaj yapıları bu havzaların üreteceği maksimum akımı uzaklaştırabilme kapasitesi bakımından değerlendirilmiştir. Bu yöntem kullanılarak yeni yapılacak orman yolu güzergâhı da modellenilebilecek, sanat yapısı tesis edilmesi gereken yerler ve tesis edilecek yapıların boyutları proje aşamasında hesaplanabilecektir.

Yüzeysel akışa etki eden; yağış özellikleri, havza özellikleri ve arazi kullanımı incelenerek SCS-CN yöntemi başta olmak üzere Wundt Formülü, Kursteiner Formülü ve Rasyonel Formül gibi ampirik formüller kullanılarak en yüksek akım verileri hesaplanmıştır. Çalışma alanına ait toprak tipleri Türkiye Büyük Toprak Grupları (BTG) haritasından elde edilmiştir. Orman amenajman planlarında bulunan meşcere haritaları kullanılarak arazi kullanım tipleri de saptanmıştır. Çalışmaya konu alanın tamamı orman arazisi içerisinde kaldığı için arazi kullanım türleri Orman ve Orman içi açıklıktan oluşmakta olup bu iki arazi kullanım türüne göre yüzeysel akış hesaplanmıştır. Arazi kullanım türü orman olan alanlar da kapalılıklarına göre ayrı ayrı değerlendirilerek akış oluşturma oranları ayrı ayrı hesaplanmıştır. HEC-RAS yazılımı kullanılarak dere yatağı-yol kesişimleri modellenmiş ve daha önceden hesaplanan maksimum akım verileriyle yapının hidrolik analizleri yapılmıştır. Çalışmaya ait iş akış planı Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. “Orman Yollarındaki Hidrolik Yapıların Hec-Ras Yazılımı İle Boyutlandırılması” iş akış şeması.

### 2.2.1. Kullanılan Haritalar

Çalışma alanının morfometrik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla HGK'na ait G28b4 pafta numaralı 1/25000 ölçekli harita kullanılmıştır. ArcGIS 10.7 yazılımı kullanılarak HGK'na ait G28b4 pafta üzerine bindirilerek yolun ve yol üzerine düşen havzaların bulunduğu kısım haritadan alınmış ve çalışma alanına ait altlık hazırlanmıştır. Hazırlanan altlık kullanılarak tepe noktalarının düzensiz üçgenlerin birleştirilmesiyle oluşturulduğu, vektör tabanlı bir arazi yüzey modeli olan Triangular Irregular Networks (TIN) oluşturulmuştur. Bu arazi modeli kullanılarak üzerinde eğim, bakı, görünürlük, havza alanı gibi birçok analizlerin yapılmasına olanak sağlayan DEM/SYM (Digital Elevation Model/Sayısal Yükseklik Modeli) üretilmiştir. Üretilen SYM, havza alanlarının, havzalara ait alan ağırlıklı ortalama eğimin, dere eğiminin ve dere aks uzunluklarının tespitinde kullanılmıştır.

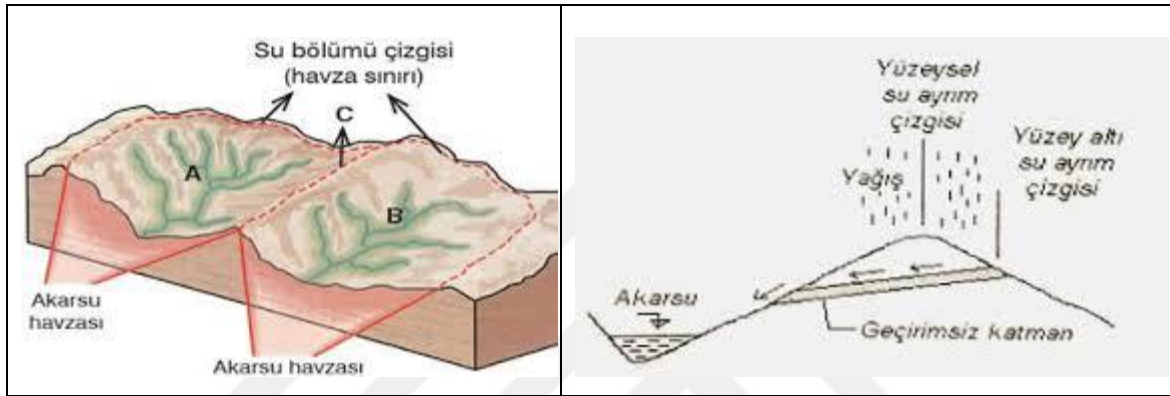
Aşağıda anlatıldığı üzere SCS-CN yöntemi ile yağıştan akış tayin etmede gerekli olan arazi kullanım tiplerinin tespiti için Acısu Orman İşletme Şefliği 2019-2029 yıllarına ait Amenajman planında yer alan meşcere tipleri haritası kullanılmıştır. Havza sınırlarına düşen alanların meşcere tipleri bilgisi havza alanlarına ait öznitelik tablolarına eklenmiştir.

SCS- CN yöntemine ait bir diğer parametre olan Hidrolojik Toprak Grupları (HTG)'nin belirlenmesi için Türkiye Büyük Toprak Grupları (BTG) haritası kullanılmış ve meşcere tipleri girilmiş havzaların çevrelerine ait poligon öznitelikler ile karşılaştırılmıştır. HTG nin belirlenmesinde BTG haritası ve bu haritaya ait eğim derinlik kombinasyonu kullanılmıştır. Derinlik verisi BTG haritasının öznitelik tablosunda hâlihazırda mevcuttur.

Bir diğer girdi olan eğim sınıflarının, çalışma alanında mevcut arazi kullanım türlerine göre tekrar hesaplanması gerekmektedir. Burada aritmetik ortalama yöntemiyle elde edilen ortalama eğim bir arazi kullanım tipine düşen eğim değerlerinin sayısının ortalamasını yansıtmakta olduğundan, bunun da eğim değerine ait alan parçasının büyüklüğünü hesaba katmasını olanaksız kıldığından dolayı alan ağırlıklı ortalama eğim hesaplanması gerekli görülmüştür.

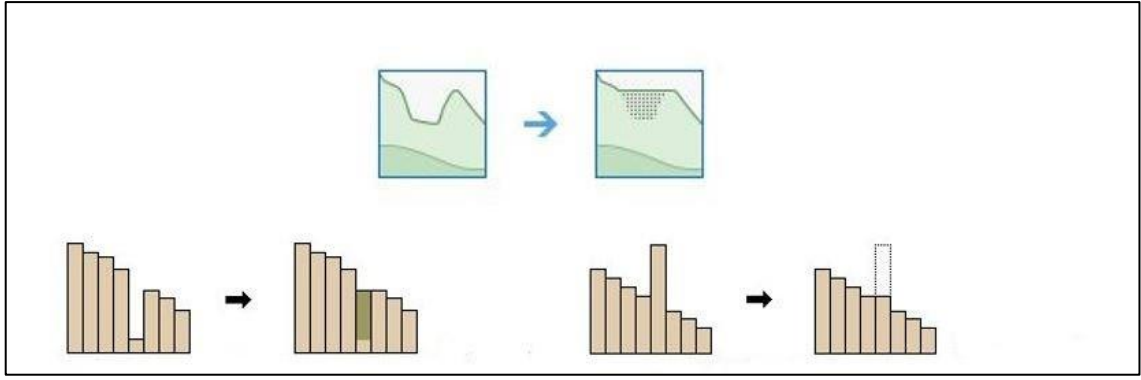
## 2.2.2. Havza Alanlarının Tespit Edilmesi

Bir dereyi besleyen yamaçların sırtlarından geçtiği varsayılan su ayırım çizgisinin içinde kalan kısımlar havza alanını oluşturmaktadır. Bazı durumlarda alt katmanlarda geçirimsiz bir tabaka var ise su ayırım çizgisi sırt olarak kabul edilemeyebilir. Şekil 2.7’de sırtlardan geçen su ayırım çizgisi ve yüzey altı su ayırım çizgisi gösterilmiştir. Ancak yüzey altı su ayırım çizgisinin tespit edilebilmesi jeolojik bir analiz gerektirdiği için, genel olarak havza alanı sırtlardan geçen sınırların poligon olarak birleştirilmesi sonucu bu poligonun içinde kalan kısım olarak tanımlanmaktadır.



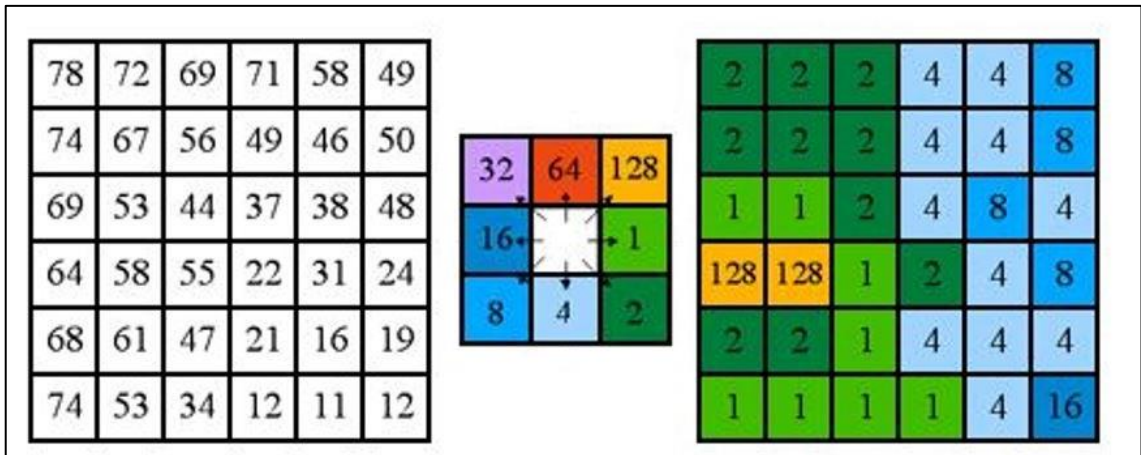
Şekil 2.7. Sırtlardan geçen su ayırım çizgisi (solda), yüzey altı su ayırım çizgisi (sağda).

Çalışma alanını içine alan G28b4 pafta numaralı 1/25000 ölçekli memleket haritası yolun inşa edildiği tarihten daha önce üretilmiş bir harita olduğundan 410 kod numaralı orman yolu bu harita üzerinde yer almamaktadır. İHA platformu ile 410 kod numaralı yoldan alınan görüntülerden yolun tamamına ait üretilen ortofoto harita ve G28b4 pafta numaralı haritadan üretilen SYM verisi ArcGIS 10.7 yazılımında üst üste bindirilerek yol pafta haritasına yerleştirilmiştir. Buradan dere-yol kesişim noktaları tespit edilmiştir. Tespit edilen dere-yol kesişim noktasına ait havza alanlarının bulunması için ArcGIS 10.7 yazılımında G28b4 pafta numaralı haritaya ait eşyüksekti verisinden oluşturulan SYM verisi kullanılmıştır. SYM verisi yazılıma altlık olarak yüklenmiş ve Arc Toolbox (Alet kutusu) / Hydrology Toolset (Alet takımı) / 1-Fill (doldur), 2-Flow Direction (akış yönü), 3- Flow Accumulation (akış birikimi), 4-Watershed (havza) komutları sırasıyla çalıştırılarak havza alanları tespit edilmiştir. Fill komutu verilerdeki küçük kusurları gidermek için yüzey rasterindeki su yutağı olarak görünen çukurları doldurmakta, suya geçit vermeyecek duvarlar oluşturan aşırı yüksek pikselleri kısmen kırparak düzleştirmekte böylece daha doğru bir akış ağı tespit edilmesine olanak sağlanmaktadır (Şekil 2.8) (Tarboton ve diğ., 1991).



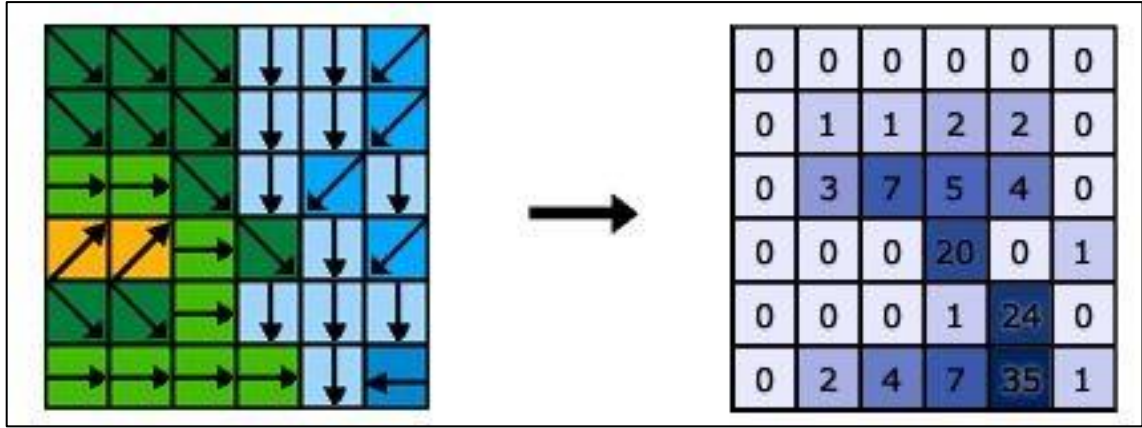
Şekil 2.8. SYM deki düzensiz çukur ve yüksekliklerin giderilmesi.

SYM Fill komutu uygulanarak düzenlendikten sonra akış yönü (flow direction) belirlenmiştir. Bu işlem 3x3 piksel karelajının merkezinde kalan pikselde bulunan suyun diğer 8 pikselden eğimin en yüksek olduğu piksel yönüne doğru aktığının kabul edilmesi mantığına dayanmaktadır. Bu yönlerin D8 (sekiz yön) kodlamasına göre belirlendiği kabul edilmiştir (Şekil 2.9) (Maidment, 2002)..



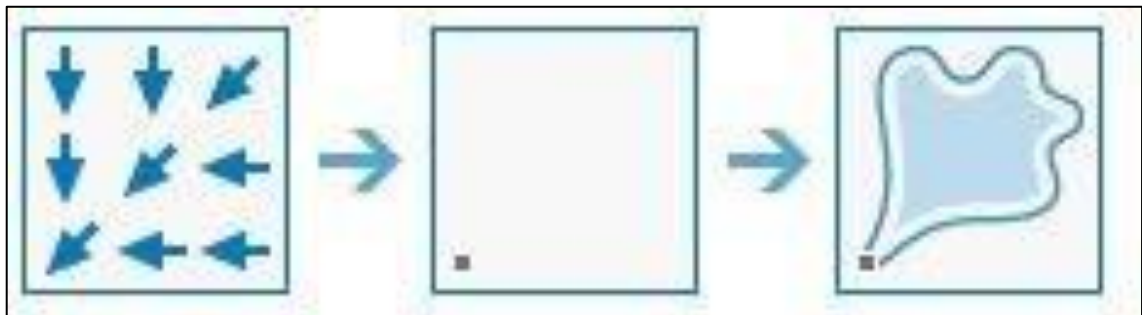
Şekil 2.9. D8 kodlamasına göre akış yönü tayininin şematik gösterimi (Maidment, 2002).

Akış yönü tayini yapıldıktan sonra akış toplanması komutu uygulanması gerekmektedir. Bu komut akış yönü komutunda belirlenen akış yönlerine bakılarak bir hücreye kaç hücreden akış geldiğini göz önünde bulundurur ve dere hücrelerini tespit eder (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Akış toplanmasının şematik gösterimi.

Burada “Watershed” komutunu çalıştırmadan önceki aşamada, dere akış toplanması komutuyla tespit edilen dere yatağının yol ile kesişim oluşturduğu noktaların bir nokta özellik (point feature) ile belirtilmesi gerekmektedir. Dökülme noktaları daha önceden üretilen, yola ait ortofoto haritadan ve “Flow Accumulation Raster” verisi üzerinde yapılan analizlerden faydalanılarak tespit edilmiştir. Bu yöntemle doğal dere yatağı oluşturamamış ancak taşkın zamanında suyu yola gelen alanların çıkışlarının yol ile kesiştiği noktalar tespit edilmiş ve bu noktaların da havza alanları tespit edilmiştir. “Watershed” komutu dökülme noktası belirtilmesine ve girdi olarak bir akış yönü (flow direction) raster verisine ihtiyaç duymaktadır. Daha önceden oluşturduğumuz akış yönü verisi bu raster veri olmaktadır. Ayrıca dere-yol kesişimleri için oluşturduğumuz nokta özelliği de dökülme noktası olarak kullanılmıştır. Watershed raster verideki bir hücre kümesine üzerindeki hücrelerden su katkısında bulunan alanı belirlemektedir. Bu alanı belirlerken akış yönü komutundaki gibi D8 yön kodlamasına göre belirlemektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Dökülme noktası ve havza alanının tespiti.

“Watershed” komutu çıktı olarak raster formatında veri vermektedir. Bizim ihtiyacımız

olan havza çevresi olan poligon özellik (Polygon feature) olduğundan yine Arc Toolbox/Conversion Tools/ From Raster/ Raster to polygon komutu çalıştırılarak istenilen havza alanına ait havza sınırları (çevresi) oluşturulmuştur. Buradan elde edilen havza sınırlarının aynı yapıdan suyu geçmesi gereken diğer alanları da içine alacak şekilde el ile düzeltilmesi sonucu nihai su toplama alanları elde edilmiştir.

### 2.2.3. Akışa Geçen Yağış Miktarının Hesaplanması

Bir dere geçişine inşa edilecek yapının boyutlarının belirlenebilmesi için proje debilerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu proje debileri yapıların planlanan ömürlerine bağlı olup bazı havza özelliklerine dayanılarak belirli tekerrür aralıklarına göre hesaplama yapabilen ampirik formüller, yağış akış oranını hesaplamaya yarayan yöntemler, istatistikî yöntemler kullanılarak kestirilebilmektedir (Gül, 1999; Çalışkan, 2003). Ayrıca su geçirme yapısının inşa edileceği noktaya ait belirlenen hizmet ömrü (orman yollarında ortalama 25-30 yıl) kadar bir süre boyunca akım kaydı yapılması ile de oluşabilecek maksimum akımların belirlenebileceği bilinmektedir. Orman yollarında inşa edilecek her enine drenaj yapısına ait havzada akım istasyonu kurulması mümkün olmayacağından söz konusu en yüksek akım debilerinin, hesaplama dayalı yöntemlerle bulunması gerektiği açıktır.

Alana ait günlük toplam yağış verileri, 1963 yılından buyana faaliyette olan, Gerede İlçesi Meteoroloji İstasyonuna ait kayıtlardan temin edilmiştir. Bu çalışmada aşağıda anlatılan bazı ampirik yöntemler ve SCS-CN yöntemi kullanılarak akış hesaplaması yapılmıştır.

#### 2.2.3.1. Rasyonel Formül

$$Q = \frac{C \times \dot{I} \times A}{3,6} \quad (2.1)$$

Formülde;

Q: Maksimum debi (m<sup>3</sup>/sn)

C: Yüzeysel akış miktarının toplam yağış miktarına oranını (% olarak) gösteren “Akım Katsayısı”

İ: Toplanma (konsantrasyon) süresi içindeki yağış şiddeti (mm/saat)

A: Havza alanı (km<sup>2</sup>)

Akım Katsayısı (C): yağış havzasının topografik durumuna, yüzeysel zemin yapısına, bitki örtüsünün durumuna bağlı değişen bir katsayıdır (Çizelge 2.1).

Rasyonel yöntemin en yüksek debinin bulunmasında kullanılabilmesi için yağışın toplanma süresi boyunca ve havzanın tamamına homojen olarak yağdığı kabul edilmektedir.

Çizelge 2.1. Akım katsayıları (Sonuç, 1977; Singh, 1992).

Zemin Cins ve Özellikleri	Akım Katsayısı (K)
Su sızdırmaz yüzeyler	0,90-0,95
Dik ve çıplak yüzeyler	0,80-0,90
Dalgalı ve çıplak yüzeyler	0,60-0,80
Düz ve çıplak yüzeyler	0,50-0,70
Dalgalı meralar	0,40-0,65
Yaprak döken ormanlar	0,35-0,60
İğne yapraklı ormanlar	0,25-0,50
Meyve bahçeleri	0,15-0,40
Vadi içi tarım alanları	0,10-0,30

Toplanma (konsantrasyon) süresi: havzanın en uzak noktasına düşen yağışın mansaba gelmesine kadar geçen süredir. Bu süre havzanın arazi örtüsüne, eğime, havza büyüklüğüne, dere sıklığına bağlı olarak değişmektedir.

Rasyonel formül kullanılarak bir havzanın mansabında oluşacak en yüksek debilerin bulunabilmesi için yağışın konsantrasyon süresi boyunca yağması ve havzanın tamamına homojen olarak düşmesi gerekmektedir (Sonuç, 1977). Orman yollarına inşa edilen enine drenaj yapılarından suyu geçirilmesi gereken havzalar alan bakımından çok büyük olmadığından bu iki gereksinimi iyi karşılamaktadır.

### 2.2.3.2. WUNDT Formülü

$$HQ = 13,8 A B^{0,6} \quad (2.2)$$

Formülde;

HQ: Pik debi (m<sup>3</sup>/s)

AB: Havza alanı (km<sup>2</sup>)

Wundt formülü 1 ila 200.000 km<sup>2</sup> arasındaki toplama alanları için geçerlidir. Wundt formülü 100 yıllık tekerrür aralığında oluşabilecek maksimum debiyi hesaplamaktadır.

### 2.2.3.3. KURSTEİNER Formülü

$$HQ = a * \frac{AB^2}{3} \quad (2.3)$$

HQ: Pik debi (m<sup>3</sup>/s)

AB: Havza alanı (km<sup>2</sup>)

$\alpha$ : Adaptasyon (uyarlama) katsayısı (Çizelge 2.2)

Aşağıdaki çizelgede, uyarlama katsayısı seçimine genel bir bakış sunmaktadır. İstenen tekerrür aralığına ve bitki örtüsü karakteristiğine göre seçilecek katsayılar formülün kalibrasyonunda son derece önemlidir. Kürsteiner'e göre formül  $\geq 2$  km<sup>2</sup> havza alanları için daha uygundur.

Çizelge 2.2. Adaptasyon katsayısı.

Arazi Örtüsü Karakteristiği	HQ100	HQ50
Bitki örtüsü ve zengin toprak bakımından zengin düz veya tepeli yüzey	9	5
Seyrek bitki örtüsü ve aşılmaz zemin ile dik arazi	12	8

#### 2.2.3.4. SCS-CN Yöntemi

ABD Tarım Bakanlığı Toprak Koruma Servisi (United States Department of Agriculture (USDA) Soil Conservation Service (SCS)) tarafından geliştirilmiş olan Soil Conservation Service-Curve Number, (SCS-CN) yöntemi pek çok ülkede kullanılmış ve tutarlı sonuçlar elde edilmiştir (Özdemir, 2007a; Aydın, 2008; Ludlow, 2009).

Bu yöntem toprak tiplerine ve arazi kullanımlarına bağlı olarak yağıştan akış oranının belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir (SCS, 1985; Aydın, 2008).

SCS-CN yönteminin kullanılabilmesi için;

-Arazi kullanım şekli,

-Hidrolojik toprak grupları (HTG) (Çizelge 2.3–2.4),

-Günlük yağış verileri (mm),

-Yağış öncesi nem durumu (ÖND) (Antecedent Moisture Conditions) Değerlerinin bilinmesi gerekmektedir (Beven, 2001; Das ve Paul, 2006; Özdemir, 2007; Aydın, 2008).

Çizelge 2.3. Hidrolojik Toprak Grupları (Mockus, 1964; SCS, 1964; SCS, 1986).

