

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

JEOİNFORMATİK TEKNOLOJİLERİ
KULLANILARAK DENİZ SEVİYESİ
DEĞİŞİMLERİNİN GÜNEYBATI KARADENİZ KIYI
ALANLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

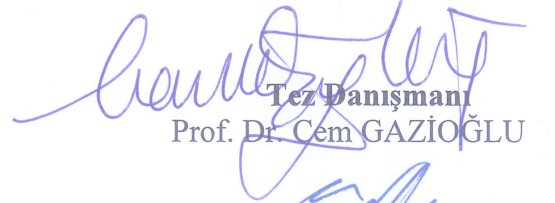
M.Sc. Filiz TURAN
Denizel Çevre Ana Bilim Dalı

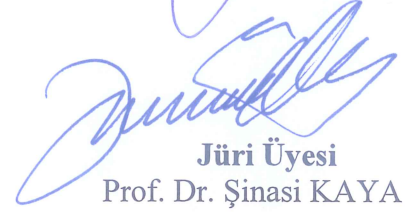
Danışman
Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU

OCAK, 2020

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

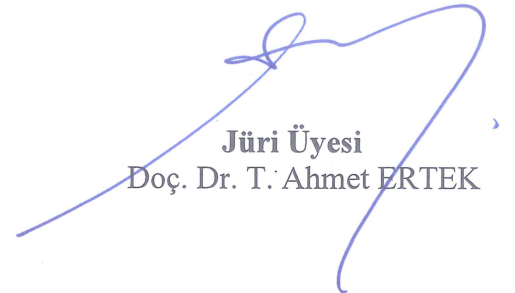
FİLİZ TURAN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş “JEOİNFORMATİK TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN GÜNEYBATI KARADENİZ KIYI ALANLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez DENİZEL ÇEVRE Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.


Tez Danışmanı
Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU


Jüri Üyesi
Prof. Dr. Şinasi KAYA


Jüri Üyesi
Prof. Dr. Füsün BALIK ŞANLI


Jüri Üyesi
Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER


Jüri Üyesi
Doç. Dr. T. Ahmet ERTEK

Tez Savunma Tarihi: 14.01.2020

ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım “JEOİNFORMATİK TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN GÜNEYBATI KARADENİZ KIYI ALANLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı DOKTORA tez çalışmasında bilimsel etik ve akademik kurallara riayet ettiğimi;

- Çalışma konusunun özgün olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum tüm veri ve belgeleri bilimsel etik ve ahlak kuralları çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Çalışmanın bulgularında tahrifat yapmadığımı ve yanlış davranmadığımı,
 - Tez kapsamında yararlandığım tüm eserlere ve doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya atıfta bulunduğumu,
 - Yararlandığım tüm eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu,
 - Kullandığım veri ve belgelerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - Patent ve telif haklarını ihlal etmediğimi
- bildirir, aksinin vuku bulması durumunda yasal sonuç/sonuçları ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabul ettiğimi beyan ederim.

27.11.2019

Filiz TURAN

ÖNSÖZ

İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Denizel Çevre Ana Bilim Dalı, Kıyı Mühendisliği Programı'na Doktora Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; jeoinformatik teknolojileri kullanılarak deniz seviyesi değişimlerinin güneybatı Karadeniz kıyı alanlarına etkisi araştırılmıştır. Son yıllarda Dünya'da ve ülkemizde etkileri giderek daha fazla hissedilen iklim değişikliği ve küresel ısınmanın en önemli sonuçlarından biri olan deniz seviyesi yükselmesi, küresel ölçekte olduğu gibi ülkemiz kıyılarında da özellikle düşük kote sahip kıyı alanları ve deltalar için risk teşkil etmektedir. Bu çalışma, deniz seviyesi yükselmesinin güneybatı Karadeniz kıyı alanlarında yaratacağı tehlikenin boyutunu gözler önüne sermesi açısından, önemli bir çalışmadır. Çalışmam süresince bana yol gösteren, her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, ilgi ve anlayışı ile destek olan, bilimsel katkılarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Cem Gazioğlu'na; çok değerli bilimsel destekleri ve yönlendirmeleri için sayın hocalarım Prof. Dr. Şinasi Kaya ve Prof. Dr. Füsün Balık Şanlı'ya en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca hayatım boyunca her konuda olduğu gibi, tez çalışmam sırasında da beni destekleyen, ilgi ve sabırlarını esirgemeyen değerli aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	i
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	4
1.2. Çalışma Alanı	6
2. MATERYAL VE METOT	9
2.1. Hava LiDAR Sistemleri.....	9
2.2. Çalışma Alanında Kullanılan Veri Alım Ekipmanları ve Özellikleri.....	15
2.3. Ham LiDAR Verisini İşleme Adımları.....	16
2.3.1. Sistem kalibrasyonu	17
2.3.1.1. Leverarm ölçümü	19
2.3.1.2. Boresight kalibrasyonu.....	19
2.3.2. Tarayıcı nokta yoğunluğu.....	20
2.3.3. Uçuş yörüngesi dosyalarının (trajectory) üretimi.....	21
2.3.4. Kalman filtreleme.....	22
2.3.5. Uçuş şeritlerinin dengelenmesi	24
2.4. Nokta Bulutunun Sınıflandırılması	25
3. BULGULAR.....	29
3.1. LiDAR Verisinin Doğruluk Analizi	29
3.2. Çalışma Alanının Kıyı Çizgisi Üretimi	32
3.2.1. Kıyıya ait nokta bulutu verisinin sınıflandırılması.....	35
3.2.2. Çalışma alanına ait SYM üretimi	43
3.2.3. SYM verisinden kıyı çizgisi üretimi	46
3.2.4. Kıyı çizgisinin görsel kalite değerlendirmesi.....	48
3.3. Deniz Seviyesi Yükselmesinin Güneybatı Karadeniz Kıyılarına Etkileri	52
3.3.1. Su baskınından etkilenecek alanların belirlenmesi	54
3.4. Çalışma Alanının Arazi Kullanım Durumu	57
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	64
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	75
FORMLAR	
Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygunluk Formu ve Eki	

ÖZET

JEOİNFORMATİK TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN GÜNEYBATI KARADENİZ KIYI ALANLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

FİLİZ TURAN

Küresel ısınma kaynaklı iklim değişimlerinin etkileri, son yıllarda giderek daha da hissedilir hale gelmiştir. Küresel ısınmanın en önemli sonuçlarından biri, deniz seviyesi yükselmesidir. Deniz seviyesinin yükselmesi, özellikle denize kıyısı olan ülkelerdeki alçak kotlu kıyı kentleri ve deltalar için tehdit oluşturmaktadır. Küresel ve ulusal ölçekte yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır ki deniz seviyesi yükselmesi, önümüzdeki yıllarda hızlanarak devam edecektir. Denizin kara yönünde ilerlemesi, kıyı çizgisi değişimine ve su baskın alanlarında toprak kayıplarının yaşanmasına neden olacaktır. Aynı zamanda yeraltı su kaynaklarında oluşacak tuzluluk artışı nedeniyle, tarım alanlarında verim kaybına yol açacaktır. Bu çalışmada; jeoinformatik teknolojileri kullanılarak deniz seviyesi değişimlerinin güneybatı Karadeniz kıyı alanlarına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada yüksek doğruluklu ve yoğunluklu hava LiDAR (light detection and ranging) verisinden sayısal yükseklik modeli üretimi yapılmış ve çalışma alanı kapsamındaki kıyı çizgisi çıkarılmıştır. Sonrasında bu veri üzerinden yüzyıl sonu projeksiyonu için, su baskın alanı belirlenmiştir. Sentinel 2A uydu görüntüsü ile kontrollü sınıflandırma yapılarak arazi kullanım haritası üretilmiş ve su baskın alanı ile arazi kullanım haritasına bindirme analizi uygulanarak, etkilenmesi beklenen alanlar hesaplanmıştır. Sonuç olarak, yüzyıl sonunda çalışma alanındaki 177,46 km² alanın su baskını etkisinde kalacağı belirlenmiştir. Çalışma, deniz seviyesi yükselmelerinin neden olacağı risklerin belirlenmesi, koruma stratejilerinin hazırlanması ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için yol gösterici bir çalışmadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulguların, özellikle çalışma alanı çevresinde gerçekleştirilmesi düşünülen plan ve projelerin sürdürülebilirliği açısından değerlendirilmesi, ülkemize katkı sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: LiDAR, Karadeniz, deniz seviyesi değişimleri, küresel ısınma, kıyı alanları

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SEA LEVEL CHANGES ON SOUTHWEST BLACK SEA COASTAL AREAS USING GEOINFORMATICS TECHNOLOGIES

FİLİZ TURAN

The effects of climate change due to global warming have become more noticeable in recent years. One of the most important consequences of global warming is rising sea level. Sea level rise; it poses a threat to low-altitude coastal cities and deltas in the seaside countries. It is understood from the global and national studies; sea level increases will continue to accelerate in the coming years. The inward movement of the sea towards the land causes coastal line changes and loss of land in flooded areas. It will also lead to loss of yield in agricultural areas due to increased salinity in groundwater resources. In this study; using geoinformatics technologies the effect of sea level changes on southwestern Black Sea coastal areas was investigated. In this study, digital elevation model is produced from high accuracy and density airborne LiDAR (light detection and ranging) data and the coastal line of the study area is extracted. Then the flood area was determined for the end of the century projection based on this model. Sentinel 2A satellite image was used to produce a land use map by supervised classification and the area to be affected was calculated by applying overlap analysis to the flood area and land use map. As a result, it is determined that an area of 177.46 km² in the study area will be under the influence of flood at the end of the century. The study is a guiding study for determining the risks caused by sea level rises, preparing protection strategies and taking necessary measures. The evaluation of the findings obtained as a result of this study, especially in terms of the sustainability of the plans and projects planned to be realized around the study area, will contribute to our country.

Keywords: LiDAR, Black Sea, sea level changes, global warming, coastal areas

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. IPCC 5. değerlendirme raporu deniz seviyesi değişim senaryoları.....	3
Tablo 2. Riegl LSM-Q680i lazer tarayıcı teknik bilgileri.....	16
Tablo 3. Leverarm değerleri.....	19
Tablo 4. ASPRS standart LiDAR noktası sınıfları	27
Tablo 5. Karesel ortalama hata hesabı.....	31
Tablo 6. Sentinel-2A uydusuna ait özellikler.....	49
Tablo 7. Kontrollü sınıflandırma sonucunda sınıflara ait doğruluk değerleri.....	60
Tablo 8. Çalışma alanında maksimum su baskını sonucunda etkilenecek alan büyüklükleri...	60



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. Karadeniz kıyılarında 20 m kotunun altındaki kıyı bölgeleri.....	5
Şekil 2. Çalışma alanı	7
Şekil 3. Tez çalışması iş-akış şeması	10
Şekil 4. Lazer ışınının sapma açısı.....	11
Şekil 5. Hava LiDAR sistemi	12
Şekil 6. Lazer ışınının çoklu geri dönüşleri	13
Şekil 7. Çalışma alanına ait bir bölgeden intensity görüntüsü örneği	14
Şekil 8. LiDAR veri alım sistemi.....	15
Şekil 9. LiDAR eşitliğinde koordinat sistemleri.....	18
Şekil 10. Boresight hatalarının etkisi.	19
Şekil 11. Boresight değerlerinin tarayıcıya tanıtılması.....	20
Şekil 12. 500 m uçuş yüksekliğinde tarama özellikleri	21
Şekil 13. Kalman filtresinin matematiksel modeli.....	22
Şekil 14. Çalışma alanındaki uçuş yörüngeleri (trajectory) verilerinin görünümü.....	23
Şekil 15. LiDAR çapraz uçuş şeridi örneği	24
Şekil 16. Kontrol alanları.....	25
Şekil 17. Sınıflandırılmış nokta bulutu örneği.....	27
Şekil 18. Kesit alma işlemi örneği	28
Şekil 19. Kontrol noktaları.....	29
Şekil 20. Nokta bulutu üzerinde kontrol noktaları (mavi) ve kesit görünümü örneği.....	30
Şekil 21. Kontrol noktaları (kırmızı çerçeve) ve lazer noktası (mavi çerçeve) koordinat okuması.....	30
Şekil 22. Kıyının bölümleri	32
Şekil 23. Kıyı çizgisi üretimi işlem adımları	36
Şekil 24. Çalışma alanında kara – su noktaları	37
Şekil 25. Nokta yoğunluğu kıyı hattı ilişkisi	37
Şekil 26. Kara-su sınırı tampon alan.....	38
Şekil 27. Ortofoto görüntü (solda), LiDAR intensity görüntüsü (sağda)	39
Şekil 28. Görünür bölgeden kızılötesi dalga boylarına farklı malzemelerin spektral yansımaları.....	40
Şekil 29. Intensity modeli (solda) ve ortofoto (sağda) arasında karşılaştırma.....	41
Şekil 30. Çalışma alanından bir intensity nokta bulutu verisi örneği	41
Şekil 31. Kıyı alanı intensity kesit görüntüsü örneği.....	42
Şekil 32. Kara ve su yüzeyi noktalarının intensity olarak görüntülenmesi örneği	42
Şekil 33. Çalışma alanına ait bir bölgeden sınıflandırma sonrası elde edilen raster görüntü ...	43
Şekil 34. SYM üretimi	45
Şekil 35. Çalışma alanından bir bölgenin SYM verisi.....	45
Şekil 36. Çalışma alanından hillshade (kabartma) verisi.....	45
Şekil 37. SYM verisinden kıyı çizgisi çıkarımı örneği.....	46
Şekil 38. Hillshade (kabartma) harita üzerinde kıyı çizgisi.....	46
Şekil 39. SYM'den üretilen kıyı çizgisi.....	47
Şekil 40. Referans görüntü üzerinde kıyı çizgisi	47
Şekil 41. Kumsal alanlarda kıyı çizgisi görünümü	48
Şekil 42. Çalışma alanına ait Sentinel-2A uydu görüntülerinin ön izlemeleri	49

Şekil 43. Birleştirilmiş uydu görüntüleri	50
Şekil 44. Uydu görüntüsünden elde edilen kıyı çizgisi	50
Şekil 45. LiDAR verisinden ve uydu görüntüsünden elde edilen kıyı çizgileri	51
Şekil 46. Referans görüntü üzerinde karşılaştırma	51
Şekil 47. 1993-2017 uydu altimetre verilerinden Karadeniz seviyesi zaman serileri ve doğrusal uyumu	52
Şekil 48. 2016 ve 2100 yılı için kıyı çizgisi değişimi.....	54
Şekil 49. Deniz seviyesi yükselmesinin alçak-basık kıyı alanlarındaki etkisi.....	55
Şekil 50. Çalışma alanındaki tarım alanlarının deniz seviyesi yükselmesi sonrası durumu.....	55
Şekil 51. Deniz seviyesi yükselmesinin Karasu kıyılarında oluşturacağı etki	56
Şekil 52. Su baskını sonrası Kefken Adası yüzey alanı değişimi	56
Şekil 53. Sentinel 2A uydu görüntüsü (4, 3, 2) band kombinasyonu	57
Şekil 54. Sentinel 2A uydu görüntüsü (8, 4, 3) band kombinasyonu	58
Şekil 55. Arazi kullanım haritası	59
Şekil 56. Arazi kullanım haritası ve kıyı çizgisi değişimi	59
Şekil 57. Deniz seviyesi yükselmesinin akarsulara etkisi.....	61
Şekil 58. Çalışma alanındaki kayalık alanların değişimi.....	62
Şekil 59. Kayalık alanların değişimi.....	62
Şekil 60. Deniz seviyesi yükselmesi sonrası çalışma alanı yakınındaki adaların durumu	63

SİMGE LİSTESİ

A	: Alan
A, B, H	: Matrislerin genel gösterimi
α, β	: Tarama açıları
$\Delta\phi$	: Açısal adım genişliği
ε	: Koordinat okumaları arasındaki fark
ρ	: Lazer aralık vektörü, lazer menzili vektörü
H_{TR}	: Ekstrem dalga yüksekliği
In_{Lev}	: Su baskını seviyesi
K	: Kalman kazanç matrisi
K_k	: Güncelleme aşamasındaki durum
MHW	: Yüksek su seviyesi
m_x, m_y, m_z	: x, y ve z eksenlerindeki karesel ortalama hata değerleri
n	: Arazideki noktaların sayısı
n	: Ölçüm sayısı
$\vec{P}_G$	: Lazer ünitesi ile IMU koordinat sistemi arasındaki ofset (Leverarm ofseti)
P_k^-	: Hata kovaryansının önceki durumu
P_k	: Hata kovaryansı
Q	: Tahmin aşaması gürültüsünün, proses gürültü kovaryansı matrisi
R	: Güncelleme aşamasındaki gürültünün gözlem gürültü kovaryansı matrisi
$R_{\alpha, \beta}$	: Lazer ünitesini α ve β ayna tarama açıları ile ilişkilendiren dönme matrisi
$R_{\Delta\omega, \Delta\phi, \Delta\kappa}$	: IMU ve lazer ünitesi koordinat sistemleri ile ilgili rotasyon matrisi
$R_{yaw, pitch, roll}$	: Yer ve IMU koordinat sistemleriyle ilgili rotasyon matrisi
S	: Göreli deniz seviyesi yükselmesi
S	: SYM'nin grid boyutu
S_p	: Barometrik basınçtan kaynaklanan deniz seviyesi değişimi
u_k	: Sisteme dışarıdan uygulanacak kontrol sinyali
$\vec{X}_0$	: Yer ve IMU koordinat sistemleri merkezleri arasındaki vektör
$\vec{X}_G$	: Lazer ayak izinin pozisyonu
$\hat{x}_k^-$	: k durumundaki, önceki durum tahmini
x_{k-1}	: k-1 durumundaki tahmin
z_k	: Sistem algılayıcılarından elde edilen ölçüm vektörü

KISALTMA LİSTESİ

ASPRS	: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği)
3B	: Üç Boyutlu
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
IMU	: Inertial Measurement Unit (İnertiyel Ölçüm Ünitesi)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame (Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi)
KOH	: Karesel ortalama hata
LiDAR	: Light Detection and Ranging (Işık Algılama ve Ölçme)
Ppm	: Parts Per Million (Milyonda bir)
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TIN	: Triangulated Irregular Network (Üçgenlenmiş Düzensiz Ağ)

1. GİRİŞ

Son yıllarda Dünya’da ve ülkemizde etkileri giderek daha fazla hissedilen küresel ısınma ve iklim değişimlerinin nedenlerinin saptanması, küresel ya da bölgesel ölçekte yaratacağı etkilerin belirlenmesi amacıyla disiplinler arası çalışmalar hızla sürmektedir.

Son buzul çağının sonlanmasından bu yana ılıman bir sürecin yaşandığı yaklaşık 10.000 yıl içinde en dikkat çekici değişkenlerden biri, son sanayi devriminden beri artan sera gazı salınımının ve bağlamında ısınma etkisi oluşturan sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonlarının hiç erişilmemiş rakamlara ulaşmasıdır (Gazioğlu ve diğerleri, 2015). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)’ye göre; karbondioksit ve metan seviyeleri 1750’deki sanayi devriminden bu yana sırasıyla %35 ve %148 artmıştır (Shahzad, 2015). Bunun en önemli neticesi, Dünya’nın iklimini düzenleyen ve denetleyen mekanizmaların, bozulmaya başlamasıdır. Özellikle deniz-atmosfer alışverişi ile atmosferde önemli sera etkisi oluşturan CO₂ gazlarının denizlerde hapsedilmesi mekanizmasının okyanus asitlenmesi ile engellenmesi; artan okyanus asitlenmesi sebebiyle hapsedilen çökellerdeki karbonun çözülerek öncelikle okyanusları daha da asitlendirmesine, sonrasında da okyanusların karbonu hapsedme ve dönüştürme mekanizmasının çökmesine neden olmaktadır (Gazioğlu ve diğerleri, 2015). Tüm bunların neticesinde, küresel ısınma daha da hızlanacak ve öncelikle dönemsel buzulların daha az görülmesine sonrasında ise daimi buzulların erimesine neden olacaktır. Arktik ve Antarktika bölgelerinde Grönland gibi yoğun, daimi buzulların eridiği, son IPCC raporlarının artık kanıksanıcı ancak bir o kadar da çarpıcı bilimsel gerçeklikleridir.

Küresel ısınma ve iklim değişimlerinin en önemli sonuçlarından biri olan deniz seviyesi yükselmesi, deniz kıyısında yer alan ülkeler ve kentler için ciddi bir çevre problemi olarak görülmektedir. Kıyı alanlarının salt deniz kıyıları olmadığı; akarsu, göl ve haliçleri içerdiği tanımdan öte fonksiyonel bir gerçekliktir. Yaklaşık 250 milyon insan deniz seviyesinden 1 m yükseklikte, 750 milyon insan da 1-10 m yükseklik aralığında kurulan şehirlerde yaşamaktadır. Günümüzdeki küresel iklim değişikliği olgusuna karşın adaptasyon süreci yeterli değildir (Kaya ve Gazioğlu, 2019). Gelecekte de iklimdeki değişikliklerin devam edeceği açıktır. Bugün

atmosferde fazladan bulunan sera etkisi yaratan gazların yoğunluklarının aynı seviyede tutulabilmesi için 100 ile 300 yıl arasında bir zamana ihtiyaç bulunmaktadır. Sıcaklığın dengelenmesi için ise birkaç yüzyıl gerekmektedir (Çiner ve Sarıkaya, 2013).

Son buzul maksimumdan bu yana deniz seviyesi neredeyse 130 m yükselmiş ve yaklaşık 3000 yıl önce dengelenmiştir. Endüstriyel dönemin başlamasından itibaren, deniz seviyesinde bir ivme olduğuna dair net kanıtlar vardır (Cazenave ve Remy, 2011). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin dördüncü değerlendirme raporu, okyanus ısınması ve buzulların erimesi sonucunda küresel deniz seviyesinde 2100 yılına kadar yaklaşık 60 cm'ye varan bir yükselme öngörmüştür. Bununla birlikte yakın zamanda tanımlanmış olan kutupsal buz tabakası kütlelerinin azalması, deniz seviyesi artışının 2100 yılına kadar 1m veya üzerinde olması ihtimalini arttırmaktadır (Nicholls ve Cazenave, 2010).

19. yüzyılın ortalarından itibaren 1990'lı yıllara kadar deniz seviyesindeki değişimler, karasal kıyı şeridi ve okyanus ortası adaları boyunca, gelgit göstergeleri ile ölçülmüştür. Gelgit göstergeleri, deniz seviyesini nispeten yere göre ölçer ve bu nedenle yer hareketlerini de izler. 1990'lı yılların başından sonra ise deniz seviyesi değişimleri genellikle altimetre uyduları ile ölçülmektedir. Uydu altimetresi sabit bir referansa (karasal bir referans çerçevesi içinde tanımlanan, Dünya'nın ortalama şekli ile çakışan bir referans elipsoidine) göre mutlak deniz seviyesi değişimlerini ölçmektedir (Cazenave ve Remy, 2011).

Küresel deniz seviyesi yükselme trendini belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Prandi ve diğerleri (2009); 91 gelgit ölçüm istasyonu verisi ile hesapladıkları Ocak 1993 - Aralık 2007 dönemindeki küresel ortalama deniz seviyesi yükselmesinin $+3,3 \pm 0,5$ mm/yıl eğilim gösterdiğini belirtip, bu değer in yine aynı dönemde uydu altimetresinden elde edilen $+3,4 \pm 0,1$ mm/yıl deniz seviyesi artış oranı ile de uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Cazenave ve Remy (2011)'e göre, deniz seviyesi yükselmesi 1993 ile 2011 yılları arasında $3,3 \pm 0,4$ mm/yıl olarak gerçekleşmiştir. Hay ve diğerleri (2015); 1993 ve 2010 yılları arasında yapılan gelgit ölçümleri kayıtlarından elde ettikleri tahminlere göre, küresel deniz seviyesinin yılda $3,0 \pm 0,7$ mm hızında arttığını ileri sürmüşlerdir. IPCC 1. Çalışma Grubu 5. Değerlendirme Raporu'na göre; Gronland ve Antarktika buz kalkanları geçen 20 yıllık dönemde kütle kaybetmekte, buzullar neredeyse küresel ölçekte küçülmeye devam etmekte, Arktik Deniz buzu ve Kuzey Yarımküre ilkbahar kar örtüsü, alansal olarak azalmasını sürdürmektedir. Küresel ortalama deniz seviyesi 1901-2010 döneminde, 19 cm yükselmiştir

(Türkeş ve diğerleri, 2013). IPCC 5. Değerlendirme raporunda yer alan termal genleşme, buzullar, Grönland buz tabakası ve Antarktika buz tabakasının katkıları ile değerlendirilerek öngörülen olası deniz seviyesi değişiminin düşük, orta ve yüksek olasılıklı senaryolara göre değerleri Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. IPCC 5. değerlendirme raporu deniz seviyesi değişim senaryoları (Church ve diğerleri (2013)’ten değiştirilmiştir).

Senaryo	2100	2200	2300	2400	2500
Düşük	0,26 – 0,53 m	0,35 – 0,72 m	0,41 – 0,85 m	0,46 – 0,94 m	0,50 – 1,02 m
Orta	0,19 – 0,66 m	0,26 – 1,09 m	0,27 – 1,51 m	0,21 – 1,90 m	0,18 – 2,32 m
Yüksek	0,21 – 0,83 m	0,58 – 2,03 m	0,92 – 3,59 m	1,20 – 5,17 m	1,51 – 6,63 m

Montillet ve diğerleri (2019)’a göre; termal genleşme nedeniyle deniz seviyesinin 2100 yılına kadar, metrenin üçte biri oranında artması beklenmektedir. Kıtalar ve okyanuslar arasındaki su değişiminin, karadaki buzun erimesi ve ardından oluşacak okyanus akıntısı nedeniyle 2100 yılına kadar deniz seviyesinde 2 m değişime neden olma potansiyeli vardır. Grönland ve Antarktika, küresel ortalama deniz seviyesini sırasıyla 7 m ve 55 m yükseltecek kadar buz içermektedir. Bu büyük buz tabakalarının sadece bir kısmının erimesi bile, deniz seviyesinde önemli bir artışa neden olacaktır.

Deniz seviyesi yükselmesinin toprak kaybı, kıyı çizgisi değişimi, yer altı su seviyesinin yükselmesi, yer altı su kaynaklarında tuzluluk artışı gibi önemli etkileri vardır. Bunun yanında okyanus-atmosfer ilişkisi nedeniyle, iklim üzerinde de doğrudan etkili olmaktadır. Deniz seviyesi yükselmeleri sonucunda meteorolojik ve hidrolojik kaynaklı doğal afetlerin (şiddetli hava olayları, fırtınalar, kuvvetli yağışlar, taşkınlar, seller vb.) şiddetinde, sıklığında ve etkinlik alanlarında önemli artışların olabileceği beklenmektedir (Simav, 2012). Ayrıca geçmişte küresel iklim değişikliği etkileri ile Dünya üzerinde büyük nüfus hareketlerinin olduğu bilinmektedir. Günümüzde de çeşitli sıcak çatışmaların iklim değişikliklerinin etkisi ile olabileceği veya iklim değişikliklerinin katalizör etki yaratabileceği çeşitli stratejik düşünce kuruluşları tarafından ifade edilmektedir (Ülker ve diğerleri, 2018). Verimli tarım alanları, ticaret limanları, turizm tesisleri gibi ekonomik değere sahip varlıklar, kıyı bölgelerinde yer almaktadır. İvmelenerek artan deniz seviyesinin, denize kıyısı olan ve özellikle düşük yükseltili ülkelerde, telafisi mümkün olmayan fiziksel ve sosyo-ekonomik sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir (Simav ve diğerleri, 2015).

Türkiye 8.333 km kıyı şeridi uzunluğuna sahip bir yarımadadır ve yaklaşık %3'ü alçak rakımlı kıyı alanlarından oluşmaktadır. Deniz seviyesi yükselmesi senaryolarına bakıldığında, kıyı kentlerinin tehdit altında olduğu görülmektedir (Kahraman ve Aydın, 2016). Bu bağlamda, deniz seviyesi yükselmesinin etkilerini gözler önüne seren çalışmaların ülkemiz riskli kıyı alanlarına uygulanması, gelecek kestirimlerinin yapılabilmesi ve önlem alınabilmesi açısından önem teşkil etmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

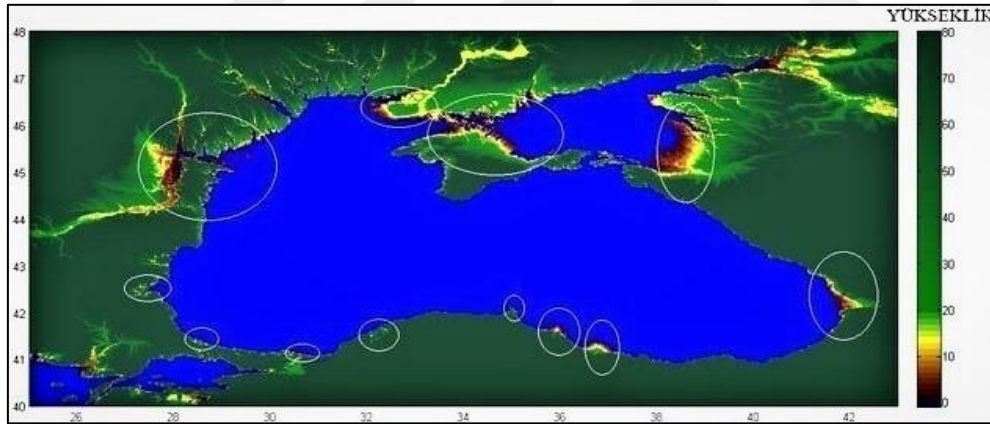
Tez çalışmasında; jeoinformatik teknolojileri kullanılarak deniz seviyesi değişimlerinin güneybatı Karadeniz kıyı alanlarına etkileri araştırılmıştır. Deniz seviyesi yükselmesi sebebiyle bu yüzyılın sonunda güneybatı Karadeniz kıyılarında gerçekleşecek su baskını sonucunda oluşacak kıyı çizgisi değişiminin saptanması ve bölgedeki etkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Su baskını ile karşılaşacak alanın belirlenmesi ve bu durumun bölgede oluşturacağı etkilerin ortaya çıkarılabilmesi için yüksek çözünürlüklü bir SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) verisine ve arazi kullanım durumunu gösteren bir haritaya gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada benzerlerinden farklı olarak; hava LiDAR (light detection and ranging) nokta bulutu verisinden üretilen, yüksek çözünürlüklü SYM kullanılmıştır. Bu veri ile çalışma alanı topoğrafyasının daha detaylı ve yüksek doğruluklu olarak değerlendirileceği öngörülmüştür.

Çalışmanın birinci bölümünde; deniz seviyesi yükselmeleri hakkındaki küresel ve bölgesel bulgulardan bahsedilmiş ve çalışma alanı tanıtılmıştır. İkinci bölümde; çalışmada kullanılan hava LiDAR verisi ve veri alım sistemleriyle ilgili bilgiler verilmiş, ham verinin işleme süreçleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde; öncelikle çalışmanın temel verisi olan SYM'nin üretilceği LiDAR nokta bulutunun doğruluğunun belirlenmesi amacıyla, bölgede yersel yöntemlerle ölçülmüş 30 kontrol noktası ile bu noktalara en yakın konumlardaki lazer noktalarının koordinatları okunarak karesel ortalama hata (KOH) hesabı yapılmış, sonuçları analiz edilmiştir. Sonrasında sınıflandırma ile kara-su sınıfları hassas olarak belirlenmiş, çalışma alanının SYM üretimi yapılmış ve bu veriden kıyı çizgisi çıkarılmıştır.

Karadeniz'de deniz seviyesi yükselme trendleri için farklı kaynaklarda farklı sonuçlar önerilmiştir. Bu sonuçlara, Bölüm 3.3'te değinilecektir. Tez çalışması belirli bir alana uygulandığından, global su yükselme modelleri kullanılmamıştır. Tez çalışmanın kısıtlaması; çalışma alanına ait mareograf istasyonu verisi ve su yükselme modeli bulunmamasıdır. Alana

ait bir su yükselme modeli olmaması sebebiyle; yüzyıl sonu projeksiyonu olması, çalışma alanına yakınlığı, coğrafi olarak benzerliği ve çalışmaların nispeten yakın tarihleri kapsamı göz önüne alınarak, Simav (2012) tarafından, Kızılırmak Deltası kıyıları için yüzyıl sonu projeksiyonu olarak hesaplanan su baskını miktarı kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Bu su baskını miktarı ile SYM verisi üzerinden, bu yüzyılın sonunda suyun kara üzerinde ulaşacağı son noktalar birleştirilerek 2100 yılı için yeni bir kıyı çizgisi verisi elde edilmiştir. Sonraki aşamada, Sentinel 2A uydu görüntüsü ile arazi kullanım haritası oluşturulmuş ve belirlenen su baskın alanıyla bindirme analizi yapılarak, etkilenmesi beklenen alanlar belirlenmiştir.

