

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**UYDU VERİLERİ VE ÇEVRESEL DEĞİŞKENLER KULLANILARAK
KIZILÇAM MEŞCERELERİNDE ÖLÜ ÖRTÜ KÜTLESİNİN
MODELLENMESİ**

Salih YILMAZ

**Danışman
Prof. Dr. İbrahim ÖZDEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**

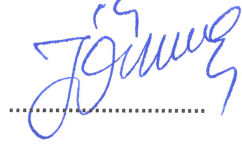


© 2019 [Salih YILMAZ]

TEZ ONAYI

Salih YILMAZ tarafından hazırlanan " **Uydu Verileri ve Çevresel Değişkenler Kullanılarak Kızılçam Meşcerelerinde Ölü Örtü Kütlesinin Modellenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

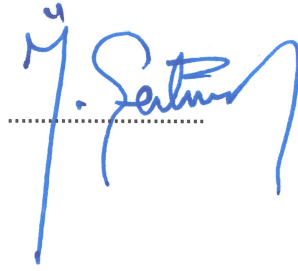
Danışman **Prof. Dr. İbrahim ÖZDEMİR**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi **Doç. Dr. Ahmet MERT**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Özdemir ŞENTÜRK**
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

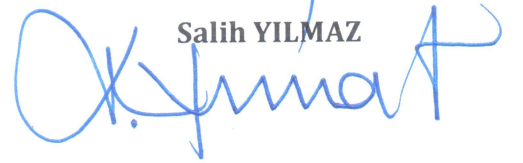


Enstitü Müdürü **Prof. Dr. Yusuf UÇAR**

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.


Salih YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1 Çalışma Alanı.....	11
3.2 Örnek Alanların Seçimi	11
3.3 Ölü Organik Madde Miktarının Ölçülmesi	12
3.4 Çalışmada Kullanılan Uydu Verileri	13
3.4.1 Uydu görüntülerine ön işlemlerin yapılması	14
3.4.2 Uydu verilerinin geometrik kaydı.....	14
3.4.3 Piksel değerlerinin TAO reflektans değerlerine dönüşümü.....	15
3.4.4 Normalleştirilmiş fark bitki indekslerinin (NDVI) hesaplanması	21
3.5 Çalışmada Kullanılan Çevresel Değişkenler	23
3.6 Bakı Uygunluk İndeksi, Radyasyon İndeksi ve Sıcaklık İndekslerinin Hesaplanması.....	23
3.7 İstatistiksel Analizler	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	30
4.1 NDVI Görüntüleri.....	30
4.2 Bakı Uygunluk İndeksi (BUİ), Radyasyon İndeksi (Rİ) ve Sıcaklık İndeksi (Sİ) Haritaları.....	33
4.3 Ölü Örtü Kütlesi ile Çevresel Değişkenler Arasındaki İlişkiler	37
4.4 Ölü Örtü Kütlesi ile NDVI Arasındaki İlişkiler.....	40
4.5 Genelleştirilmiş Eklemeli Model Bulguları.....	41
4.5.1 RapidEye NDVI.....	41
4.5.2 Spot NDVI	41
4.5.3 Aster NDVI	42
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	45
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ.....	56

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UYDU VERİLERİ VE ÇEVRESEL DEĞİŞKENLER KULLANILARAK KIZILÇAM MEŞCERELERİNDE ÖLÜ ÖRTÜ KÜTLESİNİN MODELLENMESİ

Salih YILMAZ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim ÖZDEMİR

Meşcere zemininde biriken ölü örtü, orman ekosistemlerinde tutulan karbon miktarı (C) içinde önemli bir paya sahiptir. Ülkemizin Akdeniz bölgesinde yayılış gösteren ibrelili ağaç türlerinden oluşan ormanlarda önemli miktarda ölü örtü kütlesi (ÖÖK) birikmektedir. Özellikle karbon miktarının daha az hatayla kestirilmesi için, ÖÖK'nin hesaba dâhil edilmesi çok önemlidir. ÖÖK envanteri için hızlı ve düşük maliyetli yöntemlere ihtiyaç bulunmaktadır. Geniş coğrafi alanları kaplayan uydu verileri bu konuda alternatif bir bilgi kaynağıdır. Bunun yanında, ÖÖK üzerinde çevresel faktörlerin de etkili olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, uydu verilerinden çıkarılan değişkenler ve çevresel değişkenler ile ÖÖK arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılması önemli görülmektedir. Bu tez çalışmasında, ilk olarak, RapidEye, SPOT-5, Aster uydu verilerinden türetilen normalleştirilmiş fark bitki indeksleri (NDVI) ve sıcaklık indeksi (Sİ), radyasyon indeksi (Rİ) ve bakı uygunluk indeksi (BUİ) ile ÖÖK arasındaki ilişkiler incelenmiştir. İstatistiksel değerlendirmelere göre; ÖÖK ile $NDVI_{RapidEye}$, $NDVI_{SPOT}$, $NDVI_{Aster}$ ve Sİ arasındaki doğrusal ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları (R) sırasıyla; 0,75, 0,69, 0,73 ve -0,41 olarak hesaplanmıştır ($p < 0,01$). Sonra Genelleştirilmiş Eklemeli Model (GAM) kullanılarak uydu ve çevresel değişkenlere dayalı olarak ÖÖK tahmin edilmiştir. Çapraz doğrulama testine göre, en iyi performansı gösteren ve $NDVI_{Aster}$ ve Sİ'nin açıklayıcı değişkenler olarak yer aldığı modelin ÖÖK'daki değişimleri %49'unu açıklayabildiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak uydu verileri ve çevresel değişkenler kullanılarak orman kızılçam meşcerelerinde zeminde biriken ölü örtü kütlesinin tahmin edilebileceği söylenebilir. Böylece bu çalışmanın sonuçları, kızılçam orman ekosistemlerinde tutulan toplam karbon (C) miktarının daha az hatayla hesaplanmasına önemli katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Biokütle, uzaktan algılama, uydu görüntüsü, ölü örtü, karbon

2019, 56 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

MODELLING LITTER LAYER MASS USING SATELLITE DATA AND ENVIRONMENTAL VARIABLES IN BRUTIAN PINE FOREST STANDS

Salih YILMAZ

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute for Graduate Education
Department of Forest Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim ÖZDEMİR

Litter layer on the forest floor has an important share in the amount of stored carbon (C) in forest ecosystems. A considerably amount of litter mass was accumulated in the conifer forests in the Mediterranean Region of Turkey. Litter mass should be regarded to estimate forest carbon with low error. Rapid and cost-effective methods should be needed for Litter mass inventory. Satellite remote sensing data covering broad geographic regions are alternative data source in this scope. Besides, environmental factors have effect on litter mass. Accordingly, it is important to reveal the relationships between litter mass and the variables derived from satellite data and environmental variables. In this thesis, we firstly investigated that the relationships between litter mass and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) images derived from RapidEye, SPOT-5 and Aster satellite data and the environmental variables including temperature index (TI), radiation Index (RI) and aspect suitability Index (ASI). Statistical assessments showed that the Pearson correlation coefficients for the linear relationships between litter mass and $NDVI_{RapidEye}$, $NDVI_{SPOT}$, $NDVI_{Aster}$ ve TI were 0.75, 0.69, 0.73 and -0.41, respectively. Then, litter mass was estimated by means of generalized additive model (GAM) using the explanatory variables including NDVI images and environmental data. According to the cross validation test, the best model using $NDVI_{Aster}$ and TI as explanatory variables explained a total variation of 49 percent of the response variable (litter mass). We may conclude that the litter mass on the floor of brutian pine stands can be moderately predicted using satellite data and environmental variables. We consider that the results of this study may contribute to estimation of C storages more accurately in the brutian pine stands.

Keywords: Biomass, remote sensing, satellite image, litter, carbon.

2019, 56 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. İbrahim ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Uydu görüntülerinin işlenmesi ve coğrafi bilgi sistemi yazılımlarının kullanımı konularında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen hocam Doç. Dr. Ahmet MERT'e minnettarım. Ayrıca, arazi çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Fethiye Orman İşletme Müdürlüğü'nün her kademedeki personeline sonsuz teşekkür ederim.

4981-YL2-17 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Salih YILMAZ
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu	11
Şekil 2. 30x30 m ² büyüklüğündeki bir örnek alan ve içinde 5 “alt örnek alanın” alınacağı yerler ve keskin satırlar kullanılarak zemine aplikasyonu.....	13
Şekil 3. RapidEye uydu görüntüsünün geometrik düzeltilmesinde kullanılan yer kontrol noktaları.....	15
Şekil 4. Aster bantları için, birim dönüşüm katsayıları.....	19
Şekil 5. Aster Data Operener yazılımına *.dat uzantılı görüntü dosyasının yüklenmesi.....	20
Şekil 6. Aster verisi için bantların kazanç ayarlarını gösteren pencere.....	20
Şekil 7. Çalışmada kullanılan haritalar ve çalışma alanının konumu.....	24
Şekil 8. Sayısallaştırılan eşyükselti eğrileri ve O22a3 paftasına ait SYM modelinin 3D görüntüsü.....	24
Şekil 9. Eğim ve bakı haritaları.....	25
Şekil 10. BUİ, Rİ ve Sİ formülleri girilerek her hücreye ait ilgili değişkenlerin hesaplanması.....	27
Şekil 11. S-Plus programının GRASP uzantısında GAM için kullanılan parametreler.....	28
Şekil 12. RapidEye NDVI görüntüsü	31
Şekil 13. SPOT NDVI görüntüsü.....	32
Şekil 14. Aster NDVI görüntüsü	33
Şekil 15. Bakı uygunluk indeksi haritası	34
Şekil 16. Radyasyon indeksi haritası.....	35
Şekil 17. Sıcaklık indeksi haritası.....	36
Şekil 18. Bir örnek alana ait, Bakı Uygunluk İndeksi, Radyasyon İndeksi ve Sıcaklık İndeksi değerlerinin tespit edilmesi (9 hücrenin ortalaması)	37
Şekil 19. Ölü Örtü Kütlesi ile Sıcaklık İndeksi (Sİ) arasındaki ilişki.....	39
Şekil 20. Ölü Örtü Kütlesi ile Radyasyon İndeksi (Rİ) arasındaki ilişki.....	39
Şekil 21. Ölü Örtü Kütlesi ile Bakı Uygunluk İndeksi (BUİ) arasındaki ilişki.....	39
Şekil 22. Ölü Örtü Kütlesi ile RapidEye NDVI arasındaki ilişki.....	40
Şekil 23. Ölü Örtü Kütlesi ile SPOT NDVI arasındaki ilişki.....	40
Şekil 24. Ölü Örtü Kütlesi ile Aster NDVI arasındaki ilişki.....	40
Şekil 25. NDVI _{RapidEye} kullanılarak elde edilen modele ait yumuşatma eğrisi ve çapraz doğrulama testi sonucu tahmin edilen ÖÖK ile gözlemlenen ÖÖK arasındaki ilişki.....	41
Şekil 26. NDVI _{SPOT} ve Sİ kullanılarak elde edilen modele ait yumuşatma eğrileri ve çapraz doğrulama testi sonucu tahmin edilen ÖÖK ile gözlemlenen ÖÖK arasındaki ilişki.....	42
Şekil 27. NDVI _{Aster} ve Sİ kullanılarak elde edilen modele ait yumuşatma eğrileri ve çapraz doğrulama testi sonucu tahmin edilen ÖÖK ile gözlemlenen ÖÖK arasındaki ilişki.....	43
Şekil 28. NDVI _{Aster} ve Sıcaklık İndeksi (Sİ) kullanılarak oluşturulan Genelleştirilmiş Eklemeli Modele (GAM) dayalı Ölü Örtü Kütlesi (ÖÖK) haritası.....	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1. Pearson korelasyon analizine göre çalışmada kullanılan değişkenler arasındaki ilişkiler (n=60)	38



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

NDVI	Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi
C	Karbon
ÖÖK	Ölü örtü kütlesi
Sİ	Sıcaklık indeksi
Rİ	Radyasyon indeksi
BUİ	Bakı uygunluk indeks
GAM	Genelleştirilmiş eklemeli model
R	Pearson korelasyon katsayısı
SOİ	Sürdürülebilir orman işletmeciliği
NIR	Yakın kızılötesi bant
TOA	Atmosfer üstü
SYM	Sayısal yükselti modeli
UTM	Evrensel enlem merkatörü



1. GİRİŞ

Çevre konularıyla ilgili öne çıkan konulara göre değişen dünya gündemi, ülkelerin ormancılık politika ve hedeflerini etkilemektedir (Canadell ve Raupach, 2008). Son yıllarda, küresel iklim değişimi ve biyolojik çeşitliliğin korunması dünya kamuoyunda öne çıkan sorunların başında gelmektedir (Mawdsley, 2009). Orman ekosistemleri, bu iki konuda kritik bir öneme sahip olduğundan, bu sorunların ormancılığa yansımaları çok hızlı olmuştur. Orman ekosistemlerinin özellikle sera gazlarının azaltılmasındaki işleviyle ilgili ve yine bu ekosistemlerde biyolojik çeşitliliğin korunması ve ölçülebilir kriterlere göre zenginleştirilmesine yönelik, gerek uluslararası gerekse ulusal çalışmalar artarak devam etmektedir (Miles ve Kapos, 2008). Ormancılık biliminin, odun üretimi ile orman ekosisteminde üretilen diğer ekolojik, sosyolojik ve kültürel ürün ve hizmetler (fonksiyonlar) arasındaki dengeyi oluşturma çabası bu sürecin doğal bir sonucudur (Asan, 2005). Diğer bir anlatımla, odun üretimine yönelik yapılan orman işletmeciliği faaliyetlerinin, orman ekosistemlerinin karbon depolama ve biyolojik çeşitlilik fonksiyonunu en az etkileyecek biçimde gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Zengin vd., 2013). Bu önemlerinden dolayı, söz konusu bu iki konunun, sürdürülebilir orman işletmeciliği (SOİ) temel kriterleri içinde yer aldığı görülmektedir (Barbati vd., 2014).

Çeşitli faaliyetler sonucu atmosfere salınan gazların sera etkisi yaratması sonucunda güneşten gelen ışınların daha fazla atmosferde tutulması ve dolayısıyla yerküremizin sıcaklığın artmasına küresel ısınma adı verilmektedir. Özellikle insan nüfusunun artmasıyla birlikte aşırı miktarda tüketilen fosil yakıtlar küresel ısınma üzerinde çok etkili olmaktadır. Son yıllarda medya organlarında izlediğimiz haberlerden, küresel ısınmanın yerkürenin her yerinde farklı etkilere yol açtığı görülmektedir. Kutuplardaki buzulların erimesi, deniz suyu seviyesinin yükselmesi ve seller, kuraklık, diğer olağan dışı hava halleri gezegenimizi kendi ellerimizle yaşanamaz bir hale döndürdüğümüzün en önemli belirtileridir. Doğrudan ölçülebilen bu etkilerin yansımaları sonucunda; habitat bozulmaları, hayvan nesillerinin yok olması, göç yollarının değişmesi,

tarımsal rekoltenin düşmesi, bulaşıcı hastalıkların artması, böcek istilaları ve balık stoklarının azalması gibi çeşitli dolaylı etkiler ortaya çıkmaktadır (Peters, 1990, Fearnside, 2000).

Yapılan araştırmalar eski kayıtlarla kıyaslandığında dünya sıcaklığında, 0,8 derece civarında bir artışa işaret etmektedir. Çeşitli iklim senaryoları bu artışın giderek yükseleceğini (1,8 °C – 4 °C) göstermektedir. Geçmişe bakıldığında, uluslararası düzeyde küresel ısınma farkındalığının, 1979 yılında düzenlenen Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO) tarafından düzenlenen “Dünya İklim Konferansıyla” başladığı söylenebilir. Daha sonra 1988 yılında geniş ölçekte Birleşmiş Milletler Çevre Programı “Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)” düzenlendiği görülmektedir. Bu süreçler sonucunda, küresel sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlayan “Birleşmiş Milletler İklim Değişimi Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)” bir anlaşma kabul edilmiştir. Ardından, 2005 yılında Kyoto protokolü ile gelişmiş sanayiye sahip ülkeler, belirli anlaşma dönemleri için sera gazı emisyonları belirli oranlarda azaltmayı taahhüt etmişlerdir. Zira Kyoto protokolünü imzalayan ve Rio-Helsinki sürecine katılan ülkeler, sahip oldukları ormanlarındaki karbon stok değişimlerini her yıl bildirmektedirler (Monni vd., 2007).

Sera etkisine sebep olan başlıca gazlar karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitrozoksit (N₂O), F-gazlar [hidroflorür karbonlar (HFCs), Perfloro karbonlar (PFCs) ve sülfür hekza florür (SF₆)] olarak sıralanabilir (Flessa vd., 2002). Küresel ısınma üzerinde en önemli sera gazı %81 ile karbondioksittir. Bunu sırasıyla metan (%10,6), nitrozoksit (%5,6) ve F-gazlar (%2,9) takip etmektedir. Temel emisyon kaynaklarına bakıldığında ise en büyük payın yakıt tüketiminde olduğu (%55,1) bunu sırasıyla ulaşım (%23,2), endüstriyel işlemler (%8,5), Tarım (%9,9) ve atık işlemleri (%3,3) izlemektedir (EEA, 2016; Kijewska ve Bluszcz, 2016). Bu veriler ışığında, sera gazlarının atmosferdeki oranını düşürmede alınacak öncelikli tedbirin, artan nüfusun yakıt olarak ihtiyaç duyduğu petrol ve kömüre alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarını çeşitlendirmek ve yeryüzündeki karbon havuzlarını arttırmak olduğu ortaya çıkmaktadır (Türkeş, 2008).

Karasal biyosfer, küresel karbon döngüsü içinde önemli rol üstlenmektedir. Karasal ekosistemler içinde de, orman ekosistemleri önemli karbon yutaklarıdır. Odun üretimi amaçlı gerçekleştirilen silvikültürel faaliyetler ve orman yangınları sonucu dinamik bir yapı gösteren; şehirleşme ve tarım alanı kazanma gibi faktörler etkisiyle sürekli azalan orman ekosistemlerinde etkili bir karbon yönetimi gerekmektedir. Orman alanlarının mülkiyetinin korunması, ormanları oluşturan meşcerelerin daha fazla karbon tutması amacıyla uygun silvikültürel işlemlerin belirlenmesi, bozuk orman alanlarının ağaçlandırılmak suretiyle daha fazla biokütle tutmasının sağlanması ve tarım alanlarında kavak, okalipütüs gibi plantasyonların teşvik edilmesi bu konuda atılabilecek adımların başında gelmektedir (Polat vd., 2011). Ayrıca üretilen odunun uygun tekniklerle kullanım ömrünün uzatılması ve konutlarda petrol türevi plastiklerin yerine ahşap malzeme kullanımının özendirilmesi orman endüstri sektöründe alınabilecek bir önlem olarak düşünülebilir.

Orman ekosistemlerinde karbon, toprak üstü biokütle ve toprak altı biokütle olmak üzere iki ana grupta depolanmaktadır. Toprak üstü biokütle bileşenleri; ölü organik materyal ve canlı gövde, dal, yapraklardan oluşmaktadır. Ağaçlarda tutulan karbon, biokütlenin belirli katsayılarla çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Ağaç türleri için, "biokütle genişletme faktörleri (BEF)" geliştirilmek suretiyle yeterli doğrulukta biokütle tahminleri yapılmaktadır. Fakat toprakta ve orman zeminindeki ölü organik materyal miktarının daha kaba olarak kestirilebilmektedir. Özellikle topraktaki karbonun modellenmesi ve bunun farklı orman ekosistemlerinde kullanılmasına ilişkin belirsizlikler devam etmektedir. Ölü örtü miktarının bilinmesi, karbon hesaplarının yanı sıra; orman yangınlarıyla mücadelede yanıcı madde miktarının hesaplanmasında, orman ekosisteminin besin döngüsünün modellenmesinde, yaban hayatı amenajmanı ve doğal genleştirme çalışmaları için de büyük önem taşımaktadır (Anderson, 1982; Keetch ve Byram, 1968; Attiwill ve Adams, 1993; Delisle ve Savidge, 1997; Caccia ve Ballaré, 1998).

Ölü örtü tabakası (Döküntü, ing; litter layer) orman zemininde biriken henüz ayrışmamış her türlü organik materyali kapsamaktadır. Sunulan tez

çalışmasında “ölü organik madde (ÖOM)” terimi; yaprak, tohum, çiçek, kozalak, meyve, çok ince sürgün (çapı<0,6 cm) ve kabukların meydana getirdiği orman zemininde biriken odun dışı organik maddeyi ifade etmektedir (Woodall, 2012). Ülkemiz ormanlarında, odunsu organik materyal (ince ve kalın dal parçaları) çoğunlukla yöredeki yerel halk tarafından yakacak olarak toplandığından, orman zeminindeki dağılımı doğal süreçlerden çok, insan etkisiyle şekillenmektedir. Bu sebeple, odunsu organik materyal çalışmaya dâhil edilmemiştir.

