İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ SEVİYESİ YÜKSELMELERİNİN KIYI ALANLARINA OLASI ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Özlem SİMAV

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

EKİM 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ SEVİYESİ YÜKSELMELERİNİN KIYI ALANLARINA OLASI ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Özlem SİMAV
(501072610)

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER

EKİM 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501072610 numaralı Doktora Öğrencisi **Özlem SİMAV**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"DENİZ SEVİYESİ YÜKSELMELERİNİN KIYI ALANLARINA OLASI ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Ayşegül TANIK** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU İstanbul Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Bülent BAYRAM Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **20 Temmuz 2012**
Savunma Tarihi : **01 Ekim 2012**

Sevgili Eşim Mehmet ve Biricik Kızlarım Bilge ile Beren'e,

ÖNSÖZ

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde; nüfusun önemli bir bölümünün kıyı alanlarında yaşadığı, verimli tarım alanlarının ve önemli turizm tesislerinin yine kıyı bölgelerinde yer aldığı, gayrisafi millî hasılanın büyük bir bölümünün bu alanlardaki ticaret ile oluştuğu, endüstri mallarının ihracat ve ithalatının limanlar aracılığıyla büyük oranda deniz yoluyla yapıldığı göz önüne alınırsa, deniz seviyesi yükselmelerinin özellikle düşük yükseltili ve korumasız kıyı alanları üzerinde çeşitli problemlere yol açacağı açıktır.

Deniz seviyesi yükselmelerinin potansiyel etkileri arasında; kıyı alanlarının sular altında kalması, kumsalların erozyona uğraması, yer altı sularının tuzlanması, geçici su baskınlarının artması, kıyı tarımı, turizmi, ticareti ve alt yapı tesislerinin zarar görmesi, kıyısal ekosistemin değişmesi gibi birçok fiziksel, sosyal ve ekonomik hususları sıralamak mümkündür. Ülkemizin en verimli kıyısal bölgeleri olan Çukurova ve Kızılırmak Deltaları; topoğrafik, ekonomik ve ekolojik durumu göz önüne alındığında, deniz seviyesi yükselmesine en duyarlı alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada; öncelikle ulusal ölçekte CVI analizi ile kıyı etkilenebilirliği araştırılmış, ardından uydu altimetre gözlemlerine dayalı olarak ve CBS araçları kullanarak deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz durumu karşısında önümüzdeki yüzyıl içerisinde Çukurova ve Kızılırmak Deltaları etkilenebilirliği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Senaryolar yerine, gözlemlere dayalı olarak gerçekleştirilen bu çalışmadan elde edilen bulguların, bölgelerin uzun dönemli kıyı alanı planlamasına ve yönetimine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Çalışma süresince bana yol gösteren ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr.Dursun Zafer ŞEKER'e ve tez izleme komitesindeki hocalarım Prof.Dr.Ayşegül TANIK ve Prof.Dr.Cem GAZİOĞLU'na şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmam süresince özveri ile sabreden ve manevi destek veren kızlarım Bilge ve Beren ile eşim Mehmet'e çok teşekkür ederim.

Ekim 2012

Özlem Simav
Yüksek Mühendis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı 3
1.2 Tezin İçeriği 5
2. TÜRKİYE KIYILARI ETKİLENEBİLİRLİK GÖSTERGESİ **7**
2.1 Kıyı Etkilenebilirlik Göstergesi-CVI Analizi 7
2.1.1 CVI tanımı 7
2.1.2 Etkilenebilirlik göstergeleri 7
2.1.2.1 Kıyı alanı 8
2.1.2.2 Nüfus yoğunluğu 8
2.1.2.3 Doğal afetlere maruz kalma durumu 8
2.1.2.4 Bitki örtüsü yüzdesi 9
2.1.2.5 Topoğrafik karakteristiği 9
2.1.2.6 İnsanların gelişmişlik durumu 9
2.1.3 CVI hesabı 10
2.1.4 Denize kıyısı olan ülkeler arasında Türkiye'nin durumu 11
2.2 Türkiye Kıyı İlleri İçin CVI Hesabı 11
3. ÇUKUROVA VE KIZILIRMAK DELTASI KIYI ALANLARI ETKİLENEBİLİRLİĞİ **17**
3.1 Çukurova Deltası 17
3.2 Kızılırmak Deltası 18
3.3 Yöntem 19
3.3.1 Su baskını seviyesi 21
3.3.2 Su baskınının haritalanması 26
3.3.3 Bruun kuralı 28
3.4 Veriler ve Analizler 32
3.4.1 Uydu altimetre verileri ve su baskını seviyeleri 32
3.4.2 Kıyı topografyası ve arazi kullanımı 43
3.4.3 Su baskını haritalama ve bindirme analizi 48
3.4.4 Kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu 51
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **57**
KAYNAKLAR **65**
EKLER **71**
ÖZGEÇMİŞ **73**

KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVISO : Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
CNES : Centre National d'Etudes Spaciales
CRED : Centre for Research on Environmental Decisions
CV : Coastal Vulnerability
CVI : Coastal Vulnerability Index
CZM : Coastal Zone Management
DGFI : Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut
DNSC : Danish National Space Center
DORIS : Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
EUMETSAT : European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
ESA : European Space Agency
ETM : Enhanced Thematic Mapper
GIS : Geographic Information System
GPS : Global Positioning System
GSMH : Gayrisafi Millî Hasıla
HGK : Harita Genel Komutanlığı
IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
LIDAR : Light Detection And Ranging
MOG2D : 2 Dimensional Gravity Wave Model
MSSH : Mean Sea Surface Height
NASA : National Aeronautics and Space Administration
NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration
RADS : Radar Altimeter Database System
SAR : Synthetic Aperture Radar
SLA : Sea Level Anamoly
SLR : Satellite Laser Ranging
SRTM : Shuttle Radar Topography Mission
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli
SWH : Significant Wave Height
TIN : Triangulated Irregular Network
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
UNDP : United Nations Development Programme

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : CVI hesabında kullanılan veriler (1) 13
Çizelge 2.2 : CVI hesabında kullanılan veriler (2) 14
Çizelge 2.3 : Kıyı illerinin CVI değerleri.....15
Çizelge 3.1 : Çalışmada kullanılan uydu altimetre görevlerine ait bazı bilgiler.....36
Çizelge 3.2 : (3.3) eşitliğinde verilen parametrelerin kestirim değerleri ve hataları..40
Çizelge 3.3 : (3.13) eşitliğinde verilen parametrelerin kestirim değerleri ve hataları ile 100 yıl dönüş periyotlu dalga yüksekliğinin aşılamama olasılığı ve kestirim değerleri (metre).....42
Çizelge 3.4 : Çalışma bölgelerine ait Landsat 7 ETM+ uydu görüntülerinin elde ediliş tarihleri ile yol/sıra göstergeleri 44
Çizelge 3.5 : Kontrollü Sınıflandırma sonucu oluşturulan sınıflara ait doğruluk değerleri.....47
Çizelge 3.6 : Maksimum su baskını sonucunda Çukurova Deltası kıyısal alanı etkilenebilirlik göstergeleri 49
Çizelge 3.7 : Maksimum su baskını sonucunda Kızılırmak Deltası kıyısal alanı etkilenebilirlik göstergeleri 50
Çizelge 3.8 : Ortalama belirgin dalga yüksekliği (metre), belirgin dalga yüksekliği standart sapması (metre) ve kapanma derinliği (metre).....52
Çizelge 3.9 : Çukurova Deltası kıyısal alanı için Bruun parametreleri ve yıllık kıyı çizgisi değişim değerleri. 54
Çizelge 3.10 : Kızılırmak Deltası kıyısal alanı için Bruun parametreleri ve yıllık kıyı çizgisi değişim değerleri. 54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kıyı çizgisine mesafesi 20 km.'ye kadar olan Türkiye kıyı alanları. 8
Şekil 3.1 : Çukurova Deltası kıyısal alanı.....18
Şekil 3.2 : Kızılırmak Deltası kıyısal alanı. 19
Şekil 3.3 : Kalıcı ve geçici su baskını etkilerinin belirlenmesinde izlenen yöntem...21
Şekil 3.4 : 1 metre su baskını seviyesi ve sıfır-yönlü komşuluk kuralı uygulaması. .26
Şekil 3.5 : (a) Dört-yönlü komşuluk kuralı, (b) Sekiz-yönlü komşuluk kuralı.....27
Şekil 3.6 : 1 metre su baskını seviyesi ve çok-yönlü komşuluk kuralı uygulaması...28
Şekil 3.7 : Bruun modeli. (Dean ve Dalrymple (2002)'den uyarlanmıştır). 29
Şekil 3.8 : Profil uzunluğunun hesaplanması (Hennecke ve diğ. (2004)'den uyarlanmıştır) 32
Şekil 3.9 : Uydu radar altimetre tekniği (Url-3'den uyarlanmıştır). 33
Şekil 3.10 : Radar altimetre dalga formu. (a) Durgun deniz yüzeyi, (b) Dalgalı deniz yüzeyi (Url-3'den uyarlanmıştır). 35
Şekil 3.11 : Çalışma bölgeleri kara topografyası ve uydu altimetre gözlem noktaları. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası. 37
Şekil 3.12 : Eylül 1992-Şubat 2012 dönemi için DNSC08 MSSH modeline göre 1-Hz çoklu-uydu altimetre SLA verileri. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası (Yeşil: Topex, Siyah: Jason-1, Majenta:Jason-2, Kırmızı: Cryosat-2, Mavi: Envisat). 38
Şekil 3.13 : 60 günlük hareketli filtre ile yumuşatılmış ortalama deniz seviyesi sinyali (siyah çizgi) ve deniz seviyesi yükselme trendleri (kırmızı çizgi). (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası. 39
Şekil 3.14 : Eylül 1992-Şubat 2012 dönemi için 1-Hz çoklu-uydu altimetre SWH verileri. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası (Yeşil: Topex, Siyah: Jason-1, Majenta: Jason-2, Kırmızı: Cryosat-2, Mavi: Envisat). 41
Şekil 3.15 : Deneysel (siyah çizgi) ve kestirimle(kırmızı çizgi) bulunan kümülatif SWH dağılım fonksiyonu. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası. 41
Şekil 3.16 : Dalga yüksekliği için Gumbel dağılım parametreleri. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası. 42
Şekil 3.17 : Eylül 1992-Şubat 2012 dönemi için 1-Hz çoklu-uydu altimetre SLA verilerine uygulanan MOG2D düzeltme değerleri (siyah çizgiler) ile her bir uydu misyonunun bir devir ve geçişindeki en yüksek değerleri (mavi noktalar) ve bu yüksek değerlerin ortalaması (kırmızı çizgi). (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası. 43
Şekil 3.18 : Çalışma bölgelerine ait Landsat 7 ETM+ uydu görüntülerinin kapladığı alan ve önizlemeleri. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası. (Url-7'den alınmıştır). 45
Şekil 3.19 : Arazi kullanımı haritası.(a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası...48
Şekil 3.20 : 6.7 metre maksimum su baskını karşısında Çukurova Deltası kıyısal alanında etkilecek alanlar. 49

Şekil 3.21 : 7.5 metre maksimum su baskını karşısında Kızılırmak Deltası kıyısal alanında etkilecek alanlar..... 50
Şekil 3.22 : Kapanma derinlikleri ve profil uzunlukları. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası. 53
Şekil A.1 : CRYOSAT2 uydusuna ait 12 devir/42 geçiş numaralı veri dosyası. 72

DENİZ SEVİYESİ YÜKSELMELERİNİN KIYI ALANLARINA OLASI ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Küresel iklim değişimleri ve beraberindeki deniz seviyesi yükselmeleri, bugün dünyayı tehdit eden en ciddi çevre problemlerinden biri olarak görülmektedir. Dünya nüfusunun önemli bir kısmı deniz seviyesinden 10-15 metre yükseklikte düşük rakımlı kıyı alanlarında yaşamaktadır. 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 düşülmektedir. Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizin de benzer tehditlere açık olduğu ortadadır. Bu nedenle; seviye yükselmelerinin zamana ve konuma bağlı değişimlerini izlemek, değişimlerin nedenlerini anlamak, yaratacağı potansiyel etkileri belirlemek ve zararları azaltmak için disiplinler arası çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Tez çalışmasının temel olarak iki amacı bulunmaktadır. İlk bölümde, ulusal ölçekte denizle ilgili afetler karşısında kıyı bölgelerinin genel risk durumunun ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda tüm kıyı alanları için literatürde CVI analizi olarak bilinen bir analiz gerçekleştirilmiştir. CVI analizinde; kıyı nüfus yoğunluğu, bitki örtüsü yüzdesi, topografyası, insan gelişmişlik durumu gibi parametreler kullanılarak basit bir modelle etkilenebilirlik indeksleri hesaplanmış ve bu indekslerin büyüklüğüne göre kıyı illeri için en düşükten en yükseğe olacak şekilde risk dereceleri saptanmıştır. Bu analiz sonucunda delta alanlarına sahip Adana, Çanakkale, Samsun, Balıkesir ve Aydın illeri en riskli bölgeler olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, CVI analizi sonucunda riskli bölgelerin başında gelen Çukurova ve Kızılırmak Deltası kıyısal alanlarında; (i) deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz şartlarından kaynaklanan sürekli ve geçici su baskını alanının tespit edilmesi, (ii) sürekli ve geçici su baskınının potansiyel sosyo-ekonomik etkilerinin belirlenmesi ve (iii) seviye yükselmelerinin kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Su baskını seviyesi, literatürde ülkemiz için gerçekleştirilen çalışmalardan farklı olarak, uydu altimetre deniz seviyesi ve belirgin dalga yüksekliği gözlemlerine dayalı olarak hesaplanmıştır. Bu yüzyıl sonunda deniz seviyesi yükselmesinden, ekstrem dalga yüksekliğinden ve meteorolojik etkenlerden dolayı maksimum baskın seviyesi hesaplanarak yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modeli üzerine haritalanmıştır. Haritalama işleminde de yine literatürdeki çalışmalardan farklı olarak arazi modeli hücreler arasındaki komşuluk ilişkisi dikkate alınarak oluşturulmuştur. Uydu altimetre verilerinin analizi sonucunda Çukurova Deltası kıyısal alanı için 6.7 metre, Kızılırmak Deltası kıyısal alanı için de 7.5 metrelik bir baskın seviyesi hesaplanmıştır. Bu büyüklükteki bir baskın seviyesi altında Çukurova Deltasının

%69'luk gibi önemli bir kısmının, Kızılırmak Deltasının ise nispeten daha az %9'luk bir bölümünün etkilenmesi beklenmektedir.

Su baskınının potansiyel etkilerini belirlemek için bölgelere ilişkin arazi kullanımı haritası çıkarılmış ve çeşitli kaynaklardan tematik bilgiler toplanmıştır. Arazi kullanımı uydu görüntüsü üzerinden kontrollü sınıflandırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Su baskını haritası ile arazi kullanımı haritası üst üste bindirilerek etkilenmesi muhtemel arazi ayrıntıları çıkarılmıştır. Bu analiz sonucunda; arazi kullanımı, nüfus ve ulaşım altyapısının gelecekte değişmeyeceği varsayımıyla; Çukurova Deltasındaki tarım alanlarının %68'inin, lagünler dahil sulak alanların tamamının, yerleşim yeri, sahiller ve çıplak alanların %77'sinin ve ormanlık alanların ise %62'sinin su baskınından etkilenmesi beklenmektedir. Bölge sınırları içerisinde kilometre kareye ortalama 30 kişi düştüğü varsayımıyla 42.000 insanın bu tehdide maruz kalması, yine bölgedeki kişi başı gayrisafi millî hasılanın 2.339 US$ olduğu göz önüne alınırsa en az 98.000.000 US$ hasılanın etkilenmesi beklenmektedir. Ulaşım altyapısının ise %33'lük kısmının deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz durumu şartlarından kaynaklanabilecek su baskınına maruz kalması muhtemeldir. Kızılırmak Deltasındaki su baskını seviyesi Çukurova'ya oranla 80 cm fazla olmasına rağmen etkilenebilirliğinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu deltadaki tarım alanlarının %15'inin, sulak alanların %74'ünün, yerleşim yeri ve sahiller dahil çıplak alanların %13'ünün, ormanlık alanların %2'sinin ve ulaşım altyapısının ise %6'lık kısmının su baskınından etkilenmesi muhtemeldir. Bölge sınırları içerisinde kilometre kareye ortalama 60 kişi düştüğü ve kişi başı gayrisafi millî hasılanın 1.680 US$ olduğu göz önüne alınırsa yaklaşık 12.000 insanın ve en az 20.000.000 US$ hasılanın etkilenmesi beklenmektedir.

Çalışma bölgelerinde deniz seviyesi yükselmesi sonucu oluşabilecek kıyı çizgisi değişimi ve erozyon miktarının kestirimi için literatürde Bruun kuralı olarak bilinen yöntemden faydalanılmıştır. Bruun parametreleri, yine uydu radar altimetre seviye ve belirgin dalga yüksekliği gözlemleri ile 100 metre çözünürlüklü batimetre bilgisine dayalı olarak üretilmiştir. Çalışma bölgeleri belirli sektörlere ayrılarak herbir sektör için ayrı ayrı Bruun parametreleri hesaplanmış ve bu parametrelere bağlı olarak ilgili sektörde kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu büyüklükleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu analiz sonucunda; Çukurova Deltası kıyısal alanında kıyı çizgisinin yıllık ortalama 41 cm, Kızılırmak Deltasında ise yıllık 6 cm karaya doğru ilerlediği, dolayısıyla Çukurova'da her yıl yaklaşık 45000 m^2, Kızılırmak Deltasında ise 8500 m^2 kumsalın erozyona maruz kalabileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışma; deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz şartları birlikte ele alındığında, kıyı planlama ve koruma stratejilerinin coğrafi kapsamının ne denli geniş olabileceğini göstermesi açısından önemli ve ayrıca kullanılan veri setleri ile izlenen yöntem açısından da özgün bir çalışmadır. Bu ve buna benzer çalışmaların ülkemizdeki diğer riskli alanlara uygulanmasının, yeni yöntem ve güncel veriler ile daha kapsamlı risk analizlerinin yapılmasının, seviye yükselmelerinin neden olabileceği yer altı suyu tuzlanması gibi diğer fiziksel sonuçların ortaya çıkarılmasının ve ekonomik kaybın daha kapsamlı bir şekilde belirlenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir. Son yıllarda küresel iklim değişikliğinin deltalara etkileri ve sürdürülebilir Çukurova ve Kızılırmak Deltası konularında çeşitli ulusal/uluslararası program ve projeler başlatılmıştır. Çalışmadan elde edilen ilk bulguların bu program ve projelere katkı sağlayabileceği değerlendirilmektdir.

INVESTIGATION OF THE POTENTIAL IMPACTS OF THE SEA LEVEL RISE ON COASTAL AREAS

SUMMARY

Coastal zones, considered to be valuable economic and environmental resource for the human well-beings and marine habitats, are the most dynamic natural environment than in any other region of the globe. Changes in the ocean-climate system and increasing human activities in these regions make the coastal areas more susceptible to natural hazards and more costly to live in. One of the most serious problems that the coastal zones are facing is the accelerated sea level rise and its resulting physical impacts. Any rise in the mean sea level may result in the retreat of unprotected coastlines due to coastal inundation, erosion and increased storm flooding. As emphasized in the Fourth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change, global sea level rose by 1.8 - 3.1 mm/yr during the last century and present estimates of future rise range from 18 cm to 59 cm by the year 2100. The low-lying areas such as beach ridges, coastal plains, deltas, estuaries, lagoons and bays would be the most suffering areas under the enhanced sea level rise. Thus, it is essential to quantify the response of coastal systems to sea level change as well as to assess the potential threats posed to human and marine biodiversity.

Recent investigations in Turkey have shown that some coastal areas particularly the low-lying deltaic plains are highly vulnerable to the future sea level rise. In this thesis, we first make a national assesment of coastal vulnerability and find out the most vulnerable areas in Turkey based on CVI analysis. Vulnerability, in this scope, is defined as an extent to which a population or an ecosystem is liable to be affected by a hazard event such as sea level rise, and mitigated by the capacity of a population or ecosystem to cope with its potential effects.

The CVI is calculated as the root square of the geometric mean of the variables and then standardized to make the index range between 0 and 1. In order to define the levels of vulnerability, the proposed CVI scores are divided into very low, low, moderate, high, and very high categories based on the quartile ranges. CVI analysis shows that coastal zones of the city of Adana including Çukurova Delta located in the Eastern Mediterranean, Aydın and Çanakkale in the Aegean, Balıkesir in the Marmara and Samsun in the Black Sea coasts are higly vulnerable to the natural disasters such as sea level rise and coastal inundation.

After the national assesment we focus on the vulnerabilities of Çukurova and Kızılırmak Deltas, considered to be the most susceptible areas in the county. The specific objectives of this research are (i) to determine areas at risk of projected inundation in the regions, (ii) to assess the impact of inundation from environmental, social and economic aspects, and (iii) to evaluate sea level rise in terms of shoreline change and coastal erosion.

Çukurova Delta is located on the easternmost part of the Mediterranean Sea, between the metropolitan center Mersin and Gulf of Iskenderun in the southern Turkey. It is almost the largest and most fertile deltaic plain in the country with more than 20.000 km^2 catchment area formed by the alluvial deposits of the rivers Seyhan and Ceyhan. There are four lagoons in the region, two of which Akyatan and Yumurtalık are designated as Wetlands of International Importance by Ramsar Convention. The delta is known for the important biodiversity of flora and fauna, which lead to the specially protected area status. A majority of the delta is used for agricultural purposes and the number of beaches serves as the nesting places for the endangered sea turtles. The area also acts as stopover for the migratory birds voyaging from Africa to Europe. The ports of Yumurtalık and Ceyhan to the east are strategic locations for marine transportation, since the major East-West (Kirkuk-Yumurtalık) and North-South (Baku-Tbilisi-Ceyhan) route of crude oil pipelines terminates at these ports.

Kızılırmak Delta is located 25 kilometers west of the Samsun city in the Black Sea region of Turkey and have almost similar ecological properties as Çukurova. It is formed by the alluvial deposits of the Kızılırmak river and surrounded by the Northern Anatolian Mountains. Being a one of the most fertile deltaic plains in the country with more than 560 km^2 catchment area and known for the important biodiversity of flora and fauna, this delta is also designated as Wetlands of International Importance by Ramsar Convention. All the physical, ecological and socioeconomic properties of the coastal deltas are demonstrating the value and importance of these low-lying areas. Thus, any rise in sea level will inevitably have adverse effects on the ecosystem of the study regions on various levels.

The projected inundations of the deltas not only consider the permanent component caused by sea level rise, but also the temporary inundation due to extreme wave and meteorological conditions. Therefore the level of inundation is defined as the sum of mean high water, relative sea level rise by the year 2100, extreme wave height with 100-year return period, and sea level change due to the meteorological forcings. The contributors of the inudation level have been computed from multi-mission satellite altimetry sea level anomaly and significant wave height data of Topex, Jason-1, Jason-2, Envisat and Cryosat-2 covering the period of September 1992 – February 2012. The highest sea level values over the each satellite repeat cycle and pass within the study area are detected and averaged to estimate the mean high water level relative to mean sea surface. The current rate of sea level rise has been determined using a model including bias, trend and seasonal terms. The unknown parameters in the harmonic function are derived by fitting least squares regression to the altimetric sea level time series. Assuming no significant land movements (subsidence/uplift) in the vicinity of the study, no acceleration in the rate of sea level rise, and no inter-annual to decadal changes in the seasonal parameters, we have projected relative sea level rise by 2100 using the estimated parameters. The extreme significant wave heights with 100-year return values have been predicted using Gumbel extreme value distribution. The meteorological contribution to the sea level change has been computed from MOG2D (2D Gravity Waves) model used in the satellite altimetry data processing to account for the high frequency sea level variations caused by pressure and wind forcing.

Superposed to the clear annual oscillation with 6.2 cm amplitude peaking around the beginning of the October, the mean sea level signal in the Çukurova region exhibits a positive trend of 3.4 ± 0.1 mm/yr over the altimetric data period, consistent with the

regional estimates. While the mean sea level in the Kızılırmak coastal area rises twice as fast as than the Çukurova with an estimated rate of 6.8 ± 0.3 mm/yr, the seasonal variations have smaller amplitudes. The extreme wave heights with 100-year return period in Çukurova and Kızılırmak are estimated to be about 6.1 ± 0.03 m and 6.6 ± 0.03 m, respectively. Taking also the effects of tidal and meteorological forcings on the sea level into account, the maximum level of flooding expected to occur by 2100 reaches up to 6.7 and 7.5 meters in Çukurova and Kızılırmak, respectively.

A high resolution local elevation model extracted from topographic maps is used rather than a global model for the better delineation of the extent of the inundation. Triangular Irregular Network has been constructed from the counter lines using the ArcGIS 3D Analyst tool that supports Delaunay triangulation method. The generated TIN surface is then converted to raster grid with regular cell spacing of 5 meters using natural neighbor interpolation that implements an area based weighting scheme on the closest TIN nodes found in all directions around each output cell center.

The spread of the flooding in the inundation mapping is constrained by implementing a particular connectivity rule between the cells of the elevation model. GIS-based inundation mapping on the high resolution elevation model in ERDAS Imagine Virtual GIS Module indicates that 69% of the area in Çukurova and 9% of the area in Kızılırmak would be at risk of flooding.

Up-to-date site specific vector and thematic data is gathered for the assessment of the potential impacts. Agricultural land use within the study areas, not readily available in our database, are delineated from the Landsat-7 ETM+ satellite imageries by means of image classification on the ERDAS platform. Supervised classification has been performed employing maximum likelihood classifier based on the training signatures established by on-screen digitizing the false color composite image. A fuzzy convolution filter with window size of 7×7 is used to reduce the speckling of the classification before producing the final output. The overall map accuracies of 88-91 percent have been obtained based on ground truth data in Çukurova and Kızılırmak.

Overlaying the inundated areas and land use map shows that about 68% of the agricultural areas, 100% of the wetlands, 77% of the settlement zones/beaches/bare lands and 62% of the forestry lands would be exposed to permanent plus temporary inundation with the assumption that land use pattern would remain the same as the current situation in Çukurova Delta. The lagoons, nearshore settlements and agricultural areas are the most vulnerable zones. Supposing a mean population density of 30 people per km^2 within the region and assuming zero-growth population in the future years, more than 42.000 people would be suffering from the inundation. At least 90.000.000 US$ of the gross domestic product would supposed to be affected. The extent of the inundation also affects the transportation where almost 33% of the roadways would subject to flooding. Although the projected inundation level in Kızılırmak Delta is 80 cm higher than the Çukurova, the impacts are not as serious as for Çukurova in terms of land use and other social-economic values. The overlay analysis in Kızılırmak Delta shows that about 15% of the agricultural areas, 74% of the wetlands, 13% of the settlement zones/beaches/bare lands, 2% of the forestry lands and 6% of the roadways would be exposed to the inundation. Taking a mean population density of 60 people per km^2 and 1.680 US$ gross domestic product

per capita, almost 12.000 people and 20.000.000 US$ of the gross domestic product would supposed to be affected.

Despite some inherent limitations in its performance, the Bruun rule has been applied to predict the shoreline change and coastal erosion due to the sea level rise. Bruun parameters are computed from the multi-mission satellite altimetry sea level anomaly and significant wave height data of above mentioned satellites, as well as batimetry data with 100 meters spatial resolution. The study regions are demarcated into smaller sectors and Bruun parameters and the resulting shoreline recession values are estimated for each sector. The analysis yields that, the mean annual rates of shoreline recession at Çukurova and Kızılırmak Deltas are 41 cm/year and 6 cm/year, respectively, thus almost 45000 m^2 sandy coasts at Çukurova and 8500 m^2 at Kızılırmak coastal areas subject to erosion every year due to sea level rise.