Deniz seviyesi yükselmesinin, en fazla deltalar ve düşük eğimli kıyı kenarları üzerinde etkili olacağı bilinmektedir. Karadeniz kıyılarında deniz seviyesi yükselmesinin ortalamadan daha fazla olabileceği, çeşitli araştırmalarda önerilmektedir. Karadeniz'in düşük eğimli kıyı alanları ve deltalarının, deniz seviyesi yükselmesi nedeniyle en fazla etkilenebilecek alanlar arasında olması beklenmektedir. Şekil 1'de Karadeniz kıyılarında 20 m kotunun altındaki kıyı bölgeleri görülmektedir.



Şekil 1. Karadeniz kıyılarında 20 m kotunun altındaki kıyı bölgeleri (Avşar ve diğerleri (2015)'ten değiştirilmiştir).

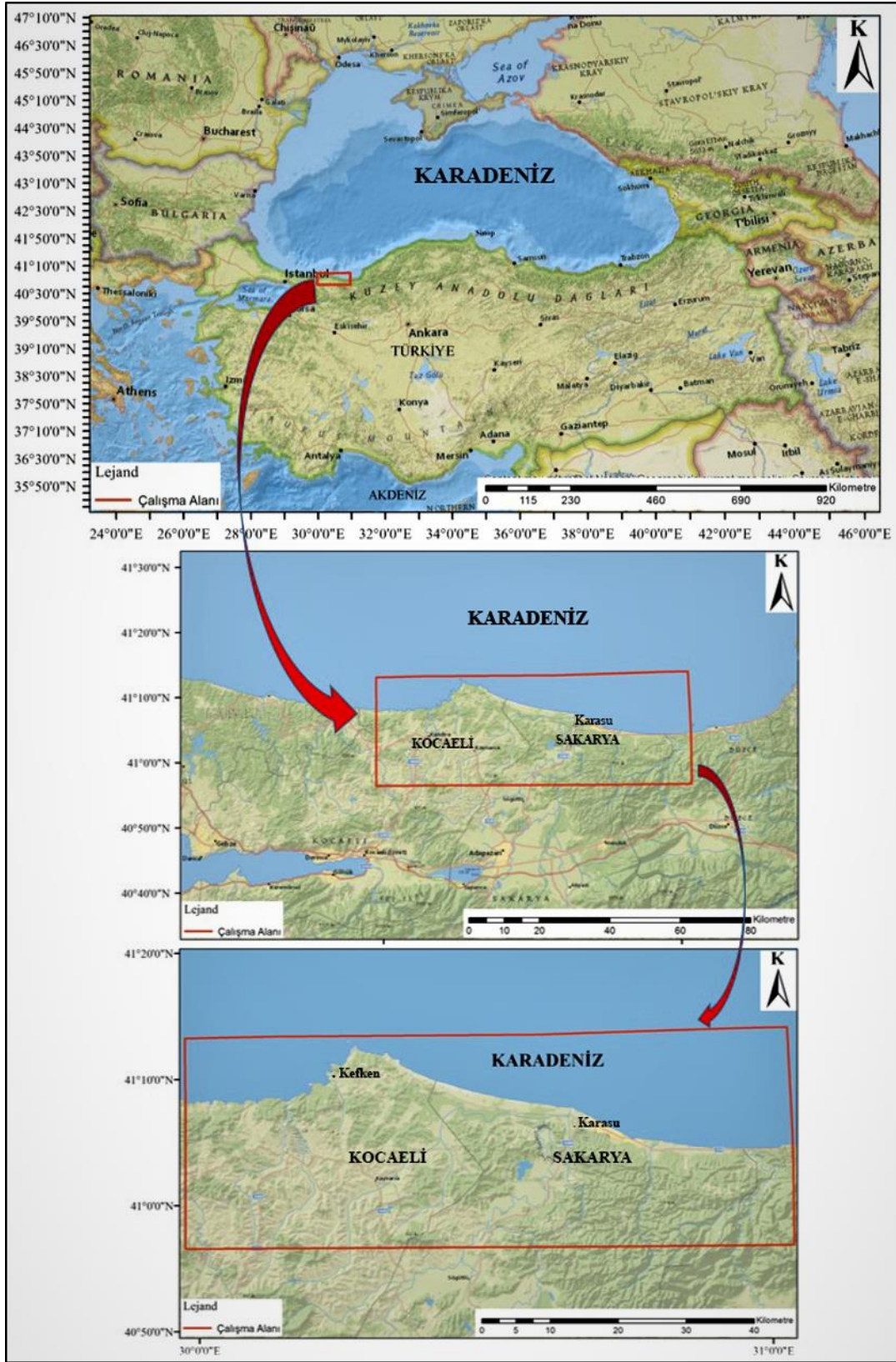
Türkiye'nin Karadeniz kıyılarında üç önemli delta (Kızılırmak, Yeşilırmak ve Sakarya) ve Kızılırmak Deltası lagünleri bulunmaktadır. Yapılan araştırmalara göre deniz seviyesi yükselmesi ile ilişkili kıyı erozyonu ve yer/yüzey suyu tuzlanmaları, bu kıyı alanlarını önemli ölçüde etkilemiştir (Avşar ve diğerleri, 2015). Karadeniz kıyıları için kıyı erozyonu ve tuzlu su girişi önemli tehditlerdir. Bu nedenle Karadeniz deniz seviyesindeki değişikliklerin belirlenmesi, kıyı risk değerlendirmesi ve kıyı planlaması açısından önemlidir (Avşar ve diğerleri, 2018).

1.2. Çalışma Alanı

Tez çalışmasında; Karadeniz kıyılarındaki düşük kotlu delta alanlarından biri olan ve bu sebeple riskli bölgeler arasında gösterilen Güneybatı Karadeniz Bölgesi'ndeki Sakarya Nehri Deltası ve çevresini içeren Şekil 2'deki 2.792 km² büyüklüğündeki bölge, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanı, İstanbul-Kocaeli sınırının yaklaşık 6 km doğusundan başlayıp, Sakarya-Düzce il sınırının yaklaşık 6 km doğusuna kadar uzanan kıyı şeridini ve Sakarya Delta alanını kapsamaktadır.

Çalışma alanı Kocaeli kıyılarının büyük kısmını ve Sakarya kıyılarının tamamını içeren, uzun bir kıyı şeridini kapsamaktadır. Kocaeli Yarımadası kuzeydoğusunun kıyı kesimi genellikle yüksek (falezli) kıyı özelliği göstermektedir (Ertek, 1995). Bununla birlikte, çalışma alanı yaklaşık 100 km'lik bir kıyı kuşağını içerdiğinden, alan kapsamında hem alçak-basık kıyılar hem de dar-yüksek kıyılar gibi farklı kıyı tipleri yer almaktadır. Bu yönüyle çalışma alanı genel anlamda Karadeniz'in kıyı özelliklerini yansıtan bir bölgedir. Deniz seviyesi yükselmesinin Karadeniz kıyılarında oluşturacağı etkilerin analiz edilmesinde farklı kıyı tiplerini içeren bir alanda çalışılması, daha geniş çerçevede yorum yapılabilmesine de olanak sağlamıştır.

Sakarya Nehri 56.504 km² boşalım alanı ve 824 km uzunluğu ile Karadeniz'e dökülen ikinci Anadolu ırmağıdır (Soğancı, 2012). Sakarya Deltası, Türkiye'nin kuzeybatısında yer almaktadır ve Sakarya Nehri'nin taşıdığı sedimentleri, Karadeniz kıyısında biriktirmesi ile oluşmuştur. Özellikle kış mevsiminde etkili olan karayel fırtınaları ve akıntılar nedeniyle deniz yönünde fazla ilerleme imkanı bulamayan delta, daha çok kıyı boyunca gelişme göstermiştir (İkiel ve Ustaoglu, 2011). Sakarya Nehri Deltası kıyıları girintili çıkıntılı değildir. Kıyıda yükselen platolar ve Kuzey Anadolu Dağları, Karasu İlçesi dışında denize paralel uzanır. Deltanın kıyıları, kuzeybatı yönlü kıyı akıntılarıyla şekillendirilmiştir. Sakarya Nehri; taşıdığı materyalleri biriktirerek bir delta meydana getirmiş olsa da zamanla dalgaların aşındırmasıyla bu saha kumlarla örtüldüğünden, kıyı boyunca kumsallar ve kumul sırtları meydana gelmiştir (Kurt ve Duman, 2015). Sakarya Deltası subasar ormanlar, tatlı su gölleri, kumul ve deniz kıyısı ekosistemlerinden oluşur. Alanın önemli bir kısmını kaplayan kumul habitatları, ortalama beş metre yükseklikte kumul sırtları oluşturur. Bu kumul kuşağı, Türkiye'de kesintisiz uzanan en uzun kumul sistemidir. Kumulların güney kısmında, subasar ormanlar bulunur. Temel insan faaliyetleri, tarım ve hayvancılıktır (Doğa Derneği, 2019).



Şekil 2. Çalışma alanı

Çalışma alanı içinde verimli tarım alanları yer almakta olup, bölgede genellikle modern tarım yapılmaktadır. Çoğunlukla buğday, mısır, fasulye, şekerpancarı, ayçiçeği, patates, soğan, tütün ve fındık yetiştirilmektedir. Sahil kesimlerinde Kefken, Kerpe, Bağırkanlı ve Karasu gibi kumsal alanlarına sahip bölgelerde turizm önemli bir geçim kaynağıdır.

Ayrıca, alan içinde Türkiye'deki 4 Longoz ormanından biri olan Acarlar Longozu bulunmaktadır. Acarlar Longozu, 07.02.2019 tarih ve 31550 sayılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Makam Olur'u ile "Ulusal Öneme Haiz Sulak Alan" olarak tescil edilmiştir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Sakarya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2019).



2. MATERYAL VE METOT

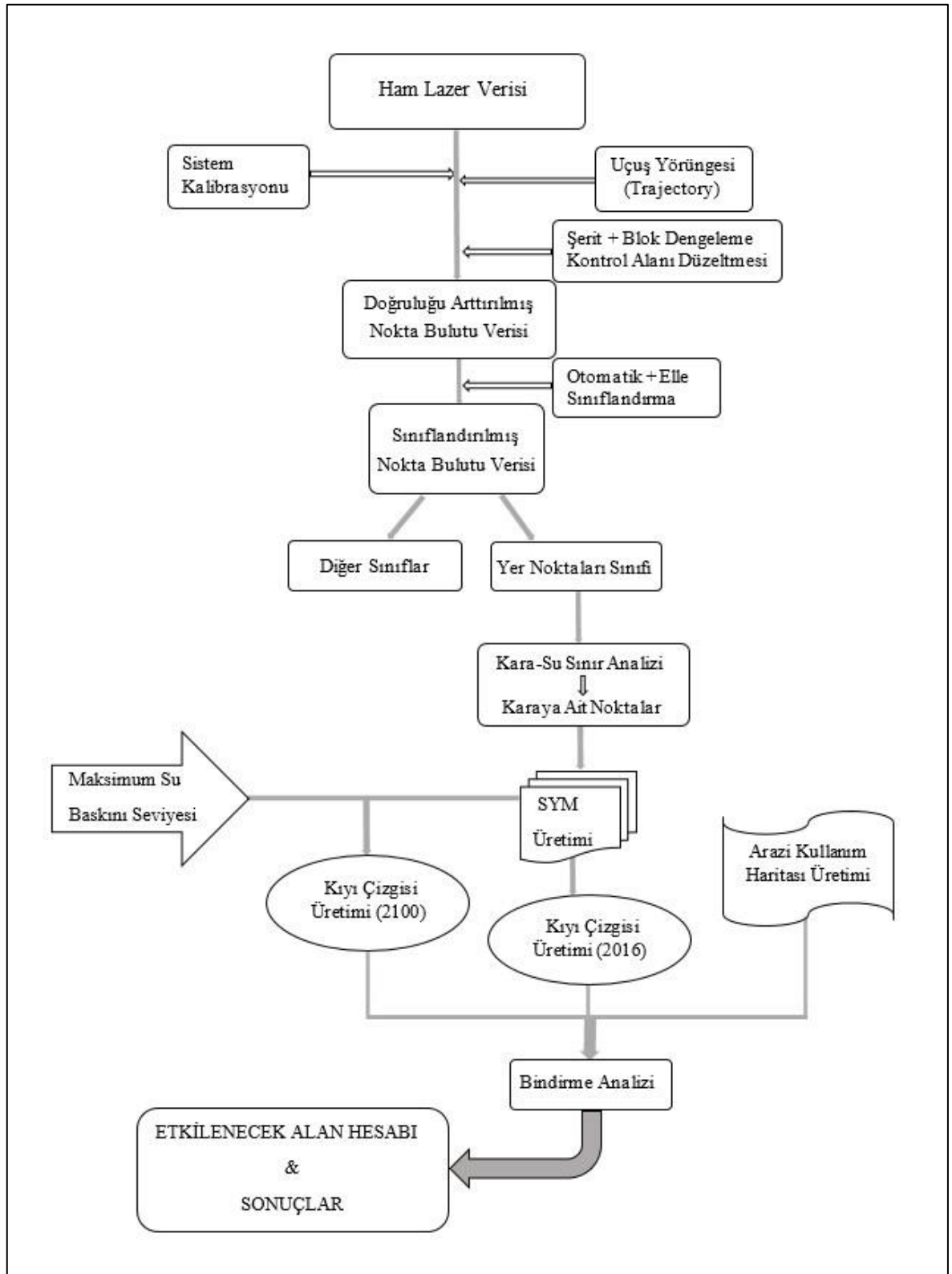
Çalışma alanında, su baskınına maruz kalacak alanın belirlenmesi ve baskın etkilerinin ortaya çıkarılabilmesi için gereken veriler; yüksek çözünürlüklü SYM ve arazi kullanımını gösteren haritadır. Tez çalışmasında detayları Bölüm 2.1’de açıklanan, günümüzde yeni bir teknolojik yaklaşım olan ve arazi üzerinde cm düzeyindeki değişimleri tespit edebilme imkanı sağlayan hava LiDAR nokta bulutu verisinden üretilen, SYM kullanılmıştır.

LiDAR’dan elde edilen nokta bulutu verisi, milyonlarca koordinatlı nokta içeren yüksek yoğunluğa sahip bir veri olduğundan, bu teknoloji ile üretilen SYM verisi çalışılan alandaki kıyı topografyasının yüksek çözünürlük ve doğrulukla temsil edilmesine olanak sağlamıştır. SYM ile düşük kota sahip ve su basmalarından etkilenecek alanların tespiti sağlanmış, deniz seviyesi yükselmesi sonucu oluşacak su baskınının potansiyel etkilerini belirlemek için, uydu görüntülerinden bölgeye ait arazi kullanım haritası oluşturulmuştur. Elde edilen tüm bilgilerin ışığında; çalışma sonunda bölge için oluşabilecek kıyı çizgisi değişimi, etkilenecek alan büyüklükleri ve bu değişimlerin bölgeye olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tez çalışmasının adımlarını gösteren iş akış şeması Şekil 3’te görülmektedir.

2.1. Hava LiDAR Sistemleri

Yaygın olarak kullanılan uzaktan algılama tekniklerinin yanı sıra, son yirmi yılda tamamen otomatik ve yüksek verimli bir mekansal veri toplama yöntemi olarak, lazer tarama teknolojisi yerleşmiştir. Lazer tarama teknolojisi aynı zamanda LiDAR olarak da adlandırılır; bir ışık atımı kullanarak, algılama ve mesafe belirleme anlamına gelir.

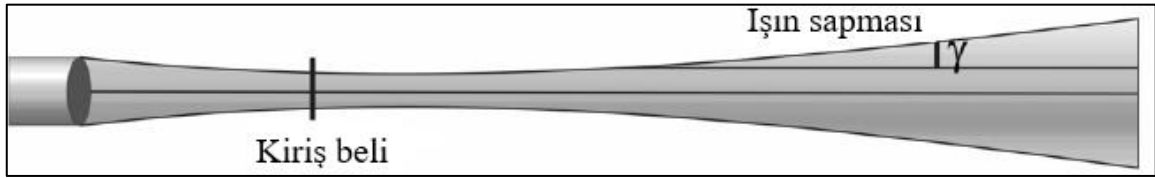
Lazer ve lazer taramanın icadı 1960’ ların başlarına kadar sürmüş olsa da, 1980’ lerde coğrafi konumlandırma sisteminin (GPS), 1990’ larda atalet ölçü biriminin (IMU) ve aynı zamanda bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle LiDAR teknolojisinde hızlı ve önemli bir ilerleme sağlanmıştır (Balenović ve diğerleri, 2013).



Şekil 3. Tez çalışması iş-akış şeması

Lazer kelimesi “Uyarılmış radyasyon yayılımı ile ışığın güçlenmesi” anlamına gelmektedir. Atomlardaki elektronlar birçok farklı enerji seviyesini işgal edebilir. Enerji bir elektron tarafından emilirse, daha yüksek bir enerji seviyesine atlar. Daha sonra, elektron düşük enerji koluna (kararlı duruma) geri döndüğünde ışık yayar. Işık emisyonu rastgele gerçekleşir ve bu nedenle düşük bir tutarlılık seviyesine sahiptir. Uyarılmış emisyonda, daha yüksek bir yörüngede bulunan bir elektron, iki seviye arasındaki enerji farkıyla aynı enerjiye sahip bir fotonun varlığıyla daha düşük bir yörüngeye getirilir. Bu olduğunda, ilk fotonun aynısı olan başka bir foton yayınlanır. İki foton en yoğun dalgayı mümkün kılmak için bir araya gelirler. Radyasyonun bu şekilde yükseltilmesi, mümkün olan en yoğun radyasyon olan tutarlı radyasyonu yaratır ve lazer cihazı yukarıda açıklanan süreç boyunca, tek renkli ve yönlü olan tutarlı bir ışın yayar (Bang, 2010).

Bir lazer ışını kusursuz biçimde silindirik değildir. Kiriş belinden ışın sapma açısı olarak bilinen ve tipik olarak 0,2 - 1 mrad arasında değişen γ açısı (Şekil 4) ile ayrılmaktadır. Örneğin, 1000 m'lik bir uçuş yüksekliğinde sırasıyla 0,3 ve 0,5 mrad'lık ışın sapması için lazer ayak izinin çapı, yaklaşık 30 ve 50 cm'dir. Bu nedenle lazer ayak izi bir noktadan ziyade bir disk-elips olarak düşünülmelidir. Ayağın boyutu ve şekli; ışın sapma açısı, lazer cihazı ile nesne arasındaki mesafe, lazer ışınının bakış açısı ve haritalanan nesnenin yüzeyinin yönü gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Bang, 2010).

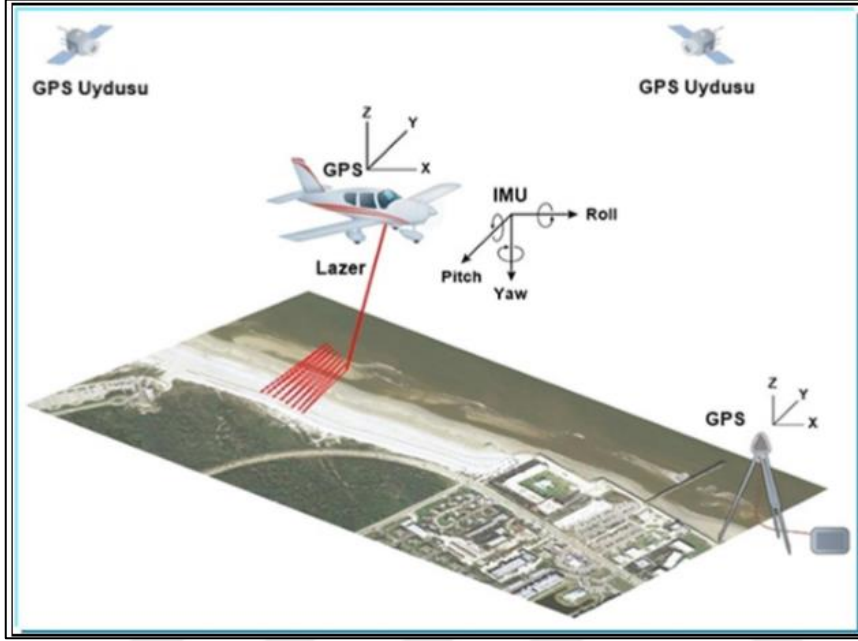


Şekil 4. Lazer ışınının sapma açısı (Bang (2010)'dan değiştirilmiştir).

LiDAR sistemi tipik olarak üç ana bileşenden oluşur; bir lazer tarayıcı ünitesi, küresel konumlandırma sistemi (GPS) alıcısı ve atalet ölçüm ünitesi (IMU) (Liu, 2008).

Lazer ışınları; yüksek tekrarlama oranlarıyla toprağa yayılır ve cihaza geri yansıtılır. Lazer vericisinin içindeki bir ayna, Dünya'nın yüzeyini bir şerit şeklinde kaplamak için uçuş yönüne dik bir süpürme hareketi ile döner. Her lazer ışınının toprağa ulaşması ve geri dönmesi için geçen süre ve yayıldığı açı, yansıtıcı zemin noktasının göreceli konumunu belirlemek için kullanılır. Algılayıcı konumu genellikle bir saniye örnekleme hızında çalışan bir GPS alıcısı tarafından belirlenirken IMU oryantasyon özelliklerini, yani roll, pitch ve yaw (yalpalama,

yunuslama ve sapma) açısal değerlerini sağlar. Sonrasında lazer verileri arazideki lazer ayak izinin x, y, z koordinatlarını hesaplamak için algılayıcı konumu ve yönü ile birleştirilir (Brovelli ve diğerleri, 2002). Lazer ayak izinin matematiksel modeli Bölüm 2.3.1’de açıklanacaktır. Şekil 5’te bir hava LiDAR sistemi örneği görülmektedir.

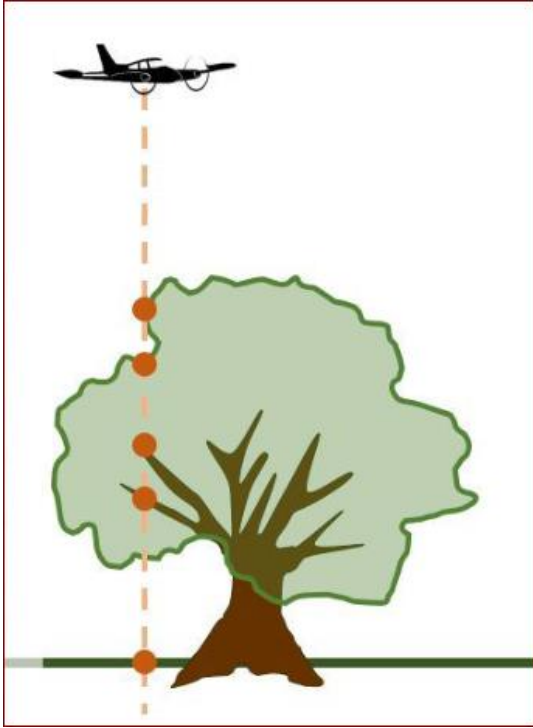


Şekil 5. Hava LiDAR sistemi (Yılmaz ve Uysal (2015)’ten alınmıştır).

LiDAR sistemleri, radar gibi aktif uzaktan algılama sistemleridir. Radar’dan farklı olarak mikro dalga yerine, lazer sinyallerini kısa elektromanyetik dalgalar halinde göndererek veri elde etmektedir (Çelik ve diğerleri, 2014). Arazi ölçmeleri ve fotogrametri gibi geleneksel yöntemler yüksek hassasiyetli arazi verileri sağlayabilir ancak yoğun emek ve zaman gerektirirler. Ayrıca bazı durumlarda örneğin ormanlık alanlarda, yükseklik verilerinin toplanması için bu yöntemleri kullanmak mümkün değildir. LiDAR, yüksek yoğunluklu ve yüksek hassasiyetli 3B veri toplama için bir alternatif sunar. LiDAR çıktısındaki çekici özelliklerden biri tarama alanındaki üç boyutlu nokta koordinatlarının doğrudan kullanılabilirliğidir. LiDAR verileri, temel bir dijital arazi bilgi kaynağı haline gelmiştir ve bina çıkarımı, 3B kentsel modelleme, hidrolojik modelleme, buzul izleme, toprak sınıflandırması, nehir bankası, kıyı yönetimi ve orman yönetimi gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir (Liu, 2008). Uydu görüntülerinde nesneler doğadaki şekilleri ile görüntülenirler. LiDAR verilerinde

ise her bir noktaya ait konum ve yükseklik bilgileri bulunmaktadır (Erbaş, 2016). LiDAR nokta bulutu, her biri koordinat ve yükseklik bilgileri içeren milyonlarca noktadan oluşan bir veridir.

Hava LiDAR sistemleri; ayırık dönüş veya tam dalga formu (full waveform) sistemleri olarak kategorize edilebilirler. Bir tam dalga formu sistemi, sürekli bir lazer radyasyonu atımı yayar ve analiz için tüm yansıyan enerjiyi kaydeder (Balenović ve diğerleri, 2013). Bu sayede Şekil 6'da görüldüğü gibi gönderilen tek bir lazer sinyali, bir objeye çarptıktan sonra parçalanarak algılayıcıya geri döner. Bu özellik, yoğun bitki örtüsünün bulunduğu bölgeler ve sık ormanlık alanlarda lazer sinyalinin ağaçların altında kalan topoğrafya, yerleşim, elektrik hatları gibi diğer tüm objelere ulaşabilmesine imkan sağlamaktadır.



Şekil 6. Lazer ışınının çoklu geri dönüşleri (Felix Rohrbach (2019)'dan alınmıştır)

LiDAR, 3B olan yükseklik yüzeyleri oluşturabilme ve ayrıca LiDAR intensity değerleri hakkında bilgi sahibi olma avantajına sahiptir. Dolayısıyla mekansal ve spektral bir segmentasyon aracıdır (Antonarakis ve diğerleri, 2008). Algılayıcı tarafından alınan optik sinyal, bir foto algılayıcı tarafından elektrik sinyaline dönüştürülür. Üretilen fotoakım veya voltaj daha sonra belirli bir geri dönüş için LiDAR şiddet değeri (intensity) olarak adlandırılan dijital bir sayıya (genellikle yansıyan ışığın gücünün yayılan ışığa oranını temsil eden yüzde

değeriyle ifade edilir) nicelenir (Liu, 2008). Las formatı [0 - 65535] (16 bit işaretli tamsayı) sabit bir "intensity" değer aralığına sahiptir.

Şekil 7’de çalışma alanına ait bir bölgeden intensity görüntüsü örneği verilmiştir. Tarama alanındaki objelerin kimyasal özellikleri hakkında bilgi veren intensity görüntülerinde tarayıcıdan gönderilen lazer ışını sudan en az, çatılardan ve metal vb. yüzeylerden ise daha fazla yansıtılmaktadır.



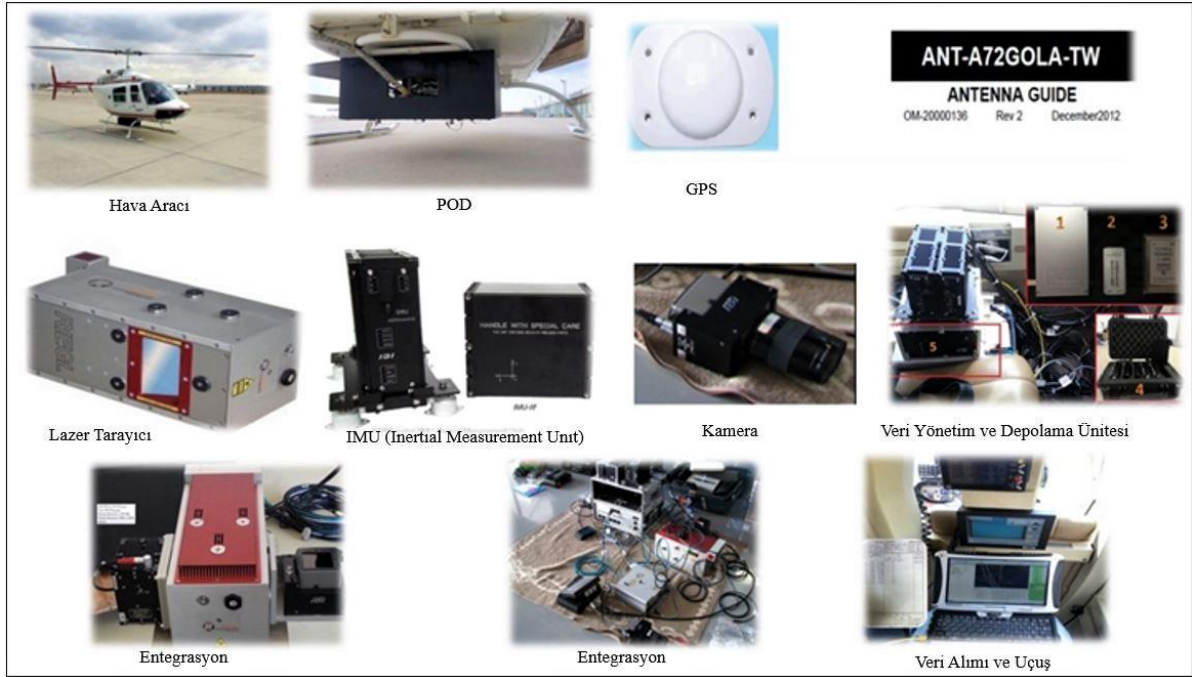
Şekil 7. Çalışma alanına ait bir bölgeden intensity görüntüsü örneği

Ham LiDAR verisi işleme süreçlerinden geçtikten sonra, Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği (ASPRS) tarafından geliştirilen binary bir format olan (.las) formatında kaydedilir. Las dosyası; LiDAR ölçümünün veri boyutu, uçuş tarihi, uçuş süresi, nokta kayıt sayısı, geri dönen nokta sayısı, veri ofsetleri ve uygulanan ölçek faktörü gibi nitelik bilgilerini tutar. Her bir lazer darbesi için (x, y, z) konum bilgisi, GPS zamanı, intensity bilgisi, dönüş numarası, dönüş sayısı, nokta sınıflandırma değerleri, tarama açısı, tarama yönü, uçuş hattı, dalga formu gibi öznelik bilgilerini içerir (ArcGIS Desktop, 2018).

LiDAR verilerinde özellikle düşey doğruluk çok önemlidir. Düşey doğruluğun belirlenmesi için LiDAR noktaları ile yersel yöntemlerle ölçülen noktaların karşılaştırılmasıyla hesaplanan, karesel ortalama hata (KOH) değerleri analiz edilir. Bitki örtüsüz alanlar için düşey doğruluk; $1,96 \times KOH$ olarak hesaplanır. Planimetrik doğruluk ise; $1,7308 \times KOH$ olarak ifade edilir (Lohani ve Ghosh, 2017). Hava şartları ve uçağın konumuna göre arazi yükseklik belirlemede ortalama 3 ile 30 cm, vejetasyon örtüsünün bulunmadığı düz alanlarda (yatay doğrultuda) 5 ile 50 cm arasında hata payı bulunur (Duran ve Daban, 2007).

2.2. Çalışma Alanında Kullanılan Veri Alım Ekipmanları ve Özellikleri

Çalışmada kullanılan hava LiDAR sistem bileşenleri; bir hava aracı, atalet ölçüm ünitesi, küresel konumlama sistemi, lazer tarayıcı, dijital kamera ve havacılık sektöründe POD adı verilen bir platformdur. Bir LiDAR veri alım sistemi örneği Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. LiDAR veri alım sistemi (Büyüksalih ve diğerleri (2019)’dan değiştirilmiştir).

Veri alımı uçuşlarında “Bell 206 JetRanger Light Utility” marka helikopter kullanılmıştır. Hava LiDAR çalışmalarında lazer tarayıcı, IMU ve dijital kamera hava aracına POD adı verilen bir platform aracılığı ile sabitlenmektedir. LiDAR verileri Riegl Q680i cihazı ile elde edilmiştir ve tarayıcı özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. GPS verileri için NovAtel OEM4 internal marka L1ve L2 GPS ve Glonass sinyallerini alabilen cihaz kullanılmıştır. IMU verileri ise IGI Aerocontrol/CCNS4 markalı cihazla elde edilmiştir. IMU, içerdiği jiroskop ve

ivme ölçerler ile hava aracının anlık açısal ve konumsal değişimlerini rölatif olarak ölçerek her saniye için 256 adet konum noktası ve dönüklük bilgisi üretmektedir.