Orman zemininde biriken ölü organik madde miktarı ve bunun çürüme oranları karbon döngüsü içinde önemli bir konudur. İklim ve ölü organik maddenin kimyasal içeriği çürüme üzerinde etkili olan iki temel faktördür (Swift et al. 1979; Lavelle et al. 1993; Meentemeyer 1978; Berg et al. 1993; Aerts 1997). İklimin çok soğuk, çok kurak veya çok nemli olduğu coğrafi bölgelerde ölü organik materyalin çürüme hızı yavaştır (Cousteaux et al. 1995). Dolayısıyla, çürüme oranları dünyanın ekvatora yakın yağmur ormanlarında hızlı olurken, kutuplara doğru ve yükseltiye bağlı olarak azalış göstermektedir. Bunun yanı sıra, çöllerde, uzun bir yaz kuraklığının olduğu Akdeniz orman ekosistemlerinde ve bataklıklarda da çürüme yavaş gerçekleşmektedir (Swift et al. 1979). Buradan, kurak ve soğuk bölgelerdeki orman ekosistemlerinde, orman zemininde biriken ölü organik materyalin daha yavaş çürüme eğiliminde olduğu söylenebilir (Prescott, 2005).

Ölü organik materyalin nem içeriği %150'nin üzerinde ya da %30'un altında olduğunda çürüme yavaşlamaktadır (Haynes, 1986). Bu aralığın içindeki nem içeriklerinde, yeterli sıcaklık da mevcut olduğu takdirde çürüme hızlanmaktadır. Benzer yükselti ve sıcaklık koşullarında, nemli bölgelerde çürüme oranı kurak bölgelere göre daha fazladır (Bunnell et al. 1977; Vitousek et al. 1994). Bu bilgilere dayanarak, arazi bakışının, döküntü tabakasındaki nem içeriğini ve sıcaklığı etkilediğinden, ölü örtünün kütlesinin tahmin edilmesinde dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır (Csontos vd., 2007). Bununla birlikte, meşcere kapalılığı ve yaşı arttıkça zeminde biriken ölü örtü miktarı artmaktadır. Dolayısıyla, geniş coğrafi bölgeler için, uydu verilerinden çıkarılan

bitki indeksleri ile orman zeminindeki ölü organik madde kütlesi arasında bir ilişki bulunacağı öngörülmektedir.

Ülkemizin Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü, ibreli ağaç türlerinden oluşan orman ekosistemlerinde orman zemininde önemli miktarda ölü organik madde birikmektedir. Bu sebeple, bu ormanlardaki karbon hesaplamalarında, ölü örtü, önemli bir bileşen olarak kabul edilmektedir. Geniş coğrafi alanlar için ölü örtü miktarını belirlemeye yönelik bir envanter çalışması, gerek masraflı oluşu, gerekse harcanacak emek ve zaman bakımından külfetli olması bakımından pratikte çok mümkün olamamaktadır. Diğer taraftan, kolay bir yol olarak ölü örtü kalınlığından, ölü örtü kütlesinin tahmin edilmesi yolu sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle Ulusal Orman Envanteri'nin uygulandığı ülkelerde çok kaba olsa da ölü örtü kütlesi ile kestirimler yapılmakta ve ilgili haritalar üretilmektedir. Örneğin, FIA (Orman Envanteri ve Analiz) programı kapsamında ABD'de yersel örnek alanlarda yapılan örtü kalınlığı ölçümleri ile birkaç eyalet dışında ülkenin tamamı için bir ölü örtü kalınlığı haritası çıkarılmıştır (Woodall, 2012). Ulusal orman envanteri sistemi bulunmayan ülkeler için ise, bu kestirimlerin, uzaktan algılama verileri kullanılarak gerçekleştirilmesi mümkün gözükmektedir.

Aynı meşcere tipinde olsa bile, ölü örtü dinamikleri; yükseltiye, bakıya ve iklim koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin benzer kuruluştaki iki meşcerede, yağış rejimi ve toprak yapısı zeminde biriken ölü örtü miktarını değiştirebilmektedir. Sonuç olarak, ölü örtü miktarı üzerinde, meşcere yaşı, meşcere kapalılığı, sıklık, gelişim çağı, yıllık yağış miktarı, nemlilik, bakı, yükselti gibi faktörler etkili olmaktadır. Bu faktörleri dikkate alarak ölü örtü kütlesini modellemek mümkün gözükmektedir. Geniş coğrafi bölgeler için söz konusu bu değişkenlerin tamamını (özellikle bitki örtüsü ile ilgili) elde etmek ve istenilen modelleri oluşturmak her zaman mümkün değildir. Bu noktada uydu görüntüleri büyük kolaylıklar sağlayabilmektedir. Sonuç olarak, uydu verilerinden çıkarılan bitki indeksleri ve bazı çevresel değişkenleri bir arada kullanılarak orman zemininde biriken ölü örtü miktarını modellemek en etkili yol olarak gözükmektedir. Dolayısıyla bu tez çalışmasında, Batı Akdeniz

Bölgesi'nde, saf kızılçam meşcerelerinden oluşan bir ormanlık alanda, uydu verileri ve çevresel değişkenler kullanılarak ölü örtü kütlesinin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Çalışma konusuyla ilgili yapılmış gerek uluslararası gerekse ülkemizde sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Tez çalışmasına en yakın araştırma, Csontos vd., (2007) tarafından, Kuzey Macaristanın Dunazug and Pilis dağlarındaki, yaşları 21 ile 108 arasında değişen karaçam meşcerelerinde yapılmıştır. İlgili çalışmada, güney, kuzey bakılardan ve düz alanlardan olmak üzere 12 meşcerede ölü örtü tabakası ölçülmüştür. Bir meşcerede rastgele seçilen 5 noktada, 2x2 m lik bir alanda ölü organik materyal örneklenmiştir. Sonra örneklenen 5 örnek alandan birisinde, i) yaprak (ibreler ve 6 mm çapından küçük dallar), ii) dal (6 mm de çapından büyük) ve iii) kozalak olarak ayrılmıştır. Daha sonra, örnekler 70 derecelik fırında kurutularak hektardaki kg değerleri elde edilmiştir. Çevresel değişkenler olarak, enlem, boylam, mevsim, yükselti, bakı ve eğim; meşcere değişkenleri olarak, yaş ve göğüs yüzeyi; uydu verisi değişkenleri olarak NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi) ve Yakın Kızılötesi bandın parlaklık değerleri (NIR) kullanılarak ölü organik tabakasının kütlesi tahmin edilmiştir. Genelleştirilmiş Doğrusal Regresyon analizine göre, toplam ölü örtü miktarını en iyi tahmin eden modelde; yükselti, enlem, meşcere yaşı ve mevsim açıklayıcı değişkenler olarak yer almıştır ($R^2=0,63$ ve $RMSE=2410$ kg/ha). Sadece ölü örtünün yaprak kısmı modellendiğinde ise açıklayıcı değişkenler; NIR, yükselti, eğim ve boylam olarak tespit edilmiştir ($R^2=0,66$ ve $RMSE=1723$ kg/ha).

Yapılan ayrıntılı literatür taraması sonucunda, yukarıda açıklanan çalışma dışında, hem uzaktan algılama verilerinin hem de çevresel değişkenlerin kullanıldığı başka bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bununla beraber benzer konularda çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, daha çok çevresel değişkenler ve uzaktan algılama değişkenleri ile ölü örtü ayrışması arasındaki ilişkiler üzerinde durulmuştur. Ölü örtü ayrışması zeminde biriken ölü örtü miktarını etkileyen bir faktör olduğundan, bu çalışmalara değinilmesi uygun bulunmuştur. Örneğin, Sarıyıldız ve Küçük (2008) tarafından Artvin'de yapılan bir çalışmada, farklı bakı ve yükseltide yayılış gösteren bazı ağaç türlerinde, ölü örtü ayrışmasında; ölü örtünün kimyasal yapısının, ayrışma ortamının mikro-

iklim ve toprak özelliklerinin etkileri belirlenmiştir. Ayrışma deneyi, kayın, meşe, göknar ve sarıçam türlerinin yaprak ölü örtüleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde, ölü örtü ayrışmasını etkileyen en önemli faktörün, ayrışan materyalin başlangıçta içerdiği lignin değeri olduğu bulunmuştur. Yaprak ölü örtüsünde daha az lignin içeren meşe ve sarıçam türleri, daha fazla lignin bulunan kayın ve göknar türlerine göre daha hızlı ayrıştığı gözlemlenmiştir. Bakıya göre bir karşılaştırma yapıldığında, en hızlı ayrışmanın kuzey bakıda gerçekleştiği görülmüştür. Yükseltiye göre karşılaştırıldığında ise en hızlı ayrışmanın alt yükseltilerde gerçekleştiği belirlenmiştir. Güney bakıda toprak sıcaklığının ayrışma üzerinde etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Son olarak, her iki bakı dikkate alındığında; ölü örtü ayrışması üzerinde, lignin miktarının ve ortamın toprak solunum oranının ölü örtü ayrışma oranları üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Orman zemininde biriken ölü organik madde miktarı üzerinde etkili bir faktör olan “çürüme oranı – k değeri” ile ilgili Zhang vd., (2008) tarafından yapılan ayrıntılı bir literatür değerlendirmesine dayalı, küresel düzeyde yapılan çalışmada güvenilir sonuçlara ulaşılmıştır. İlgili çalışmada coğrafik faktörler olarak “enlem ve boylam dereceleri”; iklim faktörleri olarak “ortalama yıllık sıcaklık” ile “ortalama yıllık yağış” ve ÖOM kalitesi faktörleri olarak da “azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), karbon/azot oranı (C/N) ve lignin/azot oranı kullanılmıştır. 110 araştırma bölgesinden elde edilen “çürüme oranı” verileri yukarıdaki faktörler arasındaki ilişkiler basit, çoklu regresyon ve path analizi teknikleriyle ortaya koyulmuştur. Çalışma sonucunda, geniş küresel ölçekte, k değerlerinin enlem ve ÖOM lignin içeriğine bağlı olarak düştüğü; fakat sıcaklık, yağış ve ÖOM’nin besin içeriğine bağlı olarak yükseldiği görülmüştür. İklim, ÖOM kalitesi, coğrafik değişkenler tek başına k değerlerini tahmin etmede başarısız olmuşlardır. Ancak toplam besin elementlerinin kombinasyonu ve C/N oranı k değerlerindeki varyansın %70,2’sini açıklamıştır. Diğer taraftan, enlem, ortalama yıllık sıcaklık, toplam besin elementleri (TN) ve C/N, çürüme oran değerlerindeki varyasyonun % 87,5’ünü açıkladığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre ölü organik madde içeriğinin (C/N ve TN) k değerinin kestirilmesinde en önemli faktör olduğunun altı çizilmiştir.

Çevresel değişkenlerin ölü örtü ayrışması üzerindeki etkileri belirlemeye yönelik olarak yapılan yukarıdaki çalışma yanında, Sabetta vd. (2006) uzaktan algılama verilerinden çıkarılan değişkenleri kullanarak ölü örtü ayrışmasını haritalamışlardır. Bu çalışmada, dört Corine arazi örtüsü sınıfındaki (*Corylus avellana*, *Castanea sativa*, *Quercus cerris*, *Fagus sylvatica*) ayrışma oranı ile NDVI (Landsat ve MIVIS hiper-spektral) arasında ilişki tespit edilmiştir. Ayrışma oranı ile NDVI arasında bulunan bu ilişkilerin, ölü örtü miktarıyla da elde edilebileceği öngörülmektedir.

Yapılan çalışmalar yaprak ölü örtü kütesinin, ağaçlar üzerindeki canlı yaprak kütesi ve yaprak yüzey indeksi (LAI) ve meşcere kapalılığı ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Tobin vd., 2006). Özdemir ve Kolsuz (2015) tarafından, meşcere tepe çatısının boşluk oranını kullanarak, ölü organik madde miktarını modellenmiştir. Bu çalışmada boşluk oranı, yarı-küresel objektif yerine klasik fotoğraflarla belirlenmiştir. Her ne kadar yarı-küresel objektiflerle o kadar doğru tespit edemese de, klasik fotoğraflarda da yaprak yüzey indeksi kestirilebilir. Örnek alandan birden fazla noktada fotoğraf çekimi yapılmak suretiyle, ilgili çalışmada bu hata en aza indirilmeye çalışılmıştır. Bunun yanı sıra, boşluk oranı doğrudan meşcere kapalılığını yansıtmaktadır. Isparta-Eğirdir'de saf karaçam meşcerelerinde gerçekleştirilen bu çalışmada, ilişkiler doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizleriyle belirlenmiştir. Sonuç olarak, boşluk oranı ile ÖLOM miktarı arasında kuvvetli bir ilişki tespit edilmiştir ($r^2=0,86$ ve $RMSE=2,9$ ton/ha). Bu sonuç, meşcere tepe çatısının boşluk oranının, karaçam meşcerelerinde biriken ÖLOM miktarının kestirilmesinde güvenilir bir değişken olabileceğini göstermektedir.

Uydu verilerinden çıkarılan bitki indekslerinden, özellikle NDVI kullanılarak LAI ve meşcere kapalılığı başarılı olarak tahmin edilebildiğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda uydu görüntüsünün algılanma zamanına bağlı olarak farklı sonuçlar alınmaktadır. Örneğin, Chen ve Cihlar (1996) tarafından, Kanada'da *Picea mariana* ve *Pinus banksiana* meşcerelerinde yapılan bir çalışmada, LAI ile Landsat NDVI arasında önemli ilişkiler tespit edilmiştir (geç ilkbahar görüntüsü için $r^2 = 0,50$; yaz ortası görüntüsü için $r^2 = 0,42$). Colombo

vd., (2003) tarafından orman ve tarımsal örtüsünün bulunduğu bir arazide yapılan bir çalışmada, yüksek çözünürlüklü IKONOS görüntülerinden türetilen NDVI ve doku özellikleriyle LAI arasında anlamlı istatistiksel ilişkiler ortaya koyulmuştur. Tüm bitki örtüsü sınıfları dikkate alındığında LAI ile NDVI arasındaki ilişkinin açıklama payı 0,33 olarak hesaplanmıştır. Kavak alanlarında bu ilişkiye ait r^2 değeri 0,79; kayın ağaçlarından oluşan bir meşcerede ise 0,19 olarak bulunmuştur. Green vd., (1997) tarafından mangrove ormanlarında yürütülen benzer bir çalışmada, SPOT uydu görüntüsünden türetilen NDVI ile LAI arasındaki doğrusal ilişkinin belirtme katsayı 0,74 olarak elde edilmiştir.

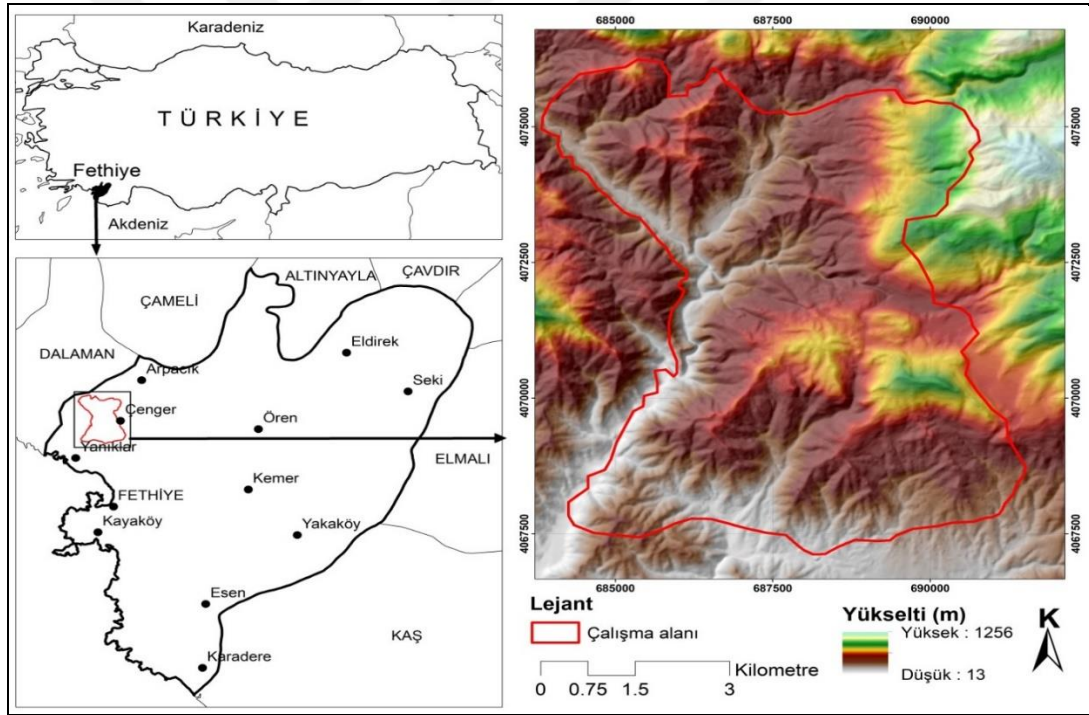
Ülkemiz orman ekosistemlerine benzer coğrafi bölgelerde (Yunanistan ve Portekiz) gerçekleştirilen bir araştırmada da; Landsat 5 TM or SPOT 4 XS NDVI görüntüleri ile LAI (yarı küresel görüntülerden hesaplanan) arasında oldukça kuvvetli ilişkiler ($r=0,79$) tespit edilmiştir (Topaloglou vd., 2013). Özdemir (2014) tarafından atı Akdeniz bölgesindeki kızılçam ormanlarında yapılan inceleme de benzer bulgulara ulaşılmıştır. RapidEye uydu görüntüsünden hesaplanan NDVI ile meşcere kapalılığı arasında önemli bir ilişki ($r^2 = 0,78$) ortaya koyulmuştur.

Yukarıdaki çalışmaların yanı sıra, bazı araştırmalarda, diğer bitki indekslerinin NDVI'dan daha iyi performans gösterdiği de bildirilmiştir. Stenberg vd. (2004)'nin Finlandiya'da sarıçam ve ladin ormanlarında yaptıkları benzer bir çalışmada, İndirgenmiş basit bant oranı (RSR) indeksinin LAI'ı tahmin etmede daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, saf ladin meşcerelere ait örnek alanlarda LAI ile RSR arasındaki ilişkinin açıklama payı (r^2) 0,75 iken, saf sarıçam meşcerelere ait örnek alanlarda LAI ile RSR arasındaki ilişkinin açıklama payı (r^2) 0,67 olarak hesaplanmıştır. Literatür bilgileri topluca değerlendirildiğinde, LAI indeksi için elde edilen yukarıdaki sonuçlar, NDVI görüntülerinin saf kızılçam meşcerelerinde ölü örtü kütlesinin tahmin edilmesi için oldukça ümit verici olduğu anlaşılmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Alanı

Çalışma, Fethiye Orman İşletme Müdürlüğü'nün Üzümlü, Güneydağ ve Göcek Orman İşletme Şefliği sınırları içinde kalan saf kızılçam meşcerelerinde yürütülmüştür (Şekil 1). Yaklaşık 4500 ha büyüklüğündeki çalışma alanında, ağırlıklı olarak farklı gelişme çağlarındaki saf kızılçam meşcerelerine rastlanmaktadır. Maki bitki örtüsü, ziraat arazileri ve yer yer meşe meşcereleri diğer arazi örtüsünü oluşturmaktadır. Bunun yanında, seçilen bölgenin güney kısımlarında az miktarda okaliptüs ağaçlandırmaları bulunmaktadır. Çalışma alanının deniz seviyesinden yüksekliği 48 ile 1088 m arasındadır.