This analysis is particularly useful to emphasize to what extent coastal protection and accommodation strategies may be necessary when considering sea level rise and storm flood scenarios. Even more detailed information is needed to precisely determine the full range of risks and some further studies should be conducted to investigate the other physical impacts of sea level rise such as salt water intrusion. Some national/international programmes and projects have been initiated during the last few years, e.g. “Climate Change Adaptation in the Seyhan River Basin Grants Programme” and “Strong Civil Society Sustainable Çukurova River Basin Project” for the investigation of the vulnerability of the regions and mitigation of the negative impacts of climate change. Even if the output of the study gives preliminary estimations of the areas at risk, it may contribute to enhancing wetland conservation and management in the deltas.

1. GİRİŞ

Küresel ısınma ve iklim değişimleri etkilerini günden güne daha çok hissettiğimiz bu yüzyılda, bu değişimlere neden olan olguların belirlenmesi, gelecek için kestirimlerde bulunulabilmesi, başta insanoğlu olmak üzere ekosistem üzerindeki etkilerinin ortaya çıkarılabilmesi için disiplinler arası işbirlikleri olanca hızıyla devam etmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliklerinin en belirgin göstergelerinden biri olan deniz seviyelerindeki yükselmeler bu kapsamda üzerinde durulan ana konulardan biridir. Jeolojik bulgulara göre buzul çağında yani yaklaşık 18000 yıl önce küresel ortalama deniz seviyesinin bugünkü seviyesinden 120 metre daha aşağıda olduğu tahmin edilmektedir (Overpeck ve diğ, 2006). 1850'li yıllardan itibaren başlayan kıyısal gözlemlere dayanarak geçen yüzyılda ortalama seviyenin 1.5 - 2.4 mm/yıl hızla yükseldiği belirtilmektedir (Douglas, 1991; Church ve diğ, 2001).

Hükümetler Arası İklim Değişimi Panelinin yayımlanan son değerlendirme raporunda da bu hususa dikkat çekilmektedir. Rapora göre; 20'nci yüzyıldaki küresel deniz seviyesinin yılda ortalama 1.7 ± 0.5 mm hızla yükseldiği, özellikle 1990'lardan sonra yükselmenin daha da hızlandığı (3.1 ± 0.7 mm/yıl) belirtilmektedir (IPCC, 2007). Yapılan tahminlere göre de bu yüzyılın sonlarında, 1990'lardaki durumundan yaklaşık 50 cm daha yüksek olacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca yine aynı raporda kutup buzullarının tümünün erimesi halinde yükselmenin 7 metreye kadar ulaşabileceği ifade edilmektedir (IPCC, 2007). Deniz seviyesindeki bu yükselişin temel nedenleri arasında CO_2 gazı emiliminin artmasına dayalı olarak küresel ısınma gösterilmektedir. Artan deniz suyu sıcaklıkları nedeniyle deniz suyu genleşmekte ve yükselmektedir. Bunun yanında küresel ısınma kutup buzullarının erimesine neden olmakta, buzullardan eriyen sular okyanus ve denizlere karışarak seviyeyi yükseltmektedir.

İklim modelleri, uydu verileri ve yersel gözlemler; deniz seviyesinin dünya genelinde aynı biçimde artmadığını göstermektedir. Bölgeden bölgeye değişmekle birlikte, bölgesel deniz seviyeleri, küresel deniz seviyesinden birkaç kat daha hızlı artmakta veya azalmaktadır. 21'inci yüzyıl için yapılan tahminlerde de deniz seviyesinin

bölgeye bağlı olarak ±15 cm farklılık göstereceği belirtilmekte, özellikle kuzey yarım kürenin güneye oranla daha sıcak olacağı bu nedenle kuzey yarım küredeki deniz seviyesinin küresel ortalamadan daha yüksek olacağı tahmin edilmektedir (IPCC, 2007).

Ülkemizde deniz seviyesi, HGK tarafından işletilen ulusal deniz seviyesi izleme istasyonları ve uydu altimetre gözlemleri ile izlenmektedir. Bu istasyonların verilerine dayanarak yapılan hesaplamalarda çevre denizlerimizdeki yükselişin küresel ortalamadan yaklaşık 3 - 4 kat daha fazla olduğu, yılda 4 mm ile 6 mm arasında yükseliş hızlarının olduğu belirtilmektedir (Yıldız ve diğ, 2003; Simav ve diğ, 2008).

Her ne kadar yükselme hızları milimetre büyüklüğünde ifade edilse de yukarıda belirtilen yükselme tahminlerinin, başta ada ve düşük yükseltili ülkeler (İngiltere, Hollanda, Belçika, Bangladeş, Maldiv Adaları) olmak üzere kıyı alanlarını ciddi şekilde tehdit edeceği değerlendirilmektedir. Deniz seviyesi yükselmelerinin toprak kaybı, kıyı çizgisi değişimi, sahil erozyonu, yer altı su seviyesinin yükselmesi, yer altı su kaynaklarında tuzluluk artışı gibi önemli fiziksel etkileri vardır. Ayrıca 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.

Doğal jeolojik oluşumlar deniz kıyılarında düz ve verimli alanlar oluşturmakta, bu bölgelere yerleşimi cazip hale getirmektedir. Bugün dünya nüfusunun yaklaşık %50'si kıyı bölgelerde yaşamakta, dünyanın en büyük 20 kenti kıyılarda yer almaktadır (Douglas, 2001). Günümüzde deniz kıyılarına yakın şehirlerin yapısı ve dokusu, sürekli olarak artan nüfusla birlikte daha karmaşık hale gelmektedir ve bu tür felaketlere karşı savunma gücü günden güne azalmaktadır. Karmaşık yapıdaki ulaşım, altyapı gibi sistemlerin bu tür felaketler sonucunda yeniden inşa edilmesi büyük zaman ve maliyet gerektirmektedir (Pugh, 2004).

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde yaklaşık 30 milyonun üzerinde bir nüfusun kıyı şehirlerinde yaşadığı, GSMH'nin %60'ının kıyı şehirlerdeki ticaret ile oluştuğu, endüstri mallarının ihracat ve ithalatının büyük oranda deniz yoluyla yapıldığı ve kıyı limanlarının aktif olarak kullanılmakta olduğu, verimli tarım alanlarının kıyı alanlarında olduğu ve birçok turistik tesisin yine kıyı alanlarında denize yakın yerlerde bulunduğu göz önüne alınırsa; artan deniz seviyesinin özellikle düşük yükseltili ve korumasız kıyı alanları üzerinde çeşitli problemlere yol açacağı açıktır.

Deniz seviyesi yükselmelerinin kıyı alanlarında oluşan fiziksel ve sosyo-ekonomik etkilerini ortaya koymak, uzun dönemli kıyı alanı planlamalarında, kıyı yönetimi ve karar verme süreçlerinde önem arz etmektedir (Dasgupta ve diğ, 2007; Gazioğlu ve diğ, 2010). Ülkemizde ulusal ve lokal düzeyde deniz seviyesi yükselmelerinin etkileri konusunda bazı araştırmalar mevcuttur (Demirkesen ve diğ, 2007; Demirkesen ve diğ, 2008; Karaca ve Nicholls, 2008; Kuleli, 2010; Alpar, 2009). Demirkesen ve diğ. (2008) tarafından sentetik senaryolar ile yapılan araştırmada, deniz seviyesindeki olası yükseliş sonucunda Türkiye kıyı alanlarında kaybedilecek toprak büyüklükleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Buna göre 1 metre, 2 metre ve 3 metre su seviyesi yükselmesi durumunda 545-2125 km^2 lik kıyı alanların su altında kalacağı, bu büyüklükteki alanların 100 metre rakımından daha küçük kıyı alanları toplamının %1.3-5.2'lik bir kısmına karşılık geldiği ifade edilmektedir. Akdeniz'de Çukurova ve Göksu Deltalarının, Ege Bölgesinde Güllük, Dalaman, Didim, Selçuk ve Gediz Deltasının, Marmara Bölgesinde Dalyan ve Terkos Göllerinin, Karadeniz'de ise Kızılırmak Deltasının yüksek riskli bölgeler olduğu vurgulanmaktadır.

Karaca ve Nicholls (2008) tarafından yapılan çalışma 100 yıl içerisinde 1 metrelik bir artışı göz önüne almakta ve Türkiye kıyılarını denize olan uzaklığı ve yüksekliğine göre iki gruba ayırmaktadır. Nüfus, GSMH'ye olan katkısı ve koruma/uyum çalışma maliyetleri de göz önüne alınarak yapılan analiz sonucunda yaklaşık yarım milyon kişinin (GSMH cinsinden 12 milyar dolar) doğrudan, 2.4 milyon kişinin ise dolaylı olarak 1 metre deniz seviyesi yükselmesiden etkileceği tahmin edilmektedir. Bu miktarda insanın ve GSMH'nın korunması için gereken uyum maliyetinin kabaca 20 milyar dolara yaklaşacağı ifade edilmektedir. Deniz

seviyesi yükselmesine bağlı Türkiye kıyıları etkilenebilirliğinin Mısır'a (Nil Deltası) oranla daha düşük, ancak Fransa ve İspanya'ya oranla daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Demirkesen ve diğ. (2008) tarafından da ifade edildiği şekilde bu çalışmada da Türkiye'nin Karadeniz, Ege ve Akdeniz delta alanlarının yüksek riskli bölgeler içerisinde yer aldığı belirtilmekte, bu alanlarda daha güncel veriler ile ayrıntılı analizlerin yapılması önerilmektedir.

Deniz seviyesi yükselme senaryolarından bağımsız olarak Kuleli ve diğ. (2009) ile Kuleli (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, deniz seviyesi yükselmesi sonucunda nüfus, yerleşim birimi, arazi kullanımı, sulak alanlar, ulusal tarım üretimine katkı ve vergi katkı payı gibi özellikler bakımında kıyı alanların etkilenebilirliği ortaya konmaktadır. Yapılan araştırmada Türkiye toplam yüz ölçümünün yaklaşık %10'unun 0-10 metre yükseklikte olduğu, bu bölgelerde yaklaşık 25 milyon insanın yaşadığı, ulusal tarım üretiminin %27.5'nin bu bölgelerden sağlandığı, gelir vergisinin %12.5'nin yine bu bölgelerden elde edildiği ifade edilmekte, dolayısıyla bu alanların deniz seviyesi yükselmelerine karşı oldukça duyarlı olduğu belirtilmektedir. Yapılan bölgesel değerlendirimeye göre deniz seviyesi yükselmesi karşısında, nüfus açısından Marmara en riskli bölgeyken, alan kaybı açısından Akdeniz kıyıları yüksek etkilenebilirliğe sahip bölge olarak tespit edilmiştir. Akdeniz kıyılarındaki alan kayıpları özellikle tarımsal üretim açısından ciddi sorunlar yaratabileceği ifade edilmiştir.

Ancak gerçekleştirilen çalışmaların çoğu sentetik yükselme senaryolarını baz alınarak belirli bir seviye yükselmesi sonucunda kıyı alanlarında oluşabilecek toprak, ekonomik ve sosyal kayıplar üzerine genel bir değerlendirme sunmaktadır. Yükselmelere ilişkin gözlemlere dayalı herhangi bir analiz mevcut değildir.Bu kapsamda değerlendirildiğinde bu çalışma kullanılan veri setleri ve izlenen yöntem açısından özgün olmakta ve yapılan ulusal çapta çalışmalardan farklılık göstermektedir. Yukarıdaki çalışmalar ışığında tez çalışmasının temel olarak iki amacı bulunmaktadır. Öncelikle ulusal ölçekte denizle ilgili afetler karşısında kıyı bölgelerinin genel risk durumunun ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda, tüm kıyı alanları için literatürde Kıyı Etkilenebilirlik Göstergesi (Coastal Vulnerability Index - CVI) olarak bilinen bir analiz gerçekleştirilecektir. CVI analizinde; kıyı nüfus yoğunluğu, bitki örtüsü yüzdesi, topografyası, insan gelişmişlik durumu gibi parametreler kullanılarak kıyı etkilenebilirlik indeksleri

hesaplanacak ve bu indekslerin büyüklüğüne göre kıyı illeri için risk dereceleri saptanacaktır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, CVI analizi sonucunda riskli bölgelerin başında gelen Çukurova ve Kızılırmak Deltası kıyısal alanlarında; (i) deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz şartlarından kaynaklanan sürekli ve geçici su baskını alanının tespit edilmesi, (ii) sürekli ve geçici su baskınının potansiyel sosyo-ekonomik etkilerinin belirlenmesi ve (iii) seviye yükselmelerinin kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Su baskını seviyesi, literatürde ülkemiz için gerçekleştirilen çalışmalardan farklı olarak, uydu altimetre deniz seviyesi ve belirgin dalga yüksekliği gözlemlerine dayalı olarak hesaplanacaktır. Bu yüzyıl sonunda deniz seviyesi yükselmesinden, ekstrem dalga yüksekliğinden, gelgit ve meteorolojik etkenlerden dolayı maksimum baskın seviyesi hesaplanarak yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modeli üzerine haritalanacaktır.

Su baskınının potansiyel etkilerini belirlemek için uydu görüntülerinden bölgelere ilişkin arazi kullanımı haritası çıkarılacak ve çeşitli kaynaklardan derlenen tematik bilgiler ile birleştirilecektir. Su baskını haritası ile arazi kullanımı ve diğer tematik haritalar üst üste bindirilerek, muhtemel su baskınının fiziksel ve sosyo-ekonomik etkileri belirlenmeye çalışılacaktır.

Çukurova ve Kızılırmak kıyısal alanlarında deniz seviyesi yükselmesi sonucu oluşabilecek kıyı çizgisi değişimi ve erozyon miktarının kestirimi için literatürde Bruun kuralı (Bruun, 1962; Bruun, 1988; Hennecke ve diğ, 2004) olarak bilinen yöntemden faydalanılacaktır. Bruun parametreleri ve erozyon büyüklüğünün kestirimi için, yine uydu radar altimetre seviye ve belirgin dalga yüksekliği gözlemleri ile çalışma bölgelerine ilişkin batimetre bilgisi kullanılacaktır. Bu analiz sonucunda Çukurova ve Kızılırmak Deltası kıyısal alanlarında erozyon sonucu yıllık ortalama kıyı çizgisi değişimi ve bu değişime karşılık gelen alan büyüklükleri belirlenmeye çalışılacaktır.

1.2 Tezin İçeriği

Tez çalışması toplam dört ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünü izleyen ikinci bölümde, Türkiye kıyı alanlarında kıyı etkilenebilirlik göstergesi kullanılarak risk

haritasının oluşturulması ve potansiyel alanların belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Alt bölümlerinde öncelikle uygulanan yöntem ve kullanılan veriler tanıtılmakta, ardından ulusal ölçekte gerçekleştirilen uygulama ve sonuçları hakkında bilgi verilmektedir.

Üçüncü bölümde, CVI analizi sonucunda riskli bölgelerin başında gelen Çukurova ve Kızılırmak Deltası kıyısal alanlarında deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz şartlarından kaynaklanan sürekli ve geçici su baskını alanının tespit edilmesi ve potansiyel etkilerinin belirlenmesi ile kıyı erozyonu kestirimi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Alt bölümlerinde çalışma bölgeleri tanıtılmakta, su baskını seviyesinin kestiriminde ve haritalanmasında uygulanan yöntemler ile kıyı erozyonu kestiriminde kullanılan Bruun modelinden bahsedilmektedir. Ayrıca; su baskını modelleme, kıyı erozyonu kestirimi ve potansiyel etkilerin ortaya çıkarılmasında kullanılan veriler üzerinde durulmakta ve son olarak uygulamaların sonuçları hakkında bilgi verilmektedir.

Dördüncü ve son bölümde, önceki bölümde bulunan sonuçlar tartışılmakta ve çalışmadan elde edilen tecrübeler ışığında öneriler sunulmaktadır.

2. TÜRKİYE KIYILARI ETKİLENEBİLİRLİK GÖSTERGESİ

2.1 Kıyı Etkilenebilirlik Göstergesi-CVI Analizi

2.1.1 CVI tanımı

Kıyı alanların etkilenebilirliğinin değerlendirilmesi kavramı, 1991 yılında IPCC'nin alt gruplarından biri olan Kıyı Alanları Yönetimi (CZM) grubu tarafından ortaya atılmış ve ülkelerin deniz seviyesi yükselmesi sonuçları ile başa çıkabilme seviyesi olarak tanımlanmıştır. IPCC-CZM grubu tarafından yayımlanan rapora göre bu değerlendirme üç ana görüşü içermektedir. Bunlar;

- Deniz seviyesi yükselmeleriyle kıyı alanlarında ortaya çıkan fiziksel değişimler,
- Fiziksel değişimlerin sosyo-ekonomik ve kıyı ekosistemine etkisi,
- Bu etkileri birtakım önlemler alarak önlemek ya da azaltma olanağı.

CVI, gelecekte kıyılarda deniz seviyesi yükselmeleri ile oluşacak potansiyel etkilerin anlaşılmasını sağlayan bir göstergedir. Kıyı etkilenebilirliği (CV- Coastal Vulnerability) çevresel tehditlere maruz kalma, nüfus yoğunluğu ve tehditle başa çıkabilme kapasitesi olarak adlandırılan etkilenebilirlik göstergelerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

$$CV = f\,(\textit{Çevresel tehditlere maruz kalma, Nüfus yoğunluğu, Tehditle başa çıkabilme kapasitesi}) \quad \textbf{(2.1)}$$

CVI üretilebilmesi için kavramsal çerçevenin oluşturulması gerekmektedir. Bu çerçeve; ölçülebilen etkilenebilirlik göstergelerin tanımlanmasını ve bu göstergelerin birleştirilerek bir matematik model içerisinde geliştirmesini içermektedir.

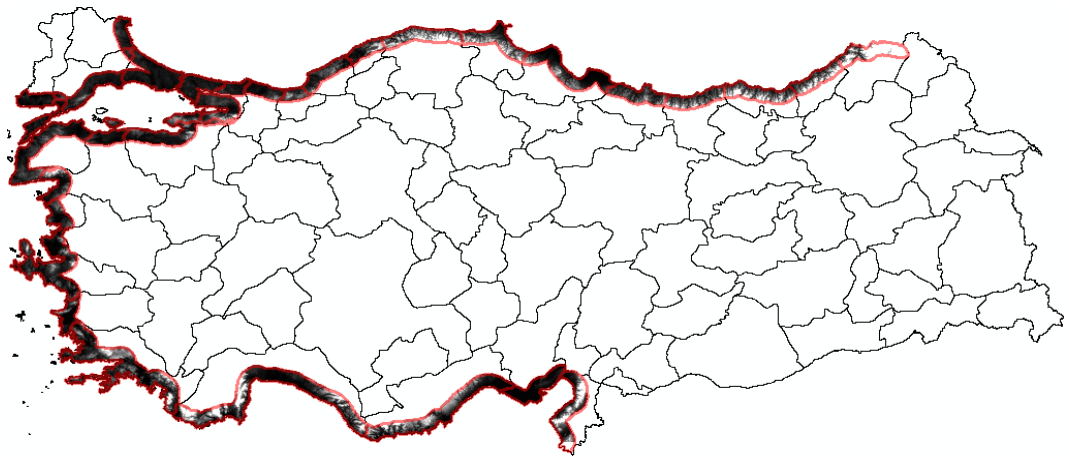
2.1.2 Etkilenebilirlik göstergeleri

Etkilenebilirlik göstergeleri çalışmadan çalışmaya farklılık göstermektedir. Bu göstergelerin tanımlanmasında çalışma bölgesinin kapsamı ve ölçeği önem arz etmektedir. Genel anlamda dünya ölçeğinde bir çalışmada aşağıda tanımlanan temel göstergeler kullanılmaktadır. Bölgesel çalışmalarda temel göstergeler dışında birçok

gösterge çalışma kapsamına göre CVI hesabına dâhil edilebilmekte ve matematik model bu göstergelere göre değiştirilebilmektedir. Aşağıda temel CVI hesabında kullanılan parametreler açıklanmıştır.

2.1.2.1 Kıyı alanı

Kıyı alanı, denize dökülen nehirlerin kıyıda oluşturdukları havzaların üst sınırı ile denize doğru giden kara alanını kapsamaktadır. Ancak analiz, yönetim ve planlama amacına altlık olmak ve hesaplamalarda kullanmak maksadıyla bu tanıma bir mesafe kavramı eklemek gerekmektedir. Bu çalışmada kıyı alanı, kıyı çizgisine mesafesi 20 km'ye kadar olan kara alanları olarak tanımlamaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Kıyı çizgisine mesafesi 20 km.'ye kadar olan Türkiye kıyı alanları.

2.1.2.2 Nüfus yoğunluğu

Kıyı nüfusunun kıyı alanına oranıdır. Nüfus yoğunluğu; alt yapı, su ve toprağı içeren çeşitli kaynak ve hizmetler için istekleri göstermektedir.

2.1.2.3 Doğal afetlere maruz kalma durumu

Dünyada son 100 yıl içerisinde kıyı bölgelerini ilgilendiren ve bu bölgeler için ciddi sonuçlar doğuran fırtına (siklon, tayfun vb.) ve büyük dalga hareketleri (tsunami ve büyük gelgitler) gibi doğal afet/afetler yaşanmış ve afet eğilimi olan bölgelerde etkilenen insan sayısı CVI hesabında girdi verisi olarak kullanılmıştır.

Dünya çapında yapılan bir araştırma için bu veriler Dünya Doğal Afet Veritabanından (World Natural Disaster database-CRED) elde edilebilmektedir.

Türkiye kıyı illerinin tamamı için son 100 yılda kayda değer sonuçlar doğuran herhangi bir fırtına, tayfun, siklon ya da büyük gelgit verisine ulaşılamamış, sadece

bazı kıyı illerinde meydana gelen tsunami sonucunda etkilenen bölgeler belirlenebilmiştir (Altınok, 2005). Bununla birlikte Akdeniz kıyılarındaki gelgit değişimlerinin (~100cm), Karadeniz'e oranla (~50cm) daha fazla olduğu bilinmektedir (Yıldız ve diğ, 2003).

Elde edilen bu bilgiler ışığında sadece bazı illerin doğal afete maruz kalma durumları belirlenebilmekte fakat bu illerde söz konusu doğal afetler sonucu etkilenen insan sayısı bilgisine ulaşılamamaktadır. Zira özellikle deprem sonucunda oluşan tsunami etkileri ülkemizde deprem etkileri içerisinde değerlendirilmektedir. Bu nedenle kıyı illeri için doğal afete maruz kalma, bu iller arasında herhangi bir ağırlık yaratmayacağından, hesaba dahil edilememiştir.

2.1.2.4 Bitki örtüsü yüzdesi

Bitki örtüsü, kıyı alanlarını olası bir fırtınadan yerleşim yerleri ve kıyı çevresini korumakta, bunun yanında doğal su kaynaklarını da koruyarak, kıyı erozyonunu azaltmaktadır. Bitki örtüsü yüzdesi bitki örtüsünün kıyı alanlara oranı ile bulunmaktadır. Bu yüzde ne kadar düşükse, verimlilik de o kadar düşük olmakta bu da toprak yapısının bozulmasına ve hatta su kalitesinin kötüleşmesine sebep olmaktadır.

2.1.2.5 Topoğrafik karakteristiği

Topoğrafik karakteristik bir ülkedeki düşük yükseltili alanların (50 metreden daha az) yüzdesi ve toplam sınır uzunluğunun kıyı uzunluğuna oranı ile ilişkilendirilmektedir. Eğer bir ülke uzun bir kıyı hattına sahip ve düşük yükseltili alanlardaki nüfus yoğunluğu fazla ise, burada yaşayan insanların ve ekosistemin doğal afete maruz kalma tehlikesi daha fazla olmaktadır.

2.1.2.6 İnsanların gelişmişlik durumu

Tüm bu etkilerin üstesinden gelebilme durumunu en iyi ifade eden gösterge insanların gelişmişlik seviyesidir. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından geliştirilen bu gösterge, ortalama ömür uzunluğu, eğitim seviyesi ve gelir seviyesi etkilerinin bileşkesini içermektedir. Bu etkilerin ortalaması ülkelerin durumlarını ortaya koymakta (UNDP, 2001) ve UNDP raporunda ülkeler için bu değerler yayımlanmaktadır. CVI hesaplarında bu göstergenin kıyı ve iç alanlarda aynı olduğu kabul edilmektedir.

Türkiye kıyı illeri için bu değer, Devlet Planlama Teşkilatının 2010 yılında Türkiye geneli için yaptığı illere göre insani gelişmişlik durumunu gösteren çalışmadan alınmıştır.

2.1.3 CVI hesabı

Bir ülkenin kıyı etkilenebilirliği aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır (UNEP, 2005):

$$\text{Etkilenebilirlik} = f\,((NY) + (DAMKD) + (1\text{-}BÖY) + (TK)) - (İGD)] \quad \textbf{(2.2)}$$

NY = Nüfus yoğunluğu

DAMKD = Doğal afete maruz kalma durumu

1-BÖY = Düşük bitki örtüsü

TK = Topoğrafik karakteristik

İGD = İnsan gelişmişlik durumu

Etkilenebilirlik değeri hesaplanırken eşitliğe girdi olan verilerin birimlerinin aynı olması gerekmektedir. Bu nedenle bu göstergeler aşağıdaki (2.3) eşitliğinde olduğu gibi ölçeklendirilmektedir. Böylece bir ülke için hesaplanan yeni gösterge değeri diğer ülkeler arasında göreceli olarak değerlendirilmekte ve bu değerlere göre de CVI üretilmektedir.

$$\text{Gösterge} = (X - \text{Min})/(\text{Max} - \text{Min}) \quad \textbf{(2.3)}$$

X = X göstergesi için gerçek değer

Tüm bölgelerin CVI hesabı yapıldıktan sonra, eşitlik sonucu çıkan değerin 0 ila 1 arasında olması beklenmektedir. Bunun için tekrardan yukarıdaki (2.3) eşitliğine benzer bir eşitlik ile CVI değeri aşağıda gösterildiği şekilde çalışma bölgesi içinde standartlaştırılmaktadır.

$$\text{Standartlaştırılmış CVI} = (x - \text{Min}) / (\text{Max-Min}) \quad \textbf{(2.4)}$$

2.1.4 Denize kıyısı olan ülkeler arasında Türkiye'nin durumu

Birleşmiş Milletler Çevre Programının 2005 yılında yaptığı çalışmaya göre, tüm dünya kıyı ülkelerinin CVI değerleri hesaplanmış ve ülkeler gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkeler ve ada devletleri olarak sınıflandırılmıştır. Rapora göre, gelişmiş ülkelerin hepsinin olası bir doğal afetin üstesinden gelebilme potansiyellerinin olduğu yine de Danimarka ve Hollanda'nın etkilenebilirlik seviyesinin diğerlerine kıyasla çok yüksek olduğu ve toprak büyüklüğü ve kıyı uzunluğu fazla olan ABD, Kanada, Rusya ve Çin gibi ülkelerin daha ayrıntılı ve hassas bir çalışma yapmasının gerekliliği vurgulanmaktadır. Bununla birlikte Türkiye gelişmekte olan 78 ülke arasında, kıyı uzunluğu bakımından 9'uncu, kıyı nüfus yoğunluğu bakımından 17'nci sırada bulunmakta ve orta seviye risk grubunda yer almaktadır. Sadece kıyı nüfus yoğunluğu ve kıyı topografyası düşünüldüğünde bile Türkiye'nin diğer birçok gelişmekte olan kıyı ülkelerine nazaran daha çok tehlikeye maruz kalacağı görülmektedir (UNEP, 2005).

