T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN YOLU ÜST YAPI BOZULMALARININ UÇANGÖZ İLE İZLENMESİ

FEYZİ BOZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ YILMAZ TÜRK

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN YOLU ÜST YAPI BOZULMALARININ UÇANGÖZ İLE İZLENMESİ

Feyzi BOZ 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

Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz TÜRK

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz TÜRK
Düzce Üniversitesi _____

Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN
Düzce Üniversitesi _____

Doç. Dr. Burak ARICAK
Kastamonu Üniversitesi _____

Tez Savunma Tarihi: 06/08/2019

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.

06 Ağustos 2019

Feyzi BOZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime başladığım tarihten itibaren danışmanlığımı üstlenerek, bana bu konuda çalışma olanağı sağlayan, bilimsel çalışmayı öğreten, yakın ilgi ve desteği ile çalışmalarımı yönlendiren-yol gösteren, çalışmalarıma ışık ve ilham kaynağı olan, destekleyen hocam Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz TÜRK'e teşekkür ederim.

Desteklerinden dolayı Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN, Dr. Remzi EKER, ve Doç. Dr. Burak ARICAK hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca arazi çalışmalarımda yardımlarını aldığım Vuralhan ÖZÇELİK'e ve Yalçın SEFER'e teşekkür ederim.

Yardım ve desteğini gördüğüm Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü Kardüz Orman İşletme Şefliği personeline teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, 118O309 numaralı TÜBİTAK Projesiyle desteklenmiştir.

06 Ağustos 2019 **Feyzi BOZ**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ vii
ÇİZELGE LİSTESİ viii
KISALTMALAR ix
SİMGELER x
ÖZET xi
ABSTRACT xii
1. GİRİŞ 1
1.1. ORMAN YOLLARI 3
1.1.1. Yol Üst Yapısı 4
1.1.2. Üst Yapının Bozulmasına Etki Eden Faktörler 5
1.1.3. Üst Yapı Bozulma Tipleri 6
1.1.4. Üst Yapının İzlenmesinde Kullanılan Yöntemler 7
1.1.4.1. *Geleneksel (Manuel) Yöntemler* 8
1.1.4.2. *Otomatik Yöntemler* 9
1.2. UÇANGÖZ SİSTEMLERİ 10
2. MATERYAL VE YÖNTEM 14
2.1. MATERYAL 14
2.1.1. Araştırma Alanı 14
2.1.1.1. *Yeri (Mevkii)* 14
2.1.1.2. *Çalışma Alanı Orman Varlığı ve Yol Ağı Durumu* 15
2.1.1.3. *Jeolojik Yapı* 16
2.1.1.4. *İklim* 17
2.1.1.5. *Bitki Örtüsü* 17
2.2. YÖNTEM 18
2.2.1. Otonom Uçangöz Tabanlı Fotogrametrik Yöntemlerle Yol Üst Yapısı Bozulmalarının İzlenmesi 18
2.2.1.1. *Structure from Motion (SfM) Algoritması* 18
2.2.1.2. *Uçangöz ile Sayısal Görüntülerin Alınması* 19
2.2.2. Nokta Bulutu Verilerinin İşlenmesi ve Yolun Sayısal Yüzey Modelinin (SYM) Elde Edilmesi 24
2.2.3. Alansal Bozulma Haritalarının Oluşturulması 25
2.2.4. Hacimsel Bozulma Haritalarının Oluşturulması 25
2.2.5. Meteorolojik Verilerin Elde Edilmesi 25
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 26
3.1. YOL ÖZELLİKLERİ VE YOLUN SAYISAL YÜZEY MODELİNE AİT BULGULAR 26

3.2. YOL ÜST YAPISINDA ALANSAL VE HACİMSEL BOZULMALARA AİT BULGULAR 27
3.3. METEOROLOJİK VERİLERE AİT BULGULAR 35
4. SONUÇ VE ÖNERİLER 37
5. KAYNAKLAR 39
ÖZGEÇMİŞ 45

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Orman yollarında üst yapı (OGM, 2008). 4
Şekil 1.2. Üst yapı performansını etkileyen faktörler ve birbirleri ile olan etkileşimler (Tighe ve diğ., 2003). 5
Şekil 1.3. Yol platformundaki bozulmalar. 7
Şekil 1.4. Geleneksel yöntemlerden cetvel yöntemi. 9
Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresi. 14
Şekil 2.2. Çalışma alanı orman yol ağı haritası. 16
Şekil 2.3. Kardüz Orman İşletme Şefliği meşcere haritası. 18
Şekil 2.4. UgGS uçuş planlama yazılımı arayüz görüntüsü ve örnek uçuş planı 20
Şekil 2.5. YKN'nin alana işaretlenmesi ve Cors-GPS ile koordinatlarının alınması. 21
Şekil 2.6. DJI Mavic Pro model Uçangöz ve uzaktan kumandası (sağda). 22
Şekil 2.7. Arazide Uçangözle otonom uçuşlar. 23
Şekil 2.8. SYM Farkları yöntemi. 24
Şekil 2.9. Agisoft yazılımında elde edilen yol yüzeyi. 25
Şekil 3.1. Çalışma alanına ait DEM verisi (solda) ve Ortofoto verisi (sağda). 26
Şekil 3.2. Çalışma alanı yolun sayısal yükseklik modeli (en düşük arazi kotu 1144,80 m, en yüksek arazi kotu 1162,05 m). 27
Şekil 3.3. Çalışma alanı Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki alansal aşınma ve birikme miktarı. 28
Şekil 3.4. Eylül 2017-Kasım 2017 dönemi alansal bozulmalar. 29
Şekil 3.5. Kasım 2017-Nisan 2018 dönemi alansal bozulmalar. 29
Şekil 3.6. Nisan 2018-Temmuz 2018 dönemi alansal bozulmalar. 30
Şekil 3.7. Temmuz 2018-Kasım 2018 dönemi alansal bozulmalar. 30
Şekil 3.8. Çalışma alanı Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki hacimsel aşınma ve birikme miktarı. 31
Şekil 3.9. Eylül 2017-Kasım 2017 dönemi hacimsel bozulmalar. 32
Şekil 3.10. Kasım 2017-Nisan 2018 dönemi hacimsel bozulmalar. 33
Şekil 3.11. Nisan 2018-Temmuz 2018 dönemi hacimsel bozulmalar. 33
Şekil 3.12. Temmuz 2018-Kasım 2018 dönemi hacimsel bozulmalar. 34
Şekil 3.13. Çalışma alanı Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki dönemsel yağış miktarları. 36

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Orman yolları geometrik standartları (OGM, 2008). 3
Çizelge 1.2. Üst yapı bozulmalarının tipine ve türüne göre sınıflandırılması (Paterson,1987). 6
Çizelge 1.3. Üst yapı değerlendirilmesinde otomatik yöntem ve geleneksel yöntemin karşılaştırılması (Attoh-Okine ve Adarkwa, 2013). 8
Çizelge 2.1. Kardüz Yaylası meteoroloji istasyonu bazı iklim verileri (m, DMİ, 2019)..... 17
Çizelge 3.1. Çalışma alanı Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki alansal aşınma ve birikme miktarı. 28
Çizelge 3.2. Çalışma alanı Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki hacimsel aşınma ve birikme miktarları..... 31
Çizelge 3.3. Çalışma alanı dönemsel ortalama yağış miktarı. 35
Çizelge 3.4. Yağış miktarı verileri ile alansal ve hacimsel aşınma ile birikme miktarları. 36

KISALTMALAR

GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
İHA	İnsansız Hava Aracı
LIDAR	Light Detection and Ranging (Lazer Görüntüleme Algılama ve Değişme)
RCRS	Road Condition Rating System (Yol Durumu Derecelendirme Sistemi)
ROA	Remotely Operated Aircraft (Uzaktan Yönetimli Hava Aracı)
RPA	Remotely Piloted Vehicle (Uzaktan Pilot Kontrol)
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
SAM	Sayısal Arazi Modeli
UAS	Unmanned Aircraft Systems (İnsansız Uçak Sistemleri
UAV	Unmanned Aerial Vehicles (İnsansız Hava Aracı)
YKN	Yer Kontrol Noktaları

SİMGELER

Ha	Hektar
km	Kilometre
m	Metre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
%	Yüzde
°	Derece

ÖZET

ORMAN YOLU ÜST YAPI BOZULMALARININ UÇANGÖZ İLE İZLENMESİ

Feyzi BOZ
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz TÜRK
Ağustos 2019, 44 sayfa

Orman yolu üst yapısındaki bozulma araçların güvenli seyrini ve trafik güvenliğini etkileyen önemli bir faktördür. Bu durum orman yollarında her daim üst yapının stabil olmasını gerektirmektedir. Bu çalışmanın amacı; yol üst yapısında meydana gelen alansal ve hacimsel bozulmaları (aşınma, birikme) Uçangöz ile belirlemektir. Tez çalışması kapsamında Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü (Düzce), Kardüz İşletme Şefliği sınırları içerisindeki üretim ve rekreasyonel araç kullanımına açık olan 5,9 km'lik 318 kodlu B Tipi orman yolunun, üst yapısı yenilenen 200 metrelik kısmı seçilmiştir. Çalışma sonucunda; 2017 Eylül ve 2018 Kasım uçuş verileri karşılaştırıldığında; 14 ay süreli alansal bozulmalara ait incelemede toplam -1602,76 m^2 alanda aşınma (ortalama -114,48 m^2/ay – (-3,82) m^2/gün) ve 546,34 m^2 birikme (ortalama 39,02 m^2/ay – 1,30 m^2/gün) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca hacimsel bozulmalara ait incelemede toplam -62,15 m^3 aşınma (ortalama -4,44 m^3/ay – (-0,15) m^3/gün), 18,75 m^3 birikme (ortalama 1,34 m^3/ay – 0,05 m^3/gün) olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre alansal ve hacimsel bozulma miktarlarının zamansal olarak farklılık göstermekte olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma ile Uçangöz sistemlerinin, yol üst yapısının izlenmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Anahtar sözcükler: Bozulma, Orman yolu, Otonom uçuş, Üst yapı.

ABSTRACT

MONITORING OF FOREST ROAD PAVEMENT DEGRADATION USING UAVs

Feyzi BOZ
Düzce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forest Engineer
Master's Thesis
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yılmaz TÜRK
August 2019, 44 pages

The degradation, which is the result of this superficial flow in the road platform superstructure, is an important factor that affects the safe course and safety of the vehicles. This situation requires that every pavement of the forest roads be stable. Within the scope of the study, Golyaka Forest Management Directorate (Duzce), 5.9 km, 2 km upper structure, which is open to the use of vehicles for production and recreational, and the first 200-meter section of the 318-coded Type B forest road which is to be renewed in August 2017 were selected. The aim of this study is to determine the degradation (wearing, accumulation) rate of the surface and volumetric basement of the pavement of forest road by UAV. According to the results of the study; 2017 September and 2018 November flight data were compared and fourteen months (September 2017 - November 2018 periods) periodical analysis of total wearing of -1602.76 m^2 (mean -114.48 m^2/month – (-3.82) m^2/day) and 546.34 m^2 (mean 39.02 m^2/month – 1,30 m^2/day) accumulation were determined. In addition to this, volumetric degradation in the examination; total accumulation of 18.75 m^3 (mean 1.34 m^3/month – 0.05 m^3/day) and -62.15 m^3 (mean -4.44 m^3/month – (-0.15) m^3/day) wearing was determined. According to these results; it was determined that the surface and the volumetric amount of degradation varied in time. In conclusion, this study demonstrated the usefulness of UAVs in monitoring and evaluating the road superstructure.

Keywords: Autonomous flight, Degradation, Forest Road, Pavement.

1. GİRİŞ

Orman yollarının oluşturduğu orman yol ağının düzenli ve kapsamlı olması halinde, başta koruma olmak üzere ormana yapılacak her türlü bilimsel ve teknik müdahale ile her tür orman ürününün orman dışına taşınarak kıymetlendirilmesini sağlamak mümkün olmaktadır. Ayrıca orman içi ağaçlandırma, orman yangınlarında mahalline hızlı ulaşım hizmetinin görülmesi yine orman yolları ile olmaktadır. Bu bakımdan orman yolları ormancılığın uygulanabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır (Erdaş, 1997).

Ormanların işletilmesinde, orman yollarının kullanılması ve bakımlarının amacına uygun olarak planlanması önemli etkenlerdendir. Gerçekte orman yolları, gerektiğinde uygulanan stabilize malzemelerle kaplanarak olanaklar açısından düşük standartlarda inşa edilir ve bu standartların sürekliliği ve etkili bakımı kabul edilir maliyetlerle sağlanabilir (Bayoğlu, 1997).

Orman yolları, Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından yürürlüğe giren 292 sayılı tebliğinde ana orman yolu, tali orman yolları (A tipi tali orman yolları, B tipi tali orman yolları) ve traktör yolları olarak 3 ana bölüme ayrılmıştır. Ülkemizdeki orman yollarının büyük çoğunluğu B tipi tali orman yolundan oluşmakta ve bunların çoğu sınırlı oranda üst yapı içermektedir.

Orman yollarının üst yapısı da tüm yollar gibi çevresel faktörler (sıcaklık, nem, donma-erime döngüsü, yağış vb.), trafik koşulları (trafik yükü, dingil sayısı, lastik basıncı vb.), üst yapı inşaatının yapım kalitesi gibi faktörlerin zaman içerisinde etkisiyle bozulmalar ve değişimler kaçınılmaz olmaktadır. Bundan dolayı yollarda belirli aralıklarla bakım ve onarım çalışmaları yapılmaktadır.

Fannin ve Lorbach'a (2007) göre yol bakımının en önemli amaçları şunlardır;

- Yol kullanımı için özel tehlike alanlarını belirlemek,
- İşlevsel ve etkin drenaj için koşullar sağlamak ve üst yapıdaki ve diğer kısımlardaki suları toplamak ve bertaraf etmek,
- Sedimantasyona karşı koruma sağlamak,

- Üst yapının ve tekerlek yükünün yapısal bütünlüğünün alt zemin toprağına uygun şekilde aktarılmasını sağlamak için üst yapının toplam kalınlığını koruyarak iyi bir sürüş yüzeyi sağlamak,
- Yol platformunda oluşan çukurları, kabarmaları ve tekerlek izi oluşumlarını ortadan kaldırmak.

Orman yollarının periyodik bakımı, taşımacılığın sürekli uygulanması ve önemli onarım maliyetlerinden kaçınılması açısından önemlidir (Bayoğlu, 1997). Yolların genel bozulmalarının tespitinde ve ölçülmesinde geleneksel yöntemler (insan gözlem ve analizlerine dayanarak) ve otomatik yöntemler adı altında iki ana yöntem bulunmaktadır (McGhee ve diğ., 2004; Attoh-Okine ve Adarkwa, 2013).

Orman yollarında üst yapının bozulmasının tespitinde ve ölçülmesinde, geleneksel yöntem olan manuel yöntemle yapılan çalışmaların çoğunlukta olduğu görülmüştür (Ciobanu ve diğ. 2012; Nasiri ve diğerleri,, 2012; Săceanu, 2013). Bununla birlikte, geleneksel yöntem, değerlendiricinin deneyimine dayandığından, ölçüm sonuçları değişebilir. Ek olarak, zaman alması nedeniyle, ölçülen verilerin boyutu sınırlıdır, iş yükünün çok olması ve ölçüm sırasında personel güvenliği risk altındadır. Bu da yöntemin dezavantajları arasındadır (Bogus, 2010).

Otomatik yöntemde ise bozulmalar, lazer tarama sistemleri, optik sistemler, ultrasonic ve lazer nokta tabanlı kesikli sistemler gibi donanımlar yardımıyla tespit edilebilmektedir. Otomatik yöntemler bozulmaların daha hassas bir biçimde ölçülmesi ve geleneksel yöntemin getirmiş olduğu dezavantajları sınırlandırması nedeniyle karayolları literatürüne girmiştir (Herr, 2001, 2009; Wang, 2005; Wank, 2011; Changk ve diğ., 2005; Li ve diğ., 2009; Huang ve diğ., 2011; Tsai ve diğ., 2013).

Bu tez kapsamında çalışma alanı olarak seçilen Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü (Düzce), Kardüz İşletme Şefliği içerisindeki 318 kodlu B Tipi orman yolunun 200 metrelik kısmı incelenmiştir. Söz konusu yol üst yapısındaki bozulmalar 14 aylık zaman diliminde Uçangöz otonom uçuşlarıyla izlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı;

- Yol üst yapısında meydana gelen alansal ve hacimsel bozulmaları (aşınma, birikme) Uçangöz ile belirlemek,
- Elde edilen sonuçlar doğrultusunda önerilerde bulunmaktır.

1.1. ORMAN YOLLARI

Orman yollarını karayollarından ayıran önemli özellikler inşaat amaçları, planlama ilkeleri ve standartları açısından farklıdır. Ayrıca teknik, ekonomik ve orman ürünleri taşımacılığı açısından da farklılıklar vardır (Hasdemir ve Demir, 2000)

Bir yıl boyunca ülkemizde orman yollarında taşınacak emval miktarı, yapılış amaçları, trafik yoğunluğu, hareketli araçların büyüklüğü ve tonajları dikkate alınarak ana orman yolu, tali orman yolları (A tipi ve B tipi tali orman yolları) ve traktör yolu olmak üzere 3 ana parçaya ayrılmıştır (OGM, 2008) (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Orman yolları geometrik standartları (OGM, 2008).