Tablo 2. Riegl LSM-Q680i lazer tarayıcı teknik bilgileri (Reigl laser measurement systems (2019)'dan değiştirilmiştir)

Lazer sinyal tekrarlama oranı	400 KHz
Lazer dalgaboyu	Kızılötesi (1064 nm)
Lazer ışın sapması	≤ 0.5 mrad
Tarama mekanizması	Dönen poligon ayna
Tarama düzeni	Paralel tarama hatları
Tarama açısı mesafesi	+/- 30° = 60° toplamda
Tarama hızı	Saniyede 10 - 200 tarama hattı
Tarama açısı çözünürlüğü	0.001°
Intensity ölçümü	Yüksek çözünürlüklü 16-bit intensity bilgisi
Açısal adım genişliği	$\Delta\phi > 0.002^\circ$ (PRR 400 kHz için)

Tarama hızı uçuş planlamasına bağlı olup saniyede 200 tarama hattına ulaşabilmektedir. Teknik broşürlerde maksimum uçuş yüksekliği 80 kHz veri frekansı ile 1600 m, 400 kHz veri frekansı ile ise 800 m olarak verilmektedir (Reigl laser measurement systems, 2019).

Ayrıca LiDAR veri alımında IGI firmasının 60 megapiksel çözünürlüklü Igi Dıgıcam 60 dijital kamerası kullanılmıştır. Kamera, piksel büyüklüğü 6 mm olan 8956x6708 piksel içeren bir detektöre sahiptir (ECOGIS Ltd, 2018).

2.3. Ham LiDAR Verisini İşleme Adımları

Ham haldeki LiDAR verisinin anlamlı ve kullanılabılır hale gelmesi için bir takım işlem süreçlerinden geçmesi gerekmektedir. Veri işleme süreçleri için, Riegl&IGI (RiProcess, RiAnalyze, RiWorld, Aerooffice) yazılımları ve Microstation yazılımının Terrasolid modülü kullanılmıştır. Ham verinin elde edilmesinden sonra veri doğruluğunun sağlanması için öncelikle sistem kalibrasyonu aşamasının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

2.3.1. Sistem kalibrasyonu

Bir LiDAR sisteminden türetilmiş nokta bulutunun kalitesi; sistem ölçümlerindeki ve parametrelerindeki rastgele ve sistematik hatalara bağlıdır. Rastgele hataların büyüklüğü; GPS/IMU' dan alınan konum ve yönlendirme ölçümleri, ayna açıları ve menzilleri içeren sistemin ölçümlerinin doğruluğuna bağlıdır. Diğer yandan sistematik hatalar temel olarak, sistem bileşenleriyle ilgili boresight parametrelerindeki ve sistem ölçümlerindeki yanlışlıklardan kaynaklanmaktadır (Habip ve diğerleri, 2008). Boresight parametreleri (açıları) tarayıcı ile IMU eksenleri arasındaki açısal ofsetlerdir. LiDAR teknolojisinden elde edilen genel doğruluk ve belirsizlik, üç sistem bileşeninin (GPS, IMU ve lazer tarama cihazı) birleştirilmesine ve kalibrasyonuna bağlıdır (Gonçalves ve Jalobeanu, 2011).

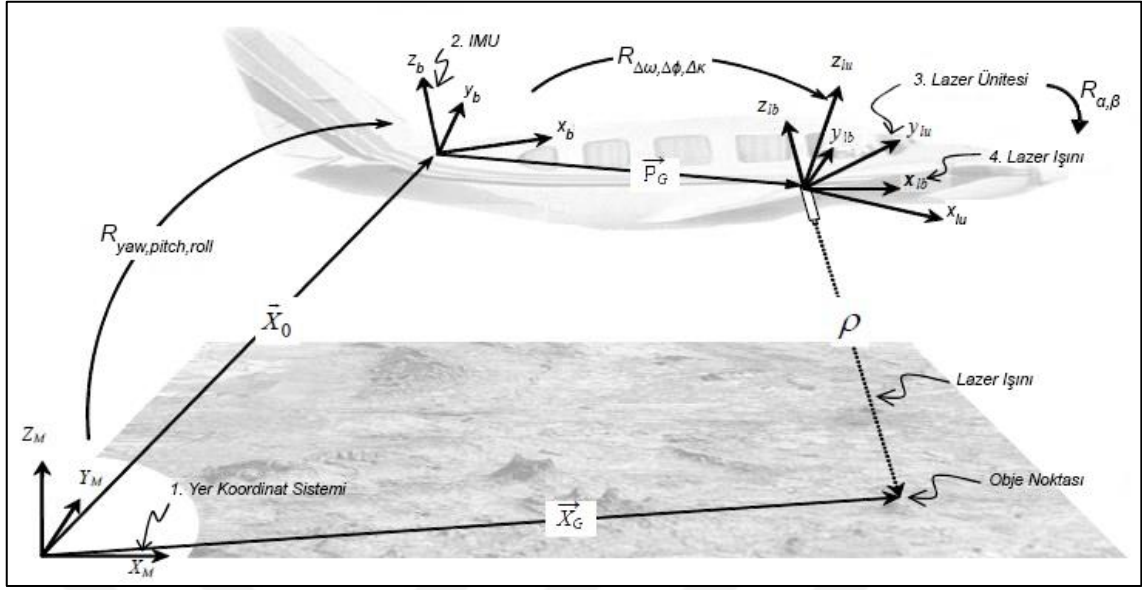
Sistem kalibrasyonu ihtiyacı LiDAR noktalarının koordinatlarının; lazer tarama ünitesi tarafından yapılan ölçümlerin, konumlandırma ve yönlendirme ünitesi tarafından yapılan gözlemlerle birleştirilmesinin sonucu olmasından kaynaklanmaktadır (Gonçalves ve Jalobeanu, 2011). LiDAR sistem kalibrasyonu, bir LiDAR sisteminin nihai ürününün konumsal doğruluğunu sağlamak için bireysel algılayıcı ölçümlerindeki sapmalar tarafından tanımlanan modelleri ve montaj parametrelerini temel alan, sistem parametrelerini belirlemektedir (Bang, 2010).

LiDAR ayak izlerinin koordinatları, sistem bileşenlerinden elde edilen ölçümlerin yanı sıra, bu tür bileşenlere ilişkin boresight parametrelerinin birleştirilmesinin sonucunda ortaya çıkmaktadır. Sistem ölçümleri ve parametreler arasındaki ilişki Eşitlik (2.1)'deki LiDAR denkleminde somutlaştırılmıştır (Habip ve diğerleri, 2008).

Şekil 9, ilgili koordinat sistemleri ile birlikte bir LiDAR sisteminin şematik diyagram örneğini göstermektedir.

$$\vec{X}_G = \vec{X}_0 + R_{yaw,pitch,roll} \vec{P}_G + R_{yaw,pitch,roll} R_{\Delta\omega,\Delta\phi,\Delta\kappa} R_{\alpha,\beta} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\rho \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Eşitlik (2.1)'de lazer ayak izinin pozisyonunun hesaplanmasında, Habip ve diğerleri (2008) tarafından önerilen denklemin bileşenleri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 9. LiDAR eşitliğinde koordinat sistemleri (Habip ve diğerleri (2008)'den değiştirilmiştir).

$\vec{X}_G$: Lazer ayak izinin pozisyonu; $R_{yaw,pitch,roll}$, $R_{\Delta\omega,\Delta\phi,\Delta\kappa}$, $R_{\alpha,\beta}$ rotasyonları uygulandıktan sonra, üç vektörün ($\vec{X}_0$, $\vec{P}_G$, ρ) toplamı ile elde edilir.

$\vec{X}_0$: Yer koordinat sisteminin merkezinden, IMU koordinat sisteminin merkezine olan vektördür.

$\vec{P}_G$: Lazer ünitesi ile IMU koordinat sistemi arasındaki ofsettir (Leverarm ofseti).

ρ : Lazer aralık vektörü, lazer ateşleme noktasından ayakzine olan mesafeye eşdeğer bir lazer menzili vektörüdür.

$R_{yaw,pitch,roll}$: Yer ve IMU koordinat sistemleriyle ilgili rotasyon matrisidir.

$R_{\Delta\omega,\Delta\phi,\Delta\kappa}$: IMU ve lazer ünitesi koordinat sistemleri ile ilgili rotasyon matrisidir (Açısal boresight).

$R_{\alpha,\beta}$: Lazer ünitesini ve lazer ışını koordinat sistemlerini, α ve β ayna tarama açıları ile ilişkilendiren dönme matrisini ifade eder.

α, β : Tarama açılarıdır.

Sistem kalibrasyonu; doğrusal düzeltmelerin hesaplandığı leverarm ölçümü ve açısal düzeltme değerlerinin hesaplandığı boresight kalibrasyonu aşaması olmak üzere iki safhaya ayrılır.

2.3.1.1. Leverarm ölçümü

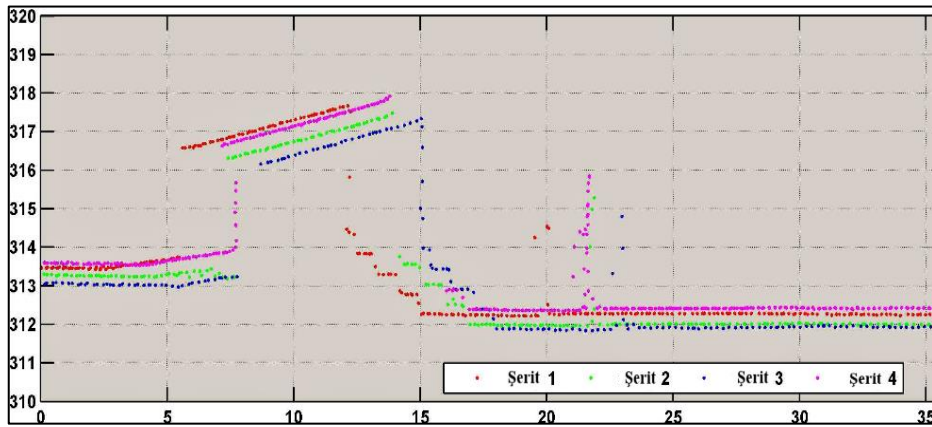
LiDAR çalışmalarında her hava aracının bir koordinat sistemi olup bu sistemin merkezi IMU'nun merkezi olarak kabul edilmektedir. Leverarm ölçümü; LiDAR verilerindeki bir takım sistematik hataların elimine edilebilmesi amacıyla IMU'nun koordinat merkezinden lazer tarayıcı, GPS ve dijital kameranın bu merkeze olan x,y,z eksenlerindeki mesafelerinin hassas olarak belirlenmesi işlemidir. Çalışmada tarayıcı ve kamera eksenleri kumpas yardımıyla, GPS leverarmı ise yersel lazer tarayıcı ile tespit edilmiştir. Sonuçlar Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Leverarm değerleri

Leverarm Tarayıcı	Leverarm Kamera	Leverarm GPS
x = -0,05670 m	x = -0,03089 m	x=-6,730 m
y = -0,16920 m	y = -0,38085 m	y=-0,080 m
z = -0,01968 m	z = 0,07943 m	z=-2,690 m

2.3.1.2. Boresight kalibrasyonu

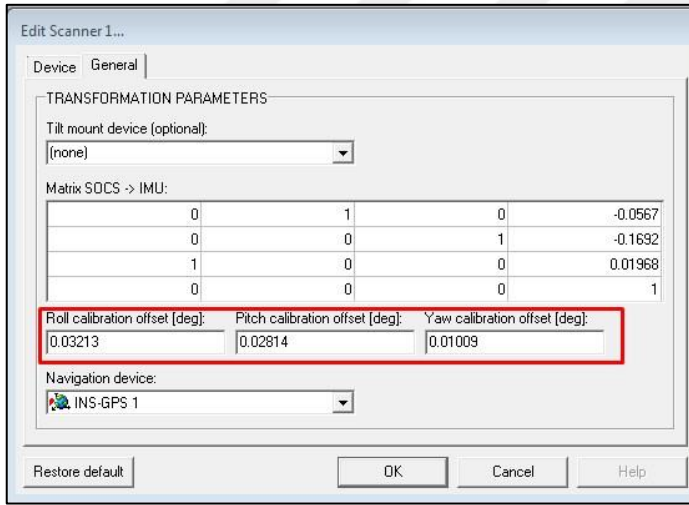
Lazer tarayıcı ve IMU, bağımsız koordinat sistemlerine sahiplerdir. Tarayıcı düzeneği kablolarla öne monte edilirse x eksenini uçağın burnuna pozitif, y eksenini uçağın sağ kanadına pozitif ve z eksenini yere pozitif çıkılmaktadır. İki koordinat sistemi eksenleri paralel olmalıdır fakat IMU ile lazer tarayıcı koordinat eksenleri arasında küçük bir açı vardır ve bu açısal farka boresight hatası denir. x eksenini etrafındaki dönüklük roll, y eksenini etrafındaki dönüklük pitch, z eksenini etrafındaki dönüklük ise yaw (heading) olarak adlandırılır (Yuan ve diğerleri, 2014). Şekil 10'da, 4 şeritlik bir taramada boresight hatalarının etkisi görülmektedir.



Şekil 10. Boresight hatalarının etkisi (Gonçalves ve Jalobeanu (2011)'den değiştirilmiştir).

Roll (yalpalama) hatası; verileri alanın bir tarafında yukarı diğer tarafında ise aşağı doğru taşır. Düz alanda daha belirgindir. Pitch (yunuslama) hatası, tüm verileri ileri veya geri taşır. Roll ve pitch hataları ile karşılaştırıldığında yalnızca sol-sağ değil ileri-geri ofsetle de sonuçlanması nedeniyle yaw (sapma) hatası karmaşıktır ve bu nedenle en zor olanı yaw kalibrasyonudur (Yuan ve diğerleri, 2014).

Boresight kalibrasyonu için, proje alanında yerleşimin olduğu bir bölgede test uçuşu yapmak gerekmektedir. Burada, IMU ile lazer tarayıcı arasındaki açısal farklar belirlenir. Bu açısal farklar Riprocess yazılımında; roll, pitch ve yaw eksenlerinde tanımlanmaktadır. Test uçuşunun yerleşim alanında yapılmasının sebebi, çatı yüzeylerinin uçuş şeritleri arasındaki farkı (özellikle pitch ve yaw hatalarını) daha açık yansıtmasıdır. Yazılımda farklı uçuş şeritleri arasında yüzeyler aranır ve eşleştirme yapılır. İterasyonlar sonrasında, eşleşen yüzeylerin ağırlıklı ortalaması hesaplanarak, lazer tarama cihazı ve IMU arasındaki açısal farklar belirlenir. Şekil 11’de görüldüğü gibi, hesaplanan kalibrasyon değerleri Riprocess yazılımı ile tarayıcıya tanıtılır.



Şekil 11. Boresight değerlerinin tarayıcıya tanıtılması

2.3.2. Tarayıcı nokta yoğunluğu

İstenen özelliklere sahip veri elde etmek için LiDAR algılayıcısının çalışma parametrelerine ve uçakların uçuş parametrelerine önceden karar verilmelidir. Bir projenin maliyetini azaltmak için, uçuş saatlerinin en aza indirilmesi önemlidir. Bu sebeple uçuş planlaması sahada veri alınmasından önce yapılır. Uçuş planlama; istenen veri özelliklerini garanti altına alacak ve ayrıca veri toplama maliyetini en aza indirecek olan algılayıcı ve uçuş

parametrelerini oluşturur (Lohani ve Ghosh, 2017). Çalışmanın uçuş planları, IGIplan yazılımı ile yapılmıştır. Büyük çalışma alanlarında yükseklik farkları mevcut olduğundan, uçuş yüksekliklerinin belirlenmesinde (SRTM, ASTER DEM) SYM'lerden faydalanılmıştır.

Bir LiDAR verisinden üretilecek modelde en önemli parametre metrekaareye düşen lazer nokta sayısı yani verideki nokta yoğunluğudur. Bu parametre veri frekansı, uçuş hızı, tarama genişliği ve uçuş yüksekliği ile direkt ilgili olduğundan, uçuş planlaması sırasında dikkatle hesaplanmalıdır. LiDAR verisinden üretilen SYM'lerin hassasiyetinin nokta yoğunluğu ile doğru orantılı olduğu yapılan birçok çalışmada belirtilmektedir. Çalışma alanında metrekaareye düşen lazer nokta sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

500 m uçuş yüksekliğinde, 400 kHz veri frekansı ve 60° açıyla; tarama genişliği 577,4 m'dir (Şekil 12).

Uçuş hızı = 80 knot

1knot = 0,514444 m/sn

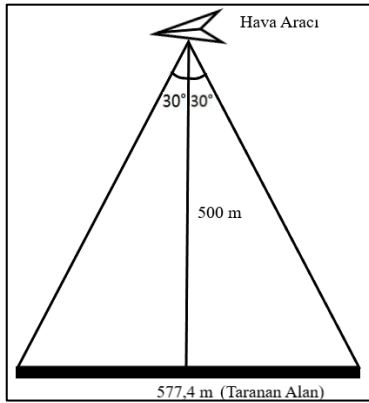
80 knot = 41,1555 m/sn

1 sn için taranacak alan büyüklüğü = Uçuş hızı x Tarama genişliği

41.1555 x 577,4 = 23.763,1857 m² olacaktır.

Buradan m²'ye düşecek nokta sayısı = Veri frekansı / Taranan alan büyüklüğü (1sn'de)

400.000 / 23.763,1857 =16,8 nokta olarak hesaplanmıştır.



Şekil 12. 500 m uçuş yüksekliğinde tarama özellikleri

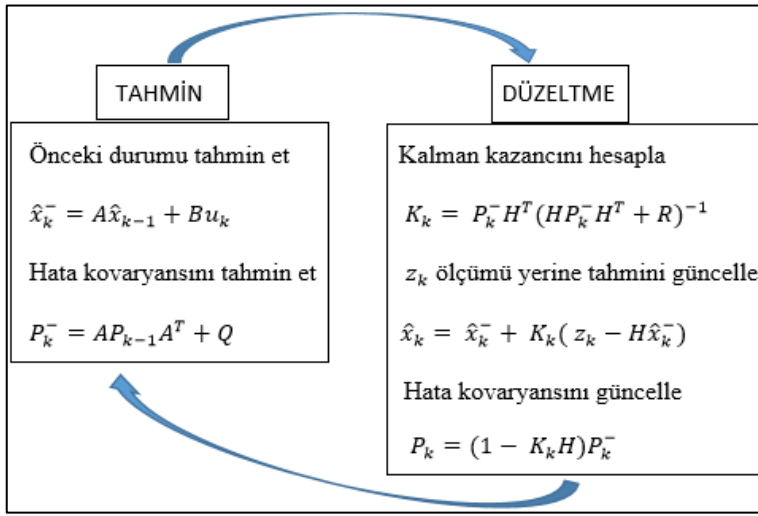
2.3.3. Uçuş yörüngesi dosyalarının (trajectory) üretimi

Uçuş yörüngesi (trajectory), her bir lazer ışınının gönderilme anındaki uçağın konum ve yön bilgilerini içeren veridir. GNSS çözümü, IMU gözlemleriyle entegre edilerek hesaplanır (Lohani ve Ghosh, 2017). Bu veri, hava aracının anlık konum bilgilerini, açısız dönüklük

değerlerini ve zaman bilgilerini içermektedir. Çalışma alanında uçuş yörüngesi (trajectory) verisi, AeroOffice yazılımı ile üretilmiştir ve lazer tarama verisinin her 1 sn'lik doğruluğu için gereklidir. Düzeltmeler yapıldıktan sonra dosya .pof (konum ve oryantasyon dosyası) uzantısı ile elde edilir.

2.3.4. Kalman filtreleme

LiDAR nokta bulutlarının işleme sürecinde IMU sisteminden gelen hataların elimine edilmesi amacıyla GPS/IMU verilerinden hesaplanan konum farkları “Kalman Filtreleme” metodu ile işleme sokulur. Şekil 13'te kalman filtresinin matematiksel modeli gösterilmektedir.



Şekil 13. Kalman filtresinin matematiksel modeli (Çayıroğlu (2012)'den değiştirilmiştir).

Kalman filtresi; her adımda hatalı gözlem girdi verilerini işleyen bir tahmin modeli ve bir gözlem modeli kullanarak, gerçek sistem durumunun istatistiksel olarak optimal bir tahminini üreten verimli, özyinelemeli, matematiksel bir algoritmadır. Filtrenin temel işleyişi iki aşamada kavramsallaştırılmıştır. İlk aşama; bir sistem gelişim tahmin modeli kullanılarak önceki durumdan bir önsel sistem durumu tahmini ürettiği için, tahmin aşaması olarak adlandırılır. Güncelleme aşaması olarak bilinen ikinci aşama, önceki kestirim tahminini düzelterek bir sonraki durum tahmini üretmek için sistemdeki ölçümleri dikkate alır. Bu iki aşamalı işlem, ilk tahmini durumla başlar ve filtreleme sona erene kadar bir döngüde tekrarlanır (Gil ve diğerleri, 2013).

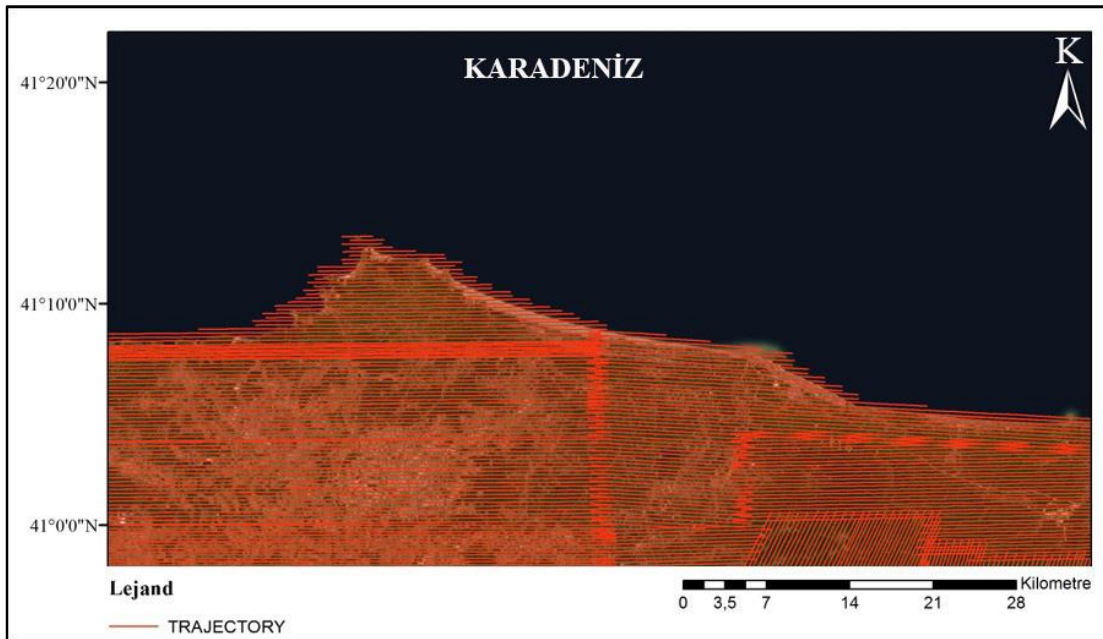
Burada k , durumları gösterir. $\hat{x}_k^-$, k durumundan önceki durum tahmini ve x_{k-1} , $k-1$ durumundaki tahmindir. u_k , sisteme dışarıdan uygulanacak kontrol sinyali, A , B , H ; matrislerin genel gösterimidir. Aslında durum matrisleridir ve sistemin transfer fonksiyonundan elde

edilmektedirler. Çoğunlukla işlem kolaylığı açısından bu matrisler 1 gibi sabit bir değer alabilirler. P_k^- ; hata kovaryansının önceki durumu, P_k ise hata kovaryansıdır (hatanın ortak değişme miktarı) (Göl, 2015).

z_k , sistem algılayıcılarından elde edilen ölçüm vektörüdür. K_k , güncelleme aşamasında z_k ölçüm vektörünü tanıtan kalman kazanç matrisidir. Q; proses tahminlerinin ağırlığını bir araya getiren tahmin aşaması gürültüsünün proses gürültü kovaryansı matrisidir. R; güncelleme aşamasındaki gürültünün gözlem gürültü kovaryansı matrisidir ve bu değer ölçümlerin her birine güven derecesini değerlendirir (Gil ve diğerleri, 2013).

Kalman filtresi uygulanan sistemde model tahmini gözlem ile karşılaştırılır ve bu fark kalman kazancı olarak bilinen bir çarpan ile ölçeklendirilir ki bu daha sonra sıradaki tahminleri iyileştirmek için modele bir girdi olarak geri beslenir (Göl, 2015).

GrafNAV yazılımında, sabit istasyondan gelen koordinat verileri “base station”, hava LiDAR sisteminden gelen koordinat bilgileri ise “remote data” olarak işleme girilerek; hava aracının her 1sn’lik koordinat verilerine düzeltmeler getirilir. GNSS verisi sabit istasyonlardan kalman filtreleme yöntemi ile elde edilir ve IMU verisiyle işleme sokulur. Böylece, doğruluğu artırılmış .pof uzantılı uçuş yörüngesi (trajectory) dosyası üretilir. Sonuç dosyadaki hatalar; x ve y koordinatları için 2-3 cm, z koordinatı için ise 5 cm civarında elde edilmiştir. Çalışma alanındaki uçuş yörünge (trajectory) verileri, Şekil 14’te görülmektedir.

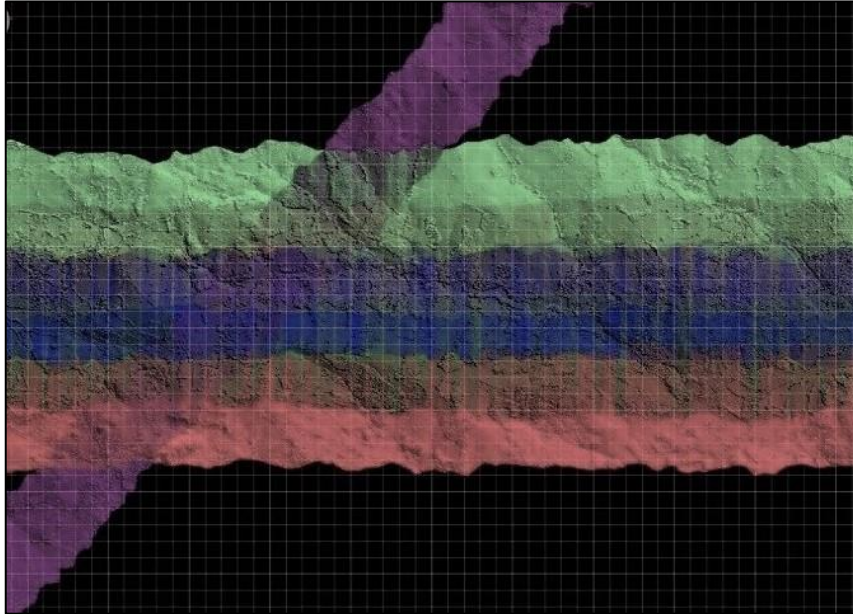


Şekil 14. Çalışma alanındaki uçuş yörüngeleri (trajectory) verilerinin görünümü

2.3.5. Uçuş şeritlerinin dengelenmesi

LiDAR sisteminin kalibrasyonu LiDAR ürünlerinin gerekli hassasiyeti karşıladığından emin olmak için yapılırken şerit ayarı, üst üste binen şeritler arasındaki uyumluluğu geliştirmek için uygulanır. 3B nokta bulutu koordinatları kullanılarak, üst üste gelen şeritler arasındaki tutarsızlık azaltılır ya da ortadan kaldırılır (Bang, 2010). Ek olarak örtüşen şeritlerle ilgili tahmini dönüşüm parametreleri, sistem kalibrasyonunun kalitesini doğrulamak için kullanılabilir. Sistem parametrelerinde hata olmadığında, şeritlerin herhangi bir kaymaya ya da dönmeye gerek kalmadan birbiriyle çakışması gerekir. Başka bir deyişle rotasyonlardan önemli sapmalar veri toplama sistemindeki sistematik hataların varlığının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Komşu şeritler arasındaki uyumluluğun artırılması, farklı şeritlerin ortak bir referans çerçevesine birlikte hizalanması olarak görülebilir (Habip ve diğerleri, 2008).

Uçuş şeritleri arasındaki dengeleme işlemi; Riprocess yazılımında farklı şeritler arasında düzlem arama, hatalı eşleşen düzlemlerin elimine edilmesi, sonrasında da eşleşen ortak düzlemlerle açısız ve konumsal düzeltme değerlerinin hesaplanması mantığıyla gerçekleştirilir. Düzlemler, genellikle bina çatılarından seçilir. Dengeleme doğruluğunun artırılması amacıyla, Şekil 15'te görüldüğü gibi her blok için şeritleri çapraz kesecek şekilde ek uçuşlar yapılmaktadır.



Şekil 15. LiDAR çapraz uçuş şeridi örneği

manuel olmak üzere iki ayrı yöntemle yapılabilmektedir. Genellikle sınıflandırmada izlenen yol, noktaların önce makrolar kullanılarak otomatik olarak sınıflandırılması ve sonrasında belli aralıklarla kesitler alınarak (elle sınıflandırma) doğruluğun artırılmasıdır. Çalışma alanı kapsamındaki nokta bulutu verisi Microstation yazılımının TerraScan modülü altında oluşturulan makrolar ile otomatik olarak sınıflandırılmış sonrasında kesitler alınarak hatalı sınıflandırılan noktalar, doğru sınıflara atanmıştır.

Terrascan yazılımında kullanılan Axelsson'un yöntemine göre, komşuluk analizlerinden TIN yapısı oluşturulmaktadır (Demir ve Acar, 2007). Üçgen ağ modeline dayalı bu algoritma TerraScan firması tarafından iyileştirilerek LiDAR verisi işleme yazılımına entegre edilmiştir. Bu tekniğin temeli; nokta bulutunun gridlere bölünüp her griddeki en düşük yüksekliğe sahip noktaların belirlenerek zemin noktası olarak kabul edilmesi ve daha sonra bu noktalardan delaunay üçgenlemesi yapılmasına dayanır. Veri setindeki tüm noktalar için ait oldukları üçgen yüzeyi ile arasındaki mesafe ve test noktasına en yakın üçgen köşe elemanı ile üçgen yüzeyi arasındaki kalan açı bulunur. Bu değerler belirtilen parametrelerin altında kalıyorsa test noktası zemin noktası olarak, tersi durumda ise obje noktası olarak sınıflandırılır ve sıradaki test noktasına geçerek her bir nokta için bu deneme yapılır (Varlık ve Uray, 2017). Axelsson filtreleme aşamalarını öncelikle alçak seviyede bulunan hatalı noktaların belirlenmesi ve yer yüzeyi noktalarının sınıflandırılması olarak ifade etmiştir (Demir ve Acar, 2007).

Sınıflandırmaya başlamak için mevcut nokta bulutu verisi öncelikle Terrascan yazılımında default (varsayılan) olarak nitelendirilmiştir. Sınıflara atanacak değerler çalışma alanının özellikleri ve tez çalışmasının beklentileri doğrultusunda belirlenerek makrolar yazıldıktan sonra aşama aşama uygulanıp, sınıflar otomatik olarak çıkarılmıştır. Büyüksalih ve diğerleri (2019)'a göre; otomatik sınıflandırma %90 doğruluk sağlamaktadır. Sınıflandırma problemleri ise genelde yüksek bitki örtüsüne yakın binalarda ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4'te ASPRS (Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği) tarafından belirlenen LiDAR noktası sınıfları görülmektedir. Çalışmada Terrascan yazılımında kullanılan makrolarda alçak bitki örtüsü sınıfı için 0-25cm yüksekliğindeki bitki örtüsü, orta bitki örtüsü sınıfı için 25-250 cm yüksekliğindeki bitki örtüsü ve yüksek bitki örtüsü sınıfı için 250 cm üzeri yüksekliğindeki bitki örtüsü tanımlanmıştır. Sınıflandırılmış nokta bulutu örneği, Şekil 17'de verilmiştir.

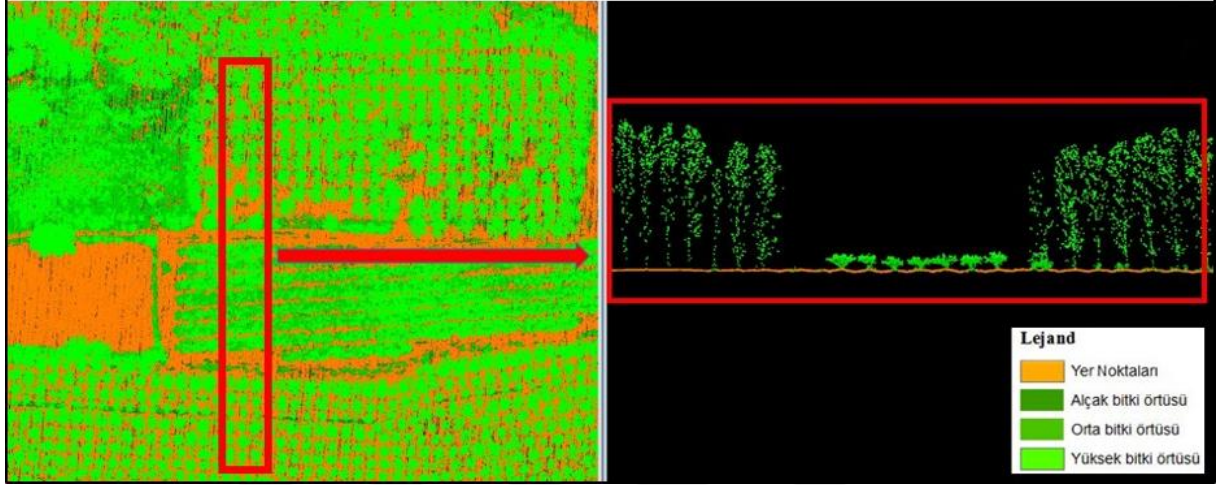
Tablo 4. ASPRS standart LiDAR noktası sınıfları (The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (2018)'den değiştirilmiştir.)