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu

3.2 Örnek Alanların Seçimi

Öncelikle çalışma alanına ait meşcere haritaları incelenmek suretiyle, kapalılık derecesi ve gelişim çağı dikkate alınarak örnek alanlar tespit edilmiştir. Üç kapalılık derecesi (1,2,3) ve 6 gelişim çağı (ab, b, bc, c, cd, d) olduğu ve her

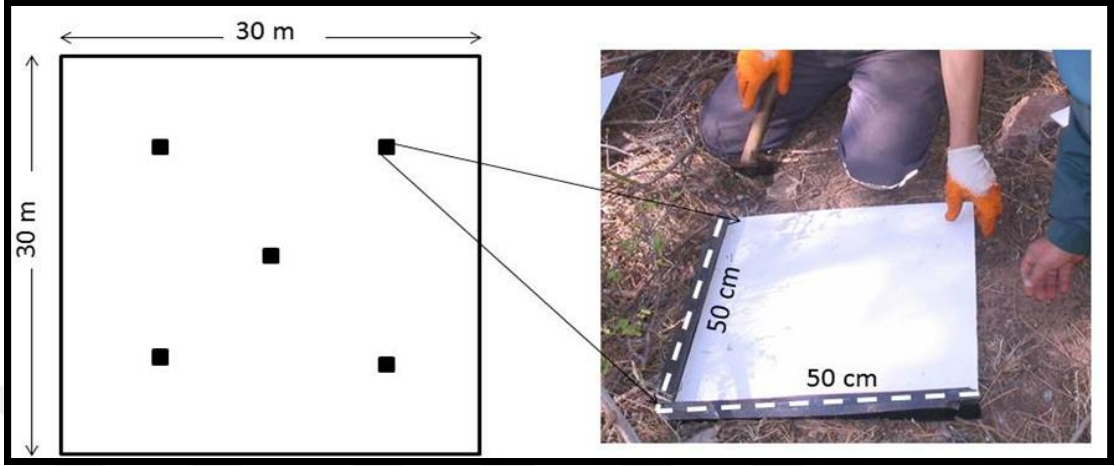
meşcere tipinden en az 3 örnek alan alınmış ve toplamda 60 örnek alanda ölü örtü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu örnek sayısı, hem çapraz doğrulama testi yapmak için hem de bağımsız bir veri seti oluşturarak (40 eğitim, 20 test) modellerin doğruluğunu test etmek için yeterli görülmüştür. Örnek alanın büyüklüğü $30 \times 30 = 900 \text{ m}^2$ olarak alınmıştır.

Bu çalışmaya “a” çağındaki yeni gençleştirme ve ağaçlandırma sahaları dâhil edilmemiştir, çünkü doğal gençleştirme çalışmaları sonucu oluşan kesim artıkları bu alanlarda çok fazla bulunduğundan, organik materyal miktarını yükseltmektedir. Bu da tahmin modellerinin geliştirilmesini engellenmektedir. Meşcere haritası ve RapidEye uydu verisi üzerinden yol güzergâhları gözetilerek, örnek alanların alınacağı yerler kabaca belirlenmiştir. Daha sonra, uydu görüntülerine uygulanan karelej ağı üzerinden, seçilen alanlara en yakın hücre örnek alan olarak alınmıştır. Sonuç olarak, 900 m^2 örnek alan, bazen bütünüyle saf bir meşcereye (düzenli bakım görmüş) isabet ederken, bazen de değişik meşcere tiplerine ya da küçük boşluklara isabet edebilmektedir. Bu Akdeniz bölgesinde yer alan karmaşık orman ekosistemleri için sıkça karşılaşılan bir durumdur. Örnek alan içi çeşitliliğin etkisini en aza indirmek ve örnekleme doğruluğunu arttırmak amacıyla, örnek alanda 5 farklı noktada ölü örtü örnekleme gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

3.3 Ölü Organik Madde Miktarının Ölçülmesi

Başlangıçta, ölü organik materyalin örnekleneceği alt örnek alanların büyüklüğü $1 \times 1 \text{ m}$ olması düşünülmüştür. Yukarıda değinildiği gibi; her örnek alandan 5 adet alt örnek alan alınmıştır. Bu amaçla hazırlanan ahşap çerçeve ile araziye çıkılmış ve birkaç örnek alan ölçüldükten sonra, bu büyüklüğün uygun olmadığı anlaşılmıştır. Gerek diri örtü gerekse ağaçlar arasındaki mesafenin az olduğu sık meşcerelerde, 1 m^2 büyüklüğündeki çerçeveyi zemine düzgün biçimde koymak ve kenarlarını kesmek kolay olmamaktadır. Bu sebeple alt örnek alan büyüklüğü $50 \times 50 \text{ cm}$ olarak değiştirilmiş ve buna uygun bir çerçeve hazırlanmıştır. Zemindeki ölü örtünün oldukça homojen olmasından dolayı, $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$ 'lik örnekleme ($0,25 \text{ m}^2$) ile $1 \times 1 \text{ m}^2$ 'lik örnekleme (1 m^2) arasında çok fark

çıkılmamaktadır. Kolsuz (2011) tarafından karaçam meşcerelerinde yapılan çalışmanın sonuçları da; 0,5 x 0,5 m²'nin ölü örtü örneklemede güvenilir bir büyüklük olduğunu göstermiştir.



Şekil 2. 30x30 m² büyüklüğündeki bir örnek alan ve içinde 5 "alt örnek alanın" alınacağı yerler ve keskin satırlar kullanılarak zemine aplikasyonu

Bir alt örnek alanda ölü örtü örneklenirken, önce ahşap bir plaka orman zeminine koyulmuş ve kaymaması ve çerçevenin sabit kalması amacıyla kenarlarına 20 cm uzunluğunda çivi çakılmıştır. Sonra bir kişi çerçeveyi bastırılmış ve diğer bir kişi satır ve balyoz kullanarak dikkatli bir biçimde kenarları kesmiştir. Sonra çerçeve kaldırılmış ve tüm ölü örtü dikkatli biçimde toplanarak bir torbaya koyulmuş ve arazide tartılmıştır. Her ne kadar, çalışma yağışların olmadığı yaz mevsiminde yapılmış olsa da, günün saatleri ve hava nemindeki farklılıklar hesaba katılarak, 5 örnek alandan toplanan bir miktar ölü örtü karıştırılmak suretiyle yaklaşık 1 kilo kadar örnek alınmıştır. Bu örneklerin laboratuvarında fırın kurusu ağırlığı tespit edilmiştir. Hava kurusu ağırlık ile fırın kurusu ağırlık arasındaki orandan faydalanmak suretiyle, bir alt örnek alanın fırın kurusu ağırlığı (ton/ha) hesaplanmıştır.

3.4 Çalışmada Kullanılan Uydu Verileri

Tez çalışmasında, 1150476 numaralı Tübitak 1001 projesinde alınan uydu verileri kullanılmıştır. Uydu verilerinin tamamı 2014 yılı yaz mevsimi içinde algılanmıştır. Kullanılan veriler; 1) 16.08.2014 tarihinde çekilmiş, RapidEye

uydu görüntüsü (5 m çözünürlüklü ve 5 kanallı; 440 - 510 nm, 520 - 590 nm, 630 - 685 nm, 690 - 730 nm, 760 - 850 nm). 2) 04.07.2014 tarihinde çekilmiş, SPOT-5 uydu görüntüsü (10 m çözünürlüklü ve 3 kanallı; 490-610 nm,610-680 nm,780-890 nm). 3) 26.08.2014 tarihinde algılanmış, Aster uydu görüntüsüdür multispektral modda (15 m çözünürlüklü ve 3 kanallı; 520-600 nm, 630-690 nm, 760-860 nm). Böylece, uydu görüntülerinin birbirine yakın tarihte algılanmış olması çalışma için önemlidir çünkü; vejetasyon örtüsündeki zamana bağlı oluşabilecek fenolojik farklılıkların minimum düzeyde tutulmuştur. Dolayısıyla, bu yüksek lisans çalışmasında, amaçlanan ölü örtü miktarının kestirilmesinde hangi çözünürlüğün daha etkili olduğu daha sıhhatli olarak ortaya koyulmuştur.

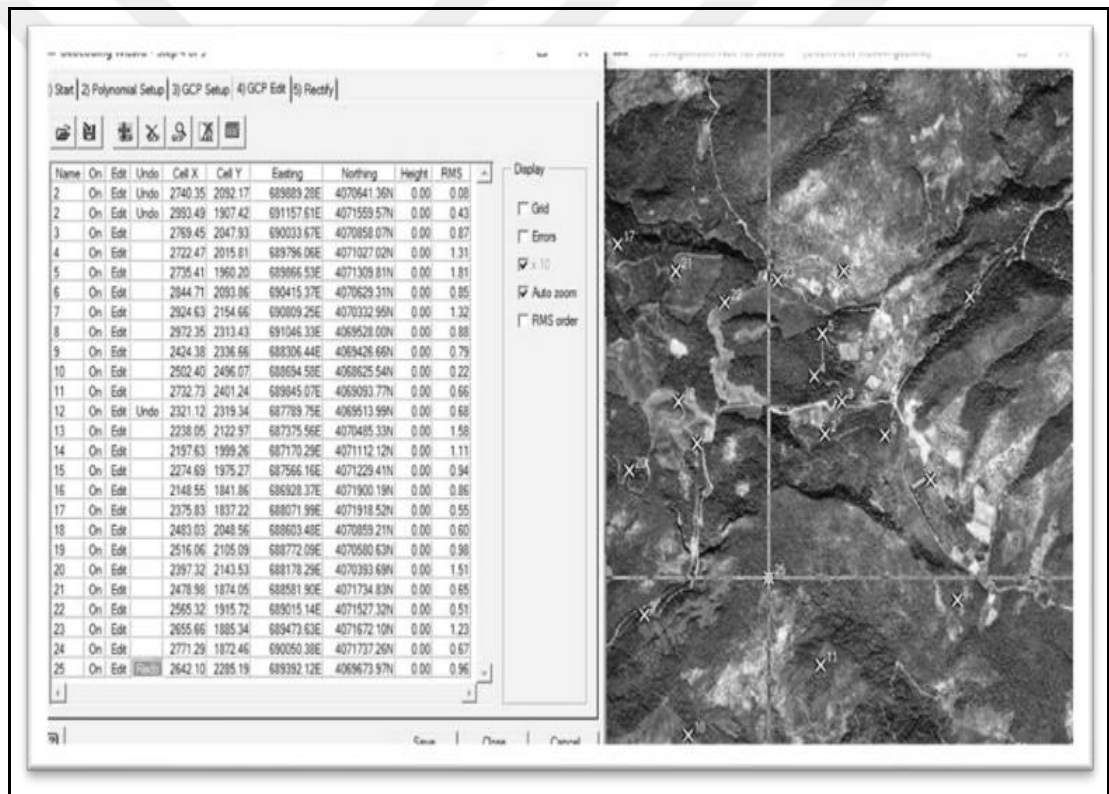
3.4.1 Uydu görüntülerine ön işlemlerin yapılması

Tez çalışmasında, orijinal piksel değerlerini korumak amacıyla, yeniden örnekleme yöntemi olarak “en yakın komşu” yöntemi kullanılmış görüntüler temin edilmiştir. Bunlar; RapidEye (Level 1B), SPOT-5 (Level 1A) ve Aster (Level 1A) uydu görüntüsüdür. Projede öngörüldüğü üzere çalışma, uydu verileri arasında bir standart sağlamak, diğer bir ifadeyle mekânsal çözünürlüğün etkisini doğru olarak anlamak amacıyla, uydu görüntülerin kırmızı ve kızılötesi bantlarından türetilen normalleştirilmiş fark bitki indeksi (NDVI) kullanılarak yürütülmüştür. Bu amaçla uydu görüntülerine uygulanan işlemler aşağıda ayrıntılı biçimde açıklanmıştır.

3.4.2 Uydu verilerinin geometrik kaydı

Öncelikle en yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olan RapidEye uydu görüntüsünün geometrik kaydı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yeri hem uydu görüntüsünde ve hem de arazide çok iyi biçimde tanımlanabilen yer kontrol noktaları (YKN) tespit edilmiştir (Şekil 3). Sonra araziye gidilmek suretiyle bu YKN'lerin (dere ve yolların kesişim yerleri, görüntüde kolaylıkla ayırt edilebilen tek ağaçlar, meşcere içindeki küçük boşluklar ve farklı arazi örtülerinin kenar kısımları) koordinat değerleri el tipi GPS kullanılarak kayıt edilmiştir. Sonra

tespit edilen bu 25 YKN kullanılarak “birinci derece poligon dönüşümü” kullanılmış ve orijinal piksel değerlerinin korunması amacıyla piksellerin yeniden örneklemeinde “en yakın komşu yöntemi” tercih edilmiştir. Hesaplanan doku özelliklerinin standart olarak hesaplanması amacıyla bu yöntem kullanılmıştır. Son olarak daha kaba çözünürlüğe sahip olan SPOT-5 ve Aster uydu görüntüleri, geometrik düzeltilmiş RapidEye uydu görüntüsü kullanılarak aynı koordinat sistemine kayıt edilmiştir. Bu işlem uydu görüntüleri üzerinde açıkça ayırt edilebilen noktalar kullanılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Sonuçta üç uydu görüntüsü de aynı koordinat sisteminde (UTM, WGS84) tanımlanmıştır.



Şekil 3. RapidEye uydu görüntüsünün geometrik düzeltilmesinde kullanılan yer kontrol noktaları

3.4.3 Piksel değerlerinin TAO reflektans değerlerine dönüşümü

Yeryüzünden yansıyan ya da ayrılan radyasyonun (radyans), güneşten yeryüzüne ulaşan radyasyona (irradiyans) oranı “reflektans” olarak tanımlanmaktadır. Bu yüzden, cisimlerden yansıyan reflektans değerlerini

hesaplamak için, uydu platformlarından elde edilen görüntülere atmosferik düzeltme işlemi uygulanması gerekli görülmektedir. Bu işlem biraz külfetli olduğundan, atmosferik etkileri göz ardı ederek, güneşten gelen radyasyonun geometrisini ve dünya-güneş uzaklığını kullanmak suretiyle, gezegensel yani atmosfer üstü (TOA, ing: Top of Atmosphere) reflektans değerlerini kullanmak da birçok çalışma için yeterli görülmektedir. TOA; 0 ile 1 (%0 ile %100) arasında değişen değerlere sahiptir.

Bir araştırmada, eğer birden fazla görüntü kullanılacaksa ve elde edilen sayılar sonraki çalışmalarda kullanılmak isteniyorsa, piksel değerlerini reflektans değerlerine çevirmek gerekmektedir. Özellikle bitki indekslerinin hesaplanmasında, piksellerin sayısal değerleri (sayısal numaralar ya da parlaklık değerleri, ing: Digital Number, DN) yerine radyans veya reflektans değerlerinin kullanılması önerilmektedir (Guyot ve Gu, 1994). Bu işlemin özellikle, bir katsayı ihtiva eden bitki indekslerinin (örneğin; Toprak uyumlu bitki indeksi (Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI)) hesaplanmasında mutlaka fiziksel radyans veya reflektans değerlerinin kullanılması çok önemli görülmektedir. Katsayı bulunmayan bitki indekslerinde ise (örneğin; Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi, NDVI), reflektans değerleri dikkate alınarak hesaplanan indeks değerleri, herhangi bir atmosferik düzeltme uygulanmadığı sürece, parlaklık değerleri kullanılarak elde edilen indeks değerlerinin doğrusal bir dönüşümü olmaktadır.

Bu tez çalışmasında da, görüntü bitki indeksleri kullanılacağından piksel değerleri reflektans (Top of Atmosfer; TOA) değerlerine dönüştürülmüştür. Böylece bitki indeksleri daha güvenilir olan fiziksel bir birim kullanılarak belirlenmiştir. Uydu görüntüleri görsel olarak incelendiğinde herhangi bir atmosferik sis gözlemlenmediğinden TOA reflektans değerlerine dönüştürme işlemi görüntüler arasında standardı büyük ölçüde sağladığı kabul edilmiştir. Ayrıca, tez çalışmasında elde edilen NDVI değerlerinin başka çalışmalarda da kullanılabilmesine imkân sağlanmış bulunmaktadır.

a) RapidEye Uydu görüntüsü

Spektral bantlarının DN değerlerini TOA reflektans değerlerine dönüştürülmesi amacıyla ilk olarak, dört spektral bandın sayısal değerleri radyans değerlerine çevrilmiştir. Bu amaçla kullanılan formül aşağıda verilmiştir (RapidEye, 2015).

$$L_{TOA=DN^k}^k \text{Radyometrik Ölçek Faktörü} \quad (1)$$

Görüntüye ait dosya eklerindeki *XML uzantılı dosyada, “Radyometrik Ölçek Faktörü” spektral bantların hepsi için 0,009999999776482582 olarak verilmiştir. Radyans yukarıdaki formül kullanılarak hesaplandıktan sonra; TAO reflektans aşağıda verilen formül kullanılarak bulunmuştur (Houlès vd., 2006; El Hajj vd., 2008; Lu vd., 2008).

$$\rho_{TAO}^k = \frac{\pi.L_{TAO}^k.d^2}{ESUN_s^k.cos\theta} \quad (2)$$

Formülde; π ; pi katsayısını, $ESUN_s^k$; ortalama güneş irradyans değerlerini, θ ; güneş zenit açısını, d ; görüntü algılama zamanında dünya-güneş mesafesini (atmosferik birim olarak) göstermektedir.

Çalışmada kullanılan RapidEye görüntüsünün algılandığı vakitte, güneş zenit açısı $23,60^\circ$ dir. Spektral bantlar itibariyle, $ESUN_s^k$ değerleri; bant 1=1997,8; bant 2=1863,5; bant 3=1560,4; bant 4=1395; bant 5=1124,4’dür (RapidEye, 2015). RapidEye verisinin algılama tarihi yılın 229. Gününe karşılık gelmektedir. Bu tarihte güneş-dünya uzaklığı 1,01244 atmosferik birim olarak verilmektedir. Hesaplanan veya bulunan bu değişkenler ve katsayılar, her spektral bant için ilgili formülde yerine koyulmak suretiyle TOA değerleri elde edilmiştir.

b) SPOT-5 Uydu görüntüsü

SPOT verisinin dört spektral bandının piksel değerleri, aynı şekilde iki aşamalı bir prosedür kullanılarak TOA reflektans değerlerine dönüştürülmüştür. Bu

amaçla, birinci olarak, piksel değerleri aşağıdaki formül kullanılmak suretiyle “atmosfer üstü radyans” (L_{TOA}^k) değerlerine çevrilmiştir (Davranche vd., 2009; El Hajj vd., 2008).

$$L_{TOA}^k = \frac{X^k}{A_k \cdot G_m^k} \quad (3)$$

Burada; L_{TOA}^k ; k bandının atmosfer üstü radyans değerini, $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, A_k ; k bandı için mutlak kalibrasyon katsayısını, G_m^k , analog kazancı, X^k ; piksellerin sayısal değerlerini temsil etmektedir. Formülün paydasını oluşturan, $A_k \cdot G_m^k$ yani “mutlak kalibrasyon kazanç” değerleri, SPOT uydu verisinin yardımcı dosyasında hazır biçimde verilmektedir (El Hajj vd., 2008). Yine her spektral bant için bu değerler, uydu görüntüsü ile birlikte verilen “METADATA” DIM dosyasında “PHYSICAL_GAIN” ismiyle de vardır. Tezde kullanılan SPOT-5 uydu görüntüsünün mutlak kalibrasyon kazanç değerleri spektral bantlar için sırasıyla; bant1=1,644852, bant2=1,535737, bant3=1,721458, bant4=6,26300 olarak verilmiştir.

TAO radyans değerleri dört spektral bant için hesaplandıktan sonra, TAO reflektans değerleri aşağıdaki formüle göre bulunmuştur (Houlès vd., 2006; El Hajj vd., 2008; Lu vd., 2008).

$$\rho_{TAO}^k = \frac{\pi \cdot L_{TAO}^k \cdot d^2}{ESUN_s^k \cdot \cos\theta} \quad (4)$$

Formülde; π ; pi katsayısını, $ESUN_s^k$; ortalama güneş irradyans değerlerini, θ ; güneş zenit açısını, d ; görüntü algılama zamanında dünya-güneş mesafesini (atmosferik birim olarak) göstermektedir. METADATA dosyasından çıkarılan, solar irradyans değerleri bantlar itibariyle; bant1=1858, bant2=1573, bant3=1043 ve bant4=236’dır. Çalışmada kullanılan SPOT-5 verisinin güneş zenit açısı 27,445°’dir. Görüntü algılama tarihi olan 04 Temmuz itibariyle güneş-dünya mesafesi 1,01670 (atmosferik birim)’dir. Formüldeki bu değerler temel alınarak, dört spektral bant için ayrı ayrı TAO reflektans değerleri hesaplanmıştır.

c) ASTER Uydu görüntüsü

Yine, RapidEye verisine uygulanan prosedüre göre ASTER verisinin spektral bantlarının DN değerlerini TOA reflektans değerlerine dönüştürülmüştür. Birinci olarak, bantların DN değerleri radyans değerlerine çevrilmiştir. Bunun için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$L_{TOA}^k = (DN^k - 1).UCC \quad (5)$$

Burada; L_{TOA}^k ; k bandının atmosfer üstü radyans değerini, $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, DN^k ; k bandının sayısal değerini ve UCC: Birim dönüşüm katsayısını (ing: Unit conversion coefficient) ifade etmektedir (Şekil 4).