Yolun Tipi	**Birimi**	**Ana Orman Yolu**	**Tali Orman Yolu**				**Traktör Yolu**
			A - Tipi	**B - Tipi**			
				SBT	**NBT**	**EBT**	
Platform genişliği	M	7	6	5	4	3	3,5
Şerit sayısı	Adet	2	1	1	1	1	1
Azami eğim	%	8	10	9	12	12	20
Asgari kurp yarıçapı	M	50	35	20	12	8	8
Şerit genişliği	M	3	3	3	3	3	3
Banket genişliği	M	0,50	0,50	0,50	0,50	0.50	-
Hendek genişliği	M	1,00	1,00	1,00	1,00	0.50	-
Üst yapı genişliği	M	6	5	4	3	3	-
Köprü genişliği	M	7+(2x0,6)	6+(2x0,6)	5+(2x0,6)		4+(2x0,6)	-

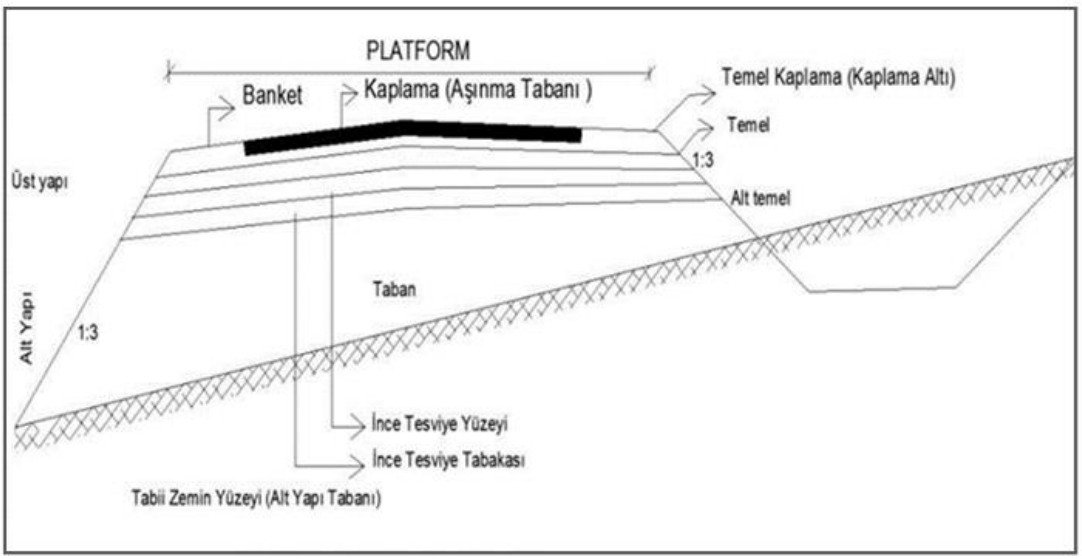
SBT: Standartları Yükseltilmiş B Tipi Tali Orman Yolu, NBT: Normal B Tipi Tali Orman Yolu, EBT: Ekstrem B Tipi Tali Orman Yolu

Tüm mühendislik yapılarında olduğu gibi yol yapımında da yapısal amaçlar için genel prensip; yapının işlevine bağlı olarak, araçlardan ve diğer dış etkilerden kaynaklanan statik ve dinamik etkilere ve yapıyı oluşturan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanan iç etkilere bağlı olarak, gerek kendi bünyesinde ve gerekse oturduğu doğal zeminde kalıcı deformasyonlar meydana getirmeden, yeterli güvenlik ve teknik şartnameye uygun bir yol yapısının oluşturulmasıdır (Hasdemir ve Demir, 2000;

Erdaş, 1980).

1.1.1. Yol Üst Yapısı

Orman yollarının amaç fonksiyonların sürekliliğini sağlamak, güvenli araç trafiği ve sürüş dinamiklerini korumak için en önemli unsurlardan biri yol üst yapısıdır. Orman yolu, biri altyapı diğeri üst yapı olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Alt yapı kazı ve dolgu ve sanat yapılarından (köprü, istinat duvarı, menfez), üst yapı ise alt taban ve trafik yüküne maruz kalan temel katmanlardan oluşmaktadır (Şekil 1.1) (OGM, 2008).



Şekil 1.1. Orman yollarında üst yapı (OGM, 2008).

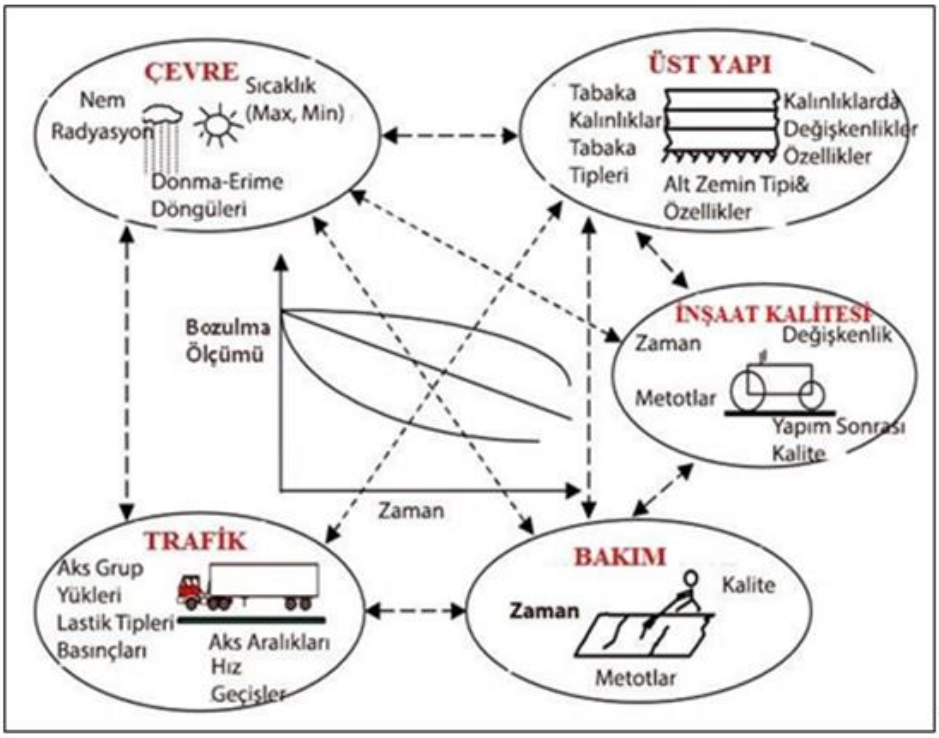
Orman yollarının sürekliliğini sağlamada ana etkenlerden biri olan üst yapı dört ana işlevde incelenebilir (Adlinge ve Gupta, 2013).

Bu işlevler aşağıda gösterilmiştir;

- Düzgün sürüş güvenliği sağlamak,
- Yeterli yüzey sürtünmesi sağlamak (kayma direnci),
- Alt zemini koruma özelliği sağlanmak,
- Su yalıtımını sağlamaktır.

1.1.2. Üst Yapının Bozulmasına Etki Eden Faktörler

Alt yapı üzerine inşa edilen üst yapı zamanla iklim etkileri, trafik yükü, uygulanan bakım, kullanılan malzemeler ve diğer etkiler nedeniyle zamanla bozulmaktadır (Tighe ve diğ., 2003). Yapısal bozulmaya neden olan inşaat kalitesi, bakım, alt zemin, trafik ve çevresel faktörler ve birbiriyle olan etkileşimleri Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Üst yapı performansını etkileyen faktörler ve birbirleri ile olan etkileşimler (Tighe ve diğ., 2003).

İnşaat kalitesi: Üst yapının bozulmasında etkili olan önemli elemanların başındadır ve alt zemin, bakım, çevre ve alt zemin durumu ile doğrudan etkilidir. Üst yapı inşaatı sırasındaki uygun olmayan nem koşulları, üst yapı performansını ve kararlılığını, kullanılan malzemenin kalitesini ve sıkıştırma sonrası katman kalınlığının doğruluğunu doğrudan etkiler (Adlinge ve Gupta, 2013). Ayrıca, toprak ve üst yapı malzemeleri de üst yapıyı önemli ölçüde etkiler. Çeşitli çevresel koşullar altında trafik yüklerinin iyi bir şekilde desteklenmesi için yüksek kaliteli malzemeye ihtiyaç vardır (Fwa, 2005).

Bakım: Bu etken üst yapının sürekliliğini sağlamada önemli bir faktördür. Bu nedenle, her yol düzenli bir şekilde bakım gerektirmektedir, böylece istenilen seviyede hizmet verebilir. Bakım, yolun iyi hizmet vermesini sağlar, diğer kaynakları da korur ve yol sürüş güvenliği sağlar (Erdaş, 1997; Nzfoa, 2011).

Alt zemin: Uygulanan tekerlek yüklerini destekleyen toprak katmanı olarak tanımlanmaktadır. Alt zemin trafik yükünü desteklemeyecek kadar zayıfsa, aşırı gerilir ve sonunda yüksek performans hatası verir. Alt zemin bileşimindeki değişiklik, üst yapı tasarımcısı tarafından yeterince sağlanmamaktadır, ancak üst yapı performansında önemli farklılıklar yaşanacaktır. (Adlinge ve Gupta, 2013).

Trafik: Üst yapı performansını etkileyen ana faktördür (Kaare ve diğ., 2012). Üst yapının performansını etkileyen trafik özellikleri; trafik yükü, trafik hacmi, lastik basıncı ve araç hızıdır. Trafik yükü, üst yapı ve alt zemin üzerinde gerilme oluşturur ve kademeli olarak üst yapının bozulmasına katkıda bulunur. Örneğin ağır yükler yüksek derecede yarılma ve tekerlek izi oluşumuna sebep olur (Fwa, 2005).

1.1.3. Üst Yapı Bozulma Tipleri

Paterson (1987)'e göre genel olarak üst yapı kusurlarına göre; çatlaklar, ayrılmalar ve kalıcı bozulmalar olarak üç ana bölüme ayrılır (Çizelge 1.2). Bu üç ana bölüm karayolları için ayrılmış olsa da genel olarak orman yollarında ayrışma ve deformasyon türü bozulmalar olmaktadır.

Çizelge 1.2. Üst yapı bozulmalarının tipine ve türüne göre sınıflandırılması (Paterson, 1987).

Türü	Tipi	Açıklama
Çatlamalar	Timsah Sırtı Çatlamalar	R<300 mm birbirinden ilişkisiz poligonlar
	Boyuna Çatlamalar	Üst yapı boyunca boyuna çizgi çatlamaları
	Enine Çatlamalar	Üst yapı boyunca enine çizgi çatlamaları
	Düzensiz Çatlamalar	Farklı model olmaksızın birbirinden ilişkisiz çatlaklar
	Harita Tipi Çatlamalar	R<300 mm birbirinden ilişkisiz poligonlar
	Blok Çatlamalar	1 m'den daha büyük dikdörtgen model içindeki çizgi çatlakların kesişmesi
Ayrışmalar	Çukurlar	Yüzeyde açık oyuklar (>150 mm çap; >50 mm derinlik)
	Sökülmeler	Yüzeyden taş parçalarının kaybı
	Kenar kırılmaları	Yüzey kenarındaki parça kayıpları
Deformasyonlar	Tekerlek İzi Oluşumu	Tekerlek izleri boyunca boyuna depresyonlar(Şekil1.3)
	Depresyon	Yüzeydeki kâse şeklindeki depresyonlar
	Tümsek (Yığın)	Yüzeydeki sınırlanmış yükselme
	Kabarmalar	Yakın mesafedeki enine depresyonlar.
	Ondülasyon	Uzun mesafedeki enine depresyonlar (5 m'den büyük)
	Pürüzlülük	Tekerlek izleri boyunca üst yapı yüzeyinde düzensizlikler

Şekil 1.3. Yol platformundaki bozulmalar.

1.1.4. Üst Yapının İzlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Üst yapıdaki aksamalar, özellikle yüksek hız ve yoğun trafiğin trafik güvenliği açısından önem taşıdığı yollarda kontrol edilmektedir. Çünkü üst yapının kalan ömrünü belirlemek, optimum bakım süresini ve ne kadar bakım gerektirdiğini belirlemek, üst yapının bozulma tipini ve miktarını belirlemek için gereklidir (Brockenbrough ve Boedecker, 2003).

Üst yapının değerlendirilmesi, bakım ve onarımla sınırlı kaynakların uygun bir zamanda kullanılmasında da etkilidir. (Haas ve diğ., 1994; Hudson ve diğ.,1987). Üst yapı durumunun belirlenmesinde toplanan veriler dört gruba ayrılır: degredasyon, pürüzlülük (sürüş kalitesi), yapısal kapasite ve kayma direnci (Attoh-Okine ve Adarkwa, 2013).

Üst yapıdaki bozulmayı ölçmek için kullanılan yöntemler geleneksel (manuel) veya otomatik yöntemler olarak ikiye ayrılır. Her iki yöntem de zaman, güvenlik, nesnellik, maliyet, veri büyüklüğü, veri yönetimi, işveren büyüklüğü ve kapsamı açısından farklılık gösterir. (Attoh-Okine ve Adarkwa, 2013) (Çizelge 1.3). Bu yöntemlerin ikisi de farklı ülkeler tarafından sürekli olarak kullanılmakta, bozulma tipi, sertlik derecesi ve mevcut bozulma miktarı değerlendirilir (McGhee ve diğ., 2004).

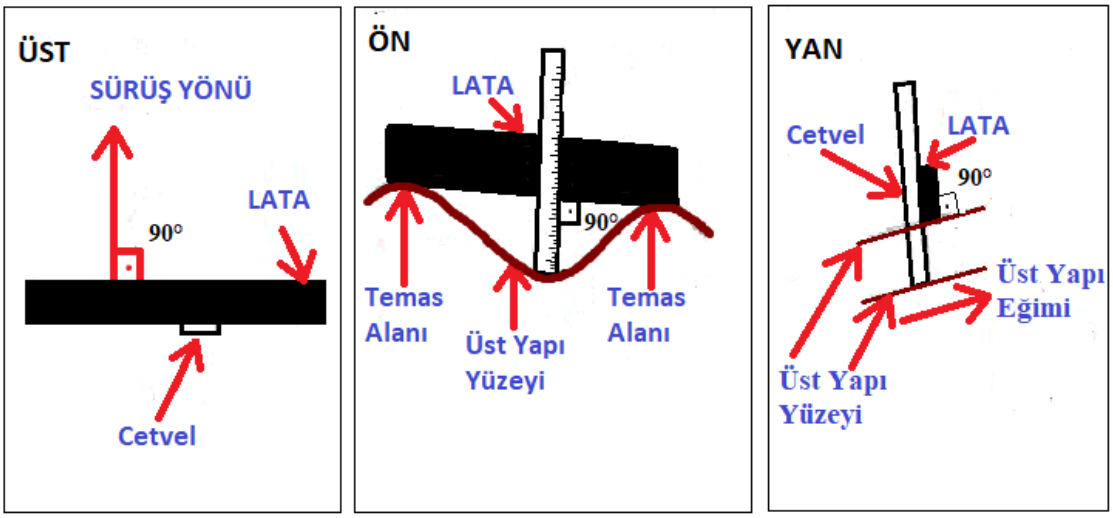
Çizelge 1.3. Üst yapı değerlendirilmesinde otomatik yöntem ve geleneksel yöntemin karşılaştırılması (Attoh-Okine ve Adarkwa, 2013).

	Otomatik Veri Toplama	**Geleneksel (Manuel) Veri Toplama**
Zaman	Veri toplama zamanı kısadır	Uzun veri toplama zamanı söz konusudur
Güvenlik	Verilerin toplanması daha Güvenlidir	Veri toplanması sırasında personel risk altındadır
Objektiflik	Objektif ölçüme dayalıdır	Personelin tecrübesine bağlı olduğu için genellikle sübjektiftir
Maliyet	Donanım maliyetleri çok Pahalıdır	Kısmen daha az pahalı
Veri Boyutu	Donanımın kapasitesine bağlı olarak geniş miktarda veri toplama ve depolama mümkündür	Birimler belli bir zaman içinde sadece az miktarda veri toplayabilir
Veri yönetimi	Sübjektif yazma hataları yoktur	Sübjektif yazma hataları
İşverenler	Birimlerin işçi sayısını azaltılması için uygundur	Değerlendirme personeli için iş kaynağı
Kapsam	Veri toplama araçlarının tekerlek izlerinden dolayı yol yüzeyini tamamen kaplamak için çoklu tekrarlara ihtiyaç duyulabilir	Denetleyiciler yol genişliğini kısmen kolay kaplayabilir

1.1.4.1. *Geleneksel (Manuel) Yöntemler*

Geleneksel yöntemlerde, araştırma alanındaki tüm değerlendirmeler (bozulmanın tipi, şiddeti ve boyutu), değerlendirmeyi yapan değerlendiriciye bağlıdır. Geleneksel yöntem kullanılarak yapılan çalışmalarda araştırmacı/değerlendirici, bozulma tipini, bozulmanın ciddiyetini ve bozulma miktarını, üst yapının üstünde yürürken ayrıntılı olarak öğrenebilir. Bununla birlikte, geleneksel yöntem genellikle iki kişilik bir ekip tarafından yapıldığından, değerlendiricinin hızına, deneyimine ve yolun bozulma detaylarına bağlı olarak düşük hızlarda yavaş ve yoğun bir iş yükü vardır.

Geleneksel yöntemlerden biri olan cetvel yöntemi, tekerlek izi ölçümü için yaygın olarak kullanılan standart bir ölçüm yöntemidir. Cetvel ve ölçü kullanarak, doğrudan yerdeki maksimum tekerlek izi derinliğini ölçmeyi amaçlamaktadır. Cetvel üst yapı yüzeyindeki trafik yönüne dik olarak yerleştirilir ve cetvelin alt yüzeyi ile üst yapının yüzeyi arasındaki mesafe dikey olarak ölçülür (Serigos, 2012) (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Geleneksel yöntemlerden cetvel yöntemi.

1.1.4.2. *Otomatik Yöntemler*

Hataları en aza indirmek ve üst yapı araştırma sürecini standartlaştırmak için üst yapı verilerinin depolanması, kaydedilmesi, işlenmesi ve azaltılması konusunda otomatik yöntemler uygulanmaya başlanmıştır (Attoh-Okineve Dik., 2013). Otomatik yöntemler kullanarak, değerlendirme sürecindeki en önemli aşama veri toplama sürecidir. Otomatik veri toplama teknolojileri; üst yapı yüzeyini fotoğraf çekerek, video çekerek veya sayısallaştırma aracılığıyla görüntüleme ve farklı uzaktan algılama sensörleri (non-contact) (lazer, akustik ve kızılötesi) kullanarak üst yapının enine ve boyuna profilinin ölçülmesi olarak ikiye ayrılır (McGhee, 2004). Yurtseven ve diğ. (2016) orman yolu yüzey modellemesinde nokta bulutu tabanlı yapılan bir çalışmada yersel lazer tarayıcı ve uçangöz ile elde edilen yol yüzeyi modelinin hassasiyet açısından birbirine yakın olduğunu ve orman yollarında uçangözü sistemlerinin kullanılabileceğini vurgulamıştır.

1.2. UÇANGÖZ SİSTEMLERİ

Günümüzde pilotlu hava araçları veya uydular uzaktan algılama görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan öncelikli platformlardır. Ancak bu uzaktan algılama sistemleri çeşitli dezavantajlara sahiptir. Uçangöz ise düşük maliyetli olmaları, hafif olmaları ve düşük uçuş hızlarında çalışabilmeleri yanı sıra yüksek irtifalarda çalışan uçak ve uydu sistemlerinin aksine aynı amaçla bulut ile kaplı alanlarda kullanılabilmeleri gibi avantajlara sahiptirler (Xiang ve Tian, 2011). Ayrıca pilotlu hava araçlarına göre daha güvenli olmaları ve uçuş yüksekliği ve zamanlama açısından sahip oldukları esneklik diğer üstünlükleridir. Yine yüksek çözünürlüklü görüntü (< 25 cm) elde edilmesine olanak sağlamaktadırlar. Sivil veya bilimsel amaçlı kullanım için Uçangözlerin sınıflandırılması genellikle platformların büyüklük, uçuş toleransı ve kapasitesi gibi karakteristiklere bağlı olarak mevcut askeri tanımlamaları takiben yapılmaktadır (Watts ve diğ., 2012). Uçuş performansı açısından insansız hava araçları 100 m'den 30000 m'ye kadar geniş uçuş yüksekliklerinde ve 1 ila 48 saat kadar uçuş sürelerinde çalışabilmektedirler (Bendea ve diğ., 2008).