Sınıflandırma Değeri	Sınıf
0	Oluşturulmuş, Sınıflandırılmamış
1	Sınıflandırılmamış
2	Yer noktaları
3	Alçak bitki örtüsü
4	Orta bitki örtüsü
5	Yüksek bitki örtüsü
6	Bina
7	Yer noktaları altındaki noktalar
8	Model key-point (Arazi modeli)
9	Su
10	ASPRS Tanımı için ayrılmıştır
11	ASPRS Tanımı için ayrılmıştır
12	Bindirme alanı noktaları
13-31	ASPRS Tanımı için ayrılmıştır



Şekil 17. Sınıflandırılmış nokta bulutu örneği

Otomatik sınıflandırma sonuçlandıktan sonra SYM üretiminde ana veri olarak da kullanılacak olan yer noktaları (ground) sınıfının yüksek doğruluklu olarak belirlenmesi için her bir pafta kesitler alınarak taranmıştır (Şekil 18). Bu tarama işlemi sırasında yanlış sınıflandırılmış olduğu tespit edilen noktalar, program komutları yardımıyla uygun sınıflara atanmıştır.

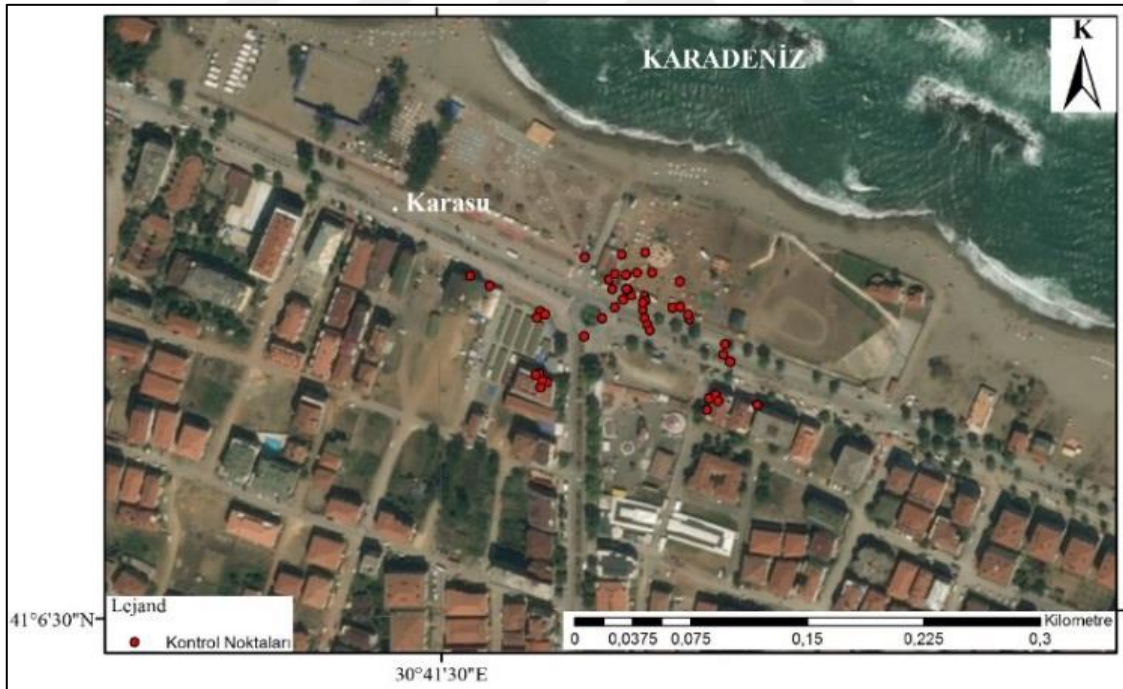


Şekil 18. Kesit alma işlemi örneği

3. BULGULAR

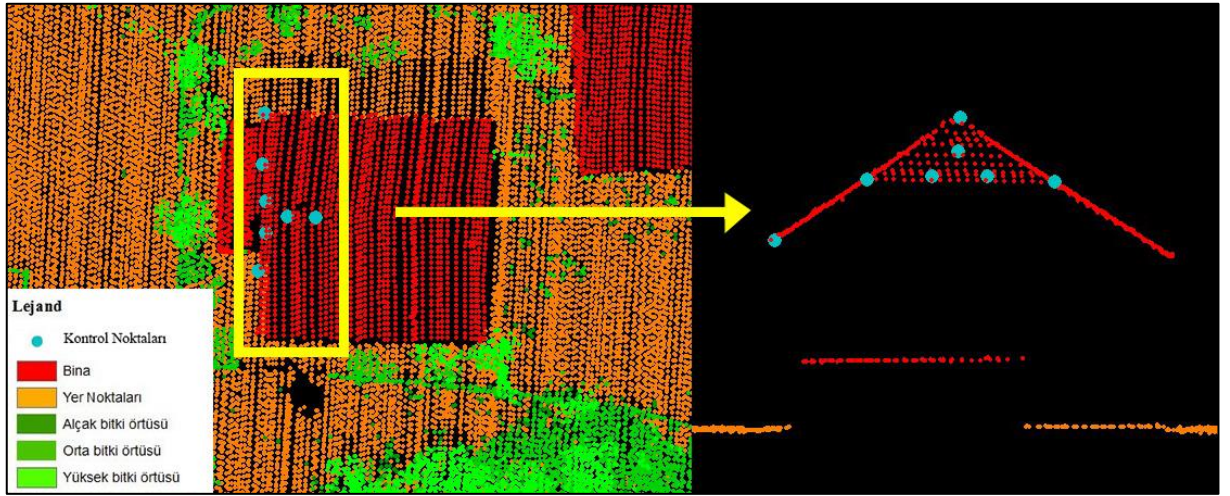
3.1. LiDAR Verisinin Doğruluk Analizi

Tez çalışmasında LiDAR nokta bulutu verisinin 2. Bölümde açıklanan işleme süreçleri ile hataları giderilmiş sonrasında da sınıflandırılmıştır. LiDAR nokta bulutu verisinin dış doğruluğunun belirlenmesi amacıyla çalışma alanı içinde yersel yöntemlerle ölçülmüş kontrol noktalarından, alana homojen olarak dağılan 30 nokta seçilmiş ve her bir kontrol noktası için en yakın mesafedeki lazer noktasının koordinatı okunarak, toplam 60 nokta arasında x, y, z koordinatları karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki kontrol alanlarının dağılımı Bölüm 2.3.5'te Şekil 16'da verilmiştir. Şekil 19'da, Karasu kıyılarından bir alandaki kontrol noktaları görülmektedir.



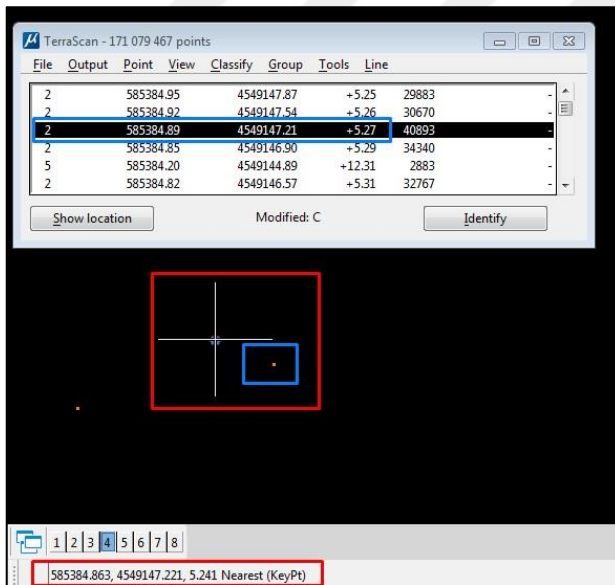
Şekil 19. Kontrol noktaları

Yersel yöntemlerle ölçülmüş kontrol noktalarını içeren bir nokta bulutu kesit görüntüsü örneği de Şekil 20'de verilmiştir



Şekil 20. Nokta bulutu üzerinde kontrol noktaları (mavi) ve kesit görünümü örneği

Noktaların koordinat okumaları Microstation yazılımının Terrascan modülü kullanılarak yapılmıştır. Şekil 21’de koordinat okuması ekran görüntüsü örneği sunulmuştur. Kontrol noktası ve koordinatı kırmızı çerçeve içine alınmış, lazer noktası ve koordinatı ise mavi çerçeve içine alınmıştır.



Şekil 21. Kontrol noktaları (kırmızı çerçeve) ve lazer noktası (mavi çerçeve) koordinat okuması

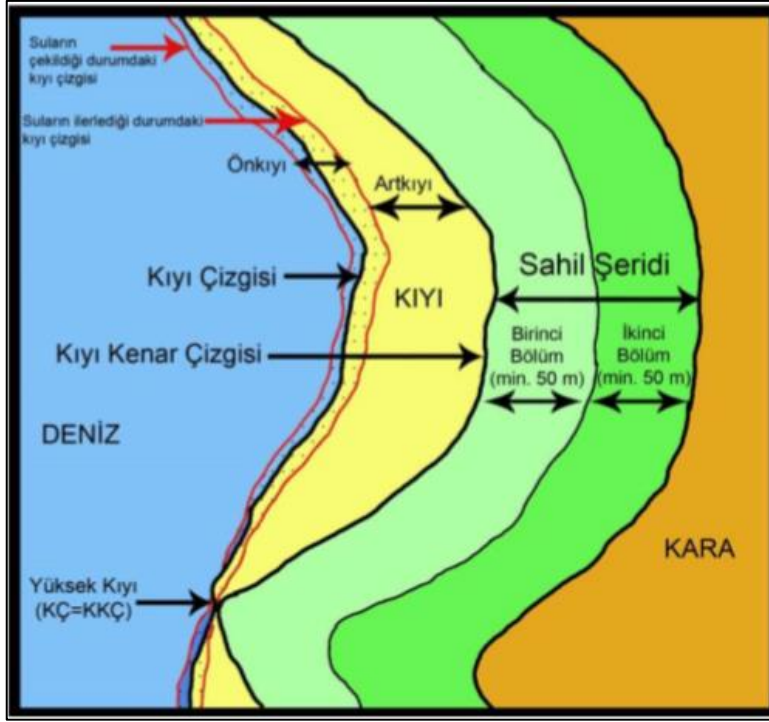
Koordinat okuması ile elde edilen değerlerin hesaplanması sonucunda bulunan KOH değerleri; $m_x = 0,053$ m, $m_y = 0,048$ m, $m_z = 0,038$ m’dir. Koordinatlar ve hesaplamalar, Tablo 5’te görülmektedir.

Tablo 5. Karesel ortalama hata hesabı

Laser Noktası			Kontrol Noktası			Karesel Ortalama Hata Hesabı					
X	Y	Z	X	Y	Z	ϵ_x	ϵ_x^2	ϵ_y	ϵ_y^2	ϵ_z	ϵ_z^2
500980,26	4554272,88	48,07	500980,262	4554272,946	48,149	0,002	4E-06	0,066000001	0,004356	0,079	0,006241
506936,68	4554816,01	8,04	506936,751	4554816,039	8,072	0,071	0,005041	0,029	0,000841	0,032	0,001024
506937,29	4554817,45	8,08	506937,239	4554817,365	8,116	-0,051	0,002601	-0,085	0,007225	0,036	0,001296
521646,47	4562201,05	4,02	521646,424	4562201,056	3,96	-0,046	0,002116	0,006	3,6E-05	-0,06	0,0036
527028,4	4562575,01	22,39	527028,459	4562574,935	22,404	0,059	0,003481	-0,075	0,005625	0,014	0,000196
529417,29	4560808,8	7,97	529417,229	4560808,722	7,963	-0,061	0,003721	-0,078	0,006084	-0,007	4,9E-05
529393,87	4560749,31	7,06	529393,815	4560749,33	7,039	-0,055	0,003025	0,02	0,0004	-0,021	0,000441
548692,12	4554616,4	5,7	548692,188	4554616,447	5,729	0,068	0,004624	0,046999999	0,002209	0,029	0,000841
553190,83	4553878,15	2,13	553190,823	4553878,23	2,097	-0,007	4,9E-05	0,08	0,0064	-0,033	0,001089
576383,12	4549089,19	4,88	576383,21	4549089,226	4,891	0,09	0,0081	0,035999999	0,001296	0,011	0,000121
579522,02	4549047,57	7,34	579522,105	4549047,515	7,346	0,085	0,007225	-0,055000001	0,003025	0,006	3,6E-05
585371,42	4549111,45	9,54	585371,351	4549111,48	9,47	-0,069	0,004761	0,03	0,0009	-0,07	0,0049
585378,83	4549135,21	6,19	585378,77	4549135,287	6,155	-0,06	0,0036	0,077	0,005929	-0,035	0,001225
585376,63	4549157,42	4,93	585376,586	4549157,37	4,889	-0,044	0,001936	-0,05	0,0025	-0,041	0,001681
585384,89	4549147,21	5,27	585384,863	4549147,221	5,241	-0,027	0,000729	0,011	0,000121	-0,029	0,000841
556535,61	4549687,21	8,26	556535,528	4549687,197	8,24	-0,082	0,006724	-0,013	0,000169	-0,02	0,0004
527015,47	4562573,67	22,61	527015,441	4562573,653	22,615	0,029	0,000841	0,017	0,000289	-0,005	2,5E-05
529401,78	4560759,27	7,01	529401,758	4560759,328	7,015	0,022	0,000484	-0,058	0,003364	-0,005	2,5E-05
499808,96	4549319,43	83,33	499808,991	4549319,475	83,329	-0,031	0,000961	-0,045	0,002025	0,001	1E-06
505348,68	4552855,74	68,4	505348,661	4552855,745	68,366	0,019	0,000361	-0,005	2,5E-05	0,034	0,001156
505384,91	4552855,73	65,91	505384,855	4552855,728	65,873	0,055	0,003025	0,002	4E-06	0,037	0,001369
508685,42	4552692,19	39,94	508685,453	4552692,206	39,995	-0,033	0,001089	-0,016	0,000256	-0,055	0,003025
508656,44	4552600,17	40,19	508656,443	4552600,097	40,196	-0,003	9E-06	0,073	0,005329	-0,006	3,6E-05
511430,42	4552935,62	68,77	511430,44	4552935,68	68,782	-0,02	0,0004	-0,06	0,0036	-0,012	0,000144
505394,44	4552839,57	70,45	505394,514	4552839,551	70,458	-0,074	0,005476	0,019	0,000361	-0,008	6,4E-05
505376,79	4552874,97	69,04	505376,804	4552874,94	69,017	-0,014	0,000196	0,029999999	0,0009	0,023	0,000529
571427,51	4549471,68	6,2	571427,504	4549471,692	6,105	-0,006	3,6E-05	0,012	0,000144	-0,095	0,009025
528587,99	4555517,85	74,39	528588,044	4555517,879	74,386	0,054	0,002916	0,029	0,000841	-0,004	1,6E-05
526681,34	4555202,81	46,77	526681,363	4555202,848	46,788	0,023	0,000529	0,038000001	0,001444	0,018	0,000324
526507,19	4560188,91	29,96	526507,101	4560188,945	29,995	-0,089	0,007921	0,035	0,001225	0,035	0,001225
						$\Sigma \epsilon_x^2 = 0,081981$		$\Sigma \epsilon_y^2 = 0,066923$		$\Sigma \epsilon_z^2 = 0,040945$	
						$m_x = \pm 0,05317$		$m_y = \pm 0,048042$		$m_z = \pm 0,037577$	

3.2. Çalışma Alanının Kıyı Çizgisi Üretimi

Kıyı sadece sabit bir çizgi olmayıp hem karasal hem de denizel yönde etki alanı olan ve birçok coğrafi koşuldan etkilenen bir alandır. Bu alanın içindeki kıyı kavramları; kıyı, kıyı çizgisi, kıyı kenar çizgisi, sahil şeridi, önkıyı ve artkıyı gibi terimlerdir (Garipağaoğlu ve Uzun, 2014). Şekil 22’de kıyının bölümleri görülmektedir.



Şekil 22. Kıyının bölümleri (Garipağaoğlu ve Uzun (2014)’ten alınmıştır)

Kıyı alanlarının belirlenmesinde en önemli kavram kıyı çizgisidir. Kıyı, kara ile suyun yatay değinim yeri olarak da ifade edilmektedir. Yatay değinim yeri deyiminin su ve karanın kesiştiği noktayı belirttiği düşüncesinden hareketle, suyun karaya değdiği noktalardan oluşan çizgi, kıyı çizgisi olarak ifade edilmektedir. Okyanus, deniz, göl ve akarsu sularının normal şartlar altında kara parçasına değdiği noktaların birleştirilmesinden oluşan, zaman içinde iç ve dış kuvvetlerin etkisiyle değişebilen doğal çizgidir. 3621 Sayılı Kıyı Kanunu’na göre kıyı çizgisi; deniz, tabii ve suni göl ile akarsularda taşkın durumları dışında, suyun karaya değdiği noktaların birleşmesinden oluşan çizgiyi ifade eder (Gazioğlu ve diğerleri, 2013).

Kıyı kenar çizgisi; deniz, tabii ve suni göl ile akarsuların alçak-basık kıyı özelliği gösteren kesimlerinde kıyı çizgisinden sonraki kara yönünde su hareketlerinin oluşturduğu kumsal ve kıyı kumullarından oluşan kumluk, çakıllık, kayalık, taşlık, sazlık, bataklık ve

benzeri alanların doğal sınırı, dar-yüksek kıyı özelliği gösteren kesimlerinde ise şev ya da falezin üst sınırıdır (Sesli ve diğerleri, 2002). Bu sınır, doldurma suretiyle arazi elde edilmesi halinde de değiştirilemez (Erinç, 2015).

Son zamanlarda kıyılarda yapılan genellikle rekrasyona ve ıslah etmeye yönelik dolgu çalışmaları, doğal kıyı sınırlarını değiştirmez ancak dolgu sahası deniz tarafında ön kıyı çizgisini deniz yönünde aşarsa yeni yapay bir kıyı çizgisi ortaya çıkar. Kara yönünde ise yapılan dolgular genellikle denizel malzemeleri kapatacak kadar ilerlemezler ve böyle bir durumda denizel malzemenin son bulunduğu sınır (kıyı kenar çizgisi) kara yönündeki sınır olarak kalır. Bu dolgu işleminin sonucunda insan eliyle oluşturulmuş yapay kıyı olarak ifade ettiğimiz yeni bir kıyı şeridi meydana gelir (Gazioğlu ve diğerleri, 2013).

Sahil şeridi; deniz, tabii ve suni göllerin kıyı kenar çizgisinden itibaren kara yönünde yatay olarak en az 100 m genişliğindeki alandır (Sesli ve diğerleri, 2002). Sahil şeridinin birinci bölümü; sahil şeridinin tümü ile sadece açık alanlar olarak düzenlenen yeşil alan, çocuk bahçesi, gezinti alanları, dinlenme alanları ve bu yönetmelikte tanımlanan rekreatif alanlar ile yaya yollarından oluşan, kıyı kenar çizgisinden itibaren kara yönünde yatay olarak 50 m genişliğinde belirlenen bölümdür (Turoğlu, 2009). Sahil şeridinin ikinci bölümü; sahil şeridinin birinci bölümünden sonra kara yönünde yatay olarak en az 50 m genişliğinde olmak üzere belirlenen ve üzerinde sadece Kanunun 8. maddesinde ve bu yönetmelikte tanımlanan toplumun yararlanmasına açık günü birlik turizm yapı ve tesisleri, taşıt yolları, açık otoparklar ve arıtma tesislerinin yer aldığı bölümdür (Turoğlu, 2009).

Alçak kıyılar, kıyı kenar çizgisi sabit olmayıp değişen kıyı çizgisi teriminin yanına önkıyı ve artkıyı terimlerinin getirilmesini sağlamıştır. Alçak kıyılarda önkıyı; kıyının su kütlesi tarafında yer alan, su hareketlerinin etkisi altındaki bölümü olarak tanımlanır. Artkıyı ise tamamen denizel kökenli malzemelerin rüzgâr etkeni ile taşınması sonucu meydana gelen kumul tepeleri, hareketli kumullar, makro ve mikro kumul şekillerinin yer aldığı, yer yer denizel kavkı ve çakılların depo olarak bulunduğu, üzerinde kurakçıl ve halofitlerin gelişebildiği sazlık, bataklık ve lagüner ortam içeren kıyı alanıdır (Garipağaoğlu ve Uzun, 2014).

Su ile karasal mekanın farklı etkileşimleri sonucu genel olarak iki farklı kıyı tipi ortaya çıkmaktadır. Bu kıyı tipleri alçak-basık kıyılar ile yüksek dik kıyılardır (Gazioğlu ve diğerleri, 2013).

Alçak-basık kıyı; kıyı çizgisinden sonra da devam eden, kıyı hareketlerinin oluşturduğu plaj, hareketli ve sabit kumulları da içeren kıyı kordonu lagün alanları, sazlık, bataklık ile kumluk, çakıllık, taşlık ve kayalık alanları içeren kıyılardır. Dar-yüksek kıyı; 3621 sayılı Kıyı Kanunu'nda kıyı kenar çizgisinin, kıyı çizgisi ile çakıştığı kıyı olarak tanımlanmıştır. 3830 sayılı kanunda ise plaj ya da abrazyon platformu olmayan veya çok dar olan şev ya da falezle son bulan kıyılar olarak tanımlanmıştır (Turoğlu, 2009).

Kıyı çizgisi çıkartmaya ve kıyı alanlarının izlenmesine yönelik önerilen yöntemler temel olarak yersel ölçüler, fotogrametrik yöntemler, uzaktan algılama verileri ve teknikleri kullanılarak geliştirilmiştir (Erdem ve diğerleri, 2018). Geçmişte kıyı şeridi çıkarımı genellikle fotogrametrik yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemlerin sonuçlarını hesaplamak için çok sayıda yer araştırması ve operatörü gerekmektedir. Son yıllarda ise kıyı şeritleri üretmek için LiDAR sistemleri tanıtılmaktadır. Bir LiDAR nokta bulutundan kıyı şeritlerinin çıkarılması için en yaygın yöntemler bir SYM üretmek, nokta bulutundan profil çıkarmak ve sonrasında da su seviyesi ile bir kesişim yapmaktır (Lee ve diğerleri, 2009).

Kıyı çizgisi çıkarımı konusunda yapılmış çalışmalardan biri olarak Sesli ve Caniberk, (2015) kıyı hattını belirlemek için LiDAR sistemlerini kullandıkları çalışmalarında “kıyı hatlarının belirlenmesinin, yüksek planimetrik doğruluğa sahip LiDAR sistemleri kullanılarak yapılabileceği açıkça görülmektedir” ifadesini kullanmışlardır. Çalışmada; nokta yoğunluğu 6-8 nokta/m², planimetrik doğruluk 10 cm, yükseklik doğruluğu ise 15 cm olarak belirtilmiştir. Çelik ve diğerleri (2014) tarafından yapılan çalışmada kullanılan LiDAR verisinin nokta yoğunluğu 2-4 nokta/m² olup veriden üretilen SYM'nin çözünürlüğü (grid aralığı) 1.6 m olarak belirtilmiş ve LiDAR, SYM üretiminde en çok tercih edilmesi gereken teknik olarak adlandırılmıştır. Lee ve diğerleri (2009) tarafından gerçekleştirilen, LiDAR verisinden konum ve yükseklik, ortofotodan renk bilgisi alınarak entegre veriden kıyı çizgisi üretimi yaptıkları çalışmada; kullanılan LiDAR verisinin nominal nokta yoğunluğunun 1-2 m, yatay doğruluğun 2 m ve düşey doğruluğun ise 0,3 m olduğu ifade edilmiştir. Sonuç olarak, ortofotoların entegrasyonu ile kıyı çizgilerinin LiDAR verilerinden iyi bir doğruluk ile çıkarılabildiğini belirtmişlerdir.

Çalışma alanındaki kıyı çizgisi hava LiDAR verisinden üretilen SYM verisi kullanılarak, su ile karanın birleştiği noktalar baz alınarak çıkarılmıştır. Doktora tez çalışmasında kullanılan LiDAR verisindeki nokta yoğunluğunun 16 nokta/m² ve Tablo 5'te

görüldüğü gibi hesaplanan nokta bulutu doğruluğunun 4-5 cm civarında olması değerlendirildiğinde, SYM ve bu veriden üretilen kıyı çizgisinin yüksek doğruluk ve detay seviyesine sahip olacağı görülmüştür.

Tez çalışmasında uzun bir kıyı şeridini kapsayan alanda çalışılması sebebiyle, alan içinde alçak-basık ve dar-yüksek kıyılar gibi farklı kıyı tipleri bulunmaktadır. Kıyı çizgisi üretiminde en önemli aşama özellikle yükseklik farkının az olduğu alçak-basık kıyı alanlarında, suyun kara ile kesişim hattının belirlenmesidir.

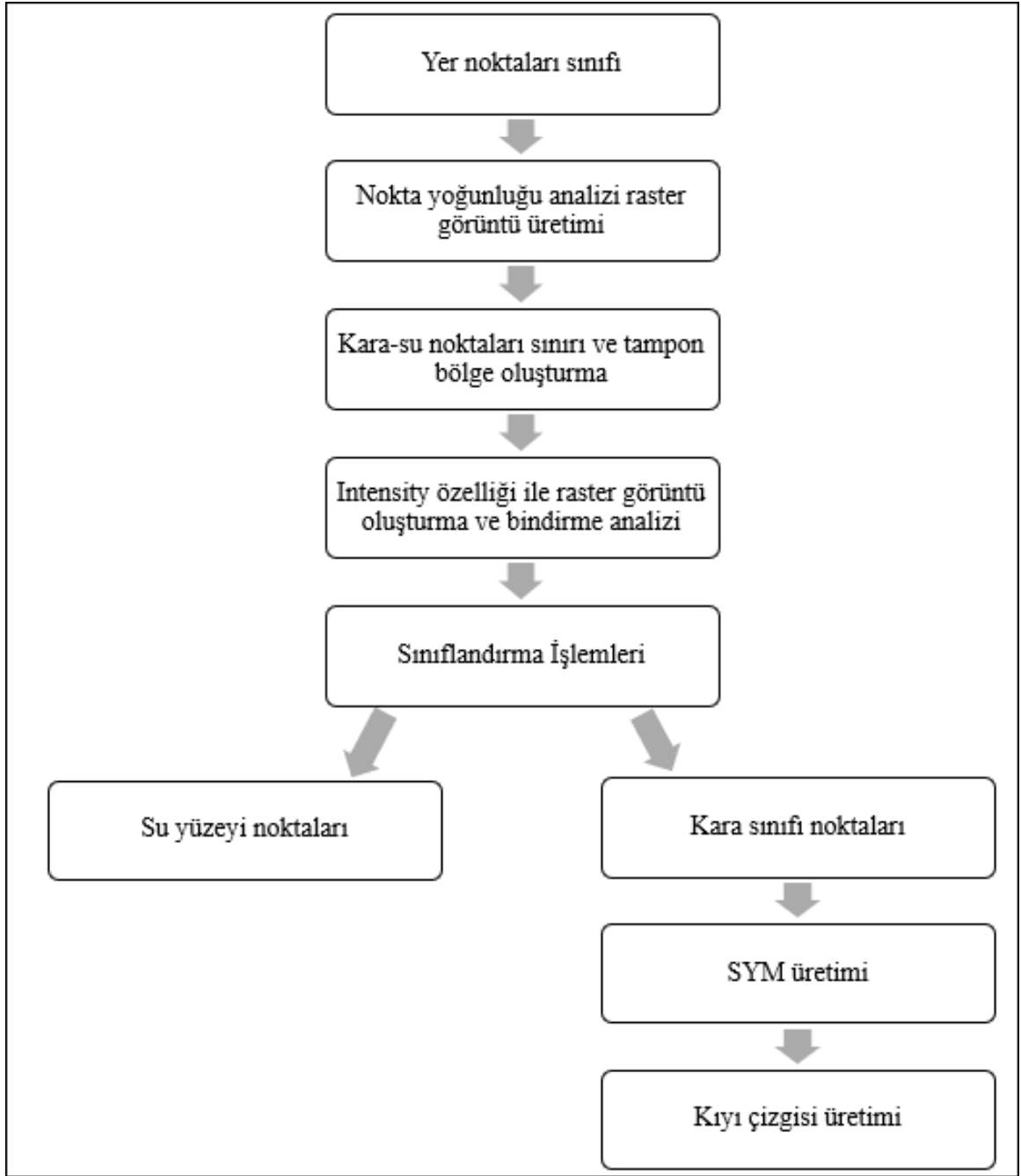
Kıyı çizgisi çıkarımı yapılacak SYM verisinin üretimi için, öncelikle su-kara ayrımını en doğru şekilde sağlayacak nokta bulutu sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında elde edilen su yüzeyi noktalarından arındırılmış yer noktaları sınıfı kullanılarak SYM verisi üretilmiş ve bu veri üzerinden suyun kara üzerinde ulaştığı en son noktaları ifade eden kıyı çizgisi çıkarımı yapılmıştır. Kıyı çizgisi çıkarımında izlenen adımlar Şekil 23'te gösterilmektedir.

Üretilen kıyı çizgisinin görsel kalite analizinin yapılabilmesi amacıyla Sentinel 2A uydu görüntüsü kullanılarak kontrolsüz piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi ile ikinci bir kıyı çizgisi çıkarılmıştır. Detayları, Bölüm 3.2.4'te açıklanmıştır.

3.2.1. Kıyıya ait nokta bulutu verisinin sınıflandırılması

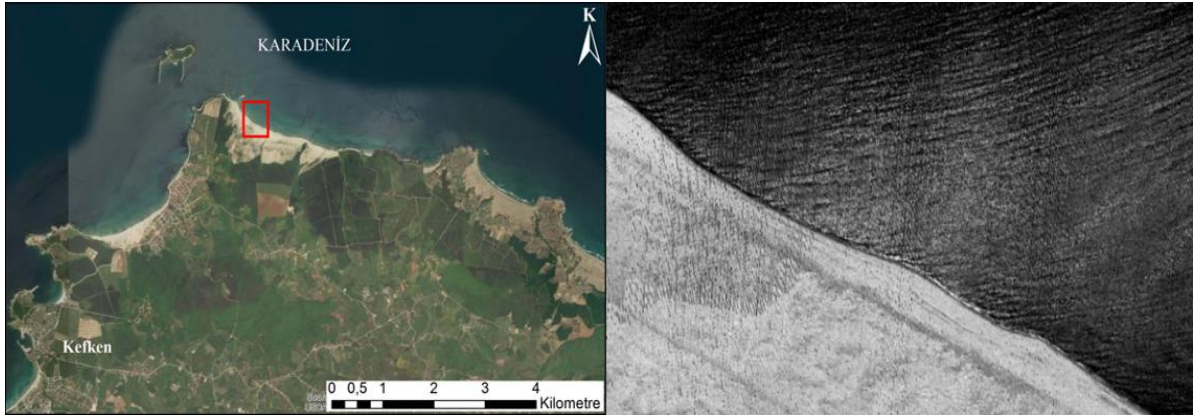
Sınıflandırılmış nokta bulutu verisinden elde edilen yer noktaları sınıfı, SYM üretiminde kullanılacak olan nokta bulutu verisidir. Ancak bu veride karaya ait noktalar ile birlikte sudan yansıyan nokta bulutu verisi de bulunmaktadır. Kıyı çizgisi çıkarımı amacıyla SYM üretimine geçmeden önce, çalışma alanının kıyı şeridine ait nokta bulutunun sudan yansıyan noktalardan arındırılması gerekmektedir. LiDAR verisinin su yüzeyi ve kara üzerindeki nokta özelliklerinin farklı olması durumundan faydalanılarak bir yöntem geliştirilmiştir.

Kara alanlarındaki LiDAR ölçümleri, her zaman güçlü intensity değerleri olan noktalar elde edebilir. Bununla birlikte su üzerindeki alanlarda, yalnızca lazer ışını su yüzeyine dikey olarak yayıldığında alıcı fotonların çoğunu geri yansıtır ve böylece LiDAR intensity değerinin maksimum bir okumasını elde eder. Lazer ışınının tarama açısı büyük olduğunda, yansıtıcı ışın alıcıdan uzaklaşarak sinyalin alınamamasına neden olur (Lee ve diğerleri, 2009).