Band No.	Coefficient ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)/DN$)			
	High gain	Normal Gain	Low Gain 1	Low gain 2
1	0.676	1.688	2.25	N/A
2	0.708	1.415	1.89	
3N	0.423	0.862	1.15	
3B	0.423	0.862	1.15	
4	0.1087	0.2174	0.290	0.290
5	0.0348	0.0696	0.0925	0.409
6	0.0313	0.0625	0.0830	0.390
7	0.0299	0.0597	0.0795	0.332
8	0.0209	0.0417	0.0556	0.245
9	0.0159	0.0318	0.0424	0.265
10	N/A	6.822×10^{-3}	N/A	N/A
11		6.780×10^{-3}		
12		6.590×10^{-3}		
13		5.693×10^{-3}		
14		5.225×10^{-3}		

Şekil 4. Aster bantları için, Birim dönüşüm katsayıları (Abrams vd., 2002)

Tabloda görüldüğü gibi radyans değerleri, bantlara ve kazanç ayarlarına göre değişmektedir. Dolayısıyla, tezde kullanılan ASTER uydu verisinin, öncelikle hangi kazanç ayarı ile elde edildiğinin bilinmesi önemlidir. 1, 2 ve 3N (Nadir) bantlar için kazanç ayarları, görüntü ana dosyasından (.dat uzantılı) elde edilmiştir. Bunun için, Aster Data Opener yazılımı kullanılmıştır (Şekil 5). Bu yazılıma görüntü dosyası yüklenmiş ve buradaki "details" sekmesine tıklanarak gerekli bilgiler bulunmuştur (Şekil 6). Şekil 5'de görüldüğü gibi, birinci ve ikinci bantlar yüksek kazanç, üçüncü bant ise normal kazanç olarak görülmektedir.

Sonuç olarak formüle, spektral bantlar için sırasıyla; 0,676, 0,708 ve 0,862 değerleri girilmiştir. Böylece, TAO radyans değerleri üç spektral bant için hesaplanmıştır. Sonra, TAO reflektans değerleri Formül 2'ye göre hesaplanmıştır (Mather ve Koch, 2011; Yamamoto vd., 2012).



Şekil 5. Aster Data Opener yazılımına *.dat uzantılı görüntü dosyasının Yükleme



Şekil 6. Aster verisi için bantların kazanç ayarlarını gösteren pencere

Formül 2'deki $ESUN_s^k$ değerleri, çalışmada kullanılan Aster spektral bantları için sırasıyla; 1847, 1553 ve 1118'dir (Thome vd., 2001). Görüntü algılama tarihi olan 26 Ağustos 2014, yılın 239. gününe karşılık gelmektedir. İlgili gün için, güneş-dünya mesafesi 1,01037 atmosferik birimdir. Aster görüntüsüne ait güneş zenit açısı ise 29,59 °'dir. 3 spektral bant için sırasıyla ilgili katsayılar ve değişkenler kullanılarak TOA reflektans değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak üç uydu görüntüsündeki piksel değerleri artık TOA reflektans değerlerini göstermektedir.

3.4.4 Normalleştirilmiş fark bitki indekslerinin (NDVI) hesaplanması

Bu tez çalışmasında, LAI dolayısıyla da ölü örtü miktarının tahmin edilmesinde başarılı olarak kullanılan, Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) tercih edilmiştir. Bu bitki indeksi bir yandan bitki yoğunluğunu yansıtırken diğer yandan topoğrafyadan kaynaklanan aydınlanma farklarını da kısmen düzeltmektedir. NDVI görüntülerini elde etmek için kullanılan formül aşağıda gösterilmiştir.

$$NDVI = \frac{YKÖ - K}{YKÖ + K} \quad (6)$$

Burada; YKÖ; yakın kızılötesi bandın TOA reflektans değerini, K; kırmızı bandın TOA reflektans değerini göstermektedir.

NDVI görüntülerine ilaveten, çalışmanın başlangıcında, Stenberg vd. (2004) tarafından önerilen ve aşağıda eşitliği verilen "kısıtlanmış bant oranı (RSR)" bitki indeksine benzer bir indeks geliştirilmek istenmiştir. Adı geçen çalışmada, RSR indeksi için, basit bant oranı (kızılötesi/kırmızı) ile Landsat-7 uydu verisinin 5. yani "orta kızıl ötesi" bandına ait bir örnek alana isabet eden piksellerin maksimum ve minimum değerleri kullanılmıştır.

$$RSR = \frac{ETM4}{ETM3} * \frac{ETM5_{max} - ETM5}{ETM5_{max} - ETM5_{min}} \quad (7)$$

Burada; ETM4 Landat 7'nin yakın kızılötesi bandını, ETM3 Landat 7'nin kırmızı bandını ve ETM5 Landat 7'nin orta kızılötesi bandını göstermektedir.

Finlandiya'da araştırmada, LAI'nın tahmin edilmesinde başarılı bulunan bu indekse benzer bir indeks geliştirmek amacıyla, proje önerisinde ifade edildiği gibi, öncelikle RapidEye uydu verisinin "kırmızı kenarı" bandının maksimum ve minimum değerleri test edilmiştir. Ancak, RapidEye uydu verisinin yüksek mekânsal çözünürlüğünden ileri gelen görüntüdeki aşırı ayrıntı, kırmızı kenarı bandının maksimum ve minimum reflektans değerlerinde tutarsızlıklara yol açtığı anlaşılmıştır. Örneğin ölü örtü yoğunluğunun fazla olduğu ve kapalılığının yüksek olduğu cd ve d çağındaki meşcerelerde doğal olarak yüksek NDVI değerlerinin hesaplanması beklenmektedir. Ancak böyle meşcereler özellikle kuzey bakılardaysa, ağaç tepelerinin birbirini gölgelemesi sonucunda, bu örnek alanlara ait 5 m çözünürlüklü RapidEye görüntüsünde çok fazla koyu piksel meydana gelmektedir. Bu durumda, formülün paydasında kullanılan minimum reflektans değeri çok düşük olarak alındığından, payda yüksek hesaplanmakta ve RSR değeri beklenenin aksine düşük hesaplanmaktadır. Bu durum bütünüyle, Stenberg vd. (2004) tarafından kullanılan Landsat7 ve bu çalışmada kullanılan RapidEye uydu verisinin çözünürlükleri arasındaki farktan kaynaklanmıştır. 30 m çözünürlüklü Landsat7 görüntüsünde ağaç tepelerinin gölgeleri doğrudan algılanmamakta ve meşcere kabalılığına kapalılığına bağlı olarak söz konusu maksimum ve minimum reflektans değerlerinde istikrarlı bir azalış gözlemlenebilmektedir. Sonuç olarak, bu tez çalışmasının sadece NDVI görüntüleriyle gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür.

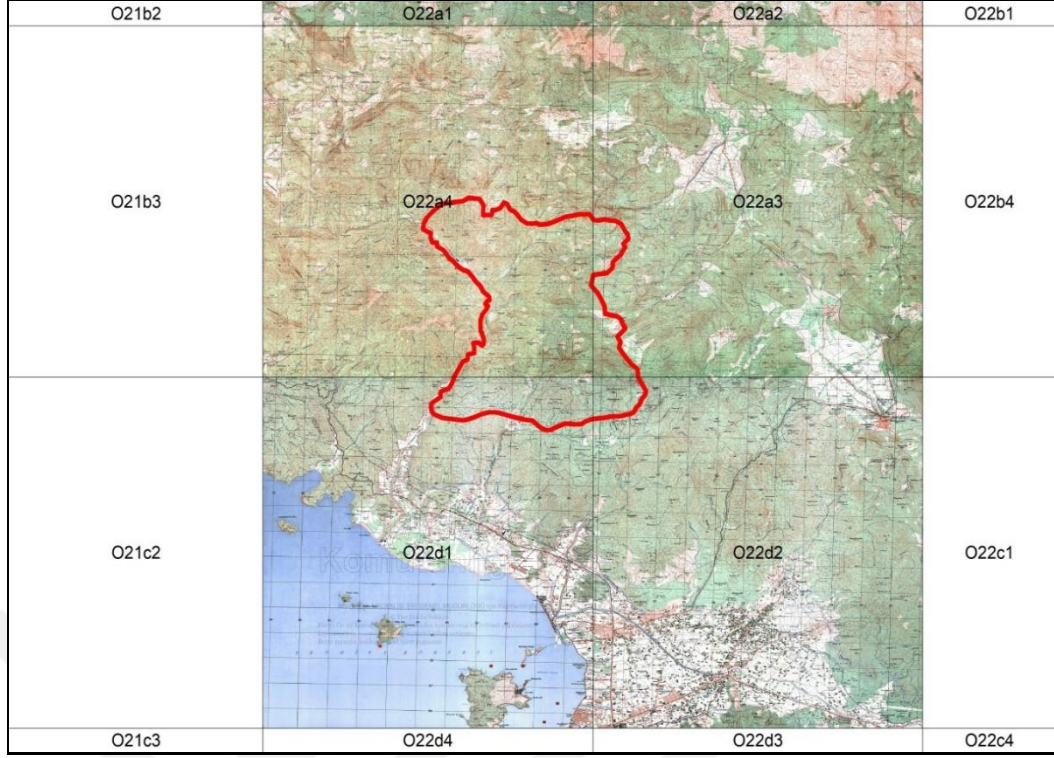
NDVI görüntüleri oluşturulduktan sonra, örnek alanların merkezleri görüntü üzerine aktarılmıştır. Örnek alana isabet eden piksellerin NDVI değerlerinin ortalaması alınmak suretiyle görüntü değişkenleri üç uydu verisi için hesaplanmıştır.

3.5 Çalışmada Kullanılan Çevresel Değişkenler

Örnek alanlarda ölü örtü miktarını belirlemeye yönelik arazi çalışmalarının sağlıklı biçimde yürütülmesi (işçi, arazi aracı ve resmi araştırma izinleri vb.) amacıyla çalışma alanı çok büyük tutulamamıştır. Ayrıca, kullanılan uydu verilerinin üçünün de ortak olarak kapladığı alanın sınırlı olması ve bunun yanı sıra kızılçam orman ekosistemleri tez projesinin hedeflendiği bölgede kıyı şeridi boyunca dar bir şeritte yayılış göstermesi çalışma alanının göreceli olarak küçük alınmasına yol açmıştır. Dolayısıyla tez çalışmasında kullanılması öngörülen yaklaşık 1 km²'lik hücre büyüklüğüne sahip Biyoiklim değişkenleri (www.worldclim.org) çok kaba bir veri sağlamaktadır. Başka bir ifadeyle 4500 ha büyüklüğündeki çalışma alanına 40-45 adet piksel isabet etmekte ve yapılan incelemede biyoiklim değişkenleri arasında, örnek alanlar itibariyle anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır. Hatta çok sayıda örnek alan, çoğu kez aynı pikselle temsil edilmekte ve dolayısıyla biyoiklim değişkenleri bakımından aynı değeri almaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, biyoiklim değişkenlerinin bu tez çalışması için kullanılmasının fayda sağlamayacağı kanaatine ulaşılmıştır. Bu değişkenlerin, ölü örtü miktarının kestirilmesi amacıyla, ancak, geniş coğrafi alanlarda daha etkili olarak kullanılabilceği değerlendirilmiştir.

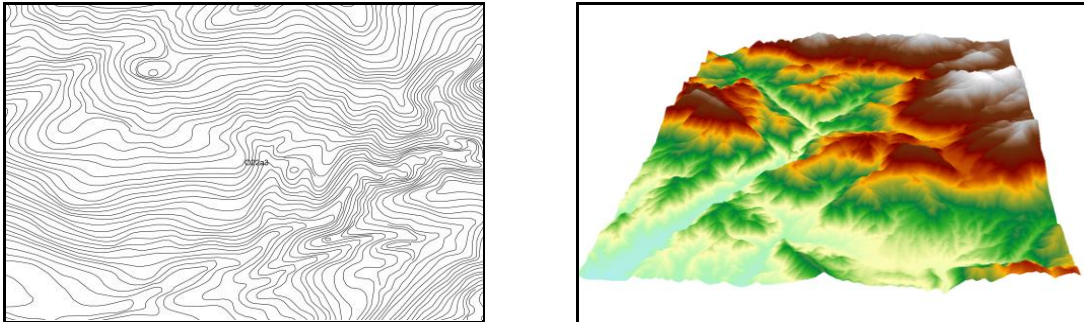
3.6 Bakı Uygunluk İndeksi, Radyasyon İndeksi ve Sıcaklık İndekslerinin Hesaplanması

Çevresel değişkenler yükselti değerlerini içeren sayısal yükseklik modeli (SYM) yardımıyla oluşturulmuştur. Çalışmada öncelikle 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılmak suretiyle alana ait Sayısal Yükselti Modeli (SYM) oluşturulmuştur. SYM'nin oluşturulmasında ilk olarak, sayısal olmayan topoğrafik haritalar üzerindeki grid çizgilerinin çakıştığı noktalardaki koordinat değerleri girilerek, UTM (Universal Transverse Mercator, Evrensel Enlem Merkatörü) WGS84 koordinat sisteminde yeniden tanımlanmıştır. Bu tanımlama sonrasında geometrik kaydı yapılan paftalar daha sonra ki aşamada çakıştırılmış ve tek parça halinde olacak şekilde topoğrafik koordinatlı bir harita elde edilmiştir (Şekil 7).



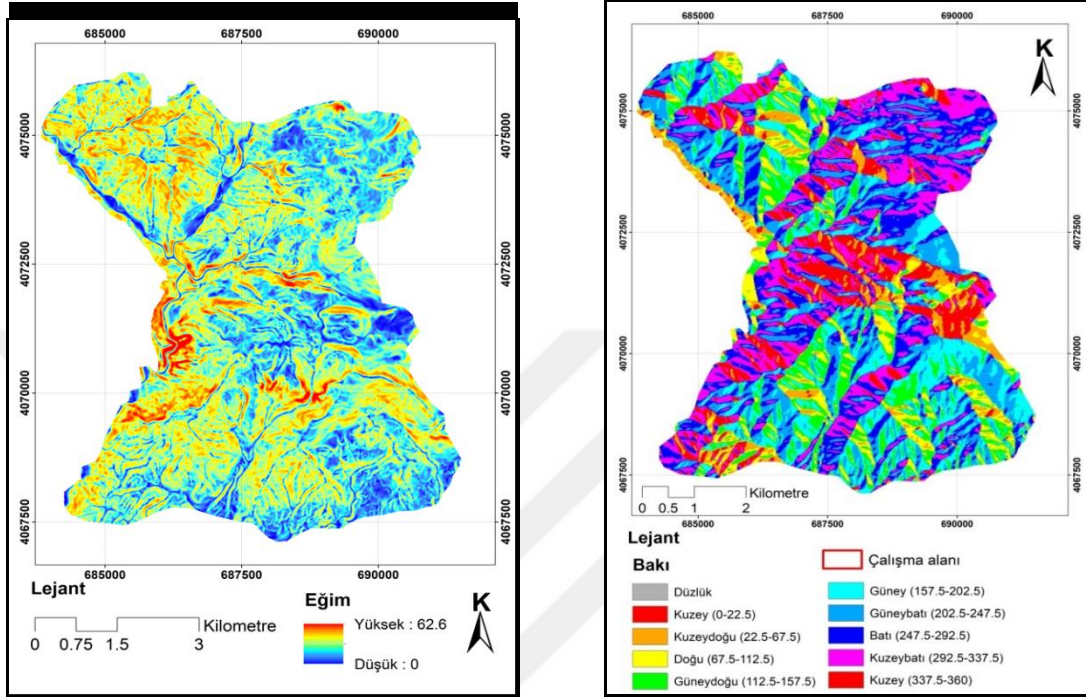
Şekil 7. Çalışmada kullanılan haritalar ve çalışma alanının konumu

Daha sonra bu haritalar üzerindeki eşyüksekti eğrileri 10 metrede bir sayısallaştırılarak, vektör olarak elde edilen eşyüksekti eğrilerine bir yükseklik değeri verilmiştir. Sonuç olarak grid yöntemi yardımıyla SYM elde edilmiştir. Oluşturulan bu yeni raster görüntüdeki her bir piksel değeri, o yerin deniz seviyesinden yüksekliğini ifade etmektedir. Aşağıda çalışma alanının bir bölümüne ait eşyüksekti eğrileri ve O22a3 paftasına ait SYM modelinin 3D (üç boyutlu) görüntüsü örnek olarak gösterilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Sayısallaştırılan eşyüksekti eğrileri ve O22a3 paftasına ait SYM modelinin 3D görüntüsü

Çalışmada kullanılan çevresel değişkenlere ait altlık haritaları bu SYM yardımıyla elde edilmiştir. Bu amaçla, ArcGIS 10.2 yazılımı ile öncelikle eğim ve baki haritaları oluşturulmuştur. Çevresel indekslerin hesaplanmasına temel olan iki yardımcı harita aşağıda gösterilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Eğim ve baki haritaları

Daha sonra aşağıdaki denklemler kullanılarak sırasıyla; baki uygunluk indeksi (BUI), radyasyon indeksi (RI) ve sıcaklık indeksi (SI) değerleri hesaplanmış ve haritaları elde edilmiştir. Bu indekslere ait denklemler sırasıyla şu şekildedir;

$$BUI = \cos(A_{max} - A) + 1 \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemde, A_{max} 202,50; A ise bakıyı ifade eder. Baki değerleri radyan cinsinden alınmıştır. Bu denklem sonucunda elde edilen değerler 0 ile +2 arasında değişmektedir (Ewald, 2000; Vanderpuye vd., 2002).

$$RI = \frac{[1 - \cos((\pi/180)(Q - 30))]}{2} \quad (9)$$

Burada, Q bakı değerini temsil etmektedir. Formül kullanılarak hesaplanan Rİ değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Kuzey-kuzeydoğu yönündeki alanlarda değerler 0'a doğru yaklaşırken, daha sıcak ve kurak olan güney-güneybatı yönünde ki alanlarda ise 1'e doğru yaklaşmaktadır (Moisen ve Frescino, 2002; Aertsen vd., 2010; Wei vd., 2010; Brown ve Ahl, 2011).

$$Sİ = \cos\text{-}alfa1 \times \tan\text{-}alfa2 = (\cos(A_{max}\text{-}A)+1) \times \tan(\text{eğim}) \quad (10)$$

Burada, A_{max} 202,50; A ise bakıyı ifade etmektedir. 202,50 sıcak güney yönü temsil etmekte olup güney batıya bakan yamaçlardaki en büyük ısı yükü olarak varsayılmaktadır. Alfa2 değeri ise eğimi göstermektedir. Sonuç olarak hesaplanan Sİ değerleri -1 ile +1 arasında değişmektedir (Parker, 1988; Austrheim vd.,1999).

Daha sonra ArcGIS yazılımının "Fishnet" eklentisi kullanılarak, çalışma alanının tamamı için 10 m aralık ve mesafede noktalar atılmış ve bu noktalara denk gelen eğim ve bakı değerleri "Extract Multi Values To Points" eklentisi kullanılarak tablo haline getirilmiştir. MS Excel yazılımında açılan bu tabloya; BUİ, Rİ ve Sİ formülleri girilerek her hücreye ait ilgili değişkenin değerleri elde edilmiştir (Şekil 10).