Uçangöz teknolojisi aslında yeni olmayıp, ilk insansız hava aracının uçuşu 1916 da gerçekleşmiştir (Rango ve diğ., 2006). Hava fotoğrafı için yapılan uçuşun ilk örneği de 1955 yılındadır (Newcome, 2004). Uçangözler tanıtılan görevlerinin çoğundan dolayı son teknolojik yenilikmiş izlenimi oluşsa da kullanımı insanlı uçaklardan öncesine dayanmaktadır (Watts ve diğ. 2012). Sadece son yıllarda, Uçangözlerin tarihinde askeri uygulamaları çoğunlukta olduğundan, sivil uygulamaları keşfedilmeye başlanmıştır (Dunford ve diğ., 2009). İlk olarak insanlı operasyonlarda yüksek risk içeren görevlerin desteklenmesinde kullanılmaya başlanan insansız uçak sistemleri (unmanned aircraft systems=UAS), ya da insansız hava araçları (unmanned aerial vehicles=UAV) savaş tatbikatlarının desteklenmesinde uzun bir askeri geçmişe sahiptir. Soğuk savaş dönemi boyunca kullanılan Uçangözlerin keşif ve rehberlik yeteneklerinde meydana gelen gelişmeler, bilimsel çalışmalarda da benzer şekilde risk azaltılması için ve diğer avantajlarından yararlanmak amacıyla kullanılmasına neden olmuştur (Watts ve diğ., 2012). Uzaktan algılama amaçları için Uçangöz kullanılan projelerin sayılarında da ayrıca bir artış söz konusudur (Nebiker ve diğ., 2008). Ancak Uçangöz topluluğu 2005 istatistiklerine göre Uçangözlerin sivil kullanım oranı sadece %8'dir (Bendea ve diğ., 2008). Günümüzde askeri ve sivil uygulamalar için kullanılan yüzlerce Uçangöz projesi bulunmaktadır. Uçangöz sistemleri dokümantasyon, izleme amaçları ve diğerleri gibi

geniş şekilde askeri uygulamalarda ve artan şekilde sivil uygulamalarda kullanılmaktadır (Eisenbeiss ve Sauerbirer, 2011). Hava fotogrametrisinin Uçangöz talepleri platformlarının tasarım, araştırma ve üretiminin gelişmesinden sonra artmıştır (Tahar ve diğ. 2011). Uçangözlerin çoğuna belirli alanlarda görüntü elde etmek veya video çekimi yapmak amacıyla kameralar monte edilmiştir (Baoping, 2008).

Uçağın içerisinde fiziksel olarak bir pilot bulunmasa da bu uçağın kendisini otomatik olarak uçuracağı anlamına gelmemektedir. Uçangözler üzerlerinde bulunan bir elektronik donanım ve yer kontrol istasyonundan ya da doğrudan sahadan kontrol edilirler (Bendea ve diğ., 2008). Bundan dolayı Uçangözler ayrıca uzaktan pilot kontrollü (remotely piloted vehicle = RPA) ya da uzaktan yönetimli hava aracı (remotely operated aircraft = ROA) olarak da adlandırılırlar (Bendea ve diğ., 2008). Düşük maliyetli sistemler kullanıldığında yer kontrol istasyonlarının çoğu fonksiyonları avuç içi uzaktan kumanda tipindedir. Böyle durumlarda tüm veri uçaktaki sistemde depolanır, yani bir veri aktarımı yoktur. Uçangözler hava aracı bileşeni, sensör kargoları ve yer kontrol istasyonundan oluşmaktadır (Watts ve diğ., 2012). Uçangözler, bir pilota ilave olarak bir ya da daha fazla insan ile yönetme ihtiyacı platforma ve misyona bağlı olarak konfigürasyonunda geniş şekilde değişiklik göstermektedir. Hizmete verilen kontrol sistemleri büyük Uçangözler için tahsis edilmiş olabilmektedir. Uçangözlerin daha küçük kategoride olanları genellikle küçük araçlarda, botların üzerinde veya sırt çantasında hava aracının kolayca taşınabileceği kadar küçük bileşenler ve dizüstü bilgisayarlardan oluşan yer kontrol istasyonları ile yönetilirler.

İnsansız hava sistemlerinin birçok bilimsel araştırma ve izleme için muazzam potansiyele sahip olduğunun fark edilmesi, kamu sektöründe tipik olarak taşınabilir sensörler ve küçük sistemler ile sağlanan ekonomik avantajları kombine eden sistemlere talebi önemli oranda teşvik etmiştir (Watts ve diğ., 2012). Piyasada mevcut çok çeşitli marka ve modelde Uçangöz satışa hazır olarak bulunmaktadır. Veri toplama işlemi için kullanılan Uçangözler uçurtmalar, planör paraşütler, balonlar, zeplinler, döner veya sabit kanatlı uçaklar olup, bunlar manuel, yarı otomatik veya tam otomatik uçuş moduna sahip olabilmektedirler (Tahar ve diğ., 2011b). Seçilecek Uçangözün çeşidi projenin bütçesine, zamanına ve proje için elde edilecek verinin doğruluk derecesine bağlı olarak değişmektedir. Çoğu motorlu Uçangözler zeminden uzaktan kumanda ile kontrol edebilecek kabiliyetli kullanıcılara ihtiyaç duymaktadırlar. Ancak gelişen sistem artık bu kısıttı ortadan kaldıran tam otomatik uçuşa izin vermektedir (Rango ve diğ., 2008).

Motorlu Uçangözler içerisinde helikopterler havada eşdeğer uçaklar ile kıyaslandığında daha az stabil olabilmektedirler (Swain ve diğ., 2007). Bundan dolayı da çok daha yetenekli operatörlere ihtiyaç ortaya çıkmaktadır. Planör paraşüt Uçangöz sistemleri de geniş konumsal ölçekte veri toplama kapasitesi göstermektedir (Lejot ve diğ., 2007).

Uçangözün kullanıldığı alanlar tarım, gözetleme, yol bakımı, kayıt ve kültürel mirasların dokümantasyonu şeklinde sıralanabilir (Mitch ve Salah, 2009). Uçangöz sistemlerini kullanarak doğal kaynaklarda uzaktan algılama uygulamaları son yıllarda önemli ölçüde büyümektedir. Kaliteli görüntü elde etme ile birlikte orman yangınlarının haritalanması (Ambrosia ve diğ., 2011, Hinkley ve Zajkowski, 2011), kutup bölgesi deniz buzları ve atmosferik çalışmalar (Fladeland ve diğ., 2011), yayılıcı türlerin incelenmesi (Hardin ve diğ., 2007), otlak alan haritalama (Breckenridge ve Dakins, 2011, Laliberte ve diğ., 2011, Laliberte ve Rango, 2011), hidroloji ve riparian uygulamaları (Lejot ve diğ., 2007, Dunford ve diğ., 2009, Hervouet ve diğ., 2011) ve doğru tarım (Hunt ve diğ., 2005, Hunt ve diğ., 2010, Zarco-Tejada ve diğ., 2009, Berni ve diğ., 2009), aktif heyelanların izlenmesi ve analizi (Niethammer ve diğ., 2009) gibi çalışmalarda kullanılmıştır.

Uçangöz sisteminin yol ile ilgili çalışmalarda sınırlı bir kullanımı söz konusudur. Yollar ile ilgili olarak yapılan ilk çalışma örneği Zhang (2008) tarafından toprak yol (orman yolu değildir) koşullarının değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada Uçangöz ile yerden 50 m yükseklikten veri alımı gerçekleştirilmiştir. Feng ve diğ. (2009) ise Uçangöz kullanarak gerçek zamanlı yol haritalama ve yol – araç bilgisi çıkarımı konusunda çalışma yapmışlardır. Kim ve diğ. (2015) Uçangöz ile yol-araç trafiği izlenmesi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Díaz-Vilariño ve diğ. (2016) ise çalışmalarında dağlık alandaki bir yolda (mountain road) (asfalt yol), Uçangöz tabanlı fotogrametrik veri kalitesinin yol yüzeyindeki akışları (runoff) tespit edilmesindeki etkilerini mobil LİDAR sistemi ile alınan veri ile karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. Dobson ve diğ. (2013) de, bir toprak (kaplamasız) yol sisteminin periyodik olarak etkin şekilde gözlenmesi gerektiğini vurgulayarak Uçangöz tabanlı bir yaklaşımla yol deformasyonlarının (yıkanma, çatlama, çukurlukların oluşması ve yol platformunda oluşan kesit bozuklukları gibi) izlenmesine ilişkin bir çalışma yapmışlardır.

Uçangöz sistemlerinin orman yolları ile ilgili olarak kullanıldığı çalışmalar da oldukça sınırlıdır. Ülkemizde bu konuda Türk ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada, orman yollarında inşaat faaliyetlerinin çevresel etkilerinin belirlenmesinde Uçangöz kullanım

olanağını değerlendirmişlerdir. Çalışmada optik sensörlerin, yoğun meşcerelerde yol yapımı nedeniyle dolgu alanın ve inşaat etki alanın haritalanmasında sınırlı yeteneklere sahip olduğu ifade edilmiştir. Bundan başka Buğday (2018) yapmış olduğu çalışmada; Uçangözün orman yolları yapım çalışmalarında kullanılabilme kabiliyetini incelemiştir. Çalışmada yolun kazı ve dolgu hacimleri bulunmuş, orman yolu inşaatında ve alternatif rotaları değerlendirme yüksek kaliteli ve yüksek çözünürlüklü verileri yakalamada Uçangözün oldukça avantajlı olacağı ifade edilmiştir.

Orman yolu üst yapı bozulmaları ile ilgili yalnızca Ülkemizdeki bir çalışmada orman yolu üst yapısında meteorolojik etkenlere bağlı olarak meydana gelen degredasyonlar ile meteorolojik etkenler arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasında yersel lazer tarayıcılar kullanılmıştır (Akgül ve diğ., 2017). Tez konusu ile ilgili olarak literatürde karşılaşılan ilk çalışma örneği Hrůza ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmadır. Gerçekleştirdikleri bu çalışmada Uçangöz kullanılarak orman yollarında meydana gelen aşınma tabakalarının (wearing course) tespit edilmesi ve izlenmesi imkânlarını ortaya koymuşlardır. Çalışmada Uçangöz ile üretilen tek uçuş verisinden yararlanarak, arzu edilen yol platformunun simüle edilmesiyle üretilmiş referans verisi baz alınarak yol deformasyonlarını değerlendirmişlerdir. Uçangöz verisinin doğrulanması amacıyla da aynı zamanda yol platformu üzerinde yersel takometri ölçümleri de yapılmıştır. Buna göre Uçangöz verisi kullanılarak 2 cm RMSE (Ortalama Karekök Hata) ile deformasyon tespitinin mümkün olabileceği ortaya konulmuştur. Ayrıca Bahsedilen bu çalışmalar dışında orman yolu ile ilgili olarak Uçangöz kullanılan bir çalışma bulunamamıştır.

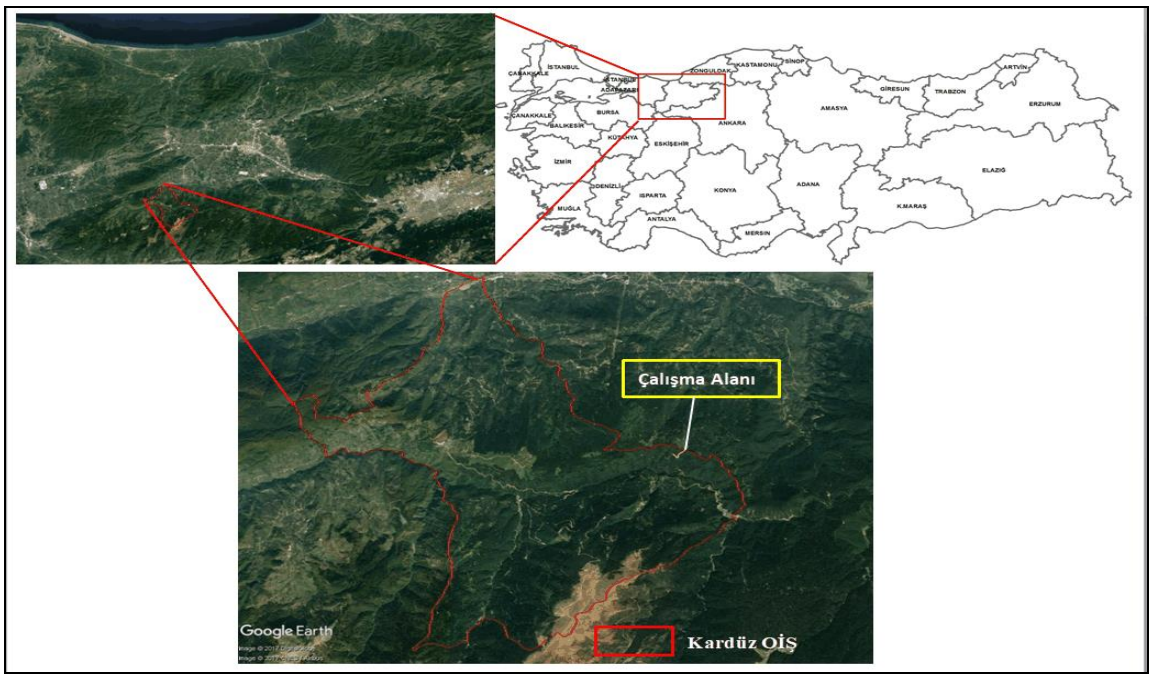
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. MATERYAL

2.1.1. Araştırma Alanı

2.1.1.1. *Yeri (Mevkii)*

Çalışma alanı için seçilen Kardüz Orman İşletme Şefliği, Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Düzce ili, Gölyaka ilçe sınırları içerisinde yer almaktadır. Orman idaresi bakımından ise Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 2.1). Coğrafi koordinat olarak; 30° 53' 53" - 31° 01' 46" doğu boylamları ile 40° 39' 46" - 40° 45' 44" Kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Denizden yüksekliği ise 153 m ile 1821 m arasında değişmektedir. Tez çalışması kapsamında üretim ve rekreasyonel (Tahtalı Mesire Alanı, Kardüz ve Unluk Yaylaları) araç kullanımına açık olan 5+900 km'lik, 2+000 km'sinde üst yapısı yenilenen 318 kodlu B Tipi orman yolunun 200 metrelik kısmı seçilmiştir. Şeflik Batı Karadeniz Bölgesinin güneybatısında yer almaktadır (Anonim, 2011).

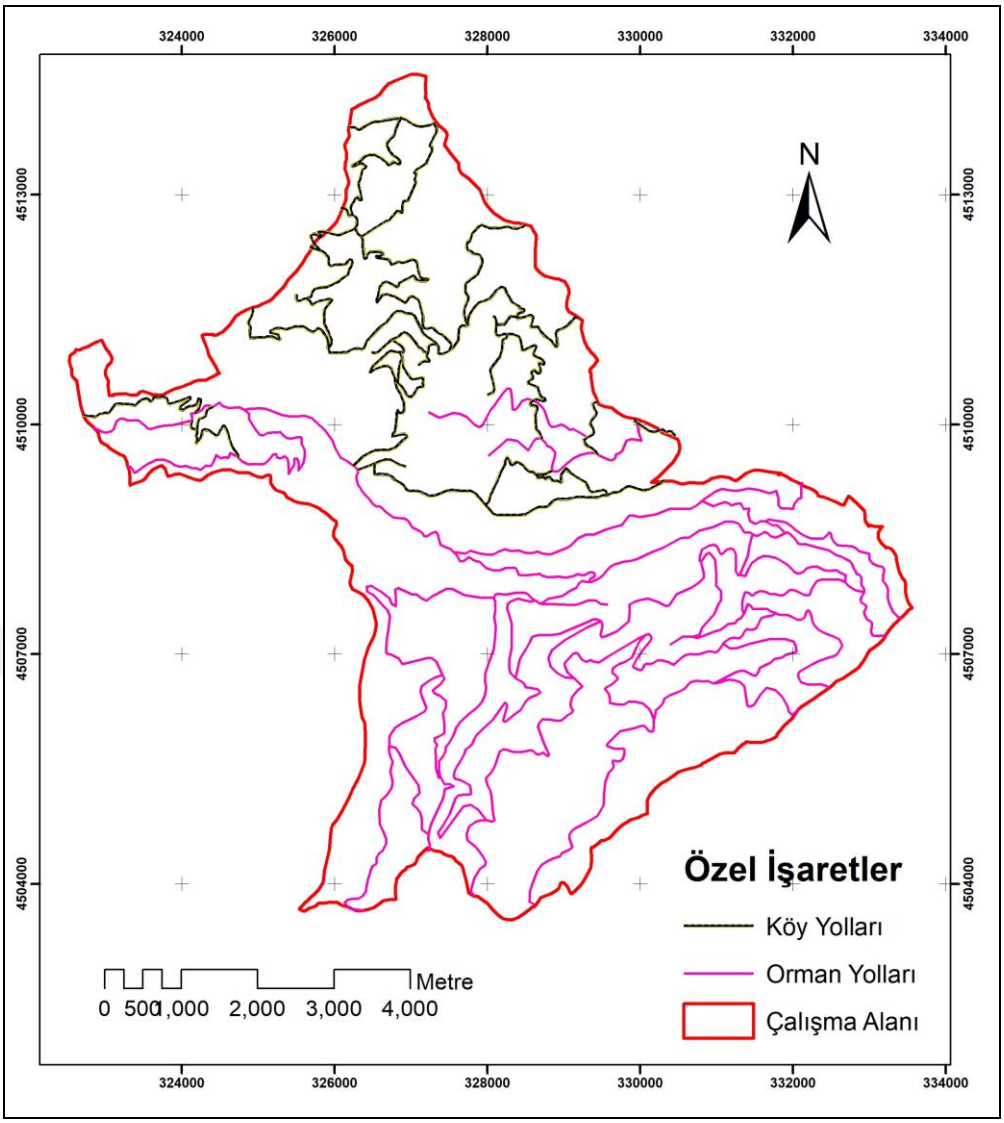


Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresi.