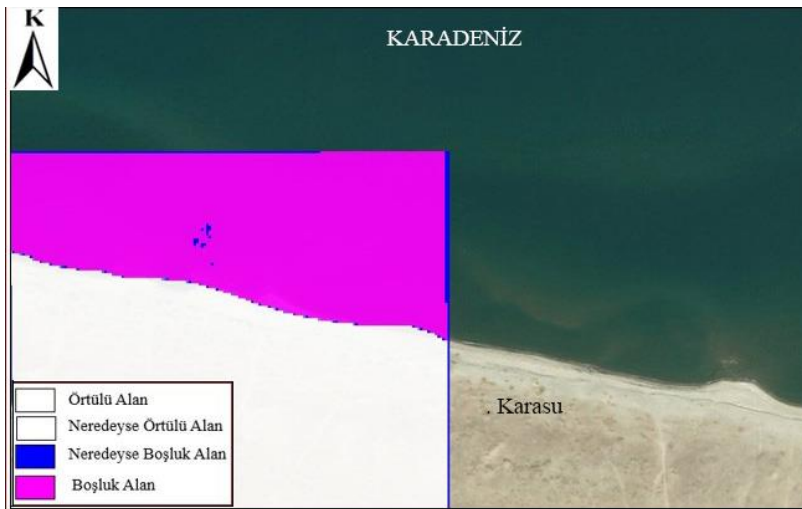
Şekil 23. Kıyı çizgisi üretimi işlem adımları

Karasal alanlardaki nokta yoğunluğu (metrekareye düşen nokta sayısı) ile su yüzeyindeki nokta yoğunlukları belirgin derecede farklıdır. Intensity değeri de lazer ışınının yansıtıldığı yüzeye göre değişiklik gösterdiğinden kara-su ayrımında bir özellik olarak belirleyicidir. Şekil 24’te, kırmızı çerçeve içine alınmış alandaki kara-su noktaları görülmektedir.



Şekil 24. Çalışma alanında kara – su noktaları

Çalışma alanında kara ve su yüzeyine ait noktaların sınıflandırılması amacıyla ilk olarak nokta yoğunluğu özelliği kullanılmıştır. Nokta bulutu verisinin boyutu, alanla orantılı olarak oldukça büyüktür. Hem veri boyutunun büyüklüğünün programların çalışma kapasitesini sınırlaması hem de çalışma alanında farklı özellikte kıyı tipleri bulunması sebebiyle alan bölümlere ayrılmıştır. Microstation yazılımının Terrascan modülü kullanılarak nokta yoğunluğu özelliği, bölümler halinde birer raster veri haline getirilmiştir. Bu verinin hazırlanması için öncelikle her bir bölgenin ortalama nokta yoğunluğu hesaplanmış, daha sonra örtülü alan > 14 nokta/m², neredeyse örtülü alan > 12 nokta/m², neredeyse boşluk alan < 10 nokta/m² ve boşluk alan < 8 nokta/m² olmak üzere belirlenen değerler girilerek, raster veriler hazırlanmıştır. Şekil 25'te nokta yoğunluğuna göre üretilen raster görüntünün hava fotoğrafı üzerine bindirilmesi durumunda, kıyı hattını ortaya çıkardığı açıkça görülmektedir.



Şekil 25. Nokta yoğunluğu kıyı hattı ilişkisi

Bu veriden elde edilen kara-su sınırıyla, incelemenin daha sağlıklı yapılabilmesi amacıyla 50 piksellik bir tampon alan oluşturulmuş ve intensity özelliği kullanılarak analiz edilmiştir. Şekil 26'da, referans görüntüde (üstte) kırmızı çerçeve içine alınan örnek alan için üretilen nokta yoğunluğu görüntüsü ve tampon alan (altta) görülmektedir.



Şekil 26. Kara-su sınırı tampon alan

Ticari topografik LiDAR algılayıcıları genellikle 1064 nm dalga boyunda çalışan yakın kızılötesi lazeri kullanmaktadır ve yakın kızılötesi spektrumdaki farklı arazi örtüsü materyalleri arasında her zaman yüksek spektral yansıma ayırabilirliği bulunmaktadır. Bu bağlamda farklı nesnelerden geriye saçılan en yüksek lazer enerjisi yani intensity verileri, arazi örtüsü özelliklerini ayırt etmek için kullanılabilir (Yan ve diğerleri, 2015). Plajlar gibi minimum topografik rölyefi olan bölgelerde yükseklik görüntülerinden ziyade intensity görüntüleri sahne analizi için daha büyük bir potansiyele sahiptir (Starek ve diğerleri, 2007).

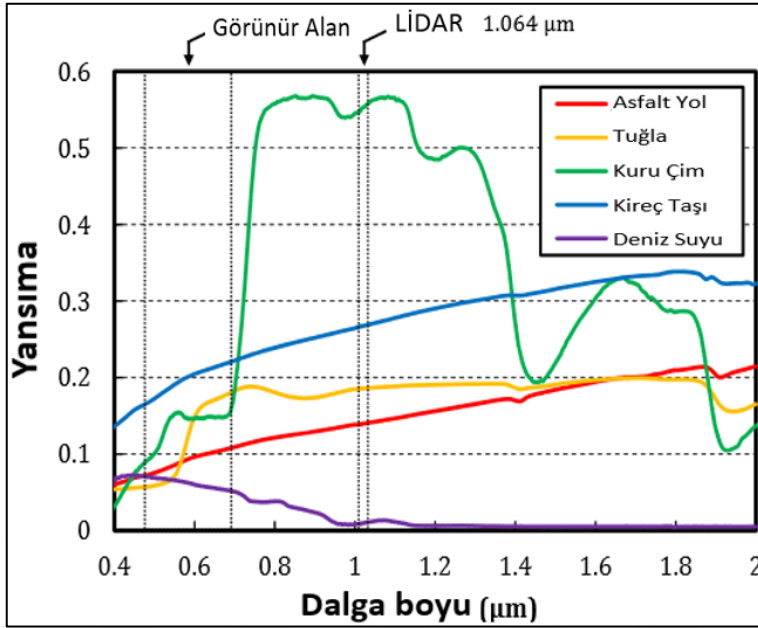
Intensity, yansıyan ışığın gücünün yayılan ışığa olan oranı olarak da tanımlanabilir ve farklı malzemeler farklı yansımalarla sahiptir (Song ve diğerleri, 2002). Yansıtma, yakın kızılötesinde kullanılan dalga boyunun bir fonksiyonudur. Geri dönüşlerin gücü, yansıtıcı yüzey nesnesinin bileşimine göre değişir (ArcGIS Desktop, 2019). LiDAR verileriniz intensity değerleri içeriyorsa, siyah-beyaz hava fotoğrafları gibi görüntüler üretebilirsiniz. Intensity görüntüler; LiDAR nokta sınıflandırmasında özellik tespiti ve ekstraksiyonunda veya mevcut olmadığında hava görüntülerinin yerine kullanılabilir (ArcGIS Desktop, 2019).

1991'de elde edilen bir Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma (USGS) ortofotoğrafi Şekil 27'de, solda gösterilmiştir. Sağda ise 2000 yılı Mayıs ayında elde edilen LiDAR intensity verilerinden oluşturulan bir görüntü bulunmaktadır. USGS ortofotoğrafında gösterilen hemen hemen tüm özellikler, LiDAR verisinden üretilen görüntüde kolaylıkla tespit edilebilir ve 1991 yılı ile Mayıs 2000 arasında topografide meydana gelen değişiklikler görülebilir (Environmental Systems Research Institute, 2018).



Şekil 27. Ortofoto görüntü (solda), LiDAR intensity görüntüsü (sağda) (Environmental Systems Research Institute (2018)'den alınmıştır.)

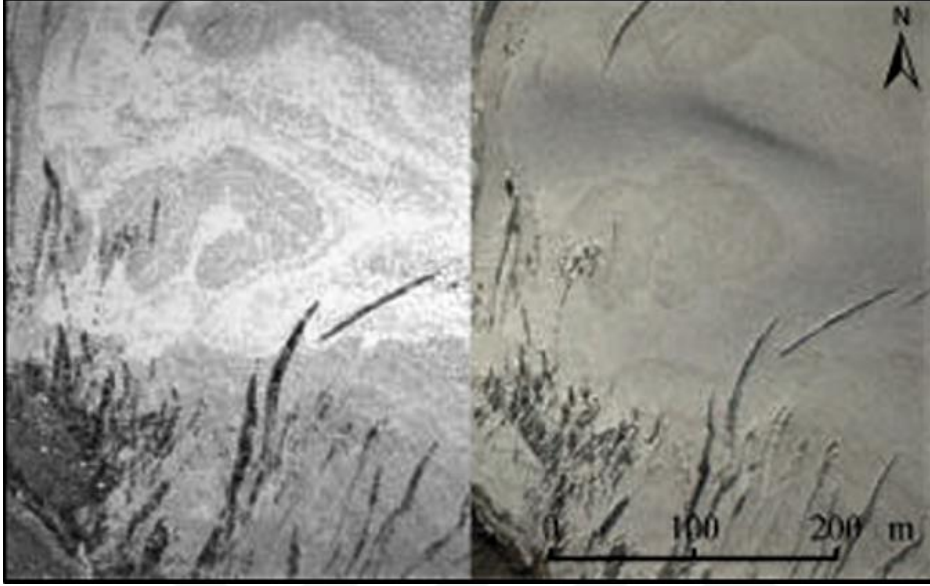
Şekil 28'de görüldüğü gibi lazer sinyalinin yansıma değerleri, yansıtıcı objeye göre farklılık göstermektedir. En düşük yansıma, su yüzeyinde gerçekleşmektedir.



Şekil 28. Görünür bölgeden kızılötesi dalga boylarına farklı malzemelerin spektral yansımaları (Yan ve diğerleri (2015)’ten değiştirilmiştir).

LiDAR intensity görüntüleri birçok çalışmada sınıflandırma doğruluğunun artırılması amacıyla kullanılmıştır (Höfle ve diğerleri, 2007; Lutz ve diğerleri, 2003; Dinlemek, 2012). Lutz ve diğerleri (2003) Svartsheibreen buzulu (Svartisen, Norveç) ve yakın çevresini içeren çalışmalarında, ana yüzey sınıflarının intensity modellerinde belirgin bir şekilde tanımlanabildiğini ve bazı durumlarda intensity modellerin ortofotoları, yüzey özelliklerini ayırt etme kabiliyetinde aştıklarını öne sürmüşlerdir. Dinlemek 2012’ye göre; LiDAR verileri ile intensity görüntüler oluşturulmakta ve bu görüntü, aynı yükseklik değerine sahip noktaların sınıflandırılmasında ve taranan obje ile ilgili öznelik bilgilerinin çıkarılmasında kullanılmaktadır. Intensity verisi, renkli görüntülere göre net ve sağlıklı olmayan bilgi aktarsa da aynı yükseklik ve farklı yoğunluk değerine sahip olan su ve yol gibi objelerin ayırımında sorun kısmen ortadan kalkmaktadır. Zhou ve diğerleri (2009)’a göre; LiDAR intensity verileri kentsel ortamdaki gölgeli alanların sınıflandırılmasına katkıda bulunabilir ve böylece yüksek çözünürlüklü dijital hava görüntüleri kullanılırken yaşanan dezavantajlar intensity kullanımı ile telafi edilebilir. Lee ve diğerleri (2009)’a göre; LiDAR intensity verileri LiDAR nokta bulutu sınıflandırmada, arazi noktalarını belirlemek için kullanılma potansiyeline sahiptir ve su alanları üzerindeki LiDAR ürünleri arazi üzerinde bulunanlardan farklıdır. Lutz ve diğerleri

(2003)'te; LiDAR verisinden ürettikleri Şekil 29'da (solda) görülen intensity görüntüsünün kar-
buz sınırını, ortofotoya (sağda) göre daha iyi ayırt etme imkanı verdiğini belirtmişlerdir.



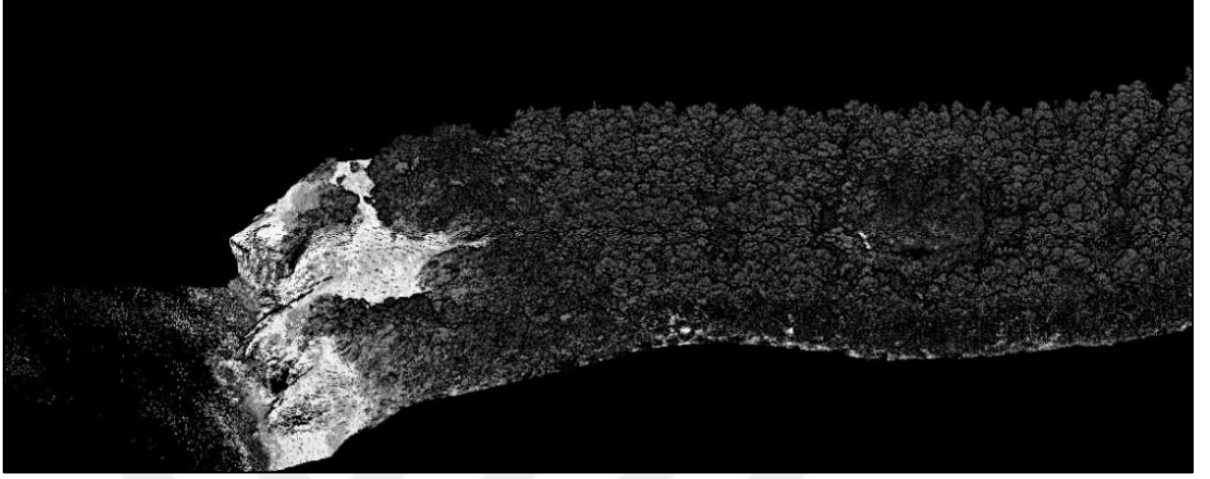
Şekil 29. Intensity modeli (solda) ve ortofoto (sağda) arasında karşılaştırma (Lutz ve diğerleri
(2003)'ten değiştirilmiştir).

Çalışma alanında bir bölgeden, intensity değerine göre renklendirilmiş nokta bulutu
verisi Şekil 30'da görülmektedir. Veride yol işaretleri gibi ayrıntılar bile çıplak gözle
seçilebilmektedir.



Şekil 30. Çalışma alanından bir intensity nokta bulutu verisi örneği

Şekil 31’de çalışma alanı içindeki bir dar-yüksek kıyı alanından, nokta bulutu kesit örneği intensity özelliği ile görüntülenmektedir. Şekil 32’de ise kırmızı çerçeve içine alınmış alandaki kara noktaları ve durgun su noktaları görülmektedir.



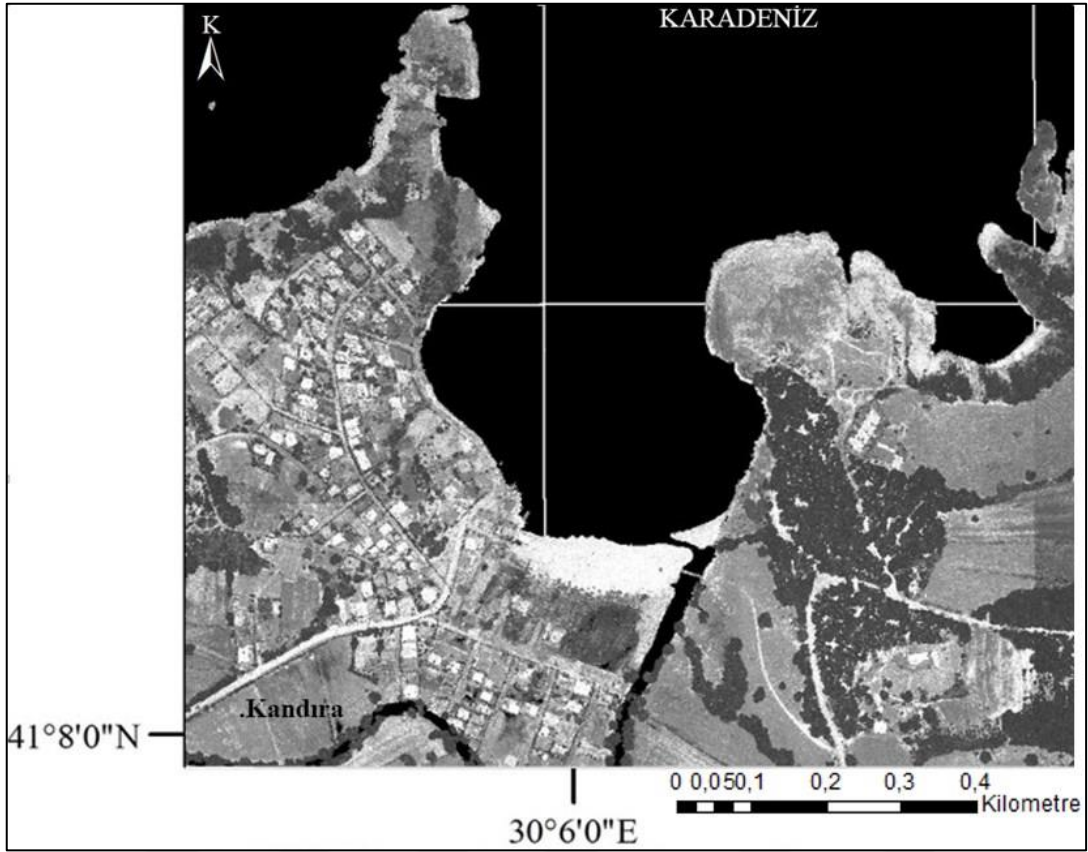
Şekil 31. Kıyı alanı intensity kesit görüntüsü örneği

Nokta yoğunluğu özelliği ile elde edilen tampon bölgelerin intensity bilgisi kullanılarak üretilen raster görüntüler üzerine bindirilmesi ile analiz yapılmış, kara noktaları ve su yüzeyi noktaları ait oldukları sınıflara atanmıştır. Böylece SYM üretiminde kullanılacak nokta bulutu verisi elde edilmiştir.



Şekil 32. Kara ve su yüzeyi noktalarının intensity olarak görüntülenmesi örneği

Şekil 33’te su yüzeyinden yansıyan lazer noktaları çıkarıldıktan sonra elde edilen nokta bulutu verisinden üretilen intensity raster görüntüsü örneği sunulmuştur.



Şekil 33. Çalışma alanına ait bir bölgeden sınıflandırma sonrası elde edilen raster görüntü

3.2.2. Çalışma alanına ait SYM üretimi

SYM, araziyle ilgili uygulamalarda çok önemli bir bileşendir ve arazi modellemesi çoğu LiDAR çalışmasının ana odak noktası olmuştur. SYM üretimi için LiDAR'ın kullanımı en etkili yoldur ve mekansal bilim toplulukları için standart bir uygulama haline gelmektedir (Liu, 2008). SYM'ler bina çıkarımı, 3B şehir modelleme, hidrolojik modelleme, taşkın analizleri, havza analizleri, kıyı yönetimi ve orman uygulamalarında kullanılmaktadır (Süleymanoğlu ve Soycan, 2017). Genellikle yaygın olarak raster formatında, düzenli yükseklik noktalarından oluşan grid formatında ya da üçgenlenmiş düzensiz ağ (TIN-Triangulated Irregular Network) tarafından bağlanmış rastgele yükseklik noktalarının kümesidir. Sayısal bir görüntü gibi depolanırlar ve görüntüdeki pikseller yükseklik verilerini içerir (Çelik ve diğerleri, 2014).

Tez çalışmasında, nokta bulutundan sayısal yükseklik modelleri üretmek için Microstation yazılımının TerraScan modülünden “export lattice model” aracı kullanılmıştır. SYM üretimi için nokta bulutu sınıflarından, yalnızca yer noktaları seçilmelidir. Liu (2008)'e

göre bir SYM'nin uygun çözünürlüğünün seçimi, veri yoğunluğu ile sınırlandırılmıştır ve grid sayısının, kapsanan alandaki arazi veri noktalarının sayısına kabaca eşit olması gerekmektedir. Liu (2008) tarafından önerilen (3.1) eşitliğine göre; bir SYM'nin grid boyutu aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$S = \sqrt{\frac{A}{n}} \quad (3.1)$$

Burada n, arazideki noktaların sayısı, A ise kapalı alanıdır. Bu eşitlikten anlaşıldığı gibi SYM çözünürlüğünün orjinal arazi noktalarının örnekleme yoğunluğuyla eşleşmesi gerekmektedir (Liu, 2008).

Bu çalışmada, LiDAR verisiyle elde edilen SYM'nin oluşturulmasında kullanılan ground sınıfı nokta sayısı; örneğin Şekil 34'te görülen alan için;

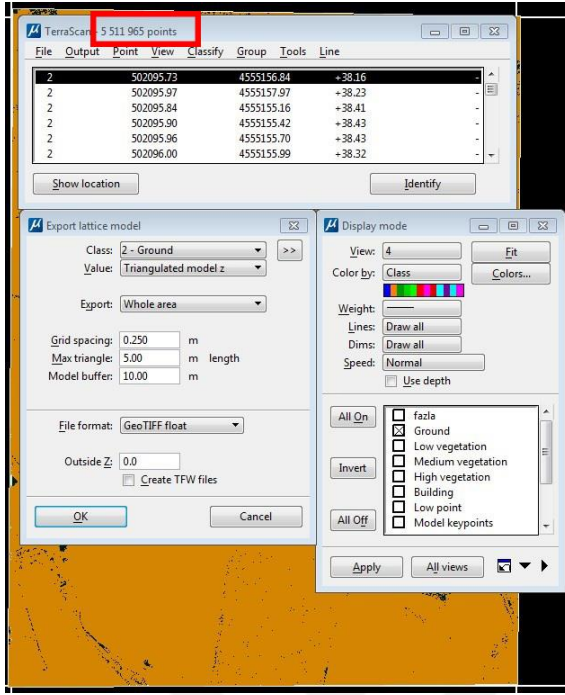
$$n=5511965$$

$$A=364383 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

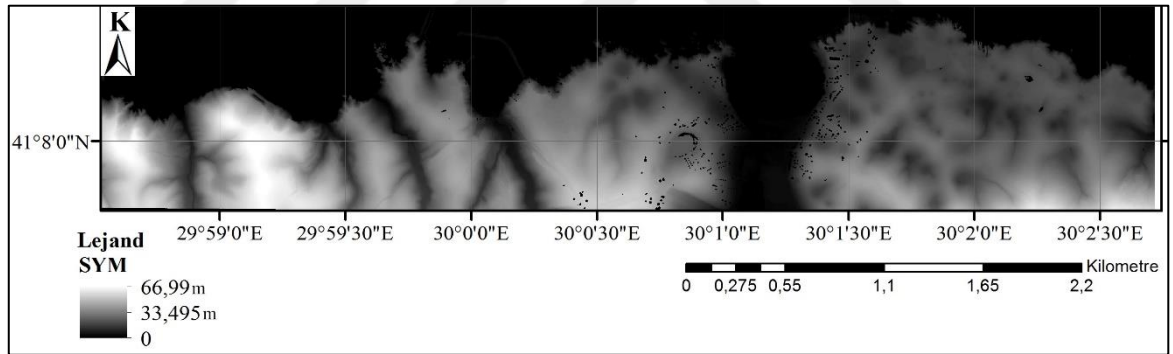
Bu veriler eşitlik (3.1)'de yerine koyulduğunda grid boyutu ya da diğer bir ifadeyle SYM çözünürlüğü 0,25 m olarak bulunmuştur. Doktora tez çalışmasının SYM üretiminde grid aralığı olarak bu değer girilmiştir ve sonuç ürün 0,25 m çözünürlüklü raster bir dosya olarak elde edilmiştir.

Nokta bulutu veri yoğunluğu, ortalama 16 nokta/m²'dir. Bu yoğunluğun Bölüm 3.2'de incelenen, kıyı çizgisi üretiminde LiDAR verileri kullanılmış olan benzer çalışmaların çok üzerinde olduğu görülmektedir. Böylece kullanılan LiDAR veri setinin SYM üretiminde yüksek hassasiyet sağlama kabiliyetinde olduğu anlaşılmaktadır.

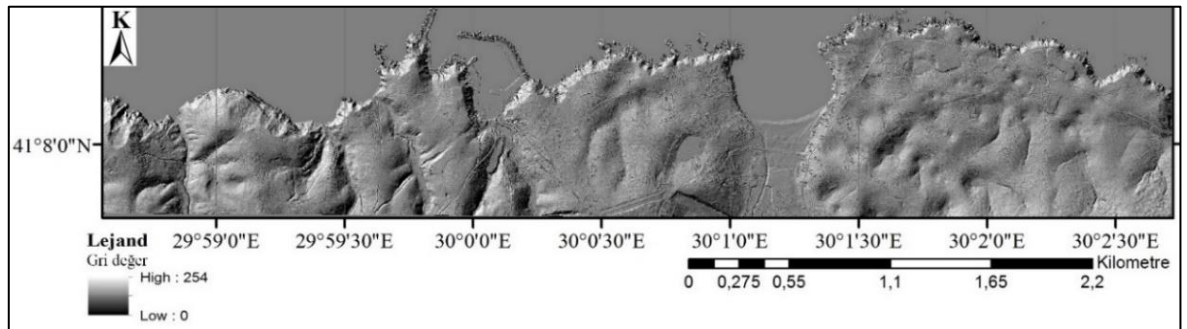
Üretilen SYM'ler kontrolden geçirilip, herhangi bir hatalı üçgenleme tespit edilirse sınıflandırma aşamasına geri dönülerek, LiDAR noktası ait olduğu sınıfa gönderilir. Sonrasında üçgenleme yeniden yapılarak SYM modeli en doğru şekilde elde edilmiş olur. Şekil 35'te çalışma alanından bir SYM ve Şekil 36'da SYM'den üretilen hillshade (kabartma) görüntüsü verilmiştir.



Şekil 34. SYM üretimi



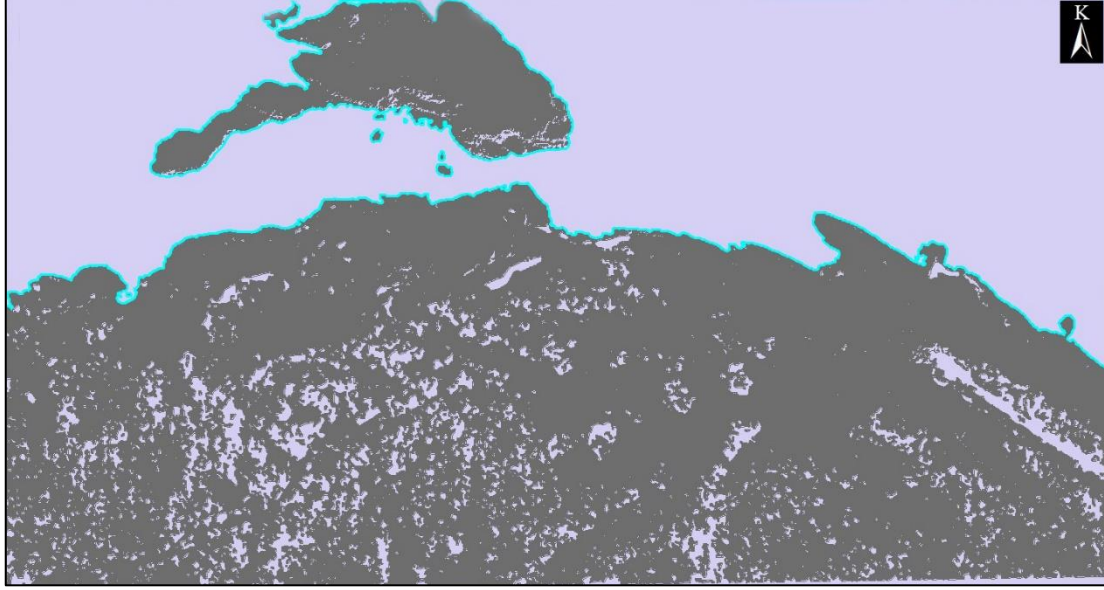
Şekil 35. Çalışma alanından bir bölgenin SYM verisi



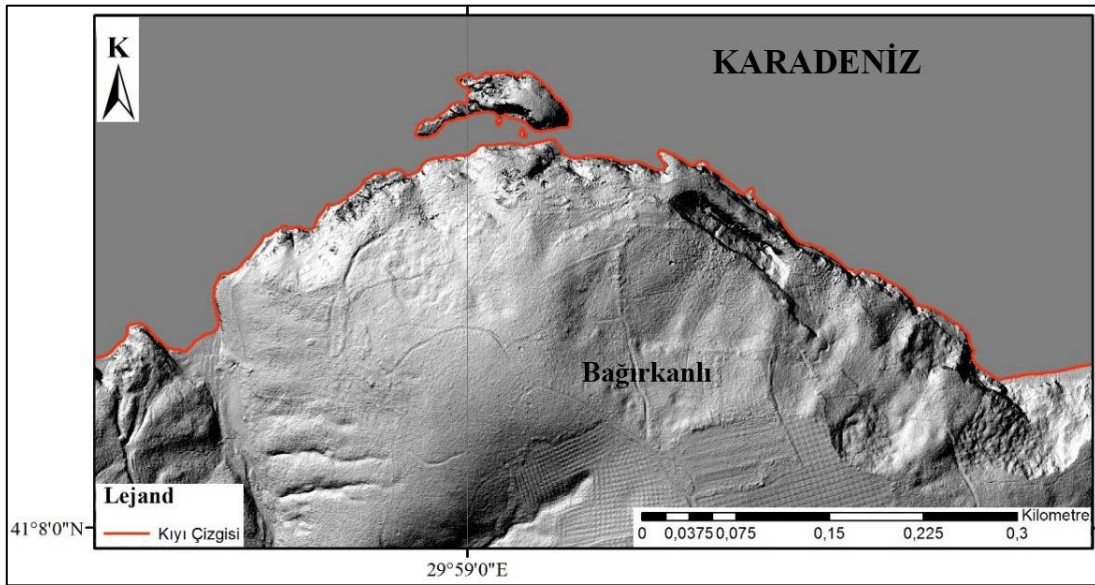
Şekil 36. Çalışma alanından hillshade (kabartma) verisi

3.2.3. SYM verisinden kıyı çizgisi üretimi

SYM'ler, yüksekliklerin düzenli aralıklarla dijital gösterimidir ve kıyı profillerinin çıkarımı için doğru bir araç sağlarlar (Yousef ve diğerleri, 2013). Çalışma alanı için üretilen SYM, Şekil 37'de görülen örnekteki gibi vektör veriye dönüştürülerek elde edilen veri seti üzerinden kıyı çizgisi çıkarılmıştır. Kıyı çizgisinin SYM verisinden üretilen kabartma (hillshade) harita üzerindeki durumu, Şekil 38'de görülmektedir.



Şekil 37. SYM verisinden kıyı çizgisi çıkarımı örneği



Şekil 38. Hillshade (kabartma) harita üzerinde kıyı çizgisi

Çalışma alanı için üretilen tüm kıyı çizgileri birleştirilerek Şekil 39’da görülen veri elde edilmiştir. Bu kıyı çizgisinin referans görüntüler üzerindeki durumları Şekil 40 ve 41’de sunulmuştur.



Şekil 39. SYM’den üretilen kıyı çizgisi



Şekil 40. Referans görüntü üzerinde kıyı çizgisi



Şekil 41. Kumsal alanlarda kıyı çizgisi görünümü

3.2.4. Kıyı çizgisinin görsel kalite değerlendirmesi

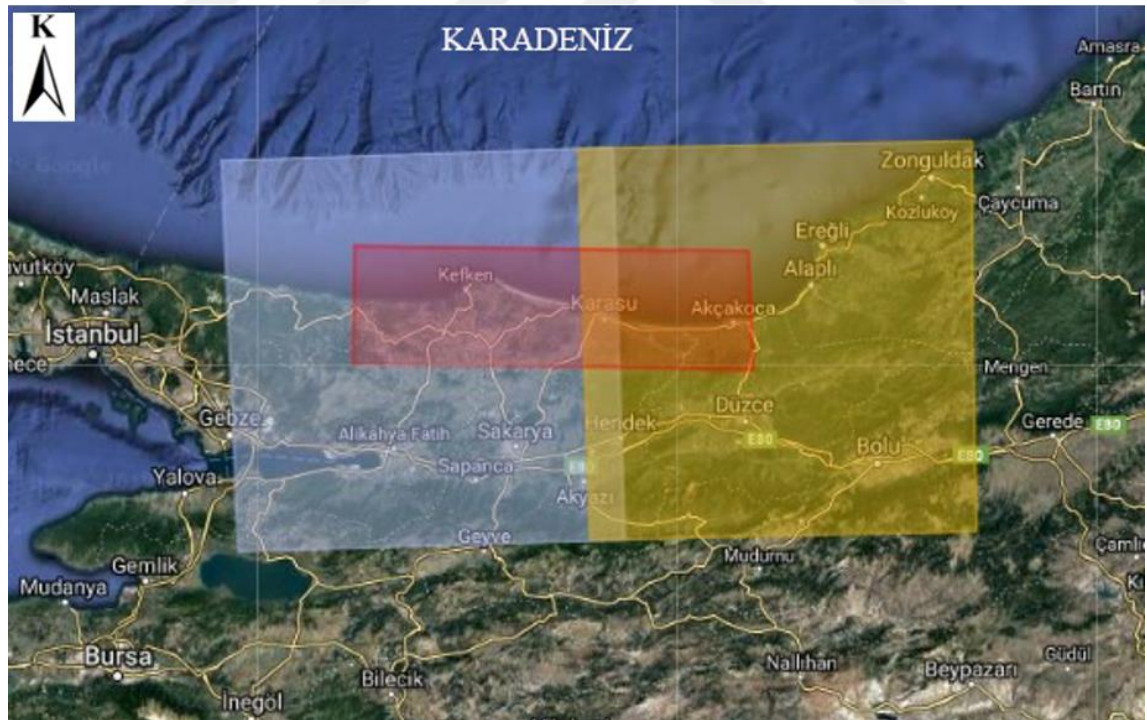
Üretilen kıyı çizgisinin görsel analizini yapabilmek amacıyla klasik bir yaklaşım olan, uydu görüntüsü ile kıyı çizgisi çıkarımı yapılmıştır. Çalışmada Sentinel uydu sistemlerinden Sentinel-2A uydusuna ait görüntü kullanılmıştır.

