T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORMAN YOLLARINDA ÜST YAPI TAŞIMA KAPASİTESİNİN ZAMANSAL ve MEKANSAL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Serhat MERCAN

DANIŞMAN
Doç. Dr. Mustafa AKGÜL

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 11.06.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Doç. Dr. Mustafa AKGÜL
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi

Prof. Dr. H.Hulusi ACAR
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi

Prof. Dr. Murat DEMİR
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, 214O214 numaralı Tübitak projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisansüstü öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı, çok değerli hocam Doç.Dr.Üyesi Mustafa AKGÜL'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince değerli katkılarını esirgemeyen ve her türlü yapıcı eleştirileriyle tezime yön veren Prof.Dr. H.Hulusi ACAR'a, Dr.Öğr. Üyesi Hüseyin YURTSEVEN'e, Dr.Öğr. Üyesi Serdar AKBURAK'a ve Araş.Gör.Anıl Orhan AKAY'a teşekkür ederim.

Anabilim Dalımız öğretim üyelerinden Prof.Dr.Hüseyin E.ÇELİK, Prof.Dr.Mesut HASDEMİR, Prof.Dr. Murat DEMİR, Prof.Dr.Tolga ÖZTÜRK ve Doç.Dr.Necmettin ŞENTÜRK'e ayrıca teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmam boyunca her aşamada desteklerini esirgemeyen aileme ve Sinem KARİP'e teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019 Serhat MERCAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vi**
TABLO LİSTESİ ..... **viii**
KISALTMA LİSTESİ ..... **ix**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **4**
3. MALZEME VE YÖNTEM **10**
3.1. ARAŞTIRMA ALANININ GENEL TANITIMI 10
3.2. ÇALIŞMADA KULLANILAN PENETROMETRE CİHAZININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ VE ÜST YAPI SIKIŞMA ORANININ HESAPLANMASI-HARİTALANMASI 11
3.3. YOLDAKİ ARAÇ GEÇİŞİNE AİT VERİLERİN BELİRLENMESİ 13
3.4. ÇALIŞMA ALANINA AİT METEOROLOJİK VERİLERİN TEMİNİ 14
4. BULGULAR **15**
4.1. ARAÇ GEÇİŞİNE AİT BULGULAR 15
4.2. METEOROLOJİK VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ 19
4.3.AYLIK ÜST YAPI SIKIŞMA ORANLARININ HESAPLANMASI VE HARİTALANDIRILMASINA AİT BULGULAR 21
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **36**
KAYNAKLAR **39**
ÖZGEÇMİŞ **41**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Sırasıyla DCP, LFWD ve FWD cihazları (Kaakkurivaa, (2018) 8

Şekil 2.2. Taşıma kapasitesinin genel olarak değişimi (Charlier ve diğ., 2009). 9

Şekil 3.1. Çalışma sahası konumu 10

Şekil 3.2. Üst yapı sıkışma oranlarının belirlenmesi için kullanılan penetrometre cihazı 11

Şekil 3.3. Yol ekseni boyunca tesis edilen penetrometre ölçüm hatları 11

Şekil 3.4. Penetrometre ölçüm noktaları 12

Şekil 3.5. Aylık veri setinin oluşturulmasında kullanılan sıkışma oranı haritalanması iş akış şeması 13

Şekil 3.6. Bushnell Trophy Cam teknik özellikleri 13

Şekil 3.7. Yeşil Çatı Araştırma ve Gözlem İstasyonu 14

Şekil 4.1. Araç geçişi ve toplam tonaj değerlerinin değişimi 17

Şekil 4.2. Fotokapanlardan elde edilen farklı araç tiplerine ait örnek fotoğraflar 18

Şekil 4.3. Meteorolojik verilerin aylık dağılımı 20

Şekil 4.4. 005 kod no'lu yola ait üst yapı sıkışma oranının alansal değişimi 22

Şekil 4.5. 005 kod no'lu yola ait sıkışma oranlarının yol eksenine göre değişimi 23

Şekil 4.6. 2015 Ekim ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 24

Şekil 4.7. 2015 Kasım ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 24

Şekil 4.8. 2015 Aralık ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 25

Şekil 4.9. 2016 Ocak ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 25

Şekil 4.10. 2016 Şubat ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 26

Şekil 4.11. 2016 Mart ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 26

Şekil 4.12. 2016 Nisan ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 27

Şekil 4.13. 2016 Mayıs ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 27

Şekil 4.14. 2016 Haziran ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 28
Şekil 4.15. 2016 Temmuz ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 28
Şekil 4.16. 2016 Ağustos ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 29
Şekil 4.17. 2016 Eylül ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 29
Şekil 4.18. 2016 Ekim ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 30
Şekil 4.19. 2016 Kasım ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 30
Şekil 4.20. 2016 Aralık ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 31
Şekil 4.21. 2017 Ocak ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 31
Şekil 4.22. 2017 Şubat ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 32
Şekil 4.23. 2017 Mart ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 32
Şekil 4.24. 2017 Nisan ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 33
Şekil 4.25. 2017 Mayıs ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 33
Şekil 4.26. 2017 Haziran ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 34
Şekil 4.27. 2017 Temmuz ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 34
Şekil 4.28. 2017 Ağustos ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 35
Şekil 4.29. 2017 Eylül ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası 35

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Orman Yolları Geometrik Standartları (OGM, 2008).....4

Tablo 2.2. Farklı ölçüm aletlerinin özellikleri.....8

Tablo 4.1. Araç kullanım özellikleri.....16

Tablo 4.2. Meteorolojik özet verileri.....19

Tablo 4.3. 2015 Ekim - 2017 Eylül arası aylık sıkışma oranlarının alansal dağılımı 21

Tablo 4.4. 005 kodlu yola ait yol eksen sıkışma oranın tanımlayıcı istatistik sonuçları.....22

Tablo 4.5. 005 kodlu yoluna ait verilere ait korelasyon (pearson) sonuçları 23

KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
Mpa	: Megapascal
kN	: Kilonewton
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORMAN YOLLARINDA ÜST YAPI TAŞIMA KAPASİTESİNİN ZAMANSAL ve MEKANSAL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Serhat MERCAN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mustafa AKGÜL

Orman yollarında üst yapı taşıma kapasitesi dış etkenlere bağlı olarak değişmekte ve zamanla yol üst yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Söz konusu bu bozulmalar dış etkenlere bağlı olarak, alansal ve noktasal bazda bozulmayı artırmakta ve dolayısıyla da yol bakım masraflarını artırmaktadır. Çalışmanın amacı, Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı mekânsal analiz yöntemleri ile noktasal bazda veri temini sağlayan üst yapı taşıma kapasitesi verilerinin değerlendirilerek alansal taşıma kapasitesi haritalarının üretilmesidir. Ayrıca söz konusu alansal taşıma kapasitesi haritalarından yararlanarak zamansal değişim haritaları türetilmiş ve değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; yoldaki sıkışma oranlarının çevresel değişkenler ile olan ilişkisi değerlendirildiğinde; üst yapı sıkışma oranının yağış şiddeti, toplam sefer, toplam tonaj ile kuvvetli negatif ilişki ($p<0,05$) gösterdiği tespit edilmiştir. Orman yollarında tamir ve bakım çalışmalarında değerlendiricilerin alansal ve zamansal üst yapı taşıma kapasite haritalarını dikkate almaları, hem hassasiyet hem de doğru zamanlama açısından etkin sonuçlar elde etmelerine yardımcı olacaktır.

Mayıs 2019, 41. sayfa.

Anahtar kelimeler: Orman yolu, üst yapı sıkışma oranı, penetrometre, CBS

SUMMARY

M.Sc. THESIS

SPATIO-TEMPORAL EVALUATION of PAVEMENT BEARING CAPACITY on FOREST ROADS

Serhat MERCAN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa AKGÜL

The pavement bearing capacity in forest roads changes due to external factors and in time leads to deterioration of road superstructure. These deterioration increases the spatial and point-based distortion due to external factors and thus increases road maintenance costs. The aim of the study is to evaluate the pavement bearing capacity data that provides point-based data acquisition by means of Geographical Information System based spatial analysis methods and to produce the spatial carrying capacity maps. In addition, temporal change maps are derived and evaluated by using these maps of pavement bearing capacity.

According to the results obtained, when the relationship between the compression ratios and the environmental variables were evaluated, the compression ratio showed a strong negative relationship with rainfall intensity, total voyage and total tonnage ($p < 0.05$). In the repair and maintenance of forest roads, evaluators take into account spatial and temporal pavement bearing capacity maps, which will help them achieve effective results in terms of both precision and correct timing.

May 2019, 41. pages.

Keywords: Forest road, pavement bearing capacity, penetrometer, GIS

1. GİRİŞ

Yol alt yapısı üzerine inşa edilen üst yapı, yolun trafik yükünü taşıyan ve yolun uzun dönem performansında önemli rol oynayan tabakalı bir kısımdır. Ormancılık aktivitelerini oluşturan üretim çalışmaları, silvikültürel faaliyetler, orman yangınlarıyla ve böcek zararları ile mücadele, rekreasyon gibi aktiviteler nedeniyle orman yolları, farklı tipte araçlar (kamyon, traktör, otomobil vb.) tarafından önemli ölçüde kullanılmaktadır. Bu yol kullanım durumuna bağlı olarak da yol yüzeyinde belirli ölçüde trafik yükü söz konusu olmaktadır. Trafik yüküne ek olarak olumsuz hava koşullarının da (yağış, sıcaklık, nem vb.) etkisiyle, tüm yol üst yapılarında olduğu gibi orman yolları üst yapısı performansı da olumsuz olarak etkilenebilmektedir. Akay (2016) gerçekleştirdiği çalışmasında bir yıl boyunca üç aylık periyotlarda orman yolları üst yapısında oluşan degredasyon miktarlarında, mevsim etkisi nedeniyle alansal olarak önemli farlılıklar olduğunu bildirmiştir.

Yol üst yapısında yukarıda belirtilen faktörlerin etkisi ile yapısal değişiklikler meydana gelmekte, bunun sonucunda da taşıma kapasitesi diğer bir anlamda da sıkışma derecesi değişmektedir. Üst yapıdaki taşıma kapasitesi değerleri yolun durumuna bağlı olarak, hem zamansal olarak hem de mekânsal olarak (kurp yerleri, aliyman yerleri vb.) farklılık gösterebilmektedir. O'mahanoy ve diğ. (2000) taşıma kapasitesini, yol üst yapısının yapısal olarak zarar görme seviyesine gelmeden önce destekleyebileceği tekerlek geçiş sayısı (trafik yükü) olarak tanımlamaktadır. Dolayısıyla yol üst yapısının taşıma kapasitesinin yolun trafik koşulları açısından uygunluğunu gösteren önemli bir gösterge olduğu söylenebilir.

Szentpeteri (2013) yol üzerindeki trafik yükünün deformasyonlara yol açarak yapısal değişime imkân sağladığını belirtmiştir. Vestin ve diğ (2012) ise yol üst yapı taşıma kapasitesinde, yağış ve sıcaklık faktörlerinin önemli ölçüde etkili olduğunu ayrıca vurgulamıştır. Kuşkusuz üst yapı performansının değerlendirilmesi, yolun uzun dönemde araçlar için güvenli trafik koşulları sağlaması açısından önem taşıyan bir konudur. Öte yandan ormancılık aktivitelerinin kesintiye uğramadan gerçekleştirilmesi açısından da ayrıca önemlidir. Bayoğlu (1997) orman yollarının toprak veya stabilize malzemeyle kaplı olması nedeniyle yolun kullanımı için belirli aralıklarla bakım ve onarım çalışmalarının yapılmasının büyük önem taşıdığını ifade etmiştir.

Ulusitilo (2010) ise düzgün bir orman yol ağı olmadan etkili bir orman yönetimi ve orman endüstrisi olamayacağını vurgulamıştır.

Üst yapı performansının değerlendirilmesinde toplanan veriler temel olarak; degredasyon (bozulma), pürüzlülük, yapısal kapasite ve kayma direnci olarak belirtilmektedir (Attoh-Okine ve Adarkwa , 2013). Daha önce ifade edildiği gibi yolun trafik koşulları açısından uygunluğunu gösteren aynı zamanda üst yapı performansını gösteren temel verilerden biri olan taşıma kapasitesinin ölçülmesi bu noktada bir gereksinim olarak ortaya çıkmaktadır. Taşıma kapasitesinin etkili olarak değerlendirilmesi hem yol bozulma durumunun hem de nakliyat masraflarınının minimize edilmesini sağlamaktadır. (O'Mahanoy ve diğ, 2000). Bu nedenle taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi bir yandan orman yollarında bakım ve onarım çalışmalarının etkin bir biçimde gerçekleştirilmesini, diğer yandan da yol üzerinde araç geçişlerinin sınırlandırılacağı dönemlerin belirlenmesini etkin bir şekilde sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasının amacı orman yolunda trafik ve hava koşullarının etkisiyle üst yapıda oluşan taşıma kapasitesini zamansal ve mekânsal olarak değerlendirmektir. Elde edilen sonuçların yol bakım ve onarım çalışmaları ile yol planlamaları çalışmalarında orman yol yöneticilerine altlık oluşturacağı düşünülmektedir. Bu amaçla yol üst yapısında taşıma kapasitesi iki yıl boyunca ölçülerek zamansal ve mekânsal olarak değişimi değerlendirilmiştir. Ölçümler her ayın 15'inden diğer ayın 15'ine periyotlarıyla alınmıştır ve değerlendirmeler buna göre yapılmıştır. Ayrıca zamansal ve mekânsal değişimler ile mevsimsel koşullar, trafik koşulları ve yol geometrik parametreleri aralarındaki ilişkiler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yol eğimi dikkate alınmamıştır.

Bu çalışmayla ilgili olarak aşağıda iki adet araştırma hipotezi oluşturulmuştur: Bunlar:

H_0: Orman yollarında üst yapı taşıma kapasitesi ile araç geçişi(sefer/tonaj) arasında herhangi bir ilişki yoktur.

H_A: Orman yollarında üst yapı taşıma kapasitesi ile geçişi(sefer/tonaj) arasında herhangi bir ilişki vardır.

Tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır.

"*Giriş*" bölümünde tez konusunun ilgili literatürdeki yeri verilmiş, konunun önemi ve amacı vurgulanmış, oluşturulan hipotezler verilmiş ve değerlendirilecek verilerle ilgili temel veriler ortaya konmuştur.

"Genel Kısımlar" bölümünde orman yolları ve üst yapısı kavramı ile bilgilere yer verilmiş, taşıma kapasitesi kavramı ve taşıması kapasitesini etkileyen faktörlere değinilmiş, bunun yanı sıra taşıma kapasitesinin ölçümünde kullanılan cihazlara yer verilmiştir.