Hidrolojik Toprak Grubu	Hidro-Fiziksel Toprak Karakteristikleri
A	Düşük yüzey akış potansiyeline sahip, derin, çok kumlu, az kil ve silt içeren, geçirgenliği yüksek (11,4-7,8 mm/h) olan topraklar.
B	Orta yüzey akış potansiyeline sahip, kumlu tın, tın, killi tın bünyeli, derin, geçirgenliği orta (7,6-3,8 mm/h)olan topraklar
C	Yüksek yüzeysel akış potansiyeline sahip, az derin, yüksek miktarda kil ve kolloid içeren, geçirgenliği düşük(3,8-1,3 mm/saat) olan topraklar
D	Çok yüksek yüzey akış potansiyeline sahip, çok yüksek miktarda kil içeren, şişme özelliği gösteren, geçirgenliği çok az (1,3 mm/h) olan, alt katmanında geçirimsiz tabakalar barındıran topraklardır.

Çizelge 2.4. BTG özelliklerine göre HTG değerlendirme kriterleri.

Büyük Toprak Grubu (BTG)		Eğim – Derinlik Kombinasyonu (EDK)						
Sembol	Anlamı	Eğim %	Derinlik (cm)					
			A	B	C	D	E	
			Derin 90+	Orta Derin 90-50	Sığ 50-20	Çok Sığ 20-0	Litozoik	
P G M N	Kırmızı Sarı Podzolik Topraklar Gri Kahverengi Podzolik Topraklar Kahverengi Orman Toprakları Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	1	A 0 – 2	1	2	3	4	25
C D T E	Kestanerengi Topraklar Kırmızımsı Kestanerengi Topraklar Kırmızı Akdeniz Toprakları Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları	2	B 2 – 6	5	6	7	8	26
B U F R V Z L X Y	Kahverengi Topraklar Kireçsiz Kahverengi Topraklar Kırmızımsı Kahverengi Topraklar Rendzinalar Vertisoller Sierozemler Regosoller Bazaltik Topraklar Yüksek Dağ Çayır Toprakları	3	C 6 – 12	9	10	11	12	27
		4	D 12 – 20	13	14	15	16	28
		5	E 20 – 30	17	18	19	20	29
		6	F 30 +	21	22	23	24	30

Yağış istatistikleri Gerede Meteoroloji İstasyonunun (GMİ) günlük toplam yağış ( $\text{kg/m}^2$ ) ölçümlerinden elde edilmiştir. Günlük toplam yağışın tamamının hesaba katılması hatalı sonuç vereceğinden havzaya ait konsantrasyon süresinde meydana gelen ve en yüksek proje debisini oluşturacak yağış miktarı hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamanın yapılmasında Bolu iline ait standart zamanlarda gözlemlenen en büyük yağış değerleri verisinden yararlanılarak ilk 5, 10, 15 ve 30 dakikada meydana gelen yağışların günlük toplam yağış miktarına oranları hesaplanmıştır. GMİ verileri her havza için havzaya ait konsantrasyon süresinde meydana gelecek yağışlar bu oranlara göre yeniden hesaplanmıştır. Önceki Nem Durumu (ÖND) 5 gün öncesinden başlanarak yağışın yığılmalı olarak toplanmasıyla elde edilecek ve toprakta 5 gün boyunca biriken nem hesaplanmış olacaktır. Önceki nem durumu üç sınıf olarak Nisan–Ekim ayları arası (Çizelge 2.5) ve Kasım–Mart ayları arası (Çizelge 2.6) olmak üzere iki ayrı dönem için ayrı ayrı hesaplanmaktadır (Hjelmfelt, 1982).

Çizelge 2.5. Nisan-Ekim ayları yağış öncesi nem durumu sınıfları.

ÖND Sınıfları	ÖND(mm)	İçerik
I	<35	Kuru toprak koşulları
II	35-52,5	Geçiş-orta koşullar
III	>52,5	Doymuş toprak koşulları

Çizelge 2.6. Kasım-Mart ayları yağış öncesi nem durumu sınıfları.

ÖND Sınıfları	ÖND(mm)	İçerik
I	<12	Kuru toprak koşulları
II	12-28	Geçiş-orta koşullar
III	>28	Doymuş toprak koşulları

CN yönteminin eşitlikleri: SCS-CN yöntemi havzaya ait eğri numarasına (CN) bağlı bir formüle göre akışa geçen su miktarı hesaplanmaktadır. Bu yöntem arazi örtüsü, toprak özellikleri ve yağışa bağlı olarak oluşabilecek akımı hesaplamaktadır. Bu formül (SCS, 1972, 1985; Johnson, 1998; Mishra ve Singh, 1999; Neitsch ve diğ., 2001, Usul, 2001):

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{[(P - Ia) + S]} \quad (2.4)$$

Formülde;

$Q$ : akım (mm)

$P$ : yağış (mm)

$S$ : depolama kapasitesi (mm)

$Ia$ : başlangıç tutma miktarı (mm)

Arazide yapılan çalışmalar sonucunda  $Ia$  ve  $S$  parametreleri arasında bir bağıntı kurulmuş ve formül aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.  $P \geq 0,2 S$  olması durumunda  $Ia = 0,2 S$  olarak kabul edilmektedir (SCS 1964). Buna göre yeni formül;

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{(P+0,8S)} \quad P \geq 0,2 S \quad (2.5)$$

$$Q = 0 \quad P < 0,2 S \quad (2.6)$$

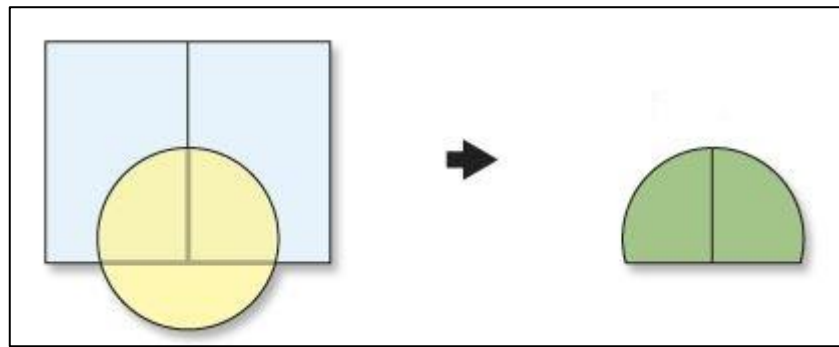
Şeklinde olmuştur. Burada depolama kapasitesi ( $S$ ) ise;

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2.7)$$

Formülü ile bulunmaktadır. Formülde;

$CN$ = eğri numarasıdır.

$CN$  değerinin belirlenmesi için bölgeye ait meşçere tipleri haritası ve çalışma alanı haritası üst üste bindirilerek her havzaya ait havza çevresi poligon verisine ait öznitelik tablolarına havza sınırları içinde kalan meşçere tipleri de girilmiştir. Buradan elde edilen harita ile Türkiye büyük toprak grupları (BTG) haritası “intersect” yöntemi kullanılarak birleştirilmiş (Şekil 2.12), her havzaya ait arazi kullanım tipi, büyük toprak grupları, hidrolojik toprak grupları, havza alanı ve  $CN$  değerlerini içeren tablolar oluşturulmuştur.



Şekil 2.12. Intersect yöntemi.

Bu aşamada  $CNII$  değeri ÖNDII sınıfına göre;

$$CNII = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i \times A_i)}{A} \quad (2.8)$$

Formülüne göre bulunmaktadır. Formülde;

$CNII$ : Havzaya ait  $CNII$  değeri,

$CN_i$ : Her arazi kullanım tipi ve HTG'ye göre CN değeri,

$A_i$ : Her bir arazi kullanım tipi ve HTG'ye ait alan,

$A$ : Havzanın toplam alanı,

CNI ve CNIII değerleri ÖNDI ve ÖNDIII sınıflarına göre CNII değeri baz alınarak aşağıdaki formüllere göre hesaplanmaktadır (Hawkins ve diğ., 1985; SCS, 1985).

$$CNII = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i \times A_i)}{A} \quad (2.9)$$

$$CNI = \frac{(4,2 \times CNII)}{(10 - 0,058 \times CNII)} \quad (2.10)$$

$$CNI = \frac{(23 \times CNII)}{(10 + 0,13 \times CNII)} \quad (2.11)$$

Maksimum akımın hesaplanması: Gerede meteoroloji istasyonuna ait yağış verilerinden hesaplanan akış verilerinden maksimum akım hesaplanmış ve Log Pearson Type III (LPIII) olasılık dağılımı ile farklı tekerrür aralıklarına ait maksimum akımlar belirlenmiştir.

Elde edilen akım verilerinden;

$$Q_{max} = \frac{RO \times A}{t_{peak}} \quad (2.12)$$

Formülüne göre maksimum akımlar hesaplanmıştır (Schwab vd., 1981). Formülde;

$Q_{max}$ : maksimum akım (m<sup>3</sup>/san)

$RO$ : akış miktarı (cm)

$A$ : havza alanı (km<sup>2</sup>)

$t_{peak}$ : pik akıma ulaşma zamanı (saat) dır.

$t_{peak}$ : ise su formül ile hesaplanmaktadır:

$$t_{peak} = \frac{D}{2} t_{lag} \quad (2.13)$$

Formülde;

$D$ : aşırı yağış süresi (saat)

$t_{lag}$ : gecikme **zamanı** (saat)'dır.

Aşırı yağış süresi (D);

$$D = \frac{0,133 \times t_{lag}}{0,6} \quad (2.14)$$

Formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Gecikme zamanı ( $t_{lag}$ );

$$t_{lag} = 0,6t_c \quad (2.15)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Burada  $t_c$ : toplanma süresi (saat)'dir. Akım toplanma süresi ( $t_c$ ) Kirpich formülü ile aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$t_c = 0,0195 \times \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (2.16)$$

Formülde;

L: ana dere uzunluğu (m)

S: ana kanal eğimi (m/m)'dir.

Değişik tekerrür aralıklarına ait akımların belirlenmesi: Orman yollarına inşa edilen hidrolik sanat yapılarının boyutlandırılmasında en önemli hesaplama, yolun hizmet ömrü içerisinde tekerrür sürelerine göre meydana gelebilecek en yüksek, taşkın (proje) debisi olarak da adlandırılan akımların tespitidir. Değişik tekerrür aralıklarına ait akımların bulunması amacıyla, olasılık teorisi ve istatistikî yöntemler en çok kullanılan yöntemlerdir (Greis ve Wood, 1981). Tekerrür aralıklarına göre maksimum akım değerlerinin belirlenmesinde;

Log Normal (2,3 parametrelî),

Gumbel Extrem Değer (tip I, II, III),

Pearson tip III,

Log Pearson tip III,

Gama dağılımları gibi fonksiyonlar uygulanabilmektedir (Davis, 2002).

USGS (United States Geological Service)'e göre Log Pearson tip III dağılımı varsayılan olasılık dağılımı olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmada da Log Pearson tip III dağılımı sıklık analizlerinde kullanılmıştır.

Taşkın akım değerlerini belirlemede kullanılan Log Pearson tip III dağılımı formülü;

$$\log x = (\overline{\log x} + Kx\sigma_{\log x}) \quad (2.17)$$

Şeklinde ifade edilmektedir.

Formülde;

x: taşkın akım değeri,

$\overline{\log x}$ : ortalama logx akım değeri,

K: frekans faktörü (Haan (1977) frekans faktörü tablosu kullanılmıştır),

$\sigma$ : logx değerlerine ait standart sapmadır.

Verilere ait ortalama, varyans ve standart sapma değerleri aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır.

$$\log x = \frac{\sum \log x_i}{n} \quad (2.18)$$

$$var = \frac{\sum_{i=1}^n (\log Q - \text{ort}(\log \log Q))^2}{n - 1} \quad (2.19)$$

$$\sigma_{\log x} = \sqrt{\frac{\sum \log x - \overline{\log x}^2}{n - 1}} \quad (2.20)$$

Çarpıklık katsayısı ( $C_s$ ) ise;

$$C_s = \frac{n \sum (\log x - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)(\sigma_{\log x})} \quad (2.21)$$

Formülü ile hesaplanmaktadır. Formüllerde;

n: örnek sayısını,

x: taşkın olasılığını (burada maksimum akım tekerrür aralığı) göstermektedir.

Başarısızlık oranının belirlenmesi: Yukarıda anlatıldığı üzere enine drenaj yapılarının hesaplanan taşkın sıklık analizi sonuçlarına göre boyutlandırılması gerekmektedir. Bu boyutlandırma yapılırken belirlenen hizmet ömrü için, istenilen başarısızlık oranına göre, kaç yıllık tekerrüre ait hesaplanan maksimum akımların kullanılması gerektiği belirlenebilir. Bu belirleme yapılırken Chow ve Ven Te. (1964) ün hazırladığı enine drenaj yapısı tasarımı için belirli bir proje ömründe taşkın tekrarlama aralıklarına göre sanat yapısının yetersiz olma olasılıkları Çizelge 2.7.'de verilmiştir.

Yetersiz olma olasılıkları;

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad (2.22)$$

formülüne göre belirlenmiştir.

Formülde;

N : Tasarım Ömrü

T : Taşkın Sıklığı

J : Başarısızlık ihtimali

Çizelge 2.7. de verilen örneğe göre bir menfez 25 yıl olarak belirlenen hizmet ömrü için, 50 yıllık tekerrür aralığında oluşacak maksimum akım debilerine göre tasarlandığında %40 başarısızlık ihtimaliyle hizmet ömrünü tamamlayabilecektir.

Çizelge 2.7. Enine drenaj yapısı tasarımı için belirli bir proje ömründe taşkın tekrarlama aralıklarına göre sanat yapısının yetersiz olma (işlevini yerine getirememeye) olasılıkları (Chow, 1964).

		Yetersiz Olma Şansı (%)																		
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Tasarım Ömrü (Yıl)	5	98	48	32	23	18	15	13	11	9	8	7	6	6	5	5	4	4	3	3
	10	*	96	63	46	36	29	24	21	18	15	14	12	11	9	8	7	6	5	4
	15	*	*	93	68	53	43	36	30	26	23	20	17	15	13	12	10	9	8	6
	20	*	*	*	91	71	57	47	40	34	30	26	23	20	18	15	13	12	10	8
	25	*	*	*	*	38	71	59	50	43	37	32	28	25	23	19	17	14	12	9
	30	*	*	*	*	*	85	71	60	51	44	39	34	30	26	23	20	17	14	11
	35	*	*	*	*	*	99	82	70	60	51	45	39	34	30	26	23	19	16	13
	40	*	*	*	*	*	*	94	79	68	59	51	45	39	34	30	26	22	18	14
	45	*	*	*	*	*	*	*	*	89	76	66	57	50	44	38	33	29	25	16
	50	*	*	*	*	*	*	*	*	99	85	73	64	56	49	43	37	32	27	18
		Yetersiz Olma Şansı (%)																		
		55	60	65	70	75	80	85	90	95										
		*	*	*	*	*	*	*	*	93	80	70	61	53	47	42	35	30	25	19
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	88	76	66	58	51	44	38	33	27	21
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	95	82	72	63	55	48	41	35	29	23
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	89	77	68	59	51	44	38	21	24
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	95	83	72	63	55	48	41	34	26
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	88	77	67	59	51	43	36	28
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	94	82	72	62	54	46	28	29
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	99	87	76	66	57	48	40	31
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	91	80	70	60	51	42	33
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	96	84	73	63	54	44	34

\*99'dan fazla.

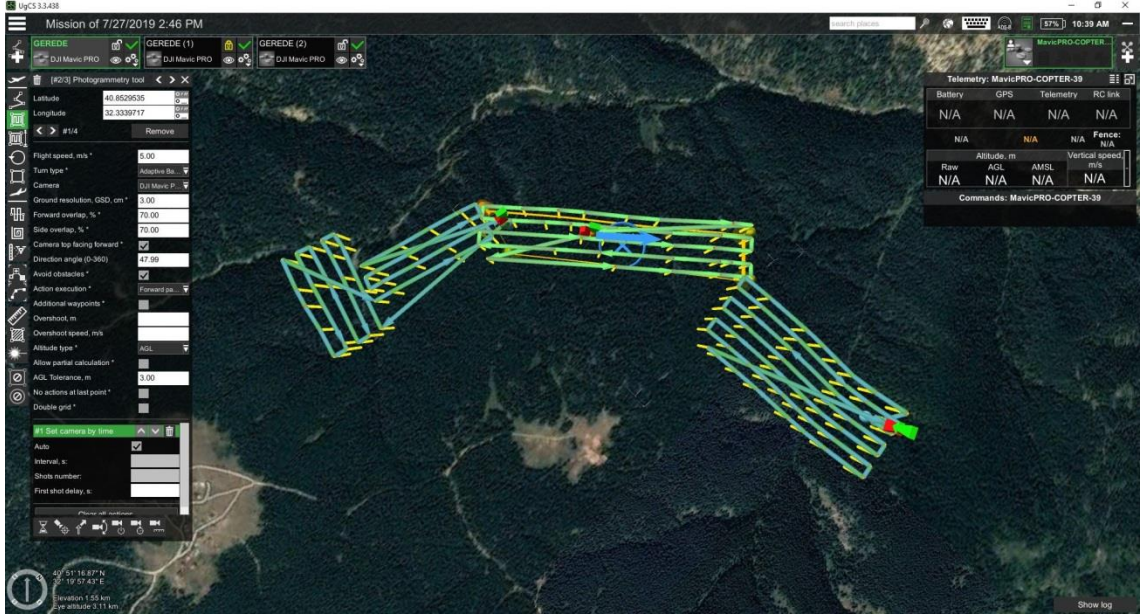
#### 2.2.4. Yola Ait Ortofoto ve Dere-Yol Kesişimlerinin Sayısal Yükseklik Modellerinin Oluşturulması

HEC-RAS yazılımında yol üzerinde mevcut sanat yapılarının ya da henüz proje aşamasında sanat yapısı inşa edilecek noktaların modellenmesi ve sanat yapılarının hidrolik analizlerinin yapılabilmesi için dere yatağının yüksek hassasiyette modellenmesi gerekmektedir. Bu modelleme yüksek hassasiyetli SYM üzerinden kolaylıkla yapılabilirken, dere yatağından GPS ya da Total Station gibi cihazlar da kullanılarak koordinat almak vasıtasıyla elde edilen enkesitlerin programa girilmesi ile de elde edilebilmektedir. GPS veya Total Station gibi cihazlarla enkesit oluşturmak üzere çok sayıda koordinat toplamak gerektiği için bu yöntem çok fazla işgücü ve zaman gerektirmektedir. Ayrıca olası bir hata durumunda tekrar çalışma alanına giderek koordinat toplamak gibi gereksinimler de doğabilmektedir. Buna karşın modelleme yapılacak alanda (İHA) sistemi ile uçuş yapılarak ihtiyaç duyulan yüksek çözünürlüklü SYM bir defa oluşturulduğunda arazi en iyi şekilde modellenmiş olmakta ve üzerinde birçok analiz yapmaya olanak sağlamaktadır. Bu nedenle yol boyunca ve yol-dere kesişim noktalarından İHA Sistemi ile veri alınmıştır. Yola ait ortofoto harita ve dere-yol kesişimlerine ait SYM'ler üretilmiştir. Arazi çalışması ve uçuşların gerçekleştirilmesi aşamasında DJI Mavic Pro modeli İHA, koordinat alımlarında Satlab SL600 CORS-GPS ve GPS cihazını kapsama alanı dışında kaldığı alanlarda koordinat üretmek için Topcon GTS 105N model Total Station (Şekil 2.13) kullanılmıştır.



Şekil 2.13. Sayısal Yükseklik Modellerinin Oluşturulmasında kullanılan cihazlar ve detaylar.

Bu çalışma kapsamında görüntüler JPEG formatında alınmıştır. İHA uçuşlar yapılırken yolun 2,3 km'lik kısmının modellenmesinde otonom uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Otonom uçuşlar UgCS (Universal Ground Control Software) (Şekil 2.14) yazılımı kullanılarak planlanmış ve oluşturulan planlar Android tabanlı UgCS for DJI yazılımı ile araca gönderilerek otonom ve manuel uçuşlar gerçekleştirilmiştir.

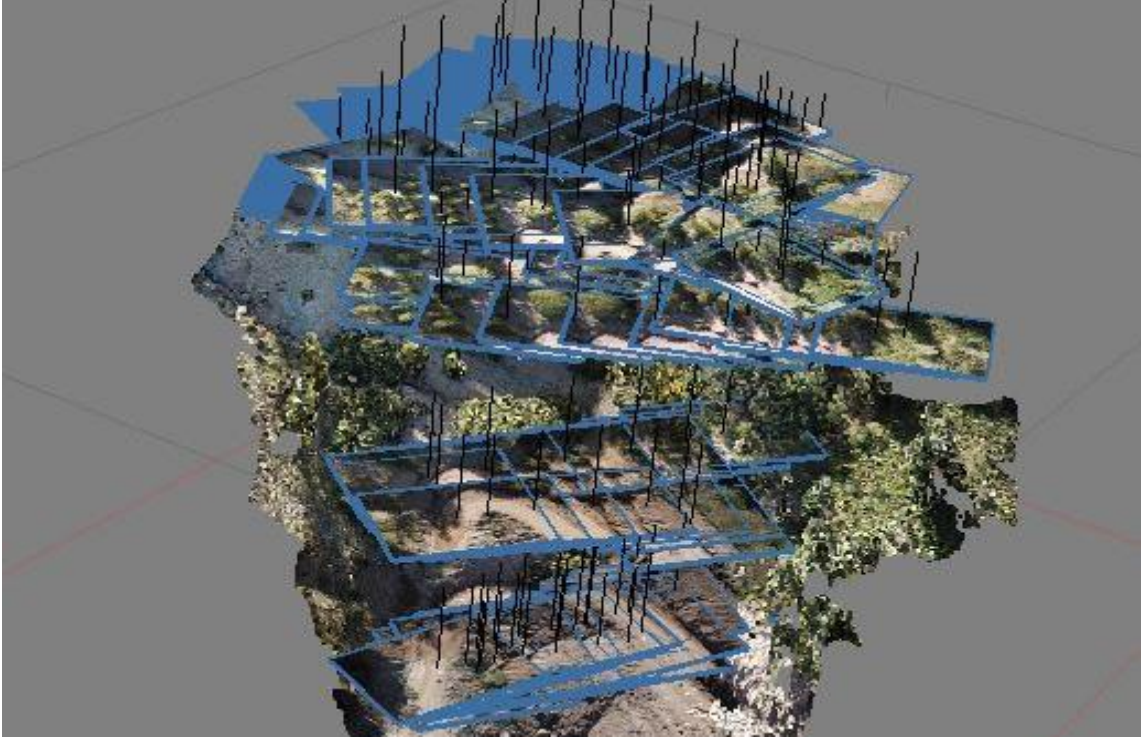


Şekil 2.14. UgCS(Universal Ground Control Software) yazılımı arayüzü.

Ormanlık arazide, fotogrametrik yöntemlerle üretilen haritalarda dere yatakları en yüksek bozulmaların olduğu noktalardır. Bu noktalarda detaylı veri alımı yapılmadığı takdirde üretilen modelin doğruluğu çok düşük olacaktır. Bu nedenle dere-yol kesişimlerinin modellenmesi yapılırken nadir yönlü görüntü alımlarına alternatif olarak, orman örtüsünün altında kalan arazi yüzeyini modelleyebilmek amacıyla eğik kamera açısıyla ağaç boyundan daha alçak irtifalarda (10-15m yükseklikte) ek uçuşlar da yapılmıştır. Bu yöntemle alınan veriler orman örtüsünün sınıflandırılarak nokta bulutundan ayrılmasına ve akışın gerçekleştiği arazi yüzeyinin modellenenebilmesine olanak sağlamaktadır.

Uçuşlar gerçekleştirilmeden önce YKN ölçümleri yapılmış ve uçuştan sonra çekilen bindirmeli görüntülerin referanslandırılmasında bu YKN'ler kullanılmıştır. YKN ölçümleri Satlab SL600 CORS-GPS ve Topcon GTS 105N model Total Station cihazı kullanılarak yapılmıştır. İHA ile alınan görüntüler işlenerek ortofoto görüntülerin ve SYM'lerin oluşturulmasında Agisoft Metashape Professional yazılımı kullanılmıştır.