Uydunun zamansal çözünürlüğü 10 gün olup farklı çözünürlüklere sahip 13 banta sahiptir. Bu bantlar görünür, yakın kızıl ötesi (VNIR) ve kısa dalga kızılötesi bantlardır (SWIR). Sentinel-2A uydusunun konumsal çözünürlüğü 10 m olup, ücretsiz ulaşım imkanı bulunmaktadır. Uydunun bant özellikleri, Tablo 6’da görülmektedir.

Çalışma alanının tümünü kapsayan tek bir görüntü bulunmaması sebebiyle Şekil 42’de görülen, alana ait 04.07.2018 tarihli iki görüntü indirilmiştir. Öncelikle bu iki uydu görüntüsünün, Erdas Imagine 2013 yazılımının layer stack modülü ile bant birleştirme işlemi yapılmıştır. Daha sonra görüntüler mozaiklenerek, tek bir görüntü haline getirilmiştir (Şekil 43). Birleştirilmiş uydu görüntüleri çalışma alanına uygun olarak kesilip, piksel tabanlı sınıflandırma uygulanmıştır. Sonrasında vektör veriye dönüştürülen görüntü üzerinden, kıyı çizgisi çıkarılmıştır (Şekil 44).

Tablo 6. Sentinel-2A uydusuna ait özellikler (The European Space Agency (2019)’dan değiştirilmiştir.)

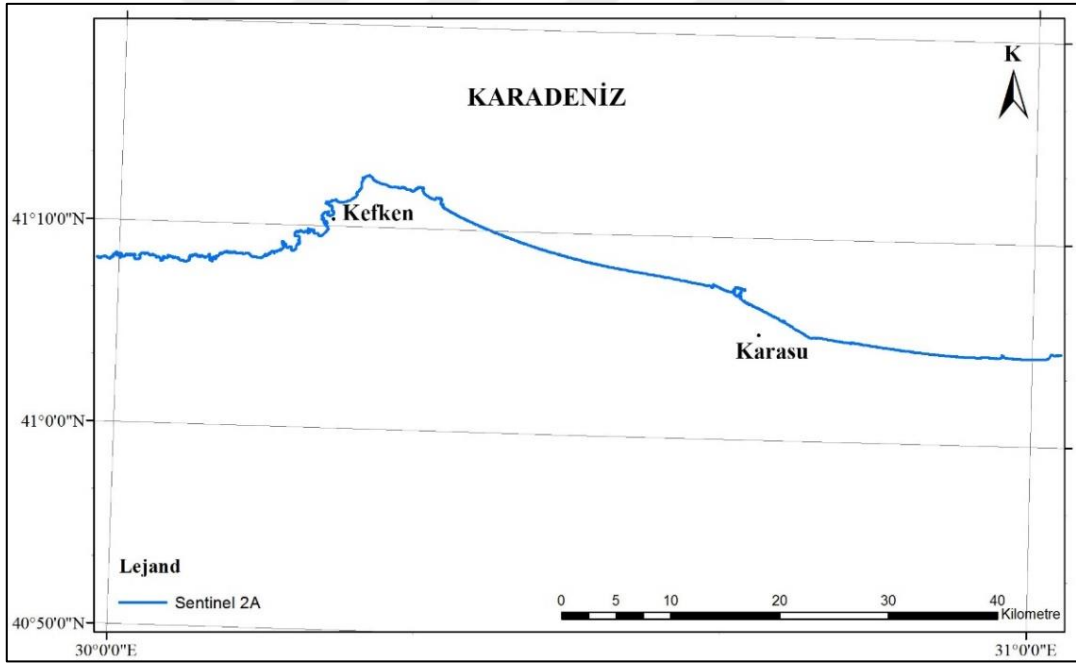
Bant Numarası	Merkez Dalgaboyu (nm)	Bant genişliği (nm)	Konumsal Çözünürlük (m)
1- Kıyı aerosol	442,7	21	60
2 - Mavi	492,4	66	10
3 - Yeşil	559,8	36	10
4 - Kırmızı	664,6	31	10
5 - Bitki Sıcak Nokta-1	704,1	15	20
6 - Bitki Sıcak Nokta	740,5	15	20
7 - Bitki Sıcak Nokta	782,8	20	20
8 -Yakın Kızılötesi	832,8	106	10
8A- Bitki Sıcak Nokta	864,7	21	20
9 - Su Buharı	945,1	20	60
10 - Kısa Dalga Kızılötesi	1373,5	31	60
11 - Kısa Dalga Kızılötesi	1613,7	91	20
12 - Kısa Dalga Kızılötesi	2202,4	175	20



Şekil 42. Çalışma alanına ait Sentinel-2A uydu görüntülerinin ön izlemeleri (United States Geological Survey (2019)’dan alınmıştır.)



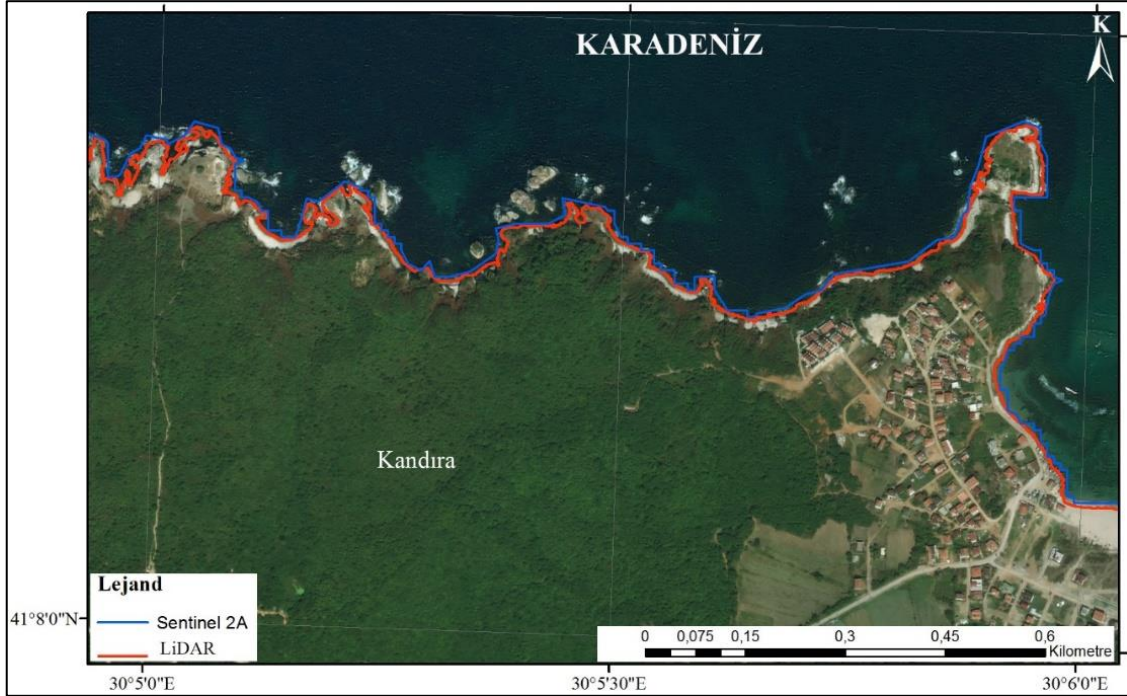
Şekil 43. Birleştirilmiş uydu görüntüleri



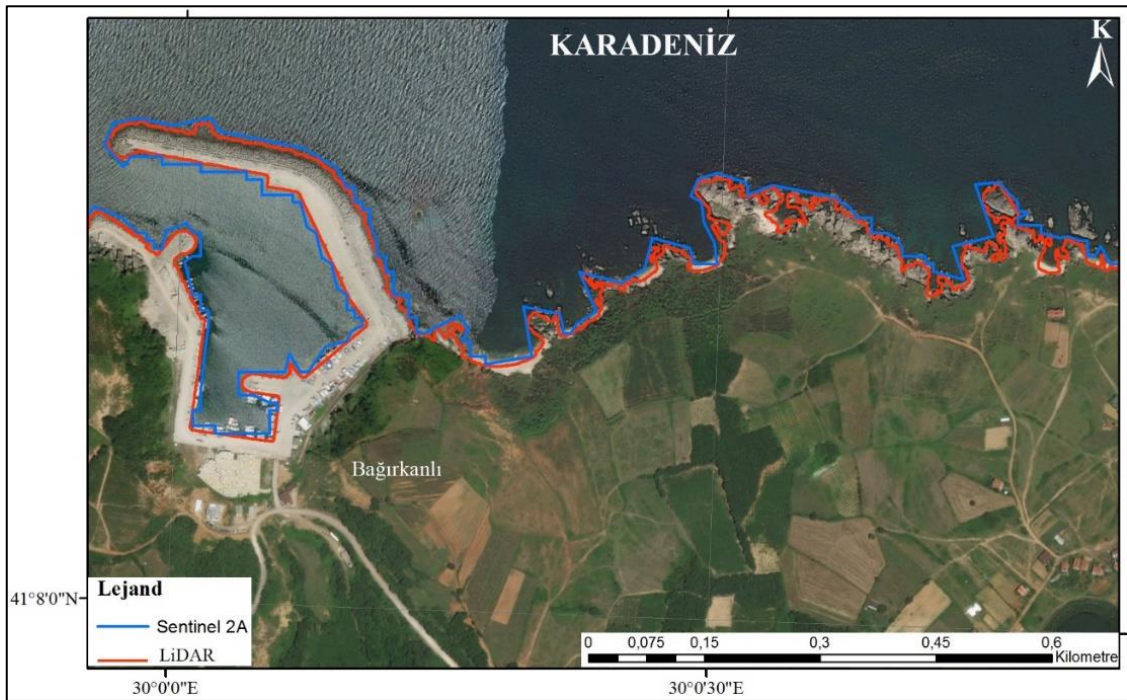
Şekil 44. Uydu görüntüsünden elde edilen kıyı çizgisi

SYM'den ve uydu görüntüsünden elde edilen kıyı çizgileri referans görüntüler üzerinde üst üste getirilmiş ve SYM'den üretilen kıyı çizgisindeki detayların, uydu görüntüsünden elde edilen kıyı çizgisinde ayırt edilemediği görülmüştür (Şekil 45, Şekil 46).

Ayrıca uydu görüntüsünden çıkarılan kıyı çizgisinin, kıyı yakınında olan kayalıkları kıyı çizgisine dahil ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 45. LiDAR verisinden ve uydu görüntüsünden elde edilen kıyı çizgileri



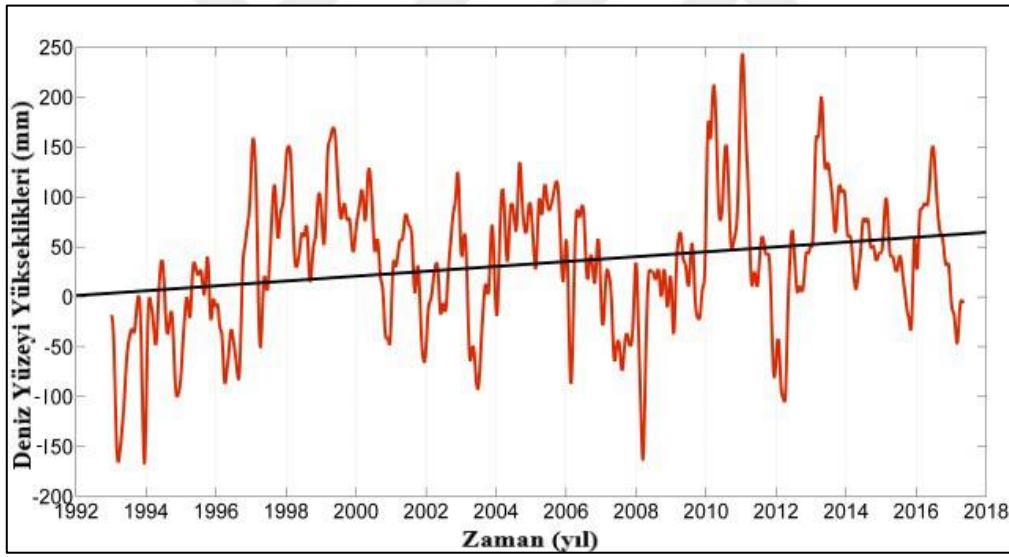
Şekil 46. Referans görüntü üzerinde karşılaştırma

3.3. Deniz Seviyesi Yükselmesinin Güneybatı Karadeniz Kıyılarına Etkileri

Karadeniz; bölgeden bölgeye çeşitli özellikler gösteren bir kıyı kuşağına sahiptir. Bu nedenle potansiyel arazi kayıpları ve deniz seviyesi yükselmesinden kaynaklanan diğer riskler, bölgelere göre ele alınmalıdır (Avşar ve diğerleri, 2015).

Karadeniz kıyıları deniz seviyesi yükselme trendini belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarla ulaşılan sonuçlardan anlaşıldığı gibi Karadeniz kıyılarında deniz seviyesi yükselme eğilimleri incelenen alanlara göre farklılık göstermektedir. Ayrıca yükselmeden en fazla zarar görecektir bölgelerin, düşük kotlu delta ovaları olması beklenmektedir.

Avşar ve diğerleri (2018), 1993-2017 döneminde Karadeniz seviyesinin yaklaşık $2,5 \pm 0,5$ mm/yıl arttığını tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Karadeniz seviyesinin yıllar arası değişkenliğini göstermek için (mevsimsel sinyaller kaldırdıktan sonra), deniz seviyesi yükselmeleri Şekil 47' de sunulmaktadır.



Şekil 47. 1993-2017 uydu altimetre verilerinden Karadeniz seviyesi zaman serileri ve doğrusal uyumu (Avşar ve diğerleri (2018)'den değiştirilmiştir.)

Cazenave ve diğerleri (2002); Ekim 1992 - Haziran 1996 arasındaki uydu altimetre gözlemlerine göre, Karadeniz seviyesindeki yükseliş oranını $27,3 \pm 2,5$ mm / yıl olarak tahmin etmişlerdir. Avşar ve diğerleri (2015)'e göre; 1993 - 2014 dönemi için uydu altimetre gözlemlerine dayanarak hesaplanan Karadeniz seviyesindeki yükselme eğilimi $3,19 \pm 0,81$ mm / yıldır.

Kubryakov ve Stanichnyi (2013); 1992 – 2005 dönemi Karadeniz seviyesi yükselme eğilimi için ortalama altimetre verilerinden hesaplanan ortalama deniz seviyesi tahmini oranını $7,6 \pm 0,3$ mm / yıl olarak belirlemişlerdir. Ayrıca Karadeniz seviyesi değişim eğiliminin yüksek mekansal değişiklik ile karakterize olduğunu ve yine aynı dönem için Karadeniz havzasının açık deniz bölgelerinde deniz seviyesi yükselme eğilimi $4,5-6$ mm / yıl iken, kıyı bölgelerinde bu eğilimi $8-9,5$ mm / yıl olarak belirlediklerini ifade etmişlerdir.

Simav (2012), Kızılırmak Deltası için 1992 – 2012 yılları arasındaki uydu altimetre verilerine dayanarak, deniz seviyesinin $6,8 \pm 0,3$ mm/yıl oranında yükseleceğini öngörmüştür. Aynı zamanda tahminini ek bilgilerle genişletmiş ve Kızılırmak Deltası için yaptığı 2100 yılı projeksiyonunda, maksimum su baskını seviyesini 7,5 m olarak belirlemiştir.

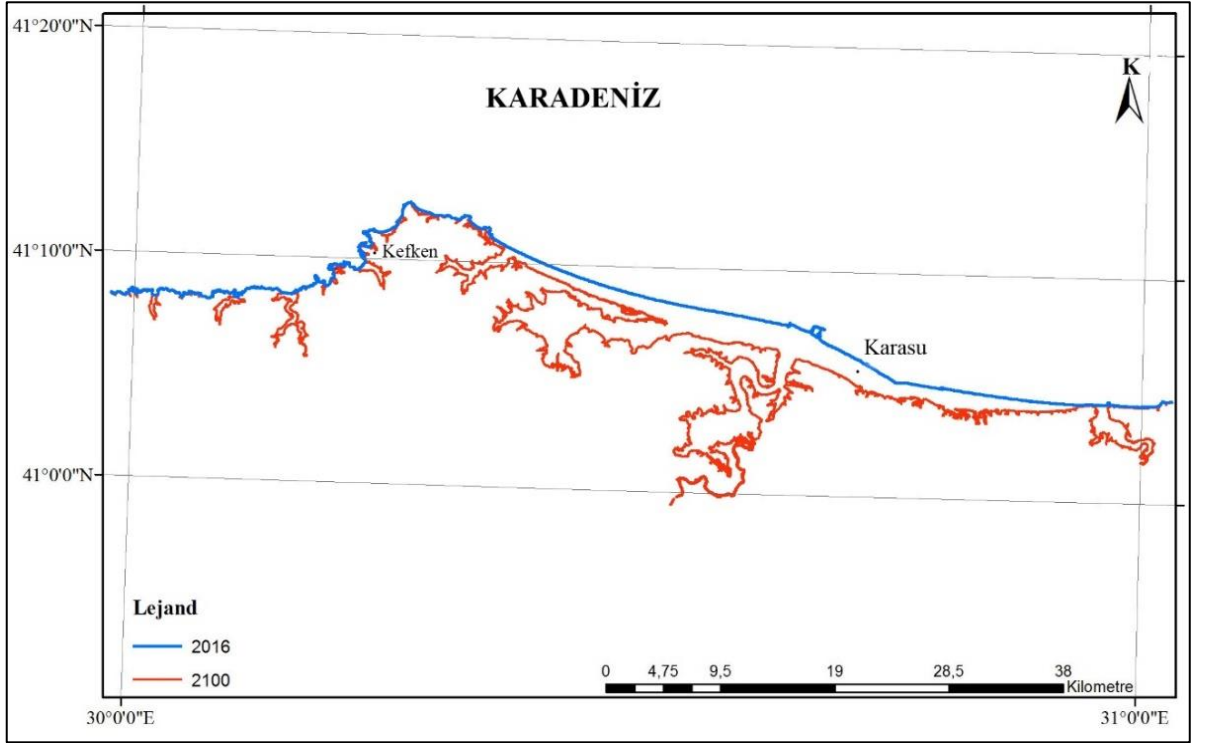
Çalışma alanında hava LiDAR nokta bulutundan üretilen SYM kullanılarak, verilerin alınış tarihi olan (uçuş tarihi) 2016 yılına ait kıyı çizgisi çıkarımı yapılmıştır. Bu alandaki deniz seviyesi yükselmesi etkilerinin belirlenmesi amacıyla, kıyı çizgisinin 2100 yılındaki durumu kestirilerek, değişimi analiz edilmiştir. Bu amaçla; Simav (2012) tarafından Karadeniz kıyıları için altimetrik gözlemlere dayalı olarak hesaplanan maksimum su baskını seviyesi kullanılmıştır. Simav (2012) tarafından önerilen (3.2) eşitliğinde su baskını seviyesi (In_{Lev}); yüksek su seviyesi (MHW), görelî deniz seviyesi yükselmesi (S), ekstrem dalga yüksekliği (H_{TR}) ve barometrik basınçtan kaynaklanan deniz seviyesi değişiminin (S_P) toplamı şeklinde ifade edilmiştir (Simav, 2012).

$$In_{Lev} = MHW + S + H_{TR} + S_P \quad (3.2)$$

Simav (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; Kızılırmak Deltası ortalama deniz seviyesinin yılda 6.8 ± 0.3 mm hızla yükseldiği, bu yükselme hızının yüzyıl sonuna projekte edilmesiyle 2100 yılında Kızılırmak Deltası ortalama deniz seviyesinin, 75 cm yüksekte olacağı belirtilmiştir. Yüksek gelgit seviyesi 16,9 cm olarak hesaplanmış, Kızılırmak Deltası kıyısal alanı için hesaplanan ekstrem dalga yüksekliği değerinin $6,6 \pm 0,03$ m olduğu ifade edilmiştir. Aynı bölgede ekstrem barometrik şartlardan dolayı deniz seviyesinin 2 cm yükselebileceği belirtilmiş ve tüm bu faktörlerin katılımıyla yapılan hesaplama sonucunda; 2100 yılı için Kızılırmak bölgesindeki su baskını seviyesinin 7,5 m olarak tespit edildiği ifade edilmiştir.

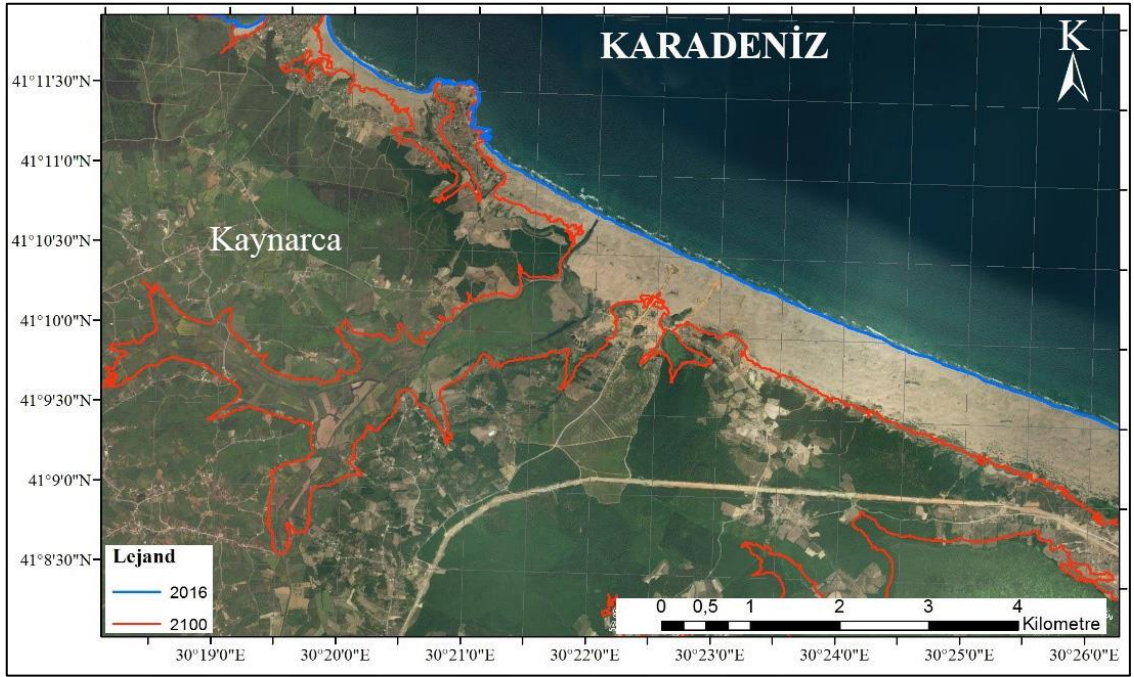
3.3.1. Su baskınından etkilenecek alanların belirlenmesi

Çalışma bölgesinde deniz seviyesi yükselmeleri sebebiyle yüzyıl sonunda (2100 yılı) oluşacak su baskın alanının kestirimini yapmak amacıyla, Simav (2012) tarafından belirlenen 7,5 m maksimum su baskını seviyesi değeri esas alınmıştır. Buna göre hava LiDAR verisinden üretilen 0,25 m çözünürlüğündeki SYM verisinden, suyun kara üzerinde 7,5 m'ye kadar ilerlemesi durumunda ulaşacağı son noktaların birleştirilmesiyle, Şekil 48'de görülen kıyı çizgisi çıkarılmıştır.

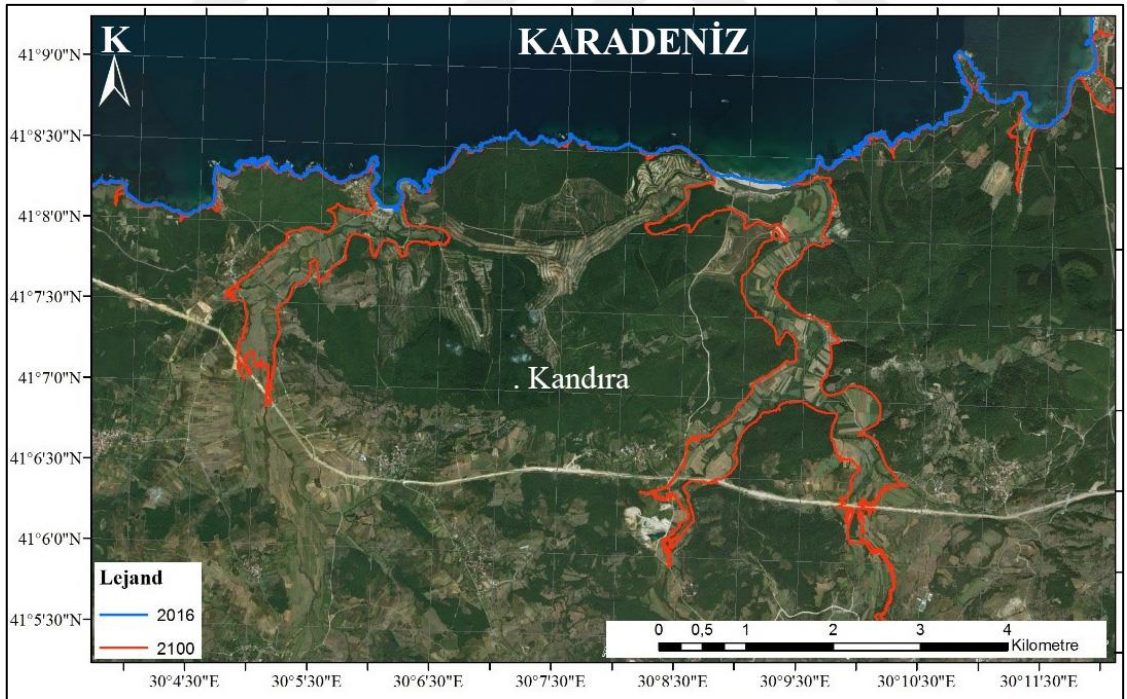


Şekil 48. 2016 ve 2100 yılı için kıyı çizgisi değişimi

Şekil 48'den anlaşıldığı gibi, deniz seviyesi yükselmeleri, yüzyıl sonuna doğru çalışma bölgesinde ciddi değişimlere yol açacaktır. Şekil 49'da, su baskını etkisiyle alçak-basık kıyılarda oluşacak toprak kaybı açıkça görülmektedir. Şekil 50 ise çalışma alanındaki tarım alanlarının etkilenme durumunu göz önüne sermektedir.

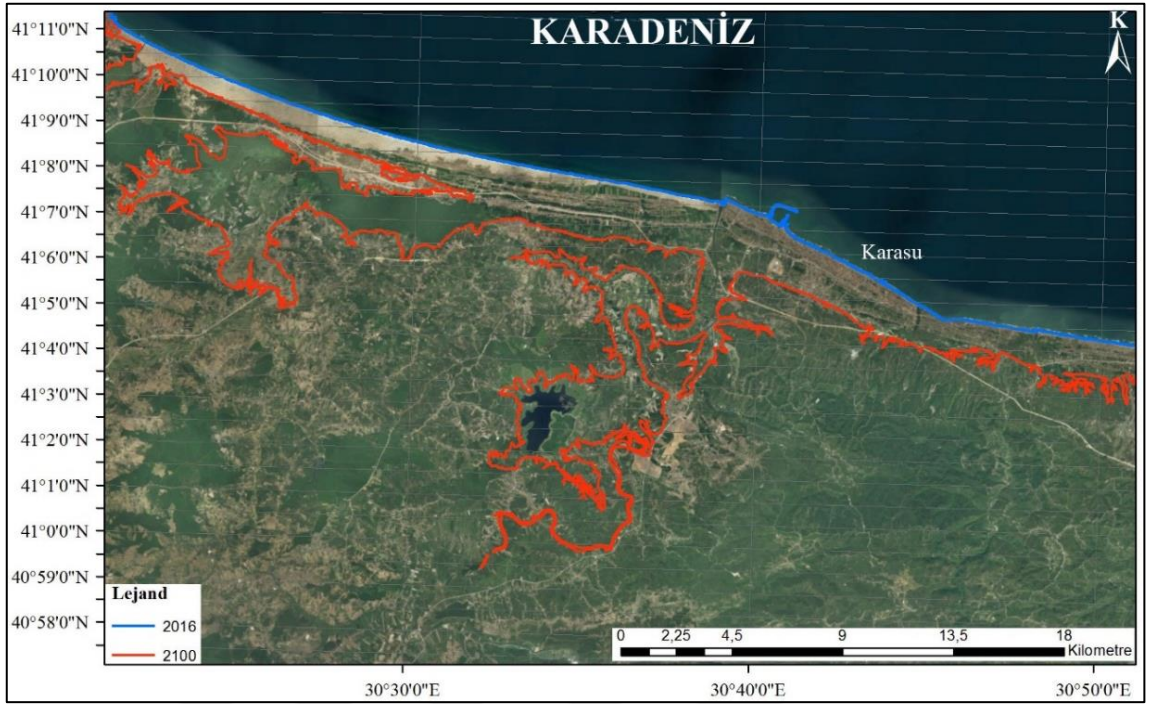


Şekil 49. Deniz seviyesi yükselmesinin alçak-basık kıyı alanlarındaki etkisi



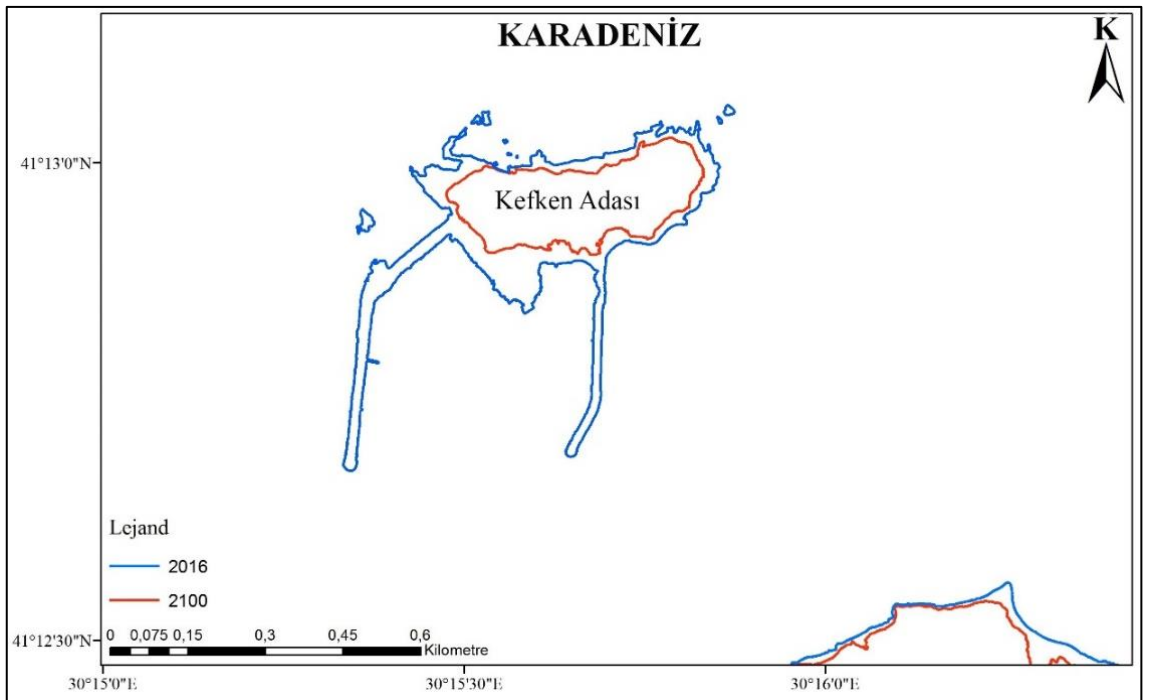
Şekil 50. Çalışma alanındaki tarım alanlarının deniz seviyesi yükselmesi sonrası durumu

Çalışma bölgesi içinde en yoğun nüfusa sahip yerleşim yeri olarak Karasu kıyı alanlarında deniz seviyesi yükselmeleri, gözle görünür biçimde etkili olacaktır (Şekil 51).