"Malzeme ve Yöntem" bölümünde ilk olarak araştırma alanının genel tanıtımına yer verilmiş daha sonra sırasıyla çalışmada kullanılan penetrometre aletinin özellikleri, penetrometre aleti ile ilgili verilerin hesaplanması ve haritalanması, yoldaki araç geçiş verileri ve son olarak meteorolojik verilere değinilmiştir.

"Bulgular" bölümünde sırasıyla aylık üst yapı sıkışma oranlarının hesaplanması ve haritalandırılması bulguları, yol üzerinde araç geçiş bulguları ve meteorolojik verilere ait bulgulara yer verilmiştir.

"Tartışma ve Sonuç" bölümünde ise elde edilen sonuçlar genel olarak verilmiş ve bu sonuçlar literatürde bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Son olarak ortaya konulan çalışma da kullanılan yöntem ve sonuçlarla ile ilgili avantajlara ve bir takım önerilere yer verilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. Orman Yolları

Orman yollarının temel amacı ormanların işletmeye açılması ve entansif ve rasyonel ormancılığın mümkün kılınması şeklinde belirtilebilir. Yetiştirme (ekim, dikim, bakım), koruma, kesim ve taşımaya elverişli hale getirme (üretim), transport (taşıma), değerlendirme konularını kapsayan ormancılık çalışmaları için en önemli araçlardan birisini orman yolları oluşturmaktadır (Hasdemir ve Demir, 2000). Erdaş (1986) orman yollarını ormanların işletmeye açılmasına hizmet eden, lastik tekerlekli araçların yıl boyunca nakliyat yapmasına yönelik, orman içi ile orman dışı bağlantıyı sağlayan tek şeritli yolları olarak tanımlanmaktadır.

Aykut ve Demir (2004) orman yollarının ekonomik ve teknik yönden diğer yollardan farklı özelliklere sahip olduğunu ve yapım amaçları, planlama, geometrik standartları, inşa tekniği gibi unsurlar açısından diğer karayollarından ayrıldığını ifade etmiştir.

Türkiye'de orman yolları emval miktarları, yapılış gayeleri, trafik yoğunluğu, seyir halindeki araçların büyüklüğü ve tonajları dikkate alınarak ana orman yolları, tali orman yoları (A tipi ve B tipi) ve traktör yolları olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır. Bu yollara ilişkin geometrik standartlar Tablo 2.1'de gösterilmiştir

Tablo 1.1. Orman Yolları Geometrik Standartları (OGM, 2008)

Yolun tipi	**Birimi**	**Ana orman**	**Tali orman yolu**				**Traktör yolu**
			A - Tipi	**B - Tipi**			
				SBT[1]	**NBT[2]**	**EBT[3]**	
Platform	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	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	-

Orman yollarının tesis amaçları genel olarak aşağıda belirtilmiştir (Erdaş, 1997; Potocnic, 1996);

Orman ürünlerinin ekonomik olarak taşınması,

Orman içinde ekim, dikim, doğal gençleştirme vb. silvikültürel müdahalelerin zamanında gerçekleştirilmesi için ulaşım sorunun çözümü,

Orman içi köyler için ulaşım sağlanması,

Orman içi dinlenme ve avlanma tesislerine ulaşım,

Orman içindeki av ve yaban hayatı üretim yeri ve istasyonlarına ulaşım,

Orman içi rekreasyonel ve spor amaçlı ulaşım,

Yurt savunması amaçlı ulaşım imkanı.

2.2. Üst Yapı ve Taşıma Kapasitesi

Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından yürürlüğe konulan 292 sayılı tebliğde orman yolları üst yapısı trafik yüklerini taşımak ve doğacak gerilmeleri zemine dağıtmak üzere alt yapı üzerine granüler malzeme serilmesiyle elde edilen taşıyıcı tabaka olarak belirtilmektedir (OGM, 2008). Üst yapı malzemesi açısından ise orman yolları; toprak yollar, stabilize yollar, asfalt kaplamalı yollar ve beton yollar olmak üzere dört grupta kategorize edilmektedir (Erdaş, 1997)

Bayoğlu (1997) yol yapımında kabül edilen birinci esas gelen tekerlek yüklerinin üst yapı veya döşeme olarak adlandırılan alt temel ve temel tabakaları tarafından taşınacağını belirtmiştir. Erdaş (1997) taşıma yeteneğini, zeminin herhangi bir yüklenmeyi deformasyon ve oturmalar belli sınır içinde kalmak koşulu ile taşınabilmesi olarak tanımlamaktadır.

2.3.Taşıma Kapasitesi Ölçümü

Domitroviç and Rukavina (2015) üst yapı degredasyonunun uygun bakım ve onarım teknikleriyle azaltıp veya durdurabileceğinden dolayı, taşıma kapasitesinin değerlendirilmesinin gerekli olduğunu belirtmiştir.

Kaakkurivaara et al. (2015)'e göre orman yollarında taşıma kapasitesi ölçümleri temel olarak iki amaçla yapılmaktadır. Bunlardan birincisi yolların tamire ihtiyacı olup olmadığının belirlenmesidir. İkincisi ise ilkbahar mevsimi döneminde kar erimeleri nedeniyle taşıma kapasitesinde problemler meydana geldiğinden yol yüzeyinin günlük trafiğe elverişlilik durumunun değerlendirilmesi amacıdır.

Taşıma kapasitesinin direkt ölçümü mümkün olmadığından bilinen yük tarafından sebep olunan defleksiyon ölçülüp taşıma kapasitesi hesaplanmaktadır (Primusz ve diğ, 2015).

2.3.3. Taşıma Kapasitesinin Ölçümünde Kullanılan Aletler

Üst yapıdaki taşıma kapasitesinin tespitinde kullanılan defleksiyon ölçüm aletleri dört sınıfta toplanmaktadır (İyinam, 1997)

1) Üstyapının, statik bir yük veya yavas hareketli bir yük uygulamasına tepkisini

ölçen statik aletler;

2) Üstyapının, titreşimli veya devirli bir yüke tepkisini ölçen titresimli aletler;

3) Belirli bir uzunluk boyunca, belirli bir kütle düsürerek üstyapıyı yükleyen ve

üstyapının tepkisini ölçen itici kuvvetli araçlar;

4) Çok modlu (şekilli) aletler.

Hanlı (2009) ise taşıma kapasitesi ölçüm aletlerini statik, titreşim ve itici aletler açısından aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır.

Statik aletler

a) *Tabaka (levha) taşıma deneyleri* (Plate bearing tests)
b) *Egrilik sayası* (Curvature meter)
c) *Benkelman krisi* (Benkelman beam)
d) *Otomatik defleksiyon kirisleri* (Automated deflection beams)
e) *Egrilik ölçer* (Curviameter)

Titreşimli aletler

a) *Daynaflekt* (Dynaflect)
b) *Yol sınıflayıcısı* (Road rater)

İtici aletler

a) *Düşen Ağırlıklı Deflektometre* (Falling Weight Deflectometer)

Kaakkurivaara et al. (2015) günümüzde taşıma kapasitesinin ölçümünde itici aletlerin en yaygın şekilde kullanıldığını ifade ederken, statik metotlardan örneğin plaka yükleme testinin teorik olarak iyi olduğunu fakat trafik yükünü iyi temsil etmediği için düşük hacimli yollarda kullanılmadığını vurgulamıştır.

Düşen ağırlıklı defloktometre aleti ile üst yapı üzerine itici yük uygulayarak defleksiyon miktarı belirlenerek geri hesaplama yöntemi uygulanarak tabaka elastik modülü belirlenmektedir (Domitrovic ve Rukavina, 2015).

Miller, (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada düşen ağırlıklı deflektometrenin orman yollarının kar erime döneminde trafiğe uygunluğunun belirlenmesinde kullanıldığı görülmektedir. Marko ve diğ. (2013) ise düşen ağırlıklı deflektometre aletinin orman yollarında taşıma kapasitesi belirlenmesinde yüksek hassasiyet sağladığını fakat maliyetli ve verimsiz olduğunu vurgulamıştır.

O'mahanoy ve diğ. (2000) tarafından ortaya konulan diğer çalışmada orman yollarında taşıma kapasitesinin ölçümünde Benkelman krişininden yararlanılmıştır.

Kaakkurivaa, (2018) orman yollarında taşıma kapasitesinin hızlı ve kolay değerlendirilmesi için pahalı olmayan hafif ağırlıklı düşen defloktometrenin (light falling weight deflectometer (LFWD)) ve dinamik koni penetrometre (dynamic cone penetrometer (DCP)) aletlerinin günümüzde mevcut olduğunu belirtmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 1.1. Sırasıyla DCP, LFWD ve FWD cihazları (Kaakkurivaa, (2018)

Farklı özellikler açısından benkalman aleti, lacroix deflectograph ve FWD aletlerinin karşılaştırılması Tablo 2.2'de gösterilmiştir (Marko ve diğ., 2013)

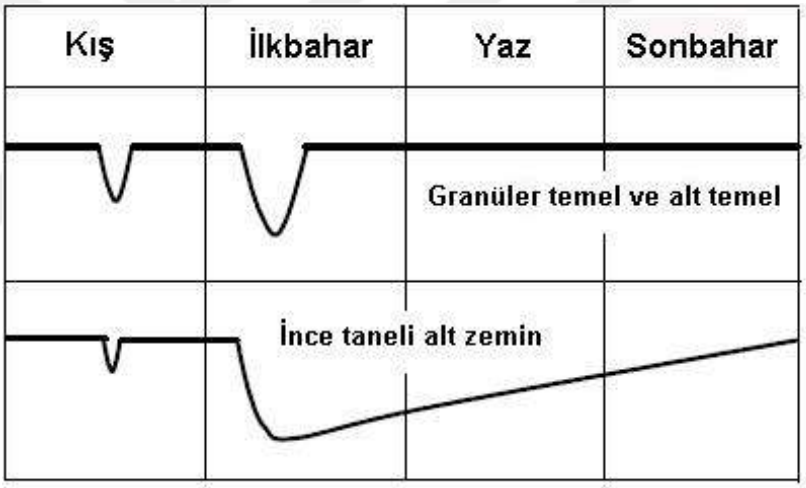
Tablo 2.2. Farklı ölçüm aletlerinin özellikleri

Özellikler	**Benkelman aleti**	**lacroix deflectograph**	**FWD aleti**
Araç gereksinimi	Araç üzerine etegre edilmektedir	Ölçüm cihazı	Ölçüm cihazı
Yardımcı eleman	4 kişi	2 kişi	2 kişi
Ölçüm	Statik	Statik	Dinamik
Hız	0 km/sa	3-4 km/sa	60-80 km/sa
Ölçüm metodu	Kesikli(Parçalı)	Devamlı	Kesikli(Parçalı)
Ölçüm frekansı	Minimum 25 m	4 m	25 m
Günlük performans	15 km	20 km	15 km
Veri kaydı	Manuel	Otomatik	Otomatik
Maliyet	Düşük maliyetli	Yüksek Maliyetli	Yüksek Maliyetli

2.4.4. Taşıma kapasitesini etkileyen faktörler

Bocz (2009) trafik ve ekstrem meteorolojik koşulların üst yapı taşıma kapasitesini etkilediğini vurgulamıştır. İlkbaharda alt zemindeki nem içeriğinin artmasının üst yapı taşıma kapasitesini düşürdüğü farklı çalışmalarda bildirilmiştir (Charlier ve diğ. 2009; Simenson ve Isaccson, 1999; IsaSalour ve Erlingsson, 2013; Vestin ve diğ., 2018). Bununla ilişkili olarak, Charlier ve diğ (2009) nemden dolayı yolda yangın şekilde oluşan zararları yüzey kusurları, deformasyonlar ve çatlamalar şeklinde belirtmiştir.

Şekil 2.2'de taşıma kapasitesinin mevsimsel değişimi genel olarak alt zemin, temel ve alt temel tabakaları açısından gösterilmiştir.



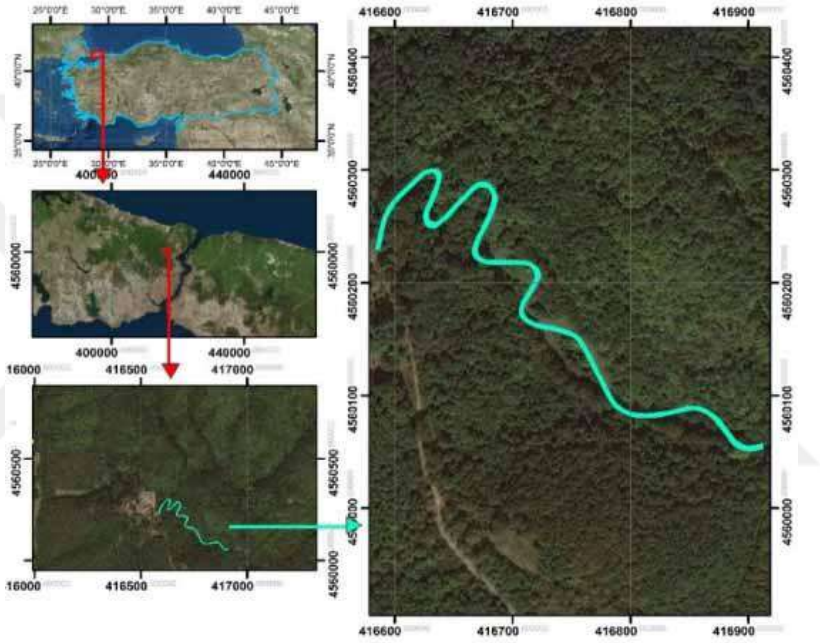
Şekil 2.2. Taşıma kapasitesinin genel olarak değişimi (Charlier ve diğ., 2009).

Pais ve diğ. (2013) yol üst yapısındaki trafiğin, yük büyükleri ve aks tipleri açısından bir çok farklı tipte araçlar tarafından karakterize edildiğini ve bu nedenle farklı aks tiplerinin üst yapı performasında farklılığa yol açtığını belirtmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1.ARAŞTIRMA ALANININ GENEL TANITIMI

Çalışmaya konu olarak belirlenen çalışma alanı İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Eğitim Araştırma ve Uygulama Ormanı'nın kuzey parseli içinde ve Marmara Bölgesi'nin Trakya tarafında, Greenwich'e göre 28°59'17''-29° 32'25''E doğu boylamları ile 41° 09' 15'' – 41° 11' 01 ''N kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma sahası konumu

Çalışma kapsamında İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Eğitim Uygulama ve Araştırma Ormanı içerisinde yer alan 005 kod no'lu yola ait 2015 yılı Ekim ayı ile 2017 yılı Ekim arasındaki iki yıllık dönemi kapsayan sıkışma değerleri zamansal ve mekansal olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı farklı mekansal analizler yapılarak, yol platformu üzerindeki sıkışma oranının mevsimsel değişimi dış etkenlere bağlı olarak değerlendirilmiştir.