2.1.1.2. *Çalışma Alanı Orman Varlığı ve Yol Ağı Durumu*

Kardüz Orman İşletme Şefliğinin toplam büyüklüğü 5045 ha olup genel alanın 3745 ha'sı ormanlık alan, 1300 ha'sı ise ormansız alandır. Ormanlık alanın 3745 ha'sı ağaçlık alandan, 298 ha'sı ise ağaçsız alandan (OT) oluşmaktadır. İşletme Şefliğinin tüm fonksiyonel planlarında plan süresi boyunca yıllık eta 9010 m^3/yıl'dır. 2010 ve 2029 yıllarında endüstriyel odun hammaddesi üretimi genel olarak tomruk olup az miktarda maden direği ve yakacak odun standartlarındadır (Anonim, 2011).

Kardüz orman İşletme şefliğinde aktif kullanımda olan orman yol uzunluğu 87+150 km'dir. Ancak yapılan çalışmalar, gelecekte yapılması planlanan toplam orman yol uzunluğunu 104+500 km olarak göstermektedir (Şekil 2.2). Aktif kullanımda olan orman yollarının hektardaki yoğunluğu 23,27 m/ha'dır (Anonim, 2011). Şefliğe ait orman yol aralığının ise 429,74 m olduğu görülmektedir. Şeflikte endüstriyel odun hammaddesinin uzak nakliyatında çoğunlukla kamyon az miktarda traktör treyler kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. Çalışma alanı orman yol ağı haritası.

2.1.1.3. *Jeolojik Yapı*

Bolu ve Düzce ovasının temelini mesozoik-tersiyer teşekkülleri ile pleistosen'in çakıl ve konglomeraları teşkil etmektedir. Ovanın kuzey tarafında dağın eteğinde eosen devrine ait bir şerit uzanmakta, güney ve batı Kireçtaşları, doğuda ise pliosen teşekkülatı görülmektedir. Ovayı kuzeyden çevreleyen ve asıl Bolu masifini meydana getiren Sünnice Dağı-Çaldaroğlu silsilesi genel olarak kristalin taşlar sahasını temsil eder. Masifin metamorfik ve magmatik sahraları arasında amfibolit diyoritlere bol miktarda rastlanır. Bu arada metamorfik sahaların hâkim olduğu yerlerde (Kale Tepesi) granite rastlanır. Bu masifin rüsubu, Ayıkapı Kayası ve Çal doruğunda olduğu gibi birkaç kalker tabakasından ibarettir. Sünnice Dağının kuzey sathı mailinde paleozoik şistleri; Yığılca istikametinde üst kretase'ye ait bir fliş meydana çıkmaktadır ve her tarafta az

çok andezit yığınlarına tesadüf edilmektedir. Bolu'nun güneyinde Aladağ silsilesinde esas itibariyle ayrışmamış ve erüptiv konglemeralar hakimdir (Anonim, 2011).

2.1.1.4. *İklim*

Çalışma alanı ve çevresinde, kıyı kesimleri deniz etkisine bağlı nemli ılıman, yüksek alanlarda nemli soğuk iklim koşulları hâkimdir. Kardüz Yaylası meteoroloji istasyonu iklim verilerine göre yıllık ortama sıcaklık 13 °C, yıllık ortalama yağış 839,5 mm'dir Çalışma alanına ait meteorolojik özelliklerin aylara göre değerleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir. Bölgenin maksimum sıcaklık ortalaması 18,8 ºC ve minimum sıcaklık ortalaması 8,3 ºC'dir. Ortalama yıllık yağış 839,5 mm'dir. Plan ünitesi alanında genel olarak yazları Batı Karadeniz iklim özellikleri egemendir. Yazlar serin ve az yağışlı, kışlar ise soğuk, sert ve kar yağışlıdır.

Yağış, sıcaklık, kar örtüsünün yerde kalma süresi gibi iklim elemanlarının çoğunu bölgenin fiziki coğrafya şartları, yani yükselti, bakı, dağların uzanışı ve denizden olan uzaklık belirlemektedir. Değişik yüksekliklerde aynı yörede farklı iklim şartlarının oluşmasına neden olmaktadır. Genel olarak 1000 m'ye kadar daha ılıman iklim şartları hüküm sürmekte iken, daha yüksek rakımlarda soğuk iklim şartları egemen olmaktadır

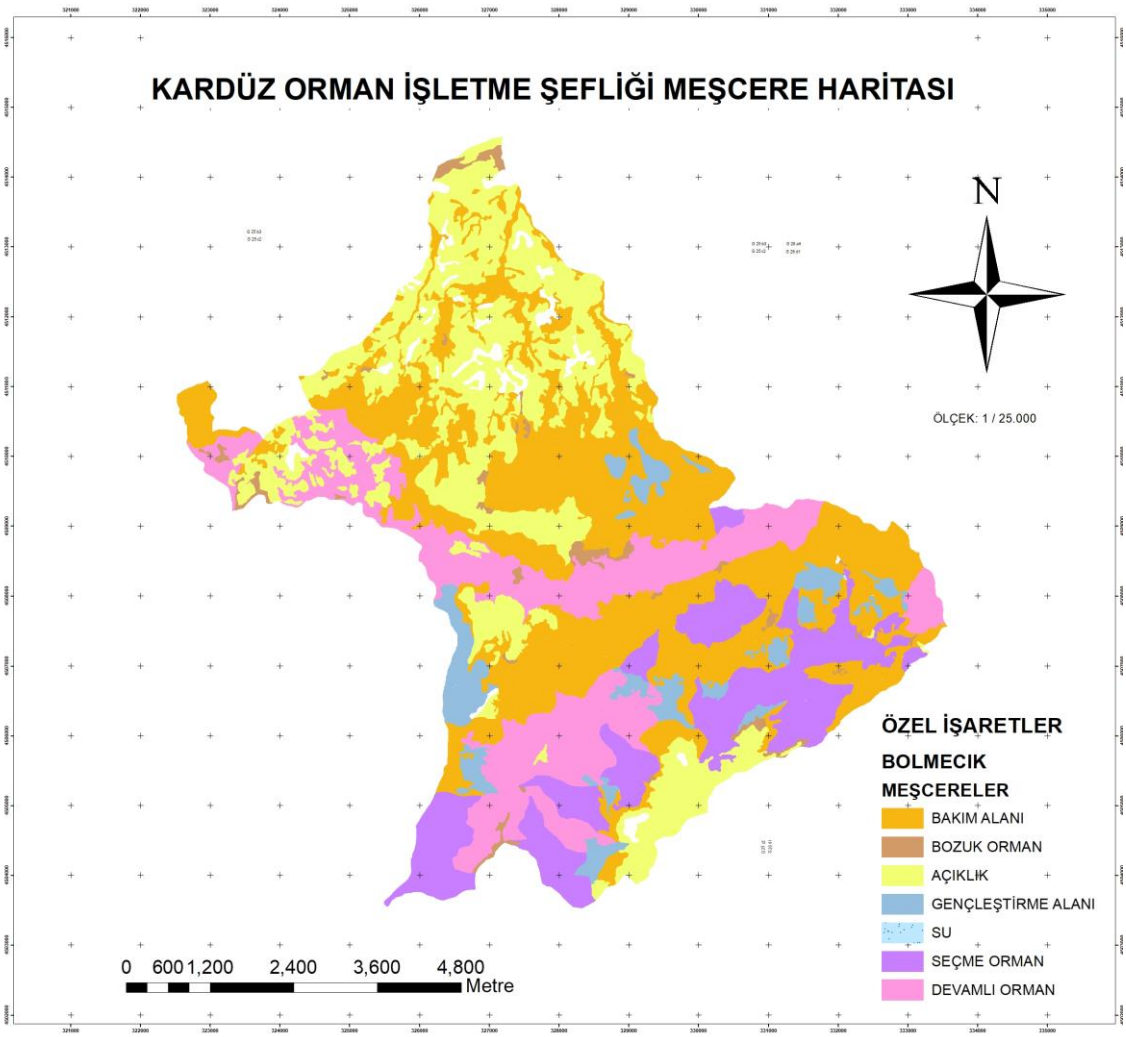
Çizelge 2.1. Kardüz Yaylası meteoroloji istasyonu bazı iklim verileri (m, DMİ, 2019)

Meteorolojik Elemanlar (*)	A Y L A R												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ort. Yağ.(mm)	96	75	72	57	63	62	48	49	52	78	87	98	839,5
Ort. Sıc. (ºC)	3,5	5,2	7,6	12,3	16,3	20,2	22,1	21,5	18,3	13,9	9,4	5,9	13,0
Ort. Max. Sıc.(ºC)	7,5	9,9	13,1	18,5	22,6	26,7	28,2	28,1	25,4	20,1	15,0	10,1	18,8
Ort. Min. Sıc.(ºC)	0,1	1,3	3,3	7,3	11,0	14,2	16,3	16,0	12,9	9,2	5,0	2,4	8,3
Gün. Max. Yağ. (mm)	32,3	51,3	34,5	29,0	55,2	84,0	118,0	110,3	70,9	55,5	52,4	99,9	118,0

2.1.1.5. *Bitki Örtüsü*

Meşcerelerin dağılışında, dağların uzanış yönü, yükseklik ve bakı gibi unsurlara bağlı olarak farklılıklar görülmektedir. Plan ünitesi ormanları 153 m ile 1821 m arasında yükseltiye sahiptir. Bu bakımdan değişen mikroklima ve çeşitli yetişme muhuti koşullarının etkisi ile değişik ağaç türleri ve bunların oluşturduğu karışık meşçereler bulunmaktadır. Plan ünitesi ormanları, genel olarak ibreli ormanlardır (Şekil 2.3).

Kardüz Orman İşletme Şefliği'nin asli ağaç türlerini Doğu Kayını (*Fagus orientalis Lipsky*.), Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana subsp. bornmülleriana Mattf*) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris L*.) oluşturmaktadır.



Şekil 2.3. Kardüz Orman İşletme Şefliği meşcere haritası.

2.2. YÖNTEM

2.2.1. Otonom Uçangöz Tabanlı Fotogrametrik Yöntemlerle Yol Üst Yapısı Bozulmalarının İzlenmesi

2.2.1.1. *Structure from Motion (SfM) Algoritması*

Fotogrametri, objelerin amaca uygun şekilde fotoğraflarının alınması ve bu fotoğraflar aracılığıyla o objeye ait arzu edilen bilginin elde edilmesiyle uğraşan uygulamalı bir bilim olarak tanımlanmaktadır. SfM algoritması, sayısal fotogrametride bir görüntü

dizisinin analiz edilmesiyle bağlantı noktalarının 3B konumları yanında kamera yöneltmelerinin otomatik çıkarılmasında kullanılmaktadır. Bilgisayarla görmede (computer vision) önemli bir tema olup hem teoride hem de uygulamada son 20 yılda büyük ilerleme göstermiştir (Wang ve Wu, 2011). SfM, pek çok farklı konumdan alınmış bindirmeli 2B görüntülerden 3B modeller oluşturulmasında kullanılan fotogrametrik bir yöntemdir. SfM hava veya yersel LIDAR ile üretilene benzer şekilde yoğun nokta bulutu verisi üretmektedir. SfM'de temel problem farklı açılardan alınan çok sayıdaki görüntüdeki eşleşen özelliklerin (features) belirlenmesidir. Bu problemin çözümündeki ilk işlem adımı her bir görüntüdeki özelliklerin "Scale Invariant Feature Transform (SIFT)" algoritması ile belirlenmesidir (Snavely, 2008). Tanımlanan özellikler "keypoints" olarak adlandırılmaktadır. Tanımlanan keypoints sayısı öncelikle kullanılan görüntüleri tekstür ve çözünürlüğüne bağlı olmaktadır. Görüntü setinin yoğunluğu, keskinliği ve çözünürlüğü ile doğal tekstürü çıktı nokta bulutu kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir (Westoby ve diğ., 2012). Aynı şekilde kamera ve ilgili obje arasındaki mesafenin azalmasıyla görüntünün çözünürlüğü artacak ve final nokta bulutu çözünürlüğü ve konumsal yoğunluğu zenginleşecektir. Bu kapsamda oldukça değişik sensörler kullanılabilmektedir. Görüntüdeki özelliklerin (keypoints) belirlenmesini takiben kamera pozlarının hesaplanması ve düşük yoğunluklu (sparse) nokta bulutunun oluşturulması için demet dengeleme sistemi (bundle adjustment system) kullanılmaktadır (Westoby ve diğ., 2012). Örtüşen görüntülerdeki eşleşen noktalar Random Sample Consensus (RANSAC, Fischler ve Bolles, 1987) algoritması kullanılarak eşleştirilmekte ve eşleşen spesifik noktaların görüntü setlerinde bağlantılanmaktadır. Burada nokta bulutu oluşturulmasında minimum iki nokta ve üç görüntü ihtiyaç duyulmaktadır (Snavely ve diğ., 2006). Daha sonra üretilen nokta bulutundan Yer Kontrol Noktalarının manuel olarak tanımlanması ile koordinat sistemine dönüştürülmesini takiben SYM ve Ortofoto (ortomozaik) görüntü oluşturulabilmektedir.

2.2.1.2. *Uçangöz ile Sayısal Görüntülerin Alınması*

Uçangöz ile görüntü alımına ait işlemlerin temel adımları; 1) arazi öncesi hazırlık, 2) arazi çalışması ve uçuşun gerçekleştirilmesi ile 3) uçuş sonrası işlemlerdir. Arazi öncesi hazırlık safhasında, alana hareket etmeden önce hava koşulları ve ilgili alanın topografyası gibi bazı gerekli ön bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir (Lindner ve ark., 2016). Uçangöz ile uçuşun gerçekleştirilmesinde optimum hava koşulları rüzgar ve

yağışın olmadığı bulutlu bir gökyüzü olarak ifade edilmektedir (Lindner ve diğ., 2015). Çünkü yağış Uçangöz sisteminin elektronik birimlerini ve görüntü kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Yine rüzgâr, hareket kaynaklı bulanıklığa (motion blur) sebep olarak görüntünün keskinliğini ve GNSS güzergâh doğruluğunu düşürmektedir. İlgili alana ait topografya Google Earth'ten yararlanarak kabaca değerlendirilebilir ve otomatik uçuşlar için GNSS güzergâhlarının oluşturulması amacıyla en yüksek ve düşük arazi kotları belirlenebilmektedir. Bu tez kapsamında "UgCS PC Mission Planning" isimli uçuş planı hazırlama yazılımı kullanılmıştır (Şekil 2.4). Bu lisanslı yazılım kullanıcıya Uçangöz platformunu otomatik pilot kontrolünde uçuşların gerçekleştirilmesi imkânı sağlaması yanı sıra, uçuşun gerçekleştirileceği alana ilişkin koordinatlı altlık veriye erişim ve indirebilme, alan üzerinde sayısallaştırma yapabilme (alan, uzunluk, yükseklik ölçümleri yapabilme), alınacak görüntülerin ön ve yan bindirme oranlarını ayarlayabilme, uçuş yüksekliğini alınacak görüntülerin yer örnekleme çözünürlüğüne bağlı olarak otomatik olarak tanımlama (böylece topografya adaptif uçuşların gerçekleştirilmesine imkân vermektedir), planlanan uçuşun süresini hesaplama (böylece Uçangöz'ün batarya kapasitesine bağlı olarak planın revizasyonuna imkân sağlamaktadır.) ve platformun uçuş hızını kontrol edebilme ile birlikte kamera açısını ayarlayabilme imkânları sağlamaktadır. Bu kapsamda %70 ön ve yan bindirmeli olarak 48 m AGL (above ground level) yer seviyesinden yükseklikte 12 dk 7 sn süren uçuş planı oluşturulmuştur.

Şekil 2.4. UgGS uçuş planlama yazılımı arayüz görüntüsü ve örnek uçuş planı

Arazi çalışması ve uçuşun gerçekleştirilmesi aşaması, arazideki gerekli çalışmaları ve uçuşların gerçekleştirilmesi içermektedir. Arazi çalışmalarının temel adımı uçuş öncesi Yer Kontrol Noktalarının (YKN) sahaya yerleştirilmesi ya da işaretlenmesi ve koordinatlarının ölçülmesidir. Bu tez kapsamında YKN'leri alana sprey boya ile işaretleme sonucu oluşturulmuştur. Her biri Uçangöz ile alınan fotoğraflarda görünecek şekilde arazi üzerine yerleştirilmiş olan bütün YKN'ler santimetre altı doğruluklarda (< 1 cm) Cors-GPS (SATLAB SL600 6G RTK GNSS) kullanılarak ölçülmüş ve her birine ait ITRF96 Zone 30 koordinat sisteminde X, Y ve Z konum bilgileri elde edilmiştir (Şekil 2.5). YKN ölçümlerini takiben saha üzerinde Uçangöz ile uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuşların gerçekleştirilmesi aşamasında DJI Mavic Pro model Uçangöz platformunun kullanılmıştır (Şekil 2.6). Platform 743 gram ağırlığa sahip olup 4 motorludur. DJI Mavic Pro model platform entegre 1/2.3 inçlik 12.3 megapiksel çözünürlüklü CMOS sensöre sahip olup, 12 MP görüntü alımı sağlamaktadır. Farklı uçuş modlarına sahip olan platform saatte 65 km hıza çıkabilmekte ve 13 km uçuş mesafesi kat edebilmektedir. Platform optimum koşullarda 27 dakikaya kadar (ancak ortalamada 15 dakika) uçuş gerçekleştirmeye imkan verebilmektedir.

Şekil 2.5. YKN'nin alana işaretlenmesi ve Cors-GPS ile koordinatlarının alınması.

Şekil 2.6. DJI Mavic Pro model Uçangöz ve uzaktan kumandası (sağda).