Son olarak ArcGIS yazılımında bulunan "Point To Raster" eklentisi ile bu üç değişkene ait 10 m çözünürlükte haritalar oluşturulmuştur (Mert vd., 2013).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Enlem	Boylam	Eğim (%)	Bakı (Derece)	radyasyon indeksi	Bakı Uygunluk İndeksi	Sıcaklık İndeksi						
1								Radyasyon indeksi =(1-COS((3.14159265/180)*(D2-30)))/2					
2	683219	4066803	52	228	0.976	1.903	0.843	Bakı Uygunluk İndeksi =COS(RADYAN(202.5-D2))+1					
3	683229	4066803	55	226	0.981	1.917	0.831						
4	683239	4066803	56	224	0.986	1.932	0.850	Sıcaklık İndeksi =COS(RADYAN(D2-202.5)*(TAN(RADYAN(C2))))					
5	683249	4066803	55	217	0.996	1.967	0.932						
6	683259	4066803	53	210	1.000	1.991	0.985						
7	683269	4066803	48	199	0.990	1.998	0.997						
8	683279	4066803	44	183	0.947	1.945	0.948						
9	683289	4066803	42	164	0.845	1.779	0.814						
10	683299	4066803	46	142	0.690	1.497	0.458						
11	683309	4066803	55	128	0.569	1.265	-0.290						
12	683319	4066803	62	122	0.518	1.166	-0.868						
13	683329	4066803	63	121	0.510	1.149	-0.936						
14	683339	4066803	61	122	0.518	1.167	-0.798						
15	683349	4066803	57	125	0.546	1.222	-0.476						
16	683359	4066803	50	128	0.567	1.262	0.019						

Şekil 10. BUİ, Rİ ve Sİ formülleri girilerek her hücreye ait ilgili değişkenlerin hesaplanması

3.7 İstatistiksel Analizler

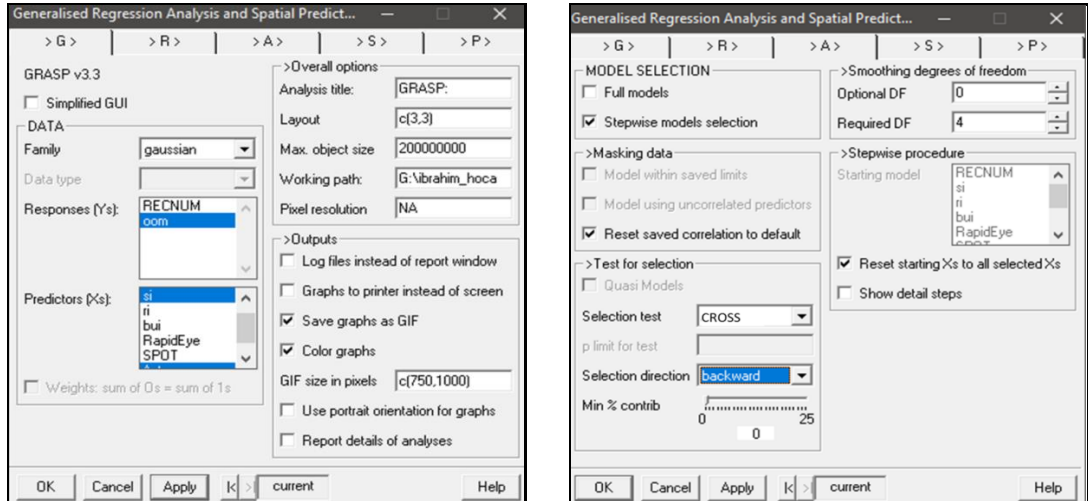
Öncelikle ölü örtünün kütlesi (ton/ha) ile uzaktan algılama ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler Spearman Korelasyon analizi ile ortaya koyulmuştur. Sonra değişkenlere ait serpilme grafikleri incelenmiş ve ÖÖK ile açıklayıcı değişkenler arasındaki ilişkiler yorumlanmıştır. Aralarında ilişki görülen değişkenler belirlenmiştir. Son olarak, Genelleştirilmiş Eklemeli Model (GAM=Generalized Additive Model) kullanılarak tahmin modelleri ortaya koyulmuştur. Doğrusal regresyon modelleri, değişkenlerinin normal dağılım göstermesi varsayımına bağlı olduğundan, çalışmada GAM tercih edilmiştir. Çünkü GAM'de farklı (poisson, binomial, normal, gamma, vb.) dağılıma sahip değişkenler kullanılabilir. GAM yaklaşımı "Genelleştirilmiş Doğrusal Model" ve "Eklemeli Model" yöntemlerinin birleştirilmesiyle uygulanmaktadır. GAM bir non-parametrik bir regresyon yöntemidir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler için bir "yumuşatma fonksiyonu" kullanılmaktadır. Formülü aşağıda verilmiştir (O'Brien ve Rago, 1996).

$$Y = \alpha + \sum_{j=1}^n f_j(X_j) + \varepsilon \quad (11)$$

Burada; α kesişim sabiti, f yumuşatma fonksiyonunu, X_j j . bağımsız değişkeni, ε hata terimini ve n bağımsız değişken sayısını göstermektedir.

GAM'ın en önemli avantajı, esnek varsayımlarla non-parametrik bir yumuşatma fonksiyonu uygulandığından, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki gerçek ilişkileri en iyi temsil etmektedir. Diğer taraftan sonuçların yorumlanmasında bazı güçlükler ortaya çıkmaktadır.

GAM analizleri için S-Plus programının GRASP eklentisi kullanılmıştır. Üç uydu verisine ait NDVI görüntüleri birbirinden bağımsız olarak, seçilen çevresel değişkenlerle birlikte açıklayıcı değişkenler olarak değerlendirmeye alınmıştır. Değişken seçimi "adımsal yaklaşım" kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelde, bağımlı değişken olarak, ölü örtü kütlesinin kütlesi kullanıldığından, Lehmann vd. (2002) tarafından önerilen "Gauss" dağılımı kullanılmıştır. Hangi NDVI görüntüsünün (5 m, 10 m ve 15 m çözünürlüklü) daha iyi performans gösterdiği "Çapraz Doğrulama Testlerinin" tutarlılığına (korelasyon katsayılarının karşılaştırılması) göre yapılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. S-Plus programının GRASP uzantısında GAM için kullanılan parametreler

Farklı çözünürlükteki uydu görüntülerini kıyaslamak ve en tutarlı modeli tespit etmek amacıyla, 12 (n=5) katlı çapraz doğrulama testi sonuçları esas alınmıştır. Bu değerlendirme, istatistik programın bir çıktısı olan grafikteki, tahmin ve

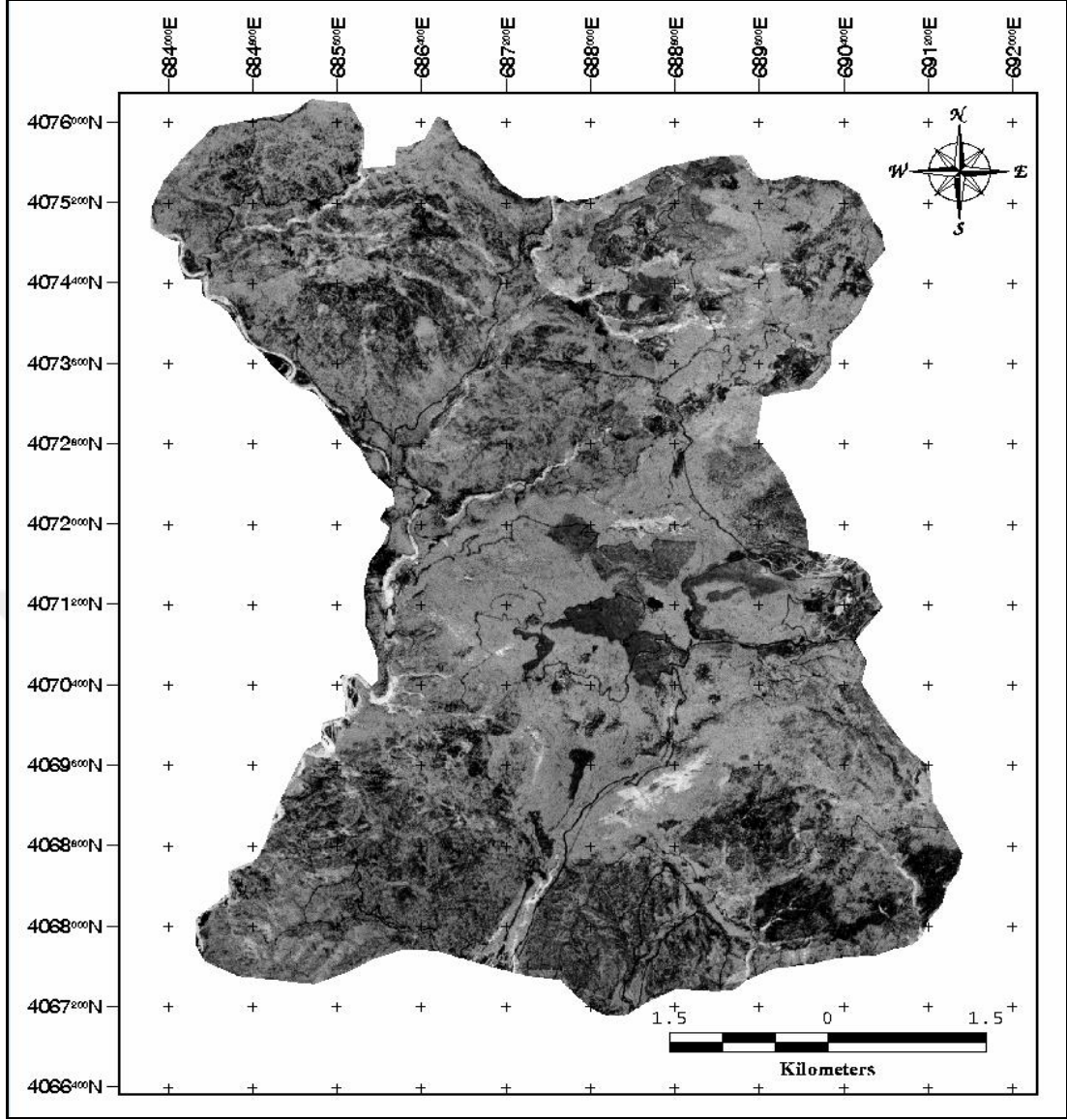
gerçek değerler kullanılarak hesaplanan korelasyon katsayısı R ile çapraz doğrulanmış R değerleri karşılaştırılmak gerçekleştirilmiştir. En yüksek doğruluğa sahip model esas alınarak, çalışma alanı için lü örtü kütlesini gösteren bir harita oluşturulmuştur.



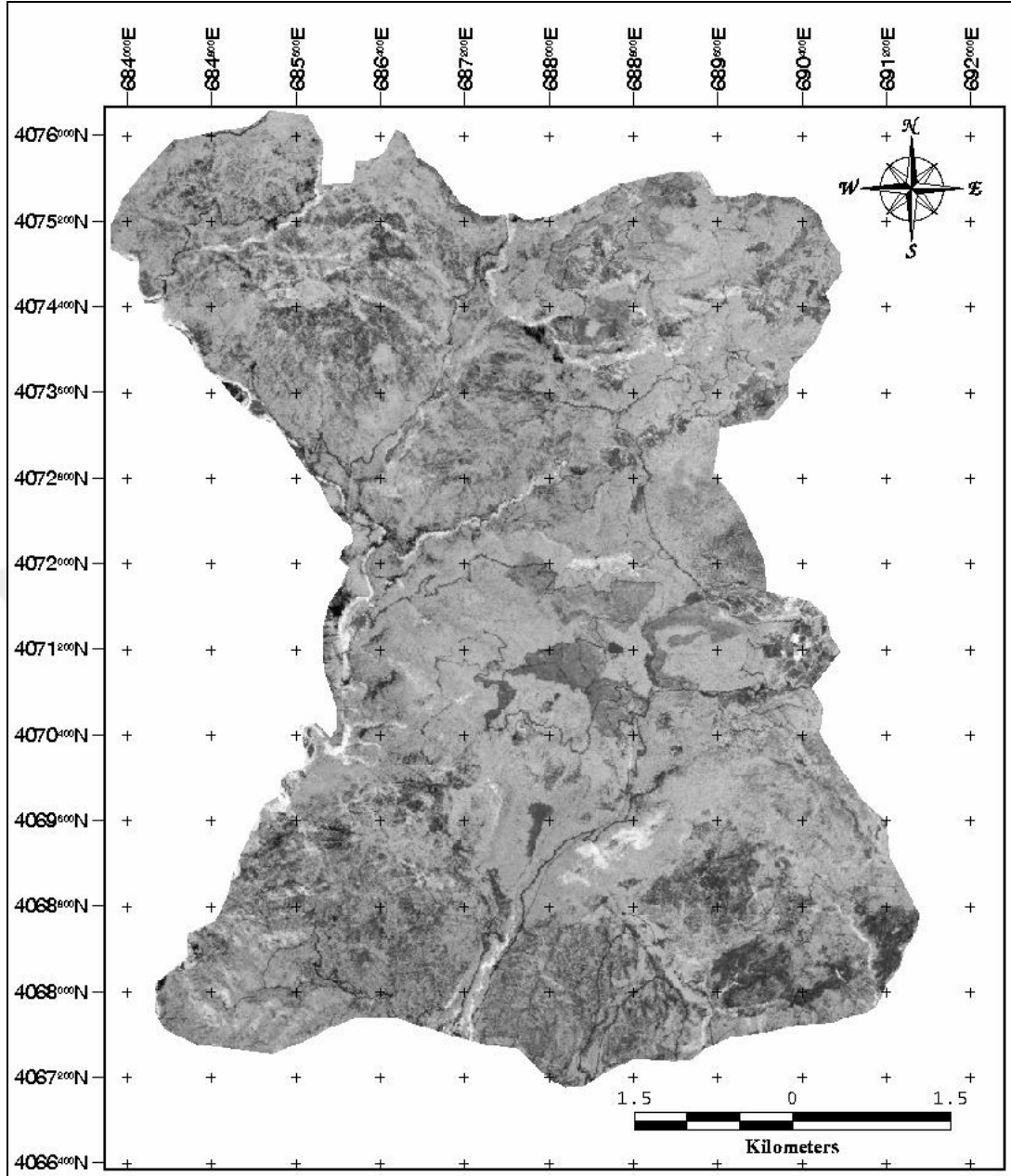
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 NDVI Görüntüleri

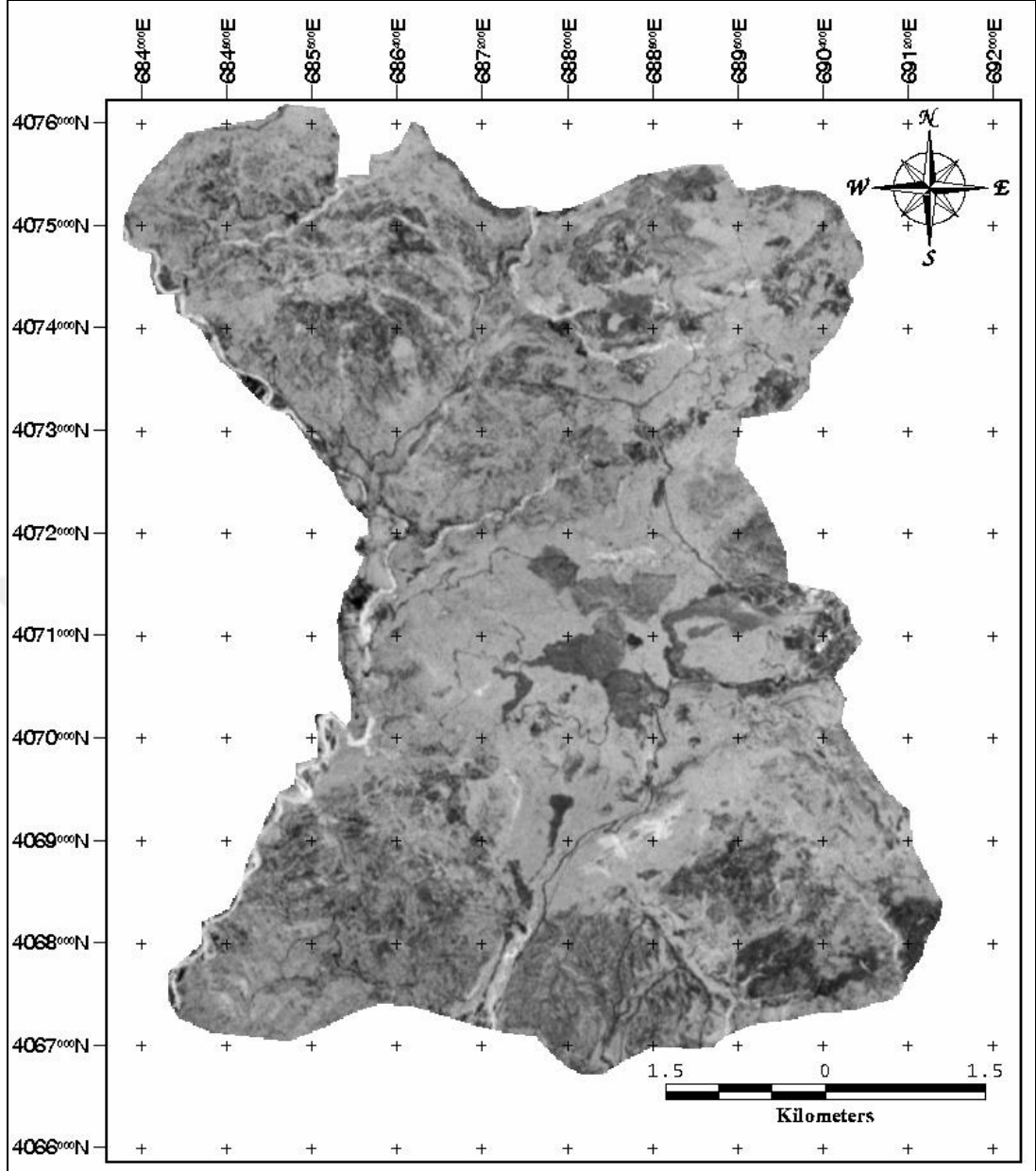
NDVI görüntülerinin, meşcere haritaları dikkate alınarak görsel incelenmesi sonucunda; topoğrafyadan kaynaklanan farklı aydınlanma koşullarının etkisinin büyük ölçüde azaldığı söylenbilir. Gölgeli (kuzey-kuzeybatı) ve güneŐli (güney-güneydoğu) bakılarda yer alan benzer meşcere özelliklerine sahip alanlar karşılaştırıldığında, bu alanların NDVI değerlerinin birbirine yakın olarak hesaplandığı görülmüştür. Diğer taraftan, eğimin %60'dan fazla olduğu kuzey bakılardaki meşcerelerde ise gölge etkisinin kısmen devam ettiği tespit edilmiştir. Çalışma alanına ait oluşturulan NDVI görüntüleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 12-13-14).