Görüntüler Agisoft Metashape Professional yazılımına eklendikten sonra JPEG-EXIF başlık dosyalarında depolanan GPS bilgisi kullanılarak görüntü yönlendirme işlemi yapılmıştır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Agisoft Metashape Professional yazılımında görüntülerin yönlendirilmesi işlem adımı.

Agisoft Metashape Professional yazılımı eklenen görüntüleri otomatik olarak konumlandırmakta örtüşen görüntülerdeki öznelikleri (feature) eşleştirmektedir. Bu aşamadan sonra seyrek nokta bulutu oluşturulmuştur. Ölçülen YKN'lerin dâhil edilmesiyle (Şekil 2.16) coğrafi konumlandırma işlem adımından sonra yüksek yoğunlukta 3B model yüksek doğrulukta yeniden oluşturulmuştur (Şekil 2.17).



Şekil 2.16. Agisoft Metashape Professional ölçülen YKN lerin eklenmesi ve model doğruluğunun artırılması.

Burada YKN'ler kamera pozisyon ve yönlerini optimize etmek için kullanılmaktadır (Eker, 2018).



Şekil 2.17. 3B modelin yüksek yoğunlukta yeniden oluşturulması işlem adımı.

### 2.2.5. Enine Drenaj Yapılarının Boyutlandırılması

Akışa geçen yağış miktarları hesaplanarak proje debileri bulunduğundan sonraki adım enine drenaj yapılarının boyutlandırılmasıdır. Yukarıda anlatılan çeşitli yöntemlerden belirlenen debi yapıları boyutlandırmak için kullanılmıştır.

Gül, (1999)'e göre enine drenaj yapılarının boyutlandırılmasında 3 genel yöntem kullanılmaktadır:

- 1) Bölgede bulunan eski bir yapının incelenmesi ya da yapıların memba ve mansap taraflarının incelenmesi,
- 2) Doğrudan açıklığı veren ampirik formüllerin kullanılması,
- 3) Yapıya ulaşan su miktarını tespit etmeye yönelik yöntemlerin kullanılması ve yapının tespit edilen proje debisini geçirecek şekilde boyutlandırılmasına yönelik prosedürlerin uygulanması.

OGM, (2008)'ne göre orman yollarında kullanılan su akıtıcı yapıların boyutlarının belirlenmesinde ise "Talbot Formülü" ve debi hesabı yapılarak boyutlandırma yöntemleri kullanılmaktadır (OGM, 2008). Talbot formülü doğrudan açıklığı veren ampirik formüllerdendir. Bu çalışmada Rasyonel Yöntem, CN yöntemi ve Kursteiner Yöntemine göre hesaplanan proje debileri ve HEC-RAS yazılımı kullanarak boyutlandırma yapılmıştır. Ayrıca kesit alanları belirlenen yapıların "Talbot Formülüne" göre de kesit alanları hesaplanmış ve HEC-RAS kullanılarak proje debilerine göre tespit edilen kesit alanları ile karşılaştırılmıştır.

#### 2.2.5.1. TALBOT Formülü

"Talbot Formülü" suyu geçirecek olan yapıyı besleyen alan ve bu alana ait topografya özelliklerine göre belirlenen bir katsayıya bağlı bir bağıntıyla yapının enkesit alanını hesaplamaya yarayan bir yöntemdir (Denklem (2.23)).

$$S = 5,791 \times C \times \sqrt[4]{A^3} \quad (2.23)$$

Formülde

S: m<sup>2</sup> cinsinden sanat yapısının enkesit alanını,

A: km<sup>2</sup> cinsinden su toplama havzası alanı

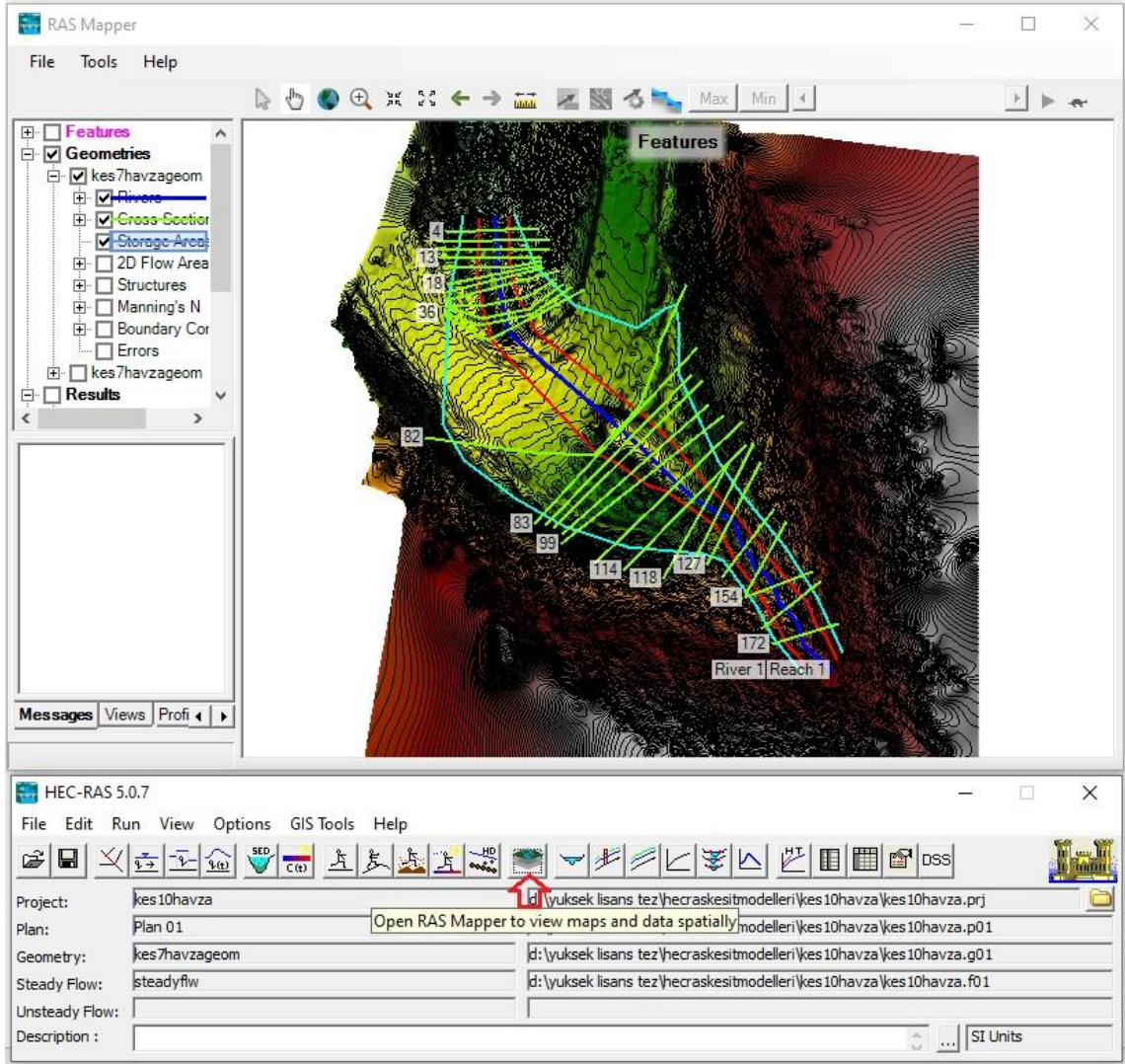
C: havza topoğrafyasına bağlı Talbot katsayısı (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8. Talbot Katsayıları.

Arazi cinsleri ve eğimleri	C Talbot Katsayısı
Düz, geçirgen, tamamı bitki örtüsü ile kaplı arazi (ortalama % 10–20 eğimli)	0,2
Düz, geçirgen, yapraklı ormanla kaplı arazi (ortalama % 10–30 eğimli)	0,3
Düz, geçirgen, ibreli ormanla kaplı arazi (ortalama % 10–30 eğimli)	0,4
Engabeli, orta geçirgen, bitki örtüsü (yapraklı ve ibreli) tabakaları 3 kapalılıkta arazi (ortalama % 30–50 eğimli)	0,5
Engabeli, orta geçirgen, bitki örtüsü (yapraklı ve ibreli) tabakaları 0–2 kapalılıkta arazi (ortalama %30–50 eğimli)	0,6
Engabeli, geçirimsiz arazi, bitki örtüsü 0–1 kapalılıkta (%40–60 eğimli)	0,7
Sarp, ormanla kaplı, geçirimli arazi (ortalama % 60’dan dik eğimli)	0,8
Çok sarp, çıplak geçirimsiz arazi (ortalama % 60’dan dik eğimli)	0,9

### 2.2.6. Yapıların HEC-RAS Yazılımında Analizinin Yapılması

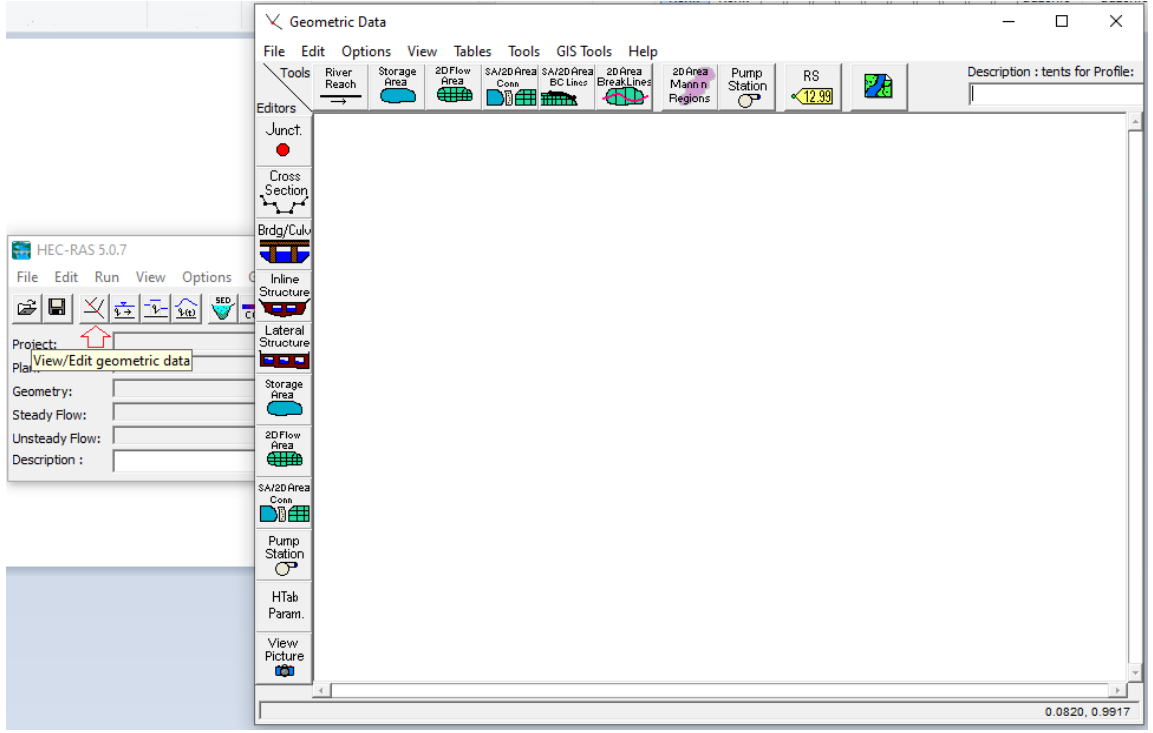
Çalışmaya konu 410 kod numaralı orman yolunda, yol inşaatı esnasında koruge boru yerleştirmek suretiyle tesis edilmiş havza derelerini yoldan geçiren altı adet sanat yapısı mevcuttur. Bu yapıların HEC-RAS yazılımında modellenmesi yapılmış ve yukarıda bahsedilen yöntemlerle tespit edilen en yüksek akımlara göre kararlı akım analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan HEC-RAS modeli oluşturmada öncelikle dere yatağının geometrik olarak modellenmesi gerekmektedir. HEC-RAS yazılımında söz konusu geometrik model oluşturulurken RAS Harita Editörü (RAS Mapper) (Şekil 2.18) menüsü kullanılmaktadır. Bu menüde analiz için kullanılacak HEC-RAS modeline ait bütün geometrik verilerin (dere hattı, kanal sınırları, taşkın alanı sınırları ve enkesitler gibi) sayısallaştırılması gerekmektedir. Geometri verisi oluşturulurken dere yatağı üzerinde köprü, büz, menfez gibi yapıların analiz edileceği modellerde mevcut yapıların bulunduğu alana enkesit girilmemesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Geometrik modelde hidrolik sanat yapısının bulunduğu noktaya memba ve mansap yönünde en yakın noktadan enkesit tanımlanarak sanat yapısının bu iki enkesit arasına tanımlanması gerekmektedir. Harita Editörü menüsü söz konusu sayısallaştırmaların yapılmasına olanak sağlarken yapılan analizlere ait simülasyonların görüntülenmesine de olanak sağlar.



Şekil 2.18. HEC- RAS program arayüzü (altta) ve Ras Mapper menü Arayüzü (üstte).

Harita Editörü menüsü kullanılarak model geometrisi (Şekil 2.13) sayısallaştırılırken ihtiyaç duyulan altlık veri, daha önce İHA sistemleri ile alınan verilerden üretilen SYM'lerden sağlanmıştır. İHA sistemleri kullanılarak oluşturulan dere-yol kesişim noktalarına ait SYM verisi, Harita Editörü menüsüne yüklenerek bunun üzerinden gerekli dere, dere yatak sınırları, taşkın alanları sayısallaştırmaları yapılmıştır.

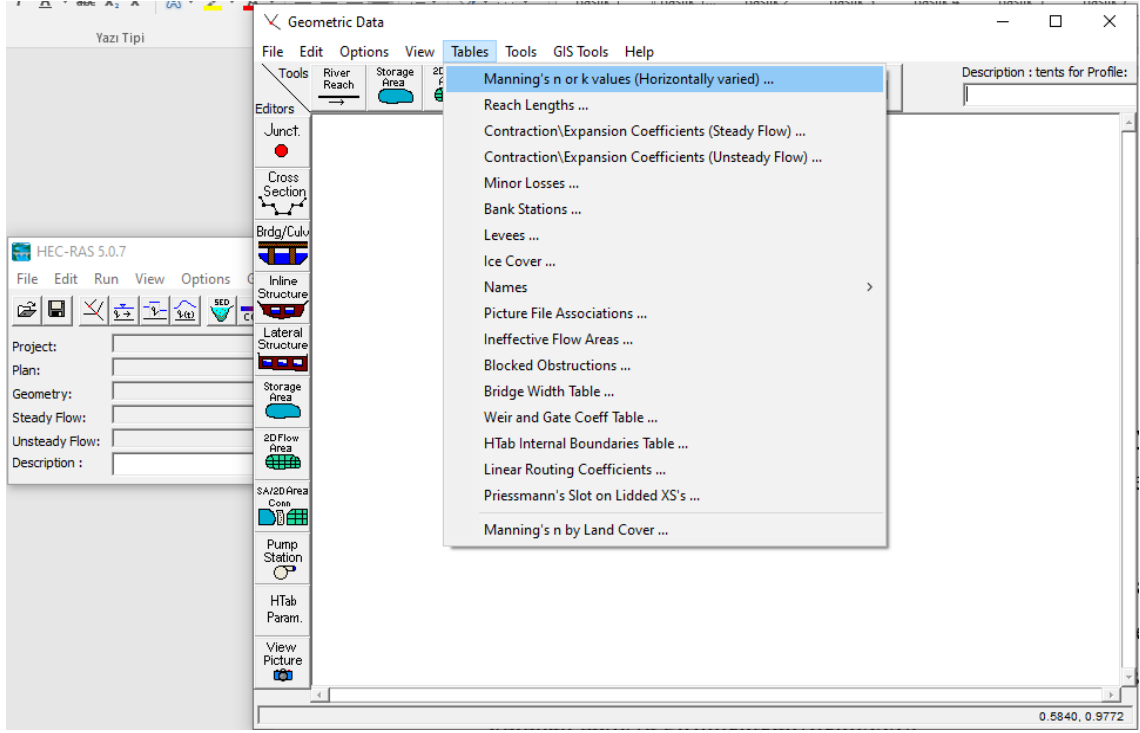
RAS Harita Editörü menüsünde yapılan işlemler kaydedildiğinde analiz için üretilen model geometri verisi Geometrik Veri Editörü (View/ Edit Geometric Data) (Şekil 2.19) menüsünden görüntülenebilmekte ve üzerinde gerekli düzenlemeler menü ara yüzü kullanılarak yapılabilmektedir. Ayrıca bu menü oluşturduğumuz geometri verisine enine drenaj yapısının eklendiği menüdür.



Şekil 2.19. Geometrik Veri Editörü (View/ Edit Geometric Data).

Dere-Yol kesişim noktalarına sanat yapısı tanımlarken Bridge/Culvert Data modülü kullanılmaktadır. Burada Deck/Roadway menüsü açılarak memba ve mansap yönünde, yapının yerleştirileceği iki enkesitin arasında yol sathını temsil edecek olan alan inefektif akış alanı oluşturulmalıdır. Burada inefektif akış alanı dere yatağı ile kesişen orman yolu platformunu temsil etmektedir. Oluşturulan bu alana analizi yapılacak yapıyı tanımlamak için de Culvert menüsü kullanılmaktadır. Bu menü analizi yapılacak büz ya da menfezin yol platformunda memba ve mansap yönünde konumu, çapı gibi özelliklerinin tanımlandığı menüdür.

Bu menüde yapılması gereken bir diğer işlem ise enkesitlere ait pürüzlülük değerlerinin girilmesidir. Bu değerler Geometrik Veri Editörü menüsünde bulunan Tables (tablolar) açılır menüsünde ilk sıradaki “Manning’s n or k values” sekmesi tıklanarak açılan menüde bulunan tabloya girilmektedir (Şekil 2.20).

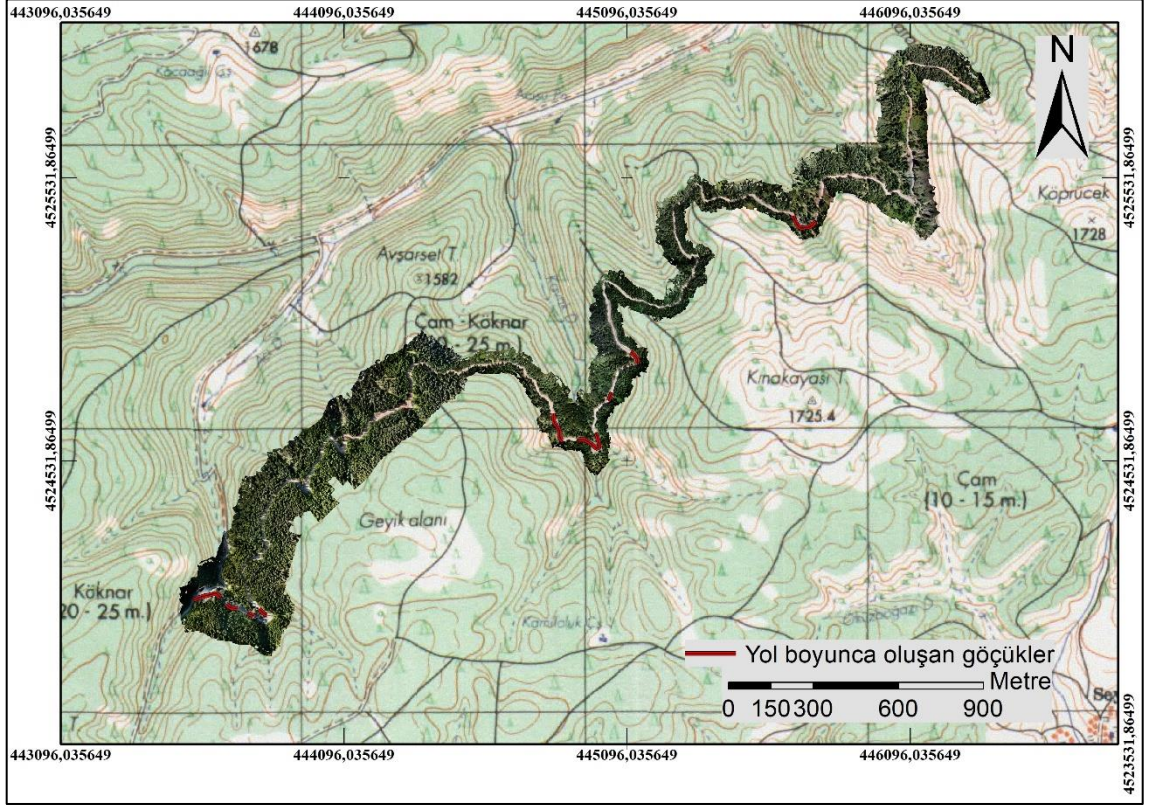


Şekil 2.20. “Manning’s n or k values” sekmesi gösterimi.

Analiz için gerekli geometrik veri hazırlandığında üzerinde kararlı, kararsız akım analizleri yapmak mümkündür. Taşkın analizi temelde kararsız bir akım analizidir. Ancak bir sanat yapısı taşkın akımının en yüksek debiye sahip olduğu akımı geçirecek şekilde tasarlanacağı için en yüksek debiyi kararlı akım simülasyonunda analiz etmek iş kolaylığı sağlaması açısından avantajlıdır. Bu çalışmada hidrolik sanat yapıları olan enine drenaj yapılarının boyutları değerlendirileceği için kararlı akım analizi yapılacaktır. Bu analiz için öncelikle kararlı akış planı hazırlanmalı ve hazırlanan plana göre kararlı akım simülasyonu koşturulmalıdır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmaya konu 410 kod numaralı yola ait ortofoto (Harita 3.1.) harita üzerinde yapılan incelemeler ve arazide yapılan ölçümler sonucunda yol boyunca 9 noktada kazı şevlerinde göçmeler meydana geldiği ve yolun 648 metrelik kısmının tamamen göçük altında kaldığı tespit edilmiştir.



Harita 3.1. 410 kod numaralı yola ait ortofoto ve yol boyunca kazı ve dolgu şevlerinde meydana gelen göçükler.

Göçmelerin genellikle enine drenaj yapısı tesis edilmemiş dere yataklarında meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ).



Şekil 3.1. Enine drenaj yapısı inşa edilmeyen kesişim noktası (solda) ve dik açılan kazı şevinde meydana gelen göçme (sağda).



Şekil 3.2. Enine drenaj yapısı inşa edilmeyen kesişim noktası ve kazı şevinde meydana gelen göçme.



Şekil 3.3. Dere yatağı düzenlenmemiş ve enine drenaj yapısı tesis edilmemiş dere-yol kesişimi ve meydana gelen göçme.

Ayrıca doğal dere yatağı oluşturamadığından yatağının düzenlenerek kanala almak suretiyle inşa edilen enine drenaj yapısına suyu verilmesi gereken havza çıkışlarında da göçmeler meydana gelmiştir (Şekil 3.4).