Uçuş sonrası ofis çalışmaları kapsamında ise Uçangöz ile alınan sayısal 2B görüntülerden, Agisoft Photscan Professional version 1.3.2 yazılımı kullanılarak SfM algoritması ile nokta bulutu, SYM ve ortofoto (ortomozaik) görüntü üretilmiştir. Photoscan yazılımında kullanılan SfM algoritmasının iş akışı 1) görüntü hazırlama, 2) görüntü eşleştirme ve ışın demetleri ile dengeleme (bundle block adjustment), 3) yoğun geometrinin yeniden oluşturulması (dense geometry reconstruction) ve YKN'lerin dahil edilmesi ile 4) tekstür haritalama ve SYM/ortofoto üretiminden oluşmaktadır (Lucieer ve diğ., 2013). Görüntü hazırlama işlem adımında sensör ile alınan görüntülerin coğrafi konumlandırma (geocoding) gerçekleştirilecektir. Coğrafi konumlandırılmış sayısal görüntülerin Photoscan yazılımına eklenmesinden sonra JPEG-EXIF başlık dosyalarında depolanan GPS bilgisinden yararlanarak görüntü yönlendirme (image alignment) işlemi gerçekleştirilmektedir. Photoscan yazılımı görüntüleri otomatik olarak konumlandırarak örtüşen görüntülerdeki öznitelikler (feature) eşleştirmektedir. Daha sonra seyrek (sparse) nokta bulutunun oluşturulması için ışın demetleri ile dengeleme işlemi yapılmış ve elde edilen nokta bulutundan yanlış noktalar (outliers), model oluşturma hatalarının önlenmesi için silinmiştir. Yoğun geometri yeniden oluşturma ve YKN'lerin dâhil edilmesi işlem adımında, arazide ölçülen YKN'ler ile coğrafi

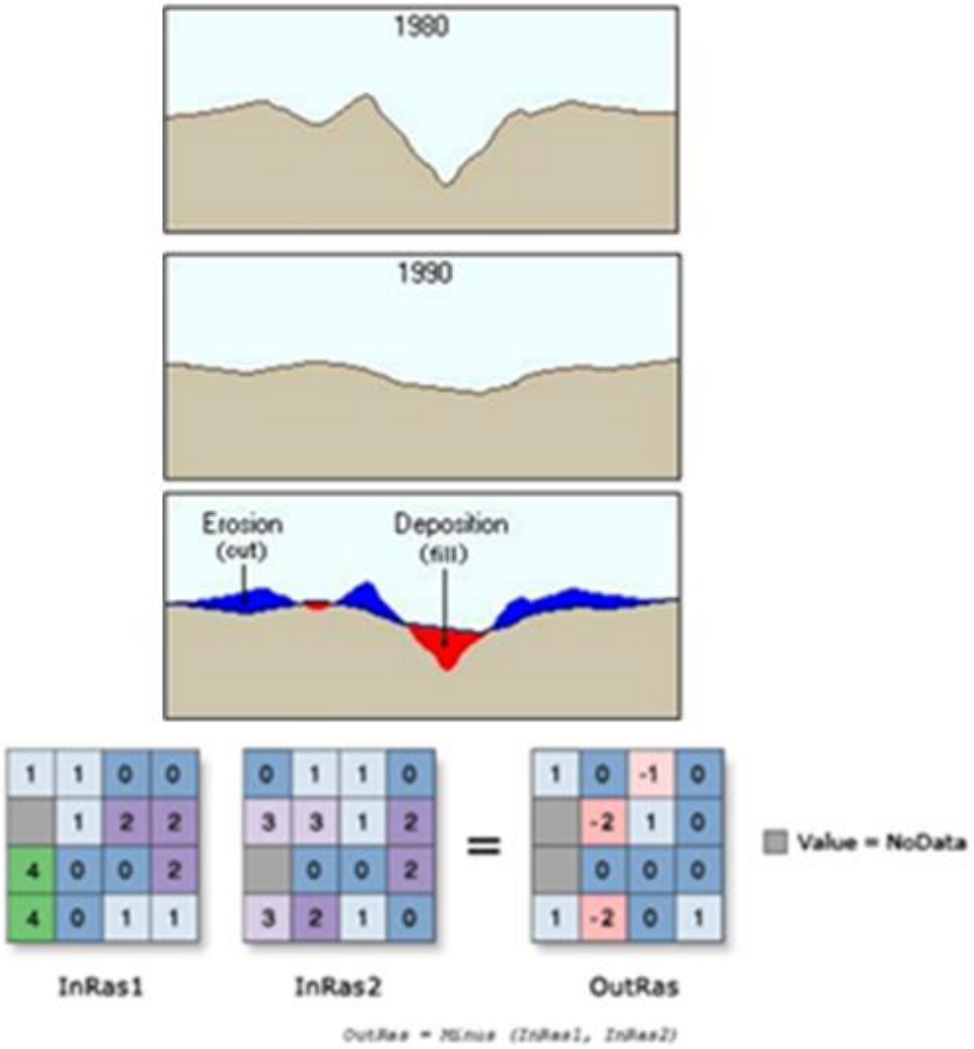
konumlandırma işleminin gerçekleştirilmesinden sonra yoğun 3B model yüksek doğrulukta yeniden oluşturulmaktadır. Burada YKN'ler kamera pozisyon ve yönlerini optimize etmek için kullanılmaktadır. Daha sonra tekstür haritalama yapılarak oluşturulan modele fotoğraflara ait gerçek renkler giydirilmektedir. Bütün bu işlemlerin ardından Photoscan yazılımında SYM (.tiff formatında) ve ortofoto mozaik görüntüler elde edilebilmektedir. Oluşturulan modellerin doğruluğu yine kullanılan YKN'ler aracılığıyla yazılım tarafından hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada yol üst yapısında meydana gelen alansal ve hacimsel bozulmaların belirlenmesi amacıyla Uçangöz ile yüksek doğruluk ve çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modelleri (SYM) ve ortofoto mozaikler oluşturulması hedeflenmiştir. Bu kapsamda ilk Uçangöz uçuşu yol üst yapısının yenilenmesinin ardından toplam beş uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuşlar sırayla Eylül 2017, Kasım 2017, Nisan 2018, Temmuz 2018 ve Kasım 2018 tarihlerinde (14 aylık dönem) gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen uçuşlar 1.5 cm yersel çözünürlükte otonom olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.7).

Şekil 2.7. Arazide Uçangözle otonom uçuşlar.

Uçuşlardan elde edilen görüntülerden SfM algoritması ile üretilmiş olan SYM'lerden yararlanarak yol platformunda meydana gelen bozulmalar, SYM farkları yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. SYM farkları yöntemi her bir pikselin yükseklik bilgisini içeren "raster" formatındaki iki farklı zamanda alınmış SYM'lerin kullanımına

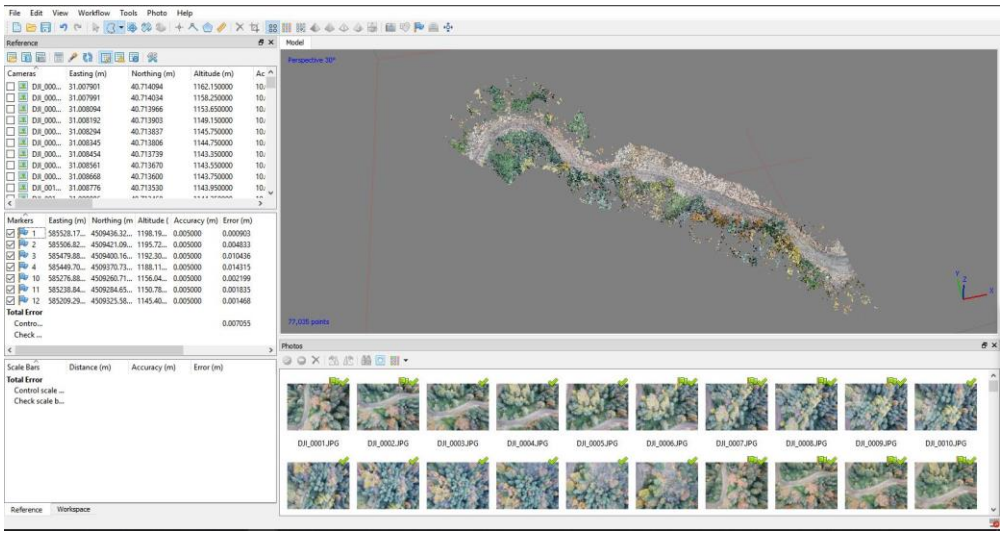
dayanmaktadır. Bu yaklaşımın çalışma prensibi Şekil 2.8'de verilmektedir.



Şekil 2.8. SYM Farkları yöntemi.

2.2.2. Nokta Bulutu Verilerinin İşlenmesi ve Yolun Sayısal Yüzey Modelinin (SYM) Elde Edilmesi

Uçuşlar sonucu elde edilen bütün fotoğrafların, Uçangöz üzerindeki GNSS'den gelen koordinat bilgisinden yararlanılmış ve Agisoft PhotScan Professional version 1.3.2 yazılımı kullanılarak (Şekil 2.9), alınan YKN'ler yardımıyla, coğrafi olarak referanslanması yapılarak ve SfM algoritması ile nokta bulutu oluşturulmuştur. Daha sonra Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve ortofoto görüntü üretimi gerçekleştirilmiştir (Lucieer and 2014).



Şekil 2.9. Agisoft yazılımında elde edilen yol yüzeyi.

2.2.3. Alansal Bozulma Haritalarının Oluşturulması

Üretilen SYM görüntüleri ArcGIS 10.3 yazılımının ArcMAP modülünde "Raster Calculator (Spatial Analyst – Map Algebra) kullanarak iki görüntü arasındaki DEM farklarının alınması ile aşınmanın ve birikmenin bulunduğu kısımlar ayrı ayrı sekmeler halinde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma işleminde yol yüzeyine düşen ağaç gölgesi unsuru modellemenin doğruluğunu etkilememesi açısından elimine edilerek, yatay (X, Y yönlü) ve düşey (Z yönlü) farkların elde edilmesi ile yol üst yapısında meydana gelen bozulmaların alansal değişimleri bulunmuş ve alansal haritalar oluşturulmuştur.

2.2.4. Hacimsel Bozulma Haritalarının Oluşturulması

Hacimsel bozulmaların oluşturulması aşamasında ArcGIS 10.3 Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı kullanılmıştır. Bu kapsamda iki ölçüm periyodu arasında oluşan hacimsel farklar "Raster Calculator (Spatial Analyst – Map Algebra) kullanarak oluşturulmuştur. Bir sonraki aşamada farkları alınan görüntülerin yazılımın "python" menüsünde kodlanması ile bozulmaların hacimsel hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen hacimsel bozulmaları ifade eden raster tabanlı veri seti, birikme (m^3) ve aşınma (m^3) olmak üzere iki sınıfta incelenmiş ve hacimsel haritalar oluşturulmuştur.

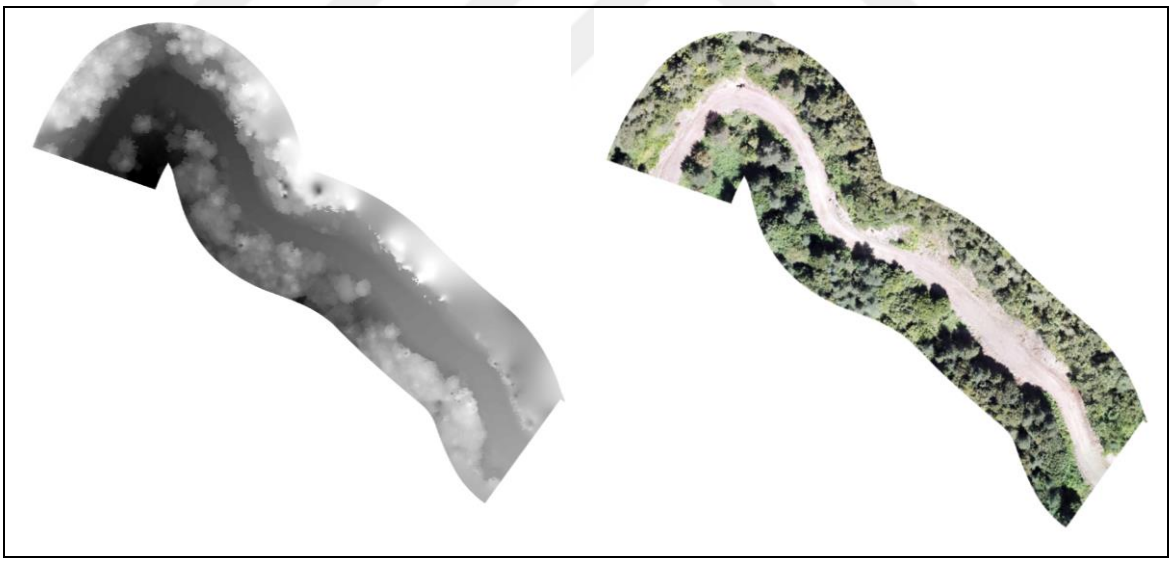
2.2.5. Meteorolojik Verilerin Elde Edilmesi

Meteoroloji istasyonundan yağış miktarı, bağıl nem, sıcaklık ve basınç verileri alınmıştır. Meteorolojik veriler (iklimsel değişkenler), çalışmanın yapıldığı alanda bulunan Kardüz Yaylası Meteorolojik Gözlem İstasyonundan alınmıştır.

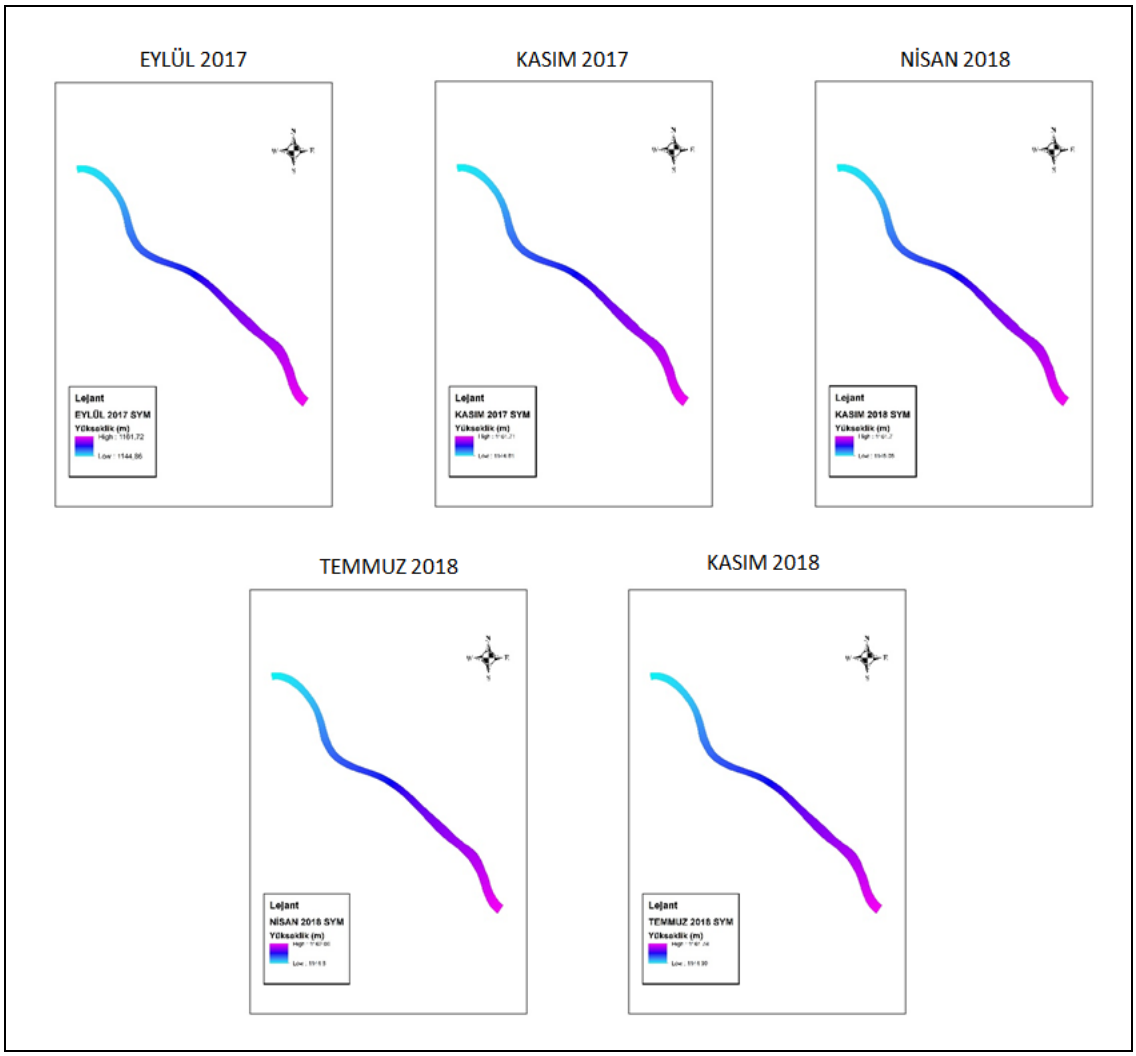
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. YOL ÖZELLİKLERİ VE YOLUN SAYISAL YÜZEY MODELİNE AİT BULGULAR

Çalışmaya konu yolun ortalama genişliği 4 m, ortalama boyuna eğimi % 9 ve yol platform alanı 641,38 m^2 olarak bulunmuştur. Şekil 3.1'de yolun DEM'i ve ortofotosu görülmektedir. Çalışma kapsamında 14 aylık zaman diliminde Uçangöz otonom uçuşlarıyla yol üst yapısındaki bozulmalar izlenmiş, elde edilen görüntüler coğrafi olarak referanslanması yapılarak SfM algoritması ile nokta bulutu oluşturulmuş, daha sonra yolun Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Eylül-2017, Kasım-2017, Nisan 2018, Temmuz-2018 ve Kasım-2018 aylarına ait yolun SYM'lerinde yükseklik modeline göre en düşük arazi kotu 1144,80 metre, en yüksek arazi kotu ise 1162,05 metre olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma alanına ait DEM verisi (solda) ve Ortofoto verisi (sağda).



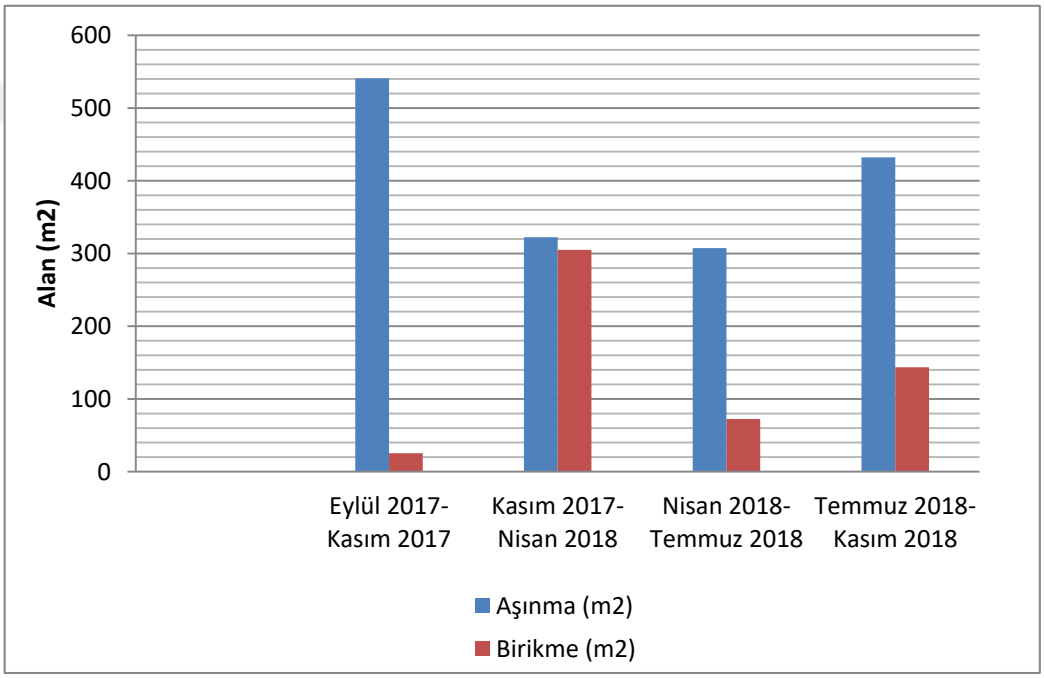
Şekil 3.2. Çalışma alanı yolun sayısal yükseklik modeli (en düşük arazi kotu 1144,80 m, en yüksek arazi kotu 1162,05 m).