Şekil 51. Deniz seviyesi yükselmesinin Karasu kıyılarında oluşturacağı etki

Ayrıca Şekil 52’de görüldüğü gibi, çalışma alanının kuzeyinde yer alan Kefken Adası’nın yüzey alanının 2016 yılına kıyasla 0,06 km² azalacağı tespit edilmiştir.



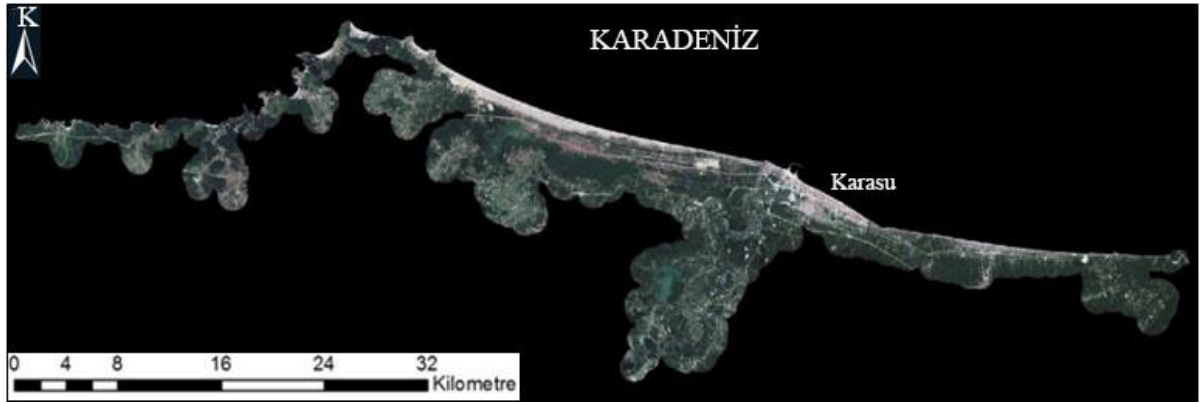
Şekil 52. Su baskını sonrası Kefken Adası yüzey alanı değişimi

Şekillerde görüldüğü gibi özellikle kumsal alanlarında, eğimin az olduğu bölgelerde ve havza alanlarında deniz seviyesi yükselmesi büyük değişim yaratacaktır. Bu alanlardaki yerleşim, tarım ve ticari bölgelerin ciddi şekilde etkileneceği kıyı çizgisi değişimi analizi ile belirgin hale gelmiştir. Analizlerden edinilen bir diğer sonuç; 2016 yılı için üretilen kıyı çizgisi uzunluğunun 189,42 km, 2100 yılı için elde edilen kıyı çizgisinin uzunluğunun ise 820,41 km olarak hesaplandığıdır.

3.4. Çalışma Alanının Arazi Kullanım Durumu

Deniz seviyesi yükselmesinin çalışma alanı üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için alana ait arazi kullanımı hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Bu amaçla uydu görüntüleri ile kontrollü sınıflandırma yapılmıştır.

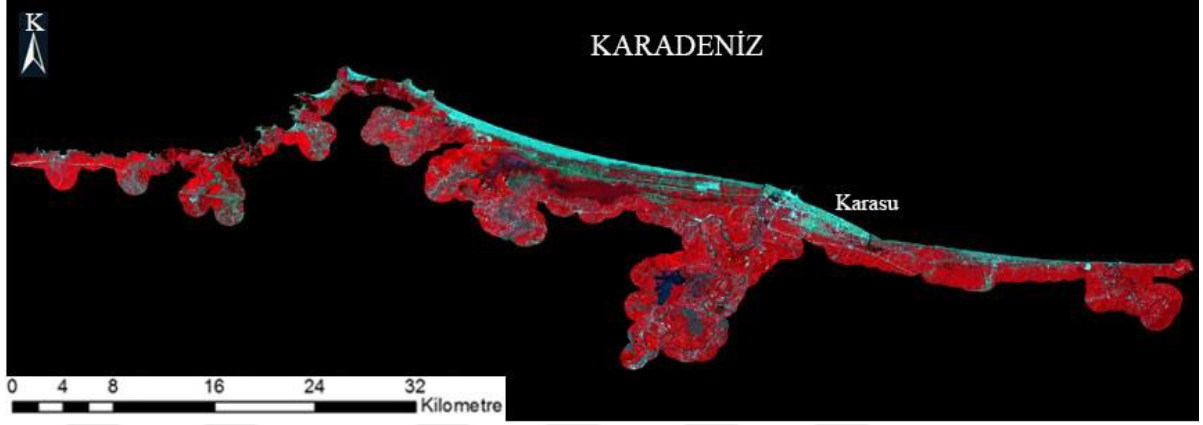
Çalışmada bölüm 3.2.4'te tanıtılan ve Tablo 6'da bant özellikleri verilen, Sentinel-2A uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma alanını kapsayan 04.07.2018 tarihli her iki görüntü için öncelikle layer stack modülü ile 2, 3, 4, 8 ve 11 numaralı bantlar kullanılarak, bant birleştirme işlemleri yapılmıştır. Daha sonra görüntüler mozaiklenerek tek bir görüntü haline getirilmiş ve sınıflandırma işlemine geçilmeden önce su baskın alanı dikkate alınarak, bir tampon bölge belirlenmiştir. Görüntü bu bölgeye göre kesilerek, sınıflandırma çalışmasına hazır hale getirilmiştir. Şekil 53'te uydu görüntüsünün 4, 3, 2 band kombinasyonu görülmektedir.



Şekil 53. Sentinel 2A uydu görüntüsü (4, 3, 2) band kombinasyonu

Çalışma alanında yapılan yer kontrol noktaları ölçümleri ve GPS veri alımları gibi arazi çalışmaları esnasında; arazi kullanımı durumu hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bu arazi tecrübesi, sayısal ortamda yapılan uydu görüntüsü sınıflandırma çalışması aşamasında yorumlama açısından kolaylık sağlamıştır.

Erdas Imagine 2013 yazılımında, en büyük benzerlik algoritması kullanılarak yapılan kontrollü sınıflandırmada, orman-tarım alanları için en iyi ayrımı veren 8, 4, 3 (Şekil 54) ve kara-su ayrımını en iyi düzeyde yapan 8, 11, 4 band kombinasyonları kullanılmıştır.

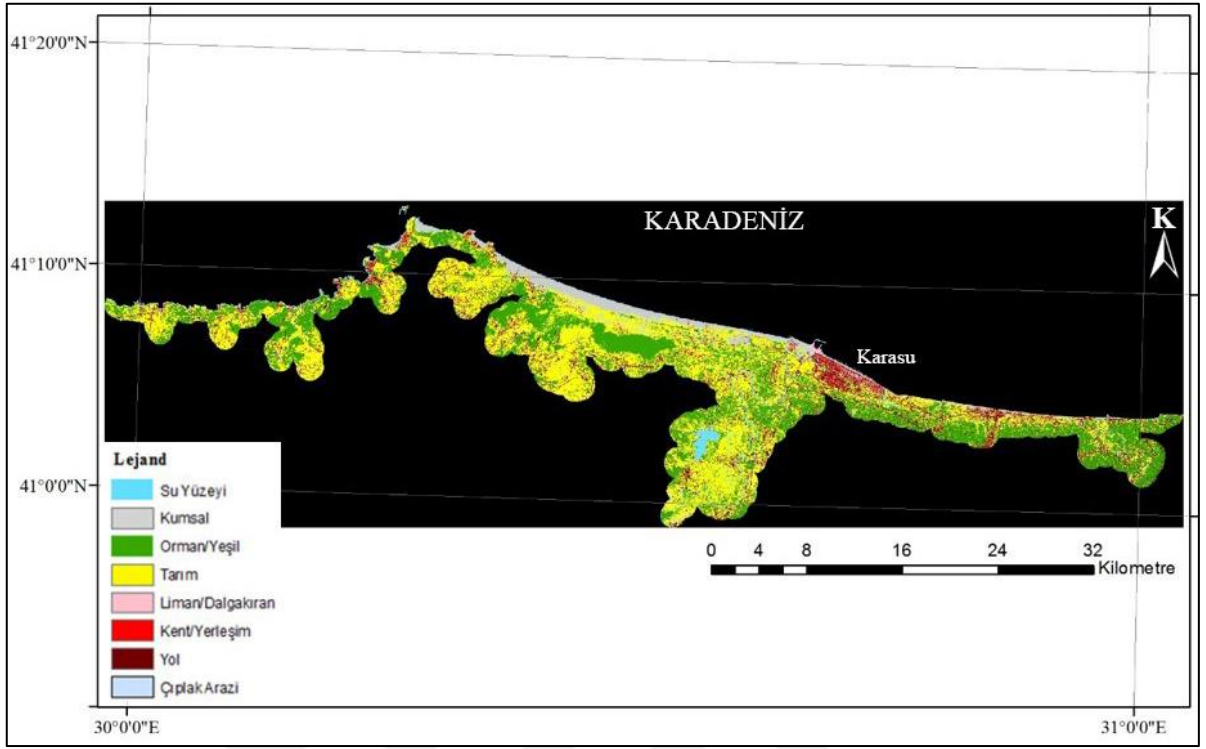


Şekil 54. Sentinel 2A uydu görüntüsü (8, 4, 3) band kombinasyonu

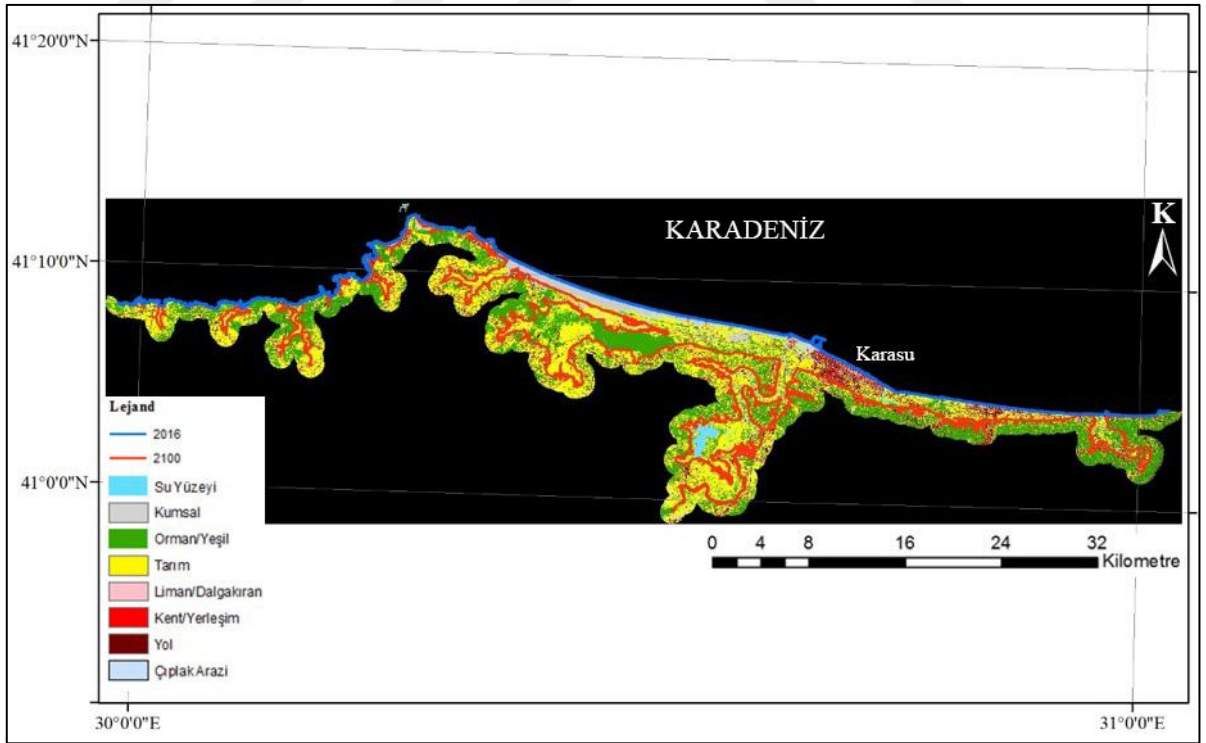
Sınıflandırmada; ormanlık alanlar orman, göl ve nehir gibi sulak alanlar su, ekili tarım alanları tarım yeşil, ekili olmayan tarım alanları tarım toprak, kumluk alanlar kumsal, yapılaşmış yerleşim alanları kent/yerleşim, boş-çıplak arazi ve kayalıklar çıplak arazi, kıyı ile ilgili yapılar liman/dalgakıran, asfalt yollar yol/asfalt ve toprak yollar ise yol/toprak olmak üzere 10 sınıf olarak seçilmiştir. Sınıflandırma sırasında, hava fotoğrafları ve Google Earth görüntüleri referans görüntü olarak kullanılmıştır. Elde edilen arazi kullanım haritası Şekil 55'te görülmektedir.

Doğruluk analizi için, Erdas yazılımındaki “Doğruluk Değerlendirmesi” modülü kullanılmıştır. 200 kontrol noktası ile yapılan analizde noktaların kontrolü referans görüntüler ve nokta bulutu verileri ile sağlanmıştır. Sınıflandırma sonucunda; çalışma alanına ait tematik harita %89,5 doğrulukla elde edilmiştir. Sınıflara ait doğruluk değerleri Tablo 7’de sunulmaktadır.

Çalışma alanı için; 7,5m su baskın miktarıyla yüzyıl sonuna projekte edilen kıyı çizgisi ile arazi kullanım haritasına Şekil 56’da görülen bindirme analizi yapılarak, etkilenecek alan büyüklükleri hesaplanmıştır.



Şekil 55. Arazi kullanım haritası



Şekil 56. Arazi kullanım haritası ve kıyı çizgisi değişimi

Tablo 7. Kontrollü sınıflandırma sonucunda sınıflara ait doğruluk değerleri

Sınıflar	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırma Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırma Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu (%)	Kullanıcı Doğruluğu (%)
Su Yüzeyi	43	45	42	97,68	95,54
Yol\Toprak	11	13	10	90,91	76,92
Yol\Asfalt	4	5	3	75,00	60,00
Kumsal	8	8	8	100,00	100,00
Liman\Dalgakıran	0	0	0	-	-
Çıplak Arazi	7	5	4	57,14	80,00
Kent\Yerleşim	3	2	2	66,67	100,00
Orman\Yeşil	49	43	41	87,11	95,63
Tarım\Toprak	14	11	9	65,07	81,85
Tarım\Yeşil	61	68	60	98,36	88,24

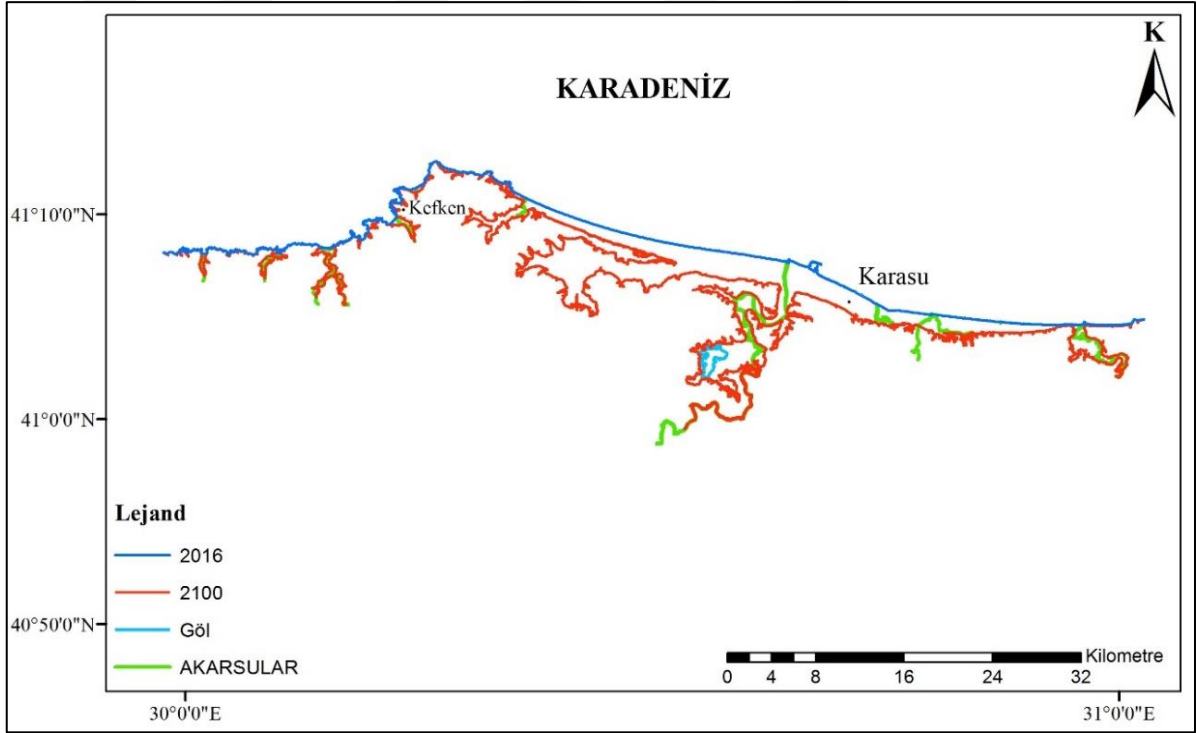
Toplam sınıflandırma doğruluğu %89,5; toplam kappa istatistiği ise 0,87 olarak elde edilmiştir. Etkilenecek alan büyüklükleri, Tablo 8’de görülmektedir.

Tablo 8. Çalışma alanında maksimum su baskını sonucunda etkilenecek alan büyüklükleri

Sınıflar	Alan\Uzunluk\Birim (km ²)	Etkilenen Kısım (km ²)	Oran %
Su Yüzeyi	13,78	9,72	70,58
Yol\Toprak	36,75	10,93	29,73
Yol\Asfalt	8,61	4,17	48,36
Kumsal	15,90	15,21	95,71
Liman\Dalgakıran	0,62	0,54	87,43
Çıplak Arazi	27,27	17,48	64,10
Kent\Yerleşim	9,25	5,36	57,91
Orman\Yeşil	149,34	35,08	23,49
Tarım\Toprak	41,62	20,40	49,01
Tarım\Yeşil	166,53	58,58	35,18

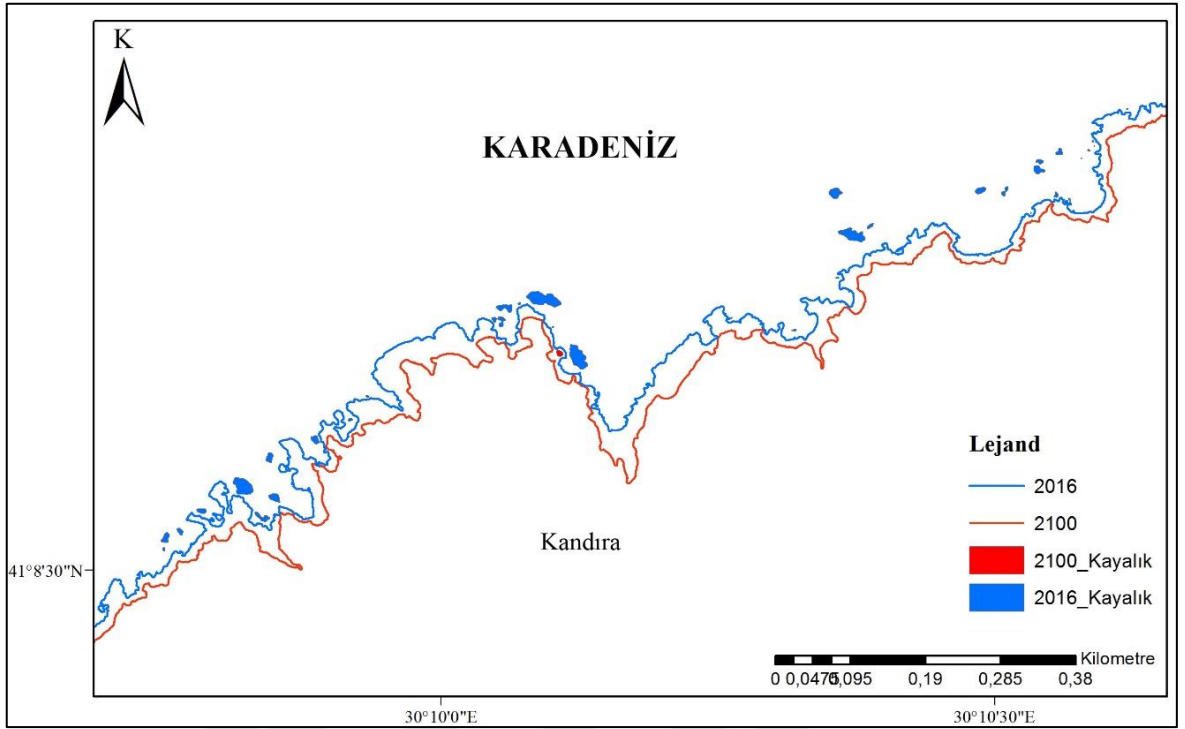
Tablo 8’den anlaşılacağı gibi; arazi kullanım durumunun 2100 yılı için değişmeyeceği varsayılarak; deniz seviyesi yükselmeleri sebebiyle, çalışma alanındaki ekili tarım alanlarının %35,18’inin, ekili olmayan tarım alanlarının %49,01’inin, orman alanlarının %23,49’unun, yerleşim alanlarının %57,91’inin, çıplak arazilerin %64,10’unun, liman/dalgakıran gibi yapıların %87,43’ünün, kumsalların %95,71’inin, asfalt yolların %48,36’sının, toprak yolların %29,73’ünün ve su yüzeyi alanlarının %70,58’inin su baskınından etkilenmesi beklenmektedir.

Deniz seviyesi yükselmesinin bölgede yaratacağı etkilerin daha ayrıntılı olarak irdelenebilmesi amacıyla, çalışma alanında yer alan göl ve akarsular ile kıyı alanı açıklarında bulunan ada ve kayalıkların kıyı çizgileri de ayrıca çıkarılmıştır. Şekil 57’de çalışma alanında bulunan göl ve akarsulara ait kıyı çizgileri görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi, bu alanlar da su baskınından etkilenecektir.

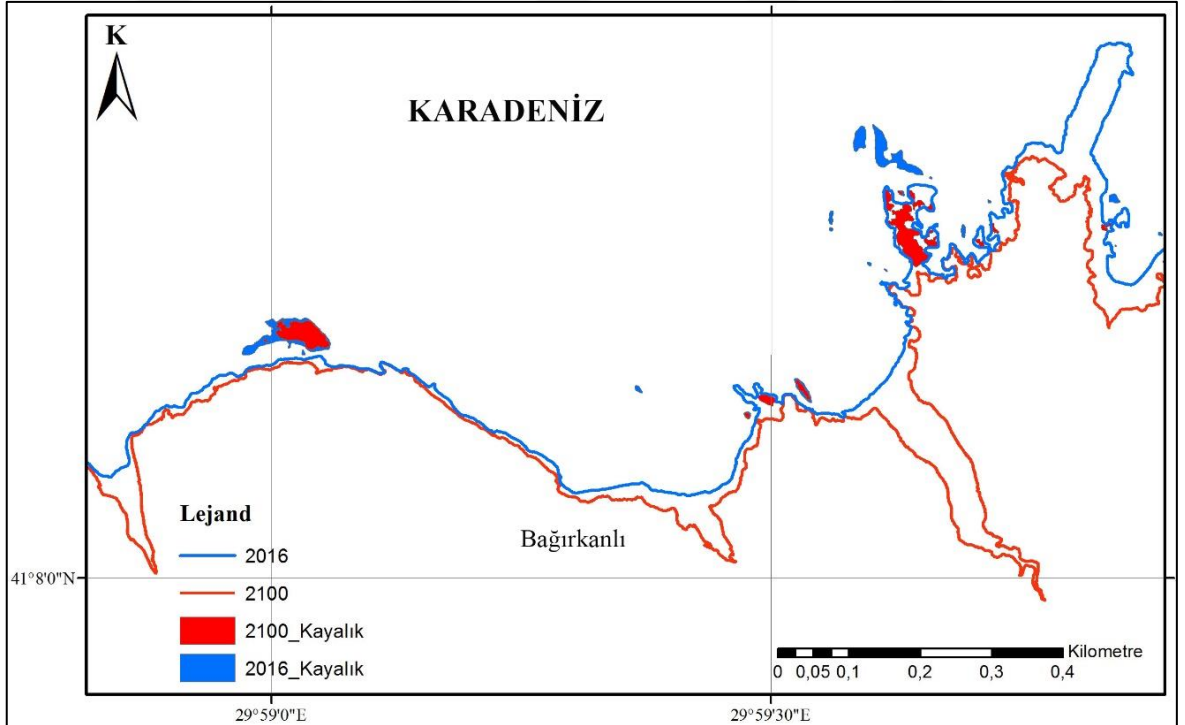


Şekil 57. Deniz seviyesi yükselmesinin akarsulara etkisi

2016 yılında çalışma alanında 364 tane kayalık tespit edilmiş olup, yüzey alanları toplamı 0,21 km²’dir. 2100 yılı projeksiyonunda ise kayalıkların sayısı 326 olup, alanları toplamı büyüyerek 0,55 km² olarak hesaplanmıştır (Şekil 58 ve 59).

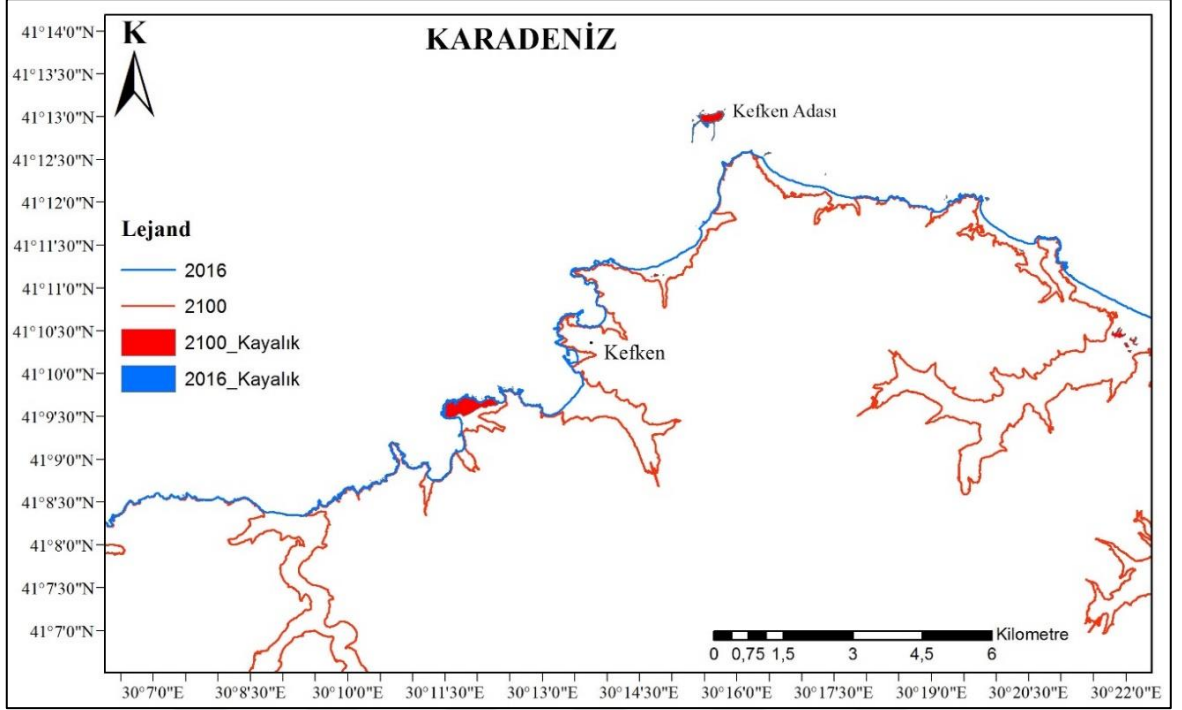


Şekil 58. Çalışma alanındaki kayalık alanların değişimi



Şekil 59. Kayalık alanların değişimi

Su baskın analizinden ortaya çıkan bir diğer sonuç ise Kerpe yakınlarında, Şekil 60'da görülen 0,27 km² büyüklüğünde yeni bir ada oluşacağıdır.



Şekil 60. Deniz seviyesi yükselmesi sonrası çalışma alanı yakınındaki adaların durumu

Çalışma ile ilgili sonuçlar ve ortaya çıkan görseller incelendiğinde; yüzyıl sonunda çalışma alanındaki kıyı, kıyı çizgisi, kıyı kenar çizgisi, sahil şeridi gibi kıyı kavramlarının tamamen değişeceği ve mevcut kıyı alanı planlarının geçerliliğini yitireceği anlaşılmaktadır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Son yıllarda etkileri giderek daha fazla hissedilen küresel ısınma ve iklim değişimlerinin en önemli sonuçlarından biri, deniz seviyesinin yükselmesidir. Deniz seviyesindeki yükselme özellikle düşük kotlu kıyı alanları ve deltalar üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Küresel ve ulusal ölçekte yapılan çalışmalardan edinilen sonuçlara göre, deniz seviyesi yükselmesinin hızı sanayi devriminden bu yana artışa geçmiş ve gelecekte de artışı hızlanarak devam edecektir.

Ülkemiz, üç tarafı denizlerle çevrili bir yarımadadır ve önemli sayıda yüksek nüfus yoğunluğuna sahip kıyı kentleri bulunmaktadır. Deniz seviyesi yükselmesi konusunda küresel ve ulusal ölçekte yapılan çalışmalardan edinilen sonuçlar, özellikle düşük rakımlı kıyı kentlerimizi tehdit eden bu olgunun bir an önce dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Kıyı alanları planlama çalışmalarında, deniz seviyesi değişimlerinin ve gelecek projeksiyonlarının göz önünde bulundurulması, risk altında bulunan bölgelerdeki sanayi tesisleri, ulaşım ağları ve altyapı sistemleri gibi yüksek maliyetli yatırımların sağlıklı konumlandırılması için gereklidir. Bu yapıların zarar görmesinin bölgedeki yaşam koşullarını ciddi biçimde etkilemesi ve ekonomik zarara yol açması kaçınılmazdır.

Karadeniz kıyılarında deniz seviyesi yükselmelerinin ortalamadan daha fazla olabileceği çeşitli araştırmalarda önerilmektedir ve Karadeniz'in düşük eğimli kıyı alanları ile deltaları, bu durum karşısında en fazla etkilenecek alanlar arasında gösterilmektedir. Tez çalışmasında; güneybatı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Sakarya Nehri Deltası ve çevresini içeren bölge, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanı içinde farklı kıyı tipleri yer almaktadır ve bu yönüyle alan, Karadeniz'in genel kıyı özelliklerini içeren bir kıyı kuşağına sahiptir. Bu sayede, seçilen çalışma alanı gelecek kestirimleri için çok yönlü bir analize olanak sağlamıştır.

Çalışma alanında, su baskınına maruz kalacak alanın belirlenmesi ve baskın etkilerinin ortaya çıkarılabilmesi için gereken veriler, yüksek çözünürlüklü bir SYM ve arazi kullanım haritasıdır. Tez çalışmasında hava LiDAR teknolojisi ile elde edilen lazer nokta bulutu verisinin işlenmesiyle oluşturulan, yüksek çözünürlüklü SYM verisi kullanılmıştır.

Tez çalışmasının ilk bölümünde; deniz seviyesi yükselmesi konusundaki küresel ve bölgesel bulgulardan bahsedilmiş, çalışma alanı tanıtılmıştır. İkinci bölümde; çalışmada kullanılan hava LiDAR verisi ve sistemleri hakkında bilgi verilmiş, ham verinin işleme süreçleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde; sınıflandırılmış nokta bulutu verisinin doğruluğunu belirlemek amacıyla, bölgede yersel yöntemlerle ölçülmüş ve alana homojen olarak dağılan 30 kontrol noktası ile her bir nokta için en yakın mesafedeki lazer noktalarının koordinatları okunarak, toplam 60 nokta koordinatı arasında KOH hesabı yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda KOH değerleri; $m_x = 0,05$ m, $m_y = 0,05$ m, $m_z = 0,04$ m olarak hesaplanmıştır. Böylece, kullanılan verinin yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

Sonraki aşama, nokta bulutu verisi ile SYM üretimi ve bu modelden kıyı çizgisi çıkarımı işlemidir. Bu konuda Dünya’da ve ülkemizde yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve örnekler sunulurken tez çalışmasında kullanılan veri ile karşılaştırılmıştır. Doktora tez çalışmasında kullanılan LiDAR verisindeki nokta yoğunluğu 16 nokta/m² ve hesaplanan nokta bulutu doğruluğu 4-5 cm civarındadır. Benzer çalışmalarla kıyaslandığında, daha yoğun nokta bulutu verisi içermesi ve cm düzeyinde doğruluğa sahip olması göz önünde bulundurularak, kıyı çizgisi çıkarımında kullanılan 0,25 m çözünürlüğündeki SYM ve bu veriden üretilen kıyı çizgisinin yüksek hassasiyette olacağı görülmüştür.