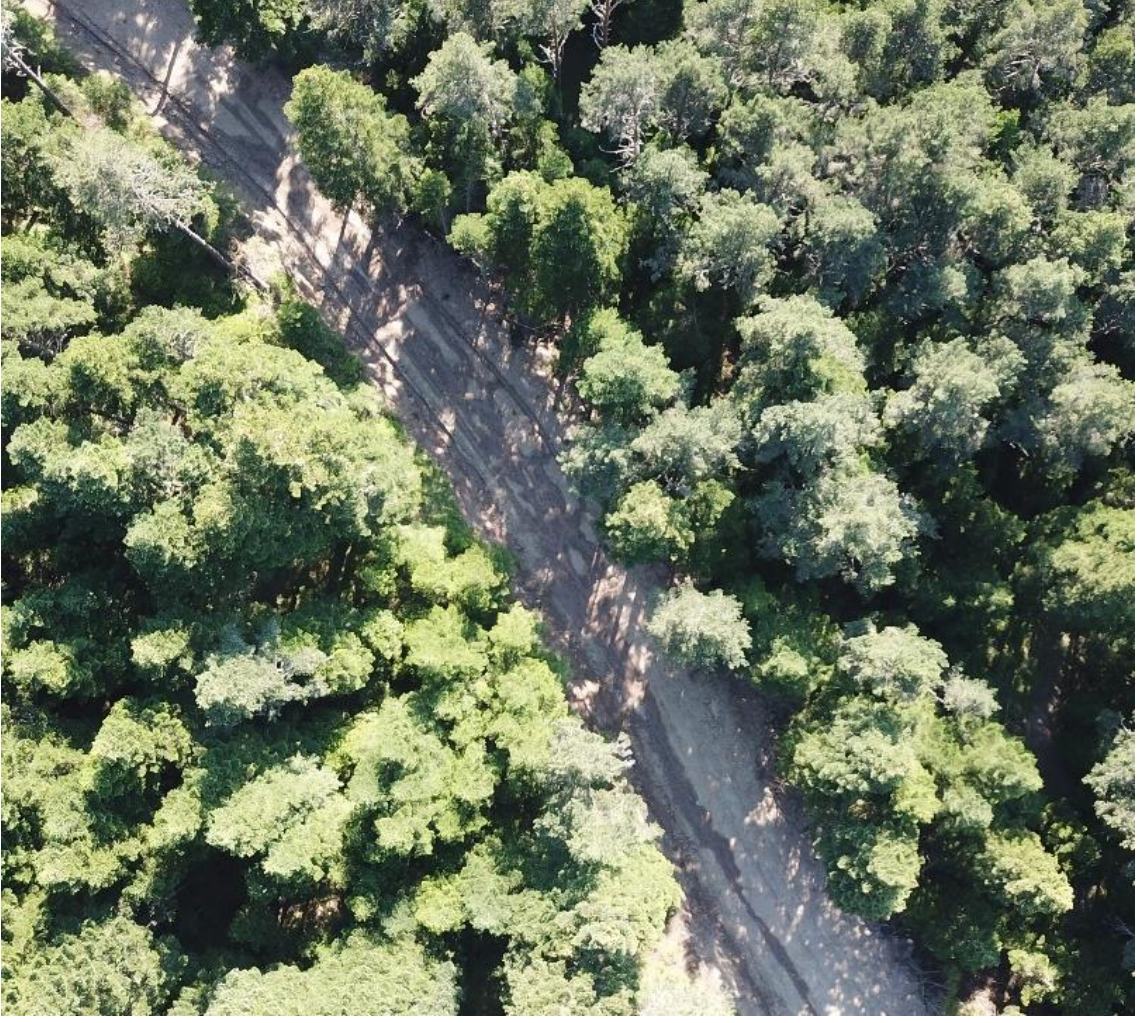
Şekil 3.4. Dere yatağı düzenlenmemiş, enine drenaj yapısı tesis edilmiş dere-yol kesişimi ve meydana gelen göçme.

Bununla birlikte yamaç eğimi fazla olan bölgelerde kazı şevlerinin standarda göre daha dik yapılmasından kaynaklı göçmeler de tespit edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kazı şevi eğiminin standartlara göre daha dik verilmesi sonucu meydana gelen göçme.

Söz konusu göçmelere sebep olan bir diğer unsur ise kenar hendeğinden gelen suyun ters eğimlerin kesiştiği noktalarda enine drenaj yapısı tesis ederek yoldan uzaklaştırılmaması olduğu anlaşılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Ters eğimlerin kesiştiği noktada enine drenaj yapısı inşa edilmemesi sonucu kenar hendeğinden yol platformuna taşan su.

Yol üzerinde meydana gelen göçükler Çizelge 3.1.'de yolun başlangıç noktasına uzaklığına göre numaralandırılarak verilmiştir. Arazide yapılan çalışmalardan anlaşıldığı üzere enine drenaj yapısı inşa edilmeyen noktalarda kenar hendeğinde biriken suyun kazı şevini etkileyerek göçmelere sebebiyet verdiği anlaşılmış olup yol boyunca 8 farklı noktada meydana gelen göçmelere enine drenaj yapısı eksikliğinin ya da mevcut yapıların tasarımının yetersizliğinin sebebiyet verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 3.1. Meydana gelen göçmelere ait bilgiler.

No	Başlangıç noktasına uzaklığı		Yol Boyunca Mesafe (m)	Meydana gelmesine etki eden faktör		
	Başlama noktası (km)+(m)	Bitiş noktası (km)+(m)		Ters eğimlerin kesişiminde enine drenaj yapısı eksikliği	Dere yataklarında enine drenaj yapısı eksikliği	Kazı şevi eğiminin uygun olmaması
1	0+000	0+106	106			X
2	0+138	0+180	42	X		X
3	0+221	0+245	24		X	
4	0+329	0+364	35		X	X
5	2+402	2+508	106		X	
6	2+565	2+704	139	X	X	
7	2+841	2+873	32		X	
8	3+022	3+074	52		X	
9	4+582	4+694	112		X	X

Dere yatağında bir düzenleme yapılmadan, baş, kanat duvarları ve temel desteği olmadan yerleştirilen ve kesitleri gelen debiyi geçiremeyecek kadar dar olan yapılardan kaynaklı sanat yapısı sorunlarının da meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle yolun yapıldığı yılı takip eden kış mevsimi içerisinde oluşan debiyi geçirecek kesit alanına sahip olmadıklarından, gelen su yolun üzerinden geçerek yolda hasara sebebiyet vermiştir. Bunun sonucunda yol dolgusunun oyulması sebebiyle bazı yapıların yerinden söküldüğü ve dere boyunca yer değiştirdiği tespit edilmiştir. (Şekil 3.7).

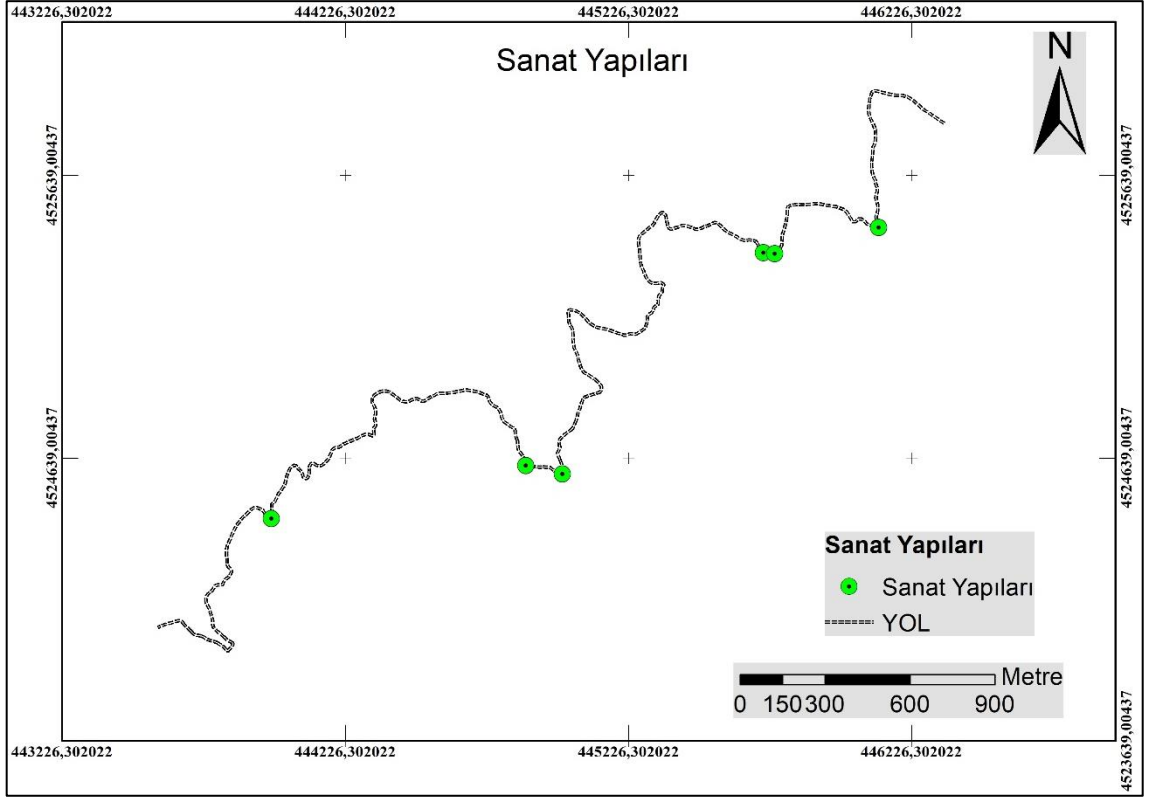


Şekil 3.7. Suyun yol dolgusunu oyması nedeniyle yer değiştirmiş yapı örneği.

Yukarıda gösterilen şekillerden de anlaşıldığı üzere yapılan yolun yamacın topuk desteğini kesmesi, kazı şevine doğru eğimin verilmemesi, tesis edilen yapıların standartlarına uygun yapılmaması ve ihtiyaç olduğu halde enine drenaj yapısı inşa edilmemesinden kaynaklı kazı şevi göçmeleri ve yol platformunda meydana gelen bozulma sonucu yol kullanılamaz hale gelmiştir.

### 3.1. HAVZA ALANLARININ TESPİT EDİLMESİ

Yol boyunca 15 adet havzaya ait derenin yol ile kesiştiği tespit edilmiştir. Bunlardan 6 adet havza deresinin yol ile kesişim noktalarına koruge boru ile enine drenaj yapıları tesis edilmiştir (Harita 3.2.). Söz konusu koruge borular yerleştirilirken baş duvarı ya da kanat inşa edilmemiş, yol gövdesine yerleştirilerek üzeri toprakla doldurulmuştur.

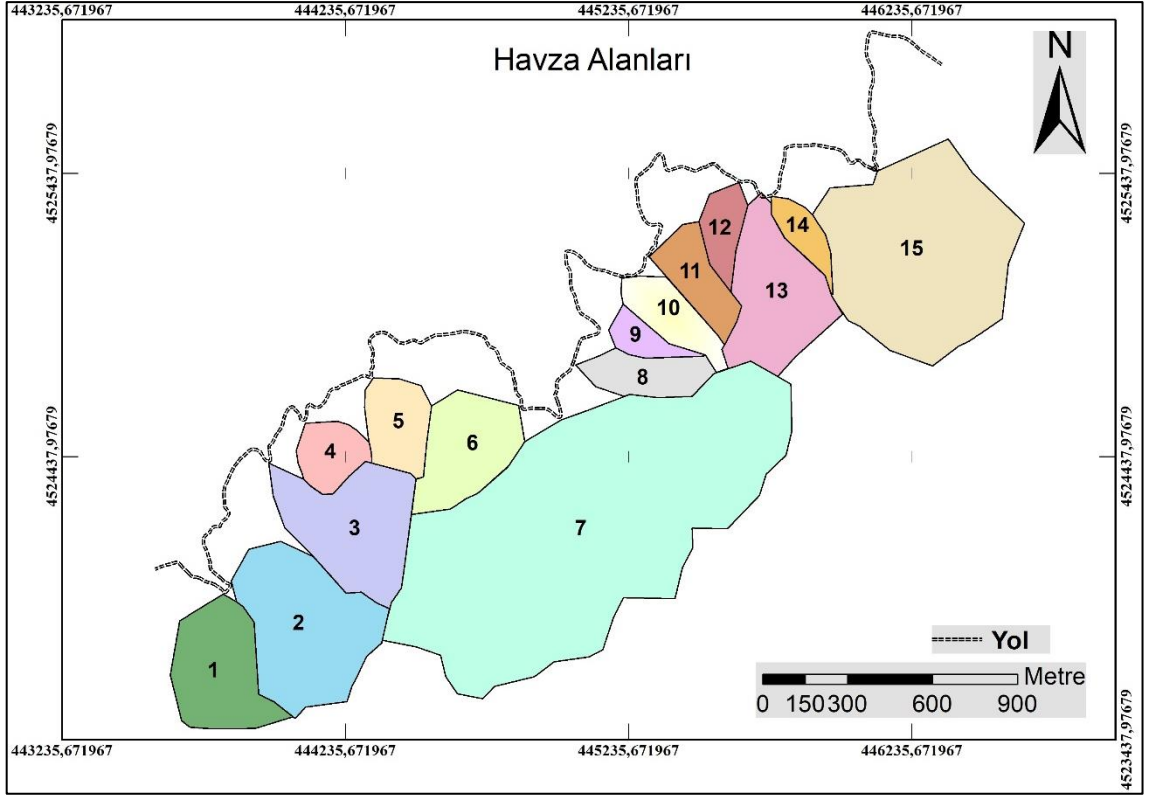


Harita 3.2. Enine drenaj yapısı tesis edilmiş noktalar.

Sanat yapısı tesis edilmiş dere- yol kesişimlerinin dışında 9 adet havza alanı tespit edilmiş olup kuru dere dahi olsalar yağış zamanında akış oluşturacaklarından sanat yapısı tesis edilerek gelecek debinin yolu geçirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada yöntem kısmında anlatıldığı üzere, CBS yazılımlarının bize sunduğu avantajlardan havza alanını bulmaya yarayan birtakım yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler kullanılarak elde edilen havza sınırları haritası aşağıda gösterilmektedir (Harita 3.3.).





Harita 3.4. Düzenlenmiş havza alanları haritası.

Maksimum debi miktarlarının hesaplanmasında kullanılan havza alanı, arazi kullanım tipleri, alan ağırlıklı ortalama eğim, eğri numarası, hidrolojik toprak grupları gibi bütün parametreler düzenlenmiş havza sınırlarına göre kullanılmıştır. Aşağıdaki tabloda havzalara ait alan (Hektar/ha) ve havza çevresi (m) bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Havzalara ait havza alanı ve havza çevresi bilgileri.

Havza No	Havza Alanı (ha)	Havza Çevresi (m)
1	13	1499
2	22	1870
3	17	1812
4	5	841
5	7	1018
6	12	1365
7	95	4288
8	6	1127
9	3	846
10	6	1119
11	6	1133
12	4	895
13	16	1728
14	3	889
15	40	2392

Çalışkan (2003), Döner (2010) ve Görmez (2012) çalışmalarında dere-yol kesişimlerini tespit etmek amacıyla CBS yazılımı kullanmışlardır. Mevcut yol ağı ile oluşturdukları dere ağını çakıştırarak bu noktaları tespit etmişlerdir. Çalışkan (2003)de arazide de yaptığı çalışmalarda sanat yapısı mevcut olan ve eksikliği görülen noktaları GPS kullanarak koordinatlarını almak suretiyle sayısal haritalara aktarmış ve bu noktalara uygun yapıları önermiştir. Demir (2019) Artvin Tütüncüler Orman İşletme Şefliğinde yaptığı çalışmasında CBS kullanarak orman yolu sanat yapılarının kuru ve sulu dere, arazi eğim sınıfları, kuzey ve güneyli bakılar ve yükseklik kademeleri açısından dağılımını incelemiştir.

Bu tez çalışmasında Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Gerede Orman İşletme Müdürlüğü, Acısu Orman İşletme Şefliği içerisinde yer alan 410 kod numaralı orman yoluna ait ortofoto harita üretilmiştir. Üretilen harita üzerinde yapılan araştırmalarda toplam uzunluğu 6 km olan yolun 9 noktasında 648 metrelik kısmında göçmeler meydana geldiği tespit edilmiştir. Bunlardan 8 noktada meydana gelen göçmelerde kazı şevinin dik olmasının yanı sıra enine drenaj yapısı olmadığından suyun kenar hendeğinde kalması ve yamacın ıslanmasının da etkisi olduğu anlaşılmıştır. Çalışmada havza alanlarının tespit edilmesinde CBS yazılımından faydalanma konusunda uygulanan yöntem Çalışkan (2003)'ın yaptığı çalışma ile benzerlik göstermektedir, ancak üretilen yola ait yüksek çözünürlüklü ortofoto haritadan yapılan analizlerde sanat yapısı ihtiyacı görülen başka noktalar da tespit edilmiştir. Bu noktaların tespitinde ortofoto haritanın çalışma alanına ait 1/25000 pafta haritası üzerine yerleştirilerek yapılan incelemelerde ve CBS yazılımı ile yapılan hidrolojik analizlerde toplamda 15 adet havza çıkışı tespit edilmiştir. Bunlardan 6 adet havzadan gelen suyun enine drenaj yapısıyla yolu geçirildiği görülmüş 9 noktada daha yapıya ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir.

### 3.2. AKIŞA GEÇEN YAĞIŞ MİKTARLARININ HESAPLANMASI

Alana ait yağış ve akım ölçüm istasyonu mevcut ise bunların kayıtları kullanılabilir. Mevcut değil ise akım hesaplanmasında kullanılan hidrograf verileri, birtakım ampirik formüller (Rasyonel yöntem, Wundt Formülü, Kursteiner Formülü) ve birtakım sentetik birim hidrograf (Mockus, Snyder ve SCS boyutsuz birim hidrograf) yöntemleri kullanılabilir. Bu çalışmada Rasyonel yöntem, Wundt Formülü, Kursteiner Formülü ve SCS-CN yöntemi kullanılmıştır.

Söz konusu yöntemlerin kullanılabilmesi için havzaya ait havza alanı, HTG, arazi örtüsü, eğim sınıfları gibi birtakım parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametrelerden havza alanları bölüm 3.1’de açıklanmıştır. Diğer parametrelerin tespit edilmesi amacıyla üretilen haritalar aşağıda verilmiştir.

Havzaya ait hidrolojik toprak grupları (HTG)’nin belirlenmesinde kullanılan büyük toprak grupları (BTG) haritası (Harita 3.5.) ve arazi örtüsünün belirlenmesine yönelik kullanılan meşcere tipleri haritası (Harita 3.6.) aşağıda gösterilmektedir.

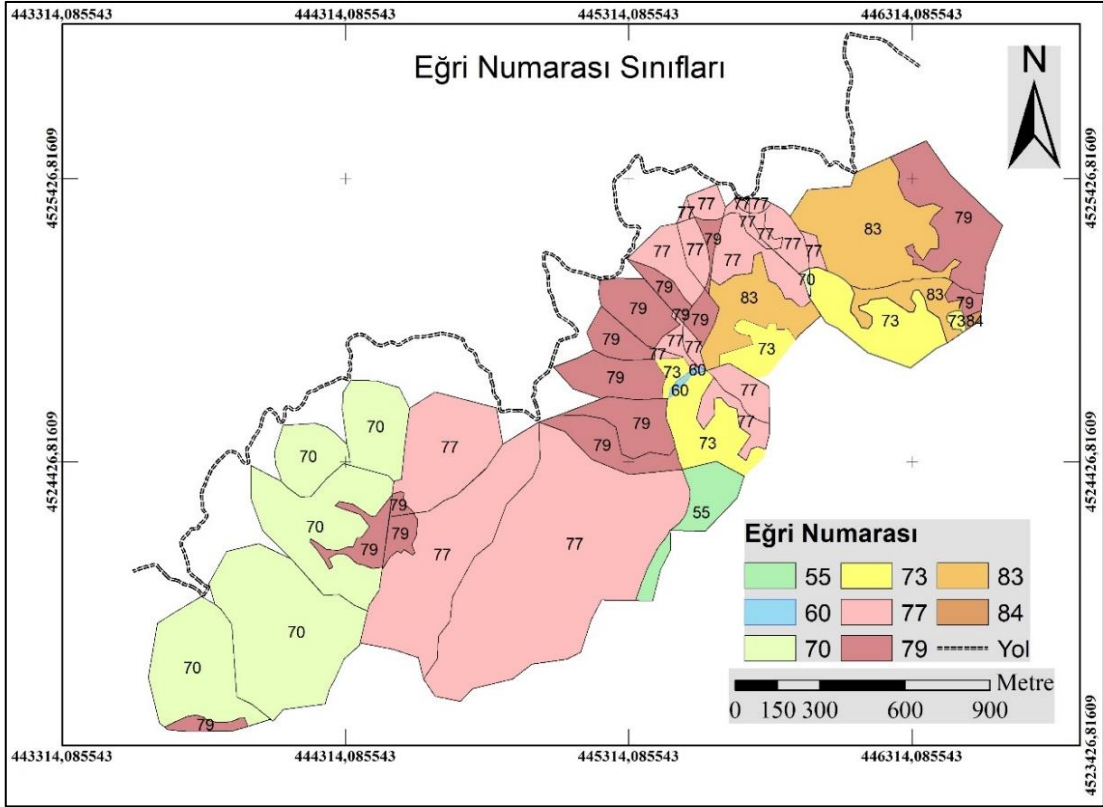








SCS-CN yöntemine göre akışa dönüşme oranını temsil eden “Curve Number (eğri numaraları)” değerleri “arazi örtüsü (meşcere tipleri)”, ve “HTG sınıfları” haritalarına göre aşağıdaki gibi bulunmuştur (Harita 3.9.). Eğri Numarası değerleri belirlenirken meşcere tiplerinin yanı sıra kapalılık değerleri de dikkate alınmıştır.



Harita 3.9. Yağışın akışa geçme miktarının tespitinde kullanılan “Eğri Numarası” grupları haritası.

DüŖen yađıŖın akıŖa geeme miktarını tespit etmekte kullanılan yöntemlerin kullanılabilmesi için ihtiyaç duyulan parametreler hazırlandıktan sonra elde edilen bilgiler haritaların veri tabanlarından elektronik tablolara aktarılarak Rasyonel yöntem, SCS-CN yöntemi, Kursteiner yöntemi ve Wundt yöntemlerine göre hesaplanan, havzaların oluşturabilecekleri en yüksek debiler Çizelge 3.3. de gösterilmiştir. Bu çalışmada yapıların 25 yıl hizmet ömrüne göre, 50 yıllık tekerrür aralığında oluşacak maksimum debileri %60 başarı ihtimaliyle akıtılabileceği hesaplanmıştır. Hesaplanan debiler yapıların HEC-RAS yazılımı ile boyutlandırılmasında kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Farklı yöntemlerle hesaplanan en yüksek akım debileri (m<sup>3</sup>/s).

Havza Numarası	Verilen Yöntemlere Göre En Yüksek Debi (m <sup>3</sup> /sn)			
	Rasyonel Formül	SCS-CN (Q <sub>max</sub> ) HQ(50)	Kursteiner (Q <sub>max</sub> ) HQ(50)	Wundt (Q <sub>max</sub> ) HQ(100)
1	0,86	0,64	1,27	4,04
2	1,42	1,11	1,78	5,46
3	1,1	1,14	1,5	4,6
4	0,32	-	0,66	2,25
5	0,44	-	0,83	2,71
6	0,76	1,2	1,17	3,74
7	6,03	7,97	4,46	12,97
8	0,39	-	0,75	2,51
9	0,18	-	0,45	1,58
10	0,38	-	0,74	2,49
11	0,4	-	0,76	2,54
12	0,26	-	0,57	1,97
13	1,02	1,05	1,30	4,49
14	0,21	0,25	0,5	1,7
15	4,64	5,26	4,2	7,8

Wundt yöntemi 100 yıllık tekerrür aralığına göre oluşabilecek maksimum debiyi verdiğinden bu yöntemle hesaplanan debiler boyutlandırılmada kullanılmamıştır. Ancak A tipi ana orman yollarına inşa edilecek yapılarda 100 yıllık tekerrüre göre hesaplama yapılması daha makul olduğu için gerektiğinde kullanılabileninden burada yer verilmiştir. Ayrıca Rasyonel yöntem, SCS-CN yöntemi ve Kursteiner yöntemi

kullanılarak da 100 yıllık tekerrüre göre hesaplama yapılabilmektedir.