005 kod no'lu yol araç geçişine açıktır. Yol üzerinde belirli noktalara trafik durumunu denetlemek için fotokapan yerleştirilmiş olup araç tiplerine göre araç geçişleri kayıt altına alınmıştır. Çalışma süresince 005 kod no'lu yolda araç geçişleri ve meteorolojik etkenlerin üst yapı sıkışma oranına etkileri incelenmiştir. Yol eğimi dikkate alınmamıştır.

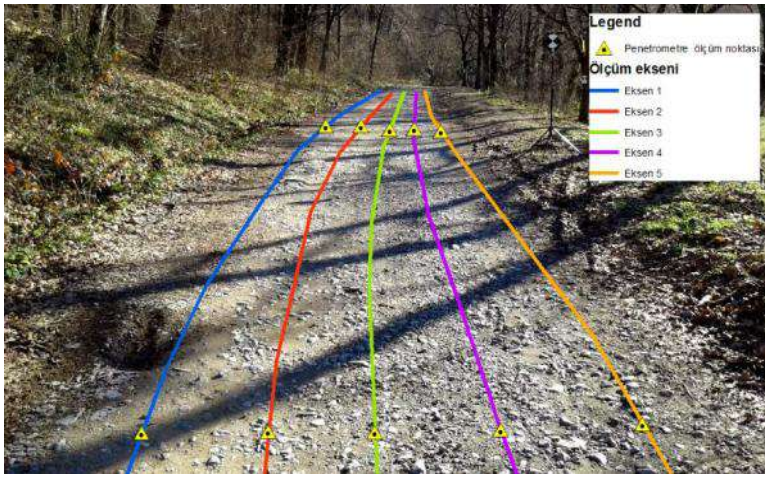
3.2.ÇALIŞMADA KULLANILAN PENETROMETRE CİHAZININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ VE ÜST YAPI SIKIŞMA ORANININ HESAPLANMASI-HARİTALANMASI

Çalışma kapsamında üst yapı sıkışma oranının ölçülmesi amacıyla penetrologger cihazı (Eijkelkamp Agrisearch Equipment) kullanılmıştır. Ölçümlerde taban alanı 1cm^2 olan 30 derecelik koni şeklindeki uç kullanılmıştır (Şekil 3.2). Hem kN/m2 hem de megapascal olarak kaydedilmiştir. Literatür araştırmaları dikkate alınarak haritalandırmalarda megapascal birimi kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Üst yapı sıkışma oranlarının belirlenmesi için kullanılan penetrometre cihazı

Her bir ölçüm için arazide yol platformuna dik olmak üzere 10'ar metre aralıklarla tesis edilen enkesit penetrometre ölçüm noktları baz alınmıştır. Sıkışma ölçümleri için her en kesitte yol kenarlarına 2 adet (Eksen 1-Eksen 5), yolun orta noktasında 1 adet (Eksen 3) ve bu eksenler arasında kalan noktalardan eşit mesafedeki noktalara 2 adet (Eksen 2-Eksen 4) olmak üzere toplam 5 adet sabit yer noktası tesis edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yol ekseni boyunca tesis edilen penetrometre ölçüm hatları

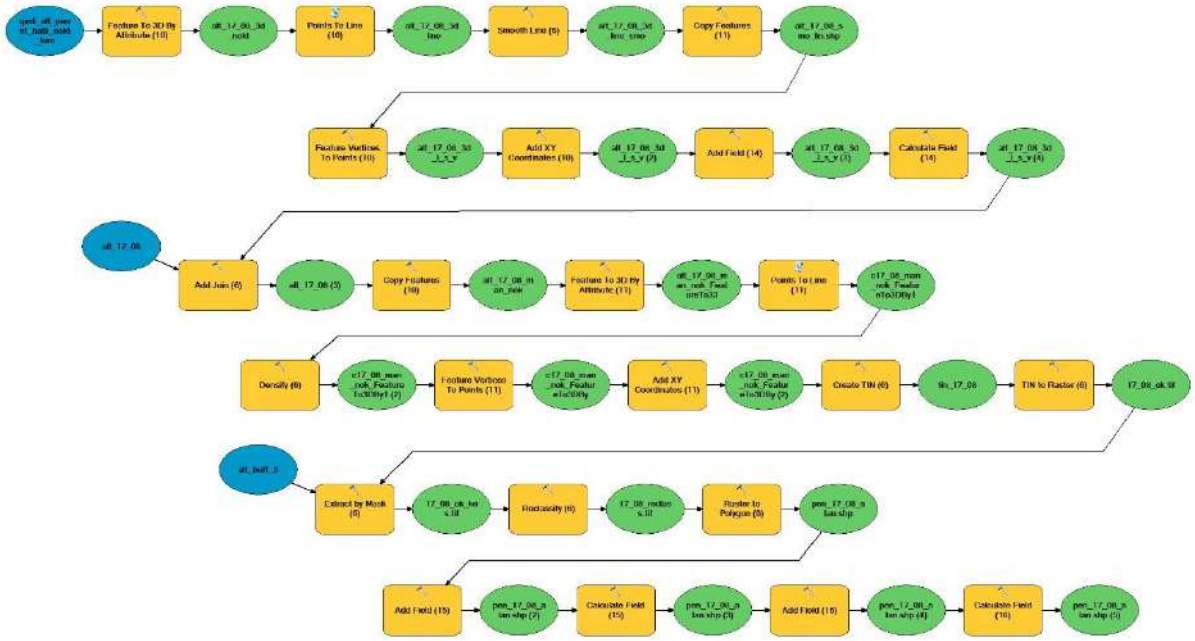
Tez kapsamında çalışma yapılan 005 kod no'lu yolda toplamda 654 adet sabit ölçüm noktası tesis edilmiştir. Söz konusu ölçüm noktalarının arazi çalışmaları boyunca sabit kalmasını sağlamak amacıyla, 20 cm uzunluğunda beton çivisi ile 3 cm çaplı ve ölçüm noktası mesafesinin yazıldığı çelik pullar kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Penetrometre ölçüm noktaları

Penetrometre ölçüm noktalarına ait koordinat bilgileri aylık olarak üst yapı sıkışma oranının haritalanmasında kullanılmak üzere nokta tesisinden sonra Pentax W800 marka total station cihazı ile ITRF 96 koordinat sisteminde ölçülmüştür.

Üst yapı sıkışma oranlarının belirlenmesinde kullanılan ölçümlere ait veriler, arazide tesis edilen noktalar ile eşleştirilerek, koordinat bilgileri ve sıkışma bilgilerinin birlikte yer aldığı veri tabanları her ay için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda koordinat bilgileri ve sıkışma bilgilerine sahip veri tabanları ArcGIS coğrafi bilgi sistemi yazılımda Model Builder ara yüzünde hazırlanan iş akışına göre (Şekil 3.5) işlenerek her ay için üst yapı sıkışma oranlarını gösteren haritalar üretilmiştir. Arazi ölçümleri sonucunda elde edilen sıkışma verilerinin doğrudan enterpolasyon işlemine sokulması sonucunda yol boyunca sıkışma verilerinin üçgenleşmeye maruz kaldığı ve bu nedenle gerçek durumu temsil edemez verilerin oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Bu noktada sıkışma verileri üzerinden sıkışma haritalarının oluşturulması aşamasında her bir yol hattı için doğrusal enterpolasyon ile nokta sıklaştırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Hatlar boyunca gerçekleştirilen bu işlem ile iki kesit noktası arasındaki 10 m'lik alanda doğrudan enterpolasyon tekniği kullanılarak elde edilen verilere oranla daha yüksek temsil kabiliyetine sahip modellerin oluşturulması sağlanmıştır.



Şekil 3.5. Aylık veri setinin oluşturulmasında kullanılan sıkışma oranı haritalanması iş akış şeması

3.3.YOLDAKİ ARAÇ GEÇİŞİNE AİT VERİLERİN BELİRLENMESİ

Üst yapı sıkışma oranının değişmesinde belirleyici bir faktör olan araç geçişinin ve araç ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla yol hattı boyunca 3 adet Bushnell Trophy Cam, 8MP marka fotokapan kullanılmıştır (Şekil 3.6). Her bir fotokapan yol kenarındaki ağaçlara sabit olarak tesis edilmiştir. Fotokapanlardan elde edilen veriler aylık olarak (15'inden 15'ine) alınmıştır. Fotokapanların alım aralıkları hareket duyarlılığına göre 2 sn olarak belirlenmiştir.

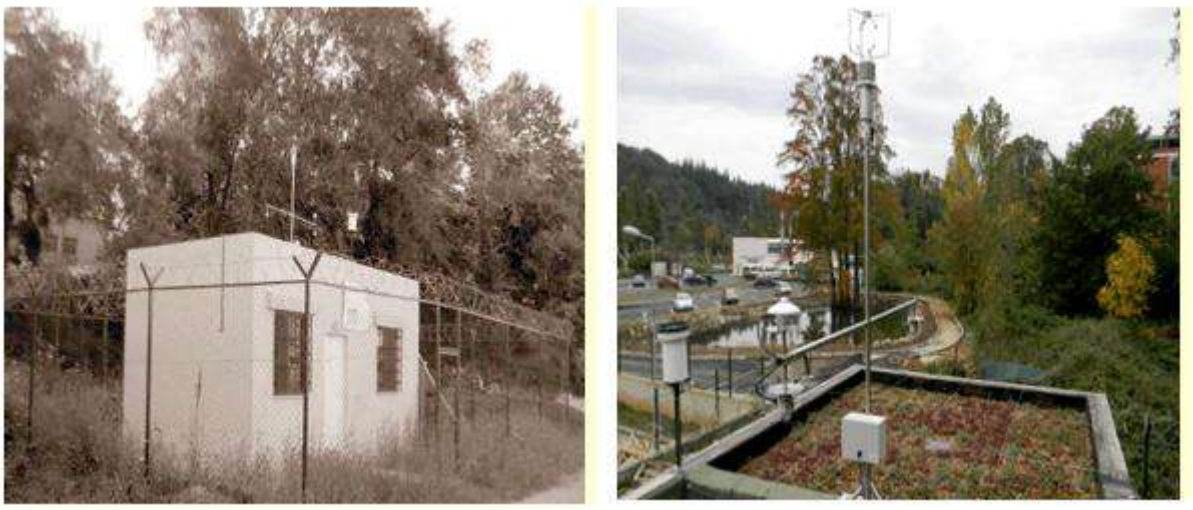


Wireless Bağlantı	Var
Çözünürlük	8MP
PIR Sensör	Düşük / Orta / Yüksek / Oto
Gece Görüş Flaşı	32 siyah LED / 18metre
LCD Ekran	Renkli LCD ekran
Tarih/Saat/Sıcaklık/Ay Fazı Bilgisi	Var
GPS Konum Bilgisi	Var
Güç Kaynağı	AA tip pil (4-12 adet)
Solar Panel Desteği	Var
Batarya Ömrü	3 aya kadar
Video Çözünürlüğü	1920x1080p
Video Süresi	60sn kadar
SD Kart Kapasitesi	32GB
Ses kayıt	Var

Şekil 3.6. Bushnell Trophy Cam teknik özellikleri

3.4.ÇALIŞMA ALANINA AİT METEOROLOJİK VERİLERİN TEMİNİ

Literatür çalışmalarında da görüldüğü üzere üst yapı sıkışma oranının değişiminde önemli bir etken olan meteorolojik etkenleri belirlemek amacıyla çalışma alanına 1 km mesafedeki Yeşil Çatı Araştırma Projesi Gözlem İstasyonundan aylık meteorolojik veriler temin edilmiştir (Şekil 3.7). Temel iklimsel değişkenlerin ölçümü, yapı üzerinde çatı yüzeyinden 200 cm yukarıya, paslanmaz çelik meteoroloji direği üzerine yerleştirilen meteoroloji istasyonu (DeltaOhm, HD2003 Üç Eksenli Ultrasonik Anemometre, Delta OHM S.r.L., Padova/İtalya, ölçüm hassasiyeti ±1°C) ile gerçekleştirilmiştir. Yağış ölçümleri ise, yapı üzerinde bulunan devrilen kovalı yağış ölçer (DeltaOhm, HD2013 Devrilen Kovalı Yağışölçer, Delta OHM S.r.L., Padova/İtalya, ölçüm hassasiyeti ± %2) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Saatlik olarak kaydedilen veri seti (yağış, sıcaklık, bağıl nem, basınç), her ayın sonunda yapı içerisinde bulunan veri kayıt sisteminden kaydedilmiştir. Yağış şiddeti ise yağan yağış/yağış süresi olmak üzere saatlik olarak hesaplanmıştır. Veriler, günlük, haftalık ve aylık ortalamaları, en yüksek ve en düşük değerleri hesaplanarak analiz için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.7. Yeşil Çatı Araştırma ve Gözlem İstasyonu

4. BULGULAR

4.1. ARAÇ GEÇİŞİNE AİT BULGULAR

Fotoğraf değerlendirme sonuçlarına göre aylık toplam maksimum araç geçişi Eylül 2016-Ekim-2016 tarihlerinde 1604 adet (2865.4 ton) olarak, aylık minimum araç geçiş sayısı ise Aralık 2015-Ocak 2016 tarihlerinde 80 adet (176.9 ton) olarak tespit edilmiştir. Sefer sayısına bağlı olarak doğru orantılı şekilde artmaktadır.