3.2. YOL ÜST YAPISINDA ALANSAL VE HACİMSEL BOZULMALARA AİT BULGULAR

Çalışmada Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki (14 ay süreli) alansal bozulmalar incelemiş, aşınma ve birikme olarak sınıflandırmıştır. Yol üst yapısındaki alansal aşınma ve birikme değerleri Çizelge 3.1'de verilmiş ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Çizelge 3.1 incelendiğinde aşınma miktarı birikme miktarına göre daha büyük çıkması taşınan sedimentin büyük bir oranının yol platformundan uzaklaşmasından dolayı olabileceğini göstermektedir.

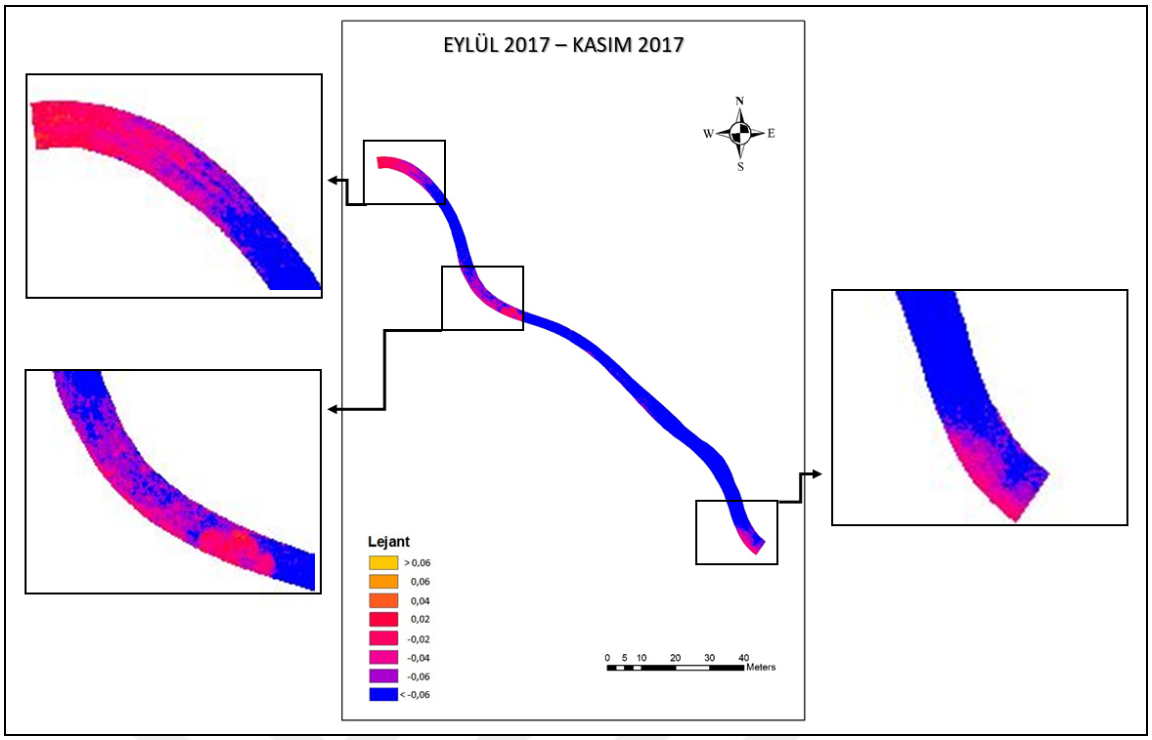
Çizelge 3.1. Çalışma alanı Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki alansal aşınma ve birikme miktarı.

Dönemler	**Alansal**		**Aylık ortalama (m^2/ay)**	
	Aşınma (m^2)	**Birikme (m^2)**	**Aşınma (m^2)**	**Birikme (m^2)**
Eylül 2017-Kasım 2017	-540.83	25.37	-270.42	12.67
Kasım 2017-Nisan 2018	-322.43	304.98	-64.49	61.00
Nisan 2018-Temmuz 2018	-307.35	72.49	-102.45	24.16
Temmuz 2018-Kasım 2018	-432.15	143.5	-108.04	35.88
Toplam	-1602.76	546.34		

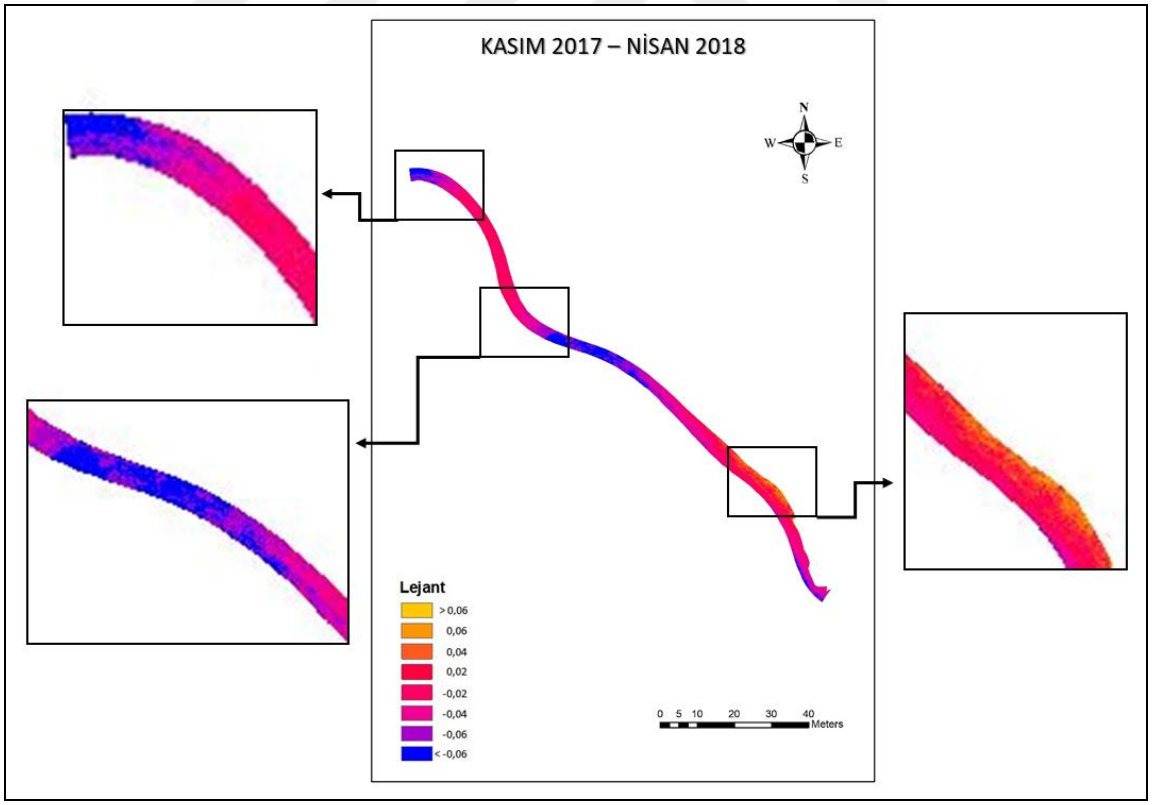


Şekil 3.3. Çalışma alanı Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki alansal aşınma ve birikme miktarı.

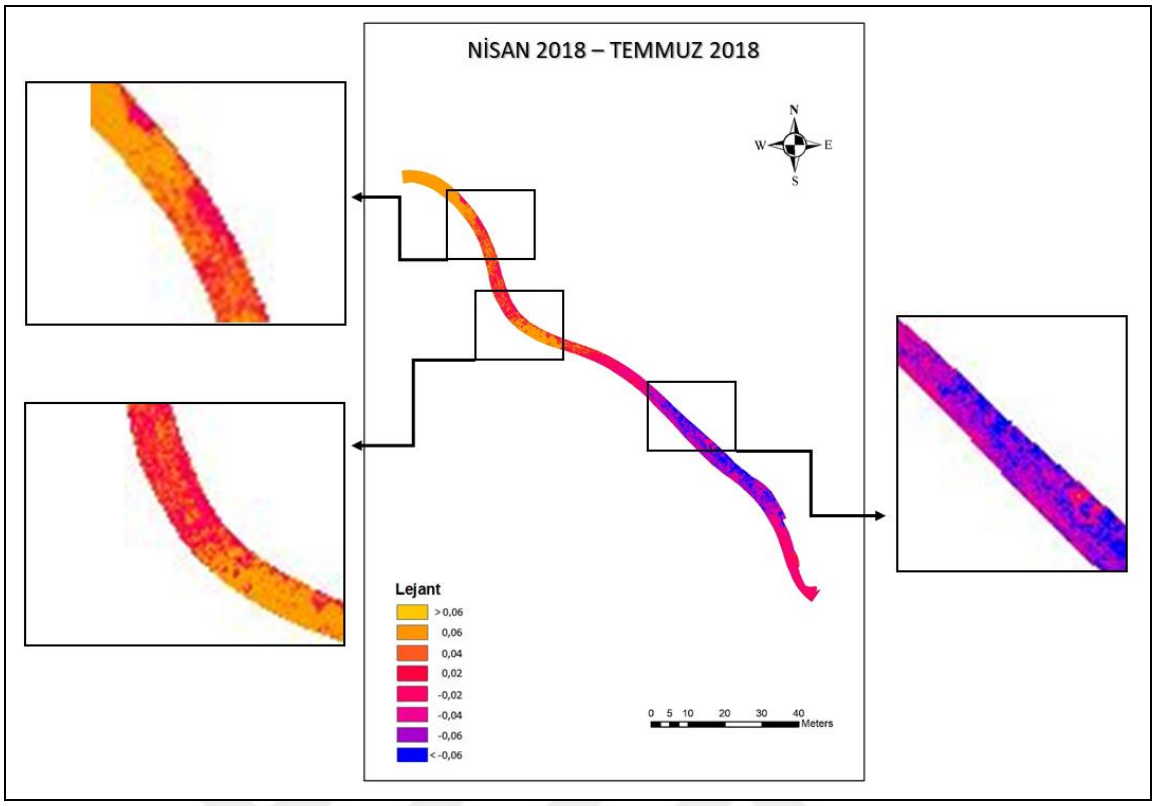
Çalışma alanında Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki alansal üst yapı bozulma değerleri sonuçlarına göre; aylık olarak en yüksek aşınma Eylül 2017-Kasım 2017 döneminde (ortalama -270,42 m^2/ay), en düşük aşınma ise Kasım 2017-Nisan 2018 döneminde (ortalama -64,49 m^2/ay) hesaplanmıştır. Ayrıca aylık olarak en yüksek birikme Kasım 2017-Nisan 2018 döneminde (ortalama 61,00 m^2/ay) ve en düşük birikme ise Eylül 2017-Kasım 2017 döneminde (ortalama 12,67 m^2/ay) hesaplanmıştır (Çizelge 3.1). Dönemlere ait bozulmalar tarih sıralamasına göre verilmiştir (Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7).



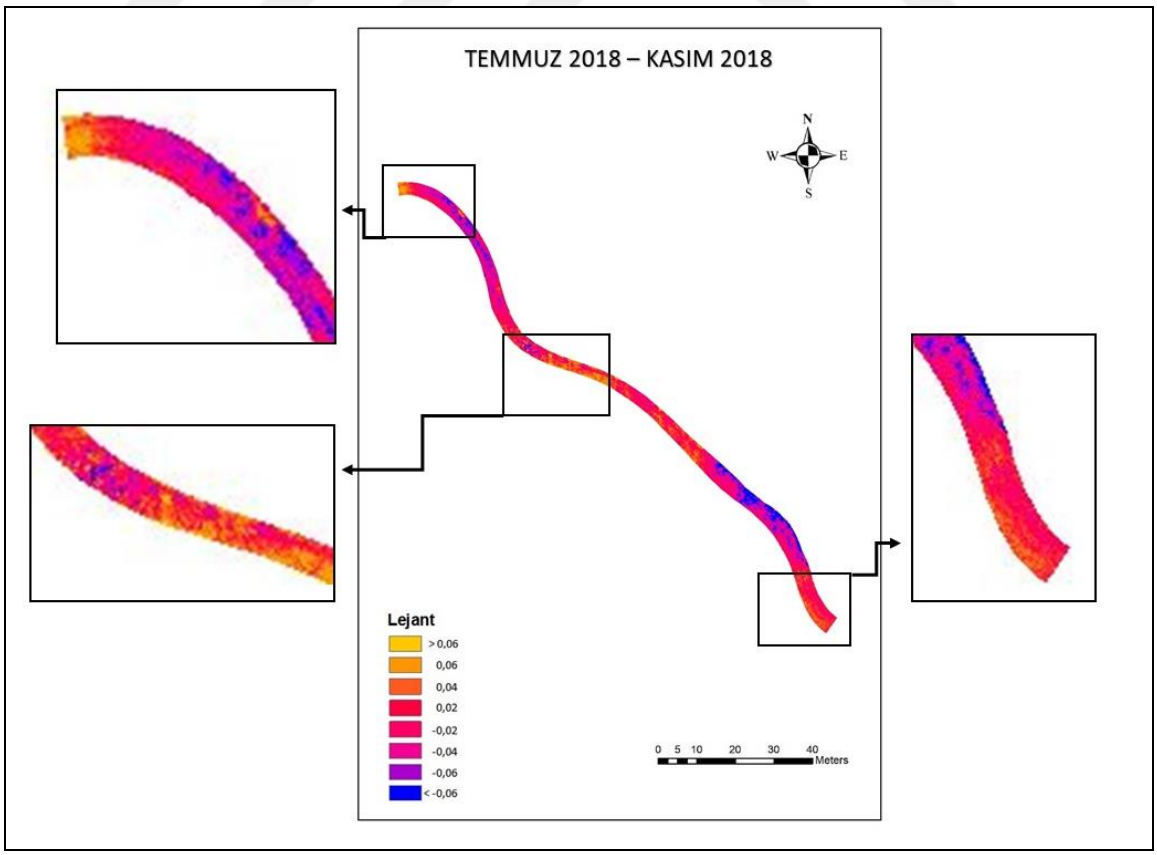
Şekil 3.4. Eylül 2017-Kasım 2017 dönemi alansal bozulmalar.



Şekil 3.5. Kasım 2017-Nisan 2018 dönemi alansal bozulmalar.



Şekil 3.6. Nisan 2018-Temmuz 2018 dönemi alansal bozulmalar.

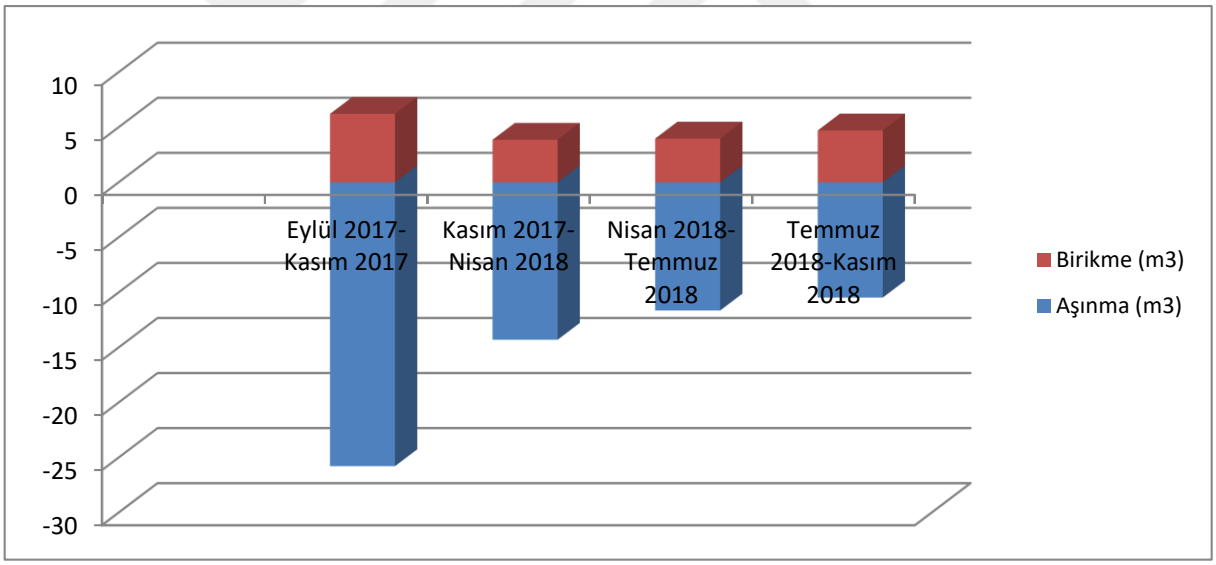


Şekil 3.7. Temmuz 2018-Kasım 2018 dönemi alansal bozulmalar.

Çalışmada Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki (14 ay süreli) hacimsel bozulmalar incelemiş, aşınma ve birikme olarak sınıflandırmıştır. Yol üst yapısındaki hacimsel aşınma ve birikme değerleri Çizelge 3.2'de verilmiş ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışma alanı Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki hacimsel aşınma ve birikme miktarları.