Yağış akış oranının tespitine dayalı yöntemler daha önceden karayolları ve orman yolları üzerine inşa edilen sanat yapılarının geçireceği debilerin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Ülkemizde karayollarında enine drenaj yapılarının geçirmesi gereken debilerin hesaplanmasına yönelik kullanılan yöntemler çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır. Gül (1999) karayollarına inşa edilen enine drenaj yapılarını tanımlamış ve bunların tasarım ömrüne göre geçirmesi gereken en yüksek debilerin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden “Rasyonel yöntem”, “Birim Hidrograf Yöntemi” ve Sentetik Birim Hidrograf belirleme yöntemlerinden “Mockus”, “Snyder” ve “SCS boyutsuz birim hidrograf” yöntemlerini kullanmıştır. Çalışkan (2007) karayollarında yol gövdesi drenajı ile drenaj sistemini oluşturan elemanları ve tasarım yöntemlerini açıklamış, enine drenaj yapılarının (menfezler, köprüler ve viyadükler) tasarım ilkelerini anlatmıştır. Türkiye’de menfez ve köprülerin tasarımı aşamasında yaşanan problemleri değerlendirmiştir. Bu değerlendirmeleri yaparken yapılara ait proje debilerini belirlemek için “Rasyonel yöntem” ve “Sentetik birim hidrograf” yöntemlerini kullanarak yapıların taşkın anında geçirmesi gereken su miktarını hesaplamıştır.

Ülkemizde orman yollarında yapıların geçirmesi gereken debinin hesaplanmasına yönelik kullanılan yöntemlerin araştırıldığı birkaç çalışma mevcuttur. Bayoğlu ve Hasdemir (1991) orman yolları üzerine inşa edilen büz ve menfezlerin boyutlandırılması üzerinde çalışmışlardır. Büz ve menfezlerin tesis edildikleri yerin havza büyüklüğü, topografyası, arazi örtüsü, yağış miktarı, şiddeti vb. özelliklerine uygun boyutlandırılabilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada maksimum debinin bulunmasında rasyonel yöntemi kullanmışlardır. Demir (2019) Tütüncüler Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde mevcut orman yollarında bulunan sanat yapılarını taşkın riski açısından değerlendirmiştir. Bu değerlendirmeyi yaparken Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan taşkın raporlarından elde ettiği debileri kullanmıştır. Orman yolu ve sanat yapılarının sulu ve kuru derelere, arazi eğim sınıflarına, bakılara ve yükseklik kademelerine göre sınıflandırmıştır. Ludlow (2009) Ghana Accra’da yaptığı çalışmada akış göstergesi verilerinin ve taşkın modellerini desteklemekte diğer verilerin kısıtlı olduğu alanlarda sel sularının azami hacmini ve zamanlamasını tahmin etmekte basit bir yarı dağılımlı yağış akış modelini kullanmış ve bu modeli desteklemek için uzaktan algılama ve CBS’nin kullanımını araştırmayı

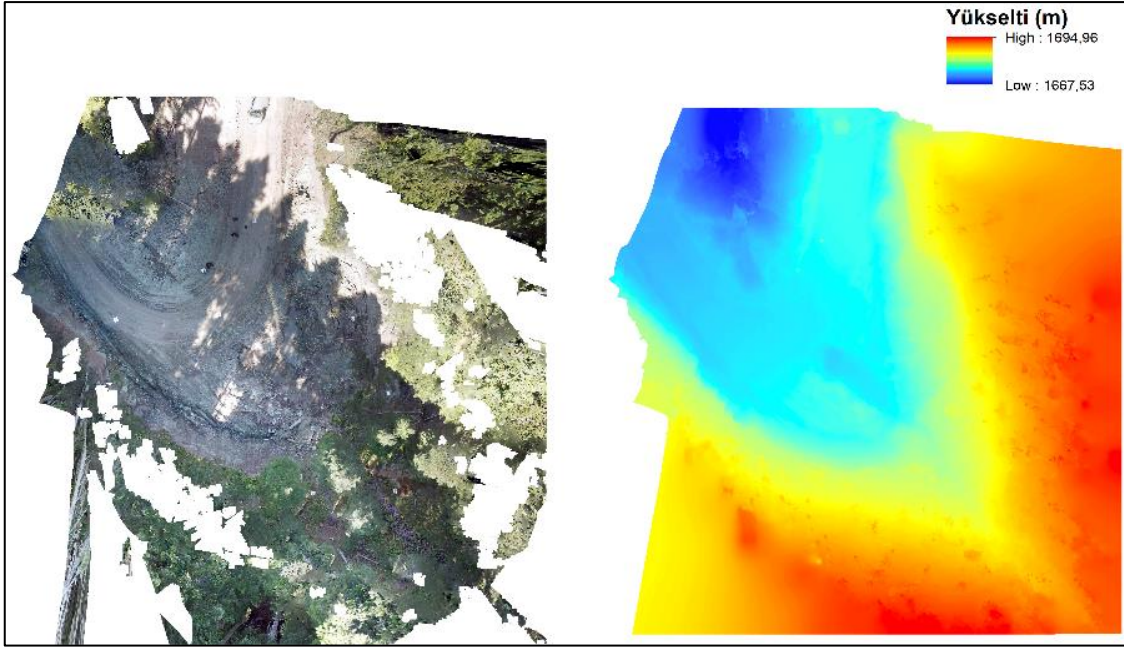
amaçlamıştır.

Bu çalışmada orman yollarında enine drenaj yapılarının geçirmesi gereken debileri hesaplamaya yönelik ampirik formüllerden (“Rasyonel yöntem”, “Wundt Formülü”, “Kurstainer Formülü”) ve “SCS- CN” yöntemi kullanılarak 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 yıllık tekerrürlere göre havzaların oluşturabilecekleri en yüksek debiler hesaplanmıştır. Ancak sanat yapılarının boyutlandırılmasında 50 yıllık tekerrürde meydana gelebilecek debiler dikkate alındığından bu kısımda da sadece 50 yıllık tekerrürde meydana gelebilecek en yüksek akım verilerine ait bulgulara yer verilmiştir.

### **3.3. YAPILARIN HEC-RAS ANALİZLERİ VE BOYUTLANDIRMA**

Yol inşaatı sırasında tesis edilen altı adet sanat yapısının HEC-RAS programında hidrolik analizlerinin yapılabilmesi için sanat yapılarının bulunduğu dere-yol kesişimlerinin oluşturulan ortofoto görüntüleri ve SYM’leri aşağıda verilmiştir. SYM, yolu daha iyi modelleyebilmek amacıyla, onarım bittikten sonra yapılan ayrı bir arazi çalışmasında alınan verilerden üretilmiştir. Ayrıca uçuş sırasında 45 derece eğik kamera açısıyla görüntüleme yapılarak oluşturulan modellerdeki orman örtüsü sınıflandırılmış ve nokta bulutundan çıkarılmıştır. Bu yöntemle üretilen sayısal yükseklik modelleri dere yatağının daha iyi temsil edilmesini sağlayan SYM’leri oluşturmaya olanak sağlamıştır. Üretilen modeller <3 cm doğruluklarda <1 cm yersel çözünürlüklerde dir.

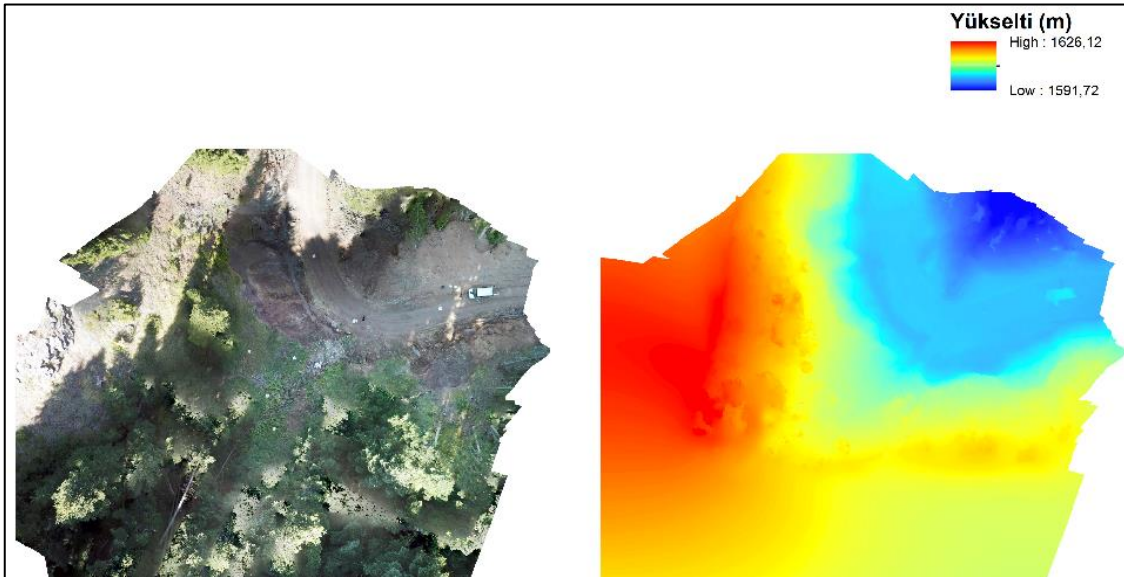
3 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto ve SYM Şekil 3.8’de gösterilmektedir. SYM’den de anlaşılabilirdi üzere yoldaki bozulmalar onarılmış ve dereden gelen suyun yapıya yönlendirilmesi amacıyla kanal açılmıştır.



Şekil 3.8. 3 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto (sağda) ve SYM (solda).

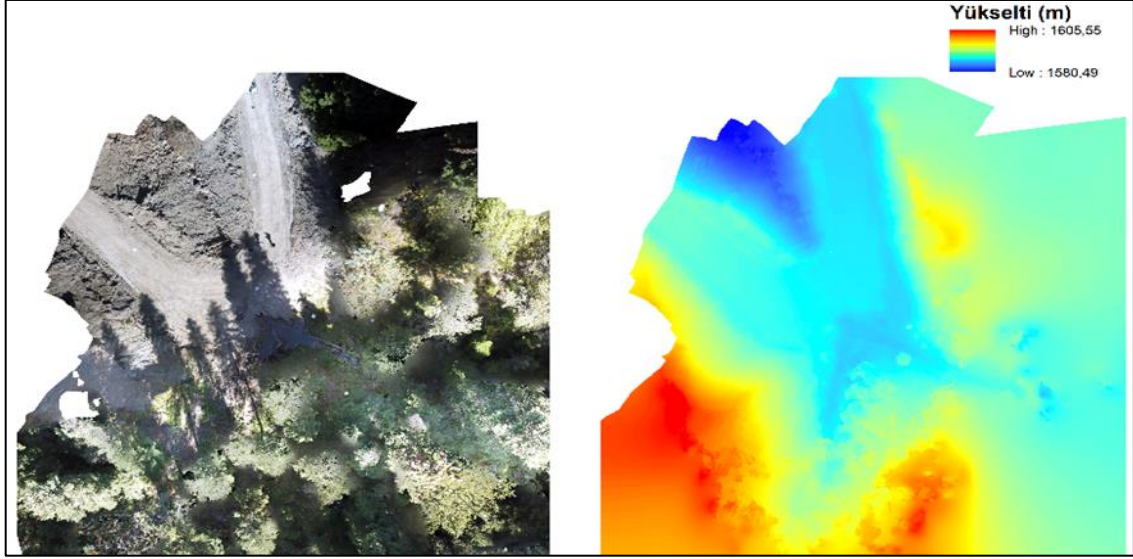
6 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto ve SYM

Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



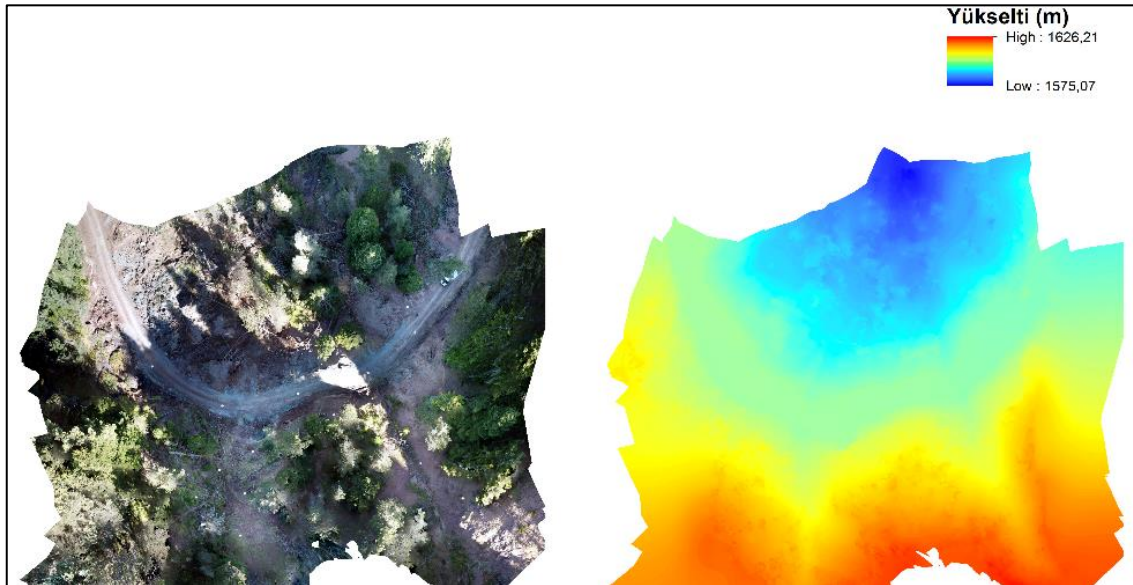
Şekil 3.9. 6 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto (sağda) ve SYM (solda).

7 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto ve sayısal yükseklik modeli (sağda) Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Ortofotoda görüldüğü üzere bu kesişim noktasına gelen 7 numaralı havzaya ait iki dere yatağı tesis edilen tek enine drenaj yapısı ile yoldan karşıya geçirilmiştir.



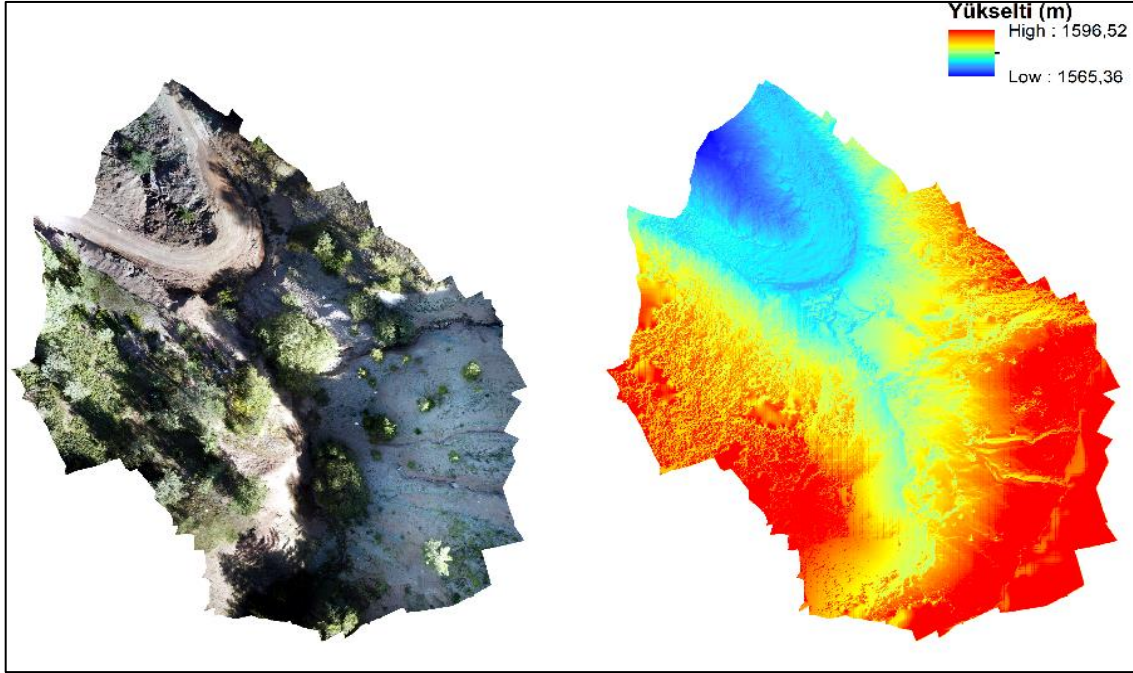
Şekil 3.10. 7 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto (sağda) ve SYM (solda).

13 ve 14 numaralı havza derelerinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto ve SYM Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



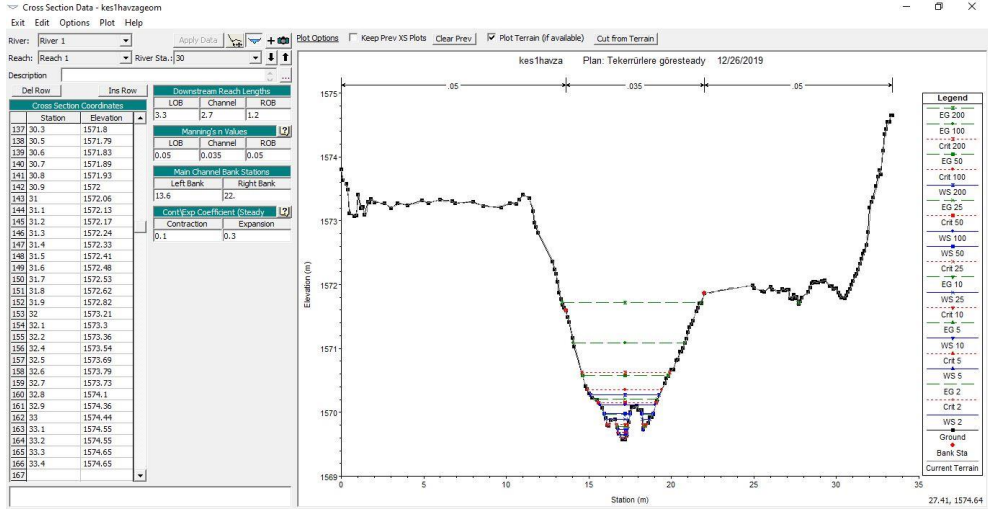
Şekil 3.11. 13 ve 14 Numaralı havzalara ait dere-yol kesişimlerine ait ortofoto (sağda) ve SYM (solda).

15 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto ve SYM Şekil 3.12’ de gösterilmektedir. Bu kesişim noktasında bulunan dere yatağını besleyen havza alanının neredeyse tamamında erozyon sonucu ana kayanın ortaya çıktığı litozoik bir yapı gözlemlenmektedir.



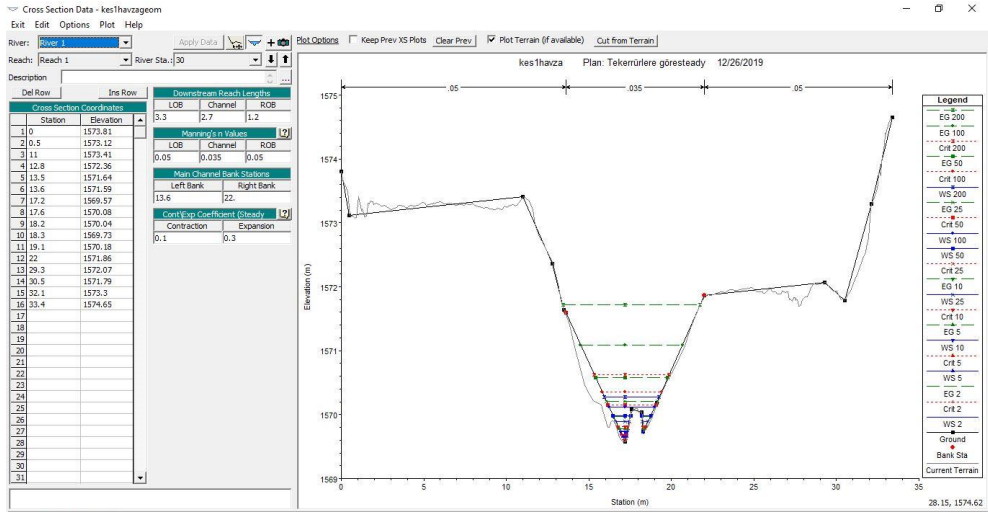
Şekil 3.12. 15 numaralı havza deresinin yol ile kesiştiği noktaya ait ortofoto (sağda) ve SYM (solda).

Aynı kesite ait iki farklı yöntemle üretilen enkesitler ve araziyi temsil etme kabiliyetleri Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de gösterilmiştir. İHA teknolojisi ile HEC-RAS geometri verisinin üretilmesi özellikle modelin kurulmasında önemli girdi olan enkesitlerin, sanat yapılarının ve dere hattı verilerinin gerçeğe en uygun şekilde elde edilmesine imkân sağlamıştır. Şekil 3.13’de yüksek çözünürlüklü SYM kullanılarak alınan enkesit ve araziyi temsil edebilme kabiliyeti gösterilmiştir.



Şekil 3.13. İHA ile üretilen SYM kullanılarak oluşturulan modele ait enkesit.

Şekil 3.14'de GPS ile araziden koordinat toplayarak programa tanımlanan enkesit ve araziye temsil etme kabiliyeti gösterilmiştir. Koordinatların programa tanımlanması sonucu oluşan enkesit ve kesitteki arazi yüzeyi görülmektedir.



Şekil 3.14. GPS ile arazide toplanan koordinatlardan elde edilen enkesit ve araziye temsil etme kabiliyeti.

Buradan da anlaşıldığı üzere yüksek çözünürlüklü SYM üzerinden tanımlanan enkesit, araziden koordinat toplamak suretiyle tanımlanan enkesite göre araziye çok daha doğru temsil edebilmektedir.

Demir (2019) da 1/5000 ölçekli topografik haritadan üretilen sayısal yükseklik modelini kullanarak HEC-RAS yazılımında dere ve yol ağlarını modellemiştir. Ayrıca 50 yıllık taşkın debilerine göre sanat yapılarının hidrolik analizlerini yapmıştır. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) aracılığıyla topografik haritadan üretilen SYM ile hava lazer tarama verisi ve GPS ile üretilen SYM verisinin HEC-RAS model sonuçlarına etkisi Casas ve diğ. (2006) tarafından kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmada GPS ve lazer tarama verisiyle üretilen SYM nin topografik haritadan üretilen SYM'den taşkın modellemede daha doğru sonuçlar verdiği gösterilmiştir. İHA tekniğini (Maurato ve diğ. 2017, Faudzi ve diğ. 2019) çalışmalarında kullanmıştır. Bu tez çalışmasında İHA tabanlı SYM verisi yüksek çözünürlüğü (<1 cm) ve konumsal doğruluğu (<3cm) özellikleri sayesinde araziye gerçeğe en yakın, en yüksek doğrulukta temsil eden yöntemlerden biridir. HEC-RAS yazılımında enine drenaj yapıları analiz edilirken oluşturulan model için SYM üzerinden alınan enkesitlerin her biri yaklaşık 200 koordinatla araziye modellerken her model için yaklaşık 20 adet enkesit tanımlanması gerekmektedir. Bu yöntem GPS kullanarak bu koordinatları toplamanın zorluğunu ortadan kaldırmasının yanı sıra GPS kullanarak her kesit için alınan ortalama 10-15 koordinata göre dere yatağını çok daha iyi modellemeye olanak tanımaktadır. Bu avantajı sayesinde HEC-RAS geometri verisinin üretilmesinde altlık olarak kullanılması modelin analiz sonuçlarının doğruluğunun artırmasını sağlamıştır.

Sanat yapılarının geçirmeleri gereken su miktarı belirlendikten sonra analizlerin yapılabilmesi için HEC-RAS modellerinin kurulması gerekmektedir. Bu çalışmada alanda mevcut yapıların analizleri yapıldığı için mevcut yapıların boyutları girilerek modeller kurulmuştur. Daha önce enine drenaj yapısı inşa edilmemiş bir noktaya ya da yeni yapılacak bir orman yolunun sanat yapısı inşa edilecek noktalarının modellerine girilecek yapı boyutlarının önceden kestirimi için Talbot formülü kullanılabilir. Talbot formülü ile havzalara ait sanat yapılarının ön boyutlandırılmasına ilişkin kesit alanları ve hesaplanan proje debilerine göre hesaplanan kesit alanları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.4. Talbot formülüne göre belirlenen, dere-yol kesişimlerine inşa edilecek enine drenaj yapılarına ait kesit alanları.