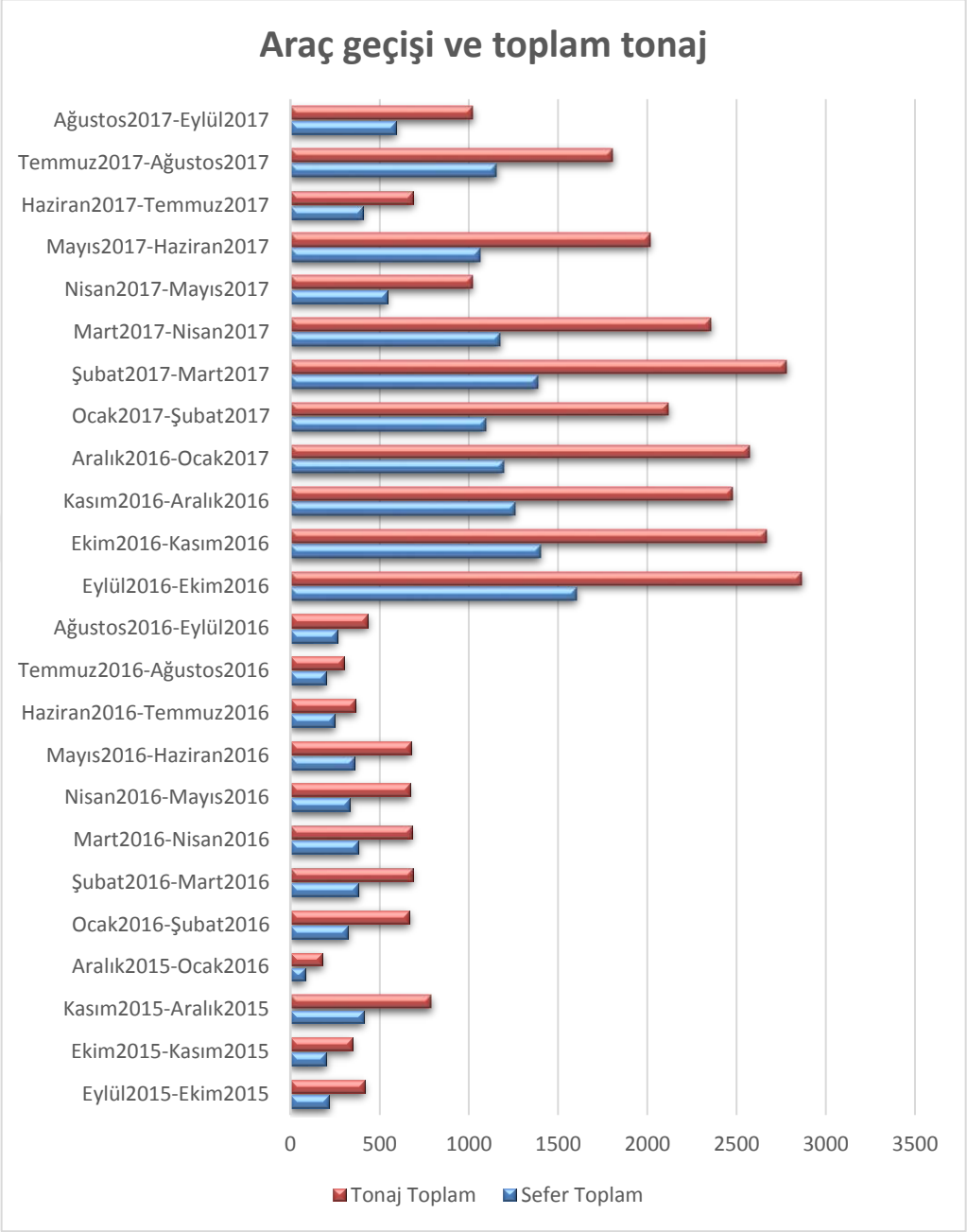
Araştırmaya konu olan, araç geçişinin olduğu 005 kod no'lu yolda; proje süresi boyunca ilk 12 aylık süre kapsamında aylık ortalama 281 olan araç sefer sayısı, ikinci 12 aylık süreçte aylık ortalama 1070.5'e ulaşarak yaklaşık dört kat artmıştır. Bu durum fotokapan ve arazi gözlemlerinde de görüldüğü üzere ikinci 12 aylık süreçte film ve dizi çekimlerinin sıklaştığı, dolayısıyla söz konusu ekip araçlarının araç kullanımını artırdığını göstermiştir

Çalışma süresince yolda araç kullanım tiplerinin dağılımına bakıldığında otomobil araç tipinde 7826 sefer, Arazi aracı&SUV tipinde 1626 sefer, minibüs araç tipinde 3692 adet, kamyonet tipinde ise 3074 araç olduğu görülmüştür. Söz konusu rakamlardan da görüldüğü üzere 005 kod nolu yolda araç kullanım tipi dikkate alındığında otomobil araç tipinin en fazla olduğu, arazi aracı&SUV araç tipi kullanımının ise en az olduğu görülmüştür. Ayrıca ikinci 12 aylık süreçte film ve dizi çekim için kullanımdan dolayı minibüs tipi araç sayısı artmıştır (Tablo 4.1, Şekil 4.1-4.2).

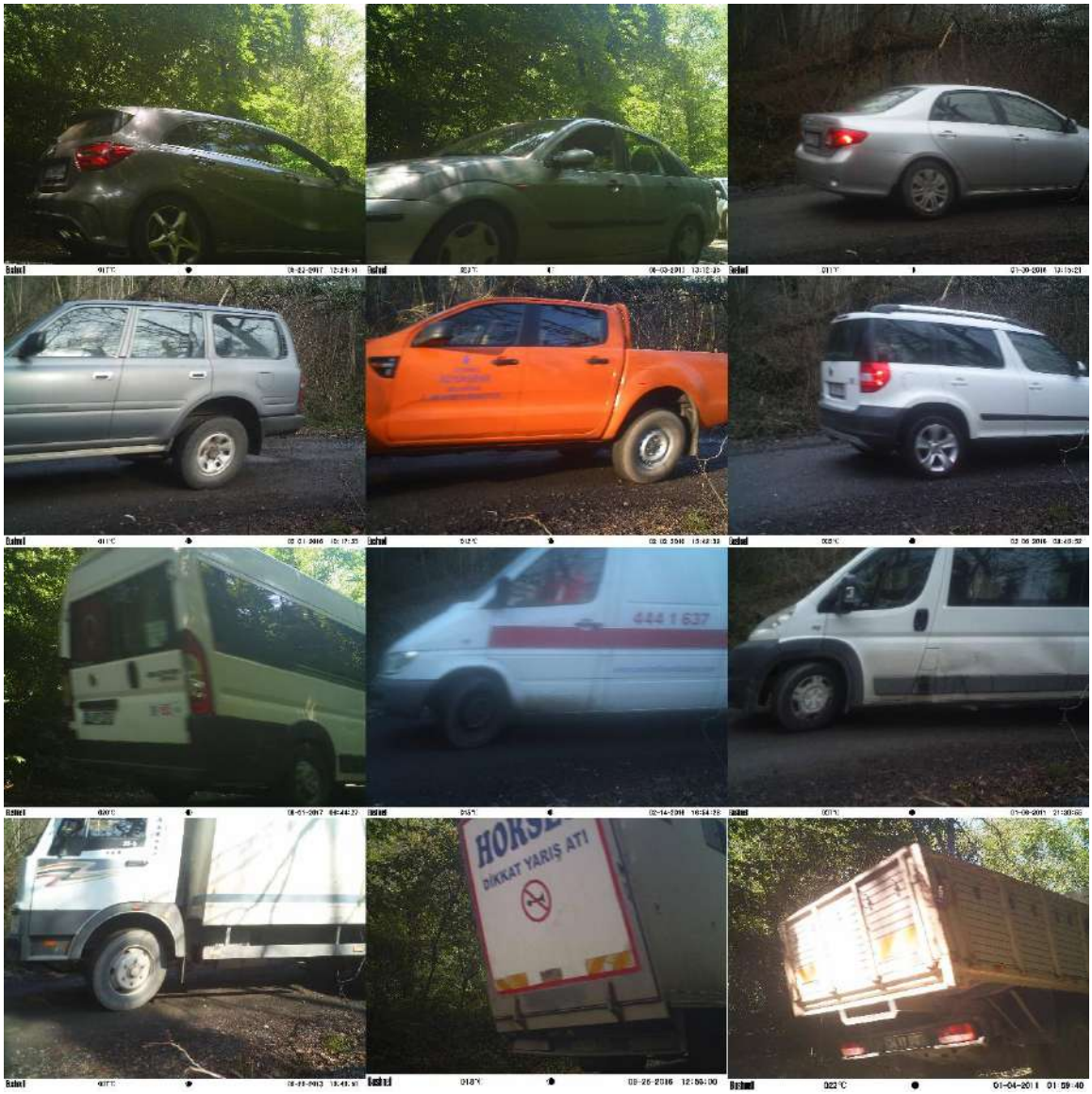
Fotokapanların çekim süreleri dikkate alındığında 005 kod nolu yolda yolun aliymanlardan oluşan kısmında araçların hızı ortalama 30-35 km/sa, laselerin buluduğu alanda ise 10-15 km/sa olarak tespit edilmiştir

Tablo 4.1. Araç kullanım özellikleri

Aylar		Otomobil(1250 kg)			Arazi aracı&SUV (2000 kg)			Minibüs (2000 kg)			Kamyonet (3300 kg)			Sefer Toplam	Tonaj Toplam
		Sefer	Ağırlık	Tonaj	Sefer	Ağırlık	Tonaj	Sefer	Ağırlık	Tonaj	Sefer	Ağırlık	Tonaj		
Eylül2015-Ekim2015	1	98	1250	122.5	28	2000	56	42	2000	84	46	3300	151.8	214	414.3
Ekim2015-Kasım2015	2	106	1250	132.5	20	2000	40	50	2000	100	22	3300	72.6	198	345.1
Kasım2015-Aralık2015	3	172	1250	215	88	2000	176	70	2000	140	78	3300	257.4	408	788.4
Aralık2015-Ocak2016	4	26	1250	32.5	6	2000	12	20	2000	40	28	3300	92.4	80	176.9
Ocak2016-Şubat2016	5	90	1250	112.5	52	2000	104	108	2000	216	70	3300	231	320	663.5
Şubat2016-Mart2016	6	190	1250	237.5	46	2000	92	88	2000	176	54	3300	178.2	378	683.7
Mart2016-Nisan2016	7	204	1250	255	60	2000	120	56	2000	112	58	3300	191.4	378	678.4
Nisan2016-Mayıs2016	8	110	1250	137.5	62	2000	124	94	2000	188	66	3300	217.8	332	667.3
Mayıs2016-Haziran2016	9	144	1250	180	58	2000	116	100	2000	200	54	3300	178.2	356	674.2
Haziran2016-Temmuz2016	10	204	1250	255	16	2000	32	12	2000	24	16	3300	52.8	248	363.8
Temmuz2016-Ağustos2016	11	140	1250	175	48	2000	96	8	2000	16	4	3300	13.2	200	300.2
Ağustos2016-Eylül2016	12	172	1250	215	48	2000	96	8	2000	16	32	3300	105.6	260	432.6
Eylül2016-Ekim2016	13	852	1250	1065	116	2000	232	408	2000	816	228	3300	752.4	1604	2865.4
Ekim2016-Kasım2016	14	652	1250	815	130	2000	260	338	2000	676	278	3300	917.4	1398	2668.4
Kasım2016-Aralık2016	15	508	1250	635	132	2000	264	352	2000	704	264	3300	871.2	1256	2474.2
Aralık2016-Ocak2017	16	344	1250	430	172	2000	344	332	2000	664	344	3300	1135.2	1192	2573.2
Ocak2017-Şubat2017	17	476	1250	595	96	2000	192	296	2000	592	224	3300	739.2	1092	2118.2
Şubat2017-Mart2017	18	628	1250	785	28	2000	56	356	2000	712	372	3300	1227.6	1384	2780.6
Mart2017-Nisan2017	19	472	1250	590	116	2000	232	304	2000	608	280	3300	924	1172	2354
Nisan2017-Mayıs2017	20	272	1250	340	48	2000	96	112	2000	224	108	3300	356.4	540	1016.4
Mayıs2017-Haziran2017	21	506	1250	632.5	122	2000	244	222	2000	444	210	3300	693	1060	2013.5
Haziran2017-Temmuz2017	22	252	1250	315	54	2000	108	50	2000	100	50	3300	165	406	688
Temmuz2017-Ağustos2017	23	844	1250	1055	56	2000	112	150	2000	300	102	3300	336.6	1152	1803.6
Ağustos2017-Eylül2017	24	364	1250	455	24	2000	48	116	2000	232	86	3300	283.8	590	1018.8



Şekil 4.1. Araç geçişi ve toplam tonaj değerlerinin değişimi



Şekil 4.2. Fotokapanlardan elde edilen farklı araç tiplerine ait örnek fotoğraflar

4.2.METEOROLOJİK VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez kapsamında kullanılan meteorolojik veriler çalışma alanına 1 km mesafedeki Yeşil Çatı Araştırma Projesi Gözlem İstasyonundaki meteorolojik ölçüm cihazlarından temin edilmiştir. 2015 yılı Ekim ayından itibaren temin edilen meteorolojik veriler (sıcaklık, yağış, bağıl nem ve basınç) aylık, günlük ve saatlik olarak depolanmış ve Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Meteorolojik özet verileri

Kapsadığı Süre	Ortalama Sıcaklık (ºC)	Toplam Yağış (mm)	Yağış Süresi (saat)	Yağış Şiddeti (mm/sa)	Ortalama Basınç (mbar)	Bağıl Nem (%)
Eylül 2015-Ekim 2015	19,19	143,40	359	0,40	987,46	83,50
Ekim 2015-Kasım 2015	13,75	75,50	155	0,49	992,48	82,30
Kasım 2015-Aralık 2015	10,52	56,00	223	0,25	991,78	79,40
Aralık 2015-Ocak 2016	6,67	87,30	365	0,24	991,49	82,70
Ocak 2016-Şubat 2016	6,50	130,10	399	0,33	990,26	76,80
Şubat 2016-Mart 2016	10,70	63,40	177	0,36	985,78	79,60
Mart 2016-Nisan 2016	11,80	35,60	125	0,29	985,21	69,30
Nisan 2016-Mayıs 2016	15,37	40,60	154	0,26	984,20	72,20
Mayıs 2016-Haziran 2016	18,90	50,80	109	0,47	983,75	69,90
Haziran 2016-Temmuz 2016	23,73	45,10	73	0,62	985,03	74,50
Temmuz 2016-Ağustos 2016	24,52	34,30	42	0,82	984,47	74,10
Ağustos 2016-Eylül 2016	23,47	9,60	36	0,27	986,18	74,40
Eylül 2016-Ekim 2016	17,50	55,80	106	0,53	988,00	78,20
Ekim 2016-Kasım 2016	13,60	57,20	93	0,62	991,00	77,50
Kasım 2016-Aralık 2016	7,00	132,20	105	1,26	993,20	80,80
Aralık 2016-Ocak 2017	3,20	178,30	259	0,69	990,80	85,60
Ocak 2017-Şubat 2017	4,10	84,10	191	0,44	994,70	85,10
Şubat 2017-Mart 2017	8,20	72,40	103	0,70	985,40	84,90
Mart 2017-Nisan 2017	8.71	29.90	54.00	0.55	988.53	79.11
Nisan 2017-Mayıs 2017	14.10	57.20	53.00	1.08	985.32	74.40
Mayıs 2017-Haziran 2017	17.99	32.40	41.00	0.79	986.30	80.29
Haziran 2017-Temmuz 2017	22.78	27.80	88.00	0.32	984.86	71.87
Temmuz 2017-Ağustos 2017	23.43	103.10	125.00	0.82	983.95	78.30
Ağustos 2017-Eylül 2017	24.05	9.50	30.00	0.32	984.43	64.23

Çalışma kapsamında 24 aylık dönemde aylık ortalama sıcaklık verileri açısından 1974-2004 arası Bahçeköy için 30 yıllık sıcaklık verileri dikkate alındığında, projenin 12 aylık arazi çalışması döneminde genel olarak normal sıcaklık değerleri ölçülmüştür. En yüksek aylık ortalama sıcaklık ise 24.5 ˚C ile Temmuz 2016 – Ağustos 2016 zaman aralığında, en düşük aylık ortalama sıcaklık değeri ise 3.2 ˚C Aralık 2016 – Ocak 2017 zaman aralığında ölçülmüştür. En yüksek aylık toplam yağış miktarı 178.3 mm ile Aralık 2016 - Ocak 2016 zaman aralığında en düşük yağış ise 9.6 mm ile Ağustos 2016 – Eylül 2016 zaman aralığında ölçülmüştür. Tablo 4.2'te 24 aylık periyotta kaydedilen yağış şiddeti verileri gösterilmektedir. Bu değerler incelendiğinde, bu rapor döneminde en yüksek yağış şiddeti 1.26 mm/sa ile Kasım 2016 - Aralık 2016 tarihlerinde kaydedilmiştir.