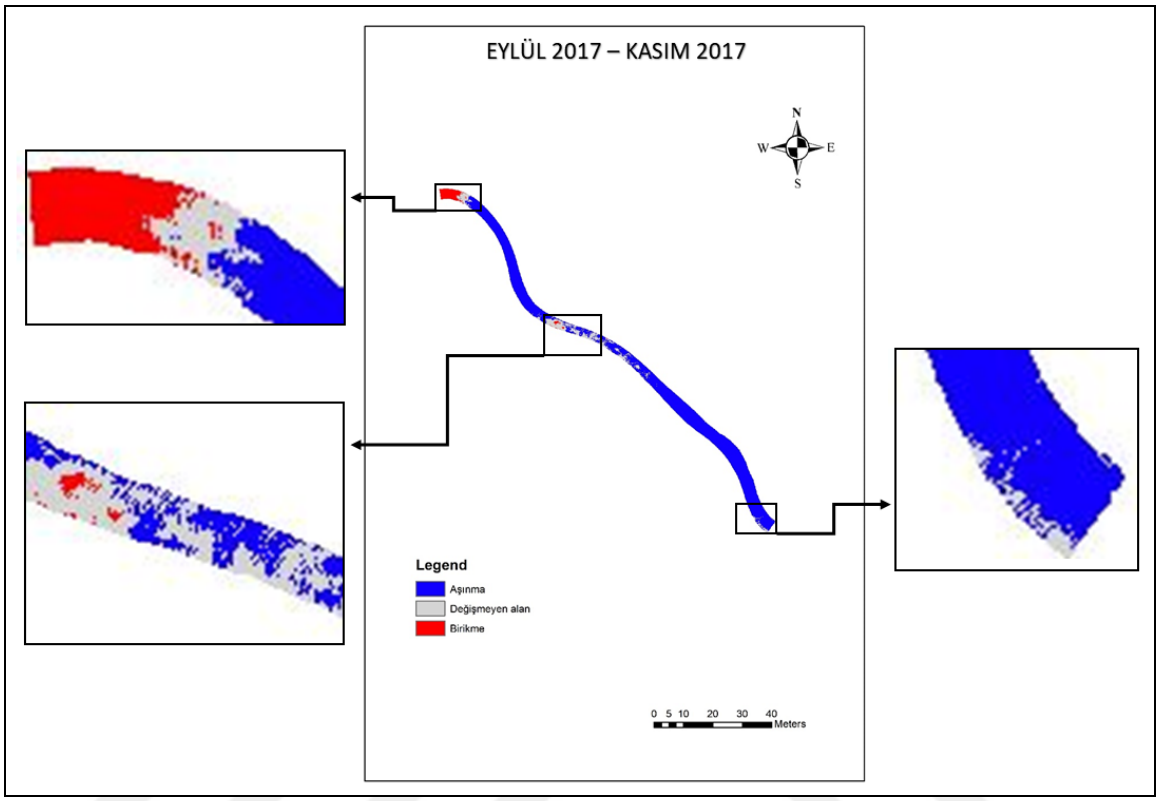
Dönemler	**Hacimsel**		**Aylık ortalama (m^3/ay)**	
	Aşınma (m^3)	**Birikme (m^3)**	**Aşınma (m^3)**	**Birikme (m^3)**
Eylül 2017-Kasım 2017	-25.77	6.21	-12.89	3.11
Kasım 2017-Nisan 2018	-14.29	3.86	-2.86	0.77
Nisan 2018-Temmuz 2018	-11.63	3.97	-3,88	1,32
Temmuz 2018-Kasım 2018	-10.46	4.71	-2.09	1.18
Toplam	-62.15	18.75		



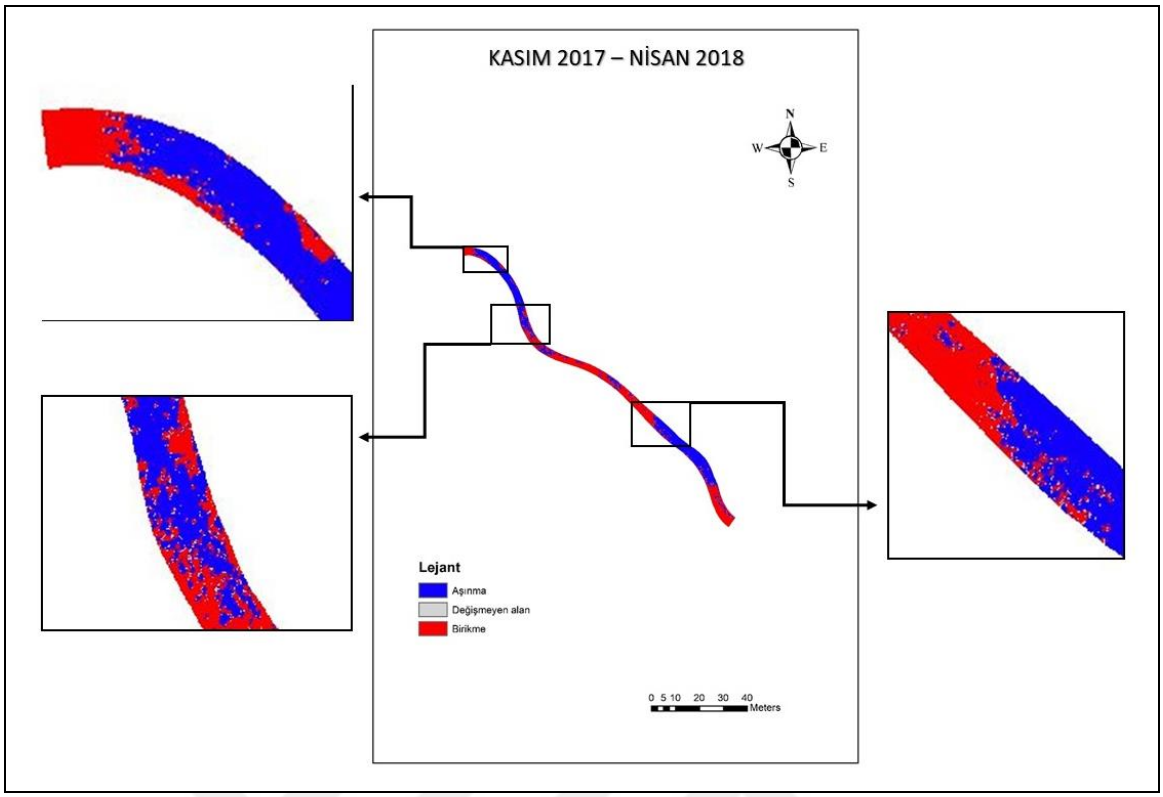
Şekil 3.8. Çalışma alanı Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki hacimsel aşınma ve birikme miktarı.

Çalışma alanında Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki hacimsel üst yapı bozulma değerleri sonuçlarına göre; aylık olarak en yüksek aşınma Eylül 2017-Kasım 2017 döneminde (ortalama -12,89 m^3/ay), en düşük aşınma ise Temmuz 2018-Kasım 2018 döneminde (ortalama -2,09 m^3/ay) hesaplanmıştır. Ayrıca aylık olarak en yüksek birikme Eylül 2017-Kasım 2017 döneminde (ortalama 3,11 m^2/ay) ve en düşük birikme

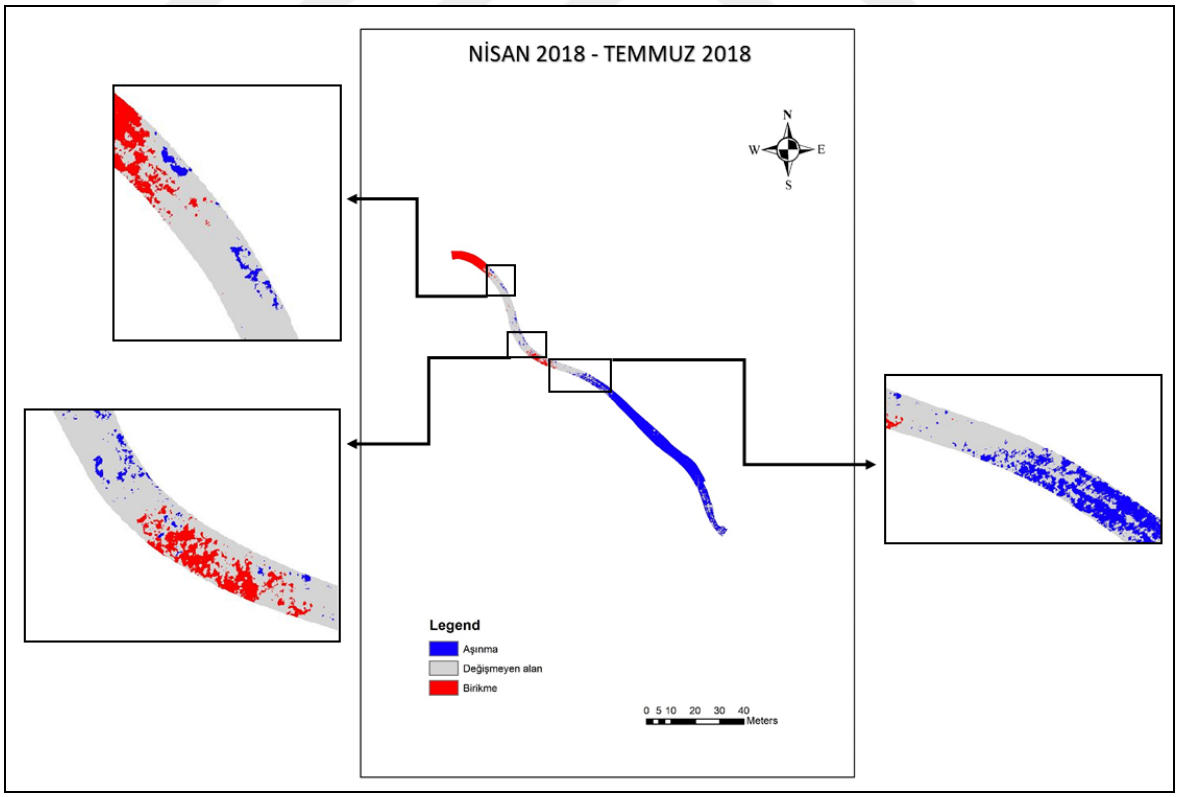
ise Kasım 2017-Nisan 2018 döneminde (ortalama 0,77 m^2/ay) hesaplanmıştır (Çizelge 3.2). Dönemlere ait bozulmalar tarih sıralamasına göre verilmiştir (Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11, ve Şekil 3.12).



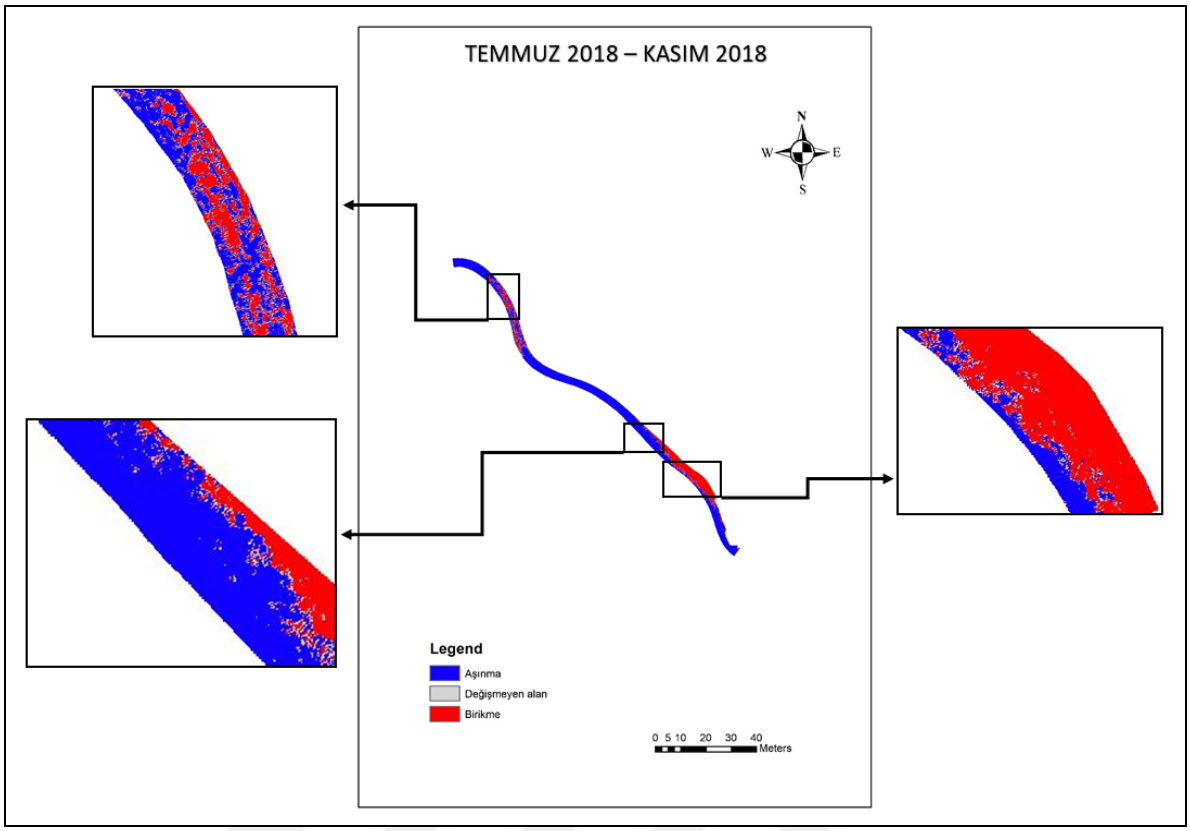
Şekil 3.9. Eylül 2017-Kasım 2017 dönemi hacimsel bozulmalar.



Şekil 3.10. Kasım 2017-Nisan 2018 dönemi hacimsel bozulmalar.



Şekil 3.11. Nisan 2018-Temmuz 2018 dönemi hacimsel bozulmalar.



Şekil 3.12. Temmuz 2018-Kasım 2018 dönemi hacimsel bozulmalar.

Yapılan çalışmalarda yol üst yapısının alansal ve hacimsel bozulma miktarlarının zamansal olarak farklılık gösterdiği belirtilmiştir (Akgul ve et al., 2017; Akay et al., 2018). Akay ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada bir yıl boyunca (üç aylık periyotlarda) yol üst yapısındaki bozulmaları yersel lazer tarayıcı ile incelemişlerdir. Çalışmada ortalama aylık alansal bazda aşınma miktarını 49,6 m^2, birikme miktarını ise 58,6 m^2 bulmuştur. Ayrıca ortalama aylık hacimsel bazda aşınma miktarını -0.75 m^2, birikme miktarını ise 0.51 m^3 bulmuştur. Ancak bu tez çalışmasında ortalama aylık alansal ve hacimsel bozulma değerleri, alansal birikme miktarı hariç (alansal bazda; aşınma 114,48 m^2, birikme 39,02 m^2, hacimsel bazda; aşınma -4,44 m^2, birikme 1,34 m^2) daha büyük çıkmıştır. Bunun nedeni tez çalışmasındaki yolun aksine yolun araç trafiğine kapalı olması olabilir. Farklı bir çalışmada bu durum desteklenmektedir (Adlinge and Gupta, 2013).

Ciobanu ve diğ. (2012) geleneksel yöntemle yaptığı 10 gün süreli çalışmada kamyonlarla 2 km uzunluğundaki üst yapılı orman yolları üzerinde gerçekleştirilen uzak nakliyat çalışması sonucunda yol yüzeyinde toplam -23,02 m^2 (-2,302 m^2/gün) alansal aşınma ve -8,96 m^3 (-0,896 m^3/gün) hacimsel aşınma değerlerini hesaplamıştır. Tez

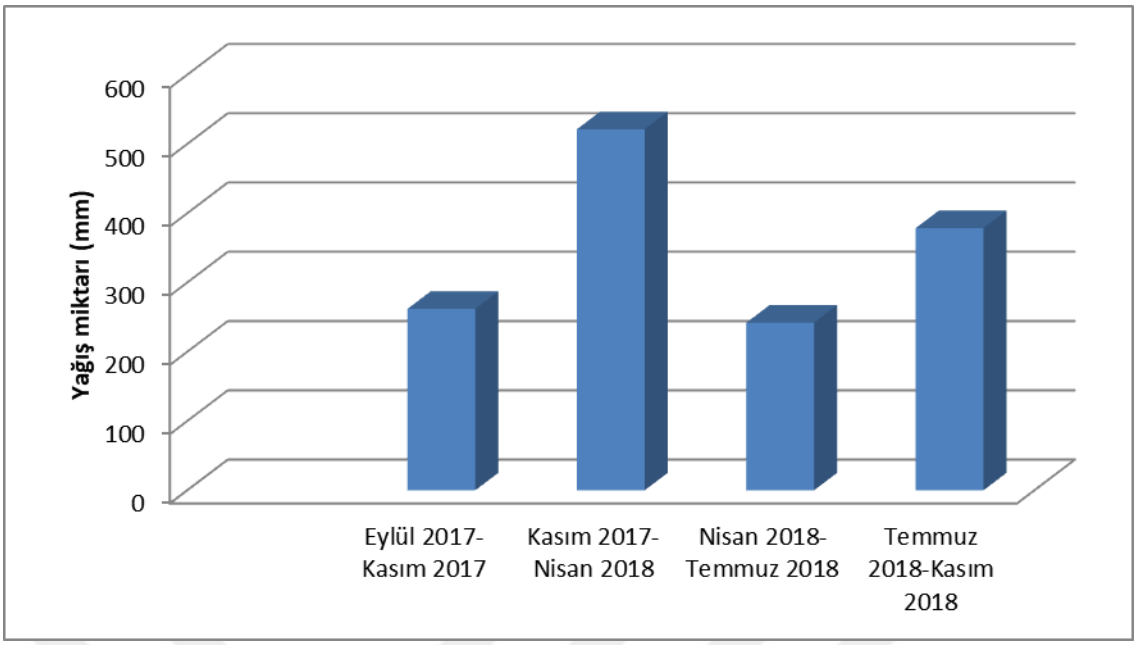
çalışmasında ise ortalama günlük alansal aşınma miktarı (3,82 m^2/gün) benzerlik gösterirken, hacimsel bazda aşınma miktarı (0,15 m^3/gün) arasında önemli fark vardır. Başka bir çalışmada Saceanu (2013) geleneksel yöntemle yaptığı 8 ay süreli kamyonlarla 2,5 km uzunluğundaki üst yapılı orman yolları üzerinde gerçekleştirilen uzak nakliyat çalışması sonucunda yol yüzeyinde toplam 224,2 m^2 (ortalama 28,02 m^2/ay- 0,94 m^2/gün) alansal bozulma (aşınma) değerleri tespit etmiştir. Saceanu (2013)'ün çalışması sonuçlarının tez çalışmasındaki bozulma değerlerinden yüksek çıkmamasının nedeninin geleneksel yöntemlerle elde edilen değerlerin subjektif ve ölçüm sonuçlarında değişkenlikler göstermesi olduğu düşünülmektedir.