Havza Numarası	Talbot Yöntemine Göre Hesaplanan Kesit Alanı (m <sup>2</sup> )
1	0,62
2	0,9
3	0,6
4	0,25
5	0,3
6	0,45
7	3,25
8	0,35
9	0,27
10	0,5
11	0,5
12	0,35
13	1
14	0,3
15	2,6

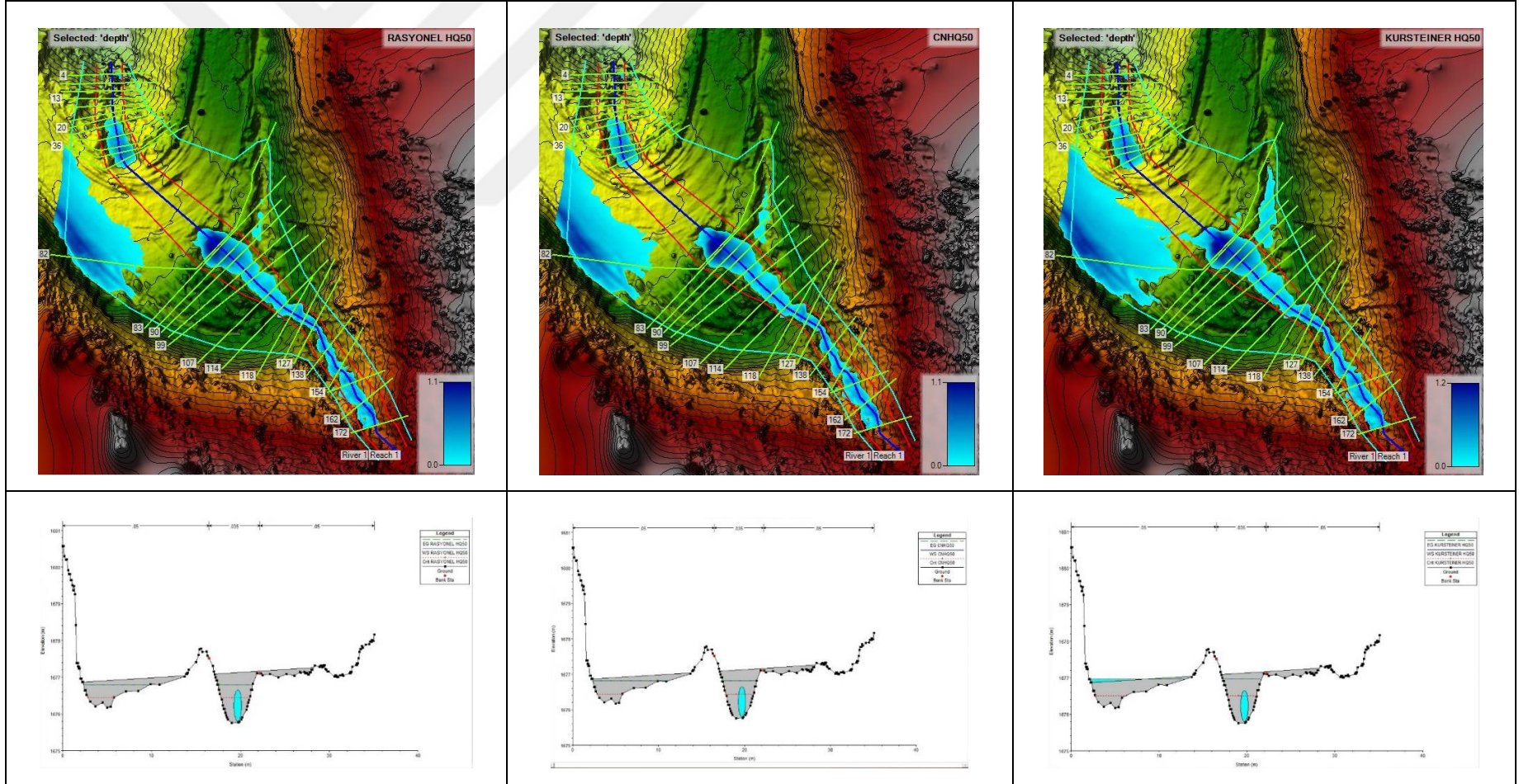
Enine drenaj yapılarına ait HEC-RAS modelleri bir kere hazırlandığında farklı debilere ve farklı boyutlardaki yapılara göre analizler yapmamıza olanak sağlamaktadır. Çalışma alanında sırasıyla 3, 6, 7, 13, 14, 15 numaralı havza derelerinin yol ile kesiştiği noktalarda enine drenaj yapısı bulunmaktadır. Mevcut yapılara ait boyutsal özellikler aşağıda gösterilmektedir. Mevcut yapıların HEC-RAS analizleri bu boyutlara göre yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Mevcut sanat yapılarına ait boyutsal özellikler.

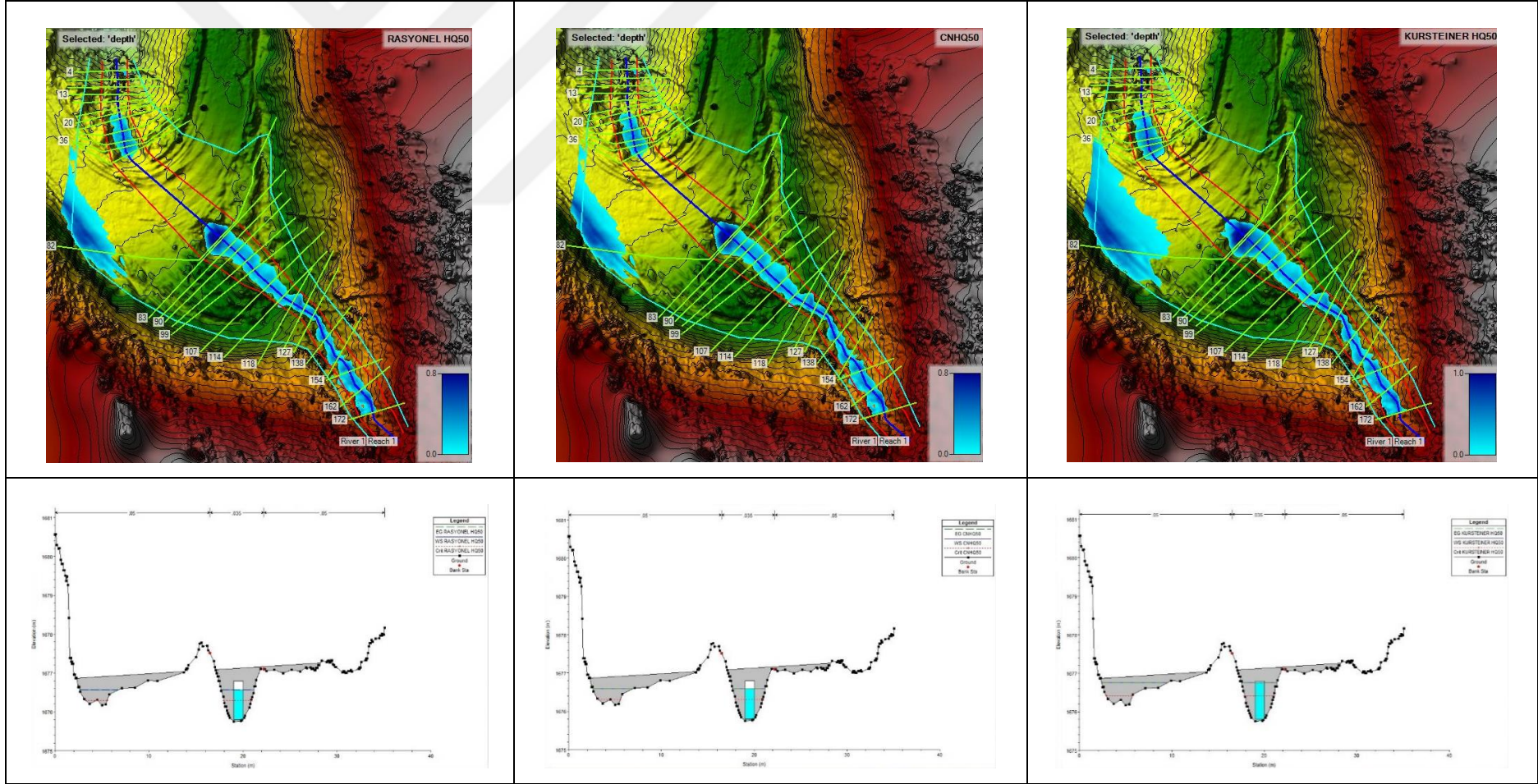
Havza Numarası	Büz (Koruge Boru)		
	Uzunluğu (m)	Çapı (m)	Kesit Alanı (m <sup>2</sup> )
3	12,5	0,85	0,57
6	6,5	0,85	0,57
7	12,5	0,85	0,57
13	6,5	0,85	0,57
14	6,5	0,65	0,33
15	6,5	0,85	0,57

Aşağıda mevcut yapıların enkesitlerine ve hesaplanan debileri geçirecek yapıların enkesitlerine ait analiz sonuçları verilmektedir. Şekillerde gösterilen enkesitler HEC-RAS yazılımında analizleri yapılmak üzere tanımlanan yapıların memba tarafına ait enkesitleridir. HEC-RAS yazılımında boyutlandırma yapılırken girilen kesit alanı, Rasyonel yöntem, SCS-CN yöntemi ve Kursteiner yöntemleri ile hesaplanan debilerden en az iki yöntemin verdiği debiyi akıtabildiğinde uygun kabul edilmiştir.

3 numaralı havzaya ait dere-yol kesişiminde mevcut yapıda 0,85 m çap ve 0,57 m<sup>2</sup> olan en kesit alanının su yüzeyi profillerine bakılarak yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Rasyonel yöntem, CN yöntemi ve Kursteiner yöntemi kullanılarak belirlenen proje debilerine göre yapılan analiz sonuçları Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Tam kapasite su ilemesine rağmen gelen debiyi uzaklaştırmaya yeterli gelmediğinden yol üzerine taşma gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Mevcut yapı tesis edilirken baş, kanat duvarları ve mansap yönünde temel desteği de yapılmadığı görülmüş, modeller buna göre hazırlanmış ve analizleri yapılmıştır. Rasyonel yöntem, CN yöntemi ve Kursteiner yöntemi ile hesaplanan debileri geçirmeye uygun yapının tespiti için yapılan analizlerin sonucu da Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Yapılan denemeler sonucunda bu noktaya 1×1m ebatlarında 1m<sup>2</sup> kesit alanlı kutu menfez tesis edilmesi uygun görülmüştür. Bu yapının kanat duvarları da hesaba katarak analizleri yapılmıştır. Ancak uygun görülen yapıda su yüzeyi profiline bakılarak yapının gelen debi için yeterli olmasına ve yapının standardına uygun tanımlanmasına rağmen dere yatağından gelen suyun yapıya girebilmesi için açılan kanalın yetersiz olduğu görülmektedir. Debinin kanala sığmayarak dışına taşması ve yapıya girmemesi sonucu yine suyun yola yayıldığı görülmektedir.



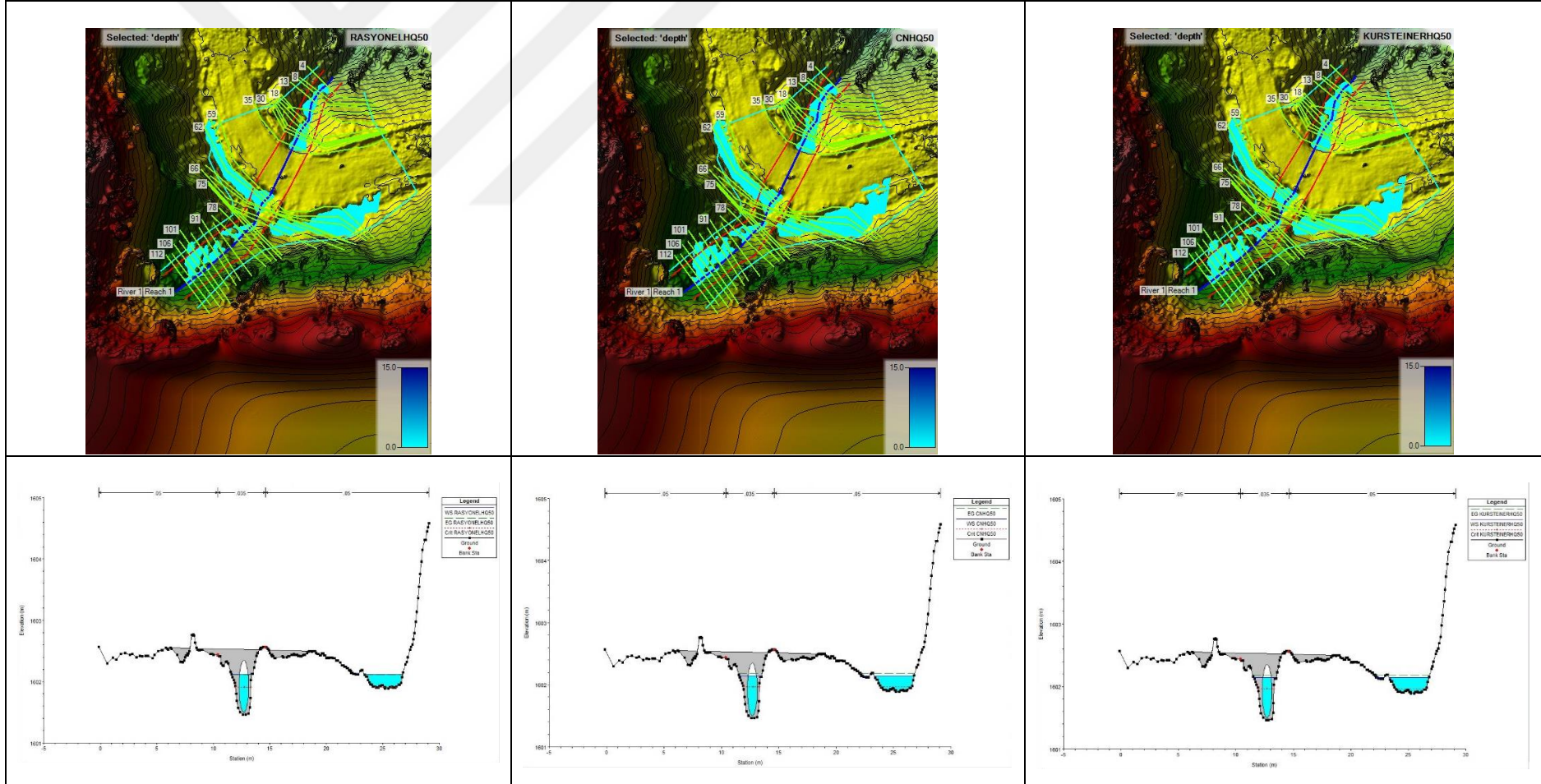
Şekil 3.15. 3 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda) kullanılarak 50 yıllık tekrerr aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.



Şekil 3.16. 3 numaraları havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda) ile 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler kullanılarak kutu menfez için yapılan HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.

6 numaralı havzaya ait dere-yol kesişiminde 0,85m çapında, 0,6m<sup>2</sup> kesit alanına sahip koruge boru tesis edildiği tespit edilmiştir. Rasyonel yöntem, CN yöntemi ve Kursteiner yöntemi kullanılarak 50 yıl tekerrür aralığı için belirlenen taşkın debilerine göre yapılan analizler sonucu bu yapının hesaplanan taşkın debilerini geçirmede yeterli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.17). Yapı tesis edilirken baş, kanat duvarları inşa edilmemiş ve yapının mansap yönünde temel desteği konmamıştır. Bu sebeplerle yapıya gelen su kenar hendeklerine taşmaktadır. Ayrıca dere yatağından gelebilecek rusubatin yapının tıkanmasına sebebiyet vermesi söz konusudur. Olası bir tıkanma durumunda taşma meydana gelebileceğinden yol platformuna zarar vermesi ve yapının temel desteğinin kaybolması suretiyle yerinden sökülerek dere boyunca taşınması söz konusu olabilecektir.

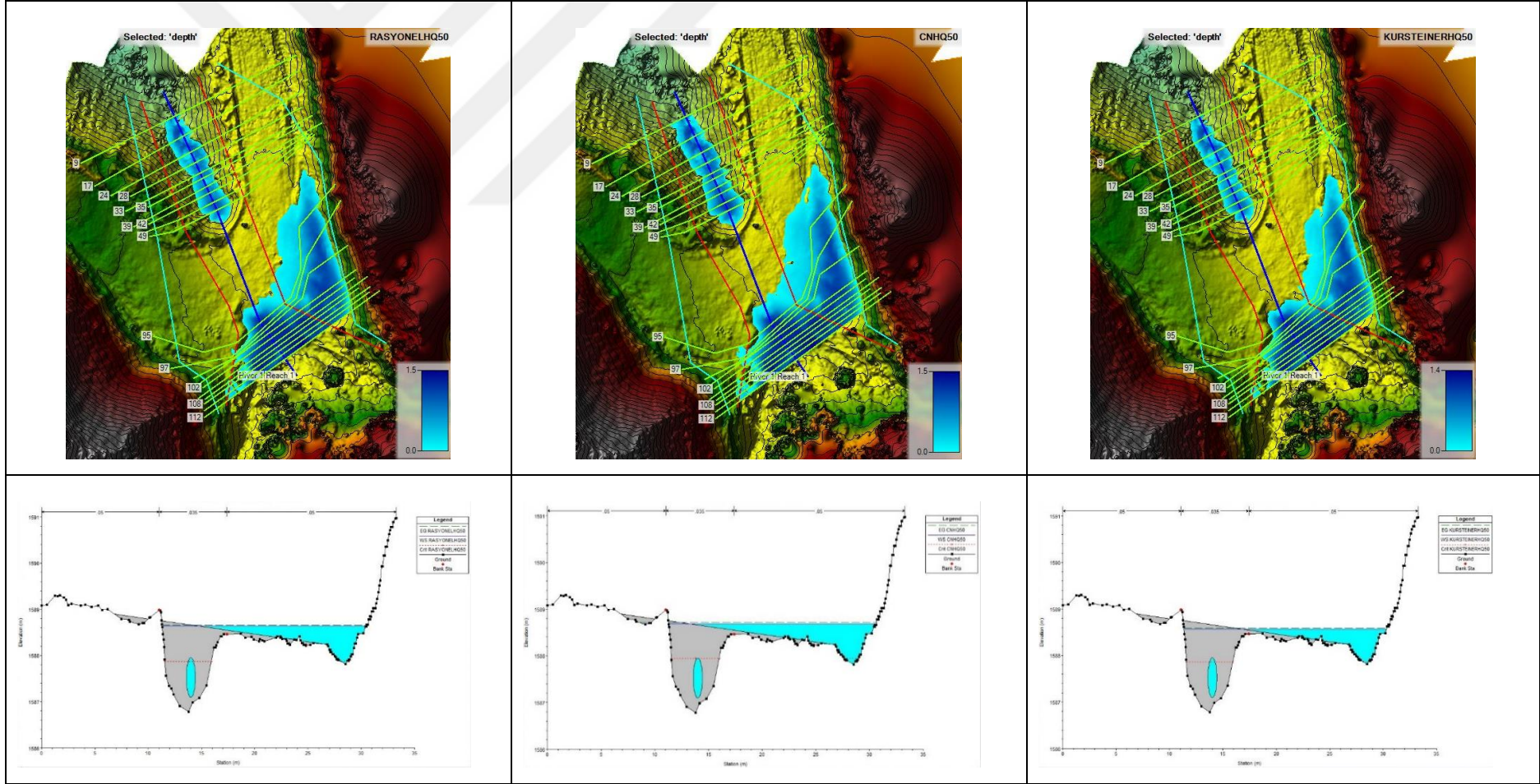




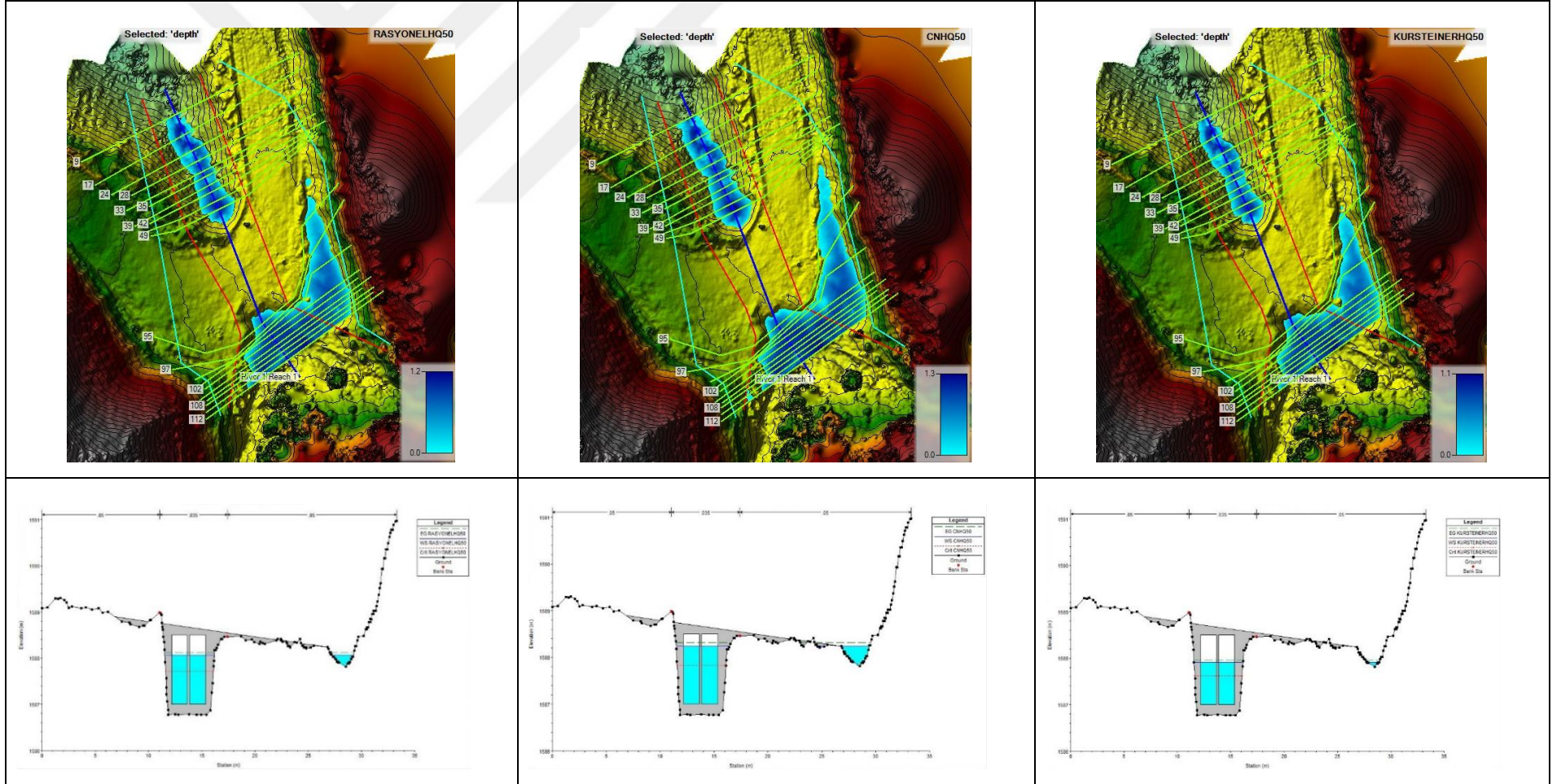
Şekil 3.17. 6 numaraları havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda) kullanılarak 50 yıllık tekrerr aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.