2.2 Türkiye Kıyı İlleri İçin CVI Hesabı

Bütünleşik bir risk analizi sunan CVI göstergesinin hesaplanabilmesi kıyı illerine ait söz konusu güncel bilgilerin elde edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu kapsamda, Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de sunulan CVI hesabı için gerekli girdi veriler HGK, TÜİK ve DPT veri tabanından doğrudan alınarak ya da türetilerek kullanılmıştır. Eşitlik (2.2), (2.3) ve (2.4)'e göre hesaplanan yan gösterge değerleri, CVI ve standartlaştırılmış CVI değeri Çizelge 2.3'de sunulmaktadır. Hesaplamalar ESRI ArcGIS ve Microsoft Excel imkânları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Standartlaştırılmış CVI değerlerine göre;

$0 \leq CVI_{sdt} < 0,2$ Çok düşük

$0,2 \leq CVI_{sdt} < 0,4$ Düşük

$0,4 \leq CVI_{sdt} < 0,6$ Orta

$0,6 \leq CVI_{sdt} < 0,8$ Yüksek

$0,8 \leq CVI_{sdt} < 1$ Çok yüksek etkilenebilirlik seviyelerini ifade etmektedir.

Çizelge 2.3'e göre öne çıkan Adana, Çanakkale, Samsun, Balıkesir ve Aydın illerinin diğerlerine göre daha fazla riskli olduğu değerlendirilmekte ve bu illerde daha ayrıntılı çalışma yapma gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 2.1 : CVI hesabında kullanılan veriler (1).

İl	Toplam alan (ha)	Toplam çevre (km)	Kıyı uzunluğu (km)	Kıyı alan (20km) (ha)	Kıyı alan %	Kıyı uzunluğu %
Adana	1398033,535	743,105	188,619	230352,668	16,5	25,4
Antalya	2046351,409	1028,134	542,999	798563,798	39,0	52,8
Artvin	736664,6118	421,479	137,140	240013,808	32,6	32,5
Aydın	779069,1226	569,211	190,969	136550,971	17,5	33,5
Balıkesir	1418817,58	875,597	299,029	315262,176	22,2	34,2
Bursa	1088029,165	540,438	127,379	279877,157	25,7	23,6
Çanakkale	939865,6855	731,408	521,819	548749,292	58,4	71,3
Edirne	593154,4833	536,898	75,566	120959,302	20,4	14,1
Giresun	679865,4964	441,258	104,298	195224,388	28,7	23,6
Hatay	562256,8051	492,279	158,453	310203,600	55,2	32,2
İçel	1534873,357	792,070	330,375	535475,517	34,9	41,7
İstanbul	532948,6472	534,110	393,941	511143,852	95,9	73,8
İzmır	1176964,258	1251,338	796,451	636115,640	54,0	63,6
Kastamonu	1316001,294	578,060	136,936	255503,248	19,4	23,7
Kırklareli	653699,4751	436,148	61,271	107575,560	16,5	14,0
Kocaeli	359913,2914	396,495	164,240	313801,574	87,2	41,4
Muğla	1240638,555	1655,221	1255,682	737590,429	59,5	75,9
Ordu	590703,653	409,965	109,279	198601,365	33,6	26,7
Rize	393616,8545	295,571	94,187	178021,790	45,2	31,9
Sakarya	489658,7058	340,452	54,886	125322,261	25,6	16,1
Samsun	944198,4341	559,580	199,436	364126,681	38,6	35,6
Sinop	583686,8507	428,197	178,504	254429,609	43,6	41,7
Tekirdağ	639360,5424	451,177	122,493	270182,963	42,3	27,1
Trabzon	463222,303	362,486	112,975	236924,999	51,1	31,2
Zonguldak	333122,1676	256,519	97,973	177293,073	53,2	38,2
Bartın	210207,1081	226,819	81,226	124800,933	59,4	35,8
Yalova	80306,73872	167,114	103,747	80311,579	100,0	62,1
Düzce	257281,5043	234,252	27,126	75476,685	29,3	11,6

Çizelge 2.2 : CVI hesabında kullanılan veriler (2).

İl	Kıyı bitki örtüsü%	Kıyı topoğrafyası (<50m) %	Tsunami, gelgit risklerinden etkilenme %	Toplam nüfus	Kıyı nüfusu	Kıyı nüfusu Yoğunluğu (ha/kişi)	İnsan gelişmişlik endeksi (DPT, 2010)
Adana	11,2	56	0	2062226	339791	1,475091	2,625
Antalya	32,0	6	0	1919729	749151	0,938123	5,116
Artvin	21,5	1	0	165580	53948	0,22477	-0,235
Aydın	15,4	36	0	979155	171621	1,256827	2,261
Balıkesir	11,8	30	0	1140085	253328	0,803546	2,141
Bursa	22,4	5	0	2550645	656110	2,34428	5,795
Çanakkale	50,8	22	0	477735	278930	0,508301	2,655
Edirne	16,7	15	0	395463	80645	0,666712	2,930
Giresun	12,9	4	0	421860	121138	0,620505	-1,607
Hatay	45,2	7	0	1448418	799109	2,576079	0,287
İçel	27,9	14	0	1640888	572461	1,069071	2,157
İstanbul	73,8	25	0	12915158	12386754	24,2334	17,125
İzmır	44,9	26	0	3868308	2090710	3,286683	9,242
Kastamonu	18,6	4	0	359823	69860	0,273421	-0,389
Kırklareli	15,1	7	0	333179	54829	0,509682	3,043
Kocaeli	78,5	10	0	1522408	1327359	4,22993	8,522
Muğla	54,1	7	0	802381	477035	0,646748	3,678
Ordu	32,3	5	0	723507	243251	1,224822	-2,498
Rize	31,2	2	0	319569	144532	0,811878	0,138
Sakarya	23,5	30	0	861570	220508	1,759532	1,703
Samsun	36,6	35	0	1250076	482087	1,323955	0,542
Sinop	41,4	10	0	201134	87674	0,344592	-1,122
Tekirdağ	39,7	8	0	783310	331014	1,225146	3,555
Trabzon	39,9	3	0	765127	391341	1,651749	0,140
Zonguldak	51,6	5	0	619812	329874	1,860615	1,404
Bartın	48,1	5	0	188449	111883	0,896492	-1,470
Yalova	81,0	4	0	202531	202543	2,521968	2,641
Düzce	22,0	3	0	335156	98322	1,302682	-0,139

Çizelge 2.3 : Kıyı illerinin CVI değerleri.

İl	Tsunami, gelgit tehlikelerinden etkilenme göstergesi	Düşük bitki örtüsü göstergesi	Topoğrafik gösterge	Kıyı uzunluğu oranı	Topoğrafik Karakteristik	Kıyı nüfus yoğunluğu göstergesi	İnsan gelişmişlik göstergesi	CVI	Standartlaştırılmış CVI	Etkilenebilirlik seviyesi
Adana	0,000	1,000	1,000	0,254	1,254	0,043	0,261	2,036	1,000	**Çok yüksek**
Antalya	0,000	0,702	0,091	0,528	0,619	0,016	0,388	0,949	0,448	Düşük
Artvin	0,000	0,852	0,000	0,325	0,325	0,004	0,115	1,067	0,508	Düşük
Aydın	0,000	0,939	0,636	0,335	0,972	0,031	0,243	1,700	0,829	**Yüksek**
Balıkesir	0,000	0,992	0,527	0,342	0,869	0,027	0,236	1,651	0,804	**Yüksek**
Bursa	0,000	0,840	0,073	0,236	0,308	0,003	0,423	0,729	0,336	Çok düşük
Çanakkale	0,000	0,433	0,382	0,713	1,095	0,036	0,263	1,302	0,627	**Çok yüksek**
Edirne	0,000	0,921	0,255	0,141	0,395	0,007	0,277	1,047	0,498	Düşük
Giresun	0,000	0,975	0,055	0,236	0,291	0,003	0,045	1,224	0,587	Orta
Hatay	0,000	0,512	0,109	0,322	0,431	0,009	0,142	0,810	0,377	Düşük
İçel	0,000	0,761	0,236	0,417	0,653	0,018	0,237	1,195	0,573	Orta
İstanbul	0,000	0,102	0,436	0,738	1,174	0,040	1,000	0,316	0,126	Düşük
İzmır	0,000	0,518	0,455	0,636	1,091	0,036	0,598	1,047	0,498	Orta
Kastamonu	0,000	0,893	0,055	0,237	0,291	0,003	0,107	1,080	0,515	Düşük
Kırklareli	0,000	0,944	0,109	0,140	0,250	0,001	0,282	0,912	0,429	Çok düşük
Kocaeli	0,000	0,036	0,164	0,414	0,578	0,015	0,562	0,067	0,000	Çok düşük
Muğla	0,000	0,385	0,109	0,759	0,868	0,027	0,315	0,965	0,456	Orta
Ordu	0,000	0,698	0,073	0,267	0,339	0,005	0,000	1,042	0,495	Düşük
Rize	0,000	0,713	0,018	0,319	0,337	0,005	0,134	0,921	0,433	Düşük
Sakarya	0,000	0,823	0,527	0,161	0,688	0,019	0,214	1,317	0,635	Orta
Samsun	0,000	0,636	0,618	0,356	0,975	0,031	0,155	1,486	0,721	**Yüksek**
Sinop	0,000	0,567	0,164	0,417	0,581	0,015	0,070	1,092	0,521	Orta
Tekirdağ	0,000	0,591	0,127	0,271	0,399	0,007	0,308	0,689	0,316	Çok düşük
Trabzon	0,000	0,589	0,036	0,312	0,348	0,005	0,134	0,808	0,376	Düşük
Zonguldak	0,000	0,421	0,073	0,382	0,455	0,010	0,199	0,686	0,315	Düşük
Bartın	0,000	0,471	0,073	0,358	0,431	0,009	0,052	0,859	0,402	Orta
Yalova	0,000	0,000	0,055	0,621	0,675	0,019	0,262	0,432	0,185	Orta
Düzce	0,000	0,845	0,036	0,116	0,152	-0,003	0,120	0,874	0,410	Çok düşük

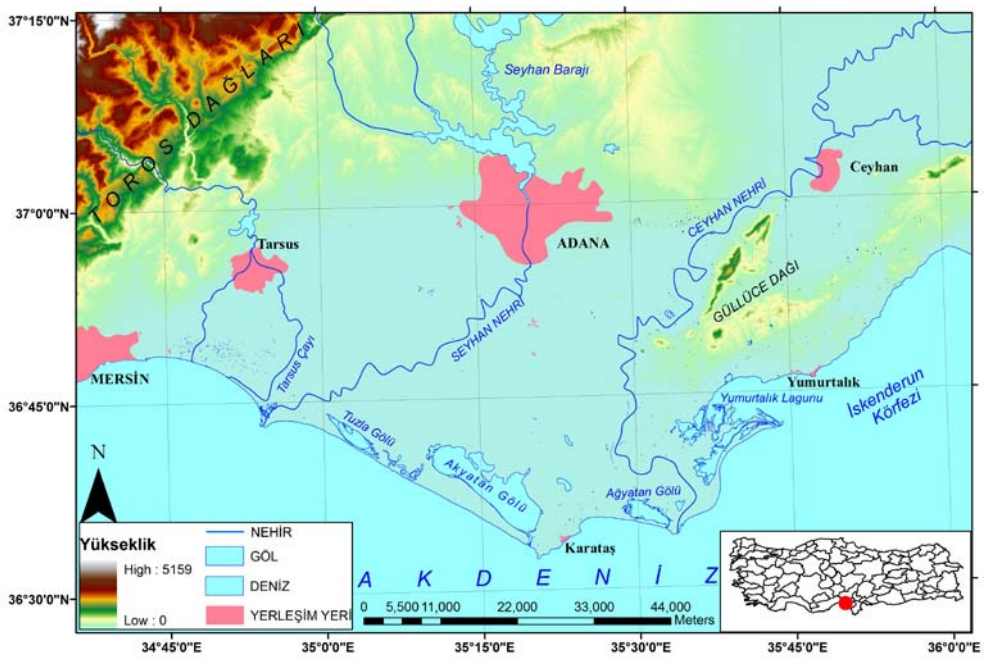
3. ÇUKUROVA VE KIZILIRMAK DELTASI KIYI ALANLARI ETKİLENEBİLİRLİĞİ

Ülkemizin en verimli kıyısal bölgeleri olan Çukurova ve Kızılırmak Deltaları; topoğrafik, ekonomik ve ekolojik durumu göz önüne alındığında deniz seviyesi yükselmesine en duyarlı alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölümde, uydu ve yersel verilere dayalı olarak ve CBS araçları kullanarak deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz durumu karşısında her iki delta alanın etkilenebilirliği ortaya konulmaya çalışılacaktır.

3.1 Çukurova Deltası

Çukurova Deltası; Akdeniz'in en doğusunda, Türkiye'nin güneyinde Mersin ili ile İskenderun Körfezi arasında yer almaktadır (Şekil 3.1). Delta, iç bölgelerdeki soğuk havanın güneye inmesini engelleyerek doğal bir engel görevi gören ve batıdan kuzeydoğuya doğru uzanan büyük Toros Dağları ile çevrelenmiştir. Tipik Akdeniz iklimine sahip olan bölgede, hafif ve yağmurlu kış ayları ve nispeten sıcak ve kuru yaz ayları hâkimdir.

Ülkedeki neredeyse en büyük ve verimli delta olan Çukurova, Seyhan ve Ceyhan nehirlerinin alüvyonlu birikintisi ile oluşan 20.000 km^2'den fazla bir alanı kaplayan havzaya sahiptir. Bölgede dört adet lagün bulunmaktadır. Bunlardan ikisi Akyatan ve Yumurtalık lagünleri, 1994 yılında imzalanan Ramsar Anlaşması tarafından uluslararası öneme sahip sulak alanlar olarak ilan edilmiştir. Delta, ayrıca koruma alanı statüsünde önemli bitki ve hayvan varlığı çeşitliliğine sahiptir. Çukurova deltasının büyük bir kısmı tarım amaçlı kullanılmakta, özellikle pamuk, turunçgiller, soya, fıstık ve mısır yetiştirilmektedir. Bölgedeki sayılı kumsallar soyu tükenmekte olan deniz kaplumbağalarının yuvalama alanı olarak hizmet vermektedir. Bölge ayrıca Afrika'dan Avrupa'ya göç eden kuşlar tarafından duraklama alanı olarak kullanılmaktadır (Url-1).



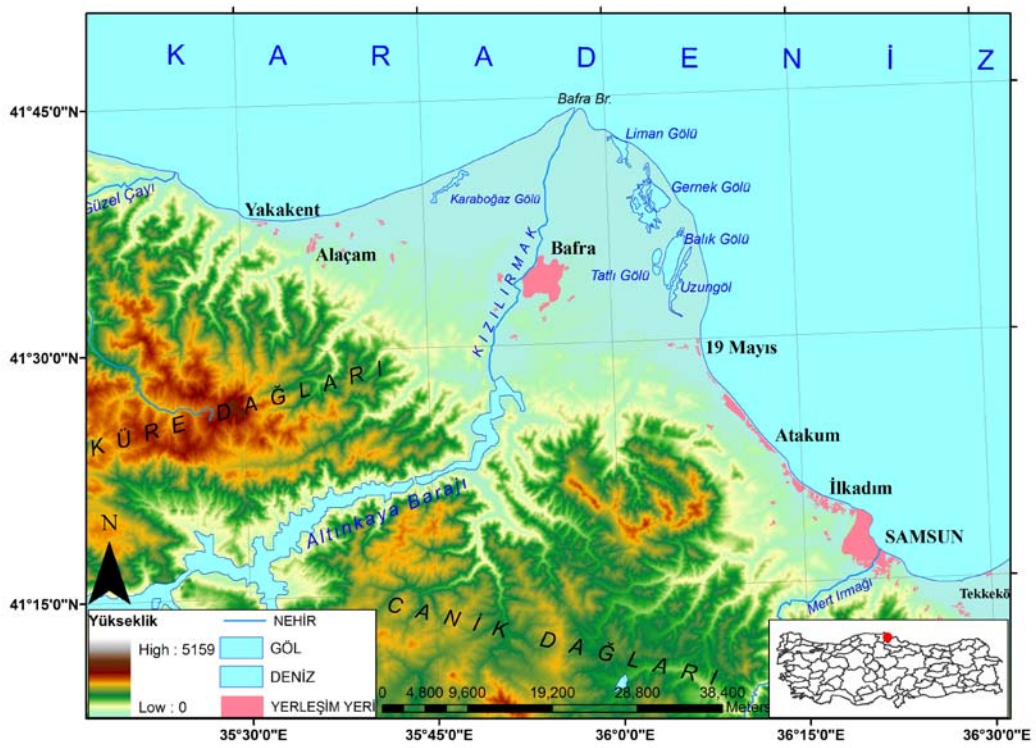
Şekil 3.1 : Çukurova Deltası kıyısal alanı.

Çalışma alanı içerisine giren Yumurtalık ve Karataş idari alanlarında, 2011 nüfus verilerine göre nüfus yoğunluğu sırasıyla kilometrekare başına 24 ila 35 arasında değişmektedir. Bölge, yaklaşık 110 km kıyı uzunluğu olmasına karşın, Antalya ili ile karşılaştırıldığında uluslararası kıyı turizmi fazla gelişmemiştir. Mersin ile Karataş arasında çoğunlukla tarıma elverişli alanlar bulunmaktadır. Doğuda yer alan Yumurtalık ve Ceyhan limanları özellikle Doğu-Batı (Kerkük-Yumurtalık) ve Kuzey-Güney (Bakü-Tiflis-Ceyhan) ham petrol boru hatlarının sonlandığı noktalar olup, deniz ulaşımı için stratejik bir öneme sahiptir.

3.2 Kızılırmak Deltası

Kızılırmak Deltası; Samsun ilinin 25 km batısındaki Dereköy mevkiinden başlayıp batıda Alaçam sınırlarındaki Habilli ve Doyran köylerine kadar uzanan yaklaşık 56.000 ha büyüklüğünde bir alanı kaplamaktadır (Şekil 3.2). Delta, adını aldığı Kızılırmak nehrinin taşıdığı alüvyonların oluşturduğu ülkemizin en büyük ve verimli alanlarından biridir. Güneyinde, Kızılırmak nehrinin her iki kenarında yay şeklinde uzanan ve yükseklikleri 600-800 metreye varan Kuzey Anadolu Dağlarının ilk sırasını oluşturan platolar, daha güneyde ise 1000-1500 metre yükseklikteki dağlar yer almaktadır. Kızılırmak Deltasında Bafra balık gölleri, Uzun, Çernek, Tatlı, Gıçı, Liman ve Karaboğaz gibi önemli lagün gölleri bulunmaktadır. Delta, Ramsar

Anlaşması tarafından uluslararası öneme sahip sulak alanlar arasına alınmıştır. Tarımsal potansiyel bakımından Türkiye'nin en zengin bölgelerinden biri olan Kızılırmak Deltasında buğday, mısır, pirinç, ayçiçeği, şeker pancarı ve tütün yetiştirilmektedir. Sulama imkanlarının artmasıyla birlikte sebze yetiştiriciliği de artmıştır.



Şekil 3.2 : Kızılırmak Deltası kıyısal alanı.

Hayvancılık ve balıkçılık yöre halkının geçiminde önemli yer tutmaktadır. Özellikle sulak alan ve göllere yakın çevrede bulunan köylerde hayvancılık ve balıkçılık yaygındır. Bölge nesli tükenmekte olan birçok kuş türüne ev sahipliği yapmaktadır. Bölge içerisine giren Alaçam, Ondokuzmayıs ve Bafra ilçelerinde, 2011 nüfus verilerine göre nüfus yoğunluğu kilometrekare başına ortalama 45 ila 80 arasında değişmektedir. Deniz, ırmak, göl, sazlık, bataklık, tarım alanları gibi farklı karakterleri bir arada bulundurması ve uygun iklim koşuları Deltanın eşine az rastlanır ölçüde ekolojik çeşitliliğe sahip olmasını sağlamaktadır (Url-2).

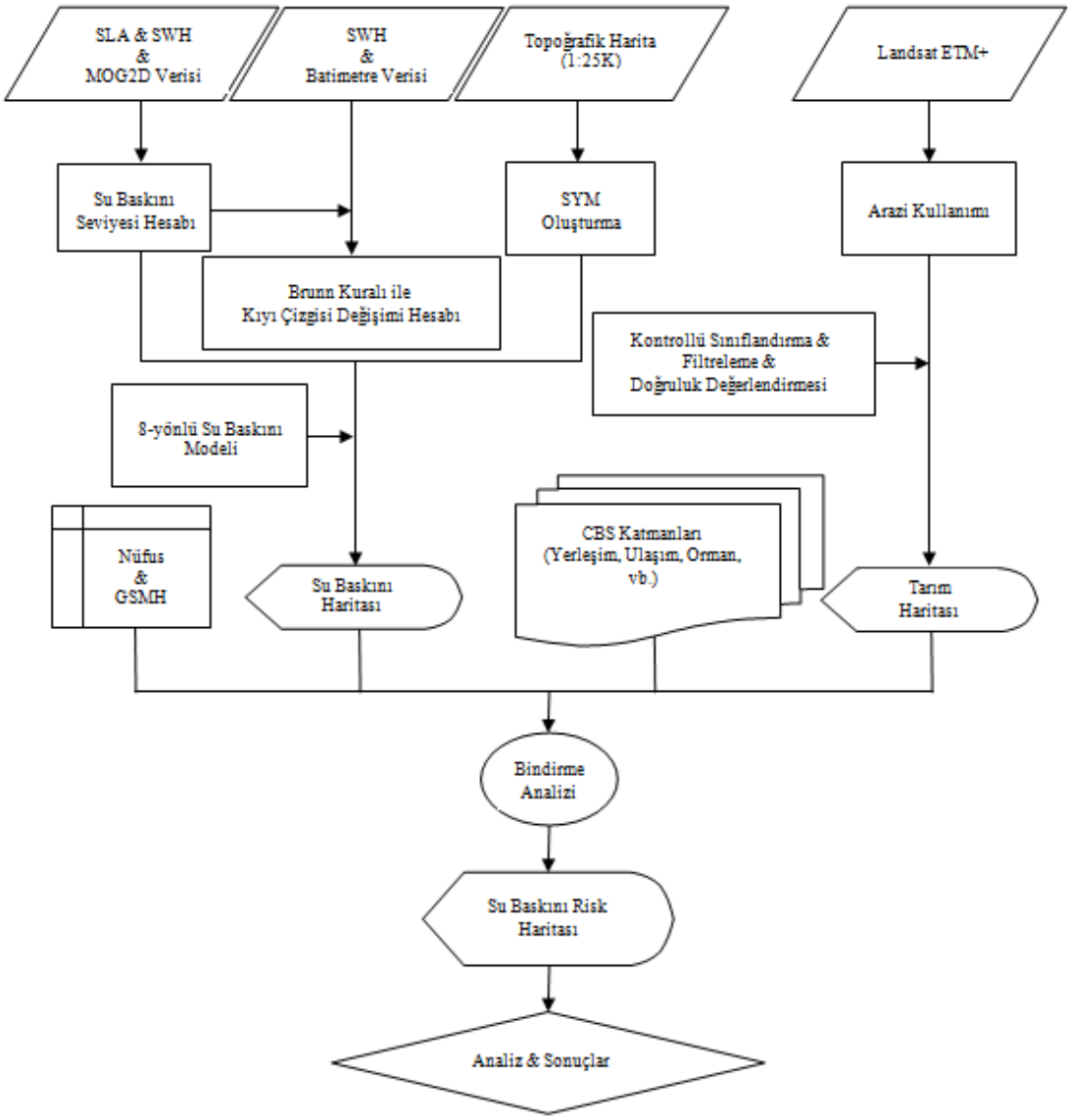
3.3 Yöntem

Çalışma bölgelerinde bu yüzyıl sonunda deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz şartlarından kaynaklanan sürekli ve geçici su baskını alanının tespit edilmesi ve

potansiyel etkilerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 3.3'de gösterilen işlem adımları izlenmiştir. Kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu kestirimi için Bruun kuralı (Bruun, 1962; Bruun, 1988; Hennecke ve diğ, 2004) uygulanmıştır.

Şekil 3.3'de gösterilen yöntemin birinci adımında, deniz seviyesi ve dalga yüksekliği verileri kullanılarak su baskını seviyesi için bir değer kestirilmektedir. İkinci adımda su baskını seviyesi sayısal arazi modeli üzerine haritalanarak su baskını haritası oluşturulmaktadır. Sayısal arazi modelinin doğruluğu ve çözünürlüğü su baskını alanının tespitinde büyük önem arz ettiğinden, bu adımda topoğrafik haritalardan yüksek çözünürlüklü lokal model üretilmektedir. Su baskınının potansiyel etkilerini belirlemek ve deltanın etkilenebilirliğini ortaya koymak için arazi kullanımı hakkında bilgiye ihtiyaç vardır. Arazi kullanımına yönelik olarak farklı kaynaklardan derlenen veriler arasında tarım alanlarına ilişkin yeterince bilgi mevcut olmadığından, üçüncü adımda uydu görüntüsünden kontrollü sınıflandırma ile tarım alanları belirlenmektedir. Son adımda bölgeye ait diğer tematik haritalar ile su baskını haritası ve arazi kullanımı haritası bindirme analize tabi tutulmakta ve su baskınının potansiyel etkileri değerlendirilmektedir.

Kıyı çizgisi değişimi için deniz seviyesi, dalga yüksekliği ve batimetre verileri kullanılarak Bruun parametreleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan parametrelere dayalı olarak öncelikle yıllık kıyı çizgisi değişim oranı belirlenmektedir. Mevcut kıyı çizgisi, belirlenen değişim oranında karaya doğru ötelenmekte ve mevcut ile ötelenen kıyı çizgileri arasında kalan alan hesaplanarak kıyı erozyonunun büyüklüğü kestirilmektedir.



Şekil 3.3 : Kalıcı ve geçici su baskını etkilerinin belirlenmesinde izlenen yöntem.