Aylık ortalama basınç değeri ise 994.7 mbar olmak üzere en yüksek Ocak 2017 – Şubat 2017 zaman aralığında ölçülmüş, bu değer diğer aylarda 990 mbar seviyesinde seyretmiştir. Bağıl nem değerleri Aralık 2016-Ocak 2017 arasında % 85.6 ile en yüksek ortalama değere ulaşmıştır. Söz konusu bağıl nem değeri Mart 2016 - Nisan 2016 aralığında ise % 69.3 ile en düşük değer olarak ölçülmüştür (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Meteorolojik verilerin aylık dağılımı

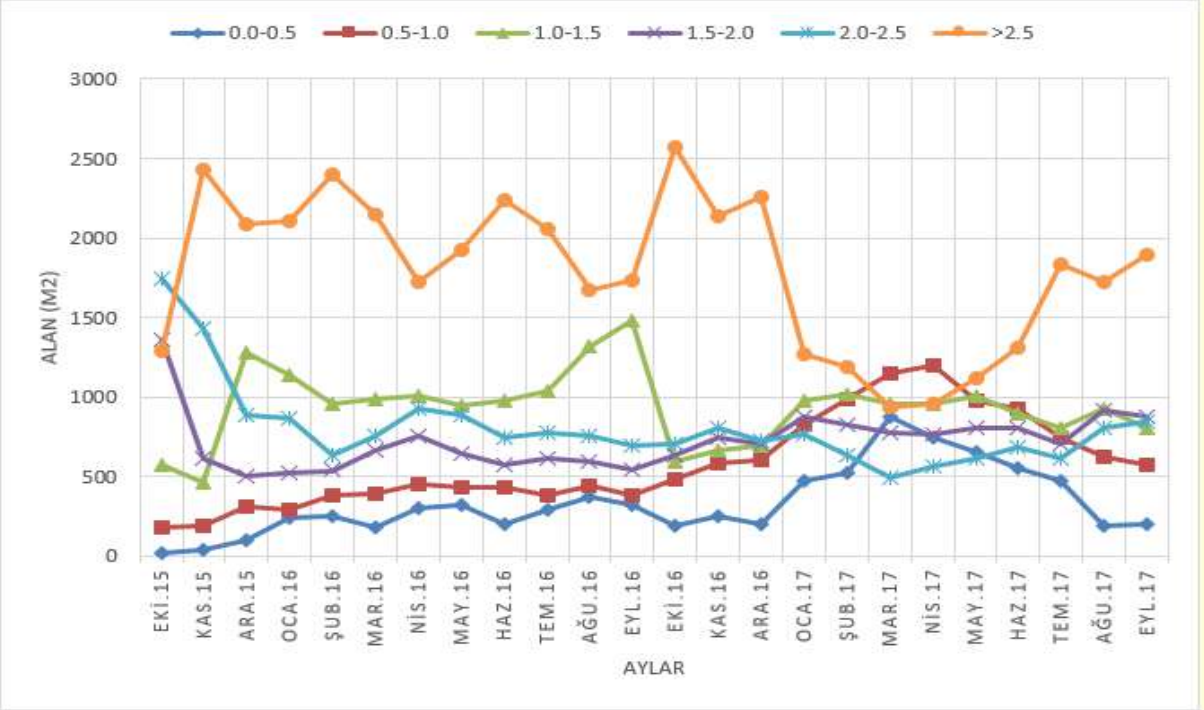
4.3.AYLIK ÜST YAPI SIKIŞMA ORANLARININ HESAPLANMASI VE HARİTALANDIRILMASINA AİT BULGULAR

Tez kapsamında üst yapı sıkışma oranının haritalanması aylık olarak alınan Penetrometre verilerinin ArcGIS ortamında değerlendirilmesi ile elde edilmiştir. 5 cm çözünürlüklü Üst yapı sıkışma oranı haritası aylık olarak ArcGIS Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı ile değerlendirilmiştir. Ekim 2015 ile Ekim 2017 tarihleri arasında elde edilen sıkışma oranları aylık değişimlerinin görsel olarak anlamlı bir şekilde yorumlanması dikkate alınarak altı(6) sınıfta incelenmiştir. Bu sınıflar (0.0-0.5); (0.5-1.0); (1.0-1.5); (1.5-2.0); (2.0-2.5); (>2.5) şeklinde MPa (Megapascal) olarak belirlenmiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. 2015 Ekim - 2017 Eylül arası aylık sıkışma oranlarının alansal dağılımı

Aylar	Sıkışma Değerleri (m^2)					
	0.0-0.5 (MPa)	0.5-1.0 (MPa)	1.0-1.5 (MPa)	1.5-2.0 (MPa)	2.0-2.5 (MPa)	>2.5 (MPa)
Ekim 2015	17.98	177.05	572.48	1354.98	1743.00	1291.90
Kasım 2015	35.53	184.89	466.75	609.17	1430.76	2430.59
Aralık 2015	101.96	312.37	1278.30	502.11	881.31	2081.47
Ocak 2016	238.24	289.98	1136.68	517.99	867.03	2107.48
Şubat 2016	248.10	385.75	955.63	537.58	634.31	2396.34
Mart 2016	183.12	387.77	986.88	666.67	751.08	2144.94
Nisan 2016	304.27	453.46	1005.92	752.27	921.32	1720.17
Mayıs 2016	320.62	435.13	945.53	647.98	882.79	1925.72
Haziran 2016	195.18	433.93	975.54	576.24	743.07	2233.64
Temmuz 2016	295.34	380.95	1037.00	610.78	778.05	2055.35
Ağustos 2016	370.54	440.68	1323.89	594.54	754.07	1674.10
Eylül 2016	325.11	383.56	1480.73	541.96	692.72	1733.36
Ekim 2016	191.28	486.95	592.90	629.84	705.96	2573.28
Kasım 2016	247.65	581.29	662.05	748.42	802.31	2138.85
Aralık 2016	203.45	598.42	689.18	705.03	722.81	2261.49
Ocak 2017	474.76	822.43	974.00	874.95	766.24	1268.36
Şubat 2017	518.47	990.78	1014.80	829.61	637.37	1190.04
Mart 2017	879.00	1150.39	951.69	771.45	490.21	938.05

Sıkışma oranlarının alansal dağılımı değerlendirildiğinde özellikle >2,5 MPa oranına ait alansal dağılım dönemsel olarak dalgalanma göstermiş ve belirgin olarak Aralık 2016-Mart 2017 döneminde azalma göstermiştir. Buna rağmen diğer alansal dağılımlara göre yüksek seviyededir (Tablo 4.3, Şekil 4.4). Bu sonuç şekil 13'den de anlaşılacağı üzere 2,3 ve 4 no'lu yol eksenlerindeki çalışma periyodu boyunca sıkışma oranının genel olarak 2,5 MPa değerinin üzerinde seyretmesindendir.



Şekil 4.4. 005 kod no'lu yola ait üst yapı sıkışma oranının alansal değişimi

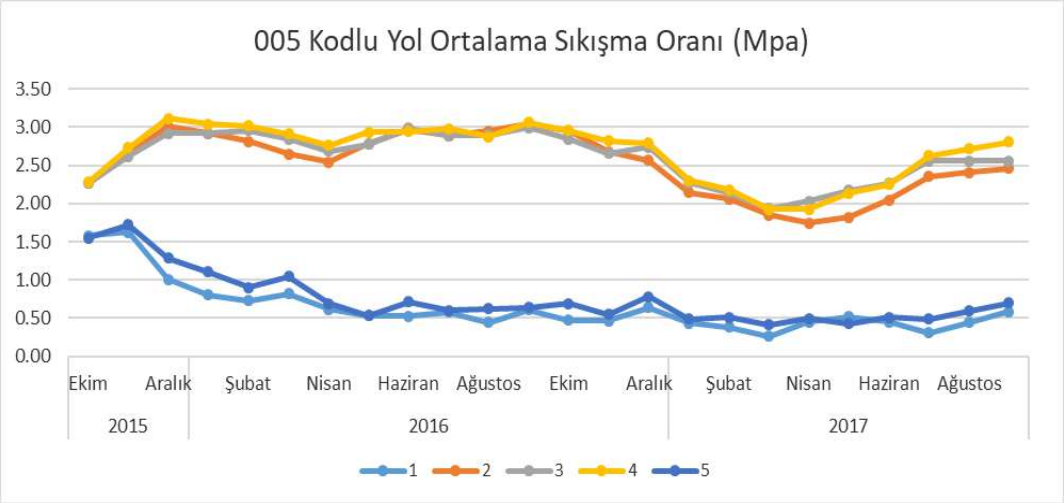
005 kodlu yol üzerindeki eksenlerde sıkışma oranı 0,262 ile 3,115 MPa arasında değişmiştir. Ortalama sıkışma oranı 1,83 MPa olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde (ANOVA) 1 ve 5 no'lu eksenler anlamlı ($p < 0,005$) olarak diğer yol eksenlerinden farklıdır (Tablo 4.4). Bu sonuçlara göre 2,3 ve 4 no'lu eksenler arasında farklılık bulunmamaktadır. Bu durum yol hattı boyunca yer yer meydana gelen yoğun degredasyon sonucunda ve ayrıca kurplardaki araç dönüş açısına bağlı olarak araç geçiş hattının orta eksene (3 no'lu eksen) kaymasından kaynaklandığı söylenebilir (Şekil 4.5).

Tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.4'de belirtilmiştir.

Tablo 4.4. 005 kodlu yola ait yol eksen sıkışma oranın tanımlayıcı istatistik sonuçları

	Ortalama	Standart Hata	Standart Sapma	Minimum	Maximum
1	0,6355 b	±0,0695	±0,3404	0,2628	1,6216
2	2,5238 a	±0,0831	±0,4071	1,7419	3,0402
3	2,6022 a	±0,0670	±0,3284	1,9289	2,9916
4	2,6701 a	±0,0763	±0,3738	1,9215	3,1149
5	0,7517 b	±0,0715	±0,3504	0,4098	1,7254
Toplam	1,8367	±0,0587	±0,2877	1,2762	2,2704

Sütunda belirtilen "a,b" işaretleri $p<0,05$ güven düzeyinde gruplar arasında farklılığı göstermektedir



Şekil 4.5. 005 kod no'lu yola ait sıkışma oranlarının yol eksenine göre değişimi

005 kodlu yoldaki sıkışma oranlarının çevresel değişkenler ile olan ilişki değerlendirildiğinde sıkışma oranı yağış şiddeti, toplam sefer, toplam tonaj ile kuvvetli negatif ilişki ($p<0,05$) göstermektedir (Tablo 4.5). Bu negatif ilişkiler değerlendirildiğinde sıkışma oranının özellikle şiddetli yağışlardan sonra araç geçişinin özellikle yol eğiminin arttığı bölgelerde ve kurplarda üst yapının gevşemesine neden olmasından kaynaklanabilir. Buna ek olarak yağış şiddetinin ve araç geçiş sayısının Ekim 2016'dan başlayarak artış göstermesine bağlı olarak sıkışma oranındaki azalma (Şekil 4.5) söz konusu negatif ilişkiyi desteklemektedir.

Tablo 4.5. 005 kodlu yoluna ait verilere ait korelasyon (pearson) sonuçları

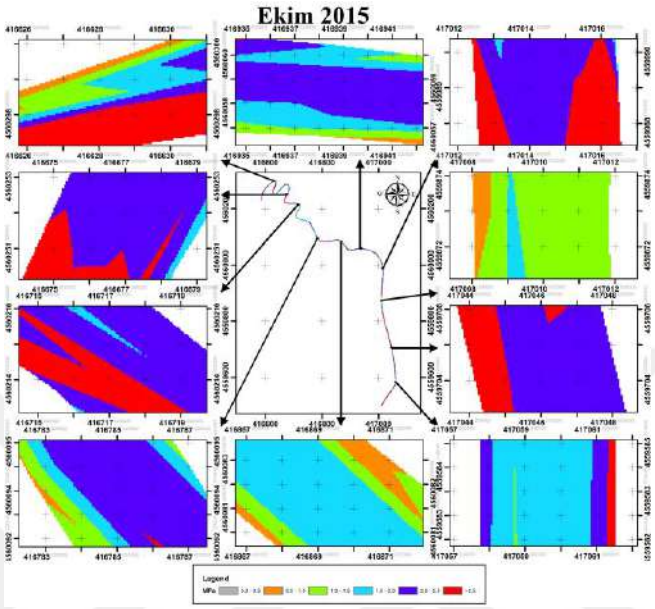
	Sıkışma Oranı	Toplam Yağış (mm)	Yağış Süresi (sa)	Yağış Şiddeti (mm/sa)
Toplam Yağış	0,011			
Yağış Süresi	0,355	***0,711***		
Yağış Şiddeti	***-0,430***	0,273	-0,374	
Sefer Toplam	***-0,598***	0,195	-0,271	***0,489***
Tonaj Toplam	***-0,623***	0,240	-0,224	***0,482***

Koyu renkli katsayılar istatistiksel olarak anlamlı olduğunu belirtmektedir ($p<0,05$).

Yapılan regresyon analizi (stepwise metodu) sonucu göre aşağıdaki model elde edilmiştir (R^2:49,96 $p<0,003$).

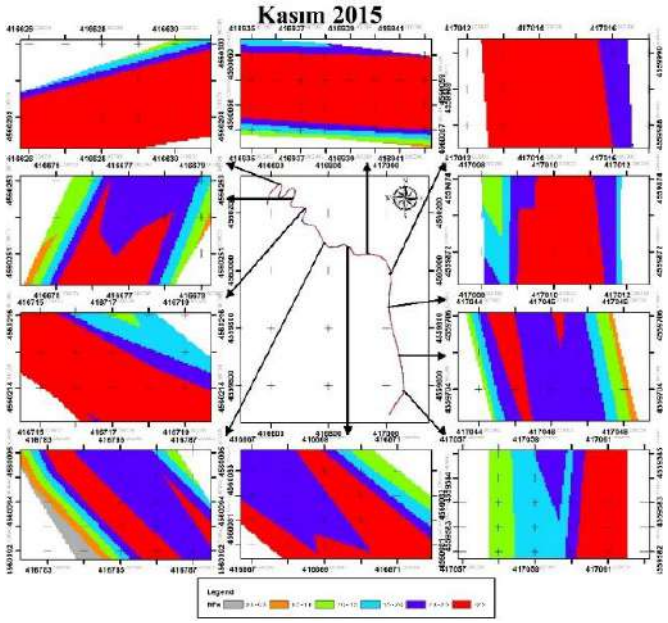
Sıkışma oranı = 1,887 + 0,000888 Yağış Süresi + 0,001201 Sefer - 0,000001 Tonaj

2015 yılı Ekim ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 17.98 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1743.00 m^2 ile 2.0-2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.6).