3.3. METEOROLOJİK VERİLERE AİT BULGULAR

Meteorolojik veriler, çalışmanın yapıldığı alanda bulunan Kardüz Yaylası Meteorolojik Gözlem İstasyonundan Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki toplam 14 aylık veri temin edilmiştir (Çizelge 3.3). Çizelge incelendiğinde, 14 aylık dönem içerisinde en yüksek aylık toplam yağış miktarı 521,20 mm ile Kasım 2017-Nisan 2018 tarihleri arasında, en düşük yağış ise 241,90 mm ile Nisan 2018-Temmuz 2018 tarihleri arasında ölçülmüştür (Şekil 3.13, Çizelge 3.3). Çalışma döneminde toplam yağış miktarı 1403,60 mm; ortalama yağış miktarı ise 100,26 mm olarak kaydedilmiştir. Yol üst yapısında dönemsel yağış miktarına bağlı olarak meydana gelen alansal aşınma ile birikme ve hacimsel aşınma ile birikme miktarları Çizelge 3.4'te verilmiştir. Meteorolojik verilerin az olması ve alandan geçen araç sayısının belli olmamasından dolayı üst yapı bozulması bu verilerle ilişkilendirilememiştir.

Çizelge 3.3. Çalışma alanı dönemsel ortalama yağış miktarı.

Dönemler	**Yağış miktarı (mm^2)**
Eylül 2017-Kasım 2017	261.90
Kasım 2017-Nisan 2018	521.20
Nisan 2018-Temmuz 2018	241.90
Temmuz 2018-Kasım 2018	378.60
Toplam	1403.60



Şekil 3.13. Çalışma alanı Eylül 2017 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki dönemsel yağış miktarları.

Çizelge 3.4. Yağış miktarı verileri ile alansal ve hacimsel aşınma ile birikme miktarları.

Dönemler	**Yağış miktarı (mm)**	**Alansal**		**Hacimsel**	
		Aşınma (m^2)	**Birikme (m^2)**	**Aşınma (m^3)**	**Birikme (m^3)**
Eylül 2017-Kasım 2017	261,90	540,83	25,37	25,77	6,21
Kasım 2017-Nisan 2018	521,20	322,43	304,98	14,29	3,86
Nisan 2018-Temmuz 2018	241,90	307,35	72,49	11,63	3,97
Temmuz 2018-Kasım 2018	378,60	432,15	143,5	10,46	4,71
Toplam	1403,60	1602,76	546,34	62,15	18,75

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada orman yolu üst yapı bozulmaları uçangöz ile izlenmiştir. Zamansal olarak (14 ay süreli) yol bozulmaları ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmaya konu örnek yolun uzunluğu 200 metre, boyuna ortalama eğimi % 6 ve değerlendirilen platform alanı 641,38 m^2'dir. Çalışma alanında alansal bozulmalara ait incelemede toplam 1602,76 m^2 aşınma (ortalama -114,48 m^2/ay – (-3,82) m^2/gün) ve 546,34 m^2 birikme (ortalama 39,02 m^2/ay – 1,30 m^2/gün) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca hacimsel bozulmalara ait incelemede toplam -62,15 m^3 aşınma (ortalama -4,44 m^3/ay – (-0,15) m^3/gün) ve 18,75 m^3 birikme (ortalama 1,34 m^3/ay – 0,05 m^3/gün) olduğu bulunmuştur.

Geleneksel yöntemlerle elde edilen bozulma miktarlarının belirlenmesinde, arazi üzerinde ölçümü yapan personelin tecrübesi önem kazanmakta, elde edilen değerler zaman alıcı ve ölçüm sonuçlarında değişkenlikler söz konusu olabilmektedir. Bu tez çalışması ile otomatik yöntemlerden olan uçangöz ile yol üst yapısındaki bozulmalar tespit edilmiş geleneksel ölçme yöntemi olan geleneksel yöntemin hatalarının önüne geçilmiştir.

Çalışmada Uçangöz ile yüksek çözünürlüklü ortofoto harita üretilmiş, maliyetli bir iş kalemi olan üst yapı bakım ve onarım çalışmalarının yolun tamamı yerine bozulan lokal alanlara uygulanarak yol bakım ve onarım çalışmalarının maliyetini azaltacak şekilde sonuçlar ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, Uçangöz sistemi, yol üst yapısının izlenmesinde ve değerlendirilmesinde etkili bir şekilde kullanılabilir.

Uçangöz sistemi veri toplanma ve depolanması imkânları söz konusu olmaktadır. Ancak özellikle nokta bulutu verilerinin yüksek boyutlarda olmasından ve nokta boyutu yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklı veri işlenmesi için yüksek işlem kapasitesine sahip iş istasyonları gerektirmektedir.

Orman yolu üst yapı bozulmalarının izlenmesinde Uçangözün özellikle otonom uçuşlarında meşcere kapalılığı düşük olmalı ya da açıklık alan olmalı, aksi halde uçuş zorlukları ve görüntü alımında problemler yaşanmaktadır. Ayrıca orman yollarında uçangöz verilerinin işlenmesinde nokta bulutlarının temizlenmesi işlemlerinde orman yol yüzeyinde biriken ağaç yaprakları, dallar vb. vejetasyon unsurları göz önünde

bulundurulmalıdır.

Orman yolları ile ilgili olarak daha hassas verilerin elde edilmesinde Uçangözle düşük irtifada manuel uçuşlar gerçekleştirilmelidir.

5. KAYNAKLAR

Akay, A. O., Akgul, M., & Demir, M. (2018). Determination of temporal changes on forest road pavement with terrestrial laser scanner. *Fresenius Environmental Bulletin, 27* (3) ,1437-1448.

Adlinge, S. S., & Gupta, A. K. (2013). Pavement deterioration and its causes. *International Journal of Innovative Research and Development, 2*(4), 437-450.

Akgül, M., Yurtseven, H., Akburak, S., Demir, M., Cigizooğlu, H. K., Öztürk, T., Ekşi, M., & Akay, A. O. (2017). Short term monitoring of forest road pavement degradation using terrestrial laser scanning. *Measurement,* 103, 283–293.

Ambrosia, V. G., Wegener, S., Zajkowski, T., Sullivan, D.V., Buechel, S., Enomoto, F., Lobitz, B. Johan, S., Brass, J., & Hinkley, E. (2011). The Ikhana unmanned airborne system (UAS) western states fire imaging missions: From concept to reality (2006–2010). *Geocarto Int.,* 26, 85-101.

Anonim, (2011). Kardüz Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı, *Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü*.

Attoh-Okine, N., & Adarkwa, O. (2013). 'Pavement condition surveys–overview of current practices'. Phd thesis, University of Delaware, Newark, USA.

Li, B., Sheng, X., Xia, A., Chengwen, E., & Li, B. (2008). Actualize of low altitude large scale aerophotography and geodesic base on fixed-wing unmanned aerial vehicle platform. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(PART B1).

Bayoğlu, S. (1997). *Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları*, İstanbul: İ.Ü. Yayınları.

Bendea H., Boccardo P., Dequal S., Tonolo F. G., Marencchino, D., & Piras, M. (2008). Low cost UAV for post disaster assessment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37*(B8), 1373-1379.

Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Suarez, L., & Fereres, E. (2009). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 47*, 722-738.

Bogus, S. M., Song, J., Waggerman, R., & Lenke, L. R. (2010). Rank correlation method for evaluating manual pavement distress data variability. *Journal of Infrastructure Systems, 16*(1), 66-72.

Breckenridge, R. P., & Dakins, M. E. (2011). Evluation of bare ground on rangelands using Unmanned Aerial Vehicles: A case study. *GIScience & Remote Sensing, 48*(1), 74-85.

Brockenbrough, R. L., & Boedecker, K. J. (2003). *Highway engineering handbook: building and rehabilitating the infrastructure*. New York: McGraw-Hill.

Ciobanu, V., Alexandru, V., & Săceanu, S. C. (2012). Degradation forms of forest gravel road roadways under heavy vehicles used in timber transport. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering, 1*.

Díaz-Vilariño, L., González-Jorge, H., Martínez-Sánchez, J., Bueno, M., & Arias, P. (2016). Determining the limits of unmanned aerial photogrammetry for the evaluation of road runoff. *Measurement, 85*, 132-141.

Dobson, R. J., Brooks, C., Roussi, C., & Colling, T. (2013). Developing An Unpaved Road Assessment System For Practical Deployment With High-Resolution Optical Data Collection Using A Helicopter UAV. Içinde *In 2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (ss. 235-243).

Dunford, R., Michel, K., Gagnage, M., Piégay, H., & Trémelo, M. L. (2009). Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest. *International Journal of Remote Sensing, 30*(19), 4915-4935.

Eisenbeiss H., & Sauerbier M. (2011). Investigation Of Uav Systems And Flight Modes For Photogrammetrıc Applications. *The Photogrammetric Record, 26*(136), 400–421.

Fannin, R. J., & Lorbach, J. (2007). !Guide to forest road engineering in moutainous terrain', PhD thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada.

Feng, W., Yundong, W., & Qiang, Z. (2009). UAV Borne Real-Time Road Mapping System. Içinde *In 2009 Joint Urban Remote Sensing Event* (ss. 1-7).

Fischler, M. A., & Bolles, R. C. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM, 24*(6), 381-395.

Fladeland, M., Sumich, M., Lobitz, B., Kolyer, R., Herlth, D., Berthold, R., & Bland, G. (2011). The NASA SIERRA science demonstration programme and the role of small–medium unmanned aircraft for earth science investigations. *Geocarto International, 26*(2), 157-163.

Fwa, T. F. (2005). *The Handbook Of Highway Engineering*. USA: CRC Press.

Haas, R., Hudson, W. R., & Zaniewski, J. P. (1994). *Modern Pavement Management* . Malabar, FL: Krieger Publishing Company.

Hardin, P. J., Jackson, M. W., Anderson, V. J., & Johnson, R. (2007). Detecting squarrose knapweed (Centaurea virgata Lam. Ssp. squarrosa Gugl.) using a remotely piloted vehicle: a Utah case study. *GIScience & Remote Sensing, 44*(3), 203-219.

Hasdemir, M., & Demir, M. (2000). Türkiye'de orman yollarını karayollarından ayıran özellikler ve bu yolların sınıflandırılması. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 50*(2), 85-96.

Herr, B. (2001). *Calibration And Operation Of Pavement Profile Scanners*. RPUG, Lake Tahoe.

Herr, B. 2009, *PSI Current technology overview*, viewed 11 July 2009,

<http://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/5143>.

Hervouet, A., Dunford, R., Piégay, H., Belletti, B., & Trémélo, M. L. (2011). Analysis of post-flood recruitment patterns in braided-channel rivers at multiple scales based on an image series collected by unmanned aerial vehicles, ultra-light aerial vehicles, and satellites. *GIScience & Remote Sensing*, *48*(1), 50-73.

Hinkley, E. A., & Zajkowski, T. (2011). USDA forest service–NASA: unmanned aerial systems demonstrations–pushing the leading edge in fire mapping. *Geocarto International*, *26*(2), 103-111.

Hrůza, P., Mikita, T., & Janata, P. (2016). Monitoring of forest hauling roads wearing course damage using unmanned aerial systems. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, *64*(5), 1537-1546.

İnşaat ve ikmal ,Viewed 15 April 2019,<http://web.ogm.gov.tr/birimler/merkez/insaatveikmal/Dokumanlar/Forms/AllItems.aspx>.

Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S., Mcmurtrey, J. E., & Walthall, C. L. (2005). Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, *6*(4), 359-378.

Hunt, E. R., Hively, W. D., Fujikawa, S., Linden, D., Daughtry, C. S., & McCarty, G. (2010). Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring. *Remote Sensing*, *2*(1), 290-305.

Kardüz Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı 2010, Düzce, Türkiye.

Kim N.V., & Chervonenkis, M. A. (2015). Situation control of unmanned aerial vehicle for road traffic monitoring, *Modern Applied Science*; *9* (5), 1-13.

Laliberte, A. S., Winters, C., & Rango, A. (2011). UAS remote sensing missions for rangeland applications. *Geocarto International*, *26*(2), 141-156.

Laliberte, A.S., & Rango, A. (2011). Image processing and classification procedures for analysis of sub-decimeter imagery acquired with an unmanned aircraft over arid rangelands. *GISci. Remote Sens*, 48, 4-23.

Lejot, J., Delacourt, C., Piégay, H., Fournier, T., Trémélo, M. L., & Allemand, P. (2007). Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, *32*(11), 1705-1725.

Lindner, G., Schraml, K., Mansberger, R., & Hübl, J. (2016). UAV monitoring and documentation of a large landslide. *Applied Geomatics*, *8*(1), 1-11.

Lucieer, A., Jong, S. M. D., & Turner, D. (2013). Mapping landslide displacements using Structure form Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photogrammetry. *Progress in Physical Geography*, 1-20.

Lucieer, A., Jong, S. M. D., & Turner, D. (2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in Physical Geography*, *38*(1), 97-116.

Akgul, M., Yurtseven, H., Akburak, S., Demir, M., Cigizoglu, H. K., Ozturk, T., ... & Akay, A. O. (2017). Short term monitoring of forest road pavement degradation using terrestrial laser scanning. *Measurement*, *103*, 283-293.

McGhee, K. H., (2004). *Automated Pavement Distress Collection Techniques.* Washington: Transportation Research Board.

Mitch, B., & Salah, S. (2009). Architecture for cooperative airborne simultaneous localization and mapping. *Journal Intelligent. Robotic System*, 55, 267-297.

Nasiri, M., & Hojjati, S. M. (2012). Designing geometric specifications of main access road and its effect on pavement rutting. *Annals of Biological Research*, *3*(5), 2491-2499.

Nasırı, M., Hosseını, S. A., Tafazoli, M., Sohrab, M., (2012). The role of logging operation on rut development in hyrcanian forest roads. *Journal of Applied Biological Sciences*, *6*(3), 7-11.

Nebiker, S., Annen, A., Scherrer, M., & Oesch, D. (2008). A light-weight multispectral sensor for micro UAV—Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, *37*(B1), 1193-1199.

Newcome, L. R. (2004). *Unmanned Aviation: A Brief History Of Unmanned Aerial Vehicles*. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Niethammer, U., Rothmund, S., & Joswig, M. (2009). UAV-Based Remote Sensing Of The Slow-Moving Landslide Super-Sauze. Içinde *In Proceedings of the International Conference on Landslide Processes: from geomorpholgic mapping to dynamic modelling, Strasbourg, CERG Editions* (pp. 69-74).

Erdaş, O., Acar, H., Karaman, A., & Gümüş, S. (1997). Road Construction in Mountains Regions and its Environmental Impacts From A View Point Of Sustainable Forestry. *Proceedings of the XI World Forestry Cogress.*

O. Erdaş, (1997). *Orman Yolları*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

OGM, (2008). *Orman yolları planlanması yapımı ve bakımı*, Rapor no. 292, Ankara.

Paterson, W. D. (1987). *Road deterioration and maintenance effects: Models for planning and management*. Washington: The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.

Rango, A., Laliberte, A., Steele, C., Herrick, J. E., Bestelmeyer, B., Schmugge, T., ... & Jenkins, V. (2006). Using unmanned aerial vehicles for rangelands: current applications and future potentials. *Environmental Practice*, *8*(3), 159-168.

Tighe, S., Haas, R., & Ponniah, J. (2003). Life-cycle cost analysis of mitigating reflective cracking. *Transportation research record*, *1823*(1), 73-79.

Adlinge, S. S., & Gupta, A. K. (2013). Pavement deterioration and its causes. *International Journal of Innovative Research and Development*, *2*(4), 437-450.

Săceanu, C. (2013). Forest Roads Degradation İn Correlation With Traffic Characteristics. Içinde *In Proceedings of the Biennial International Symposium,*

Forest and Sustainable Development, (ss. 133-138).

Serigos, P. A., Prozzi, J. A., Nam, B. H., & Murphy, M. R. (2012). *Field evaluation of automated rutting measuring equipment*. Washington: The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.

Snavely, N. (2008). 'Scene reconstruction and visualization from Internet photo collections', PhD thesis, University of Washington, USA.

Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2006). Photo tourism: exploring photo collections in 3D. In *ACM transactions on graphics*, 25 (3), 835-846.

Swain K. C., Jayasuriya H. P. W., & Salokhe V. M. (2007). Low altitude remote sensing (LARS): a potential substitution to satellite-based systems for precision agriculture adoption under farming conditions in developing countries. *Agricultural Engineering International: the CIGR e-journal*,12.

T.C. Orman Genel Müdürlüğü. *Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımı*. İnşaat ve İkmal Dairesi Başkanlığı.

Tahar, K. N., Ahmad, A., & Akib, W. A. A. W. M. (2011). UAV-based stereo vision for photogrammetric survey in aerial terrain mapping. Içinde *In 2011 IEEE International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE)* (ss. 443-447).

Turk, Y., Aydin, A., Eker, R., & Bodur, M. (2018). Evaluation of UAV Usage Possibility in Determining the Environmental Impacts of Construction Activities of Forest Roads: Preliminary Results, *International Ecology 2018 Symposium*, (ss. 469).

Düzce valiliği, *Jeolojik yapı*, viewed 30 July 2019, <http://www.duzce.gov.tr/jeolojik-yapi>.

Wang, G., & Wu, Q. M. J. (2011). *Guide To Three Dimensional Structure And Motion Factorization*. London: Springer-Verlag Limited.

Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing*, *4*(6), 1671-1692.

Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion'photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, *179*, 300-314.

Xiang, H., & Tian, L. (2011). Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems engineering*, *108*(2), 174-190.

Zarco-Tejada, P. J., Berni, J. A., Suárez, L., Sepulcre-Cantó, G., Morales, F., & Miller, J. R. (2009). Imaging chlorophyll fluorescence with an airborne narrow-band multispectral camera for vegetation stress detection. *Remote Sensing of Environment*, *113*(6), 1262-1275.

Zhang, C. (2008). An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci*, *37*, 627-632.

Kaare, K. K., Kuhi, K., & Koppel, O. (2012). Tire and pavement wear interaction

monitoring for road performance indicators. *Estonian Journal of Engineering*, *18*(4), 324-335.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	: Feyzi BOZ
Doğum Tarihi ve Yeri	: 05.08.1990, Denizli
Yabancı Dili	: İngilizce
E-posta	: feyziboz@ogm.gov.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Orman Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Orman Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2015
Önlisans	Odundışı Orman Ürünleri	S.Demirel Üniversitesi	2010

YAYINLAR

1. Boz, F., Turk, Y., Aydin, A., & Eker, R. (2017). Investigation of Drainage Works on Forest Roads, Icinde *International Symposium on New Horizons in Forestry*, (ss. 991).
2. Turk, Y., Boz, F., Aydin, A., & Eker, R. (2019). Evaluation of UAV Usage Possibility in Determining the Forest Roads Pavement Degradation: Preliminary Results, Icinde *3rd International Engineering Research Symposium*.