3.3.1 Su baskını seviyesi

Su baskını seviyesi (In_{Lev}); Hoozemans ve diğ. (1993) ile Snoussi ve diğ. (2008) ve Snoussi ve diğ. (2009)'un risk bölgesi tanımı dikkate alınarak, yüksek su seviyesi (MHW), göreli deniz seviyesi yükselmesi (S), ekstrem dalga yüksekliği (H_{TR}) ve barometrik basınçtan kaynaklanan deniz seviyesi değişiminin (S_P) toplamı şeklinde ifade edilmiştir:

$$In_{Lev} = MHW + S + H_{TR} + S_P \qquad \textbf{(3.1)}$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen büyüklüklerin büyük bir kısmı birden fazla altimetre uydusunun verilerine dayalı olarak hesaplanmıştır. MHW , 1992-2012 altimetre veri

dönemi boyunca ortalama deniz yüzeyi üzerinde gözlenen yüksek su seviyelerinin aritmetik ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Çalışma bölgesi içerisinde her bir uydu misyonunun bir devir ve geçişindeki en yüksek su seviyesi $\max\left(SLA_{cycle,pass}^{sat}\right)$ tespit edilmekte ve bu yüksek seviyelerin ortalaması alınarak ortalama deniz yüzeyine göre MHW değeri hesaplanmaktadır. Bu analizde; çalışma bölgesindeki gelgit karekteristiğinin ileriki yıllarda değişmediği varsayılmakta, mevcut MHW değeri ile yüzyıl sonundaki MHW değeri eşit kabul edilmektedir.

$$MHW = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\max\left(SLA_{cycle,pass}^{sat}\right) \qquad \textbf{(3.2)}$$

Mevcut deniz seviyesi yükselme hızı (3.3) eşitliği ile verilen harmonik model kullanılarak hesaplanmaktadır (Simav ve diğ, 2008). Eşitliğin sol tarafındaki terim t anındaki düzeltilmiş deniz seviyesi anomalisidir. Eşitliğin sağındaki ilk terim $t = t_0$ anındaki ortalama deniz seviyesi anomalisi, ikinci terim sabit yükselme hızı, üçüncü ve dördüncü terimler ise yıllık ve yarım yıllık mevsimsel sinyalleri temsil eden harmoniklerdir. Harmoniklerdeki A_i, ω_i, φ_i terimleri sırasıyla yıllık ($i = 1$) ve yarım yıllık ($i = 2$) sinyallerin genliği, açısal hızı ve fazıdır. Eşitliğin sağındaki son terim ise modellenemeyen etkileri ve gözlem hatalarını temsil etmektedir.

$$SLA(t) = SLA(t_0) + a_1(t - t_0) + \sum_{i=1}^{2} A_i \cos\left(\omega_i(t - t_0) - \varphi_i\right) + \varepsilon(t) \qquad \textbf{(3.3)}$$

(3.3) eşitliğindeki bilinmeyen parametreler $SLA(t_0), a_1, A_i, \varphi_i$ gözlem ağırlıkları sabit alınarak en küçük kareler yaklaşımı ile kestirilmektedir. Eşitliği doğrusallaştırmak için harmonik terimler yeniden yazılacak olursa,

$$A_i \cos\left(\omega_i(t - t_0) - \varphi_i\right) = A_i\left[\cos\left(\omega_i(t - t_0)\right)\cos(\varphi_i) + \sin\left(\omega_i(t - t_0)\right)\sin(\varphi_i)\right] \qquad \textbf{(3.4)}$$

f_i açısal hıza karşılık gelen frekans olmak üzere aşağıdaki kısaltmalar yapılırsa, (3.3) eşitliğinin doğrusallaştırılmış şekli (3.6) ile gösterilebilir:

$$A_i \cos(\varphi_i) = B_i \quad ; \quad A_i \sin(\varphi_i) = C_i \quad ; \quad \omega_i = 2\pi f_i \qquad \textbf{(3.5)}$$

$$SLA(t) = SLA(t_0) + a_1(t - t_0) + \sum_{i=1}^{2} B_i \cos(2\pi f_i (t - t_0)) + C_i \sin(2\pi f_i (t - t_0)) + \varepsilon(t) \qquad \textbf{(3.6)}$$

Gözlem vektörü L, katsayılar matrisi A, bilinmeyenler vektörü x, gözlem sayısı n, bilinmeyen parametre sayısı u, bilinmeyenlerin kestirim değerleri $\tilde{x}$, kovaryans matrisi $C_{\tilde{x}}$, kestirim sonrası artık değerler r ve a-posteriori varyans σ_0^2 ile gösterilecek olursa, ve t zaman büyüklüğü yıl cinsinden ifade edilirse;

$$L = \begin{bmatrix} SLA(t_1) \\ SLA(t_2) \\ \vdots \\ SLA(t_{n-1}) \\ SLA(t_n) \end{bmatrix} \quad ; \quad x = \begin{bmatrix} SLA(t_0) \\ a_1 \\ B_1 \\ C_1 \\ B_2 \\ C_2 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.7)}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & t_1 - t_0 & \cos(2\pi(t_1 - t_0)) & \sin(2\pi(t_1 - t_0)) & \cos(4\pi(t_1 - t_0)) & \sin(4\pi(t_1 - t_0)) \\ 1 & t_2 - t_0 & \cos(2\pi(t_2 - t_0)) & \sin(2\pi(t_2 - t_0)) & \cos(4\pi(t_2 - t_0)) & \sin(4\pi(t_2 - t_0)) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_{n-1} - t_0 & \cos(2\pi(t_{n-1} - t_0)) & \sin(2\pi(t_{n-1} - t_0)) & \cos(4\pi(t_{n-1} - t_0)) & \sin(4\pi(t_{n-1} - t_0)) \\ 1 & t_n - t_0 & \cos(2\pi(t_n - t_0)) & \sin(2\pi(t_n - t_0)) & \cos(4\pi(t_n - t_0)) & \sin(4\pi(t_n - t_0)) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{x} = (A^T A)^{-1} \cdot A^T L \quad ; \quad C_{\tilde{x}} = \sigma_0^2 \cdot (A^T A)^{-1}$$

$$\sigma_0^2 = \frac{r^T r}{n - u} \quad ; \quad r = A\tilde{x} - L \qquad \textbf{(3.8)}$$

şeklinde çözüm yapılabilir. Çözüm sonunda A_i, φ_i genlik ve faz değerleri, kestirilmiş $\tilde{B}_i$ ve $\tilde{C}_i$ katsayıları yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\tilde{A}_i = \sqrt{\tilde{B}_i^2 + \tilde{C}_i^2} \quad ; \quad \tilde{\varphi}_i = \arctan \frac{\tilde{C}_i}{\tilde{B}_i} \qquad \textbf{(3.9)}$$

Yüzyıl sonunda göreli deniz seviyesi yükselmesi S, kestirilen parametrelerden aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. Kestirim hatası hata yayılma kuralına göre belirlenmektedir. Ancak çalışma bölgesi için göreli deniz seviyesi yükselmesi hesaplanırken, çevrede anlamlı kara hareketinin (çökme veya yükselme) olmadığı, deniz seviyesi yükselme hızında ivmelenme olmadığı, mevsimsel parametrelerde yıllar ve on yıllar arası değişimlerin olmadığı varsayılmaktadır.

$$S = \tilde{S}LA(2100) = \tilde{S}LA(t_0) + \tilde{a}_1(2100 - t_0) + \sum_{i=1}^{2} \tilde{A}_i \cos\left(\omega_i (2100 - t_0) - \tilde{\varphi}_i\right) \quad \textbf{(3.10)}$$

T_R dönüş periyotlu ekstrem belirgin dalga yüksekliği Gumbel ekstrem değer dağılımı (Gumbel, 1958; Kamphuis, 2000; Suh, 2007) kullanılarak kestirilmektedir. Gumbel kümülatif olasılık dağılım fonksiyonu;

$$F(H) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{H - \alpha}{\beta} \right) \right] \quad \textbf{(3.11)}$$

şeklinde olup, H belirgin dalga yüksekliği (bağımsız değişken), α ve β ise sırasıyla dağılıma ilişkin lokasyon ve ölçek parametreleridir. Çalışmada ekstrem dalga yüksekliği olarak 100 yıl dönüş periyotlu $H_{TR} = H_{100}$ dalga yüksekliği kullanılmaktadır. Bu dalga yüksekliğinin istatistik yöntemlerle ketirimi için (3.11)'de verilen dağılım fonksiyonun doğrusallaştırılması ve dağılım parametreleri olan lokasyon ve ölçek parametrelerinin kestirilmesi gerekmektedir. (3.11)'de verilen fonksiyonun her iki tarafının logaritması alınırsa;

$$-\log_e\left[-\log_e\left(F(H)\right) \right] = \frac{H - \alpha}{\beta} \quad \textbf{(3.12)}$$

$$H = H_{TR} = \alpha + \beta\left\{ -\ell n\left[\left(-\ell n\left(F(H)\right) \right) \right] \right\} = \alpha + \beta\left\{ -\ell n\left[\left(\ell n\left(\frac{1}{F(H)} \right) \right) \right] \right\} \quad \textbf{(3.13)}$$

şeklini alır. $F(H)$ belirli bir sınır değerin aşılamama olasılığını ifade etmektedir. Belirgin dalga yüksekliği verilerinden deneysel aşılamama olasılıklarının hesaplanabilmesi için, öncelikle dalga verileri küçükten büyüğe sıralanır ve 1'den başlamak üzere herbir dalga yüksekliğine bir numara (m - derece) verilir. N toplam veri uzunluğu olmak üzere;

$$F(H) = 1 - \frac{m}{N + 1} \quad \textbf{(3.14)}$$

şeklinde hesaplanır. (3.13) eşitliği bir doğru denklemini ifade etmektedir. İki boyutlu bir uzayda, x ekseni boyunca $-\ell n\left[\left(\ell n\left(\frac{1}{F(H)} \right) \right) \right]$, y ekseni boyunca da ilgili

olasılığa karşılık gelen dalga yüksekliği çizilir ve bu dağılıma uygun bir doğru uydurulursa, doğrunun y eksenini kestiği nokta dağılımın lokasyon parametresini, doğrunun eğimi ise ölçek parametresini verir. Lokasyon ve ölçek parametreleri yine en küçük kareler yöntemi ile kestirilmektedir. Bu durumda gözlem vektörü, katsayı matrisi ve bilinmeyenler vektörü aşağıdaki şekildedir:

$$L=\begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \vdots \\ H_{N-1} \\ H_N \end{bmatrix} \quad ; \quad A=\begin{bmatrix} 1 & -\ell n\left[\left(\ell n\left(\frac{1}{F(H_1)}\right)\right)\right] \\ 1 & -\ell n\left[\left(\ell n\left(\frac{1}{F(H_2)}\right)\right)\right] \\ \vdots & \vdots \\ 1 & -\ell n\left[\left(\ell n\left(\frac{1}{F(H_{N-1})}\right)\right)\right] \\ 1 & -\ell n\left[\left(\ell n\left(\frac{1}{F(H_N)}\right)\right)\right] \end{bmatrix} \quad ; \quad x=\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \tag{3.15}$$

Bilinmeyen parametreler ve hataları (3.8)'deki matris eşitlikleri kullanılarak çözülmektedir. 100 yıl dönüş periyotlu dalga yüksekliği H_{100} hesaplanabilmesi için bu dalga yüksekliğinin aşılamama olasılığının bilinmesi gerekmektedir. D saat biriminde korelasyon giderici zaman ölçeği (3 saat), T_{100} yüzyıl içerisinde toplam saat sayısı (877777.78 - artık yılları içeriyor) olmak üzere $F(H_{100})$ ve $\tilde{H}_{100}$ aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Suh, 2007):

$$F(H_{100})=P(H\le H_{100})=1-\frac{D}{T_{100}} \tag{3.16}$$

$$\tilde{H}_{100}=\tilde{\alpha}+\tilde{\beta}\left\{-\ell n\left[\left(\ell n\left(\frac{1}{F(H_{100})}\right)\right)\right]\right\} \tag{3.17}$$

(3.1) eşitliğindeki son terim S_P, Carrere ve Lyard (2003)'ün MOG2D iki boyutlu gravite dalgaları modelinden hesaplanmaktadır. Bu model; uydu altimetre verilerinin analizlerinde, basınç ve rüzgar baskısından kaynaklanan yüksek frekanslı deniz seviyesi değişimlerinin modellenmesinde kullanılmaktadır. Su baskını seviyesi için maksimum seviye öngörüldüğünden, meteorolojik kaynaklı deniz seviyesi değişimi için ekstrem durumlar göz önüne alınmıştır. Bu sebeple S_P terimi *MHW* hesaplamasında olduğu gibi çalışma bölgesi içerisinde her bir uydu misyonunun bir

devir ve geçişindeki en yüksek değer $\max\left(MOG2D_{cycle,pass}^{sat}\right)$ tespit edilerek ve bu değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Bu analizde de; çalışma bölgesindeki uzun dönemli meteorolojik baskının ileriki yıllarda değişmediği varsayılmakta, mevcut S_P değeri ile yüzyıl sonundaki S_P değeri eşit kabul edilmektedir.

$$S_P = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\max\left(MOG2D_{cycle,pass}^{sat}\right) \qquad \textbf{(3.18)}$$

3.3.2 Su baskınının haritalanması

Su baskını haritalamada genel olarak üç yaklaşımdan söz etmek mümkündür (Poulter ve Halpin, 2008). Basit "banyo küveti ya da sıfır-yönlü komşuluk kuralı" olarak bilinen birinci yaklaşıma göre bir sayısal arazi modeli hücresinin su altında kalması için, o hücre yüksekliğinin su baskını seviye miktarına eşit veya daha düşük olması yeterlidir. Sıfır-yönlü komşuluk kuralı hücreler arasında yüzey bağlantısını dikkate almamaktadır. Şekil 3.4'de örnek olarak sıfır-yönlü komşuluk kuralının basit bir sayısal arazi modeli üzerinde uygulaması gösterilmiştir. Bu yaklaşıma göre 1 metre su baskını seviyesi sonucunda su altında kalacak hücreler koyu renkle işaretlenmiştir

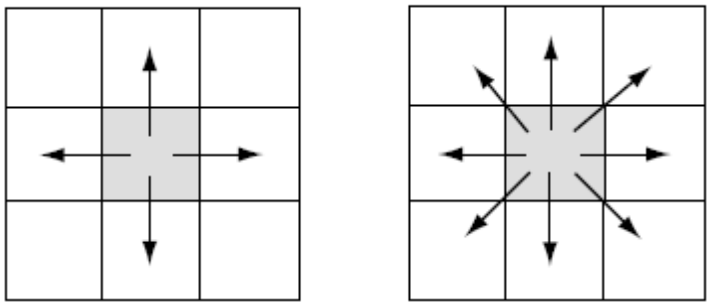
	1	**2**	**3**	**4**	**DENİZ**
A	0.60	0.20	0.10	0.90	
B	1.00	0.95	0.90	1.10	↕
C	1.20	1.30	1.35	1.40	
D	1.10	0.95	0.95	1.20	
					KARA

Şekil 3.4 : 1 metre su baskını seviyesi ve sıfır-yönlü komşuluk kuralı uygulaması.

C satırı boyunca suyun kara tarafına geçişini engelleyecek bir yükselti olmasına karşın, algoritma hücreler arasında bağlantıyı dikkate almadığından D2 ve D3 hücrelerinin su altında kaldığı görülmektedir. Her ne kadar bazı sınırlamaları olsa da,

kolay programlanabilir olması ve hızlı sonuç üretmesi nedeniyle çok geniş alanların su baskını modellemesinde tercih edilen bir yaklaşımdır.

İkinci ve üçüncü yaklaşıma göre bir sayısal arazi modeli hücresinin su altında kalması için, o hücre yüksekliğinin su baskını seviyesine eşit veya daha düşük olması ve çevre hücrelerinin su altında kalması ya da açık deniz olması gerekmektedir. Dört-yönlü ve sekiz-yönlü olmak üzere iki farklı komşuluk bağlantı tanımlamasından söz etmek mümkündür. Dört-yönlü komşulukta, sıfır-yönlü komşuluktaki şarta ilave olarak sayısal arazi modeli hücresinin ana yönlerdeki komşu hücrelerinden herhangi birinin su altında kalması gerekir (Şekil 3.4a). Sekiz-yönlü komşulukta ise hem ana yön hem de diyagonal yöndeki komşu hücrelerden herhangi birinin su altında kalması esastır (Şekil 3.4b).



Şekil 3.5 : (a) Dört-yönlü komşuluk kuralı, (b) Sekiz-yönlü komşuluk kuralı.

Su baskını modellerini matematiksel olarak aşağıdaki şekilde formülüze etmek mümkündür:

$$F_{x,y} = \begin{cases} E_{x,y} \le In_{Lev}, 1 \\ \\ E_{x,y} > In_{Lev}, 0 \end{cases} \times C \qquad \textbf{(3.19)}$$

$F_{x,y}$ ile gösterilen terim, x, y koordinatlarına sahip hücreye su basması durumunda 1 (bir), basmaması durumunda ise 0 (sıfır) değerini alan ve su baskını sonucunu gösteren iki terimli değişkendir. $E_{x,y}$ terimi, x, y koordinatlarına sahip hücreye ait yükseklik değerini, In_{Lev} ise su baskını seviyesini temsil etmektedir. C komşuluk bağlantısını (bağlı ise 1(bir), bağlı değil ise 0 (sıfır)) gösteren tamsayıdır.

Dört ve sekiz-yönlü komşuluk yaklaşımları iterasyon gerektiren algoritmalardır. Başlangıç haritasına ilk değerler girildikten sonra satır ve sütun yönünde genellikle

3x3'lük hücreler şeklinde analiz gerçekleşir ve bir hücre için hesaplanan değer komşu hücrenin yeni değerinin hesaplanmasında kullanılır. Bu işlem haritada değişim kalmayıncaya kadar devam eder. Bölgenin topoğrafik durumuna göre bu işlemler zaman alıcı olabilmektedir ve sıfır-yönlü komşuluğa oranla programlaması daha zordur. Ancak daha gerçekçi ve doğru sonuçlar üretmektedir (Poulter ve Halpin, 2008). Şekil 3.5'de, 1 metre su baskını seviyesi sonucunda örnek sayısal arazi modeli üzerinde çok-yönlü komşuluk uygulaması gösterilmiştir. Yeni durumda D2 ve D3 hücrelerinin beklendiği gibi su baskınına maruz kalmadığı görülmektedir. Çalışma süresinde su baskını haritalamada sekiz-yönlü komşuluk algoritması kullanılmaktadır.

	1	**2**	**3**	**4**	**DENİZ**
A	0.60	0.20	0.10	0.90	
B	1.00	0.95	0.90	1.10	↕
C	1.20	1.30	1.35	1.40	
D	1.10	0.95	0.95	1.20	
					KARA

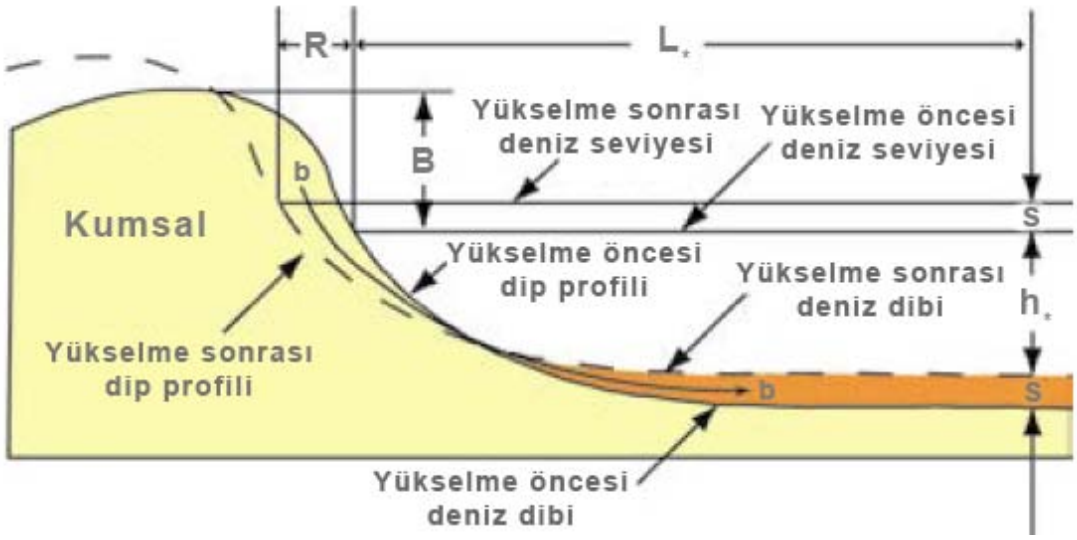
Şekil 3.6 : 1 metre su baskını seviyesi ve çok-yönlü komşuluk kuralı uygulaması.

3.3.3 Bruun kuralı

Deniz seviyesi yükselmesi sonucu kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu büyüklüğünü kestirmek için geliştirilmiş, kıyı mühendisliği ve planlama çalışmalarında yaygın olarak kullanılan modellerden biri Bruun (1962, 1988) tarafından formülüze edilmiş olup, literatürde "Bruun kuralı" veya "Bruun modeli" olarak bilinmektedir. Modelin temelinde; kıyı profillerinin yani kıyı çizgisine dik yöndeki enine kesitlerin, deniz seviyesi yükseldiğinde eski şeklini koruma eğiliminde olduğu varsayılır. Şekil 3.7'de bu varsayım şematik olarak gösterilmektedir. Deniz seviyesi S kadar yükseldiğinde, kıyı erozyona uğrar ve sahildeki sediment aşınmaya başlar. Sahilden aşınan b kadar materyal (sediment) denize doğru taşınır ve deniz dibinde birikir. Sahilden aşınan materyalin hacmi, deniz dibinde biriken materyalin hacmine eşittir. Deniz dibi sediment birikiminden dolayı bir miktar yükselir ve bu

yükselme miktarı, seviye yükselme miktarına (şekilde S ile gösterilmiştir) eşittir. Bu sayede yükselmeden önce ve yükselmeden sonra sabit su derinliği, diğer bir ifade ile kıyı profil şekli korunmuş olur.

Deniz dibinde sediment birikiminin ihmal edilebilir bir seviyeye geldiği bir nokta vardır. Bu noktanın sahilden uzaklığına (şekilde L_* ile gösterilmiştir) "kıyı profil uzunluğu" ya da kısaca "profil uzunluğu", bu noktanın derinliğine ise (şekilde h_* ile gösterilmiştir) "kapanma derinliği" adı verilir. Şekilde B ile gösterilen yükseklik sahil "banket yüksekliği", R ise erozyon sonucu kıyı çizgisinin yatay yöndeki değişim miktarını ifade etmektedir.



Şekil 3.7 : Bruun modeli. (Dean ve Dalrymple (2002)'den uyarlanmıştır).

Bruun kuralı matematiksel olarak (3.20) eşitliği ile ifade edilmektedir. Eşitlikteki $\frac{L_*}{B+h_*}$ terimi kıyı yüzey eğiminin tersi ($\frac{1}{\tan\Theta}$) olarak kabul edilebilir ve eşitlik yeniden düzenlenebilir.

$$R = \frac{L_*}{B+h_*} \cdot S = \frac{1}{\tan\Theta} \cdot S \qquad \textbf{(3.20)}$$

Sonuç olarak, $\tan\Theta$'nın küçük değerleri için (örneğin, 0.01-0.02), $R = 50 \cdot S$ ya da $R = 100 \cdot S$ şeklinde pratik kurallar üretilebilir. Bu genelleştirmeye göre; 1 birimlik bir seviye yükselmesi, kıyı alanında 50-100 birimlik bir erozyona neden olmakta ve kıyı çizgisinin bu oranda çekilmesi anlamına gelmektedir (Wright, 1995; Komar, 1998; Zhang, 1998).

Schwartz (1967), Hands (1980), Komar (1998), Dean ve Dalrymple (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda Bruun modeli doğrulanmaya çalışılmış, bu modelin belirli bir yaklaşımla kıyı çizgisi değişimlerinin belirlenmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Ancak, Thieler ve diğ. (2000) ile Cooper ve Pilkey (2004) tarafından, Bruun modelinin birçok belirsizlik içerdiği ve pratik uygulamalarda kullanılmasının yanlış sonuçlar doğurabileceği ifade edilmektedir. List ve diğ. (1997) tarafından gözlem verilerine dayalı olarak yapılan analizlerde Bruun kuralı tarafından önerilen kıyı profili denge varsayımının karşılanmasının oldukça zor olduğu sonucuna varılmış, bunun yanında Bruun kuralının sahile paralel yöndeki sediment taşınımını dikkate almadığı bunun da yanlış yorumlara neden olabileceği ifade edilmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından Bruun kuralı modifiye edilerek kullanılmış (Dean ve Maurmeyer, 1983; Nicholls ve diğ, 1995) ya da Bruun kuralından bağımsız erozyon modelleri geliştirilmiştir (Cowell ve diğ, 1992). Ancak bu modellerde varsayımlara dayalı olup, Bruun modeline benzer kısıtlamaları vardır. Alternatif olarak Crowell ve diğ. (1991), Crowell ve diğ. (1993) ve Crowell ve diğ. (1997) farklı kaynaklardan elde edilen tarihsel kıyı çizgisi verilerinden, değişim izleme yöntemi ile kıyı çizgisi değişimlerini belirlemeye çalışmış, kıyı çizgisinin doğrusal bir hızla değiştiği varsayımıyla geleceğe yönelik kestirim yapmayı denemiştir. Ancak yeterli doğrulukta ve sayıda tarihsel veriye erişme ve de doğrusal olmayan değişimlerin dikkate alınmaması bu yöntemin kısıtlamaları arasındadır.

Yinede diğer yöntemlere oranla uygulanabilirliği daha kolay olan Bruun yaklaşımı, birçok araştırmacı tarafından kıyı erozyonu modellemede tercih edilmektedir. Bu çalışmada da kıyı erozyonu ve kıyı çizgisi değişiminin belirlenmesinde Bruun kuralından faydalanılacaktır. Bruun kuralının uygulanmasında en kritik husus, Bruun parametreleri olarak bilinen h_* ve B değerlerinin yeterince doğru seçilmesidir. h_* ve B topoğrafik ve hidrografik gözlem teknikleri yardımıyla profil ölçmeleri şeklinde belirlenebilen parametreler olmasına rağmen, gözlemler oldukça zaman alıcı ve maliyetli olabilmektedir (Ghazali, 2007). Aynı zamanda bu parametreler konumun ve zamanın fonksiyonu olarak değişmektedir.

Hallermeier (1981), belirgin dalga yüksekliği, dalga periyodu ve yer çekimi ivmesinin fonksiyonu olarak h_* kapanma derinliğini analitik bir fonksiyonla tanımlamaya çalışmıştır. Buna göre kapanma derinliği;

$$h_* = 2.28H_{0.137} - 68.5\left(\frac{{H_{0.137}}^2}{gT^2}\right) \quad \textbf{(3.21)}$$

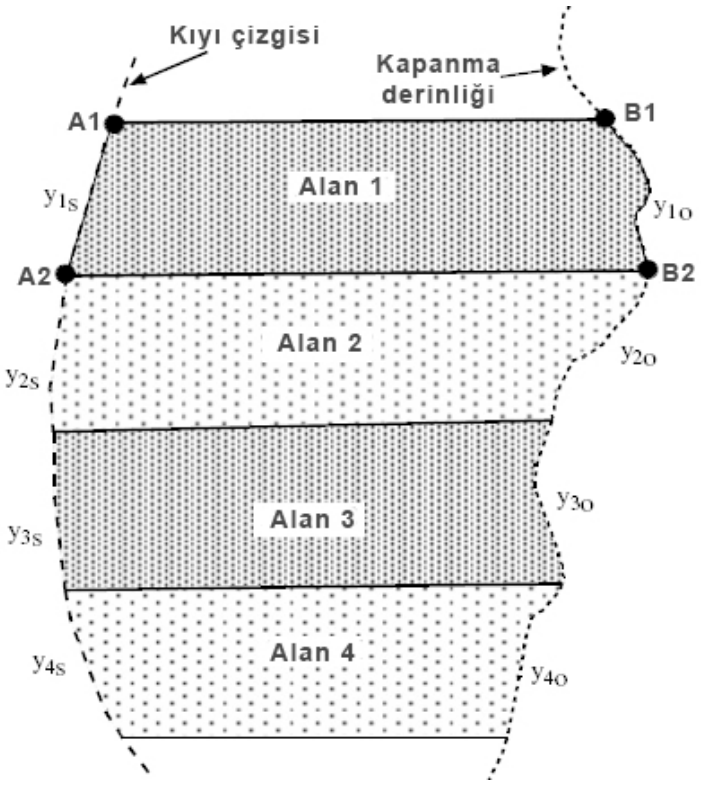
şeklinde ifade edilmiştir. Eşitlikte; $H_{0.137}$ yıllık 12 saati aşan belirgin dalga yüksekliği (birimi metre), T bu dalga yüksekliğine karşılık gelen dalga periyodu (birimi saniye), g ise yerçekimi ivmesidir (birimi ms^{-2}). Yıllık 12 saati aşan belirgin dalga yüksekliğinin kümülatif olasılık dağılım fonksiyonundaki olasığı %0.137'ye karşılık gelmektedir.