Şekil 12. RapidEye NDVI görüntüsü



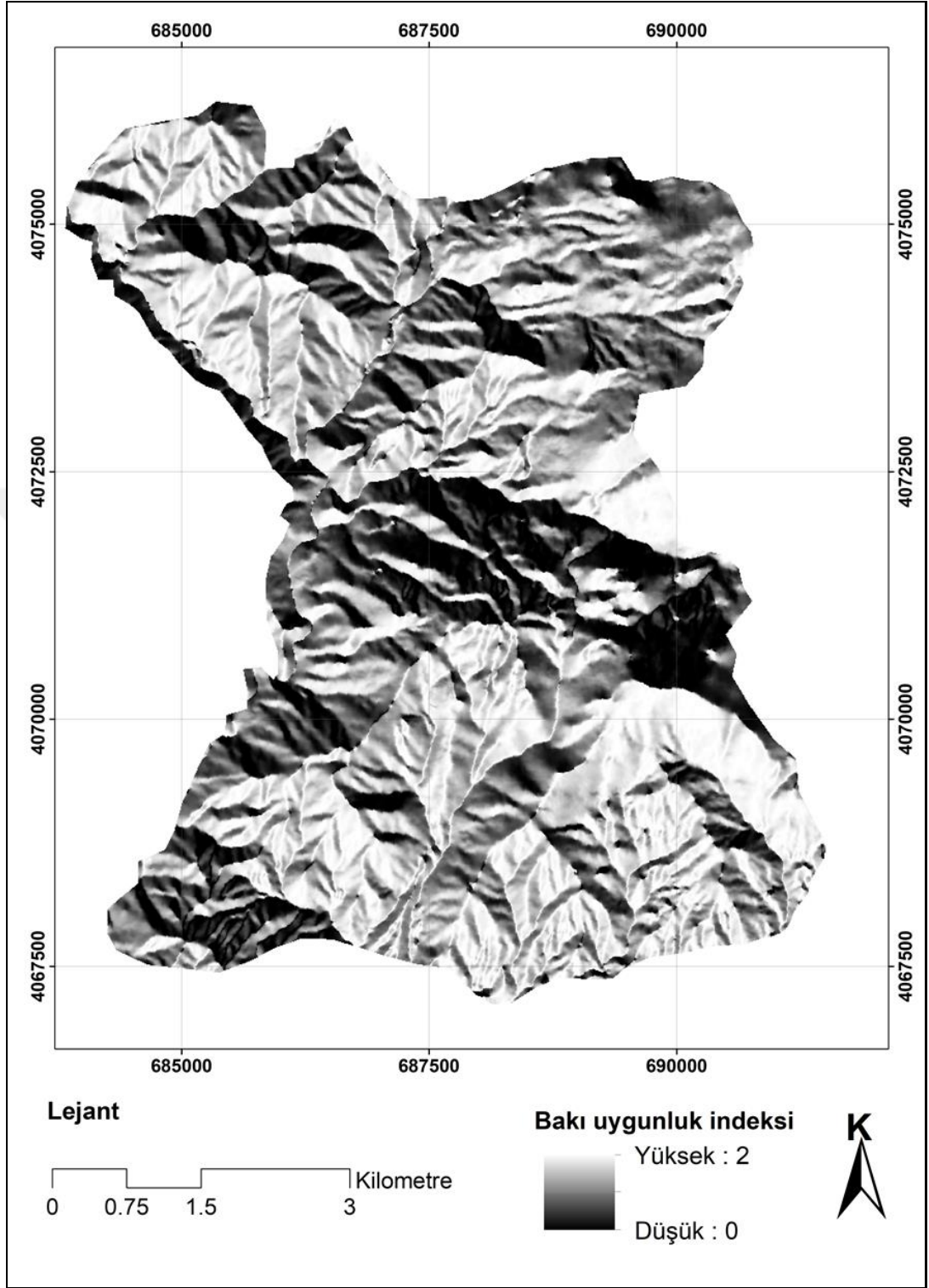
Şekil 13. SPOT NDVI görüntüsü



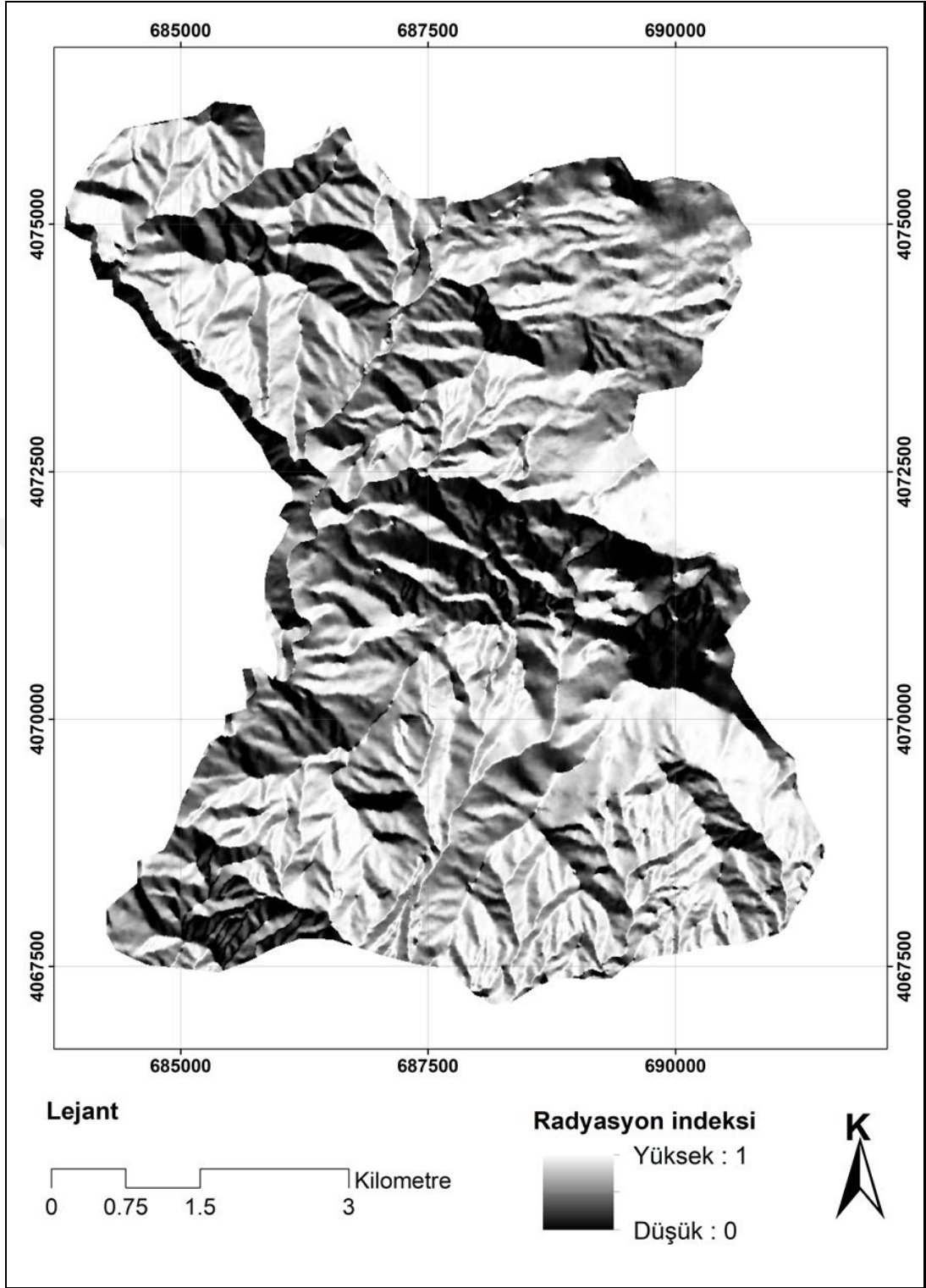
Şekil 14. Aster NDVI görüntüsü

4.2 Bakı Uygunluk İndeksi (BUİ), Radyasyon İndeksi (Rİ) ve Sıcaklık İndeksi (Sİ) Haritaları

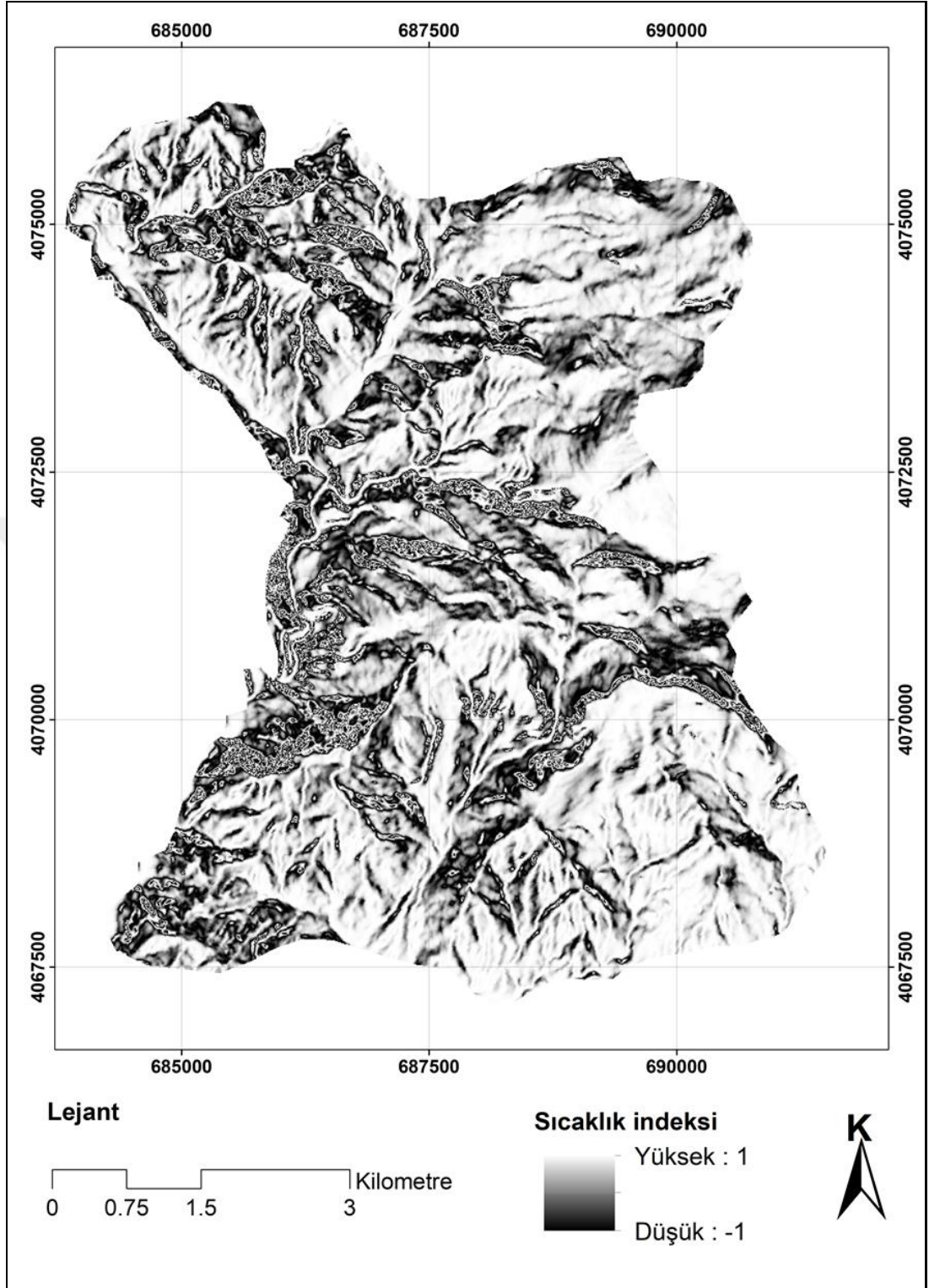
CBS yazılımı ve SYM kullanılarak elde edilen çevresel değişkenlere ait haritalar Şekil 15, 16 ve 17’de verilmiştir.



Şekil 15. Bakı uygunluk indeksi haritası



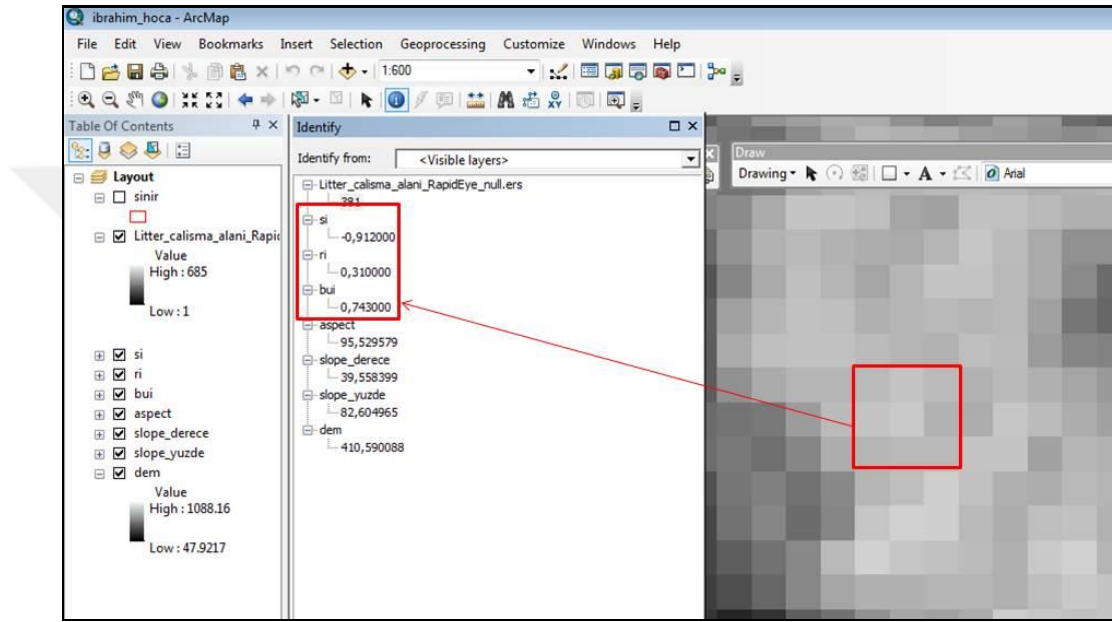
Şekil 16. Radyasyon indeksi haritası



Şekil 17. Sıcaklık indeksi haritası

Üç çevresel değişken, NDVI görüntüleri, SYM, topoğrafik haritalar, ArcGIS programında tek bir veri dosyasında kaydedilmiş ve sorgulamaya hazır hale getirilmiştir. 900 m² büyüklüğündeki örnek alanların merkezlerinin yeri, bu

görüntü dosyasında bulunmuş ve örnek alana isabet eden hücreler tespit edilmiştir. 10 m çözünürlüklü çevresel değişkenlere ait görüntülerde 9 hücrenin ortalaması alınırken (Şekil 18), NDVI görüntüsünde değerlendirmeye alınan hücre sayısı, RapidEye, SPOT ve Aster için sırasıyla 36, 9 ve 4 olarak belirlenmiştir. Konumsal sorgulama ve hesaplama sonucunda elde edilen değişkenlere ait değerler ve ölü örtü kütlesi örnek alanlar itibariyle bir MS Excel dosyasında kaydedilmiş ve istatistiksel analize hazır hale getirilmiştir.



Şekil 18. Bir örnek alana ait, Bakı Uygunluk İndeksi, Radyasyon İndeksi ve Sıcaklık İndeksi değerlerinin tespit edilmesi (9 hücrenin ortalaması)

4.3 Ölü Örtü Kütlesi ile Çevresel Değişkenler Arasındaki İlişkiler

Yapılan Pearson Korelasyon analizinin sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca ilişkilerin eğilimini anlamak amacıyla uydu ve çevresel değişkenlerin, ölü örtü kütlesiyle (ÖÖK) olan bireysel ilişkileri Şekil 19-24’deki grafiklerde gösterilmiştir. Kızılçam meşcerelerinde zeminde biriken ölü örtü kütlesi ile çalışmada kullanılan çevresel değişkenlerden Sıcaklık indeksi (Sİ) arasında zayıf bir ilişki tespit edilmiştir. İstatistiksel değerlendirmeye göre, ÖÖK’de meydana gelen varyasyonun ancak %16’sının Sİ’deki varyasyonla açıklanabildiği görülmektedir. Diğer taraftan radyasyon indeksi (Rİ) ve bu indekse çok yakın

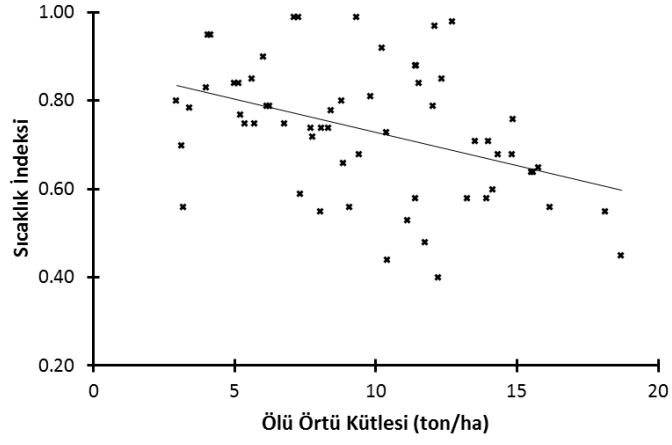
değere sahip bakı uygunluk indeksi (BUİ) arasında istatistiksel olarak herhangi bir ilişki bulunmamıştır (Şekil 19-20-21-22-23-24).

Yapılan bu tez çalışması, NDVI değerlerinin ile ÖÖK arasında daha kuvvetli doğrusal ilişkiler olduğunu göstermiştir. RapidEye verisinden türetilen $NDVI_{RapidEye}$ Kızılçam meşcerelerindeki ÖÖK'deki varyasyonun % 56'sını, SPOT verisinden türetilen $NDVI_{SPOT}$ %47'sini ve Aster verisinden türetilen $NDVI_{Aster}$ ise %53'ünü açıklayabildiği tespit edilmiştir.

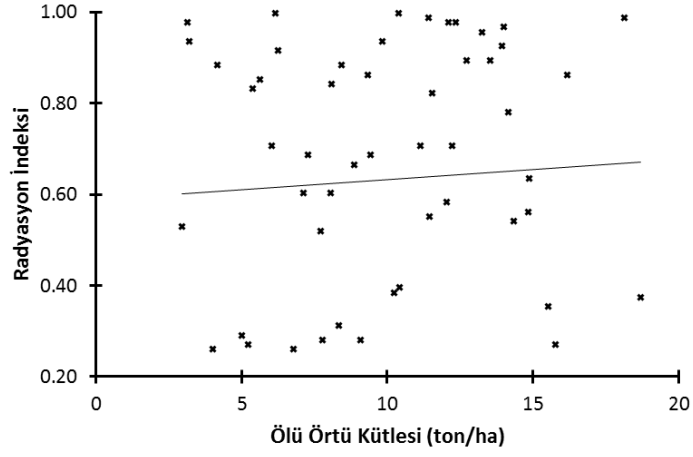
Çizelge 1. Pearson Korelasyon analizine göre çalışmada kullanılan değişkenler arasındaki ilişkiler

	ÖÖK (ton/ha)	$NDVI_{RapidEye}$	$NDVI_{SPOT}$	$NDVI_{Aster}$	Sİ	Rİ	BUİ
ÖÖK (ton/ha)	1						
$NDVI_{RapidEye}$	0,747**	1					
$NDVI_{SPOT}$	0,687**	0,911**	1				
$NDVI_{Aster}$	0,731**	0,935**	0,960**	1			
Sİ	-0,406**	-0,366**	-0,365**	-0,374**	1		
Rİ	0,062	-0,151	-0,151	-0,137	0,169	1	
BUİ	0,062	-0,150	-0,149	-0,135	0,173	0,999**	1

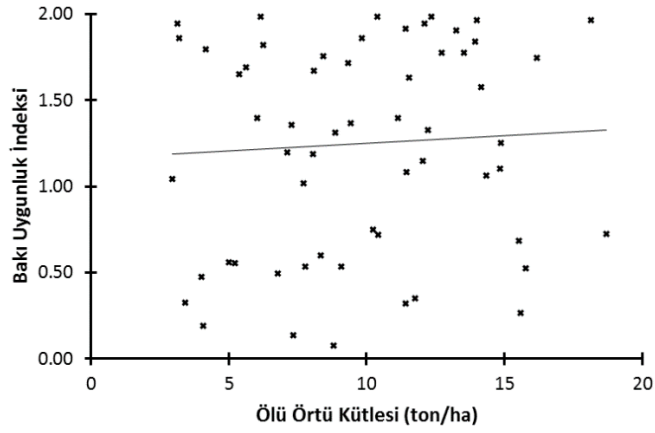
** 0.01 önem düzeyi



Şekil 19. Ölü Örtü Kütlesi ile Sıcaklık İndeksi (Sİ) arasındaki ilişki

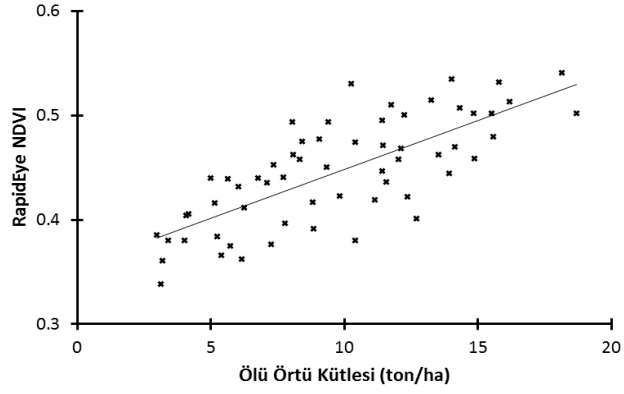


Şekil 20. Ölü Örtü Kütlesi ile Radyasyon İndeksi (Rİ) arasındaki ilişki

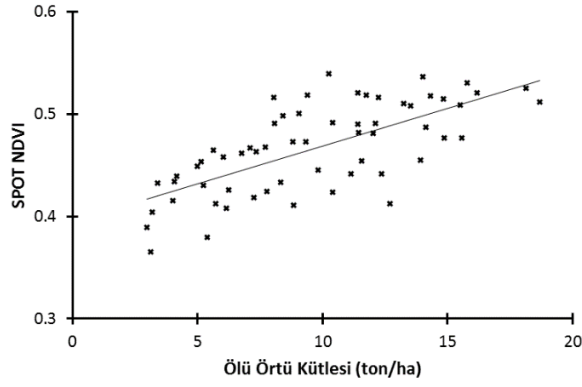


Şekil 21. Ölü Örtü Kütlesi ile Bakı Uygunluk İndeksi (BUİ) arasındaki ilişki

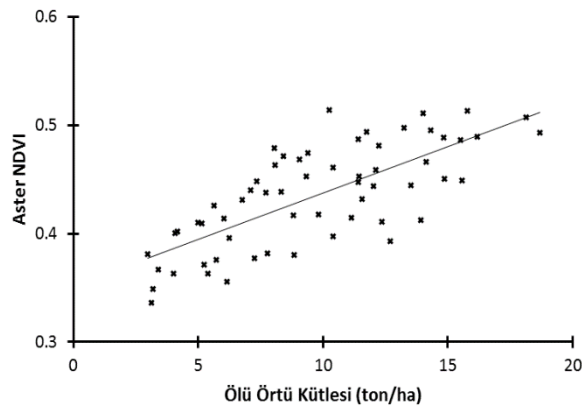
4.4 Ölü Örtü Kütlesi ile NDVI Arasındaki İlişkiler



Şekil 22. Ölü Örtü Kütlesi ile RapidEye NDVI arasındaki ilişki



Şekil 23. Ölü Örtü Kütlesi ile SPOT NDVI arasındaki ilişki

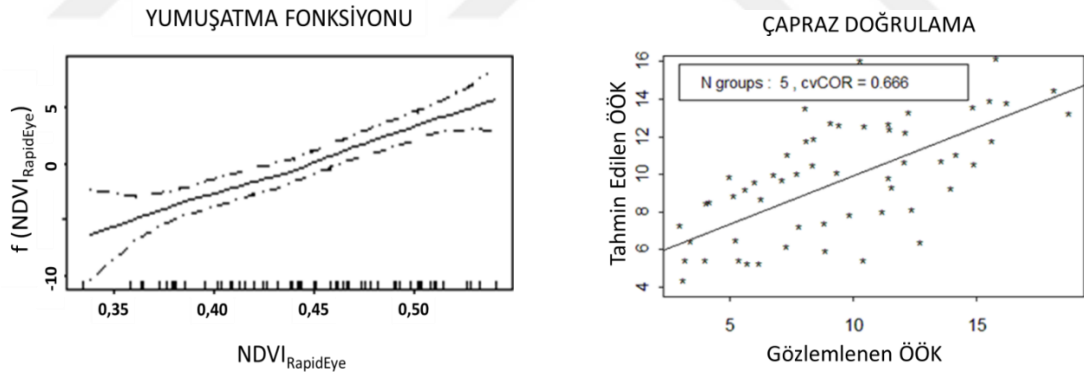


Şekil 24. Ölü Örtü Kütlesi ile Aster NDVI arasındaki ilişki

4.5 Genelleştirilmiş Eklemeli Model Bulguları

4.5.1 RapidEye NDVI

Ölü Örtü Kütlesi (ÖÖK) bağımlı değişken; $NDVI_{RapidEye}$ ve Sıcaklık İndeksi (Sİ) bağımsız değişkenler olarak alınan GAM modeline ait “yumuşatma fonksiyonu” ve çapraz doğrulama sonucunda tahmin edilen ÖÖK ile Gözlemlenen ÖÖK arasındaki ilişkiye ait Spearman korelasyon katsayısı (r) aşağıda grafikte görülmektedir (Şekil 25). Bu GAM modelinde sadece $NDVI_{RapidEye}$ modele girmiştir. 60 örnek alanın tamamı kullanılarak oluşturulan model kullanılarak hesaplanan tahmin değerleri ile gerçek ÖÖK değerleri arasındaki ilişkiye ait r değeri 0,75 olarak hesaplanmıştır. Buna göre çapraz doğrulama sonucunda ulaşılan r değeri ile modele ait r değeri arasında 0,08 çıkmaktadır. Bu fark sıfıra yaklaştıkça modelin tutarlı olduğu anlaşılmaktadır. Çapraz doğrulanmış r^2 değeri ÖÖK’da meydana gelen varyasyonun ancak %44’ünün $NDVI_{RapidEye}$ ’daki değişimlerle açıklanabildiğini göstermektedir.