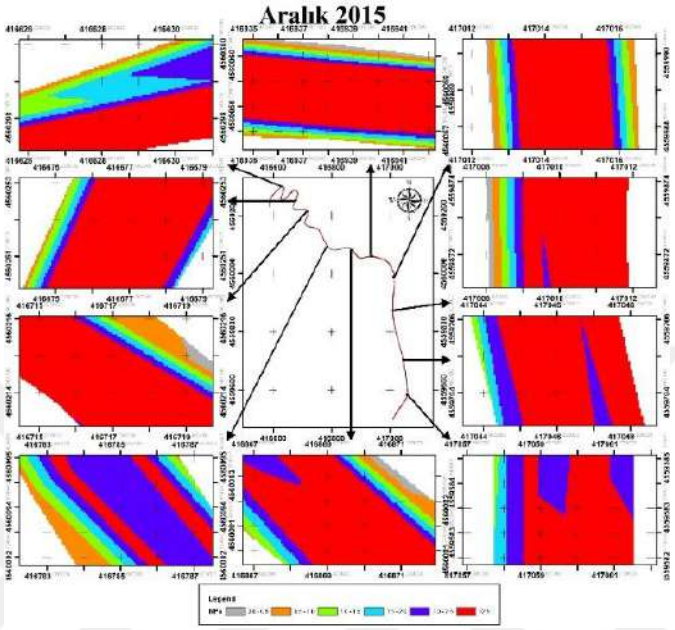
Şekil 4.6. 2015 Ekim ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2015 yılı Kasım ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 35.53 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 2430.59 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.7).



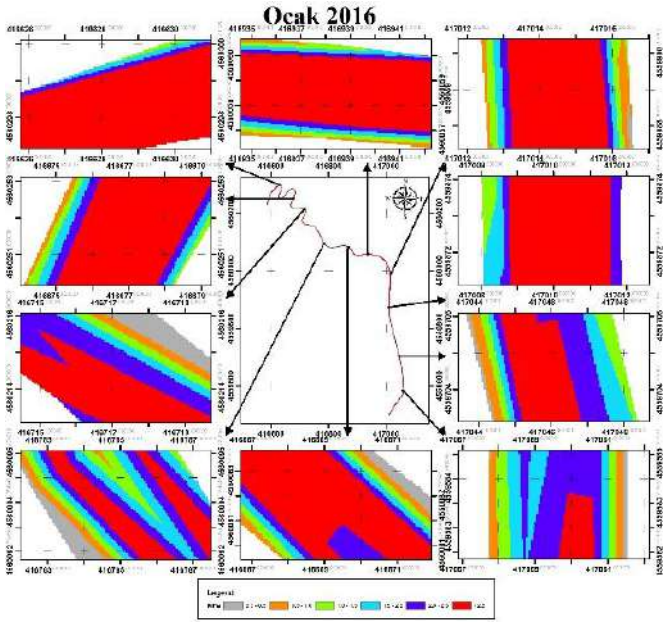
Şekil 4.7. 2015 Kasım ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2015 yılı Aralık ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 101.96 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 2081.47 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.8).



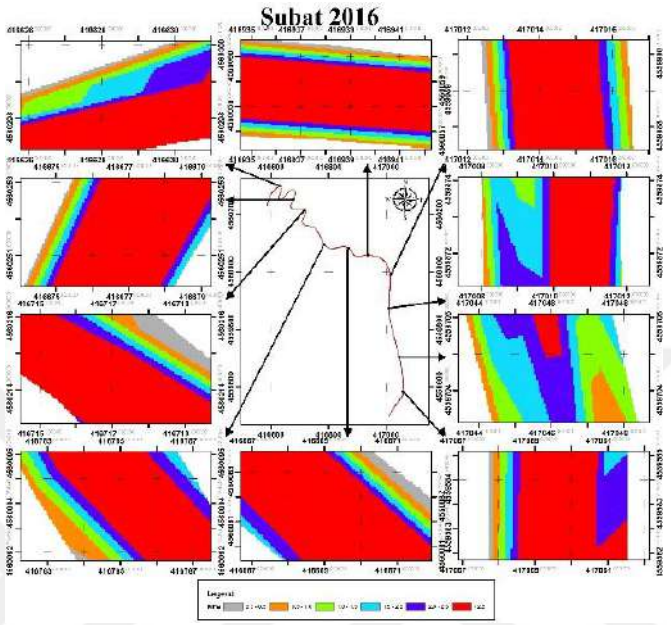
Şekil 4.8. 2015 Aralık ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Ocak ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 238.24 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 2107.48 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.9).



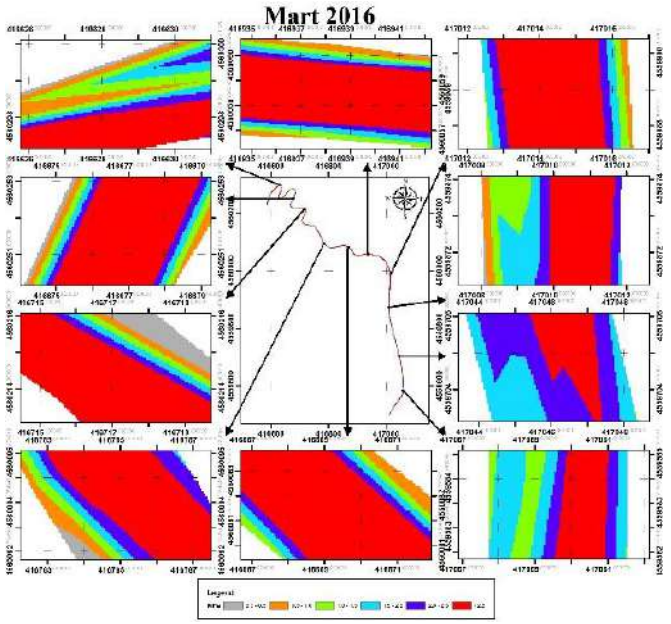
Şekil 4.9. 2016 Ocak ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Şubat ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 248.10 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 2396.34 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.10).



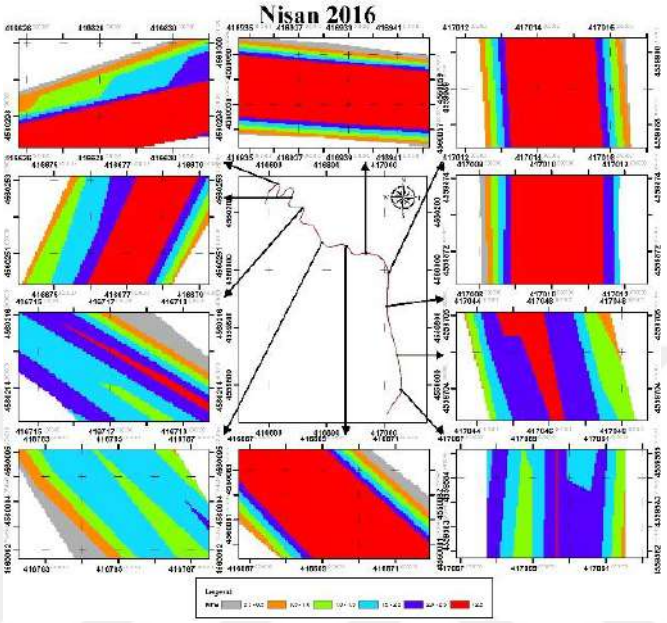
Şekil 4.10. 2016 Şubat ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Mart ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 183.12 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 2144.94 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.11).



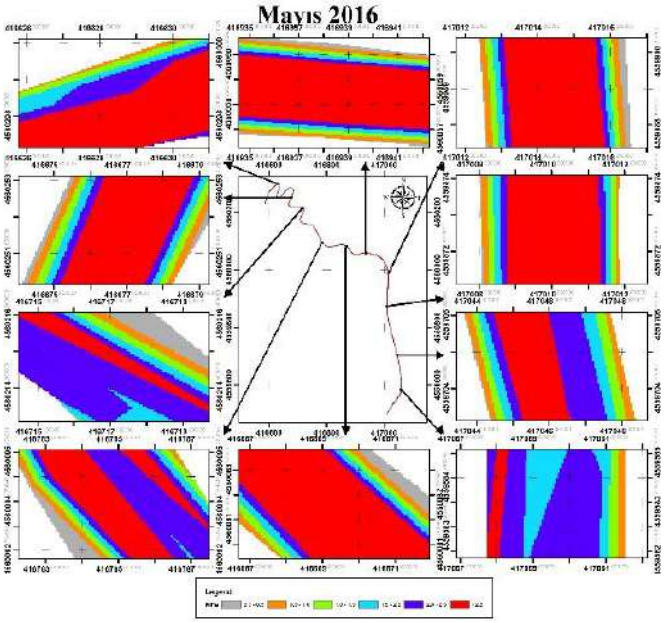
Şekil 4.11. 2016 Mart ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Nisan ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 304.27 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1720.17 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.12).



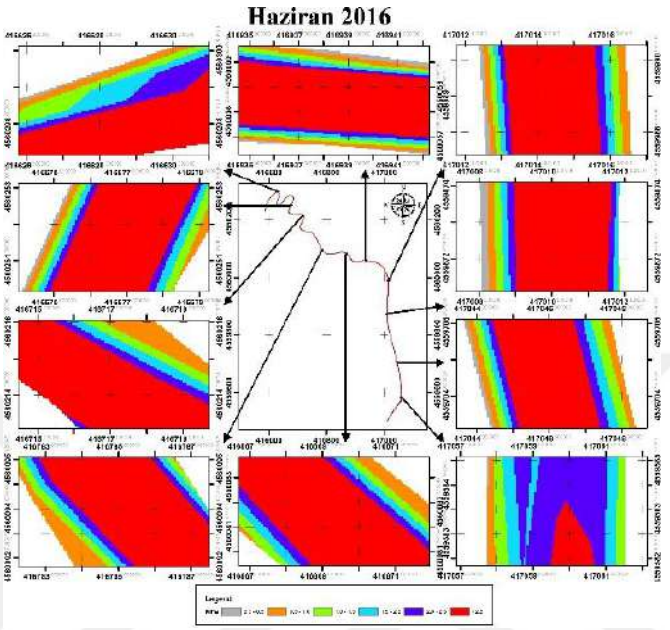
Şekil 4.12. 2016 Nisan ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Mayıs ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 320.62 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1925.72 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.13).



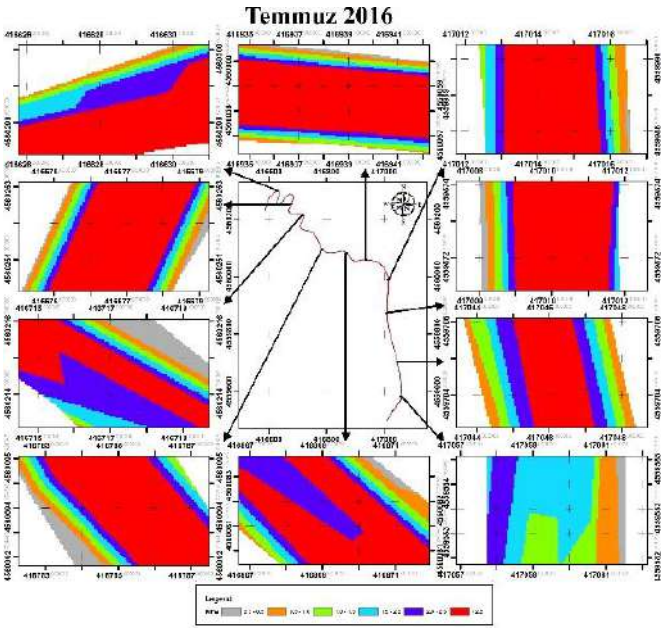
Şekil 4.13. 2016 Mayıs ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Haziran ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 195.18 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 2233.64 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.14).



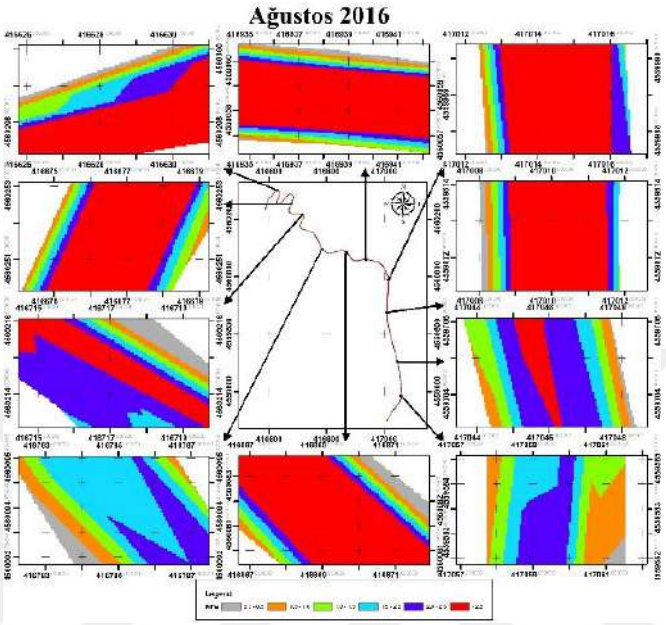
Şekil 4.14. 2016 Haziran ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Temmuz ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 295.34 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 2055.35 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.15).



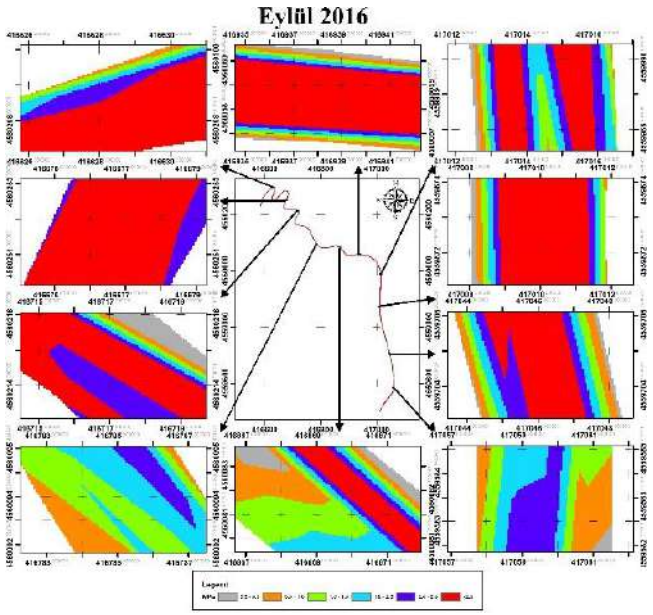
Şekil 4.15. 2016 Temmuz ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Ağustos ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 370.54 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1674.10 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.16).