7 numaralı havzaya ait iki adet derenin çıkış noktasında birleştiği yerden 0,85m çapında 0,57 m<sup>2</sup> kesit alanına sahip koruge boruya alınarak yoldan geçirildiği tespit edilmiştir. Bu noktaya inşa edilen yapının da standartlara uygun inşa edilmediği görülmektedir. Bunun sonucunda da Rasyonel yöntem, CN yöntemi ve Kursteiner yöntemi kullanılarak 50 yıl tekerrür aralığı için belirlenen taşkın debileri için yapılan analiz sonucunda yapının yetersiz kaldığı Şekil 3.18'de görülmektedir. Mevcut yapının HEC-RAS analizinde dereden gelen debi yatağa sığmayarak kenar hendeklerine dolmuş ve yolun üzerinden taşmıştır. Gelecek debiyi akıtacak hidrolik sanat yapısının boyutlandırılması deneme-yanılma yöntemiyle kurulan senaryolara göre simülasyonlar yapılmıştır. Buna göre kesit alanı toplamda 4,5m<sup>2</sup> olan 1,5×1.5 ebatlarında baş ve kanat duvarları inşa edilmiş iki gözlü kutu menfezin debiyi geçirebileceği belirlenmiştir (Şekil 3.19). Yapı gelen debinin tamamını akıtabilmiş, kenar hendeğine taşma gerçekleşmiş, fakat yol platformuna taşma meydana gelmemiştir. Analiz sonuçlarına göre dere yataklarında düzenleme yapılarak suyun yapıya girmesi kolaylaştırılabileceği görülmüştür.





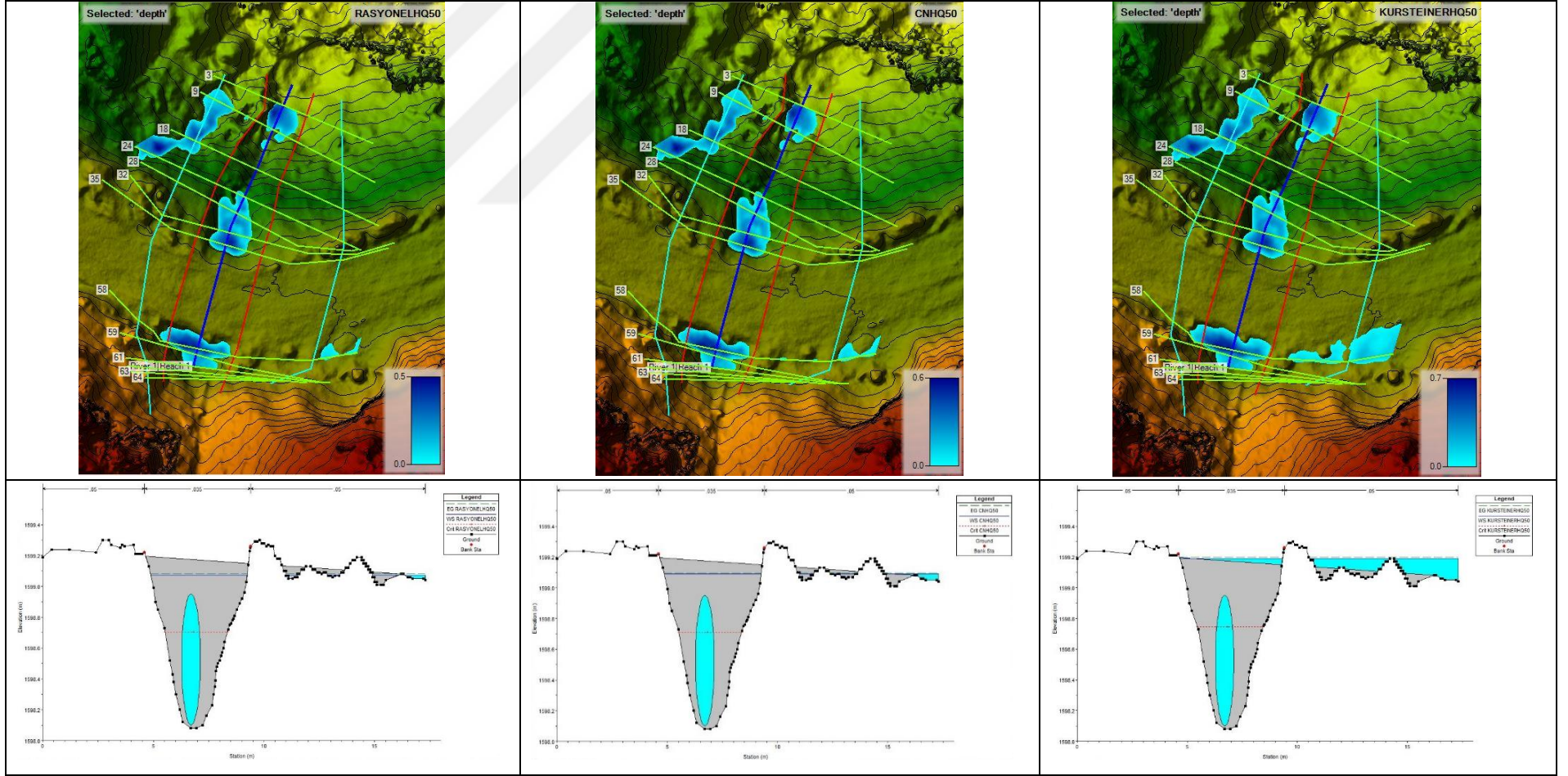
Şekil 3.18. 7 numaraları havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda) kullanılarak 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.



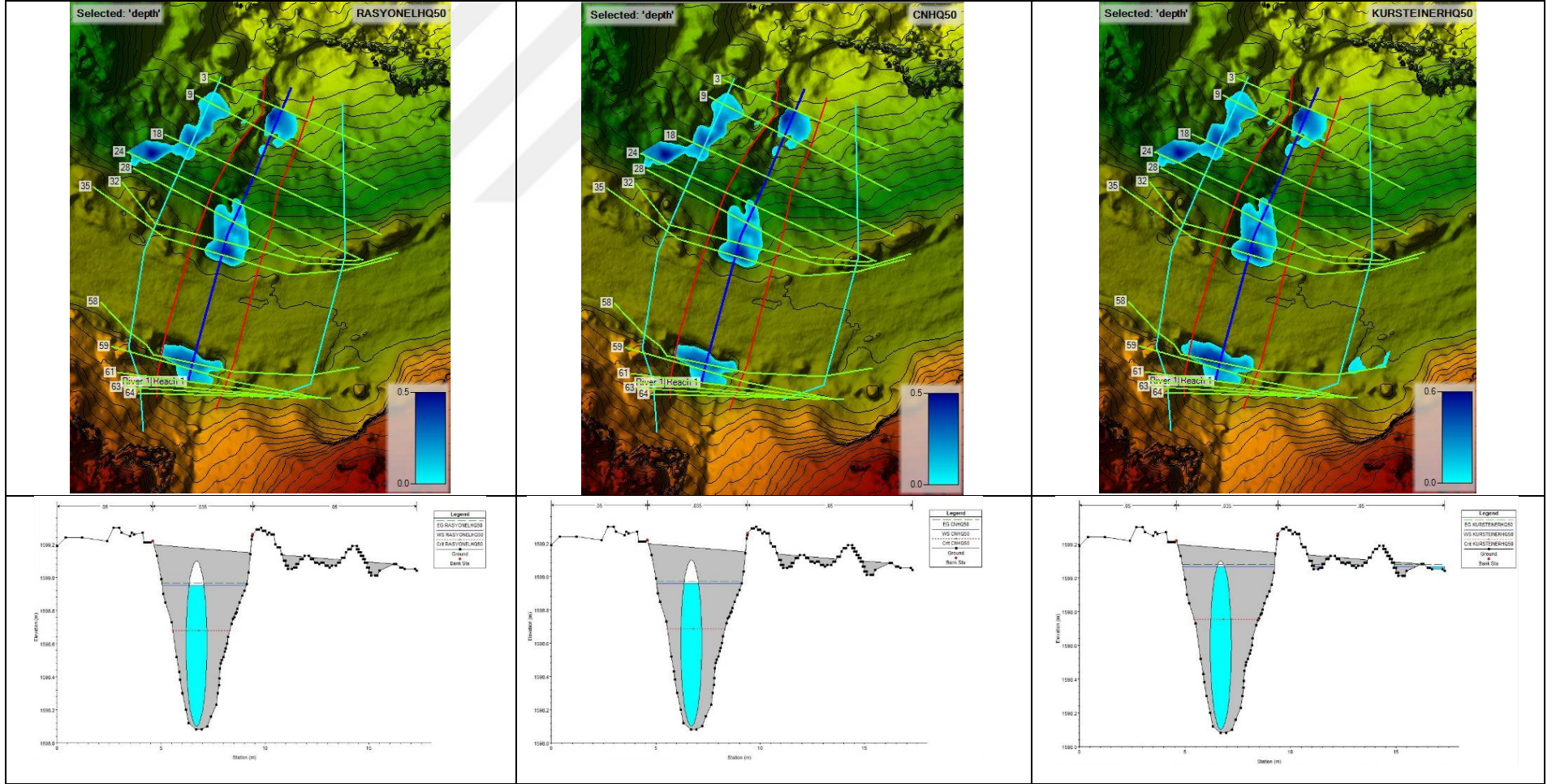
Şekil 3.19. 7 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda) ile 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler kullanılarak iki gözlü kutu menfez için yapılan HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.

13 numaralı havzaya ait kesişim noktasında mevcut sanat yapısına ait HEC-RAS analiz sonuçları Şekil 3.20’de gösterilmektedir. Mevcut yapı  $0,57m^2$  kesit alanına sahip 0,85 m çapında koruge boru olup baş, kanat duvarları, temel desteği konmadan yerleştirilmiştir. Rasyonel yöntem, CN yöntemi ve Kursteiner yöntemi kullanılarak 50 yıl tekerrür aralığı için belirlenen taşkın debileri için yapılan analiz sonuçlarından da anlaşıldığı gibi gelen suyu akıtma kapasitesi olmadığından su yüzü profili yapının üstüne çıkmış hatta bazı yöntemlerle hesaplanan debilerde yol yüzeyine yayılma meydana geldiği görülmüştür (Şekil 3.20). Yapılan analizler sonucu 1,0 m çapında koruge boru yerleştirilmesi ile bu kesişim noktasına 50 yıllık tekerrür aralığına göre gelecek olan suyun uzaklaştırılabileceği anlaşılmıştır (Şekil 3.21). Ancak bu yapı tesis edilirken baş ve kanat duvarları ve temel desteği yapılması gerekmektedir.

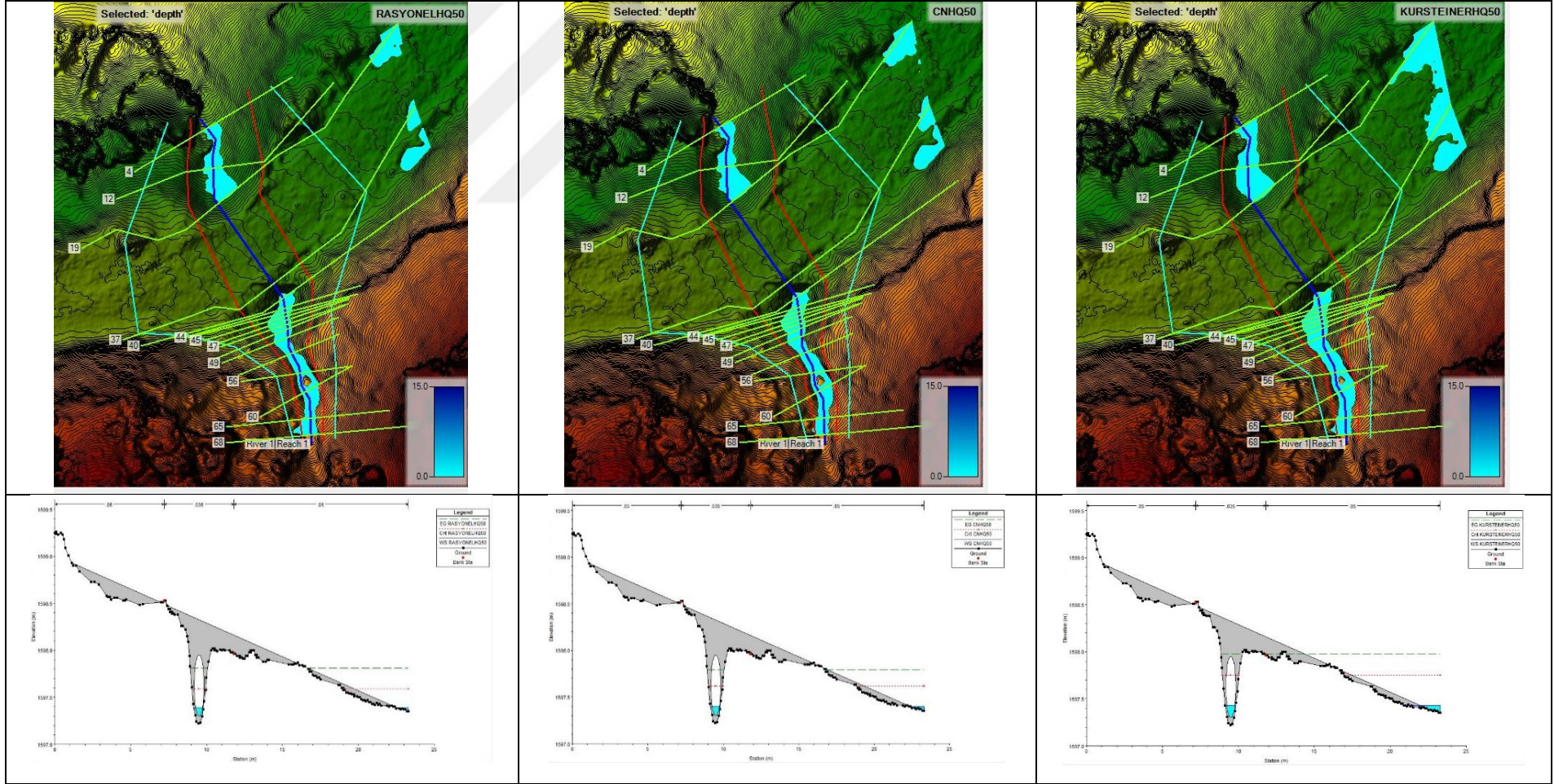
14 numaralı havzada mevcut yapının Rasyonel yöntem, CN yöntemi ve Kursteiner yöntemi kullanılarak 50 yıl tekerrür aralığı için hesaplanan taşkın debileri için yapılan analiz sonucunda yapının debileri akıtılabileceği Şekil 3.22’de gösterilen analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır. Ancak diğerlerinde olduğu gibi bu yapı da standartlara uygun tesis edilmemiştir. Bu nedenle ileride doğabilecek rusubat birikmesi gibi olumsuzluklar sonucu yapının tıkanması ve bakım gereksinimi kaçınılmaz olacaktır.



Şekil 3.20. 13 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda)-kullanılarak 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.



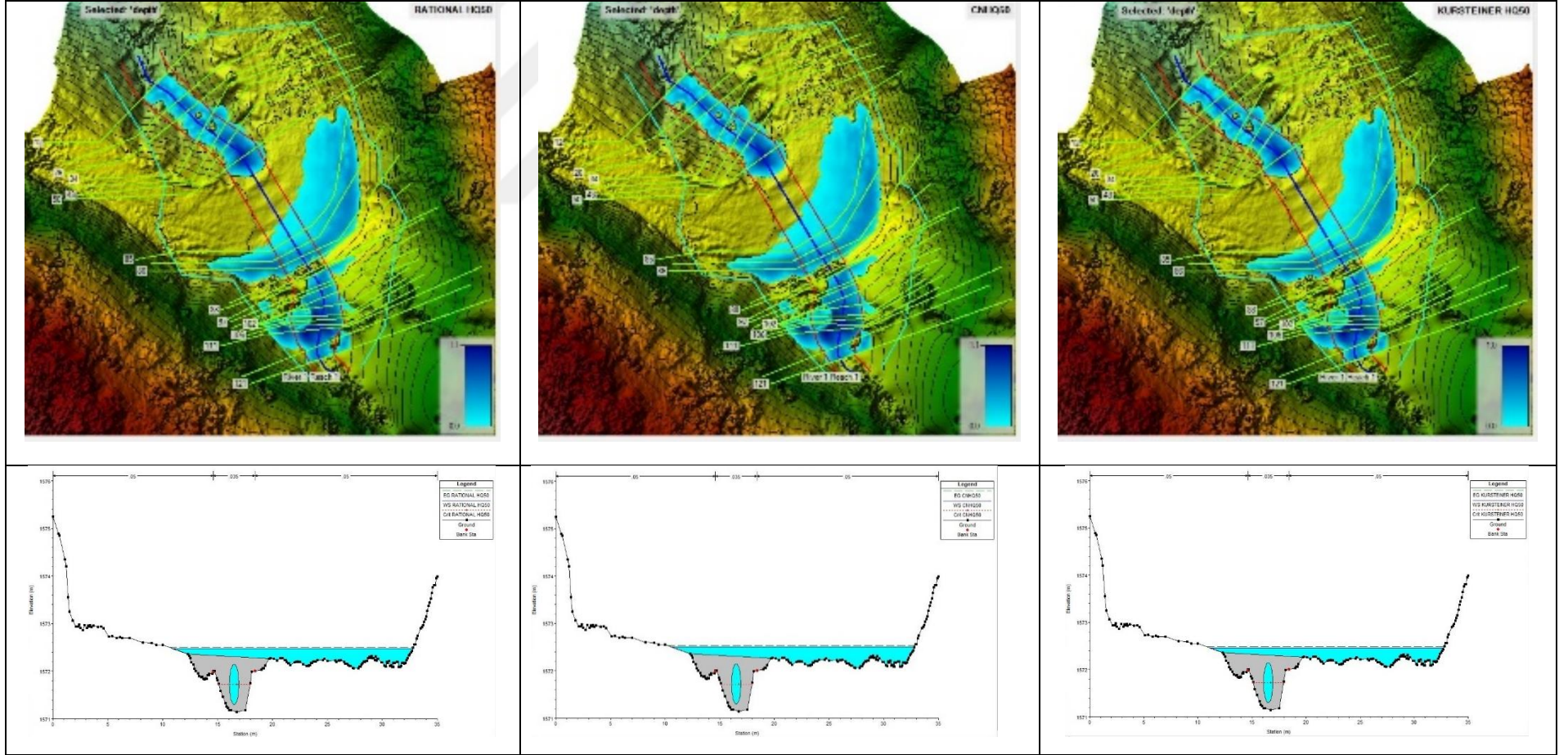
Şekil 3.21. 13 numaraları havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda)-ile 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler kullanılarak 1,0m çapında koruge boru menfez için yapılan HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.



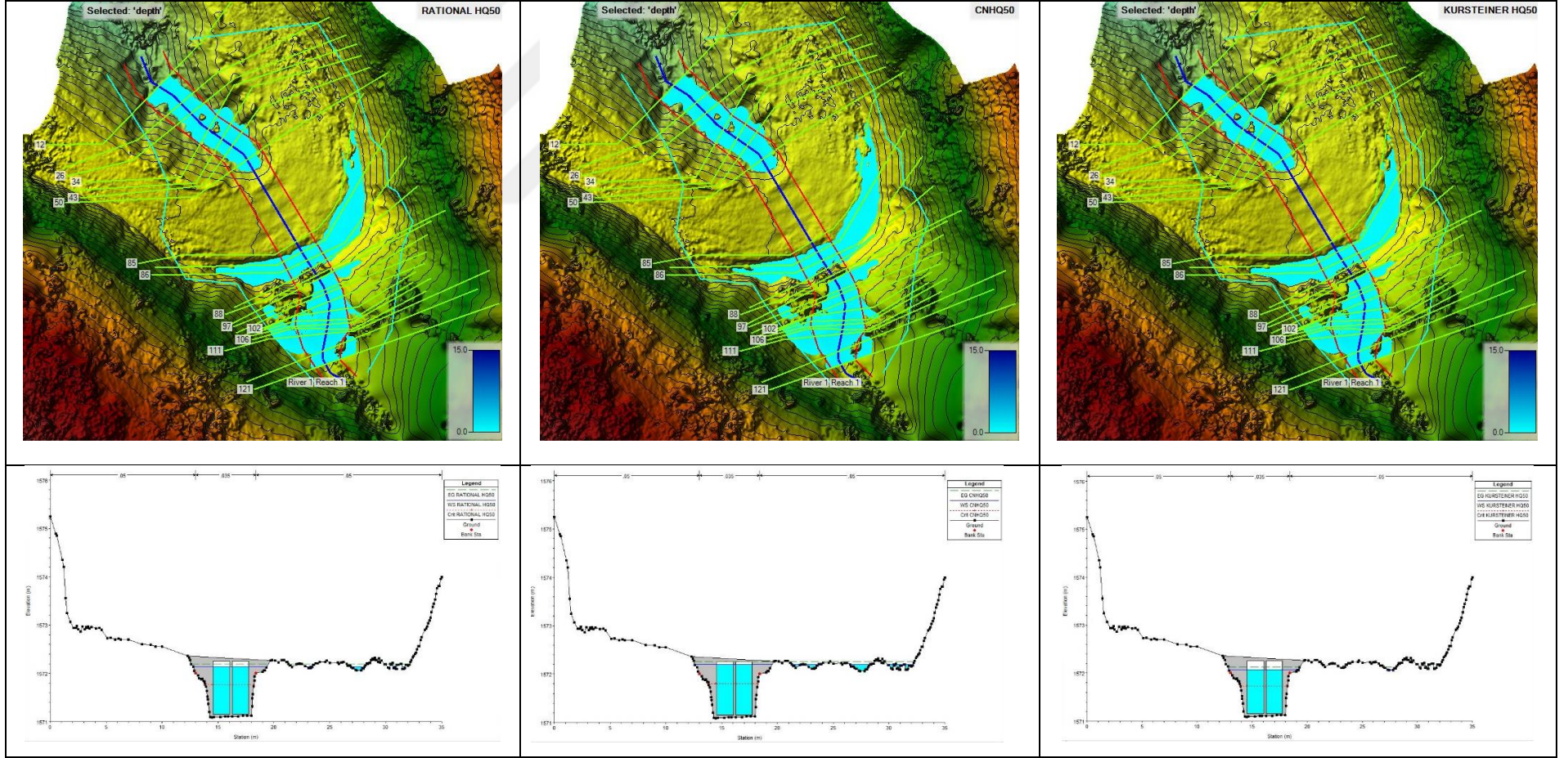
Şekil 3.22. 14 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda)-kullanılarak 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.

15 numaralı havzada mevcut yapının Rasyonel yöntem, CN yöntemi ve Kursteiner yöntemi kullanılarak 50 yıl tekerrür aralığı için hesaplanan proje debileri için yapılan analiz sonucunda yetersiz kaldığı Şekil 3.23'de gösterilen HEC-RAS analiz sonuçlarından anlaşılabilir. Bu yapının da diğerleri gibi standartlara uygun tesis edilmediği görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda bu noktaya 1,5×1,1 m ebatlarında toplamda 3,3 m<sup>2</sup> kesit alanına sahip 2 gözlü kutu menfez tesis edilmesinin uygun olacağı anlaşılmıştır. Uygun görülen ebatlardaki sanat yapısı ve hesaplanan debilere göre yapılan HEC-RAS analiz sonuçları Şekil 3.24'te gösterilmektedir.





Şekil 3.23. 15 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda)-kullanılarak 50 yıllık tekerrür aralığına göre hesaplanan debiler için mevcut yapıya ait HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.



Şekil 3.24. 15 numaralı havzada; Rasyonel yöntem (solda), CN yöntemi (ortada), Kursteiner yöntemi (sağda)-ile 50 yıllık tekrür aralığına göre hesaplanan debiler kullanılarak iki gözlü kutu menfez için yapılan HEC-RAS analiz sonuçları ve yapının memba yönü enkesitinde oluşan su yüzeyi profilleri.