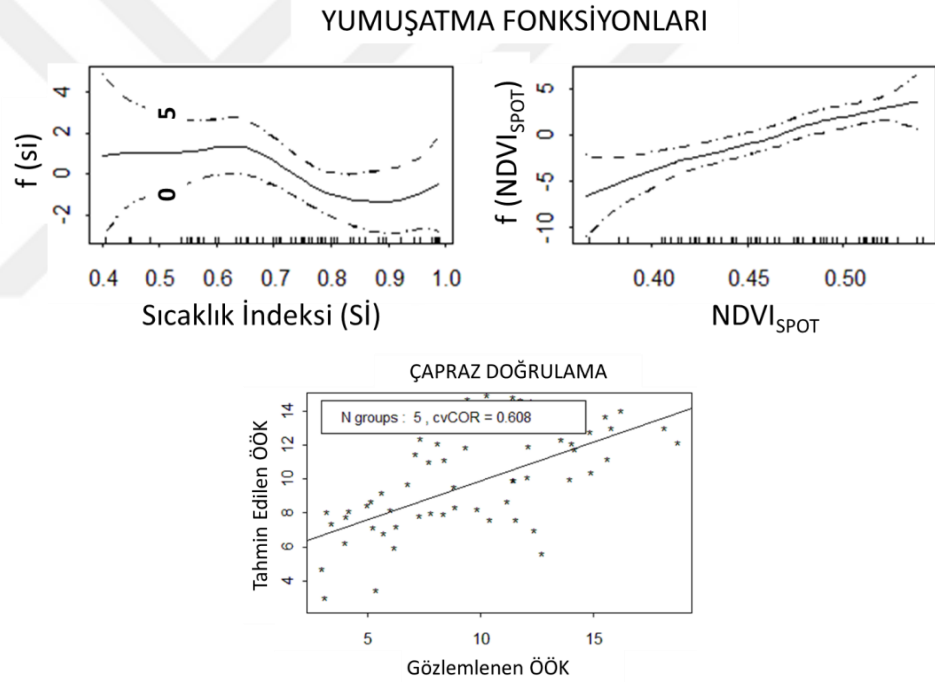


Şekil 25: $NDVI_{RapidEye}$ kullanılarak elde edilen modele ait yumuşatma eğrisi ve çapraz doğrulama testi sonucu tahmin edilen ÖÖK ile gözlemlenen ÖÖK arasındaki ilişki

4.5.2 Spot NDVI

ÖÖK bağımlı değişken; $NDVI_{SPOT}$ ve Sıcaklık İndeksi (Sİ) bağımsız değişkenler olarak alınan GAM modeline ait “yumuşatma fonksiyonları” ve çapraz doğrulama sonucunda tahmin edilen ÖÖK ile Gözlemlenen ÖÖK arasındaki

ilişkiye ait Spearman korelasyon katsayısı (r) Şekil 26'da verilmiştir. GAM modelinde hem $NDVI_{RapidEye}$, hem de diğer açıklayıcı değişken olan $Sİ$ seçilen modelde yer almıştır. Elde edilen model; Örnek alanların tamamı kullanılarak oluşturan GAM kullanılarak hesaplanan tahmin değerleri ile gerçek $ÖÖK$ değerleri arasındaki ilişkiye ait r değeri 0,74 olarak hesaplanmıştır. Çapraz doğruma sonucunda ulaşılan r değeri ise 0,608'dir. Diğer bir ifadeyle, çapraz doğrulanmış r^2 değeri $ÖÖK$ 'da meydana gelen varyasyonun ancak %37'si $NDVI_{SPOT}$ 'daki değişimlerle açıklanabildiğini göstermektedir. Ayrıca, çapraz doğruma sonucunda ulaşılan r değeri ile modele ait r değeri arasındaki fark 0,14'dür. Netice itibariyle, $NDVI_{RapidEy}$ kullanılarak elde edilen model ile karşılaştırıldığında, bu modelin daha az tutarlı olduğu görülmektedir.



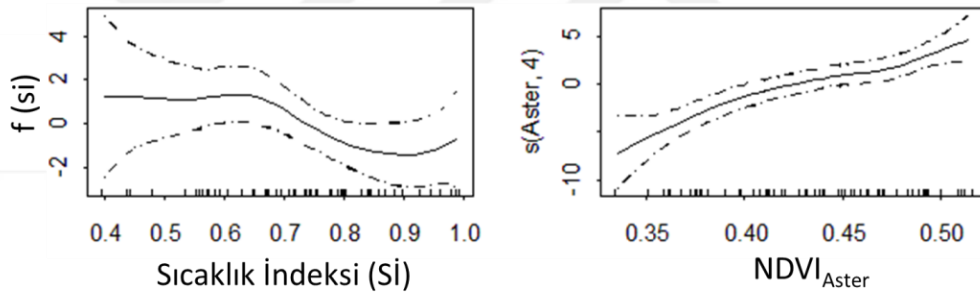
Şekil 26: $NDVI_{SPOT}$ ve $Sİ$ kullanılarak elde edilen modele ait yumuşatma eğrileri ve çapraz doğrulama testi sonucu tahmin edilen $ÖÖK$ ile gözlemlenen $ÖÖK$ arasındaki ilişki

4.5.3 Aster NDVI

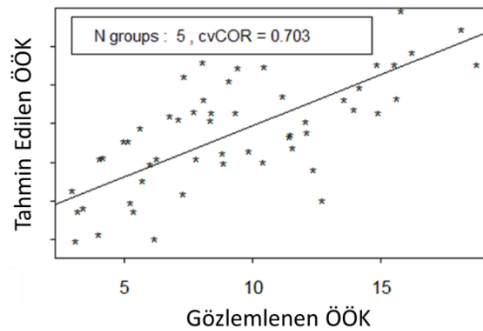
$NDVI_{Aster}$ ve Sıcaklık İndeksi ($Sİ$) bağımsız değişkenler olarak alınan $ÖÖK$ 'yı tahmin etmek için elde edilen GAM modeline ait "yumuşatma fonksiyonları" ve çapraz doğrulama sonucunda tahmin edilen $ÖÖK$ ile gözlemlenen $ÖÖK$

arasındaki ilişkiye ait r değeri Şekil 27’de verilmiştir. SPOT uydu verisinden türetilen NDVI görüntüsü kullanılarak elde edilen modelde olduğu gibi, buradaki GAM’da da $NDVI_{RapidEye}$ ve $Sİ$ ’nin açıklayıcı değişkenler olarak modelde yer aldığı görülmektedir. Non-parametrik GAM modeli için hesaplanan r değeri 0,78’dir. Çapraz doğrulanmış r değeri ise 0,703 olarak bulunmuştur. Yani, çapraz doğrulanmış r^2 değerine göre, ÖÖK’da meydana gelen varyasyonun yaklaşık yarısının (%49) $Sİ$ ve $NDVI_{Aster}$ ’daki değişimlerle açıklanabildiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında, çapraz doğruya sonucunda ulaşılan r değeri ile modele ait r değeri arasındaki fark 0,08’dir. Sonuç olarak, diğer uydu görüntülerinden türetilen değişkenlerle elde edilen modellerle karşılaştırıldığında, bu modelin açıklama payı ve tutarlılığı göz önüne alındığında en iyi model olduğu anlaşılmaktadır.

YUMUŞATMA FONKSİYONLARI



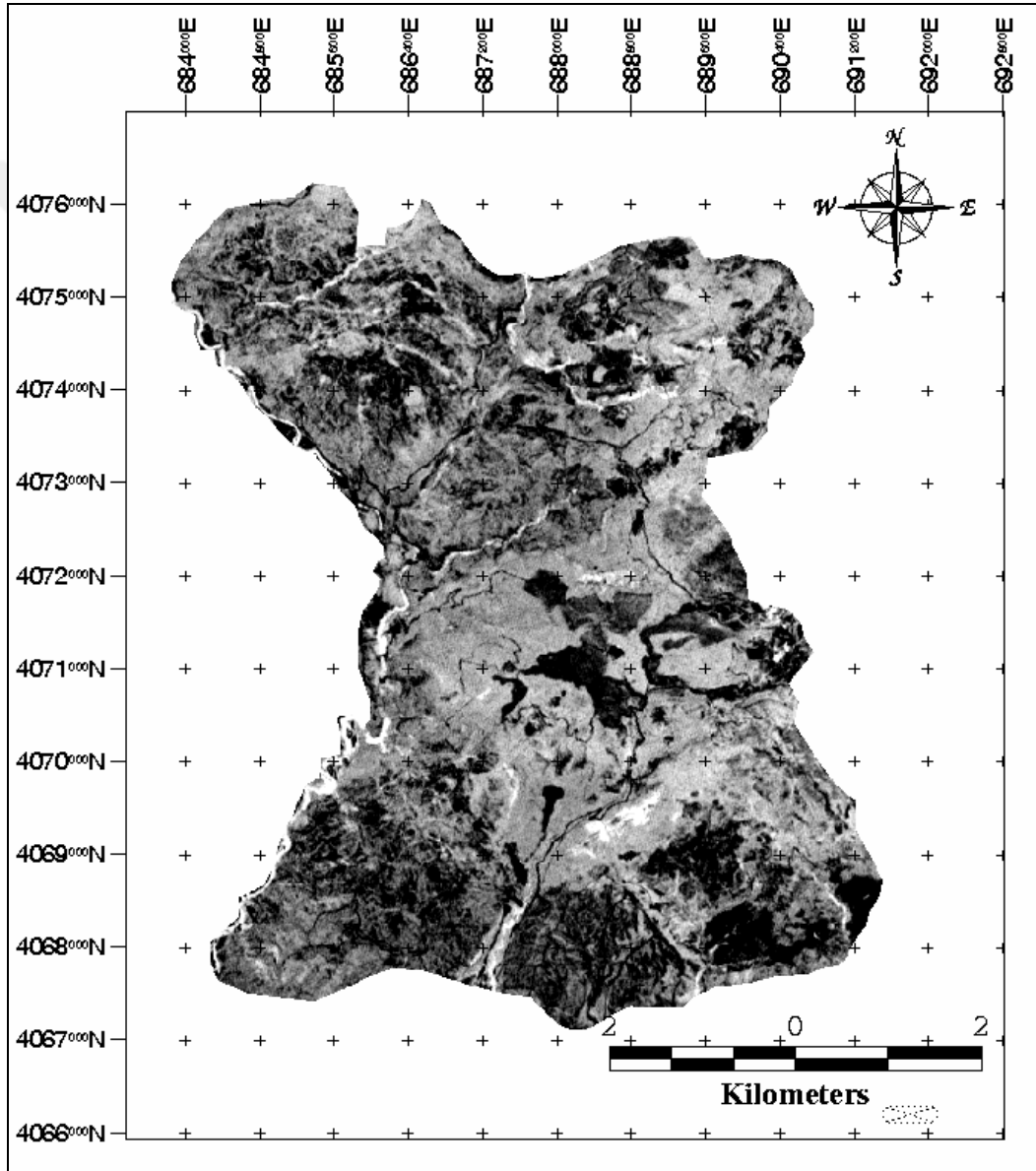
ÇAPRAZ DOĞRULAMA



Şekil 27: $NDVI_{Aster}$ ve $Sİ$ kullanılarak elde edilen modele ait yumuşatma eğrileri ve çapraz doğrulama testi sonucu tahmin edilen ÖÖK ile gözlemlenen ÖÖK arasındaki ilişki

En yüksek tahmin doğruluğunu veren, Aster verisinden üretilen $NDVI_{Aster}$ ve Si nin açıklayıcı değişken olarak yer aldığı, aşağıdaki genelleştirilmiş eklemeli model kullanılarak çalışma sahasının tamamı için ÖÖK (ton/ha) haritalanmıştır (Şekil 28). Görüldüğü gibi diğer doğrusal modellerde olduğu gibi bu GAM denkleminin belirli katsayılarla açıkça ifade edilmesi mümkün değildir.

$$Y = \alpha + f(Si) + f(NDVI_{Aster}) + \varepsilon \quad (12)$$



Şekil 28. $NDVI_{Aster}$ ve Sıcaklık İndeksi (Si) kullanılarak oluşturulan Genelleştirilmiş Eklemeli Modele (GAM) dayalı Ölü Örtü Kütlesi (ÖÖK) haritası

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonuçları, orman ekosistemlerinde tutulan karbonun önemli depolanma alanlarından birisi olan orman zemininde biriken ölü örtü kütlesi (ÖÖK) ile uzaktan algılama ve çevresel değişkenler arasında istatistiksel ilişkiler olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, kızılçam meşcerelerinde ÖÖK'nin uydu verileri kullanılarak modellenmesi ve haritalanmasının mümkün olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ancak, NDVI ve sıcaklık indeksinin (Sİ) açıklayıcı değişkenler olduğu en iyi modelin ÖÖK'daki varyasyonun ancak %50'sini açıklanabildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla, ÖÖK'da görülen değişimlerin yarısının başkaca faktörlerin etkisi altında şekillendiği unutulmamalıdır.

Çalışma alanının genel ekolojik ve topoğrafik yapısı incelendiğinde, modelleme başarısını düşüren faktörlerin başında, dağlık arazi koşullarından ileri gelen, aydınlanma koşullarının farklılığı olduğu düşünülmektedir. Her ne kadar NDVI görüntüleri, belirli oranda farklı aydınlanma koşullarından kaynaklanan gölge etkisini giderse de, bu etkinin tam olarak ortadan kaldırıldığını söylemek mümkün değildir (Jensen, 1996). Özellikle çalışılan arazide, farklı bakılardaki benzer özelliklere sahip meşcerelerin NDVI değerleri karşılaştırıldığında, eğimin %50'yi geçmesiyle gölge etkisinin arttığı görülebilmektedir.

Kızılçam meşcerelerinde ara ve alt tabakada bulunan diri örtünün, ÖÖK ile uzaktan algılama ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde etkisi olduğu düşünülmektedir. Özellikle Akdeniz maki elemanları çoğunlukla seyrek meşcerelerde veya nemli yerlerdeki sık meşcerelerde yer almaktadır. Kızılçam reflektans özelliklerinden farklı olduğundan, maki elemanı çalı ve ağaççık türlerinin yer aldığı meşcerelerde, NDVI değerleri normalinden daha yüksek hesaplanmaktadır. Dolayısıyla bu faktörün etkisi NDVI değerleri hesaplanmadan önce giderilmeye çalışılmalıdır (Ozdemir, 2014). Farklı ölü örtü koşullarının yanı sıra, çalışma alanında baskın olan iki farklı anakayanın (serpantin ve kireç taşı) reflektans değerlerinin farklı olması da NDVI değerlerini olumsuz etkilemiş olabilir.

Çalışmada geliştirilen modellerin performansını düşüren diğer bir faktörün, örnek alanların yaban domuzları tarafından besin bulmak amacıyla eşelenmesi olduğu değerlendirilmektedir. Böyle örnek alanlarda, meşcere zeminindeki ölü örtü belirli kısımlarda yığılıp kalınlığı artarken, belirli kısımlarda da incelmektedir. Ayrıca, domuzlar ölü organik materyalin mineral toprakla karışmasını sağlayıp çürüme süreçleri üzerinde de etkili olabilmektedir (Mitchell ve Mayer, 1997; Risch vd., 2010). Yoğun yağışların ardından yamaçtan aşağı akan sular da ölü örtüyü taşıyarak benzer etkiyi yapmaktadır. Böyle durumlar, örnek alan içindeki alt örnek alanlar (5 adet) arasındaki varyasyonu artırdığından, ortalama ÖÖK gerçeğinden eksik ya da fazla hesaplanabilmektedir. Bu sorunu daha aza indirmek için daha fazla örnek alanla çalışılması önerilebilir.

ÖÖK ile uydu ve çevresel değişkeler arasındaki ilişkilerin kuvvetini düşüren diğer bir faktörün, örnek alanların içinde ya da yakın çevresinde bulunan, kızılçam meşcereleri içine serpilmiş meşe ağaçları olduğu ileri sürülebilir. Orman zemininde, meşe ağaçlarının yaprakları ile kızılçam iğne yaprakları bir arada olduğunda farklı havalanma koşulları gösteren bir yapı oluşturduğundan, ölü örtünün ayrışma süreçlerini etkilemiş olabilir. Literatürde bu düşüncüyü destekleyen araştırmalar olduğu gibi (Örn; Wang vd., 2007), karışık yaprakların ölü organik örtünün ayrışmasında etkisinin olmadığını belirten çalışmalar da bulunmaktadır (Prescott vd., 2000).

Bu yüksek lisans çalışmasında, çevresel değişkenlerin hesaplanmasında 10 m'lik eşyükselti eğrili standart topoğrafik haritalar kullanılmıştır. Bu haritalar, gerek dikey gerekse yatay doğrultuda, oluşturulma yöntemlerinden kaynaklanan (örneğin sık ormanlarda zeminin tespit edilememesi) bazı hatalar içerebilmektedir. Dolayısıyla çalışmada kullanılan radyasyon (R_i), bakı uygunluk (BU_i) ve sıcaklık (S_i) hesaplanmasında bu hataların etkileri olmuş olabilir. Bu konuda ileride yapılacak çalışmalarda, bizatihi arazide ortala eğim ve bakı ölçümlerinin yapılması bu hataları en aza indirebilecektir. Diğer taraftan, arazide yapılacak ölçümlerin sadece modelin geliştirilmesinde doğruluğu arttırabileceği unutulmamalıdır. Modelin yaygınlaştırılmasında

(haritalama) söz konusu hata devam edecektir. Daha açık bir ifadeyle, model performansı yükselmesine rağmen, modelin çalışılan alanda yaygınlaştırmasındaki belirsizlikler sürmektedir. Diğer taraftan, teknolojik gelişmeler ümit vericidir. Özellikle lazer tarama (LiDAR) verileri daha yaygın hale geldiğinde daha hassas ve yüksek çözünürlüklü sayısal topoğrafik haritalar üretilebilecektir (Liu vd., 2007; Liv d., 2011). Dolayısıyla, bakı ve eğime dayalı çevresel değişkenle de daha yüksek doğrulukta hesaplanabileceği beklenmektedir.