Çeşitli kaynaklarda Hallermeier eşitliğinin daha basit formlarından bahsedilmektedir. Nicholls ve diğ. (1995)'de $\overline{H}_S$ ortalama belirgin dalga yüksekliği, σ_{H_S} dalga yüksekliği standart sapması olmak üzere kapanma derinliği (3.22) ile ifade edilmektedir. Uydu radar altimetre gözlemlerinden dalga periyodu bilgisi üretilemediğinden, çalışma süresince kapanma derinliğinin hesaplanmasında (3.22) eşitliği kullanılmıştır.

$$h_* = 2\overline{H_S} + 11\sigma_{H_S} \quad \textbf{(3.22)}$$

Kapanma derinliği hesaplandıktan sonra Bruun parametrelerinden biri olan profil uzunluğu L_* Şekil 3.8'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. Bunun için önce kapanma derinliğine karşılık gelen derinlik konturu belirlenmekte, ardından kıyı çizgisi ve kapanma derinliğinin kıvrım yaptığı yerler işaretlenerek birleştirilmekte ve küçük sektörler veya poligonlar oluşturulmaktadır (örneğin; A1, A2, B1, B2 poligonu). A_x x'inci poligonun alanı, y_{xs} poligonun kıyı çizgisi tarafında kalan uzunluğu, y_{xo} poligonun derinlik konturu tarafında kalan uzunluğu olmak üzere x'inci poligona ait profil uzunluğu (3.23) eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır (Hennecke ve diğ, 2004).

$$L_x = \frac{A_x}{(y_{xs} + y_{xo})/2} \quad \textbf{(3.23)}$$



Şekil 3.8 : Profil uzunluğunun hesaplanması (Hennecke ve diğ. (2004)'den uyarlanmıştır)

Bruun parametrelerinden bir diğeri sahil banket yüksekliği hakkında öncül bir bilgi olmadığından tüm sektörlerde sabit değer kabul edilmiştir. Bu analiz sonunda Bruun parametrelerine dayalı olarak öncelikle yıllık kıyı çizgisi değişim oranı belirlenmektedir. Mevcut kıyı çizgisi, hesaplanan değişim oranı kadar karaya doğru ötelenmekte ve mevcut ile ötelenen kıyı çizgileri arasında kalan alan hesaplanarak kıyı erozyonunun büyüklüğü kestirilmektedir.

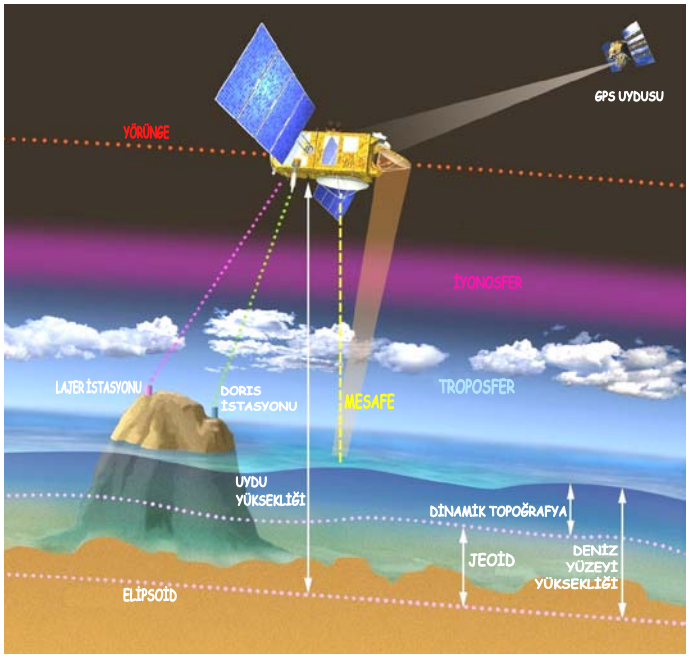
3.4 Veriler ve Analizler

3.4.1 Uydu altimetre verileri ve su baskını seviyeleri

Yukarıda (3.1) eşitliğinde verilen ortalama yüksek su seviyesi, deniz seviyesi yükselme miktarı, 100 yıl dönüş periyotlu ekstrem dalga yüksekliği uydu altimetre deniz seviyesi anomali (SLA) ve belirgin dalga yüksekliği (SWH) verileri kullanılarak hesaplanmaktadır.

Uydu altimetresi; yer merkezli bir referans sisteminde deniz yüzeyinin uzaydan, global olarak, sık ve hassas bir şekilde ölçülmesi amacıyla geliştirilmiş bir gözlem tekniğidir. Bu teknik ile uydu anteninden yeryüzüne gönderilen ve uydu alıcısı

tarafından tekrar geri alınan radar dalgasının seyahat süresi ölçülmektedir (Şekil 3.9). Bu sürenin ışık hızı ile ölçeklendirilmesi ve hassas uydu konum verisi ile birleştirilmesi sonucu altimetre ölçülerinden yüzey yükseklik bilgisi ve bunların değişimi elde edilmektedir.



Şekil 3.9 : Uydu radar altimetre tekniği (Url-3'den uyarlanmıştır).

1000 km'den daha yüksekte hareket eden altimetre uydularından birkaç santimetre doğrulukta deniz yüzeyi yüksekliği elde edebilmek için, sinyal yolu ve deniz yüzeyi üzerindeki değişken atmosferik ve fiziksel şartların dikkate alınması, uydu yörüngelerinin ise hassas bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. h_{isl} anlık deniz yüzeyinin referans elipsoidinden olan yüksekliği, h_{orb} altimetre uydusunun aynı referans elipsoidinden olan yüksekliği, h_{alt} ise anlık deniz yüzeyi ile uydu arasındaki mesafe olmak üzere temel altimetre gözlem eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$h_{isl} = h_{orb} - h_{alt} \tag{3.24}$$

Her gözlem sisteminde olduğu gibi altimetrik gözlemler de hatalarla yüklüdür. Bu hatalar dikkate alındığında (3.24) eşitliği aşağıdaki şekilde geliştirilebilir.

$$h_{isl} = \left(h^{c}_{orb} + \Delta h_{orb}\right) - \left(h^{m}_{alt} + \Delta\alpha\right) \tag{3.25}$$

Yukarıdaki eşitlikte h_{orb}^{c} hesaplanan yörüngeden bulunan uydu yüksekliğini, Δh_{orb} gerçek yörünge ile hesaplanan yörünge arasındaki hatayı, h_{alt}^{m} altimetrik gözlemi, $\Delta\alpha$ ise altimetrik gözlemdeki hataları ifade etmektedir. Günümüzde Δh_{orb} yörünge hatası, GPS, DORIS ve SLR gibi uydu izleme teknikleri ile izlenen yeni nesil altimetre uydularında 1 cm'ye kadar düşürülmüştür.

Altimetrik gözlemlerdeki hatalar; aletsel, atmosferik ve jeofiziksel hatalar olarak üç kategoride sınıflandırılabilir. Aletsel hatalar, uydunun mekanik ve elektronik donanımlarından kaynaklanan hatalardır. Antenin nadir hattından kayması, zamanlama hataları, saat oskilatörün kayması (drift) bu tip hata kaynağına örnek olarak gösterilebilir. Aletsel hatalardan kaynaklanan tüm etkiler, hassas bir şekilde hazırlanmış test alanlarında (yer doğrulama) "altimetre kalibrasyonu" aşaması ile kontrol edilerek belirlenmektedir.

İyonosfer ve troposfer atmosferik hatanın iki temel kaynağını oluşturmaktadır. Radar dalgasının yayılım hızı, iyonosferdeki serbest elektron sayısı ile doğru orantılı, altimetre radar frekansının karesi ile ters orantılı olarak azalmaktadır. İyonosferik düzeltme çift frekanslı altimetre ölçüleri veya global modeller ile hesaplanabilmektedir. Radar dalgasının yayılım hızı, troposferdeki gazların ve su buharının miktarı ile orantılı olarak yavaşlamaktadır. Troposferik düzeltme uygun modeller ve altimetre uydularına monte edilmiş pasif mikrodalga radyometreler kullanılarak düzeltilebilmektedir.

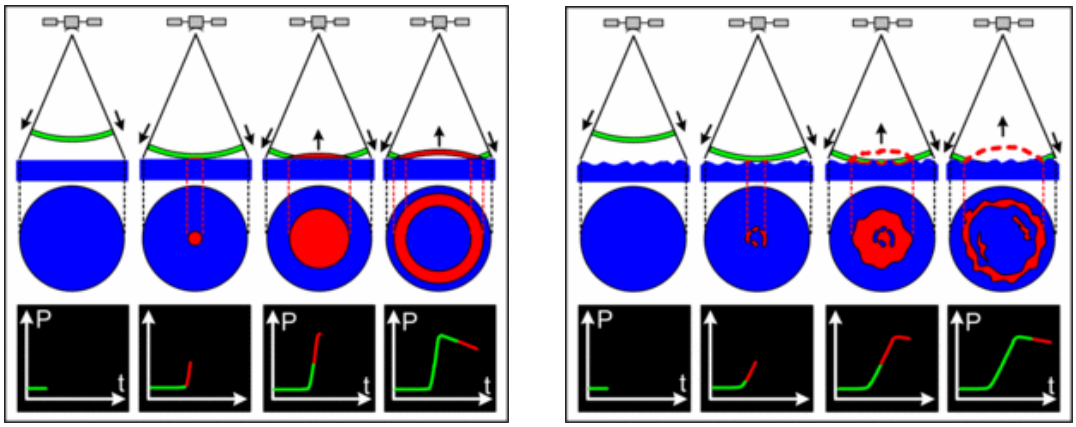
Jeofiziksel düzeltmeler deniz yüzeyinin değişkenliği nedeniyle altimetre ölçülerine getirilen düzeltmelerdir. Bunlar elastik okyanus gelgitleri, katı yer gelgitleri, okyanus yüklemesi, ters barometre ve deniz durumu sapması düzeltmelerinden oluşmaktadır. Bu düzeltmeler çeşitli modellerden ve analitik fonksiyonlardan hesaplanmaktadır.

Düzeltilmiş uydu altimetre deniz seviyesi anomalisi h_{SLA}; deniz yüzeyi yüksekliği h_{isl} ile uzun dönemli deniz yüzeyi ortalaması h_{mean} arasındaki farktır.

$$h_{SLA} = h_{isl} - h_{mean} \qquad \textbf{(3.26)}$$

Yükseklik ölçümü dışında uyduya geri dönen sinyalin dalga formu analiz edilerek belirgin dalga yükseklikleri ve yüzey rüzgâr hızı bilgileri de türetilebilmektedir.

Uydudan deniz yüzeyine gönderilen radar dalgası Şekil 3.10(a) ve Şekil 3.10(b)'deki gibi ilerlemekte ve birkaç kilometre karelik bir alan içerisinde deniz yüzeyi ile etkileşmektedir. Şekil 3.10(a)'da radar dalgasının durgun deniz yüzeyi ile, Şekil 3.10(b) ise dalgalı bir yüzey ile etkileşimi ve bunların altında ise yüzeyden yansıyan dalganın dalga formu gösterilmektedir. Durgun yüzeyde radar dalgasının önde ilerleyen kısmı denize çarpar çapmaz, dalga formu genliği ani ve dik bir şekilde artmaya başlamakta, ancak dalgalı yüzeyde bu yükseliş kademeli bir şekilde gerçekleşmektedir. Radar dalgasının önde ilerleyen kısmının dalga formundaki eğiminden belirgin dalga yüksekliği hesaplanmaktadır. Altimetre tekniği, hata kaynakları ve düzeltmeler ile ilgili ayrıntılı bilgilere Fu ve Cazenave (2001)'den ulaşılabilir.



Şekil 3.10 : Radar altimetre dalga formu. (a) Durgun deniz yüzeyi, (b) Dalgalı deniz yüzeyi (Url-3'den uyarlanmıştır).

1970'li yıllardan günümüze kadar çeşitli ulusal ve uluslararası organizasyonlar tarafından uzaya 10'dan fazla altimetre uydusu gönderilmiş, önümüzdeki yıllarda da yeni altimetrik uydu görevleri uzaya gönderilecektir. Tüm bu uydulara ilişkin görev süreleri, uydu yükleri, yörünge bilgileri, ölçü doğrulukları, kapsama alanları, aynı noktadan geçiş süreleri, yörünge izleri arasındaki mesafe, radar frekansları ve yörünge izleme sistemleri gibi bilgilere AVISO (Url-3), RADS (Url-4), DGFI (Url-5) gibi global altimetre servislerinin web sayfalarından ulaşmak mümkündür.

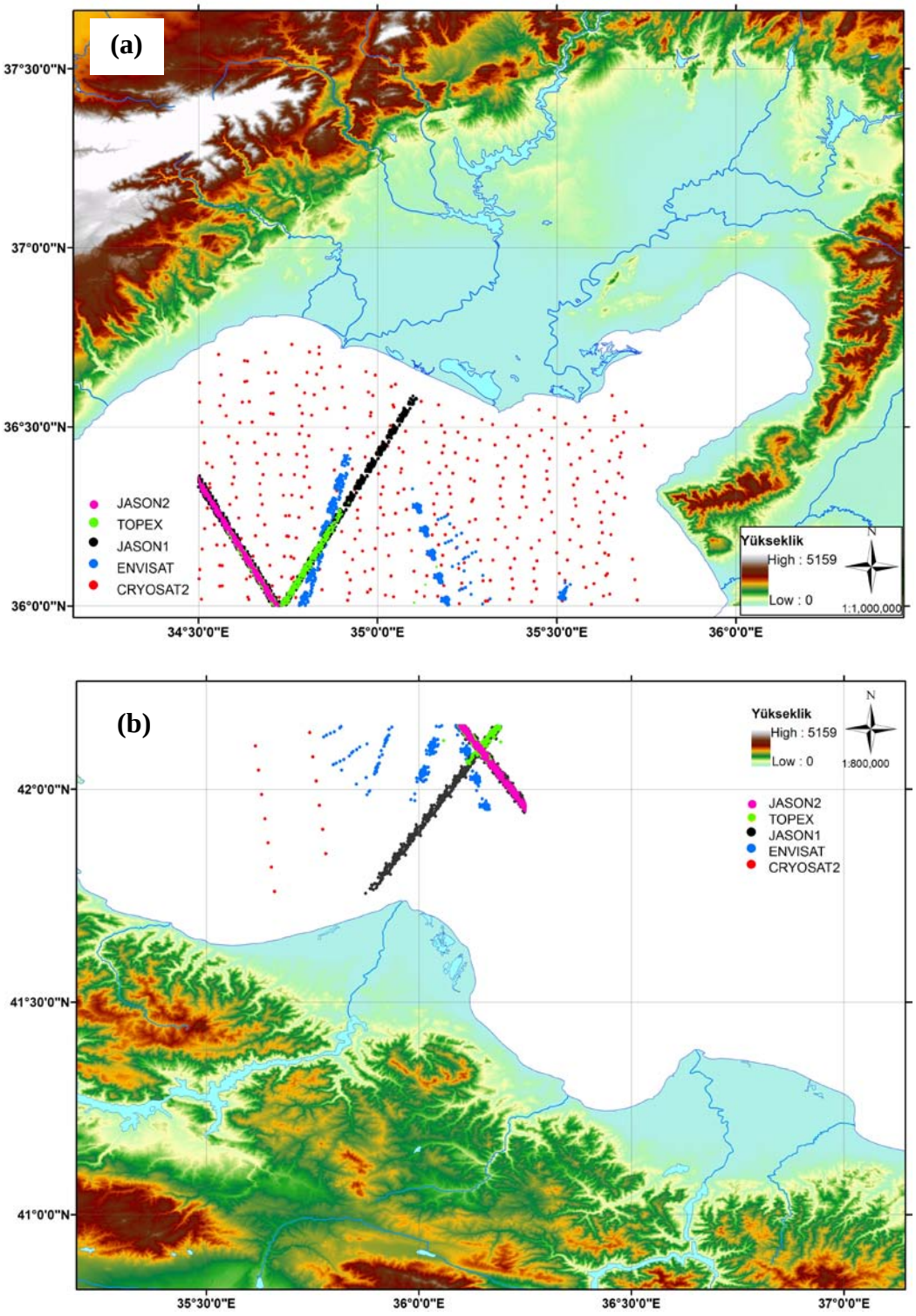
Çalışmada konumsal ve zamansal çözünürlükleri farklı olan çoklu-uydu verisi kullanımı öngörülmüştür. Bu sayede bir uydunun kısıtlamasının diğer uydu görevi ile giderilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda çalışma süresince; NASA/CNES işbirliği ile geliştirilen Topex ve Jason-1, NASA/CNES/EUMETSAT/NOAA tarafından geliştirilen Jason-2 ile ESA tarafından geliştirilen Envisat ve Cryosat-2 uydu radar

altimetre deniz seviyesi anomali ve belirgin dalga yüksekliği verileri kullanılmış olup, her bir uyduya ait bazı temel bilgiler Çizelge 3.1'de sunulmaktadır. Standart uydu izi üzerine rastgelen 1 Hz (~7 km) çözünürlüğündeki veriler, Delft Teknoloji Enstitüsü tarafından işletilen RADS (Url-4) veritabanından, Scharroo (2011) tarafından tanımlanan 3.1 versiyonundaki varsayılan ayarlar kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma bölgeleri çevresindeki uydu izleri ve gözlem noktaları Şekil 3.11'de, örnek veri dosyası EK-A'da gösterilmektedir

Çizelge 3.1 : Çalışmada kullanılan uydu altimetre görevlerine ait bazı bilgiler.

Uydu	Veri Dönemi	Dönüş Periyodu (Gün)	Ekvatorda izler arasındaki mesafe (km)
Topex	Eylül 1992 – Eylül 2005	9.9	315
Jason-1	Ocak 2002 – Şubat 2012	9.9	315
Jason-2	Temmuz 2008 – Şubat 2012	9.9	315
Envisat	Temmuz 2002 – Şubat 2012	35	80
Cryosat-2	Şubat 2011 – Ocak 2012	Değişken	Değişken

Topex, Jason-1 ve Jason-2 uydularının aynı noktaya geliş süreleri yani dönüş periyodu yaklaşık 9.9 gündür. Envisat uydusu ise aynı noktaya 35 gün sonra gelmektedir. Dolayısıyla Envisat'ın zamansal çözünürlüğü düşüktür. Fakat bu uydunun mekansal çözünürlüğü, Topex ve Jason serilerine oranla daha yüksektir. Envisat uydusunun ekvatorda iki yer izi arasındaki mesafesi 80 km iken Topex ve Jason serileri için bu değer 315 km'dir.

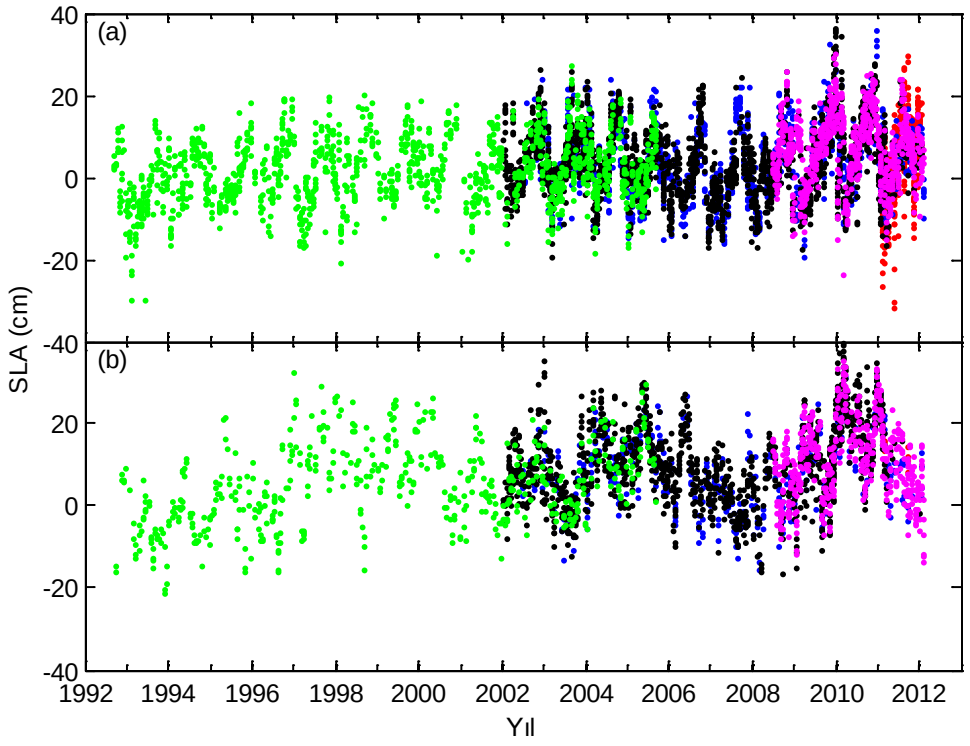


Şekil 3.11 : Çalışma bölgeleri kara topografyası ve uydu altimetre gözlem noktaları. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası.

Deniz seviyesi verilerine; iyonosfer, troposfer, gelgit, ters baramotre gibi standart atmosferik ve jeofiziksel düzeltmeler getirilmiştir. Veri çıkarımında veritabanı sunum sisteminin veri editleme için uyguladığı varsayılan kriterler kullanılmıştır (Scharroo, 2011). Deniz seviyesi anomalileri, DNSC08 MSSH global ortalama deniz

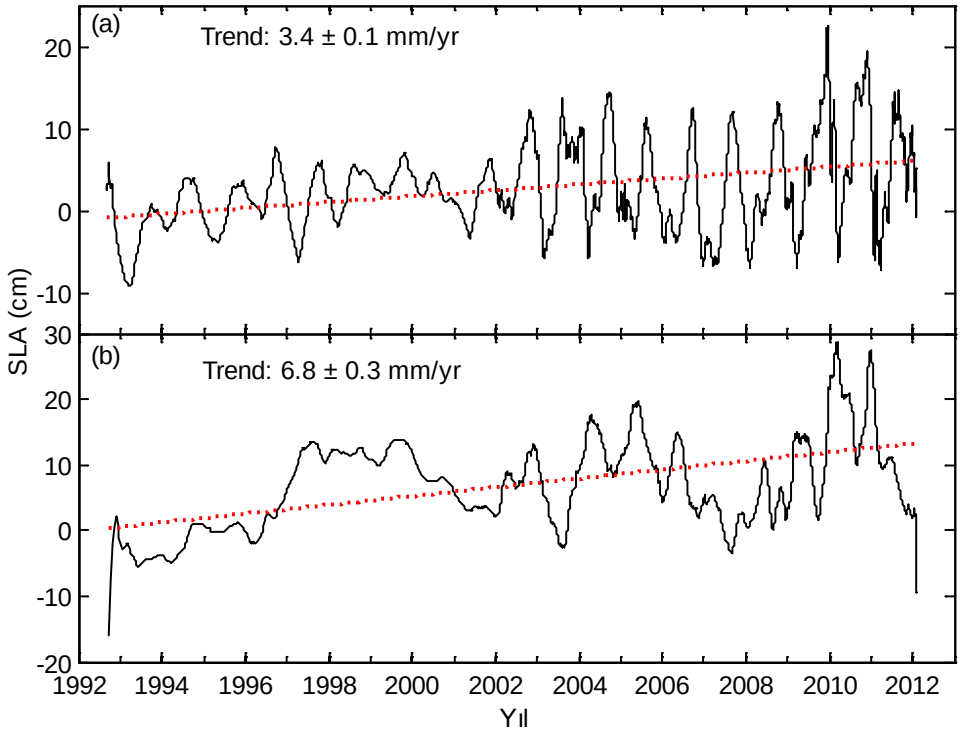
yüzeyi modeline göre hesaplanmıştır. Bu model 1993-2004 dönemindeki 12 yıllık ve sekiz farklı uydu verisinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur (Andersen ve Knudsen, 2009). Su baskını analizinde DNSC08 MSSH seviyesi "sıfır su baskını seviyesi" olarak tanımlanmaktadır.

Çalışmada kullanılan yaklaşık 20 yıllık 1-Hz SLA verileri Şekil 3.12'de gösterilmektedir. DNSC08 MSSH sıfır su baskını seviyesine göre *MHW* seviyesinin tespiti için öncelikle SLA verilerine uygulanan gelgit düzeltmesi kaldırılmıştır. Ardından her bir uydu misyonunun bir devir ve geçişindeki en yüksek su seviyesi tespit edilmiş ve (3.2) eşitliğinde gösterildiği gibi bu yüksek seviyelerin ortalaması alınarak ortalama deniz yüzeyine göre *MHW* değerleri hesaplanmıştır. Çukurova Deltası için *MHW* değeri 19.5 cm, Kızılırmak Deltası için 16.9 cm olarak belirlenmiştir. Çalışma bölgelerinde mevcut gelgit karekterisitiğinde değişim olmadığı varsayımıyla, hesaplanan *MHW* değerleri yüzyıl sonu *MHW* projeksiyonu olarakta kullanılmıştır.



Şekil 3.12 : Eylül 1992-Şubat 2012 dönemi için DNSC08 MSSH modeline göre 1-Hz çoklu-uydu altimetre SLA verileri. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası (Yeşil: Topex, Siyah: Jason-1, Majenta:Jason-2, Kırmızı: Cryosat-2, Mavi: Envisat).

Deniz seviyesi yükselme hızı ve mevsimsel değişimler; Şekil 3.13'de gösterilen ve Şekil 3.12'deki 1-Hz'lik çoklu altimetre SLA verilerine 60 günlük hareketli ortalama filtre uygulanarak elde edilen ortalama deniz seviyesi sinyalinden (3.3) - (3.9) eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hareketli ortalama filtre 1-Hz'lik verilerdeki yüksek frekanslı değişimleri filtrelemekte ve uzun dönemli sinyale karışmasını engellemektedir (Cazenave ve diğ, 2002; Willis ve diğ, 2008).



Şekil 3.13 : 60 günlük hareketli filtre ile yumuşatılmış ortalama deniz seviyesi sinyali (siyah çizgi) ve deniz seviyesi yükselme trendleri (kırmızı çizgi). (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası.

Deniz seviyesi yükselme hızı ve mevsimsel değişimler hesaplanırken SLA verilerine gelgit düzeltmesi eklenmiştir. (3.3) eşitliğindeki parametreler kestirildikten sonra, yüzyıl sonunda göreli deniz seviyesini projekte etmek için, kestirilen parametreler (3.10) eşitliğinde yerine yazılmıştır. Kestirilen parametreler ile DNSC08 MSSH yüzeyine göre 2100 yılı için göreli deniz seviyesi değerleri ve kestirim hataları Çizelge 3.2'de sunulmaktadır.

Bu analiz sonucunda, Şekil 3.13 ve Çizelge 3.2'den de görülebileceği üzere Çukurova Deltası ortalama deniz seviyesinin 3.4 ± 0.1 mm/yıl hızla, Kızılırmak Deltası ortalama deniz seviyesinin ise Çukurova'ya göre iki kat daha yüksek hızda yani yılda 6.8 ± 0.3 mm hızla yükseldiği tespit edilmiştir.