Arazide yapılan ölçümler, yapılan hesaplamalar ve HEC-RAS analizleri sonucuna göre bulunan mevcut yapılara ait kesit alanları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.6. Mevcut yapılara ait, Talbot formülüne göre belirlenen ve taşkın debilerine göre HEC-RAS analizleri sonucu uygun olduğu belirlenen kesit alanları.

Havza Numarası	Kesit Alanları (m <sup>2</sup> )		
	Mevcut yapılara ait kesit alanı (m <sup>2</sup> )	Talbot yöntemine göre belirlenen kesit alanı (m <sup>2</sup> )	En yüksek akıma göre belirlenen kesit alanı (m <sup>2</sup> )
3	0,57	0,6	1
6	0,57	0,45	0,57
7	0,57	3,25	4,5
13	0,57	1	0,79
14	0,33	0,3	0,33
15	0,57	2,6	3,3

Yöntem bölümünde enine drenaj yapılarının boyutlandırılmasında genel olarak kullanılan 3 yöntem anlatılmıştır. Ülkemizde ve Dünyada enine drenaj yapılarının boyutlandırılmasında çeşitli yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. Gül (1999)' da karayollarına inşa edilen enine drenaj yapılarının ampirik yöntem olan Talbot formülü yöntemi ve yapının geçirmesi gereken debileri hesaplamaya dayalı yöntemleri kullanmıştır. Debileri belirledikten sonra bu debileri geçirecek yapıların boyutlarını belirlemiştir. Ayrıca şevlerde oyulmaya sebebiyet vermemeleri ve uzun yıllar sağlıklı bir şekilde çalışabilmeleri için gerekli tasarım ilkelerini açıklamıştır. Bayoğlu ve Hasdemir (1991) de orman yollarına inşa edilen sanat yapılarının boyutlandırılmasında ilk yaklaşım olarak Talbot formülünü kullanmış ve maksimum debi yönteminde akım abakları kullanarak nihai boyutlandırmayı yapmışlardır. Çalışkan (2003) de orman yollarına inşa edilen sanat yapılarının boyutlandırılmasında Talbot formülünü kullanmıştır. Demir (2019) Tütüncüler Orman İşletme Şefliğinde yaptığı çalışmada mevcut orman yollarında bulunan sanat yapılarını HEC-RAS kullanarak taşkın riski açısından değerlendirmiştir. Ludlow (2009) Ghana Accra'da yaptığı çalışmada akışların hacmini, zamanlamasını ve olası taşmaların gözlemlenmesinde HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modelling System)

kullanmıştır. Elde ettiği sonuçları zaman içinde meydana gelen afet raporlarıyla karşılaştırmış, mevcut sel risk verisine yardımcı bilgiler sağladığı sonucuna varmıştır.

Bu çalışmaya konu yol üzerine düşen 15 adet havzadan gelen suyun yoldan geçirilmesi için tesis edilecek yapıların Talbot formülü kullanılarak ön boyutlandırmaları yapılmıştır. Ayrıca 15 havzadan 6 adedinde hâlihazırda mevcut enine drenaj yapılarının Rasyonel yöntem, CN yöntemi ve Kursteiner yöntemine göre hesaplanan taşkın debileri için HEC-RAS yazılımı kullanılarak analizleri yapılmıştır. Mevcut 6 yapıya ait ilk analizlerde yapıların 50 yıllık tekerrüre göre oluşabilecek maksimum debilerini akıtma açısından yeterliliği değerlendirilmiştir. Yapılardan 2 adedi meydana gelebilecek maksimum debilerini akıtmaya yeterli görülmüş, 4 adedinin ise hesaplanan debiyi akıtamadığı yapılan HEC-RAS analiz sonuçlarında gözlemlenmiştir. Sonraki analizlerde ise uygun yapıyı tespit etmeye yönelik denemeler yapılmış ve bu 4 yapının gelen suyu geçirebileceği en uygun kesit alanları tespit edilmiştir.



## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 4.1. SONUÇ

Orman yolları yıl boyunca üretim, nakliyat, koruma, planlama, ağaçlandırma gibi teknik çalışmaların yapılmasına en önemli altyapıyı oluştururlar. Bunun yanı sıra rekreasyon ve orman köylülerinin ulaşım ihtiyacını karşılamak da orman yollarının görevlerindedir. Bu nedenle orman yollarının sel, taşkın ve heyelan gibi doğal afetlerden en az etkilenecek şekilde planlanması ve tasarlanması gerekmektedir. Bu çalışmada orman yollarına inşa edilecek enine drenaj yapılarına yönelik planlama ve tasarım ilkeleri üzerinde durulmuştur. Söz konusu yapıların tasarımları hatalı olduğunda, çalışmaya konu yolda görüldüğü üzere yol kullanım dışı kalabilmektedir. Çalışmaya konu 410 kod numaralı orman yolu mevcut uzunluğu 6+000 km'dir. Yol boyunca 9 noktada toplamda 648 metre boyunca kazı ve dolgu şevinde yamacın aktığı (derinliği yer 3 m'ye kadar) tespit edilmiştir. Söz konusu akmlar yolun yapımının tamamlandığı 2018 yılını takip eden kış mevsiminde gerçekleşmiştir. Meydana gelen yamaç akmlarının çoğunlukla havza derelerinin yol ile kesiştiği, enine drenaj yapısı bulunmayan noktalarda başlayarak kenar hendeği boyunca akan suyun kazı şevini ıslatması ve desteğini zayıflatmasından kaynaklandığı görülmüştür. Ayrıca yol boyunca meydana gelen akmların bir kısmının da kazı şevi eğiminin dik olmasına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Alanda dere yatakları ve dere yatağı oluşturamamış su çıkış noktaları orman yolundan geçmesi gereken 15 adet havza alanı tespit edilmiştir. Bu havza alanlarına ait, HTG, alan ağırlıklı eğim sınıfları ve her arazi kullanım tipine göre CN (Eğri Numarası) belirlenmiştir. Yapılan bu tespitler ışığında Rasyonel Yöntem, SCS-CN Yöntemi, Kursteiner Yöntemi ve Wundt Yöntemine göre havzaların proje debileri hesaplanmıştır. Ancak Wundt Yöntemi 100 yıllık tekerrürde oluşabilecek maksimum debiyi verdiği için boyutlandırmada kullanılmamıştır. Tespit edilen 15 havzadan 6 adedinde enine drenaj yapısı mevcut olup 2 adedi hesaplanan proje debilerini geçirmeye yeterli iken, 4 adedinin dereden gelebilecek proje debisini geçirmeye yetersiz olduğu yapılan HEC-RAS analizleri sonucu anlaşılmıştır. Mevcut 6 adet yapının boyutları doğrudan açıklığı veren yöntemlerden olan Talbot Yöntemine göre de hesaplanmış ve HEC-RAS analizi sonucu tespit edilen son boyutları bulgular kısmında kıyaslanmıştır. Tesis edilen yapıların tümünde baş, kanat duvarları, temel desteği ve yapının çıkış ağzında dolgu şevi oyulmalarına engel olması için taş ya da

beton dolgu gibi gerekli kısımlar yapılmamıştır. Söz konusu bölümleri olmadan tesis edilen yapılarda gelen taşıntı materyalinin birikmesi sonucu tıkanma olabildiği gibi dolgu sevi oyuularının da meydana gelebildiği bilinmektedir. Ayrıca kesit alanı ihtiyaçtan daha dar tesis edilmesi, yapıların dereden gelen taşıntı materyali ile tıkanması ve suyun yol platformu üzerine taşmasına sebep olduğu anlaşılmıştır. Boyutları yeterli görülen 2 yapının gelen debiyi geçirmek için yeterli olmasına karşın dere yatağında herhangi bir düzenleme yapılmadığından gelen suyun yapıya giremediği ve yol platformuna doğru yayıldığı da yapılan analizlerde görülmüştür. Gelen debiyi akıtmada yeterli olmayan 4 yapı ise derelerden gelen debiyi akıtamamaları sonucunda yol platformunun su altında kalmasına, yolda bozulmalara ve yüksek maliyetli yıkımlara sebebiyet vermiş hatta birkaçının yer değıştirdiğı tespit edilmiştir. HEC-RAS analizlerinden yola çıkarak önerilen yapı boyutları ile Talbot Formülü kullanılarak hesaplanan boyutların arasında farklılıklar görülmüştür. Bu nedenle proje debilerini hesaplama ve bu debilere göre boyutlandırma yapmaya yönelik kullanılan yöntemlerin daha doğru sonuçlar verebileceğı anlaşılmıştır. HEC-RAS yazılımının enine drenaj yapısının analizlerini yaparken yapının özelliklerini kolayca tanımlamaya olanak sağlamaktadır. Hatta yapının içinde biriken taşıntı materyalinin tabanda oluşturduğu tıkanıklık ve yapının tasarımında bırakılmak istenen hava payı mesafesinin tanımlanması dahi mümkündür.

## 4.2. ÖNERİLER

- Ormanlarda üretim, planlama, koruma, ağaçlandırma gibi faaliyetlerin tamamının yapılabilmesi ulaşımına bağlıdır. Söz konusu ulaşım ihtiyacı da orman yolları kesintisiz hizmet verebildiği sürece karşılanabilmektedir. Orman yolları ayrıca orman köylüsünün ve rekreasyon amacıyla doğal ortamlarda vakit geçirmek isteyen insanların da ulaşım ihtiyacını karşılamaktadır. Orman yollarının dağlık arazilere dağılımı bakım ve onarım olanaklarını da kısıtlamaktadır. Bu nedenle yapılacak bir orman yolu uzun yıllar bakım gerektirmeksizin hizmet verebilecek şekilde ve standartlarına uygun planlanmalıdır.
- Orman yolları yapılırken dere-yol kesişim noktalarına tesis edilecek hidrolik yapılar için ayrıca bir hidrolojik analiz ve planlama yapılmalıdır. Bu yapılar inşa edilirken taşıyacağı yük, inşaat maliyeti, baş ve kanat duvarları gibi planlamaların yanı sıra havzadan gelecek su miktarı ve gelecek suyu geçirecek açıklık tespit edilmelidir. Havzadan gelecek suyun tespiti ise kapsamlı bir hidrolojik analiz neticesinde yapılabilmektedir.
- Geçmişte yüksek iş gücü ve zaman gerektirdiğinden maksimum debilerin hesaplanmasına dayalı yöntemlerin kullanılması yerine uygulanması oldukça basit olan, doğrudan açıklığı (kesit alanını) veren formüller kullanılmış ve halen kullanımı devam etmektedir. Bu yöntemlerde toplama alanının büyüklüğü ve bu alana ait topoğrafya özelliklerine göre belirlenen bir katsayıya bağlı basit bir bağıntıya dayalı olarak yapıya ait açıklık hesaplanmaktadır. Ancak bu yöntemlerin uygulama kolaylığına karşın doğruluğunun düşük olduğu da bu çalışma ile ortaya konmuştur.
- Bu nedenle maksimum debilerin belirlenmesi ve boyutlandırmanın buna göre yapılmasına dayalı yöntemlerin kullanılması daha doğru sonuçlar alınması açısından önemlidir. Gelişen bilgisayar teknolojileri ve uzaktan algılama sistemleri sayesinde maksimum debilerin hesaplanması ve hidrolik analizlerin yapılarak yapıların bu analizler doğrultusunda söz konusu debileri geçirecek şekilde boyutlandırılması da oldukça kolaylaşmıştır. Bununla birlikte sağladığı yüksek doğruluk oranı da bu yöntemlerin avantajlarındandır.

- Maksimum debiyi belirlemek amacıyla kullanılan yöntemlerde ihtiyaç duyulan; arazi kullanımı (örtüsü), toprak tipleri, eğim sınıfları, havza alanları gibi parametrelerin doğru tespit edilmesine dikkat edilmelidir.
- Orman yolunun ömrü yol ile inşa edilen sanat yapılarına bağlı olduğundan, tesis edilecek yapının hizmet ömrünün de yolun planlanan hizmet ömrüne göre belirlenmesi gerekmektedir.
- Yapının hizmet ömrü belirlendiğinde yeterli olma olasılığı hesaplanmalı ve istenilen yeterli olma olasılığına göre belirlenecek tekerrür aralığında meydana gelebilecek maksimum akımı kolayca geçirecek şekilde boyutlandırılmasına dikkat edilmelidir.
- Yapının akıtması gereken maksimum akım belirlendiğinde boyutlandırmaya yönelik hidrolik analizlerin yapılması için HEC-RAS yazılımının kullanılması önemli ölçüde sağladığı kolaylıklar nedeni ile tavsiye edilir. HEC-RAS yazılımı tespit edilen maksimum debilere göre boyutlandırma yapılırken yapının istenen her türlü özelliğinin tanımlanmasına ve analizinin kolayca yapılmasına olanak sağlamaktadır.
- Meydana gelen yağışların akışa dönüşme oranına etki eden en önemli parametre olan bitki örtüsünün tahrip edilmesi, taşkın olasılığını artıracığından gerekli görülen noktalara ait üst havzalarda arazi örtüsünü destekleyici çalışmalar yapılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Acar, H. (2005). *Orman Yollar, Ders Notu*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Teksir (82), Trabzon, Türkiye.
- Allison, C., Sidle, R.C., Tait, D. (2004). Application of decision analysis to forest road deactivation in unstable terrain. *Environmental Management* 33(2): 173–185.
- Aydın, A. (2008). "Büyük Menderes Nehri Sağ Sahil Derelerindeki Sel Kontrol Çalışmalarının İrdelenmesi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Bayoğlu, S. (1997). *Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Basım Evi ve Film Merkezi.
- Barkau, R.L. (1992). *UNET:One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels, Users Manual*, (No. HEC-CPD-66), Davis CA, Hydrologic Engineering Center.
- Bayoğlu, S. ve Hasdemir, M. (1991). Orman yollarında tesis edilen küçük hidrolik sanat yapılarının seçimi ve boyutlandırılması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 41(3-4), 17-38.
- Beven, K.J. (2001). *Rainfall-Runoff Modeling: The Primer*. Chichester, England, John Wiley & Sons.
- Celasun, H. (1974). *Betonarme köprüler ve hesap metotları*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi.
- Chow, V. T. (1964). Statistical and probability analysis of hydrologic data. İçinde *Handbook of Applied Hydrology* (Bölüm. 8-1). New York: McGraw-Hill Inc.
- Crumpler, H. L., Crumpler J. M. (1979). *Plastic Corrugated Drainage Pipe*. United States Patent No. 4,140,422. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Çalışkan, E. (2003). "Dağlık Arazide Orman Yolu Sanat Yapılarının Yerlerinin ve Boyutlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Çalışkan, U. (2007). "Karayolu Ulaşım Ağlarında Yüzeysel Drenaj Sistemleri ve Hidrolik Tasarım Esasları". Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Çitgez, T. (2011). "Sel ve Taşkın Zararlarının Önlenmesi Üzerine Bir Araştırma: Düzce-Kaynaşlı Örneği", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, Türkiye.
- Das, S. ve Paul, P. K. (2006). Selection of Site for Small Hydel Using GIS in the Himalayan Region of India. *Journal of Spatial Hydrology*, 6(1), 18-28.
- Davis, J.C. (2002). *Statistics and Data analysis in Geology*. New York: John Wiley&Sons.
- Dawson, A. (Ed.), (2008). *Water in road structures: movement, drainage & effects*. (Cilt 5). Nothingam, United.Kingdom, Springer Science & Business Media.
- Demir, M. (1998). Orman yollarında drenaj problemi ve çözüm yolları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 48(1-2-3-4), 81-99.

- Demir, S. (2019). "CBS yardımıyla orman yolu ve sanat yapılarının taşkın riski açısından değerlendirilmesi (Artvin Tütüncüler Orman İşletme Şefliği örneği)", Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, Türkiye.
- Döner, O. (2012). "Orman Yolu Hidrolik Sanat Yapılarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Yardımı İle Tespiti ve Boyutlandırılması (Vezirköprü Orman İşletme Müdürlüğüne Sarıçiçek Orman İşletme Şefliği Örneği)", Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, Türkiye.
- Eker, R. (2018). "Heyelan ve Kar Kaynaklı Doğal Afetlerin İzlenmesi ve Haritalanmasında Modern Uzaktan Algılama Tekniklerinin Kullanılması", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, Türkiye.
- Eker, R. ve Aydın, A. (2014). Ormanların heyelan oluşumu üzerindeki etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15(1),80-84.
- Erdaş, O. (1981). Erdaş, O., 1981, Orman Yol Planlaması Yönünden Köprüler ve Tabliyeli Menfezler. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 4(1), 121-128.
- Erdaş, O. (1997). *Orman Yolları Cilt I*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi.
- Görecelioglu, E. (1996). Ağaçlandırma Alanlarında Su Ve Toprak Koruma Amacıyla Kullanılan Teraslar Ve Orman Yollarında Erozyon Kontrolü. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 46(2), 23-36.
- Görcelioglu, E. (2004b). *Orman yolları-erozyon ilişkisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları No: 4460/ 476.
- Görmez, F. (2012). "Orman Yollarında Sanat Yapılarının Planlama ve Yapım Esaslarının İrdelenmesi (Dereköy Orman İşletme Şefliği Örneği)", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Gül A. (1999). "Cross-Drainage&Culvert Design On Highways", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Greis, P.N. ve Wood, F.E. (1981). Regional Flood Frequency Estimation and Network Design. *Water Resources Reserach*, 17(4):1167-1177.
- Gucinski, H., Furniss M.J., Ziemer R.R., Brookes M.H. (2001). *Forest Roads: A Synthesis of Scientific Information*, Portland, Oregon, U.S. Dpartmen of Agriculture, Forest Services, Pasific Northwest Research Station.
- Haan, C.T. (1977). *Statistical Methods in Hydrology*. Ames, Iowa, The Iowa State University Press.
- Hawkins, R.H., Hjempfelt, A.T. ve Zevenberger, A.W. (1985). Runoff Probability, Storm Depth, and Curve Numbers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(4), 330-340.
- Hjempfelt, A.T. (1982). Closure to Empirical Investigation of the Curve Number Technique. *Journal of The Hydraulics Division-ASCE*, 108(4), 614-616.

- Jain M. K., Mishra, S.K. ve Singh, V.P. (2006). Evaluation of AMC-Dependent SCS-CN-Based Models Using Watershed Characteristics. *Water resources menagement*, 20(4), 531-552.
- Johnson, R.R. (1998). An Investigation of Curve Number Applicability to Watersheds in Excess of 25000 Hectares (250 km<sup>2</sup>). *Journal of Environmental Hydrology*, 6, 1-6.
- Kollersberger, M. (2009). "Hydrologische Modellierung für die Planung und Durchführung von erweiterten Hochwasserschutzmaßnahmen am Goiserer Weißenbach, Institut für Alpine Naturgefahren", Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Ludlow, C.D. (2009). "Flood Modeling in a Data-Poor Region: A Satellite Data-Supported Flood Model for Accra, Gana", Master of the Arts Thesis, University of Sussex, Brighton, United Kingdom.
- Maidment, D.R. (2002). *ArcHydro: GIS for Water Resources*. California: Esri Press.
- Mayer, H., Aksoy H. (1998). *Türkiye Ormanları (Walder der Türkei)*, Bolu, Orman Bakanlığı Yayın no: 038, Batı Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayın no: 2.
- Mishra, S.K. ve Singh, V.P. (1999). Another Look at SCS-CN Method. *Journal of Hydrological Engineering*, 4(3), 257-263.
- Mockus, V. (1964). *Hydrologic Soil Groups, National Engineering Handbook, Section 4*, böl. 7 (Reprinted with minor revisions, 1972), Washington D.C. United States Department of Agriculture.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. ve Williams, J.R. (2001). *Soil and Water Assesment Tool, Theoretical Documentation and User's Manual*. Ver.2000, Grassland, Texas, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service,
- OGM, (2008). Orman Yolları Planlaması, Yapımı Ve Bakımı, Tebliğ No: 292, Ankara.
- Özçelik, N. (1982). *Sanat Yapıları*. İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- Özdemir, H. (2007), SCS-CN Yağıs-Akış Modelinin CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Uygulanması: Havran Çayı Havzası Örneği (Balıkesir). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(2), 1-12.
- Öztürk, T., Şentürk, N., Akgül, M. (2008). Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Orman Yollarında Sanat Yapısı İhtiyacının ve Konumunun Belirlenmesi. *İçinde II. Uzaktan Algılama Sempozyumu*, (ss.544-553).
- Pantha, B.R., Yatabe, R., Bhandary, N.P. (2008). GIS-based landslide susceptibility zonation for roadside slope repair and maintenance in the Himalayan region. *Episodes Journal of International Geoscience*, 31(4): 384-391.
- Plastic Pipe Institute, Culverts & Highway Drainage, Erişim Tarihi: 15.04.2020, <<https://plasticpipe.org/drainage/culvert-highways.html>>.
- Reddy, G.P.O., Maji, A.K. ve Gajbhiye, K.S. (2004). Drainage Morphometry and its Influence on Landform Characteristics in a Basaltic Terrain, Central India-A Remote Sensing and GIS Approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1):1-16.

- Schwab, G.O., Frevert, R.K., Eedminster, T.W. ve Barnes, K.K. (1981). *Soil and Water Conservation Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- SCS, (1964). *National Engineering Handbook Supplement A, Section 4*, böl.10, Washington D.C., USA, United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- SCS, (1972). *National Engineering Handbook (NEH) Section 4. Hydrology*. Washington D.C., USA, United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- SCS, (1985). *Hydrology-National Engineering Handbook, Section 4*. böl. 10, Washington D.C., USA, United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- SCS, (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds, TR-55*, Washington D.C., USA, United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- Seçkin B. (1977). Orman Yollarının Teknik Özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 27(2), 125.
- Seçkin Ö.B. (1978). Orman Yollarında Drenaj. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 28(1), 149-165.
- Sidle, R.C., Pearce, A.J., O'Loughlin, C.L. (1985). *Hillslope Stability and Land Use*. Washington, D.C., USA, American Geophysical Union.
- Singh, V. P. & Singh, V. P. (1992). *Elementary hydrology*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, ss. 179-182.
- Sonuç T. (1977). *Karayolları Tekniği*. İstanbul: Sermet Marbaası.
- Spellerberg, I.F. (2002). *Ecological Effects of Roads*. Aotearoa, New Zealand: CRC Press.
- Swanson, F.J., Dyrness, C.T. (1975). Impact of clear-cutting and road construction on soil erosion by landslides in the western Cascade Range, Oregon. *Geology* 3(7): 393-396.
- Tarboton, D. G., Bras, R. L. ve Rodrigues-Iturbe, I. (1991). On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Water Resources Research*, 5(1): 81-100.
- USACE, (2010a). *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual*. Davis, CA., US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center,
- Usul, N. (2001). *Engineering Hydrology*. Ankara: Middle East Technical University Press.
- Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet AÇIL  
Doğum Tarihi ve Yeri : 28/06/1990 BOLU  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : ahmetacil@karabuk.edu.tr

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Orman Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2020
Lisans	Orman Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2016
Lise	Bilişim Teknolojileri	60.Yıl Ç.P. Lisesi	2010

## YAYINLAR

**Açıl, A.,** Eker, R., Aydın, A., Duyar, A., (2019). Orman yolu hidrolik sanat yapılarının boyutlandırılmasına yönelik Hec-Ras geometri verisinin üretilmesinde insansız hava aracı sistemlerinin kullanım imkânları. 3. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, Diyarbakır, Türkiye, 435-444. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

Duyar, A., **Açıl, A.,** (2020). Effects of Ecotourism Activities in Forests on the Soil, Selected Academic Studies From Turkish Tourism Sector, Editör: Türkmen Fatih, Peter Lang GmbH, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 340, ISBN:978-3-631-81099-6, İngilizce (Bilimsel Kitap)