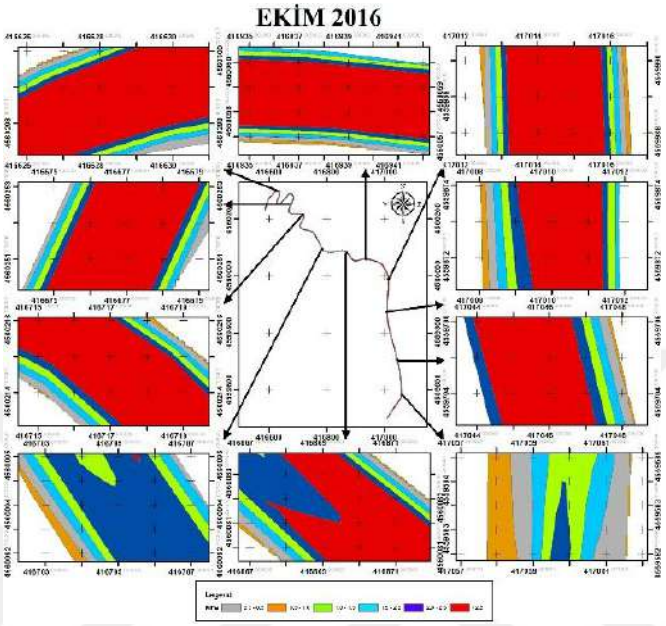
Şekil 4.16. 2016 Ağustos ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Eylül ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 325.11 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1733.36 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.17).



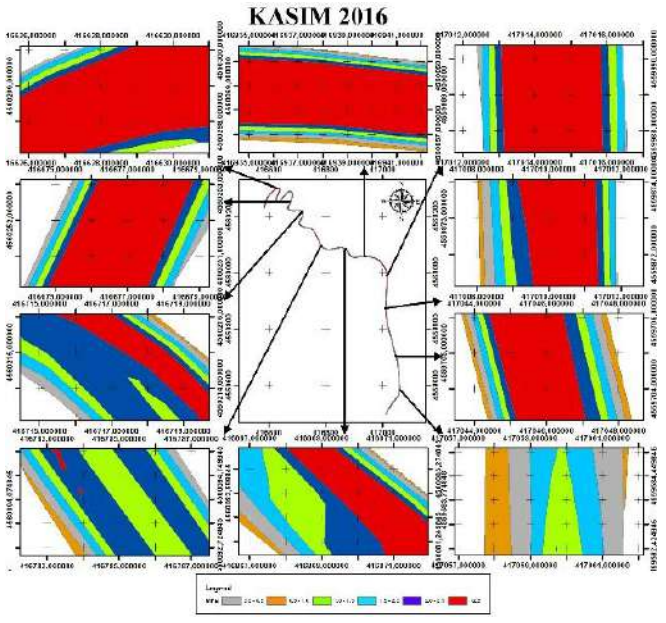
Şekil 4.17. 2016 Eylül ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Ekim ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 191.28 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 2573.28 m^2 >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.18).



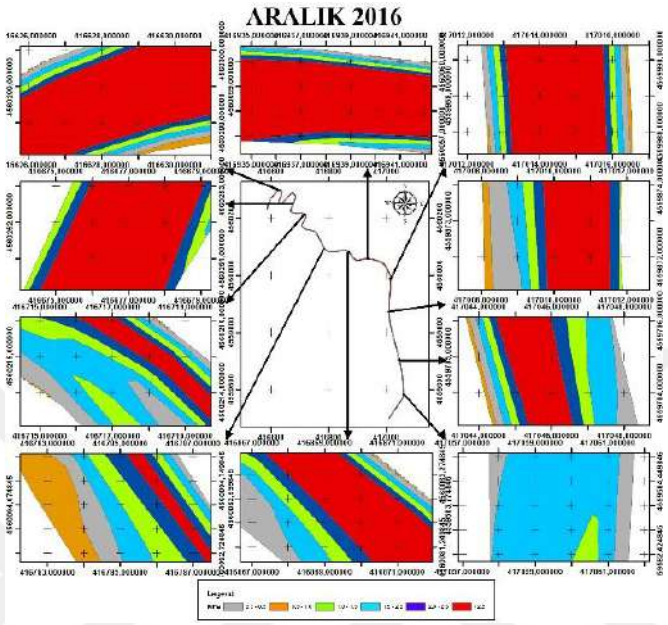
Şekil 4.18. 2016 Ekim ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Kasım ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 247.65 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 2138.85 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.19).



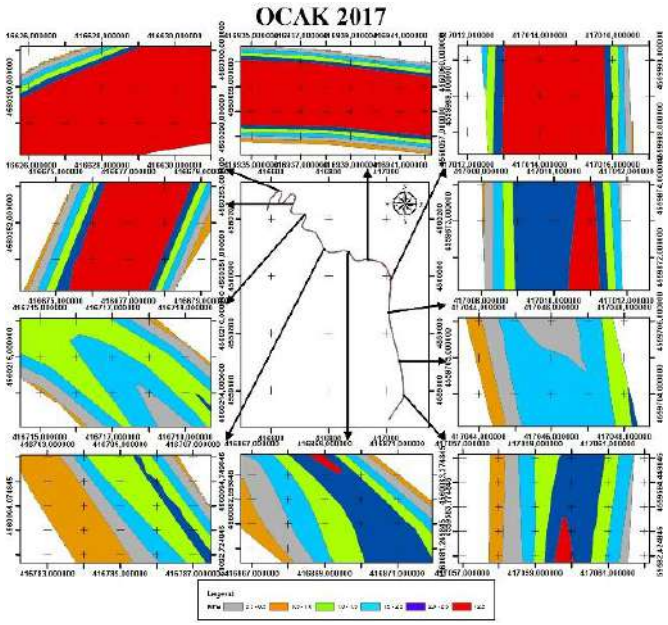
Şekil 4.19. 2016 Kasım ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2016 yılı Aralık ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 203.45 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 2261.36 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.20).



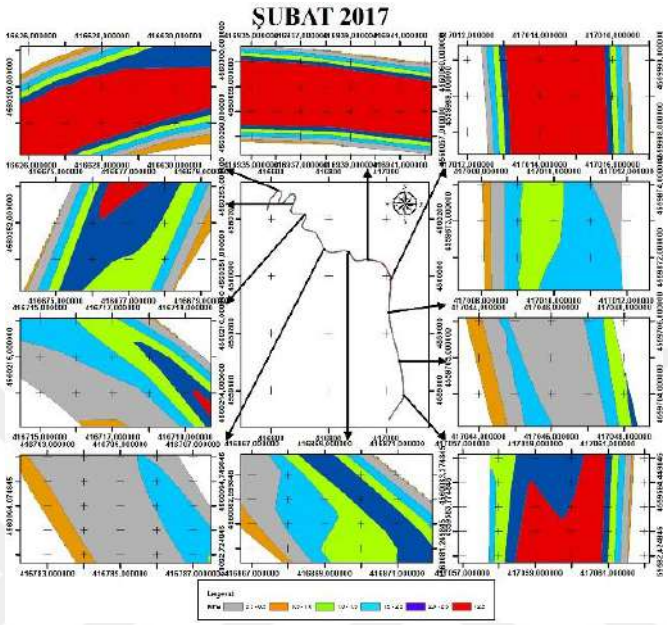
Şekil 4.20. 2016 Aralık ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2017 yılı Ocak ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 474.76 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1268.36 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.21).



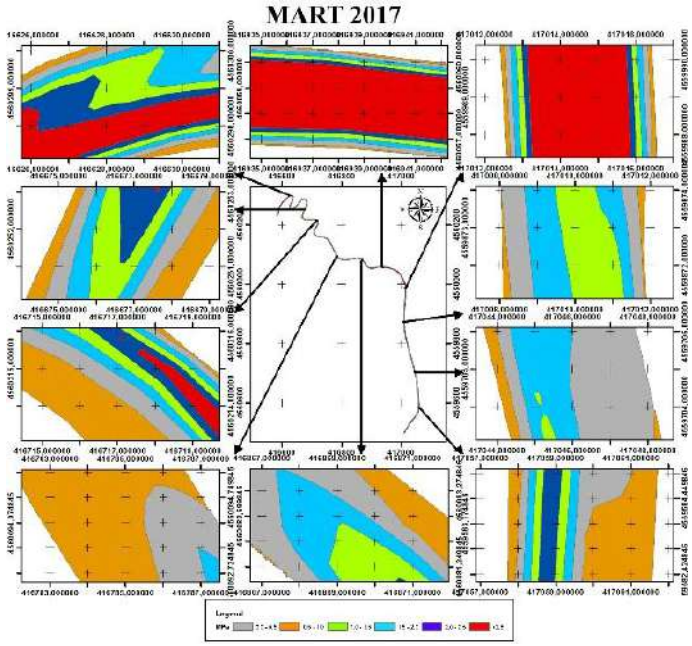
Şekil 4.21. 2017 Ocak ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2017 yılı Şubat ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 518.47 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1190.04 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.22).



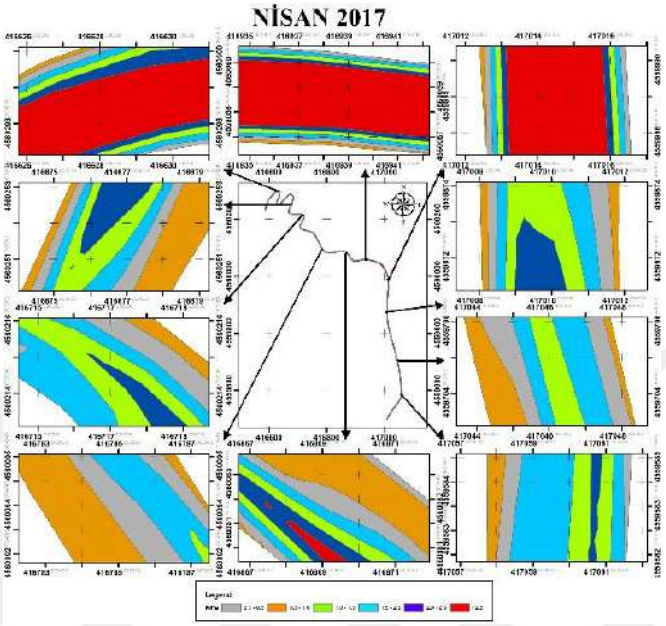
Şekil 4.22. 2017 Şubat ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2017 yılı Mart ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 879.00 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1150.39 m^2 ile 0.5-1 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.23).



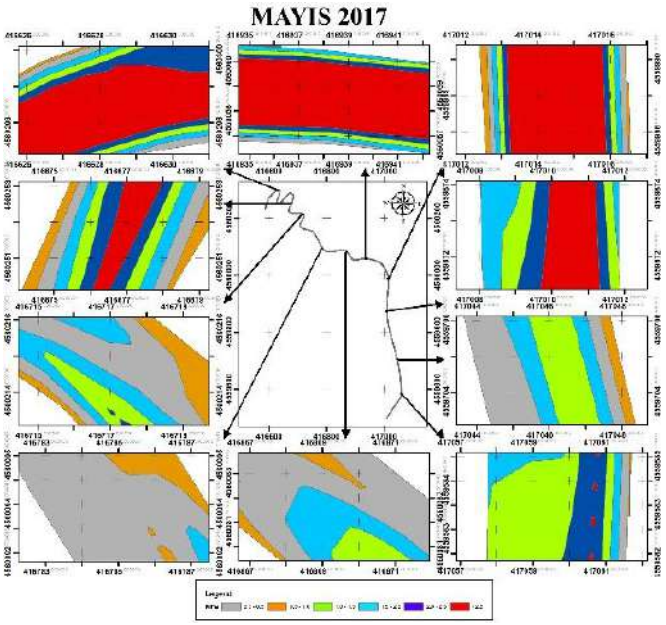
Şekil 4.23. 2017 Mart ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2017 yılı Nisan ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 559.21 m^2 ile 2.0-2.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1195.97 m^2 ile 0.5-1.0 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.24).



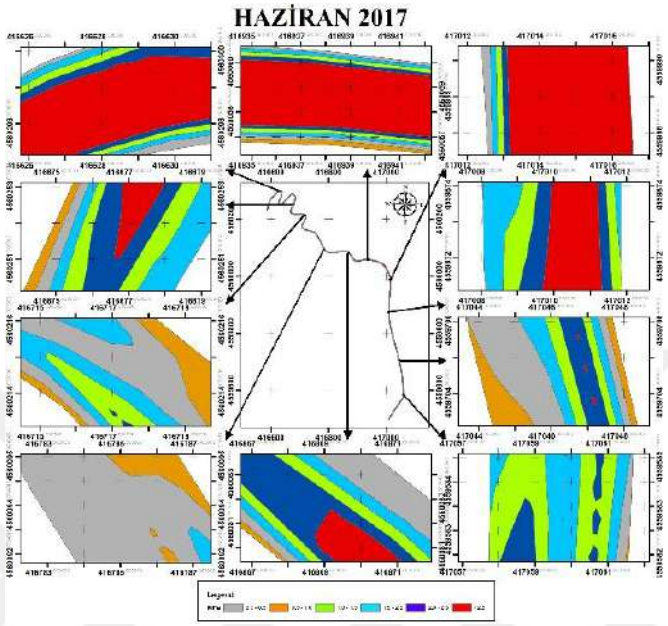
Şekil 4.24. 2017 Nisan ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2017 yılı Mayıs ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 617.52 m^2 ile 2.0-2.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1009.69 m^2 ile 1.5-1.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.25).



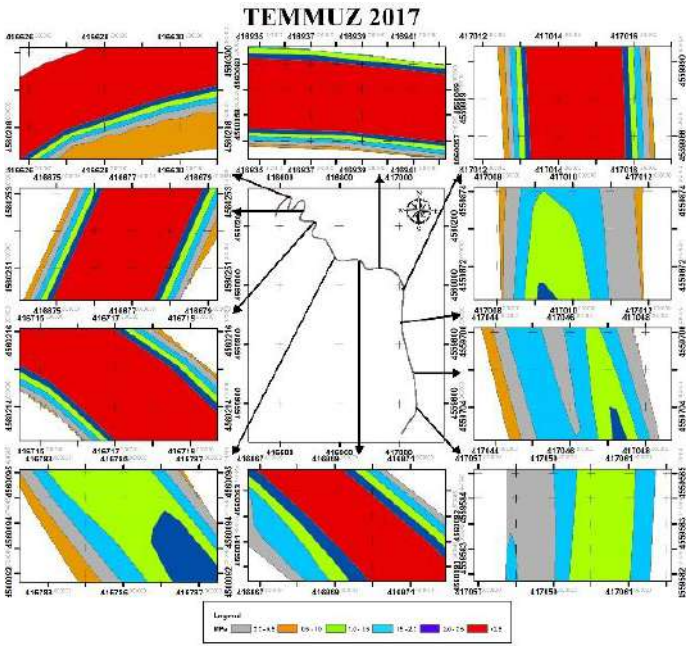
Şekil 4.25. 2017 Mayıs ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2017 yılı Haziran ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 550.14 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1313.88 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.26).