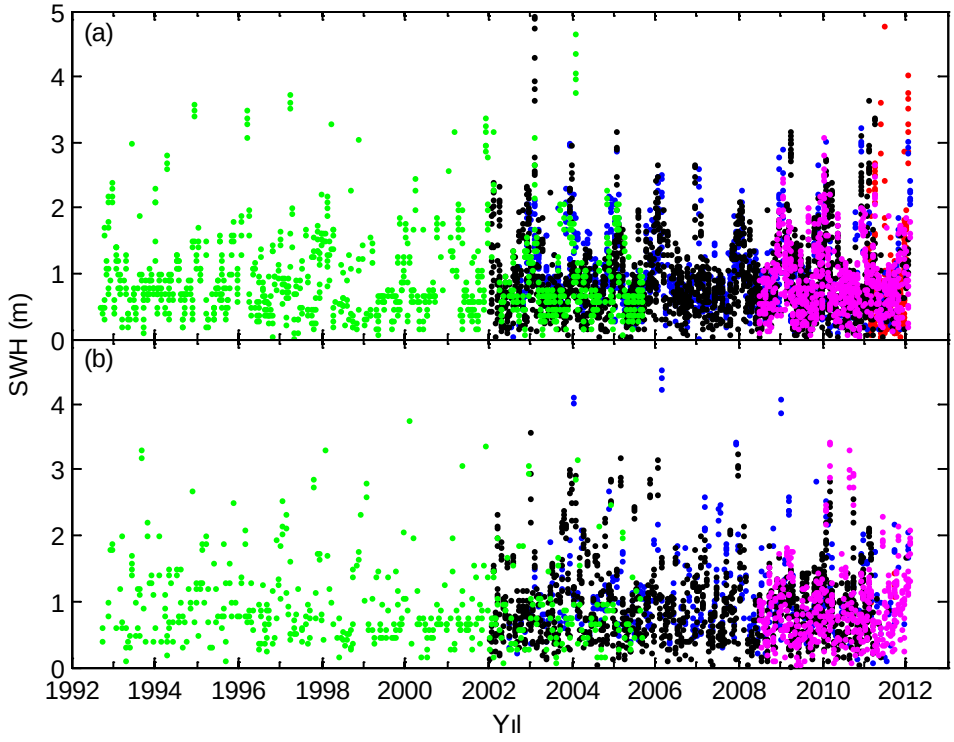
Çizelge 3.2 : (3.3) eşitliğinde verilen parametrelerin kestirim değerleri ve hataları. Soldan sağa sırasıyla, $t = t_0 = 2000$ yılı için SLA (cm), deniz seviyesi yükselme hızı (mm/yıl), yıllık değişim genliği (cm), yıllık değişim fazı (derece), yarım-yıllık değişim genliği (cm), yarım-yıllık değişim fazı (derece), 2100 yılı için SLA projeksiyonu (cm).

Bölge	$SLA(t_{2000})$	a_1	A_1	φ_1	A_2	φ_2	$SLA(t_{2100})$
Çukurova	1.7 ± 0.1	3.4 ± 0.1	6.2 ± 0.1	269.9 ± 0.7	0.4 ± 0.1	41.8 ± 10.0	35.8 ± 1.1
Kızılırmak	5.2 ± 0.2 cm	6.8 ± 0.3	3.1 ± 0.2	80.3 ± 3.3	1.0 ± 0.2	334.6 ± 10.2	74.6 ± 2.6

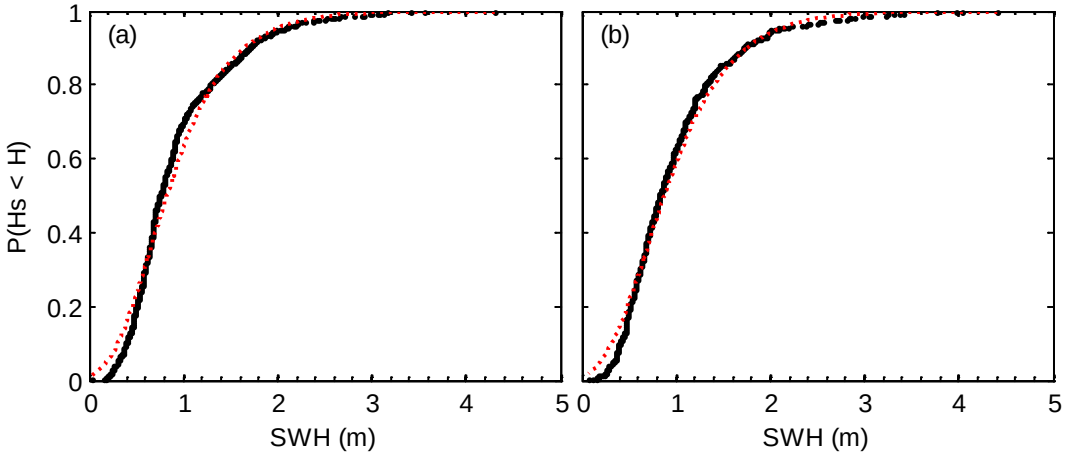
Özellikle Çukurova Deltası ortalama deniz seviyesi sinyali üzerinde yıllık mevsimsel değişimin baskın olduğu görülmektedir. Çukurova bölgesinde Ekim ayı başlarında en yüksek seviyesine ulaşan ve genliği 6.2 cm olan yıllık mevsimsel deniz seviyesi değişimi görülmektedir. Kızılırmak Deltası kıyısal alanında ise yıllık sinyalin genliği Çukurova'ya oranla yarı miktar kadar düşüktür (~3.1 cm) ve yine Çukurova'ya göre en yüksek seviyesine yaklaşık 6 ay önce Mart ayınının sonlarında ulaşmaktadır. Her iki bölgede de yarım yıllık sinyalin genliği 1 cm'nin altındadır. Çizelge 3.2'de sunulan değerler bölgesel ve global sonuçlarla uyumludur (Url-3, Cazenave ve diğ, 2008). Bu büyüklükteki yükselme hızlarıyla yüzyıl sonu projeksiyonlarına bakıldığında, Çukurova Deltası ortalama deniz seviyesinin 2100 yılında mevcut seviyeden yaklaşık 36 cm, Kızılırmak Deltası ortalama deniz seviyesinin ise 75 cm yüksekte olacağı görülmektedir.

Her iki bölge için 100 yıl dönüş periyotlu dalga yüksekliğinin belirlenmesinde, Şekil 3.14'de gösterilen çoklu-altimetre SWH verisi kullanılmıştır. Birinci adımda, herbir uydu geçişinde ve dönüşünde 1-Hz'lik SWH değerleri için medyan değeri hesaplanmıştır. İkinci adımda, bu veri artan sıraya göre dizilmiş ve 1'den başlamak üzere herbir sıraya bir numara (derece) verilmiştir. Üçüncü adımda, (3.14) eşitliği kullanılarak deneysel kümülatif dağılım fonksiyonu oluşturulmuştur (Şekil 3.15). Dördüncü adımda, Şekil 3.16'da gösterildiği gibi SWH verisine karşılık $-\ell n\left[\left(\ell n\left(\frac{1}{F(H)}\right)\right)\right]$ fonksiyonu çizilmiş ve bu dağılıma (3.8) ve (3.15) eşitlikleri yardımıyla bir doğru uydurulmuş, sonuçta kümülatif dağılım fonksiyonunun lokasyon ve ölçek parametreleri kestirilmiştir. Şekil 3.15'de siyah renkle verilen deneyesel kümülatif dağılım fonksiyonları üzerinde, (3.11) eşitliğinde kullanılarak kestirim ile bulunan dağılım fonksiyonu kırmızı renkle gösterilmektedir. 100 yıl dönüş periyotlu dalga yüksekliği H_{100} için (3.16) eşitliğinde verilen aşılamama

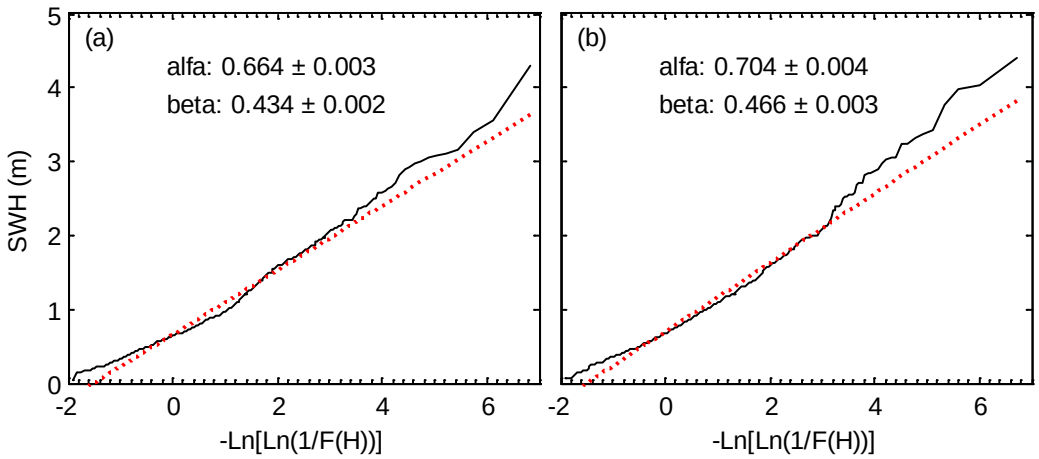
olasılığı ile kestirilen lokasyon ve ölçek parametreleri (3.17) eşitliğinde yerine yazılarak $\tilde{H}_{100}$ değeri istatistiksel olarak kestilmiştir.



Şekil 3.14 : Eylül 1992-Şubat 2012 dönemi için 1-Hz çoklu-uydu altimetre SWH verileri. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası (Yeşil: Topex, Siyah: Jason-1, Majenta: Jason-2, Kırmızı: Cryosat-2, Mavi: Envisat).



Şekil 3.15 : Deneysel (siyah çizgi) ve kestirimle(kırmızı çizgi) bulunan kümülatif SWH dağılım fonksiyonu. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası.



Şekil 3.16 : Dalga yüksekliği için Gumbel dağılım parametreleri. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası.

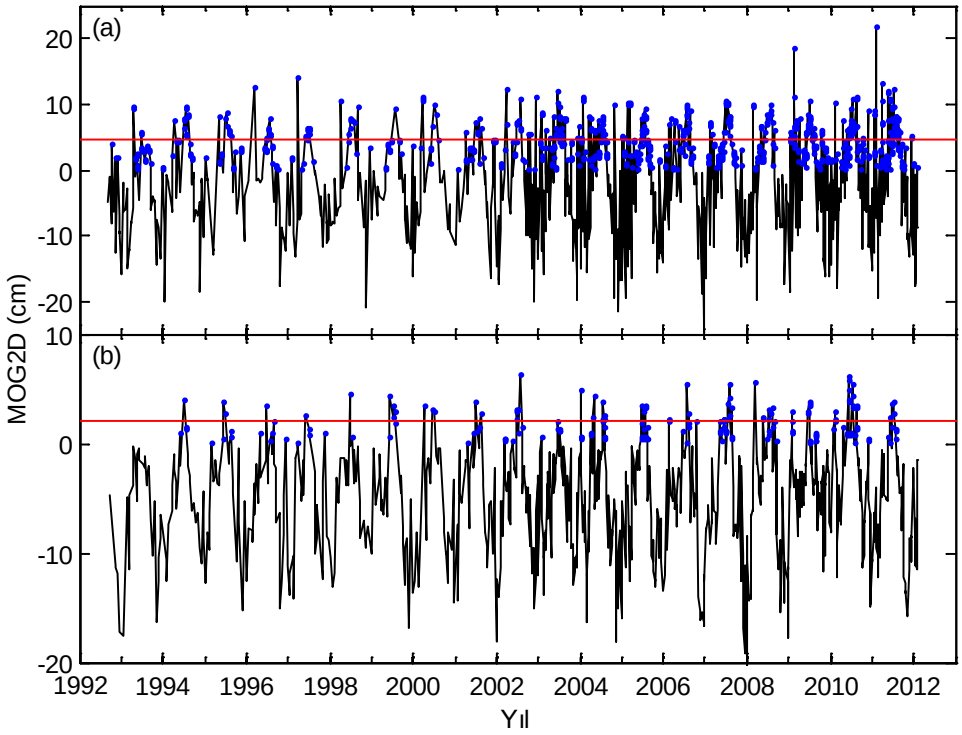
Çizelge 3.3'de her iki çalışma bölgesinde belirgin dalga yüksekliği için Gumbel dağılımının lokasyon ve ölçek parametreleri ile 100 yıl dönüş periyotlu dalga yüksekliğinin aşılamama olasılığı ve kestirim değeri verilmektedir. Bu analiz sonucunda Çukurova ve Kızılırmak Deltası kıyısal alanı için sırasıyla 6.1 ± 0.03 m ve 6.6 ± 0.03 m 100 yıl dönüş periyotlu ekstrem dalga yüksekliği değeri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3 : (3.13) eşitliğinde verilen parametrelerin kestirim değerleri ve hataları ile 100 yıl dönüş periyotlu dalga yüksekliğinin aşılamama olasılığı ve kestirim değerleri (metre).

Bölge	α	β	$P(H < H_{100})$	$\tilde{H}_{100}$
Çukurova	0.664 ± 0.003	0.434 ± 0.002	0.9999966	6.1 ± 0.03
Kızılırmak	0.704 ± 0.004	0.466 ± 0.003	0.9999966	6.6 ± 0.03

Deniz seviyesi üzerindeki basınç ve rüzgar değişimlerinden kaynaklanan kısa dönemli meteorolojik baskıyı yani (3.1) eşitliğindeki S_P terimini belirlemek amacıyla, RADS veritabanından SLA ve SWH verileri ile birlikte MOG2D toplam ters barometre düzeltme değerleri indirilmiştir. Şekil 3.12'deki 1-Hz'lik SLA verilerine uygulanan MOG2D düzeltmeleri Şekil 3.17'de gösterilmektedir. S_P terimi kestiriminde, MHW hesaplamasında olduğu gibi çalışma bölgesi içerisinde her bir uydu misyonunun bir devir ve geçişindeki en yüksek değer $\max\left(MOG2D^{sat}_{cycle,pass}\right)$ tespit edilmiş ve (3.18) eşitliği kullanılarak bu yüksek değerlerin ortalaması alınmıştır. Şekil 3.18'de mavi ile gösterilen noktalar her bir uydu misyonunun bir devir ve geçişindeki en yüksek değeri, kırmızı yatay çizgiler ise bu değerlerin

ortalamasını temsil etmektedir. Bu analiz sonucunda, ekstrem barometrik şartlardan dolayı Çukurova ve Kızılırmak Deltası kıyısal alanlarında deniz seviyesinin sırasıyla 4.7 cm ve 2.0 cm yükselebileceği görülmektedir. Yüzyıl sonu *MHW* projeksiyonundaki varsayıma benzer şekilde, çalışma bölgelerinde mevcut meteorolojik baskının ileriki dönemlerde değişim göstermeyeceği kabulüyle, hesaplanan S_P değerleri yüzyıl sonu S_P projeksiyonu olarakta kullanılmıştır.



Şekil 3.17 : Eylül 1992-Şubat 2012 dönemi için 1-Hz çoklu-uydu altimetre SLA verilerine uygulanan MOG2D düzeltme değerleri (siyah çizgiler) ile her bir uydu misyonunun bir devir ve geçişindeki en yüksek değerleri (mavi noktalar) ve bu yüksek değerlerin ortalaması (kırmızı çizgi). (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası.

Sonuç olarak (3.1) eşitliğindeki dört faktörün toplamı sonucunda, 2100 yılı için Çukurova bölgesinde 6.7 metre, Kızılırmak bölgesinde ise 7.5 metre maksimum su baskını seviyesi tespit edilmiştir.

3.4.2 Kıyı topografyası ve arazi kullanımı

Kalıcı ve geçici su baskını alanının haritalanabilmesi ve su baskınının potansiyel fiziksel etkilerinin ortaya çıkarılabilmesi için yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modeli ile arazi kullanımı haritasına ihtiyaç duyulmaktadır. Sayısal arazi modelleri;

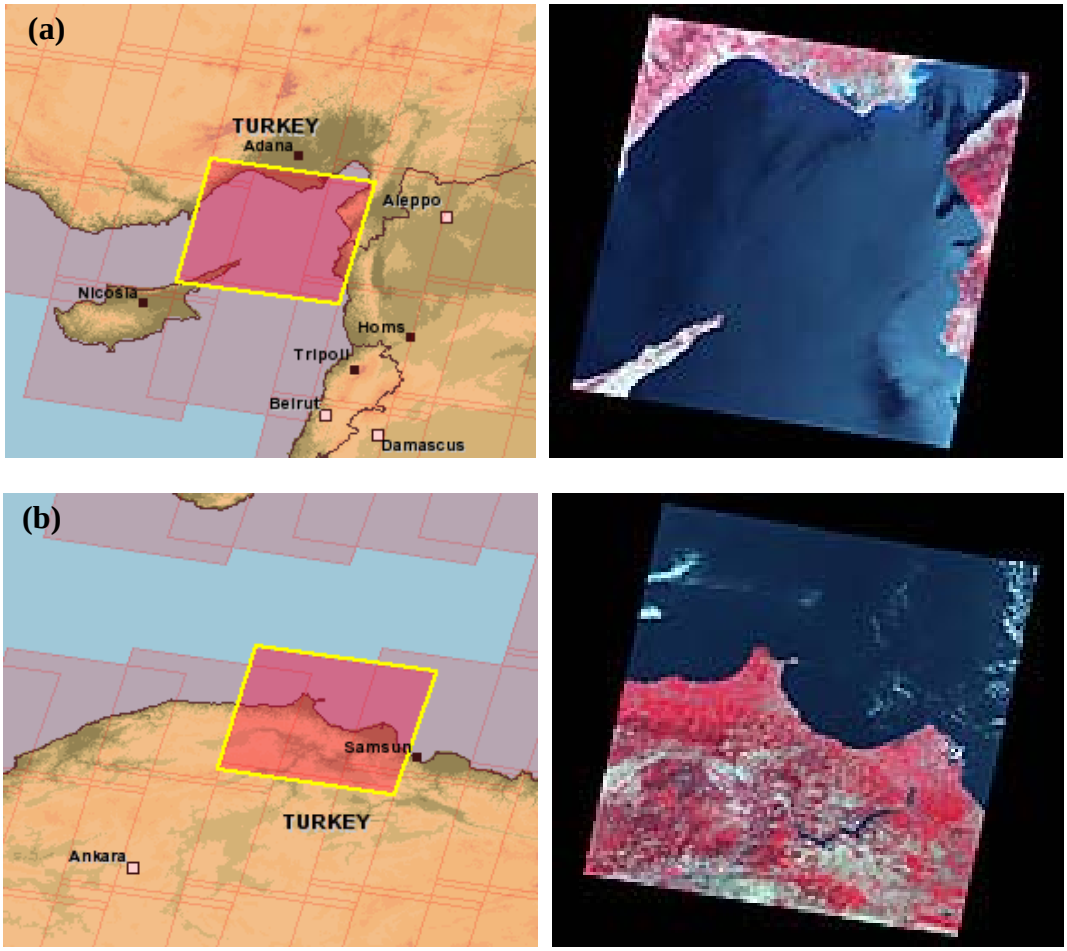
yersel topoğrafik ölçmeler ile SAR, LIDAR gibi uzaktan algılama gözlemlerinden türetilebileceği gibi, stereo kıymetlendirme ile fotogrametrik tekniklerden veya topoğrafik haritalardaki eş yükseklik eğrilerinden çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılarak türetilebilmektedir.

Kullanıcılara açık olan mevcut global yükseklik modellerinin (SRTM, ASTER vb.) yersel çözünürlüğünün nispeten düşük olmasından dolayı, Çukurova ve Kızılırmak Deltası kıyısal alanları için sayısal arazi modeli, HGK tarafından sağlanan 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardaki eş yükseklik eğrilerinden üretilmiştir. ArcGIS yazılımının 3D Analiz aracı kullanılarak eş yükseklik eğrilerinden düzensiz üçgen ağları, yaygın adıyla TIN yüzeyi oluşturulmuştur (Url-6). Oluşturulan TIN yüzeyi daha sonra doğal komşuluk enterpolasyonu kullanılarak 5 metre aralıklı raster grid yapısına dönüştürülmüştür. Her iki çalışma bölgesi için üretilmiş sayısal arazi modelleri yukarıda Şekil 3.11'de gösterilmektedir.

Arazi kullanımına ait yeterince bilgi olmadan risk analizi yapmak söz konusu değildir. Çalışma süresince çeşitli kaynaklardan derlenen veriler arasında çalışma bölgelerindeki tarım alanlarına ait herhangi bir bilgi elde edilememiştir. Hem eldeki mevcut arazi kullanımı haritalarını doğrulamak hem de tarım alanı kullanımını çıkarmak için Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri üzerinde sınıflandırma yapılmıştır. GeoTIFF formatındaki 30 metre yersel çözünürlüklü Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri GLCF'nin Url-7'de verilen adresinden elde edilmiştir. Uydu görüntülerinin elde ediliş tarihleri ile yol/sıra göstergeleri Çizelge 3.4'de verilmekte, görüntülerin kapladığı alan ve önizlemeleri Şekil 3.18'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4 : Çalışma bölgelerine ait Landsat 7 ETM+ uydu görüntülerinin elde ediliş tarihleri ile yol/sıra göstergeleri.

Bölge	Tarih	Yol Nu.	Sıra Nu.
Çukurova	29 Mayıs 2006	175	35
Kızılırmak	24 Ekim 2005	176	31



Şekil 3.18 : Çalışma bölgelerine ait Landsat 7 ETM+ uydu görüntülerinin kapladığı alan ve önizlemeleri. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası. (Url-7'den alınmıştır).

Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri, dalga spektrumunun görünür ve yakın/orta/uzak kızılötesi olmak üzere toplam 8 ayrı spektral banttan oluşmaktadır. Çalışmada tarım alanların çıkarılmasında en iyi ayırımı veren 3, 4 ve 5 bantları kullanılmış ve her çalışma bölgesi için 4, 5, 3 kombinasyonu uygulanmıştır (Url-8). Bu bantlar sırasıyla, 0,75-0,90 µm, 1,55-1,75 µm ve 0,63-0,69 µm dalga boyundaki yansımaları içermektedir.

Uydu görüntülerinden arazi kullanımı çıkarımında kontrollü sınıflandırma yönetimi kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma işlemi çeşitli algoritmalar kullanılarak yapılabilmektedir. Bunların içerisinde en çok benzerlik yöntemi literatürde en yaygın olarak kullanılan ve bu çalışmada da tercih edilen etkili bir kontrollü sınıflandırma yöntemidir. Kontrollü sınıflandırmada, çalışma alanındaki yeryüzü özelliklerini tanımlayan yeteri sayıdaki örnek bölgeler kullanılarak, sınıflandırılacak her bir nesne için spektral özellikleri tanımlı imza dosyaları oluşturulmuştur. Kontrol alanlarının

örneklendiği imza dosyalarının görüntü verilerine uygulanması ile her bir görüntü elemanı (piksel), hesaplanan olasılık değerlerine göre en çok benzer olduğu sınıfa atanmıştır. Bu yöntemde ortalama değer, varyans ve kovaryans gibi istatistikî değerlerin tümü dikkate alınır. Kontrol alanlarını oluşturan sınıflar için olasılık fonksiyonları hesaplanmakta ve buna göre her bir pikselin hangi sınıfa daha yakın olduğuna karar verilmektedir. Bir pikselin hangi sınıfa ait olduğu her bir sınıfa ait olma olasılıklarının hesabından sonra en yüksek olasılıklı grubu atama şeklinde yapılır (Mather, 1987). Bu noktada kullanıcı tarafından tespit edilecek bir eşik değer sınıflandırılacak pikselin belirlenen sınıflardan veya bu sınıfların dışında bir sınıftan olduğunun tespitinde kullanılır. Bu yöntemde, sınıf kontrol verilerini oluşturan noktalar kümesindeki dağılımın, normal dağılım olduğu kabul edilir. Sınıfların ilk olasılıkları hakkında bilgi mevcut değilse, hepsi eşit olasılıklı olarak kabul edilir. Yöntem, pikselleri sadece parlaklık değerlerine göre değil, her sınıf için ayrım oluşturacak varyans-kovaryans matris değerine göre oluşturur. Böylece örnek piksellerin özellik uzayındaki dağılımları da dikkate alınmış olur. Olasılık yoğunluk fonksiyonları, bilinmeyen piksellerin olasılıklarının hesaplanarak belirli bir sınıfa atanması için kullanılır. İşleme girecek piksel olasılık değerine göre en çok benzediği sınıfa atanır. Sınıflandırma sırasında piksellerin belirlenen sınıflardan veya bu sınıfların dışında bir sınıftan olduğunun tespiti için eşik değeri kullanılmaktadır. Eğer işleme girecek pikselin olasılığı tüm sınıflar için belirlenen eşik değerinin altındaysa piksel bilinmeyen olarak etiketlenir (Lillesand ve Kiefer, 1994).

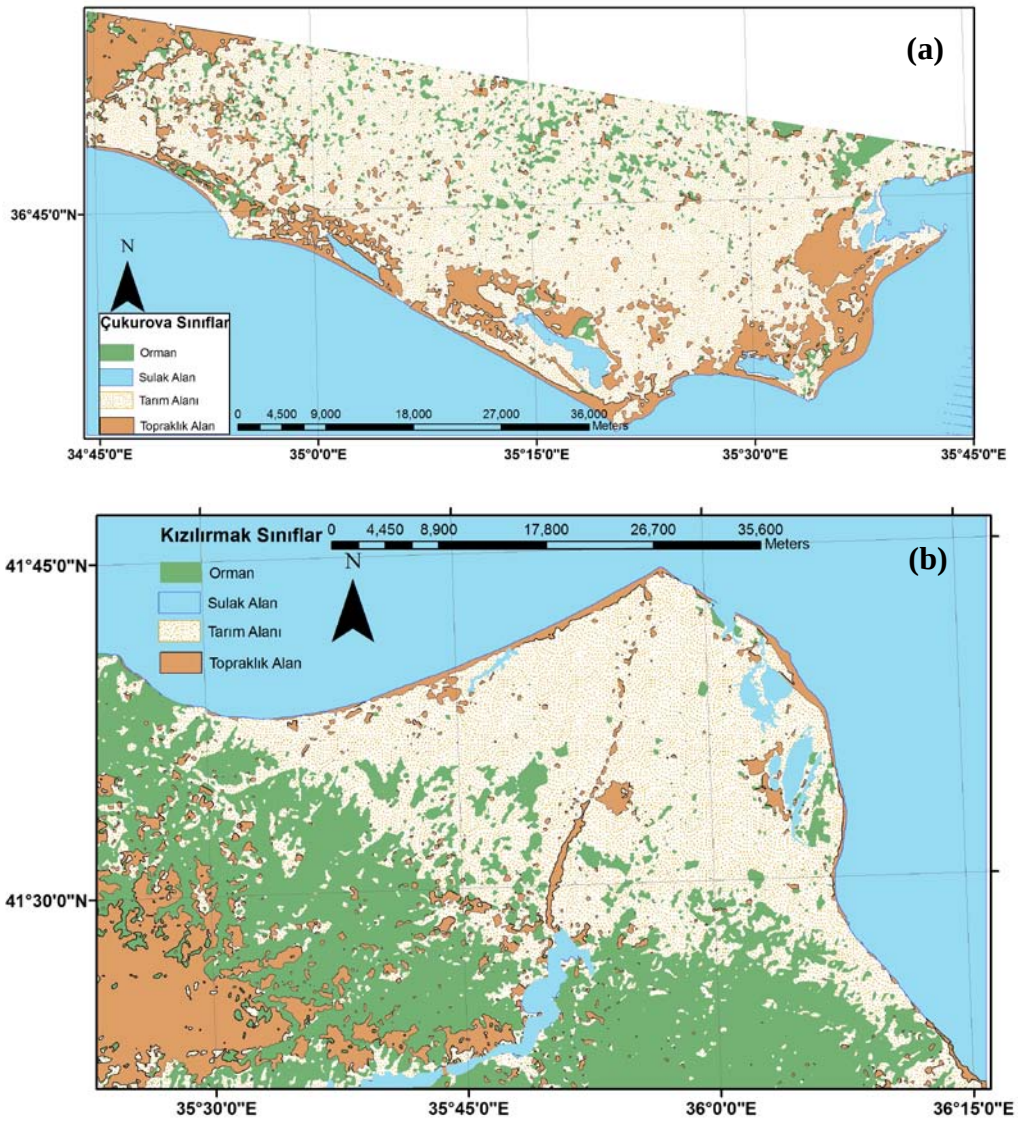
Farklı yansıtma değerlerine sahip ekili ve ekili olmayan tarım alanları ile sulak, ormanlık ve açık arazi (yerleşim yeri, plajlar vb) alanların kontrollü sınıflandırma işlemi Erdas 9.2 yazılım araçları ve en büyük benzerlik algoritması kullanılarak yapılmıştır. Sınıflandırmada; ekili tarım alanları *tarım yeşil*, ekili olmayan tarım alanları *tarım toprak*, ormanlık alanlar *orman,* göl ve nehir gibi sulak alanlar *su* ve diğer açık alanlar ise *toprak* olmak üzere beş farklı sınıf seçilmiştir. Bu alanlar için yeterli miktarda alan ataması ile imza dosyası oluşturularak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işleminin sonucunda sınıflara ait vektör veriler elde edilmeden önce görüntü filtrelendirilmiş ve genelleştirilmiş bir raster görüntü elde edilmiştir. Filtreleme işlemi Erdas yazılımının Fuzzy Convolution modülü kullanılarak 7x7lik alanlarla yapılmıştır. Bu işlem üç kez tekrarlanarak vektör veriye girdi olacak raster görüntü elde edilmiştir.