Çalışma alanında kıyı çizgisi, hava LiDAR verisinden üretilen SYM verisi kullanılarak, suyun kara üzerinde ulaştığı en son noktalar baz alınarak çıkarılmıştır. Tez çalışmasında yaklaşık 100 km’lik kıyı şeridini kapsayan alanda çalışılması sebebiyle, alan içinde alçak-basık kıyı ve dar-yüksek kıyı tipleri bulunmaktadır. Kıyı çizgisi üretiminde en önemli aşama özellikle yükseklik farkının az olduğu alçak-basık kıyı alanlarında, suyun kara ile kesişim hattının belirlenmesidir. Sınıflandırılmış nokta bulutu verisinden elde edilen yer noktaları sınıfı, SYM üretiminde kullanılacak olan nokta bulutu verisidir. Ancak bu veride karaya ait noktalar ile birlikte sudan yansıyan nokta bulutu verisi de bulunmaktadır. Tez çalışmasında, LiDAR verisinin su yüzeyi ve kara üzerindeki nokta özelliklerinin farklı olması durumundan faydalanılarak, bir yöntem geliştirilmiştir. Karasal alanlardaki nokta yoğunluğu (metrekareye düşen nokta sayısı) ile su yüzeyindeki nokta yoğunlukları birbirinden farklıdır. Aynı zamanda intensity değeri de kızılötesi dalga boyunun bir özelliği olarak lazer ışınının yansıtıldığı yüzeye göre farklılık gösterdiğinden, kara su ayırımında belirleyicidir.

Benzer çalışmalarda kara-su sınırının belirlenmesi amacıyla genellikle bölgeye ait ortofoto görüntüler kullanılmıştır. Fakat ortofoto görüntüler özellikle kıyı alanlarının bazı kısımlarında ormanlık alanların bulunması durumunda, ağaç örtüsünün kıyının görülmesini engellemesi sebebiyle, kara-su sınırının algılanabilmesine imkan vermemektedir. LiDAR verisinin tam dalga boyu özelliği, orman altı topoğrafyasının çıkarılmasında avantaj sağlamaktadır. Ayrıca ortofoto görüntülerden kara-su ayrımını belirleyebilmek için bazı çalışmalarda kullanılan renk bilgisi de yanıltıcı olabilmektedir. Bu yönüyle tez çalışmasında kullanılan LiDAR verisinin intensity bilgisi ve bu veriden üretilen nokta yoğunluğu görüntüsünün, kara noktalarının su yüzeyi noktalarından ayrılabilmesinde kolaylık sağladığı ve sınıflandırmanın doğruluğunu arttırdığı görülmüştür. Sınıflandırmanın tamamlanmasından sonra elde edilen su yüzeyi noktalarından arındırılmış nokta bulutu verisi ile 0,25 m çözünürlüğünde SYM üretilmiş ve bu model üzerinden kıyı çizgisi çıkarımı yapılmıştır.

Üretilen kıyı çizgisinin görsel analizini yapabilmek amacıyla, klasik bir yaklaşım olan uydu görüntüsü ile kıyı çizgisi çıkarımı yapılmıştır. Çalışmada Sentinel uydu sistemlerinden Sentinel-2A uydu görüntüleri kullanılmıştır. SYM'den ve uydu görüntüsünden elde edilen kıyı çizgilerinin referans görüntüler üzerinde üst üste getirilmesi ile LiDAR verisinden çıkarılan kıyı çizgisindeki detayların, uydu görüntüsünden elde edilen kıyı çizgisinde ayırt edilemediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, uydu görüntüsünden çıkarılan kıyı çizgisinin kıyıya yakın konumdaki kayalıkları da kıyı çizgisi içine dahil ettiği görülmüştür. Böylece, tez çalışmasında LiDAR verisi kullanılarak üretilen kıyı çizgisinin, klasik yöntemlerle üretilen kıyı çizgilerine kıyasla daha yüksek detay seviyesi ve doğruluk sağladığı anlaşılmıştır.

Deniz seviyesi yükselmesinin bu yüzyılın sonunda çalışma alanında yaratacağı etkilerin belirlenebilmesi için bir su baskın modeline ihtiyaç bulunmaktadır. Karadeniz kıyıları deniz seviyesi yükselme trendini belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarla ulaşılan sonuçlardan anlaşıldığı gibi, Karadeniz kıyılarında deniz seviyesi yükselme eğilimleri bölgeye göre farklılık göstermektedir. Tez çalışmasında çalışma alanına ait bir su yükselme modelinin olmaması sebebiyle; yüzyıl sonu projeksiyonu olması, çalışma alanına yakınlığı, coğrafi olarak benzerliği ve çalışmaların nispeten yakın tarihleri kapsaması göz önüne alınarak, Simav (2012) tarafından Kızılırmak Deltası kıyı alanı için altimetrik gözlemlere dayalı olarak hesaplanan maksimum su baskını seviyesinin kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Simav (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; bölgede anlamlı düşey kara hareketinin, deniz seviyesi yükselme hızında ivmelenmenin, mevsimsel parametrelerde yıllar ve on yıllar arası değişimlerin olmadığı varsayılarak 2100 yılı için Kızılırmak bölgesindeki su baskını seviyesinin 7,5 m olarak tespit edildiği ifade edilmiştir. Bu bilgiye dayanarak, çalışma alanında deniz seviyesi yükselmesi sonucunda oluşacak kıyı çizgisinin üretimi için 7,5 m maksimum su baskını seviyesi değeri esas alınmıştır. Böylece, üretilen 0,25 m çözünürlüğündeki SYM verisi ile suyun kara üzerinde 7,5 m'ye kadar ilerlemesi durumunda ulaşacağı son noktalardan oluşan sınırı ifade eden, kıyı çizgisi çıkarılmıştır. LiDAR veri alımının yapıldığı 2016 yılı için üretilen kıyı çizgisiyle, 2100 yılı su baskın miktarına göre çıkarılan kıyı çizgilerinden yapılan değişim analizi ile özellikle kumsallarda, düşük kotlu bölgelerde ve delta alanlarında deniz seviyesi yükselmesinin büyük etki yaratacağı görülmüştür. Bu alanlardaki yerleşim, tarım, altyapı, ulaşım ağları ve ticari bölgelerin önemli bölümünün su baskınından etkileneceği sonucu ortaya çıkmıştır.

2016 yılı için üretilen kıyı çizgisi uzunluğu 189,42 km olup 2100 yılında oluşması beklenen kıyı çizgisinin uzunluğu 820,41 km olarak elde edilmiştir. Su baskını sebebiyle etkilenecek alan büyüklüğü 177,46 km² olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanının kuzeyinde yer alan Kefken Adası'nın yüzey alanının 2016 yılına göre 0,06 km² azalacağı tespit edilmiştir. 2016 yılı için edinilen sonuçlardan, çalışma alanı yakınlarında 364 tane kayalık tespit edilmiş olup yüzey alanları toplamı 0,21 km² olarak belirlenmiştir. 2100 yılı projeksiyonunda ise kayalık sayısı 326 olarak bulunmuş, yeni oluşacak kayalık alanları ile birlikte yüzey alanları toplamının 0,55 km²'ye ulaşacağı hesaplanmıştır. Ayrıca 2100 yılı su baskın analizinden, Kerpe yakınında 0,27 km² büyüklüğünde yeni bir ada oluşacağı görülmüştür.

Deniz seviyesi yükselmesinin çalışma alanı üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için, alana ait arazi kullanımı hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Bu amaçla 04.07.2018 tarihli Sentinel 2A uydu görüntüleri ile Erdas yazılım araçları ve en büyük benzerlik algoritması kullanılarak kontrollü sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmada; ormanlık alanlar orman, göl ve nehir gibi sulak alanlar su, ekili tarım alanları tarım yeşil, ekili olmayan tarım alanları tarım toprak, kumluk alanlar kumsal, yapılaşmış yerleşim alanları kent/yerleşim, boş-çıplak arazi ve kayalıklar çıplak arazi, kıyı ile ilgili yapılar liman/dalgakıran, asfalt yollar yol/asfalt ve toprak yollar ise yol/toprak olmak üzere 10 sınıf seçilmiştir. Sınıflandırma sırasında, hava fotoğrafları ve Google Earth görüntüleri, referans görüntü olarak kullanılmıştır. Doğruluk analizi için Erdas

yazılımındaki “Doğruluk Değerlendirmesi” modülü kullanılmıştır. 200 kontrol noktası kullanılarak yapılan analizde noktaların kontrolü, referans görüntüler ve nokta bulutu verileri ile sağlanmıştır. Sınıflandırma sonucunda çalışma alanına ait tematik harita %89,5 doğrulukla elde edilmiştir.

Çalışma alanında maksimum su baskını sonucunda etkilenecek alan büyüklükleri, kıyı çizgisi değişimi ile belirlenen su baskın alanıyla, arazi kullanım haritasına bindirme analizi yapılarak hesaplanmıştır. Arazi kullanım durumunun 2100 yılı için değişmeyeceği varsayılarak yapılan hesaplamalara göre; çalışma alanındaki ekili tarım alanlarının %35,18’inin, ekili olmayan tarım alanlarının %49,01’inin, orman alanlarının %23,49’unun, yerleşim alanlarının %57,91’inin, çıplak arazilerin %64,10’unun, liman/dalgakıran gibi yapıların %87,43’ünün, kumsalların %95,71’inin, asfalt yolların %48,36’sının, toprak yolların %29,73’ünün ve su yüzeyi alanlarının %70,58’inin su baskınından etkilenmesi beklenmektedir.

Sonuç olarak, 2100 yılı için maksimum su baskını seviyesi ile yapılan değerlendirme neticesinde, çalışma alanı içinde bulunan, yaşamı ve ekonomiyi direkt etkileyecek alanlarda ciddi bir kayıp yaşanacağı görülmüştür. Bununla birlikte nehir, göl gibi tatlı su kaynaklarının ciddi bir kısmının da su baskını etkisinde kalacağı anlaşılmaktadır. Bölgede birçok kayalık ve ada yok olacak veya alan kaybedecek, yeni bir ada ve kayalıklar oluşacaktır. Bölgedeki liman ve dalgakıran gibi yapıların işlevini yitireceği, halkın önemli geçim kaynaklarından biri olan turizmin de kumsalların %95 gibi büyük bir etkilenme oranına sahip olması ile yüksek oranda zarar göreceği açıktır. Ayrıca, alan içinde bulunan ülkemizdeki 4 büyük longoz ormanından biri olan Acarlar Longozu’nun da su baskını etkisinde kalacağı görülmüştür.

Su baskın alanlarının belirlenmesi için en büyük gereklilik yüksek çözünürlüklü SYM verisidir. Bu çalışmanın benzerlerinden en önemli farkı, milyonlarca koordinatlı noktadan oluşan LiDAR nokta bulutu verisinden üretilen, yüksek çözünürlüklü SYM kullanılmasıdır. Çalışmadan elde edilen bulgular, kıyı alanları ile ilgili araştırmalarda LiDAR verilerinden üretilen SYM’lerin kullanımının faydalı olacağını göstermiştir. Bu çalışmanın kısıtlaması ise çalışma alanına ait mareograf verisi ve su yükselme modelinin olmamasıdır. Gelecekte yapılacak uygulamalarda çalışılan bölgelere ait su yükselme modellerinin çıkarılması, gerçekleştirilecek analizler ve kestirimler için katkı sağlayacaktır.

Çalışma alanındaki deniz seviyesi yükselmesi sebebiyle etkilenecek alan büyüklükleri 2100 yılı kestirimi olarak hesaplanmış olsa da alan kayıpları günden güne gerçekleşecek ve

zamanla önemli boyutlara ulaşacaktır. Sonuçlardan anlaşıldığı gibi, kıyı alanı planlarının ve mevcut planlarda belirlenen kıyı ile ilgili kavramların, deniz seviyesi yükselmesi ile yakın gelecekte geçerliliğini yitirmeye başlaması kaçınılmaz görünmektedir. Bu ve benzeri çalışmaların en önemli faydalarından biri, kıyı alanı planları yapılırken deniz seviyesi yükselmesi olgusunun ve bu olguya yönelik gelecek kestirimlerinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamalarıdır. Bu sebeple deniz seviyesi yükselmesi etkisiyle üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizin kıyı alanlarında oluşacak değişimleri gözler önüne seren çalışmaların sayısı ve uygulama alanlarının artırılması önemlidir.

Çalışma, küresel ısınma ve iklim değişikliği kaynaklı deniz seviyesi yükselmesinin sebep olabileceği fiziksel ve sosyolojik etkilerin ortaya çıkarılması yönünde faydalı olacaktır. Risk değerlendirmesinin yapılması, koruma stratejilerinin belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için yol gösterici bir çalışmadır. Özellikle Karadeniz Bölgesi'nde yol projeleri, demiryolu hatları ve su taşıma hatları kıyı alanlarına yakın konumlarda planlanmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen bulguların, çalışma alanı çevresinde gerçekleştirilmesi düşünülen plan ve projelerin sürdürülebilirliği açısından göz önünde bulundurulması, ülkemize katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Antonarakis, A., Richards, K., Brasington, J. (2008). Object-based land-cover classification using airborne LIDAR. *Remote Sensing of Environment*, 112 (6), 2988–2998.
- ArcGIS Desktop (ArcGIS, 2018). Storing lidar data. Erişim adresi: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/storing-lidar-data.htm> (Erişim tarihi: 11.11.2018).
- ArcGIS Desktop (ArcGIS, 2019). What is lidar intensity data? Erişim adresi: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-intensity-data.htm> (Erişim tarihi: 07.08.2019).
- Avsar, N.B., Jin, S., Kutoglu, S.H. (2018). Recent sea level changes in the Black Sea from satellite gravity and altimeter measurements. *Geoinformation for Disaster Management, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Book of Abstracts, 83-85, 18-21 March, Istanbul.
- Avsar, N.B., Kutoglu, S.H., Erol, B., Jin, S.G. (2015). Coastal risk analysis of the Black Sea under the sea level rise. *FIG Working Week, From the wisdom of the ages to the challenges of the modern world*, Book of Abstracts, 1-14, 17–21 May, Sofia, Bulgaria.
- Balenović, I., Alberti, G., Marjanović, H. (2013). Airborne laser scanning - the status and perspectives for the application in the south-east European forestry. *South-East European Forestry*, 4 (2), 59-79.
- Bang, K.I. (2010). Alternative Methodologies for LiDAR System Calibration (Unpublished PhD Thesis). Department Of Geomatics Engineering, University Of Calgary, Alberta.
- Brovelli, M.A., Cannata, M., Longoni, U.M. (2002). Managing and processing LIDAR data within GRASS. *GRASS Users Conference*, University of Trento, Trento, Italy. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/2537685_Managing_and_processing_LIDAR_data_within_GRASS (Erişim tarihi: 26.10.2019).
- Buyuksalih, G., Baskaraca, P., Bayburt, S., Buyuksalih, I., Rahman, A.A. (2019). 3D City modelling of Istanbul based on LIDAR data and panoramic images - issues and challenges. *ISPRS- International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W12, 51-60.
- Cazenave, A., Bonnefond, P.F., Mercier, F., Dominh, K., Tournazou, V. (2002). Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges. *Global and Planetary Change*, 34 (1–2), 59–86.
- Cazenave, A., Remy, F. (2011). Sea level and climate: Measurements and causes of changes. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Climate Change*, 2 (5), 647–662. <https://doi.org/10.1002/wcc.139>.
- Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D., Unnikrishnan, A.S. (2013). Sea level change. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, et al. (Eds), *Climate Change 2013- The Physical Science Basis* (s. 1137-1216). New York, USA: Cambridge University Press.
- Çayiroğlu, İ. (2012). Kalman filtresi ve programlama. *Fen ve Teknoloji Bilgi Paylaşımı*, 1-6. Erişim adresi: <https://www.scribd.com/document/132526741/2012-1-Kalman-Filtresi-Ve-Bir-Programlama-Ornegi> (Erişim tarihi: 19.10.2019).
- Çelik, H., Baş, N., Coşkun, G. (2014). Taşkın modelleme ve risk analizinde LiDAR verisiyle sayısal yükseklik modeli üretimi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (1), 117-125.

- Çiner, A., Sarıkaya, M.A. (2013). Buzullar ve İklim Değişikliği: Geçmiş, Günümüz ve Gelecek. V.Ş. Ediger (Ed.), Türkiye’de İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Enerji (s. 19-58). İstanbul: ENİVA-Enerji ve İklim Değişikliği Vakfı.
- Demir, N., Acar, U. (2007). Hava LIDAR verilerinin sınıflandırılması ve grid biçimine dönüştürülmesi. Tufuab 2007 4th Symposium of Turkish Society for Photogrammetry and Remote Sensing, İstanbul, Türkiye. Erişim adresi: <http://www.tufuab.org.tr/images/dergi/makaleler/61dede89ddccbec.pdf> (Erişim tarihi: 20.10.2019).
- Dinlemek, M.U. (2012). Otomatik Bina Çıkarımı Uygulamalarında Çoklu Algılama Sistemi Verilerinin Kullanım Olanaklarının Analizi (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğa Derneği (doğa, 2019). Sakarya Deltası. Erişim adresi: <https://www.dogadernegi.org/sakarya-deltası/> (Erişim tarihi: 11.05.2019).
- Duran, C., Daban, F. (2007). Hava LIDAR (light detection and ranging) verilerin jeomorfolojik ve ekolojik ortam analizlerinde kullanım olanakları. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ, Trabzon. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/53574870-Hava-LiDAR-light-detection-and-ranging-verilerin-jeomorfolojik-ve-ekolojik-ortam-analizlerinde-kullanim-olanaklari.html> (Erişim tarihi: 10.10.2019).
- ECOGIS Ltd. (2018). Digicam. Erişim adresi: http://ecogis.pl/PDF/IGI_DigiCAM.pdf (Erişim tarihi: 07.05.2018).
- Environmental Systems Research Institute (ESRI, 2018). Arcuser online-LiDAR image processing creates useful imagery. Erişim adresi: www.esri.com/news/arcuser/0103/lidar.html (Erişim tarihi: 07.08.2018).
- Erbaş, M. (2016). LiDAR verilerinden enerji nakil hatlarının otomatik tespit edilmesi çalışmaları. Harita Dergisi, 156, 32-40.
- Erdem, F., Derinpınar, M.A., Nasirzadehdizaji, R., Oy, S., Şeker, D.Z., Bayram, B. (2018). Rastgele orman yöntemi kullanılarak kıyı çizgisi çıkarımı İstanbul örneği. Geomatik, 3 (2), 100-107.
- Erinç, S. (2015). Jeomorfoloji II. İstanbul: Der Yayınları.
- Ertok, T.A. (1995). Kocaeli Yarımadasının Kuzeydoğu Kesiminin Jeomorfolojisi. İstanbul: Çantay Kitapevi.
- Felix Rohrbach (2019). An introduction to LiDAR. Erişim adresi: <http://felix.rohrba.ch/en/2015/an-introduction-to-lidar> (Erişim tarihi: 06.08.2019).
- Garipağaoğlu, N., Uzun, M. (2014). Kıyı çizgisi değişimin yaratacağı riskler açısından İzmit Körfezi kıyılarının değerlendirilmesi. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 7 (31), 469-480.
- Gazioğlu, C., Müftüoğlu, A.E., Demir, V., Aksu, A., Okutan, V. (2015). Connection between ocean acidification and sound propagation. International Journal of Environment and Geoinformatics, 2 (2), 16-26.
- Gazioğlu, C., Uzun, Y., Akkaya, M.A., Kaya, H. (2013). Kıyı Alanlarının Planlanması ve Kullanımı. İstanbul: Bayem Ajans Promosyon Medya Reklam Organizasyon Matbaa ve Bilgisayar Hizmetleri San. Tic. Ltd. Şti.
- Gil, J.G., Gonzalez, R.R., Garcia, S.A., Gomez-Gil, F.J. (2013). A kalman filter implementation for precision improvement in low-cost GPS positioning of tractors. Sensors, 13 (11), 15307-15323.

- Gonçalves, G., Jalobeanu, A. (2011). LiDAR boresight calibration: A comparative study. American Geophysical Union Fall Meeting, Abstracts, December 2011, San Francisco, USA.
- Göl, G. (2015). IMU Kalman Filtresi Uygulaması. HEE 592 Seminer Dersi Final Raporu, Havacılık Elektronik Ana Bilim Dalı, Mayıs. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/8091041-Imu-kalman-filtresi-uygulamasi-gokhan-gol.html>. (Erişim Tarihi: 12.08.2019).
- Habib, A.F., Kersting, A.P., Ruifanga, Z., Al-Durgham, M., Kim, C., Lee, D.C. (2008). LiDAR strip adjustment using conjugate linear features in overlapping strips. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 385–390.
- Hay, C.C., Marrow E., Kopp, R.E., Mitrovica, J.X. (2015). Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise. *Nature*, 517 (7535), 481-484. doi:10.1038/nature14093.
- Höfle, B., Geist, T., Rutzinger, M., Pfeifer, N. (2007). Glacier surface segmentation using airborne laser scanning point cloud and intensity data, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36, 195-200.
- İkiel, C., Ustaoglu, B. (2011). Sakarya Deltasının doğu kesiminde kıyı çizgisi değişiminin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yöntemleriyle analizi. D. Ekinci (Ed.), *Fiziki Coğrafya Araştırmaları; Sistematik ve Bölgesel* (s. 483-492). İstanbul: Türk Coğrafya Kurumu.
- Kahraman, E.D., Aydın, S.B.M. (2016). Deniz seviyesinin yükselmesi tehdidine karşı kıyı kentlerinin morfolojik açıdan kırılganlık düzeylerinin belirlenmesi. *TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, 675-681, 13-14 Ekim 2016, Ankara.
- Kaya, H., Gazioğlu, C. (2019). Bütünleşik kıyı alanları yönetimi açısından Marmara Bölgesi'nin değerlendirilmesi. S.A. Dinçer, S. Sönmez, M. Bostancı, E. Özoban (Eds.), *Sosyal, Beşer ve İdari Bilimler Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler* (s. 393-407). Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Kubryakov, A.A., Stanichnyi, S.V. (2013). The Black Sea level trends from tide gages and satellite altimetry. *Russian Meteorology and Hydrology*, 38 (5), 329–333.
- Kurt, S., Duman, E. (2015). Sakarya Nehri Deltası'nda kıyı alan kullanımı değişiminin coğrafi analizi. *Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi Bildiriler Kitabı*, 711-720, 21-23 Mayıs 2015, Ankara.
- Lee, I-C., Wu, B., Li, R. (2009). Shoreline extraction from the integration of LiDAR point cloud data and aerial orthophotos using mean shift segmentation. *ASPRS 2009 Annual Conference, Book of Abstracts*, 3033-3040, 9-13 March 2009, Baltimore, Maryland, USA.
- Liu, X. (2008). Airborne LİDAR for DEM generation: Some critical issues. *Progress in Physical Geography*, 32 (1), 31–49.
- Lohani, B., Ghosh, S. (2017). Airborne LiDAR technology: A review of data collection and processing systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences*, 87 (4), 567–579.
- Lutz, E., Geist, T., Stötter, J. (2003). Investigations of airborne laser scanning signal intensity on glacial surfaces-utilizing comprehensive laser geometry modeling and orthophoto surface modeling (A case study: Svartisheibreen, Norway). *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34, 143–148.

- Montillet, J.P., Bos, M.S., Melbourne, T.I., Williams, S.D.P., Fernandes, R.M.S., Szeliga, W.M. (2019). Geodetic Time Series Analysis in Earth Sciences. J.P. Montillet, M. Bos (Eds), Estimation of the vertical land motion from GNSS time series and application in quantifying sea-level rise (s. 317-344). Cham, Switzerland: Springer Geophysics. doi: 10.1007/978-3-030-21718-1_11.
- Nicholls, R.J., Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328 (5985), 1517-1520.
- Prandi, P., Cazenave, A., Becker, M. (2009). Is coastal mean sea level rising faster than the global mean? A comparison between tide gauges and satellite altimetry over 1993-2007. *Geophysical Research Letters*, 36 (5), L05602, doi:10.1029/2008GL036564.
- Reigl laser measurement systems (Reigl, 2019). LMS-Q680i. Erişim adresi: http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegl/downloads/10_DataSheet_LMS-Q680i_28-09-2012_01.pdf (Erişim tarihi: 07.04.2019).
- Sesli, F.A., Akyol, N., İnan, H.İ. (2002). CBS ile kıyı kenar çizgisi-mülkiyet ilişkilerinin incelenmesi. VIII. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/51681519-Cografi-bilgi-sistemleri-ile-kiyi-kenar-cizgisi-mulkiyet-iliskilerinin-incelenmesi.html> (Erişim tarihi: 11.10.2019).
- Sesli F.A., Caniberk, M. (2015). Estimation of the coastline changes using LIDAR. *Acta Montanistica Slovaca*, 20 (3), 225-233.
- Shahzad, U. (2015). Global warming: causes, effects and solutions. *Durreesamin Journal*, 1 (4), 1-8.
- Simav, Ö. (2012). Deniz Seviyesi Yükselmelerinin Kıyı Alanlarına Olası Etkilerinin Araştırılması (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Simav, Ö., Şeker, D.Z., Tanık, A., Gazioğlu, C. (2015). Kıyı etkilenebilirlik göstergesi ile Türkiye kıyıları risk alanlarının tespiti, *Harita Dergisi*, 81 (153), 1-8.
- Soğancı, M. (2012). Karasu kıyı alanı kıyı daralması raporu. Ankara: Mattek Basım Yayın Tanıtım Tic. San. Ltd. Şti.
- Song, J.H., Han, S.H., Yu, K., Kim, Y.I. (2002). Assessing the possibility of land-cover classification using LiDAR intensity data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34, 259-262.
- Starek, M.J., Vemula, R.K., Slatton, K.C., Shrestha, R.L., Carter, W.E. (2007). Shoreline based feature extraction and optimal feature selection for segmenting airborne LiDAR intensity images. *Proceedings of the International Conference on Image Processing, Book of Abstracts*, 369-372, 16–19 September 2007, San Antonio, TX, USA.
- Süleymanoğlu, B., Soycan, M. (2017). Hava Lidar verilerinde kullanılan filtreleme algoritmalarının incelenmesi. 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 3-6 Mayıs 2017, Ankara. Erişim adresi: https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/cf1139a23c776fa_ek.pdf (Erişim tarihi: 20.10.2019).
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Sakarya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü (2019). Acarlar Longozu “Ulusal Öneime Haiz Sulak Alan” olarak tescil edilmiştir. Erişim adresi: <https://sakarya.tarimorman.gov.tr/Haber/135/Acarlar-Longozu-Ulusal-Oneme-Haiz-Sulak-Alan-Olarak-Tescil-Edilmistir> (Erişim tarihi: 11.05.2019).
- The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS, 2018). LAS Specification Version 1.2 Erişim adresi:

- https://www.asprs.org/a/society/committees/standards/asprs_las_format_v12.pdf
(Erişim tarihi: 11.09.2018).
- The European Space Agency (ESA, 2019). Multispectral instrument (MSI) overview. Erişim adresi: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-%20msi/msi-instrument/> (Erişim tarihi: 03.03.2019).
- Turoğlu, H. (2009). 3621 Sayılı Kıyı Kanunu ve onun uygulama problemleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 53, 31-40.
- Türkeş, M., şen, Ö.L., Kurnaz, L., Madra, Ö., şahin, Ü. (2013). İklim değişikliğinde son gelişmeler: IPCC 2013 raporu. Erişim adresi: https://ipc.sabanciuniv.edu/wp-content/uploads/2014/01/13672_IPCCRapor.web_.02.01.14.pdf (Erişim tarihi: 18.10.2019).
- United States Geological Survey (USGS, 2019). EarthExplorer – Home. Erişim adresi: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Erişim tarihi: 10.03.2019).
- Ülker, D., Ergüven, O., Gazioğlu, C. (2018). Socio-economic impacts in a changing climate: Case study Syria, *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 5 (1), 84-93.
- Varlık, A., Uray, F. (2017). Üçgenleme ve enterpolasyon temelli Lidar filtreleme algoritmalarının performans analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 156-16.
- Yan, W.Y., Shaker, A., El-Ashmawy, N. (2015). Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review. *Remote Sensing of Environment*, 158, 295–310.
- Yılmaz, M., Uysal, M. (2015). Hava LiDAR nokta bulutunun sayısal yükseklik modeli doğruluğuna etkisi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (3), 15-20.
- Yousef, A.H., Iftekharuddin, K., Karim, M.A. (2013). A new morphology algorithm for shoreline extraction from DEM data. *SPIE Defense, Security, and Sensing Conference, Optical Pattern Recognition XXIV, Book of Abstracts*, 1-10, 29 April-1 May 2013, Baltimore, Maryland, United States.
- Yuan, F., Li, G., Zuo, Z., Li, D., Qi, Z., Qiu, W., Tan, J. (2014). Airborne LiDAR boresight error calibration based on surface coincide. *IOP Conference Series, Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 17 (1), 012185. doi: 10.1088/1755-1315/17/1/012185
- Zhou, W., Huang, G., Troy, A., Cadenasso, M. (2009). Object-based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study. *Remote Sensing of Environment*, 113 (8), 1769–1777.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Filiz Turan
Doğum Tarihi : 25/07/1979
Doğum Yeri : İstanbul
Lise : (1993-1996), Kemal Hasoğlu Lisesi
Lisans : (1998-2003), Yıldız Teknik Üniversitesi
Yüksek Lisans : (2003-2007), Yıldız Teknik Üniversitesi
Çalıştığı Kurumlar : (2006-Devam ediyor), İBB BİMTAŞ
(2005-2006), Yükselen Yapı Grup Ltd. Şti.
(2005-2006), Cesur Mimarlık Ltd. Şti.



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK RAPORU UYGUNLUK FORMU



ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI : FİLİZ TURAN
ÖĞRENCİ NO : 3002100008
ÖĞRETİM YILI :
ANABİLİM DALI / BİLİM DALI : Denizel Çevre
PROGRAM TÜRÜ : ☒ YÜKSEK LİSANS ☐ DOKTORA ☒
TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI : Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU
II. TEZ DANIŞMANI ÜNVAN ADI SOYADI : —
TEZ BAŞLIĞI : Jeoinformatik Teknolojileri Kullanılarak Deniz Seviyesi
Değişimlerinin Güneybatı Karadeniz Kıyı Alanlarına Etkisinin Araştırılması

DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Türkçe ve İngilizce özet, giriş ve amaç, genel bilgiler, materyal-metot, bulgular, tartışma, sonuç ve kaynaklar bölümlerinden oluşan toplam 58. sayfalık kısmına ilişkin, 29/11/2019 tarihinde Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün kullandığı TURNİTİN programı ile, *Lisansüstü Tezlere ait Benzerlik Raporlarının Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Uygulama Esaslarının Sinci madde ikinci fıkrasında belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış nihai rapora göre benzerlik oranı %14*'dir.

Tezimin benzerlik oranı, 06/12/2017 tarih ve 20 sayılı Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Yönetim Kurul Kararıyla Tezin intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için kabul edilmiş olan üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır.

İntihal programı ile raporlanan Tezime ait Benzerlik oranım Üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu beyan ederim.

Gereğini arz ederim.

EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı

İmza
Öğrenci Ad-Soyadı
Tarih: 02.12.2019.

FİLİZ TURAN

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR / UYGUN DEĞİLDİR
(Ünvan, Ad Soyadı, İmza)

Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM VE ÖĞRETİM YÖNETMELİĞİ (08.09.2016/29825)

(Yüksek Lisans) **MADDE 36 – (2)** Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir.

(Doktora) **MADDE 50 – (4)** Öğrenci, doktora tezinin savunmasından önce tezini, düzeltme verilen tezlerde ise düzeltilmiş tezini danışmanına sunar. Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir

Jeoinformatik Teknolojileri Kullanılarak Deniz Seviyesi Değişimlerinin Güneybatı Karadeniz Kıyı Alanlarına Etkisinin Araştırılması

Yazar Filiz Turan

Gönderim Tarihi: 27-Kas-2019 03:12PM (UTC+0300)

Gönderim Numarası: 1222781649

Dosya adı: Filiz_Turan_dr_tez.docx (530.98K)

Kelime sayısı: 15476

Karakter sayısı: 106748

Jeoinformatik Teknolojileri Kullanılarak Deniz Seviyesi Değişimlerinin Güneybatı Karadeniz Kıyı Alanlarına Etkisinin Araştırılması

ORIJINALLIK RAPORU

% 14	% 13	% 4	% 6
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	% 2
2	dergipark.ulakbim.gov.tr İnternet Kaynağı	% 1
3	tufuab2017.aku.edu.tr İnternet Kaynağı	% 1
4	GEYMEN, Abdurrahman and DİRİCAN, Abdülkerim Yusuf. "İklim Değişikliğine Bağlı Deniz Seviyesi Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Analiz Edilmesi", Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2016. Yayın	% 1
5	www.sosyalarastirmalar.com İnternet Kaynağı	% 1
6	ujes.org İnternet Kaynağı	% 1