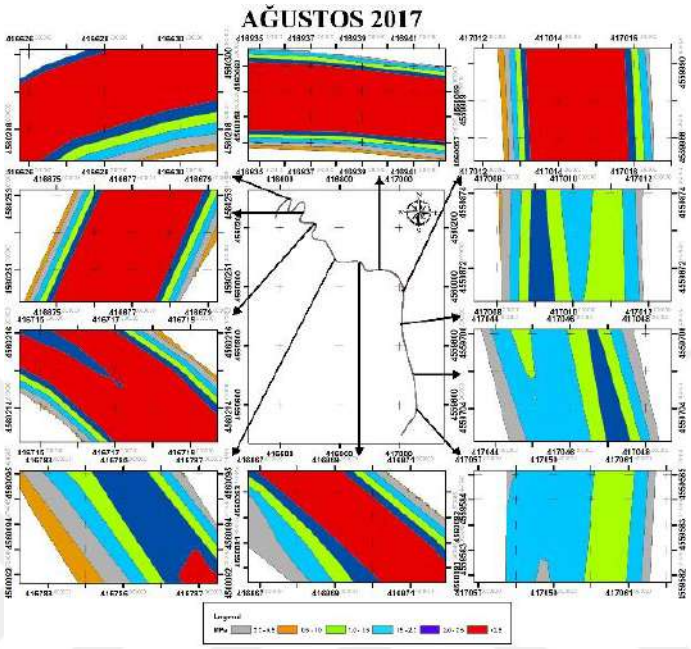
Şekil 4.26. 2017 Haziran ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2017 yılı Temmuz ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 470.89 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1835.76 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.27).



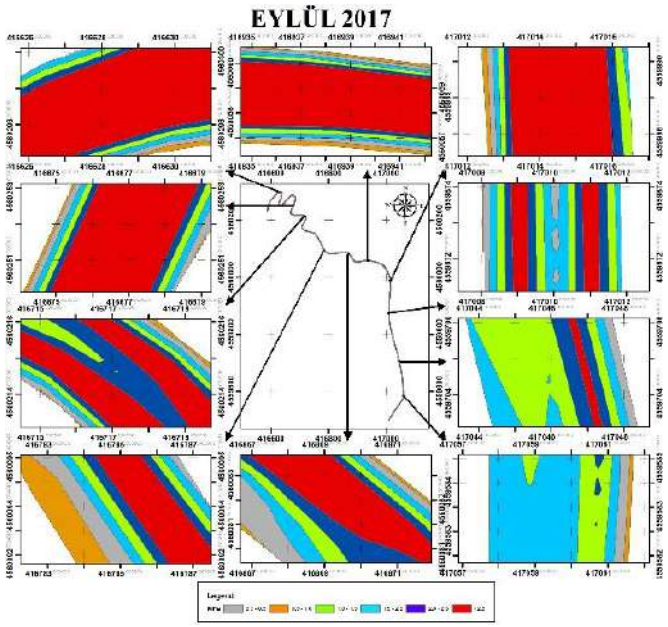
Şekil 4.27. 2017 Temmuz ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2017 yılı Ağustos ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 187.75 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1718.19 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. 2017 Ağustos ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

2017 yılı Eylül ayına ait sıkışma oranı haritasına göre alansal olarak en düşük sıkışma aralığı 197.09 m^2 ile 0.0-0.5 MPa iken alansal olarak en yüksek sıkışma aralığı 1889.66 m^2 ile >2.5 MPa arasında görülmüştür (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. 2017 Eylül ayına ait üst yapı sıkışma oranı haritası

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışma sonuçlarına göre üst yapı sıkışma oranları dikkate alındığında;

005 kod no'lu yolda Eksen-2 Eksen-3 ve Eksen-4 deki değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu durumun yol hattı boyunca yer yer meydana gelen yoğun degredasyon sonucunda ve ayrıca kurplardaki araç dönüş açısına bağlı olarak araç geçiş hattının orta eksene (3 no'lu eksen) kaymasından kaynaklandığı söylenebilir.

Yoldaki sıkışma oranlarının çevresel değişkenler ile olan ilişkisi değerlendirildiğinde sıkışma oranı yağış şiddeti, toplam sefer, toplam tonaj ile kuvvetli negatif ilişki ($p<0,05$) göstermektedir (Tablo 7). Bu negatif ilişkiler değerlendirildiğinde sıkışma oranının özellikle şiddetli yağışlardan sonra araç geçişinin özellikle yol eğiminin arttığı bölgelerde ve kurplarda üst yapının gevşemesine neden olmasından kaynaklanabilir.

Tez çalışmasına konu olan 005 kod no'lu yolda yol dış eksenlerindeki sıkışmanın düşük olması araçların aliymanlarda özellikle yolun orta hattında gitmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında oluşturulan regresyon analiz sonuçlarında da değinildiği üzere sıkışma oranı üzerinde yağış süresi, sefer sayısı ve tonajın etkili olduğu görülmektedir. Bu faktörlerin her biri ayrı ayrı etki katsayısına sahiptir. Săceanu (2012) tarafından yapılan çalışmada üst yapı sıkışma oranı ile araç geçişi ve tonaj arasında yüksek oranda korelasyon olduğunu belirtmiştir. Benzer olarak tez kapsamında incelenen 005 kod no'lu yolda üst yapı sıkışma oranının yüksek olması, tonaj ve araç geçiş sayısından kaynaklanması sonuçlarımızı desteklemektedir.

Akgül ve diğ, (2019) ve Salour (2015)'de tez kapsamında elde edilen sonuçlara benzer şekilde çevresel faktörlerin ve trafik etkisinin kombine bir şekilde yol yüzeyinde sıkışmayı olumsuz etkilediğini ve üst yapı bozulmasına sebep olduğunu belirtmiştir.

Çalışma sonuçlarında da görüldüğü üzere üst yapı sıkışma oranı değerlerinin ilkbahar aylarında diğer sezonlara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Charlier ve diğ (2009) da yaptığı çalışmada benzer sonuçları üst yapıdaki nemin artmasına bağlı olarak açıklamıştır.

Araştırma alanında yolda aylık bazda alansal olarak en çok >2.5 MPa değişimin hâkim olduğu görülmüştür. Bu durum 2, 3 ve 4 no'lu yol eksenlerindeki sıkışma oranının çalışma periyodu boyunca genel olarak 2,5 MPa değerinin üzerinde seyretmesinden kaynaklanmaktadır.

Tez çalışması boyunca 005 kod no'lu yolda üst yapıdaki aylık ortalama sıkışma oranlarının 001 kod no'lu yoldakinden yaklaşık 1,5-2 kat fazla olduğu görülmüştür. Bu durum araç geçişinin üst yapı sıkışma oranında önemli bir etken olduğunu göstermiştir.

Çalışmada oluşturulan araştırma hipotezleri ile ilgili olarak;

Tez kapsamında incelenen 005 kod no'lu yolda korelasyon somuçlarına göre üst yapı sıkışma oranının yüksek olması, tonaj ve araç geçiş sayısından kaynaklandığı görülmüştür.(H_A)

Sonuç olarak;

- Üst yapı sıkışma oranlarının haritalanması yöntemi ile özellikle orman yollarında kullanılan yüksek tonajlı araçların üretim sonrasında üst yapıda yaratacağı tahribat bölgeleri belirlenebilecektir. Buna göre yol yapım ve onarım çalışmalarında önlemler alınmalıdır.

- Üst yapı sıkışma oranı haritalarının CBS yazılımları ile periyodik olarak denetlenmesi, üretim öncesi üst yapı bakım ihtiyacının belirlenmesinde önemli bir veri kaynağı olacaktır.

- Üst yapı sıkışma oranının uzun zamanlı değişiminin izlenmesi/belirlemesi gibi çalışmalarda değişimin daha objektif ve hassas olarak ortaya konması aşamasında en önemli noktalardan biri sabit ölçüm noktalarının tesis edilmesidir. Buna göre gerçekleştirilen bu çalışmada olduğu gibi sabit ölçüm noktalarının mekânsal dağılımı önem arz etmektedir.

- Üst yapı sıkışma oranı haritalarının oluşturulması aşamasında doğrusal enterpolasyon tekniğinin uygulanması (kullanılması) yol yüzeyleri için gerçeğe daha yakın sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

- Yüksek veri hassasiyetine sahip ve objektif değerlendirme imkânı sağladığı için geleneksel deformasyon ölçüm metotlarından cetvel yönteminde (manuel yöntem) karşılaşılabilecek sübjektif ölçümler en aza indirilmektedir.

• Sıkışma oranın ile aşınma ters orantılı olarak değişmektedir. Sıkışma oranı haritalarının bölgesel bazlı olarak oluşturulması yol bakım ve onarım çalışmaları için bir survey çalışması niteliğinde olacaktır.

• Orman yollarında üst yapı taşıma kapasitesi dış etkenlere bağlı değişmekte ve zamanla yol üst yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Söz konusu bu bozulmalar dış etkenlere bağlı olarak, alansal ve noktasal bazda bozulmayı artırmakta ve dolayısıyla yol bakım masraflarını artırmaktadır.

• Orman yollarında tamir ve bakım çalışmalarında değerlendiricilerin alansal ve zamansal üst yapı taşıma kapasite haritalarını dikkate almaları, hem hassasiyet hem de doğru zamanlama açısından etkin sonuçlar elde etmelerine yardımcı olacaktır. Öte yandan söz konusu haritalarının oluşturulmasında doğrusal enterpolasyon tekniğinin kullanılması yol yüzeyleri için gerçeğe yakın sonuçların elde edilmesi açısından göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

Akay, A.O. ,2016, *Yersel lazer tarayıcı ile orman yollarında üst yapının zamansal değişiminin belirlenmesi*, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,

Akgul, M., Akburak, S., Yurtseven, H., Akay, AO., Cigizoglu, HK., Demir, M., Öztürk T., Ekşi, M., 2019, Potential impacts of weather and traffıc conditions on road surface performance in terms of forest operations continuity, *Applied Ecology and Environmental Research* 17 (2): 2533-2550.

Attoh-Okine, N., and Adarkwa, O., 2013, *Pavement condition surveys–overview of current practices*. Delaware Center for Transportation, University of Delaware: Newark, DE, USA.

Bayoğlu, S., 1997, *Orman transport tesisleri ve taşıtları*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.

Bocz, P., 2009, The effect of stiffness and duration parameters to the service life of the pavement structure. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 53(1), 35-41.

Charlier, R., Hornych, P., Sršen, M., Hermansson, Å., Bjarnason, G., Erlingsson, S., Pavšič, P., 2009, *Water influence on bearing capacity and pavement performance: Field observations*. In Water in road structures (pp. 175-192). Springer, Dordrecht.

Erdaş, O., 1997, *Orman Yolları*, Cilt I-II. Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Yayın No:187, 744.

Domitrović, J., and Rukavina, T., 2013, Application of GPR and FWD in assessing pavement bearing capacity. *Romanian journal of transport infrastructure*, 2(2), 11-21.

Hasdemir, M., ve Demir, M., 2000, Türkiye'de orman yollarını karayollarından ayıran özellikler ve bu yolların sınıflandırılması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 50(2), 85-96.

Hanlı, E., 2009, *Esnek üst yapılarda bozulmalar ve değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İyinam, Ş., 1997, *Karayollarında üstyapı bakım çalışmalarını planlama metodolojisi*, Doktora, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kaakkurivaara, T., 2018, Innovative methods for measuring and improving the bearing capacity of forest roads. *Dissertationes forestales*.

Markó, G., Primusz, P., Péterfalvi, J., 2013, Measuring the bearing capacity of forest roads with an improved benkelman beam apparatus. *Acta silvatica et lignaria hungarica*, 9(1), 97-109.

Miller, H. J., Kestler, M. A., Amatrudo, M., Eaton, R., Hall, A., 2011, Comparison of test sections of low-volume roadways reconstructed with conventional techniques and full-depth reclamation. *Transportation research record*, 2204(1), 206-214.

O'mahony, M. J., Ueberschaer, A., Owende, P. M. O., Ward, S. M., 2000, Bearing capacity of forest access roads built on peat soils. *Journal of terramechanics*, 37(3), 127-138.

Uusitalo J., 2010, *Introduction to forest operations and technology*. JVP Forest Systems Oy, Finland. 255-287

Pais, J. C., Amorim, S. I., Minhoto, M. J., 2013, Impact of traffic overload on road pavement performance. Journal of transportation Engineering, 139(9), 873-879.

Potocnik, I., 1996, The multiple use of forest roads and their classification. In: Food and Agriculture Organization of United Nations (eds), *Proceedings of the seminar on environmentally sound forest roads and wood transport held at sinaia*, Romania. pp. 103-108.

Primusz, P., Péterfalvi, J., Markó, G., Tóth, C., 2015, Effect of pavement stiffness on the shape of deflection bowl/A pályaszerkezet merevségének hatása a behajlási teknő alakjára., *Acta silvatica et lignaria hungarica* 11(1): pp.39–54. DOI: 10.1515/aslh2015-0003.

Săceanu, C., 2012, Forest roads degradation in correlation with traffic characteristics. *Proceedings of the biennial ınternational symposium, forest and sustainable development*, Brașov, Romania, 19-20th October, pp. 133–138.

Salour, F., 2015, *Moisture influence on structural behavior of pavements: field and laboratory investigations*. PhD Thesis, KTH Royal Institute of Technology.

Simonsen, E., and Isacsson, U., 1999, Thaw weakening of pavement structures in cold regions. *Cold regions science and technology*, 29(2), 135-151.

Szentpeteri, I., 2013, Temperature dependence of deflection bowl, *Proceedings of the second conference of junior researchers in civil engineering.* Budapest, Hungary.

Vestin, J., Arm, M., Nordmark, D., Lagerkvist, A., Hallgren, P., Lind, B., 2012, Fly ash as a road construction material. *Wascon 2012 conference proceedings*., pp. 1-8.

Vestin, J., Nordmark, D., Arm, M., Lind, B.B., Lagerkvist, A., 2018, Biofuel ash in road stabilization–Lessons learned from six years of field testing. *Transportation Geotechnics*, *14*, 146-156.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Serhat Mercan
Doğum Yeri	Bozüyük, Bilecik
Doğum Tarihi	02.08.1990
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	+90 555 461 72 05
E-Posta Adresi	serhatmercan15@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Orman Fakültesi
Bölümü	Orman Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	01.07.2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Orman Mühendisliği Programı
Mezuniyet Yılı	Tarih girmek için tıklayın veya dokunun.

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı Adı
Programı	Program Adı

Makale ve Bildiriler