Son olarak doğruluk değerlendirmesi için yazılımın Doğruluk Değerlendirmesi modülü yardımıyla arazide iyi bilinen noktalar seçilmiştir. Bu noktalar ile aynı bölgeye ait ortofoto görüntüleri ve basılı haritalar yardımıyla sınıflandırma sonuçları kontrol edilmiş ve gerçek sınıf değerleri değerlendirme girdisi olarak girilmiştir. Genellikle tahmin doğruluğunun %80 ve üzerinde olması durumunda sınıflandırmanın doğru ve güvenilir olduğu kabul edilmektedir (Jensen, 1996). Sayısal görüntü analizinde kullanılan kontrollü sınıflandırma yöntemi sonucunda oluşan tematik haritalar, yaklaşık %88–91 doğrulukla oluşturulmuştur. Bu yöntemle oluşturulan sınıflara ait doğruluk değerleri Çizelge 3.5'te sunulmaktadır.

Çizelge 3.5 : Kontrollü Sınıflandırma sonucu oluşturulan sınıflara ait doğruluk değerleri.

Bölge	Sınıflar	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırma Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırma Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu (%)	Kullanıcı Doğruluğu (%)
Çukurova	Su	55	55	55	100	100
	Orman	8	10	7	87.5	70
	Tarım Yeşil	20	21	16	80	76.1
	Tarım Toprak	50	42	40	80	95.2
	Toprak	14	19	12	85.7	63.1
Toplam Sınıflandırma Doğruluğu: %88.4						
Kızılırmak	Su	42	42	42	100	100
	Orman	10	12	9	90	75
	Tarım Yeşil	20	21	19	95	90.4
	Tarım Toprak	34	28	26	76.4	92.8
	Toprak	12	18	11	91.6	61.1
Toplam Sınıflandırma Doğruluğu: %91.2						

Tüm bu işlemler sonucunda çalışma bölgeleri içerisindeki ormanlık alanlar, sulak alanlar yanında eksik olan ekili alanlar ve verimli toprak alanlar vektör veriye dönüştürülerek tespit edilmiştir (Şekil 3.19).



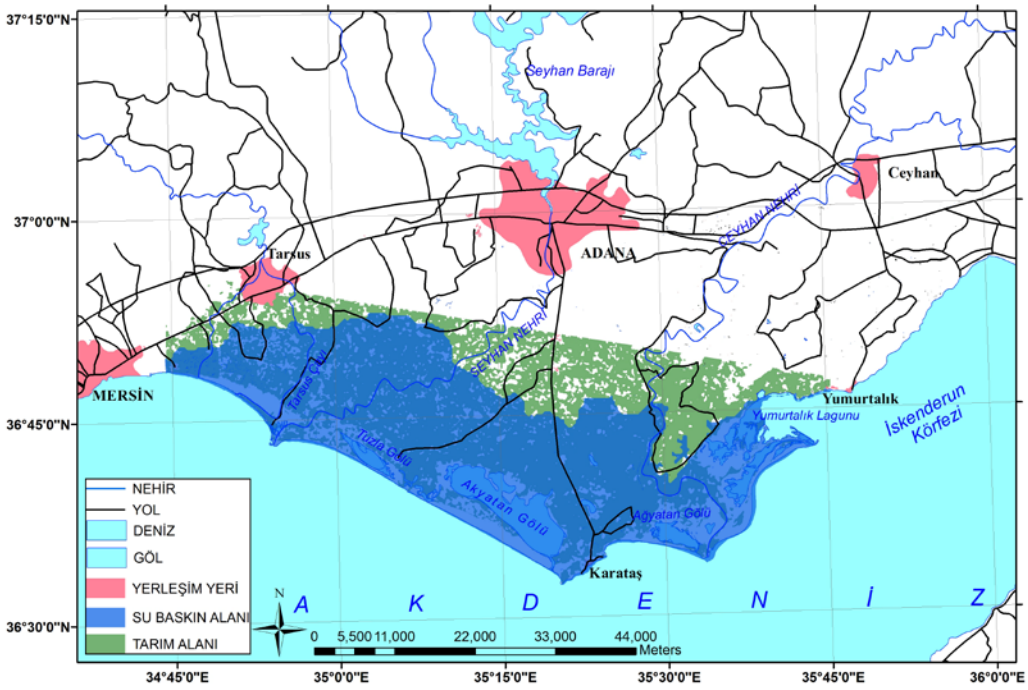
Şekil 3.19 : Arazi kullanımı haritası.(a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası.

3.4.3 Su baskını haritalama ve bindirme analizi

Su baskını alanlarının tespiti için gerekli olan baskın seviyesi ve sayısal yükseklik modeli elde edildikten sonra, (3.19) eşitliğinde verilen sekiz yönlü baskın modeli ERDAS Imagine Virtual GIS Modülü yardımıyla çalıştırılmıştır. Su baskını haritası oluşturulduktan sonra arazi kullanımı ve bölgeye özgü diğer CBS katmanları birbiri üzerine bindirilerek risk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, çalışma bölgesi kıyılarını koruyucu herhangi bir önlemin alınmadığı varsayılmaktadır.

Çukurova Deltası kıyısal alanında 6.7 metre maksimum su baskını karşısında etkilecek alanlar Şekil 3.20'de, Kızılırmak Deltası kıyısal alanında ise 7.5 metre su baskını sonunda etkilecek alanlar Şekil 3.21'de gösterilmektedir. Şekillerde gösterilen su baskını alanları CBS katmanları üzerine çakıştırıldığında, su baskını

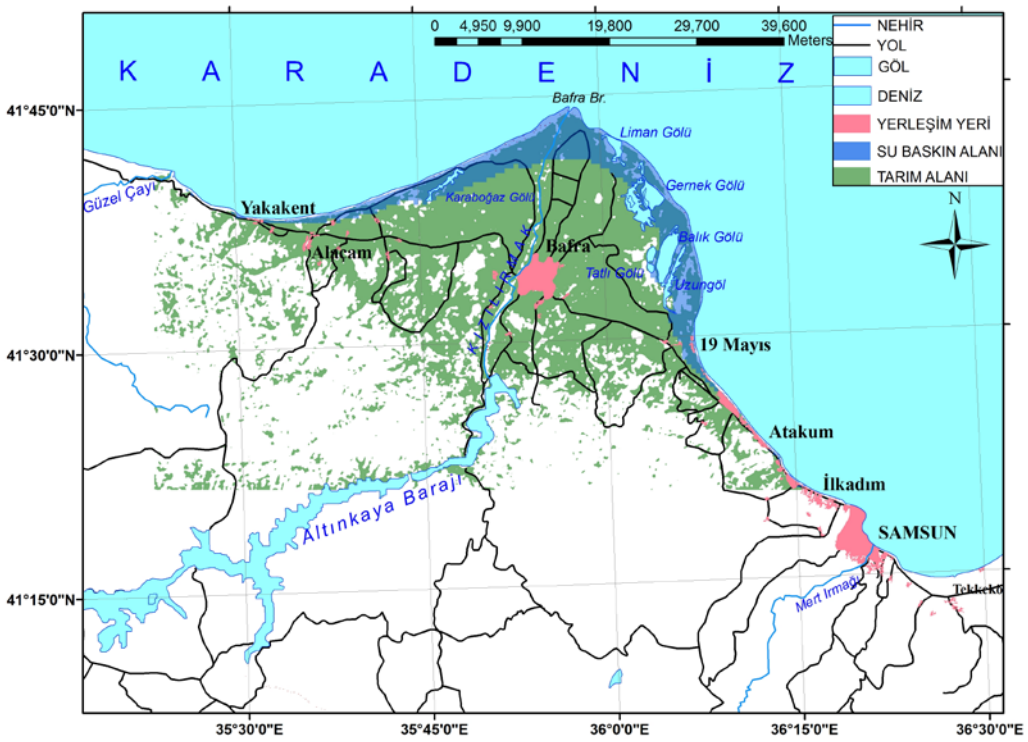
sonucunda etkilenecek tarım, su, orman ve yerleşim alanları ile ulaşım, nüfus ve GSMH değerleri Çukurova için Çizelge 3.6'de, Kızılırmak için Çizelge 3.7'da verilmektedir.



Şekil 3.20 : 6.7 metre maksimum su baskını karşısında Çukurova Deltası kıyısal alanında etkilecek alanlar.

Çizelge 3.6 : Maksimum su baskını sonucunda Çukurova Deltası kıyısal alanı etkilenebilirlik göstergeleri.

Gösterge	Alan/Uzunluk/Birim	Etkilenen Kısım	Oran
Tarım alanları	1397 km^2	952 km^2	68%
Sulak alanlar	41 km^2	41 km^2	100%
Ormanlık alanlar	66 km^2	41 km^2	62%
Yerleşim, kumsal, açık alanlar	399 km^2	309 km^2	77%
Toplam alan	2035 km^2	1412 km^2	69%
Ulaşım (Yollar)	12.481 km	4163 km	33%
Nüfus	30 kişi/ km^2	42360 kişi	
GSMH	2339 US$/kişi	98.656.440 US$	



Şekil 3.21 : 7.5 metre maksimum su baskını karşısında Kızılırmak Deltası kıyısal alanında etkilecek alanlar.

Çizelge 3.7 : Maksimum su baskını sonucunda Kızılırmak Deltası kıyısal alanı etkilenebilirlik göstergeleri.

Gösterge	Alan/Uzunluk/Birim	Etkilenen Kısım	Oran
Tarım alanları	1019 km^2	148 km^2	% 15
Sulak alanlar	34 km^2	25 km^2	% 74
Ormanlık alanlar	1265 km^2	21 km^2	% 2
Yerleşim, kumsal, açık alanlar	351 km^2	47 km^2	% 13
Toplam alan	2.278 km^2	201 km^2	% 9
Ulaşım (Yollar)	5257 km	320 km	% 6
Nüfus	60 kişi/ km^2	12060 kişi	
GSMH	1680 $/kişi	20.260.800 $	

Şekil 3.20'deki su baskını haritası ve Çizelge 3.6 incelendiğinde, 2100 yılı için projekte edilmiş 6.7 metre maksimum su baskını karşısında Çukurova Deltası kıyısal alanındaki toplam alanın %69'unun risk altında olduğunu söylemek mümkündür. Mevcut arazi kullanımı durumunun ileride değişmeyeceği varsayımıyla su baskını alanı ile arazi kullanımı üst üste bindirildiğinde; bölgedeki tarım alanlarının %68'nin, lagün gölleri dahil sulak alanların tamamının, yerleşim yeri, kumsallar ve açık alanların %77'sinin ve ormanlık alanların %62'sinin kalıcı ve geçici su baskınına maruz kalması muhtemeldir. Lagünler, kıyıya yakın yerleşim alanları ve tarım

alanları su baskınından en fazla etkilenecek alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. 2011 yılı nüfus sayımı sonuçlarına göre bölgede 1 km^2'de ortalama 30 kişi yaşadığı düşünüldüğünde ve de nüfus yoğunluğunun ileride değişmeyeceği varsayımıyla 2100 yılı için projekte edilen su baskını sonucuda 42000'den fazla insanın etkileneceği tahmin edilmektedir. 2011 yılı verilerine göre Adana şehrinde kişi başı yaklaşık GSMH 2.339 US$'dır. Bu değerin etkilenmesi muhtemel nüfus sayısı ile çarpımı sonucunda en az 98.000.000 US$'lık GSMH'nın su baskınından etkilenmesi durumu ortaya çıkmaktadır. Su baskınının kaplama alanı, bölgedeki ulaşım ağını da etkisi altına almaktadır. Yaklaşık 12500 km'lik yol ağının %33'ünün su baskınından etkilenmesi muhtemeldir.

Şekil 3.21'deki su baskını haritası ile Çizelge 3.7 değerlendirildiğinde ise, 7.5 metre . su baskını karşısında, bu yüzyılın sonunda Kızılırmak Deltasında bulunan tarım alanlarının %15'inin, sulak alanların %74'ünün, yerleşim yeri ve sahiller dahil çıplak alanların %13'ünün, ormanlık alanların %2'sinin ve ulaşım altyapısının ise %6'lık kısmının su baskınından etkilenmesinin muhtemel olduğu görülmektedir. Bölge sınırları içerisinde kilometre kareye ortalama 60 kişi düştüğü ve kişi başı gayrisafi millî hasılanın 1.680 US$ olduğu göz önüne alındığında yaklaşık 12000 insanın ve en az 20.000.000 US$ hasılanın etkilenmesi öngörülmektedir.

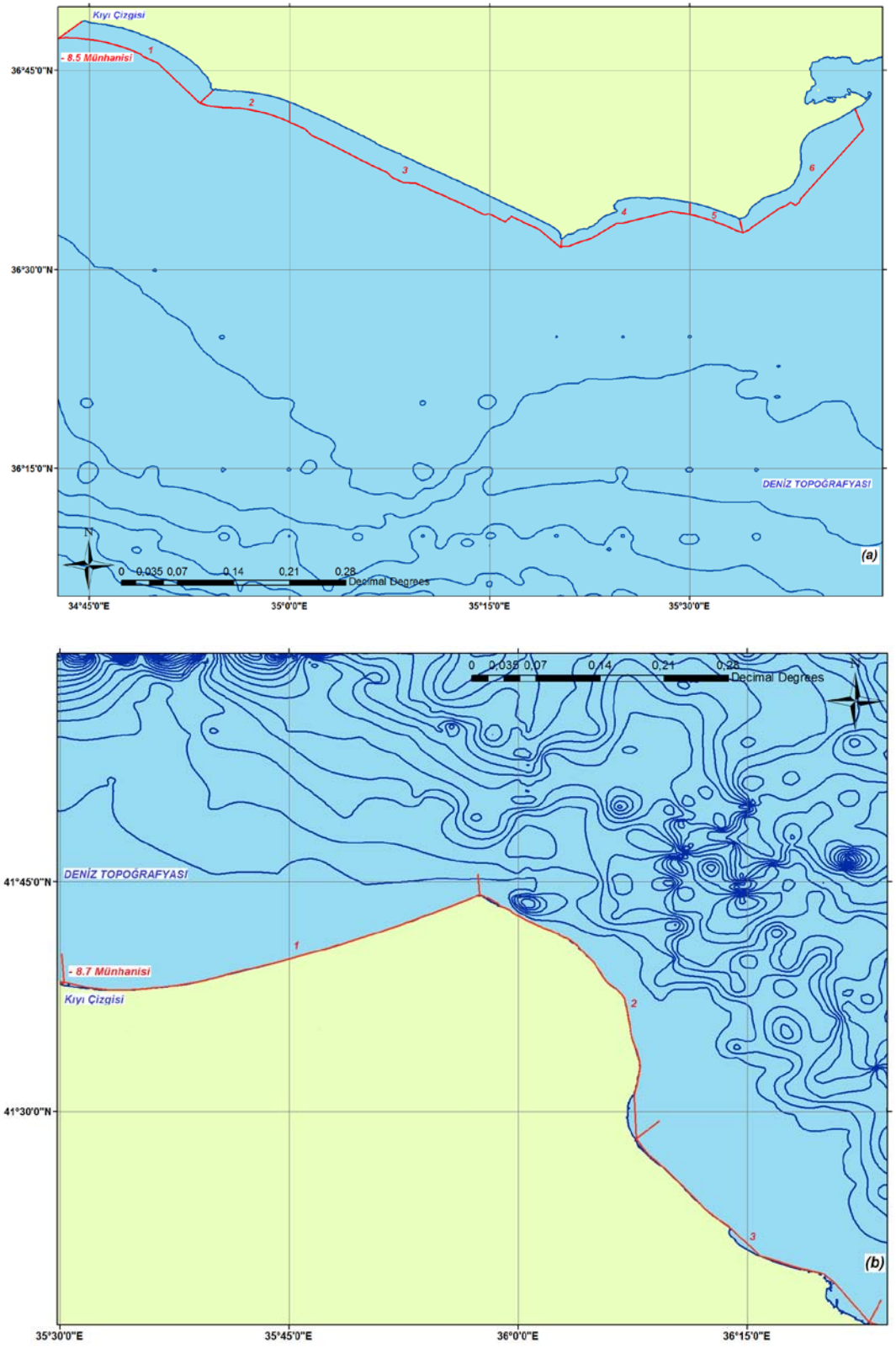
3.4.4 Kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu

Çukurova ve Kızılırmak kıyısal alanlarında Bruun modeline dayalı olarak kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu miktarının belirlenmesi için öncelikle her bir kıyısal alan için (3.20) eşitliğinde verilen Bruun parametreleri hesaplanmıştır. Kapanma derinliği, (3.22) eşitliği esas alınarak Şekil 3.14'de gösterilen belirgin dalga yüksekliği gözlemleri kullanılarak belirlenmiştir. Çizelge 3.8'de çalışma bölgeleri için ortalama belirgin dalga yüksekliği, belirgin dalga yüksekliği standart sapması ve kapanma derinlikleri verilmektedir. Her iki bölgede de $\overline{H}_s$ ortalama belirgin dalga yüksekliği yaklaşık 1 metre, σ_{H_s} standart sapma 0.60 metre, kapanma derinliği ise yaklaşık 8.5 metredir.

Çizelge 3.8 : Ortalama belirgin dalga yüksekliği (metre), belirgin dalga yüksekliği standart sapması (metre) ve kapanma derinliği (metre).

Bölge	$\overline{H}_s$ (m)	σ_{H_s} (m)	h_* (m)
Çukurova	0.93	0.60	8.51
Kızılırmak	1.00	0.61	8.67

Kapanma derinliğine karşılık gelen profil uzunluğunun hesaplanması için 100 m çözünürlüklü batimetre verisi ve yukarıda bahsedilen Landsat 7 ETM+ uydu görüntülerinden sayısallaştırma yoluyla elde edilen kıyı çizgisi kullanılmıştır (Şekil 3.22). Batimetre verisi, Seyir Hidrografi Oşinografi Başkanlığı tarafından hidrografik gözlemlere dayalı olarak hazırlanmış olup, seyrüsefer haritalarında ve 1/250.000 ölçekli topoğrafik haritalarda deniz dibi topografyasının temsilinde kullanılmaktadır. Kapanma derinliklerine karşılık gelen eş derinlik konturları, kıyı çizgisine paralel olmadığından, Şekil 3.22'de gösterildiği şekilde çalışma bölgeleri küçük sektörlere (poligonlara) ayrılmıştır. Bunun için kıyı çizgisi ve kapanma derinliğinin kıvrım yaptığı yerler işaretlenerek birleştirilmiş ve Çukurova Deltası için altı adet, Kızılırmak Deltası için de üç adet sektör elde edilmiştir. Her bir sektör için profil uzunluğu (3.23) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Sektörlere ilişkin sahil banket yüksekliği hakkında öncül bir bilgi olmadığından tüm sektörlerde 10 metre sabit yükseklik kabul edilmiştir. Deniz seviyesi yükselme değerleri Çizelge 3.2'den alınarak Bruun kuralı her bir sektör için ayrı ayrı uygulanmıştır. Çizelge 3.9'da Çukurova Deltası kıyısal alanı için, Çizelge 3.10'da ise Kızılırmak Deltası kıyısal alanı için sektör alanları, sektör boyutları, profil uzunluğu, kapanma derinliği, sahil banket yüksekliği, deniz seviyesi yükselme hızları ve sonuç olarak kıyı çizgisi değişimi değerleri sunulmuştur.



Şekil 3.22 : Kapanma derinlikleri ve profil uzunlukları. (a) Çukurova Deltası, (b) Kızılırmak Deltası.

Çizelge 3.9 : Çukurova Deltası kıyısal alanı için Bruun parametreleri ve yıllık kıyı çizgisi değişim değerleri.

Sektör x	A_x (m^2)	y_{xo} (m)	y_{xs} (m)	L_x (m)	h_* (m)	B (m)	S (m/yıl)	R (m/yıl)
1	48903873	19578	18732	2553	8.5	10	0.0034	0.47
2	22894738	10479	8822	2372	8.5	10	0.0034	0.44
3	85701238	36333	36397	2356	8.5	10	0.0034	0.43
4	30664340	15653	17726	1837	8.5	10	0.0034	0.34
5	9871736	6497	6115	1565	8.5	10	0.0034	0.29
6	57433705	20701	21748	2706	8.5	10	0.0034	0.50
Ortalama								0.41

Çizelge 3.10 : Kızılırmak Deltası kıyısal alanı için Bruun parametreleri ve yıllık kıyı çizgisi değişim değerleri.

Sektör x	A_x (m^2)	y_{xo} (m)	y_{xs} (m)	L_x (m)	h_* (m)	B (m)	S (m/yıl)	R (m/yıl)
1	1307332	40218	41462	32	8.7	10	0.0068	0.01
2	3469244	35948	39434	92	8.7	10	0.0068	0.03
3	19107339	41918	56259	389	8.7	10	0.0068	0.14
Ortalama								0.06

Çizelge 3.9 incelendiğinde; yıllık 3.4 mm deniz seviyesi yükselmesi durumunda Çukurova Deltası kıyı çizgisinin 0.30 m/yıl ile 0.50 m/yıl arasında değişebileceği, bu büyüklükteki değişim sonucunda ise yıllık ortalama 45000 m^2 kumsalın erozyona maruz kalabileceği tahmin edilmektedir. Benzer şekilde Çizelge 3.10 incelendiğinde, Kızılırmak Deltası kıyı çizgisinin de yıllık 6.8 mm deniz seviyesi yükselmesi karşısında yılda 0.01 metre ile 0.14 metre arasında değişebileceği, sonuçta yıllık ortalama 8500 m^2 kumsalın erozyona maruz kalabileceği değerlendirilmektedir. Çukurova Deltası kıyısal alanındaki topoğrafik eğim dikkate alındığında seviye yükselmesi ile kıyı çizgisi değişimi arasında 1/120'lik bir oran (1 birim seviye yükselmesine karşılık 120 birim kıyı çizgisi değişimi), Kızılırmak Deltasında ise 1/10'luk bir oran söz konusudur. Kıyı topografyası eğiminin düşük olduğu alanlarda geçerli olan 1/50 – 1/100'lük pratik Bruun kuralı, Çukurova Deltası kıyı çizgisi değişiminde görülebilmektedir. Ancak Kızılırmak Deltası için bu durum söz konusu değildir. Kızılırmak Deltasında deniz seviyesi yükselme hızı, Çukurova'ya oranla iki kat daha yüksek olmasına rağmen, Kızılırmak Deltasındaki kıyı çizgisi değişim oranı Çukurova'ya göre yaklaşık yedi kat daha düşüktür. Bu farkın nedeni, iki bölge arasındaki kıyı topografyasından kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Kızılırmak Deltası kıyı topografyasının, Çukurova'ya oranla hızlı değişim

gösterdiğinden profil uzunlukları daha kısa, dolayısıyla kıyı çizgisi değişimi daha yavaş olmaktadır. Ancak; Bruun kuralının bir model olduğu, her kıyı alanında gerçek durumu yansıtmayabileceği, model parametrelerinin uydu gözlemlerinden hesaplandığı ve yersel veriler ile doğrulanması gerektiği unutulmaması gereken bir husustur.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İklim değişimi etkilerini günden güne daha çok hissettiğimiz bu yüzyılda, değişimlere neden olan faktörlerin belirlenebilmesi, mevcut bilgilerle gelecek için kestirim yapılabilmesi, başta insanoğlu olmak üzere ekosistem üzerindeki etkilerinin ortaya çıkarılabilmesi için disiplinler arası işbirliği artan bir hızla devam etmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişimlerinin en belirgin göstergelerinden biri olan deniz seviyelerindeki yükselmeler bu kapsamda üzerinde durulan temel konulardan biridir. Hükümetler Arası İklim Değişimi Panelinin yayımlanan son raporuna göre; küresel deniz seviyesinin, geçen yüzyılda 10-20 cm yükseldiği ve bu yükselişin büyük bir kısmının küresel ısınma ve buzulların erimesinden kaynaklandığı değerlendirilmekte, 2100 yılına kadar 20-60 cm daha yükseleceği tahmin edilmektedir.

Deniz seviyesi yükselmelerinin 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. Günümüzde deniz kıyılarına yakın şehirlerin yapısı ve dokusu, sürekli olarak artan nüfusla birlikte daha karmaşık bir hale gelmektedir ve bu tür felaketlere karşı savunma gücü günden güne azalmaktadır. Karmaşık yapıdaki ulaşım, altyapı gibi sistemlerin bu tür felaketler sonucunda tekrar inşa edilmesi büyük zaman ve maliyet gerektirmektedir. Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde yaklaşık 30 milyonun üzerinde insanın yaşadığı kıyı alanlarının benzer tehdide açık olduğu aşikardır. Bu nedenle deniz seviyesi yükselmelerinin kıyı alanlarında oluşturabileceği fiziksel ve sosyo-ekonomik etkilerini ortaya koymak, uzun dönemli kıyı alanı planlamalarında, kıyı yönetimi ve karar verme süreçlerinde önem arz etmektedir.

Bu çalışmada öncelikle ulusal düzeyde denizle ilgili afetler karşısında kıyı bölgelerinin genel risk durumu ortaya çıkarılmıştır. Bu maksatla kıyı illeri bazında,

gelecekte deniz seviyesi yükselmeleri ile oluşacak potansiyel etkilerin anlaşılmasını sağlayan kıyı etkilenebilirlik göstergeleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda; kıyı nüfus yoğunluğu, bitki örtüsü yüzdesi, topografya, insan gelişmişlik durumu gibi parametreler dikkate alınmıştır. Hesaplanan göstergelerin büyüklüğüne göre kıyı illeri için en düşükten en yükseğe olacak şekilde risk dereceleri saptanmıştır. Bu analiz sonucunda delta alanlarına sahip Adana, Çanakkale, Samsun, Balıkesir ve Aydın illeri en riskli bölgeler olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, risk oranı yüksek bölgelerde 2100 yılı için projekte edilen deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz şartlarından kaynaklanan sürekli ve geçici su baskını alanları tespit edilmiş, su baskının potansiyel etkileri belirlenmiş ve son olarak deniz seviyesi yükselmesi sonucu oluşabilecek kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu büyüklükleri kestirilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, CVI analizi sonucunda riskli bölgelerin başında gelen Çukurova ve Kızılırmak Deltası kıyısal alanları çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Su baskını seviyesi, ülkemizde gerçekleştirilen uygulamalardan farklı olarak sentetik senaryolar yerine gözlemlere dayalı olarak hesaplanmıştır. Hem kalıcı hem de geçici su baskını durumunun yaratılabilmesi için baskın seviyesi deniz durumunun ekstrem durumları göz önüne alınarak; yüksek su seviyesi, göreli deniz seviyesi yükselmesi, ekstrem dalga yüksekliği ve barometrik basınçtan kaynaklanan deniz seviyesi değişiminin toplamı şeklinde ifade edilmiştir.