Bu araştırmayla, kullanılan uydu görüntülerinin mekânsal çözünürlüğünün ÖÖK'nin tahmin edilmesinde etkisinin çok fazla olmadığı anlaşılmıştır. Tablo 1'de görüldüğü gibi 5 m çözünürlüklü RapidEye NDVI ve Aster NDVI ile ÖÖK arasında ilişkiye ait korelasyon katsayıları sırasıyla 0,75 ve 0,73 olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan 10 m çözünürlüklü SPOT NDVI ile ÖÖK arasında ilişkinin korelasyon katsayısı değeri biraz daha düşük (0,69) çıkmıştır. Az da olsa bu farkın, SPOT görüntüsünün algılama tarihinin, RapidEye (16 Ağustos) ve Aster görüntüsünden (26 Ağustos) yaklaşık 1,5- ay kadar önce (4 Temmuz 2018) olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü bu tarihlerde ara ve alt tabakadaki ot tabakası yeşildir. Dolayısıyla bu yeşil örtü reflektans değerlerini etkilemiş olabilir. Çözünürlükler arasında büyük bir fark olmadığına ve hatta en tutarlı tahmin modelinin daha düşük çözünürlüklü Aster görüntüsü ile elde edildiği göz önüne alındığında, kızılçam meşcerelerinde ÖÖK'nin tahmin edilmesinde 15 m çözünürlüğün yeterli olabileceği söylenebilir. Çünkü çözünürlük arttıkça uydu verilerinin birim maliyeti artmaktadır. Bu çalışmayla en kullanışlı çözünürlüğün 15 m olabileceği ortaya koyulmuştur. Fakat optimal çözünürlüğün tespit için, daha düşük çözünürlükler için araştırılma yapılmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

Bir yüksek lisans çalışmasının hacmini çok fazla aşacağından ve uydu görüntülerinin (RapidEye, SPOT, Aster) ortak kapladığı alanın sınırlı olmasından dolayı çalışma alanı küçük tutulmuştur. Bu sebeple, çalışmanın başlangıcında iklim verilerinin kullanılması öngörülmesine rağmen değerlendirme dışında tutulmuştur. Bu çalışma, kızılçam meşcerelerinde 15 m

çözünürlüklü Aster görüntüsünün kullanılabilirliğini işaret etmektedir. Bu durumda geniş bir coğrafi alanda yeni bir çalışma yapılabilir. Özellikle ücretsiz olarak dağıtılan Sentinel-2 ve Landsat-8 uydu görüntüleri mutlaka test edilmelidir. Böyle bir çalışmada, çalışma alanının yüzölçümü büyük olacağından, 1 km²'lik hücre büyüklüğüne sahip Biyoiklim değişkenleri (www.worldclim.org) etkili biçimde kullanılabilir. Özellikle yağış, ortalama sıcaklık gibi değişkenler ile NDVI görüntüleri bir arada kullanıldığında, kızılçam meşcereleri için ÖÖK tahmin modellerinin açıklama payının yükselbileceği öngörülmektedir.

Kızılçam meşcereleri için burada elde edilen ümit verici sonuçlar, farklı orman ekosistemlerinin bir arada değerlendirileceği, NDVI verilerine dayalı bir bölgesel bir ÖÖK haritasının oluşturulabileceği konusunda teşvik edicidir. Geniş coğrafi alanlarda çalışmanın getireceği avantajlar (iklim değişkenlerinin kullanılması gibi) yanında, bazı noktalara dikkat edilmesi önemlidir. Özellikle iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç türleri arasında NDVI görüntüleri arasında ciddi farklılıklar bulunmaktadır. Bu durumda bir iğne yapraklı ağaç türlerinden oluşan bir meşcere ile geniş yapraklı ağaç türlerinden oluşan bir meşcerenin ÖÖK değerleri aynı olmasına rağmen, NDVI değerleri arasında büyük farklılıklar olabilir. Bu sebeple, bir görüntü sınıflandırma ve dilimleme yöntemleri kullanılarak ön ayırım yapılmalı ve arazi daha homojen parçalara ayrılmalıdır. Standartlaştırma yaklaşımları ile farklı arazi kullanım/örtü sınıflarının NDVI değerleri arasında bir normalleştirme işlemi yapıldıktan sonra modelleme işlemi gerçekleştirilmelidir.

Çalışma sonuçlarının doğrudan karşılaştırılabileceği yayın sayısı sınırlıdır. Csontos vd., (2007) benzer değişkenleri kullanarak ÖÖK'yi tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu yüksek lisans çalışmasının bulgularının, Csontos vd., (2007)'nin karaçam meşcerelerinde yaptığı araştırmanın sonuçlarıyla uyumlu olduğu söylenebilir. Yakın kızıl ötesi bandın reflektans değeri, yükselti, arazi eğimi ve boylamın açıklayıcı değişkenler olarak yer aldığı Genelleştirilmiş Doğrusal Regresyon (GLR) modelinin ÖÖK'yi açıklama payı %66 olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi İtalya'da geliştirilen model, bu çalışmada geliştirilen GAM'dan biraz daha iyi performans göstermiştir. Model

performansları arasındaki fark, ülkemizdeki kızılçam meşcereleri ve İtalya'daki karaçam meşcereleri arasındaki yapısal farklılıklardan ve çalışılan bölgelerin topoğrafik koşullarından kaynaklanmış olabilir.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasının bulgularının, ülkemizin imzaladığı iklim değişikliği ve küresel ısınma konusundaki uluslararası sözleşmelerden ileri gelen sorumluluklarını yerine getirilmesine katkı sağlama potansiyeli bulunmaktadır. Uydu verileri ve çevresel değişkenlere dayalı ÖÖK modelleri, ülkemizde en fazla yayılışı bulunan kızılçam türü için yapılacak karbon hesaplamalarının doğruluğunu arttırabileceği öngörülmektedir. Ayrıca, kızılçam meşcereleri için ölü örtü miktarını gösteren uydu verileri ve çevresel değişkenlere dayalı modeller kullanılarak oluşturulan haritalar, orman yangınları mücadelede kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abrams, M., Hook, S., Ramachandran, B., 2002. ASTER User Handbook, Version 2. Jet Propulsion Laboratory, 135p, California.
- Aerts, R., 1997. Climate, Leaf Litter Chemistry and Leaf Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems: A Triangular Relationship. *Oikos*, 79, 439-449.
- Aertsen, W., Kint, V., Van Orshoven, J., Ozkan, K., Muys, B., 2010. Comparison and Ranking of Different Modelling Techniques for Prediction of Site Index in Mediterranean Mountain Forests. *Ecological Modelling*, 221(8), 1119-1130.
- Anderson, H.E., 1982. Aids to Determining Fuel Models for Estimating Fire Behaviour. *The Bark Beetles, Fuels and Fire Bibliography*, 143.
- Asan, Ü., 2005. A New Planning Approach and Criteria Used for Sustainable Forest Management in Turkey. IUFRO Research Series 11, Forestry and Environmental Change: Socioeconomic and Political Dimensions, CABI Publishing, 265p.
- Attiwill, P.M., Adams, M.A., 1993. Nutrient Cycling in Forests. *New Phytologist*, 124(4), 561-582.
- Austrheim, G., Gunilla, E., Olsson, A., Grontvedt, E., 1999. Land-Use Impact on Plant Communities in Semi-Natural Sub-Alpine Grasslands of Budalen Central Norway. *Biological Conservation*, 87(3), 369-379.
- Barbati, A., Marchetti, M., Chirici, G., Corona, P., 2014. European Forest Types and Forest Europe SFM Indicators: Tools for Monitoring Progress on Forest Biodiversity Conservation. *Forest Ecology and Management*, 321, 145-157.
- Berg, B., Berg, M., Bottner, P., Box, E., Breymeyer, Calvo de Anta, R., Couteaux, M., Escudero, A., Gallardo, A., Kratz, W., Madeira, M., Mälkönen, E., McLaugherty, C., Meentemeyer, V., Muñoz, F., Piussi, P., Rémacle, J., Virzo De Santo, A., 1993. Litter Mass Loss Rates in Pine Forests of Europe and Eastern United States: Some Relationships with Climate and Litter Quality. *Biogeochemistry*, 20, 127-159.
- Brown, S.R., Ahl, R.S., 2011. The Region 1 Existing Vegetation Mapping Program (Vmap) Beaverhead-Deerlodge Methodology. Region One Vegetation Classification, Mapping, Inventory and Analysis Report No:11 02, 1-18.
- Bunnell, F.L., Tait, D.E.N., Flanagan, P.W., Van Cleve K., 1977. Microbial Respiration and Substrate Weight Loss-I. A General Model of the Influences of Abiotic Variables. *Soil Biology and Biochemistry*, 9, 33-40.

- Caccia, F.D., Ballaré, C.L., 1998. Effects of Tree Cover, Understory Vegetation, and Litter on Regeneration of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in Southwestern Argentina. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(5), 683-692.
- Canadell, J.G., Raupach, M.R., 2008. Managing Forests for Climate Change Mitigation. *Science*, 320(5882), 1456-1457.
- Chen, J.M., Cihlar, J., 1996. Retrieving Leaf Area Index of Boreal Conifer Forests Using Landsat TM Images. *Remote Sensing of Environment*, 55(2), 153-162.
- Colombo, R., Bellingeri, D., Fasolini, D., Marino, C.M., 2003. Retrieval of Leaf Area Index in Different Vegetation Types Using High Resolution Satellite Data. *Remote Sensing of Environment*, 86(1), 120-131.
- Couteaux, M.M., Bottner, P., Berg, B., 1995. Litter Decomposition, Climate and Litter Quality. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(2), 63-66.
- Csontos, P., Rocchini, D., Bacaro, G., 2007. Modelling Factors Affecting Litter Mass Components of Pine Stands. *Community Ecology*, 8(2), 247-255.
- Delisle, J.M., Savidge, J.A., 1997. Avian Use and Vegetation Characteristics of Conservation Reserve Program Fields. *The Journal of Wildlife Management*, 61, 318-325.
- EEA, 2016. European Environment Agency, Erişim, Haziran 27, 2018, Erişim linki: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>
- El Hajj, M., Bégué, A., Lafrance, B., Hagolle, O., Dedieu, G., Rumeau, M., 2008. "Relative Radiometric Normalization and Atmospheric Correction of a SPOT 5 time series", *Sensors*, 8(4), 2774-2791.
- Ewald, J., 2000. The Partial Influence of Norway Spruce Stands on Understorey Vegetation in Montane Forests of the Bavarian Alps. *Mountain Research and Development*, 20(4), 364-371.
- Fearnside, P.M., 2000. Global Warming and Tropical Land-Use Change: Greenhouse Gas Emissions from Biomass Burning, Decomposition and Soils in Forest Conversion, Shifting Cultivation and Secondary Vegetation. *Climatic Change*, 46(1-2), 115-158.
- Flessa, H., Ruser, R., Dörsch, P., Kamp, T., Jimenez, M.A., Munch, J.C., Beese, F., 2002. Integrated Evaluation of Greenhouse Gas Emissions (CO₂, CH₄, N₂O) from Two Farming Systems in Southern Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 91(1-3), 175-189.

- Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J., Clark, C.D., Ellis, A.C., 1997. Estimating Leaf Area Index of Mangroves from Satellite Data. *Aquatic Botany*, 58(1), 11-19.
- Guyot, G., Gu, X.F., 1994. Effect of Radiometric Corrections on NDVI-Determined from SPOT-HRV and Landsat-TM Data. *Remote Sensing of Environment*, 49(3), 169-180.
- Haynes, R.J., 1986. The Decomposition Process: Mineralization, Immobilization, Humus Formation. *Mineral Nitrogen in the Plant-Soil Systems*, 52-126.
- Houlès, V., El Hajj, M., Bégué, A., 2006. Radiometric Normalization of a SPOT-4 and SPOT-5 Time Series of Images (Isle-Reunion) for Agriculture Applications”, *Revue Française de Photogrammetrie et de Teledetection*, 181, 31-37.
- Jensen, J.R., 1996. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Approach*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 7458.
- Keetch, J.J., Byram, G.M., 1968. A Drought Index for Forest Fire Control. Res. Pap. SE-38. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, South-eastern Forest Experiment Station, 35p., 38.
- Kolsuz, R., 2011. Ölü Organik Materyal Miktarının Tahmin Edilmesinde Farklı Örneklem Yöntemlerinin ve Örnek Büyüklüklerinin Karşılaştırılması, SDÜ Fen Bilimleri Y.Lisans tezi, 62s.
- Kijewska, A., Bluszcz, A., 2016. Analysis of Greenhouse Gas Emissions in the European Union Member States with the Use of an Agglomeration Algorithm. *Journal of Sustainable Mining*, 15(4), 133-142.
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., Spain, A., 1993. A hierarchical Model for Decomposition in Terrestrial Ecosystems: Application to Soils of the Humid Tropics. *Biotropica*, 130-150.
- Lehmann, A., Overton, J.M., Leathwick, J.R., 2002. GRASP: Generalized Regression Analysis and Spatial Prediction. *Ecological Modelling*, 157(2-3), 189-207.
- Li, S., MacMillan, R.A., Lobb, D.A., McConkey, B.G., Moulin, A., Fraser, W.R., 2011. Lidar DEM Error Analyses and Topographic Depression Identification in a Hummocky Landscape in the Prairie Region of Canada. *Geomorphology*, 129(3-4), 263-275.
- Liu, X., Zhang, Z., Peterson, J., Chandra, S., 2007. LiDAR-Derived High Quality Ground Control Information and DEM for Image Orthorectification. *GeoInformatica*, 11(1), 37-53.

- Lu, D., Batistella, M., Moran, E., 2008. "Integration of Landsat TM and SPOT HRG Images for Vegetation Change Detection in the Brazilian Amazon. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*", 74(4), 421.
- Mather, P.M., Koch, M., 2011. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*. John Wiley & Sons
- Mawdsley, J.R., O'malley, R., Ojima, D.S., 2009. A Review of Climate-Change Adaptation Strategies for Wildlife Management and Biodiversity Conservation. *Conservation Biology*, 23(5), 1080-1089.
- Meentemeyer, V., 1978. Macroclimate and Lignin Control of Litter Decomposition Rates. *Ecology*, 59, 465-472.
- Mert, A., Şentürk, Ö., Güney, C.O., Akdemir, D., Özkan, K., 2013. Mapping of Some Distal Variables Available for Mapping Habitat Suitabilities of the Species: A Case Study of Buldan District. *GeoMed 2013, The 3rd International Geography Symposium*, Eds: Atalay, İ., Efe, R., 10-13 June, 2013, Kemer Antalya, pp. 210.
- Miles, L., Kapos, V., 2008. Reducing Greenhouse Gas Emissions from Deforestation and Forest Degradation: Global Land-Use Implications. *Science*, 320(5882), 1454-1455.
- Mitchell, J., Mayer, R., 1997. Diggings by Feral Pigs Within the Wet Tropics World Heritage Area of North Queensland. *Wildlife Research*, 24(5), 591-601.
- Moisen, G.G., Frescino, T.S., 2002. Comparing Five Modelling Techniques for Predicting Forest Characteristics. *Ecological Modelling*, 157(2), 209-225.
- Monni, S., Peltoniemi, M., Palosuo, T., Lehtonen, A., Mäkipää, R., Savolainen, I., 2007. Uncertainty of Forest Carbon Stock Changes-Implications to the Total Uncertainty of GHG Inventory of Finland. *Climatic Change*, 81(3-4), 391-413.
- O'Brien, L., Rago, P., 1996. An Application of the Generalized Additive Model to Groundfish Survey Data with Atlantic Cod off the Northeast Coast of the United States as an Example. *Studies*, 28, 79-95.
- Özdemir, İ., Kolsuz, R., 2015. Meşcere Tepe Çatısının Boşluk Oranı ile Ölü Organik Materyal Miktarının Tahmin Edilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 1(1-2), 15-21.
- Özdemir, I., 2014. Linear Transformation to Minimize the Effects of Variability in Understory to Estimate Percent Tree Canopy Cover Using Rapid Eye Data. *GIScience & Remote Sensing*, 51(3), 288-300.

- Parker, K.C., 1988. Environmental Relationships and Vegetation Association of Columnar Cacti in the Northern Sonoran. *Vegetation* 78, 125-140.
- Peters, R. L., 1990. Effects of Global Warming on Forests. *Forest Ecology and Management*, 35(1-2), 13-33.
- Polat, O., Polat, S., Akça, E., 2011. Küresel Isınmada Ormanların Karbon Tutulumuna Etkisi: Tarsus-Karabucak Örneği. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, Özel*, (313-319).
- Prescott, C.E., Zabek, L.M., Staley, C.L., Kabzems, R., 2000. Decomposition of Broadleaf and Needle Litter in Forests of British Columbia: Influences of Litter Type, Forest Type, and Litter Mixtures. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(11), 1742-1750.
- Prescott, C.E., 2005. Do Rates of Litter Decomposition Tell Us Anything We Really Need to Know?, *Forest Ecology and Management*, 220(1-3), 66-74.
- RapidEye, A.G., 2011. Satellite Imagery Product Specifications. *Satellite Imagery Product Specifications: Version*.
- Risch, A.C., Wirthner, S., Busse, M.D., Page-Dumroese, D.S., Schütz, M., 2010. Grubbing by Wild Boars (*Sus scrofa L.*) and Its Impact on Hardwood Forest Soil Carbon Dioxide Emissions in Switzerland. *Oecologia*, 164(3), 773-784.
- Sabetta, L., Zaccarelli, N., Mancinelli, G., Mandrone, S., Salvatori, R., Costantini, M. L., Rossi, L., 2006. Mapping Litter Decomposition by Remote-Detected Indicators. *Annals of Geophysics*, 49(1), 219-226.
- Sariyildiz, T., Küçük, M., 2008. Litter Mass Loss Rates in Deciduous and Coniferous Trees in Artvin, Northeast Turkey: Relationships with Litter Quality, Microclimate, and Soil Characteristics. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(6), 547-559.
- Stenberg, P., Rautiainen, M., Manninen, T., Voipio, P., Smolander, H., 2004. Reduced Simple Ratio Better than NDVI for Estimating LAI in Finnish Pine and Spruce Stands. *Silva Fennica*, 38(1), 3-14.
- Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M., 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Melbourne, 372p.
- Tobin, B., Black, K., Osborne, B., Reidy, B., Bolger, T., Nieuwenhuis, M., 2006. Assessment of Allometric Algorithms for Estimating Leaf Biomass, Leaf Area Index and Litter Fall in Different-Aged Sitka Spruce Forests. *Forestry*, 79(4), 453-466.

- Topaloglou, C., Monachou, S., Strati, S., Alexandridis, T., Stavridou, D., Silleos, N., Araújo, A., 2013. Modelling LAI Based on Land Cover Map and NDVI Using SPOT and Landsat Data in Two Mediterranean Sites: Preliminary Results. In First International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2013) (Vol. 8795, p. 879505). International Society for Optics and Photonics.
- Türkeş, M., 2008. Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler. İklim Değişikliği ve Çevre, 1(1), 26-37.
- Vitousek, P.M., Turner, D.R., Parton, W.J., Sanford, R.L., 1994. Litter Decomposition on the Mauna Loa Environmental Matrix, Hawai'i: Patterns, Mechanisms, and Models. Ecology, 75(2), 418-429.
- Vanderpuye, A.W., Elvebakk, A., Nilsen L., 2002. Plant Communities along Environmental Gradients of High-Arctic Mires in Sassendalen, Svalbard. Journal of Vegetation Science, 13, 875-884.
- Wang, Q., Wang, S., Fan, B., Yu, X., 2007. Litter Production, Leaf Litter Decomposition and Nutrient Return in Cunninghamia Lanceolata Plantations in South China: Effect of Planting Conifers with Broadleaved Species. Plant and Soil, 297(1-2), 201-211.
- Wei, X.Z., Jiang, M.X., Huang, H.D., Yang, J.Y., Yu, J., 2010. Relationships between Environment and Mountain Riparian Plant Communities Associated with Two Rare Tertiary-Relict Tree Species, *Euptelea Pleiospermum* (Eupteleaceae) and *Cercidiphyllum Japonicum* (Cercidiphyllaceae). Flora, 205, 841-852.
- Woodall, C.W., Perry, C.H., Westfall, J.A., 2012. An Empirical Assessment of Forest Floor Carbon Stock Components across the United States. Forest Ecology and Management, 269, 1-9.
- Yamamoto, H., Miura, T., Tsuchida, S., 2012. "Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Enhanced Vegetation Index (EVI) Products from Global Earth Observation (GEO) Grid: An Assessment Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) for Synergistic Applications", Remote Sensing, 4(8), 2277-2293.
- Zengin, H., Yeşil, A., Asan, Ü., Bettinger, P., Cieszewski, C., Siry, J.P., 2013. Evolution of Modern Forest Management Planning in the Republic of Turkey. Journal of Forestry, 111(4), 239-248.
- Zhang, D., Hui, D., Luo, Y., Zhou, G., 2008. Rates of Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems: Global Patterns and Controlling Factors. Journal of Plant Ecology, 1(2), 85-93.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Salih YILMAZ
Doğum Yeri ve Yılı : Manavgat, 1970
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : Almanca
E-posta : salihyilmaz@ogm.gov.tr



Eğitim Durumu

Lise : Manavgat Lisesi, 1987
Lisans : İÜ, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği

Mesleki Deneyim

1993-1995 Orman Genel Müdürlüğü - Mühendis
1995-2004 Antalya Orman Bölge Müdürlüğü - Mühendis, Başmühendis
2004-2014 Antalya Orman Bölge Müdürlüğü - Şube Müdürü
2014-2018 Isparta Orman Bölge Müdürlüğü - Başmühendis, Mühendis
2018-...(halen) Antalya Orman Bölge Müdürlüğü - Başmühendis

Yayınlar

KIRIŞ, Rüstem - YILMAZ, Salih - ÜN, Cemil - AKKOYUNLU, Ziyaeddin,
“Amenajman Planlarında Okaliptüs İşletme sınıfları”, I. Ulusal Okaliptüs
Sempozyumu, Adana, 2008, s.s.220-229