Su baskını içerisindeki parametreler altimetrik gözlemlere dayalı olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda, çalışma bölgelerine 60 km'den daha yakın, yörünge izi doğrultusu üzerindeki 1-Hz'lik uydu radar altimetre deniz seviyesi, dalga yüksekliği ve barometrik düzeltme verileri kullanılmıştır. Çalışma bölgelerini daha iyi temsil edebilmek için zamansal ve konumsal çözünürlükleri birbirlerinden farklı beş ayrı uydu verisinin birleştirilmesiyle analizler gerçekleştirilmiştir. Bu sayede hem çalışma bölgelerinde olabildiğince homejen dağılımlı veri kümesi oluşturulmuş, hem zaman serilerinin uzunluğu artırılmış, hem de bir uydunun kısıtlaması diğer bir uydu ile dengelenmeye çalışılmıştır. Eylül 1992 – Şubat 2012 dönemi boyunca Topex, Jason-1, Jason-2, Envisat ve Cryosat2 radar altimetre uydularına ait düzeltilmiş deniz seviyesi anomali ve belirgin dalga yüksekliği verileri ile seviye anomalilerine getirilen barometrik düzeltme değerleri RADS veritabanından alınmıştır. Deniz seviyesi anomali verilerine atmosferik ve jeofiziksel düzeltmeler uygulanmıştır. Sıfır

su baskını seviyesi olarak DNSC08 MSSH ortalama deniz yüzeyi kabul edilmiştir. Bu model aynı zamanda seviye anomalilerinin türetilmesinde referans olarak seçilen modeldir.

Yüksek gelgit seviyesi, çalışma bölgesi içerisinde her bir uydu misyonunun bir devir ve geçişindeki gelgit düzeltmesi uygulanmamış en yüksek su seviyelerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Akdeniz'deki gelgit genliğinin Karadeniz'e oranla yüksek olmasından dolayı Çukurova Deltası için DNSC08 MSSH'e göre yüksek gelgit değeri 19.5 cm, Kızılırmak Deltası için 16.9 cm olarak belirlenmiştir.

2100 yılı için projekte edilen göreli deniz seviyesi artışının hesaplanması için öncelikle her iki bölgedeki mevcut yükselme hızları tespit edilmiştir. Yükselme hızı, içerinde mevsimsel değişimleri temsil eden harmoniklerin olduğu bir model kullanılarak hesaplanmıştır. Çukurova Deltası ortalama deniz seviyesinin 3.4 ± 0.1 mm/yıl hızla, Kızılırmak Deltası ortalama deniz seviyesinin ise Çukurova'ya göre iki kat daha yüksek yani yılda 6.8 ± 0.3 mm hızla yükseldiği tespit edilmiştir. Bu büyüklükteki yükselme hızlarıyla ortalama deniz seviyeleri yüzyıl sonuna projekte edildiğinde, Çukurova Deltası ortalama deniz seviyesinin 2100 yılında mevcut seviyeden yaklaşık 36 cm, Kızılırmak Deltası ortalama deniz seviyesinin ise 75 cm yüksekte olacağı görülmüştür. Ancak projeksiyon bazı varsayımlar üzerine yapılabilmiştir. Altimetre uyduları yer merkezine göre mutlak anlamda deniz seviyesini ölçtüğünden kara yükselmesi veya çökmesinden kaynaklanan seviye değişimlerini algılayamamaktadır. Bu nedenle çalışma bölgesi için göreli deniz seviyesi yükselmesi hesaplanırken, çalışma bölgesi çevresinde anlamlı kara hareketinin (çökme veya yükselme) olmadığı, deniz seviyesi yükselme hızında ivmelenme olmadığı, mevsimsel parametrelerde yıllar ve on yıllar arası değişimlerin olmadığı varsayılmıştır.

Her iki çalışma bölgesinde geçici su baskını için ekstrem dalga yüksekliği olarak, 100 yıl dönüş periyotlu belirgin dalga yüksekliği kullanılmıştır. Bu dalga yükseklikleri, uydu altimetre belirgin dalga yüksekliği verilerine Gumbel ekstrem dağılım fonksiyonunun uygulanması ile istatistiksel olarak hesaplanmıştır. Bu analiz sonucunda Çukurova ve Kızılırmak Deltası kıyısal alanı için sırasıyla 6.1 ± 0.03 m ve 6.6 ± 0.03 m 100 yıl dönüş periyotlu ekstrem dalga yüksekliği değerleri hesaplanmıştır.

Deniz seviyesi üzerindeki basınç ve rüzgar değişimlerinden kaynaklanan kısa dönemli meteorolojik baskı, MOG2D iki boyutlu gravite dalgaları modelinden hesaplanmıştır. Bu model; uydu altimetre verilerinin analizlerinde, basınç ve rüzgar baskısından kaynaklanan yüksek frekanslı deniz seviyesi değişimlerinin modellenmesinde kullanılmaktadır. Su baskını seviyesi için maksimum seviye öngörüldüğünden, meteorolojik kaynaklı deniz seviyesi değişimi için ekstrem durumlar göz önüne alınmıştır. Bu sebeple çalışma bölgesi içerisinde her bir uydu misyonunun bir devir ve geçişindeki en yüksek MOG2D değerlerinin ortalaması alınmıştır. Ekstrem barometrik şartlardan dolayı Çukurova ve Kızılırmak Deltası kıyısal alanlarında deniz seviyesinin sırasıyla 4.7 cm ve 2.0 cm yükselebileceği görülmüştür. Sonuç olarak baskın seviyesi içerisindeki dört faktörün toplamının alınmasıyla, 2100 yılı için Çukurova bölgesinde 6.7 metre, Kızılırmak bölgesinde ise 7.5 metre maksimum su baskını seviyesi tespit edilmiştir.

Su baskınını haritalamada yine ülkemizde gerçekleştirilen uygulamalardan farklı yöntem ve veriler kullanılmıştır. Haritalamadaki en önemli veri kaynağı olan altlık topografya modeli olarak, SRTM gibi kullanıcılara açık global yükseklik modelleri yerine 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardaki eş yükseklik eğrilerinden türetilmiş sayısal arazi modeli kullanılmıştır. Bu sayede kıyı topografyası daha yüksek çözünürlüklü ve doğruluklu olarak temsil edilebilmiştir. Haritalama algoritması olarak basit sıfır-yönlü komşuluk kuralı olarak bilinen ve bir sayısal arazi modeli hücresinin su altında kalması için, o hücre yüksekliğinin su baskını seviye miktarına eşit veya daha düşük olmasını yeterli gören algoritma yerine hücreler arasındaki komşuluk ilişkisini de dikkate alan bir algoritma kullanımıştır. Su baskını haritalaması sonucunda yaklaşık 2035 km^2'lik Çukurova Deltası kıyısal alanının %69'unun, 2278 km^2'lik Kızılırmak Deltası kıyısal alanının ise %9'unun su baskınından etkilendiği tespit edilmiştir. Kızıılırmak Deltasındaki su baskını seviyesi Çukurova'ya oranla 80 cm fazla olmasına rağmen kıyı topografyası nedeniye etkilenebilirliğinin daha düşük olduğu görülmüştür.

Kalıcı ve geçici su baskınının çalışma bölgelerindeki potansiyel etkilerini ortaya çıkarılabilmek için çeşitli kaynaklardan nüfus, GSMH, yerleşim yeri, ulaşım gibi vektör ve tablo verileri toplanmıştır. Ancak derlenen veriler arasında tarım arazisi kullanımına ilişkin bilgi elde edilemediğinden, uydu görüntülerinden sınıflandırma yöntemiyle arazi kullanımı dolayısıyla tarım alanları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çukurova bölgesinin Mayıs 2006, Kızılırmak bölgesinin ise Ekim 2005 dönemine ait Landsat ETM+ çok bantlı uydu görüntüleri Erdas 9.2 yazılım araçları ve en büyük benzerlik algoritması kullanılarak kontrollü sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Sınıflandırma sonunda ekili ve ekili olmayan tarım alanları, ormanlık alanlar, sulak alanlar ve diğer açık alanlar belirlenmiştir. Seçilen kontrol noktaları, ortofoto görüntüler ve basılı haritalar yardımıyla yapılan değerlendirmede %88–91 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir.

Mevcut arazi kullanımı durumunun ileride değişmeyeceği varsayımıyla su baskını alanı ile arazi kullanımı üst üste bindirildiğinde; Çukurova Deltası kıyısal alanındaki tarım alanlarının %68'inin, lagünler dahil sulak alanların tamamının, yerleşim yeri/sahiller ve çıplak alanların %77'sinin ve ormanlık alanların ise %62'sinin su baskınından etkilenmesi beklenmektedir. Bölge sınırları içerisinde kilometre kareye ortalama 30 kişi düştüğü ve nüfus yoğunluğunun ileride değişmeyeceği varsayımıyla 42000 insanın bu tehdide maruz kalması, yine bölgedeki kişi başı gayrisafi millî hasılanın 2339 US$ olduğu göz önüne alınırsa en az 98.000.000 US$ hasılanın etkilenmesi beklenmektedir. Ulaşım altyapısının ise %33'lük kısmının deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz durumu şartlarından kaynaklanabilecek su baskınına maruz kalması muhtemeldir.

Kızılırmak Deltası etkilenebilirliği Çukurova'ya oranla daha düşüktür. 7.5 metre su baskını karşısında bu deltadaki tarım alanlarının %15'inin, sulak alanların %74'ünün, yerleşim yeri ve sahiller dahil çıplak alanların %13'ünün, ormanlık alanların %2'sinin ve ulaşım altyapısının ise %6'lık kısmının su baskınından etkilenmesi muhtemeldir. Bölge sınırları içerisinde kilometre kareye ortalama 60 kişi düştüğü ve kişi başı gayrisafi millî hasılanın 1680 US$ olduğu göz önüne alınırsa yaklaşık 12000 insanın ve en az 20.000.000 US$ hasılanın etkilenmesi beklenmektedir.

Deniz seviyesi yükselmesi sonucu kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu büyüklüğünü kestirmek için literatürde Bruun kuralı olarak bilinen yöntem izlenmiştir. Bruun parametreleri, uydu altimetre ve batimetre verilerine dayalı olarak hesaplanmıştır. Yukarıda belirtilen deniz seviyesi yükselme hızları dikkate alındığında, Çukurova Deltası kıyısal alanında kıyı çizgisinin yıllık ortalama 41 cm, Kızılırmak Deltasında ise yıllık 6 cm karaya doğru ilerlediği, dolayısıyla Çukurova'da her yıl yaklaşık 45000 m^2, Kızılırmak Deltası'nda ise 8500 m^2 kumsalın erozyona maruz kalabileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışma; deniz seviyesi yükselmesi ve ekstrem deniz şartları birlikte ele alındığında, kıyı planlama ve koruma stratejilerinin coğrafi kapsamının ne denli geniş olabileceğini göstermesi açısından önemli bir çalışmadır ancak mevcut doğru ulusal istatistiklere erişim zorlukları ve çözünürlüğü düşük global veri setleri bu tip çalışmalar için ciddi kısıtlar oluşturmaktadır. Bu nedenle Türkiye gibi gelişmekte olan ve kıyı bölgelerinde tehlike sinyalleri veren ülkeler bireysel olarak kendi yüksek çözünürlüklü sayısal haritaları ve uzaktan algılama tabanlı kaynakları ile farklı birçok veri kaynağını kullanarak daha kapsamlı ve doğru çalışmalar yapmalı ve gerekli tedbirleri almalıdırlar. Özellikle CVI analizinde veri elde edilemeyen doğal afete maruz kalma durumu ve bu afetlerden etkilenen insan sayısı gibi parametrelerin bulunduğu veri tabanlarının oluşturulmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte son yıllarda küresel iklim değişikliğinin deltalara etkileri ve sürdürülebilir Çukurova ve Kızılırmak Deltası konularında çeşitli ulusal/uluslararası program ve projeler başlatılmıştır. Çalışmadan elde edilen ilk bulguların bu program ve projelere katkı sağlayabileceği değerlendirilmektdir.

Tekrar vurgulamak gerekirse çalışmada hesaplanan su baskını seviyeleri; hem ortalama deniz seviyesi yükselmesi sonucu kalıcı baskını, hem de bu seviyenin üzerindeki yüksek gelgit, ekstrem dalga ve meteorolojik baskıları içeren geçici su baskınının toplamından oluşmaktadır. Su baskını altında kalan bölgelerde, suyun ne oranda, ne kadar süre kalacağı gibi hususlar bilinmemektedir. Su baskını seviyesi bileşenleri hesaplanırken ve 2100 yılına projekte edilirken ve de risk analizi gerçekleştirilirken bazı varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımlar ve bu konudaki öneriler aşağıda madde madde sıralanmıştır.

Su baskını seviyesi uydu altimetre gözlemlerine dayalı olarak hesaplanmış, altimetrik gözlemlerin kıyısal gözlemleri yeterince temsil edebildiği varsayılmıştır. Bu maksatla çalışma bölgelerine 60 km'den daha yakın, yörünge izi doğrultusu üzerindeki 1-Hz'lik uydu radar altimetre gözlemleri kullanılmıştır. Uydu altimetresinin en önemli kısıtlamalarından biri açık denize oranla kıyılarda doğruluğunun azalmasıdır. Bunun en önemli nedeni, uydu denizden karaya doğru yaklaştığında radar dalgalarının aydınlattığı ayak izinin hem deniz hem de karadaki yansımaları algılanmasıdır. Kara yansımaları denizden gelen yansımaları kirletmektedir. Bunun yanında gözlem düzeltmelerinde kullanılan jeofiziksel modellerin kıyılarda doğruluğu düşüktür. Bunun için elde edilebilmesi durumunda

yersel verilerin (mareograf istasyonu deniz seviyesi verileri, yersel dalga ölçüleri, yersel meteorolojik veriler vb.) kullanılması tavsiye edilmektedir.

Yüksek gelgit seviyesi ve barometrik şartlardan kaynaklanan deniz seviyesi değişimi değerleri 2100 yılına projekte edilirken, çalışma bölgelerindeki gelgit karakteristiği ve meteorolojik baskının ileriki dönemlerde değişim göstermeyeceği varsayılmıştır. Aslında bu varsayım yapılmadan önce maksimum SLA ve maksimum MOG2D değerlerden oluşan zaman serileri analiz edilmiş, zaman serilerinde anlamlı bir trend bileşeni bulanamamıştır. Buradan hareketle bu varsayım yapılmıştır. Ancak varsayımın doğrulanmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

2100 yılı için göreli deniz seviyesi yükselmesi hesaplanırken çalışma bölgesi çevrelerinde anlamlı düşey kara hareketinin (çökme veya yükselme) olmadığı, deniz seviyesi yükselme hızında ivmelenme olmayacağı, mevsimsel parametrelerde yıllar ve on yıllar arası değişimlerin olmayacağı varsayılmıştır. Karanın denize göre çökmesi durumunda deniz seviyesi yükselir, tersi durumunda ise seviye düşer. Çalışmada uydu altimetre verileri kullanıldığı için deniz seviyesi yükselme hızları yer merkezli yani mutlak olarak hesaplanabilmiştir. Göreli deniz seviyesi değişimlerini belirlemek için ya düşey kara hareketi miktarının bilinmesi ya da analizlerde mareograf istasyonlarından elde edilen yersel seviye verilerinin kullanılması gerekmektedir. Düşey kara hareketi bilgisi ile daha doğru tahmin elde edilebileceği değerlendirilmektedir. Deniz seviyesi yükselme hızları ve mevsimsel parametreler yıllar/onyıllar arası değişim gösterebilmektedir. Bir on yıllık süreçte deniz seviyesi çok hızlı yükselirken başka bir dönemde ise düşüş gösteriyor olabilir. Bu problemin çözümü için veri uzunluğunun artırılması, seviye zaman serilerinde spektral tekniklerle yıllar/onyıllar arası değişimlerin araştırılması, bunların jeofiziksel olgularla ilişkisinin belirlenmesi ve modele dahil edilmesi önerilmektedir.

Su baskını haritalamada, 1/25000 ölçekli topogafik haritalardaki eş yükseklik eğrilerinden türetilen sayısal arazi modeli kullanılmış, bu modelin bölge topografyasını doğru temsil ettiği varsayılmıştır. Su baskını haritalamadaki en önemli veri seti sayısal arazi modelleridir. Topoğrafik haritalardan üretilen sayısal arazi modellerinin, global modellerden hem çözünürülük hem de doğruluk anlamında daha iyi olduğu açıktır. Ancak yine de geliştirilmesinde fayda vardır. Bunun için yapılabilmesi durumunda yersel topoğrafik gözlemler, elde edilebilmesi durumunda

LİDAR gözlemleri ve yerel yönetimlerden temin dilebilecek halihazır topoğrafik haritaların sayısal arazi modellerini geliştirebileceği değerlendirilmektedir.

Çalışma bölgelerindeki özellikle tarım alanları kullanımı uydu görüntülerinden sınıflandırma yöntemi ile elde edilmiştir. Uydu görüntüleri 2005-2006 yıllarına ait görüntüler olup yersel çözünürlükleri 30 metredir. Daha güncel ve yüksek çözünürlüklü uydu veya hava fotografı görüntüleri ile sınıflandırma yapılmasının faydalı olabilceği değerlendirilmektedir.

Risk analizinde, arazi kullanımı, nüfus, GSMH gibi parametrelerin zamanla değişmediği varsayılmıştır. Bunlar hakkında değişim hızlarının belirlenmesi daha doğru risk analizi sonuçlarının üretilmesine hizmet edecektir.

Çalışma bölgelerindeki kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu kestirimi Bruun modeline dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bruun modelinin birçok belirsizlik içerdiği ve pratik uygulamalarda kullanılmasının yanlış sonuçlar doğurabileceği konusunda yayınlar bulunmaktadır. Bunun yanında modelin kusursuz çalışıyor olduğu varsayılsa bile, model parametreleri kolay elde edilebilen büyüklükler değildir. Bu sebeplerle kıyı çizgisi değişimi ve kıyı erozyonu için bulunan değerlerin ilk sonuçlar olarak ele alınmasının uygun bir yaklaşım olacağı değerlendirilmektedir.

Son olarak; bu ve buna benzer çalışmaların ülkemizdeki diğer riskli alanlara uygulanmasının, deniz seviyesi yükselmelerinin yer altı suyu tuzlanması gibi diğer fiziksel sonuçların da ortaya çıkarılmasının ve ekonomik kaybın daha kapsamlı bir şekilde belirlenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Alpar B. (2009). Vulnerability of Turkish coasts to accelerated sea-level rise, *Geomorphology*, **107**, 58–63.

Altınok, Y., Alpar, B., Özer, N., Gazioğlu C. (2005). 1881-1949 Earthquakes at the Chios-Cesme strait (Aegean Sea) and their relation to tsunamis, *Natural Hazards and Eart System Sciences*, **5**, 717-725.

Andersen, O. B. ve Knudsen, P. (2009). DNSC08 mean sea surface and mean dynamic topography models, *Journal of Geophysical Research*, **114**, C11001.

Bruun, P. (1962). Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterways Harbours Div*, **88**, 117–130.

Bruun, P. (1988). The Bruun Rule of erosion by sea-level rise: A discussion on large scale two- and three-dimensional usages, *Journal of Coastal Research*, **4**, 627–648.

Carrere, L. ve Lyard, F. (2003). Modeling the barotropic response of the global ocean to atmospheric wind and pressure forcing - comparisons with observations, *Geophysical Research Letters*, **30(6)**, 1275.

Cazenave, A., Bonnefond, P., Mercier, F., Dominh, K., Toumazou, V. (2002). Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges, *Global and Planetary Change*, **34**, 59–86.

Church, J. A., Gregory, J. M., Huybrechts, P., Kuhn, M., Lambeck, K., Nhuan, M. T., Qin, D., Woodworth, P. L. (2001). *Changes in Sea Level*. Cambridge University Press, Cambridge, 639-693.

Cooper, J. A. G. ve Pilkey, O. H. (2004). Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Change*, **43**, 157-171.

Cowell, P. J., Roy, P. S., Jones, R. A. (1992). Shoreface translation model: computer simulation of coastal-sand-body response to sea level rise. *Mathematics and Computers in Simulation*, **33**, 603-608.

Crowell, M., Leatherman S.P. ve Buckley M.K. (1991). Historical shoreline change; error analysis and mapping accuracy, *Journal of Coastal Research*, **7**, 839-852.

Crowell, M., Leatherman, S. P., Buckley, M. K. (1993). Shoreline change rate analysis: long-term versus short-term. *Shore and Beach*, **61(2)**, 13-20.

Crowell, M., Douglas, B. C., Leatherman, S. P. (1997). On forecasting future U.S. shoreline positions: a test of algorithms. *Journal of Coastal Research*, **13(4)**, 1245-1255.

Dasgupta, S., Laplante, B., Meisner, C., Wheeler, D., Yan, J. (2007). The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis. *World Bank Policy Research Working Paper*, 4136.

Dean, R. G. ve Maurmeyer, E. M. (1983). Models of beach profile response. In: *CRC Handbook of Coastal Processes* [Komar, P.D. (ed.)]. CRC Press, Boca Raton, FL, 151-165.

Dean, R.G. ve Dalrymple, R.A. (2002). *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press, New York, 475.

Demirkesen, A. C., Evrendilek, F., Berberoğlu, S., Kılıç, S. (2007). Coastal flood risk analysis using landsat-7 ETM+ imagery and SRTM DEM: A case study of Izmir, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, **131**, 293-300.

Demirkesen, A.C., Evrendilek, F., Berberoğlu, **S.** (2008). Quantifying coastal inundation vulnerability of Turkey to sea-level rise. *Environmental Monitoring and Assessment*, **138**, 101-106.

Douglas, B. C. (1991). Global sea level rise, *Journal of Geophysical Research*, **96**, C4, 6981-6992.

Douglas, B. C. (2001). *Sea Level Change in the Era of the Recording Tide Gauge*, in Sea Level Rise History and Consequences, Chapter 3, Eds. Dougles, Kearney and Leatherman, Academic Press., USA.

Fu, L. L. ve Cazenave, A. (2001). *Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications*. Academic Press. San Diego, California, USA.

Gazioğlu, C., Burak, S., Alpar, B., Türker, A., Barut, İ. F. (2010). Foreseeable Impacts of Sea Level Rise on the Southern Coast of the Marmara Sea (Turkey). *Water Policy*, **12**, 932-943.

Ghazali, B. M. (2007). Determination of depths of closure along the Kelantan Coast, *MSc Thesis*, Universiti Teknologi Malaysia.

Gumbel, E. J. (1958). *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York.

Hallermeier, R. J. (1981). A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering*, **4**, 253–277.

Hands, E. B. (1980). Prediction of Shore Retreat and Nearshore Profile Adjustments to Rising Water Levels on the Great Lakes. *Coastal Engineering Research Center Technical Paper TP 80-7*. U.S. Army Corps of Engineers, Ft. Belvoir, VA, 199.

Hennecke, W. G., Greve, C. A., Cowell, P. J., Thom, B. G. (2004). GIS-Based Coastal Behavior Modeling and Simulation of Potential Land and Property Loss: Implications of Sea-Level Rise at Collaroy/Narrabeen Beach, Sydney (Australia), *Coastal Management*, **32**, 449-470.

Hoozemans, F. M. J., Marchand, M., Pennekamp, H. A. (1993). *Sea level rise: a global vulnerability assessment for population, coastal wetlands and rice production on a global scale*, 2nd edition, Delft Hydraulics, the Netherlands.

IPCC (2007). Climate Change 2007. *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.

Jensen, J. R. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.

Kamphuis, J. W. (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management*, World Scientific, Singapore.

Karaca, M. ve Nicholls, R. J. (2008). Potential Implications of Accelerated Sea-Level Rise for Turkey. *Journal of Coastal Research*, **24**, 288-298.

Komar, P. D. (1998). *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2nd edition, 544 pp.

Kuleli, T., Şenkal, O., Erdem, M. (2009). National assessment of sea level rise using topographic and census data for Turkish coastal zone. *Environmental Monitoring and Assessment*, **156**, 425–434.

Kuleli, T. (2010). City-Based Risk Assessment of Sea Level Rise Using Topographic and Census Data for the Turkish Coastal Zone. *Estuaries and Coasts*. **33**, 640-651.

Lillesand, T.M. ve Kiefer, R. W. (1994). *Remote sensing and photo interpretation*. 3rd. Edition, John Wiley & Sons: New York.

List, J. H., Sallenger, A. H., Hansen, M. E., Jaffe, B. E. (1997). Accelerated relative sea-level rise and rapid coastal erosion: testing a causal relationship for the Louisiana barrier islands. *Marine Geology*, **140**, 347-365.

Mather, P. M. (1987). *Computer processing of remote-sensed images*. John Wiley and Sons Ltd.

Nicholls, R. J., Leatherman, S. P., Dennis, K. C., Volonté, C. R. (1995). Impacts and Responses to Sea-Level Rise: Qualitative and Quantitative Assessments, *Journal of Coastal Research*, **14**, 26-43.

Overpeck, J. T., Otto-Bliesner, B. L., Miller, G. H., Muhs, D. R., Alley, R. B., Kiehl, J. T. (2006). Paleoclimatic evidence for future ice-sheet instability and rapid sea level rise. *Science*, **311**, 1747–1750.

Poulter, B. ve Halpin, P. N. (2008). Raster modelling of coastal flooding from sea level rise, *International Journal of Geographical Information Science*, **22**, 167-182.

Pugh, **D.** (2004). Changing Sea Levels-Effects ofTides, Weather and Climate. *Environmental Geology*, **47**, 1175-1176.

Scharroo, R. (2011). *RADS user manual and format specification (version 3.1)*, adres: http://rads.tudelft.nl/rads/radsmanual.pdf.

Schwartz, M. L. (1967). The Bruun theory of sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Geology*, **75(1)**, 76-92.

Simav, M., Yıldız, H., Arslan, E. (2008). Doğu Akdeniz'de Uydu Altimetre Verileri ile Deniz Seviyesi Değişimlerinin Araştırılması, *Harita Dergisi*, **139**, 1-31.

Snoussi, M., Ouchani, T., Niazi, S. (2008). Vulnerability assessment of the impact of sea-level rise andflooding on the Moroccan coast: The case of the Mediterranean eastern zone, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **77**, 206-213.

Snoussi, M., Ouchani, T., Khouakhi, A., Niang-Diop, I. (2009). Impacts of sea-level rise on the Moroccan coastal zone: Quantifying coastal erosion and flooding in the Tangier Bay, *Geomorphology*, **107**, 32-40.

Suh, I. H. (2007). Statistics of amplitude and fluid velocity of large and rare waves in the ocean, *MSc. Thesis*, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, USA.

Thieler, E. R., Pilkey, O. H., Young, R. S., Bush, D. M., Chai, F. (2000). The use of the mathematical models to predict beach behavior for U.S. coastal engineering: a critical review. *Journalof Coastal Research*, **16(1)**, 48-70.

United Nations Development Programme (UNDP) (2001). *Partnerships to fight poverty.* United Nations Development Programme Annual Report.

United Nations Environment Programme (UNEP) (2005). *Assessing Coastal Vulnerability: Developing a Global Index for Measuring Risk.* United Nations Environment Programme Final Report.

Willis, J. K., Chambers, D. P., Nerem, R. S. (2008). Assessing the globally averaged sea level budget on seasonal to interannual timescales, *Journal of Geophysical Research*, **113**, C06015.

Wright, L.D. (1995). *Morphodynamics of Inner Continental Shelves*. CRC Press, Boca Raton, FL, 241.

Yıldız, H., Demir, C., Gürdal, M. A., Akabalı, O. A., Demirkol, E. O., Ayhan, M. E. (2003). Antalya-II, Bodrum-II, Erdek ve Menteş Mareograf İstasyonlarına Ait 1984-2002 Yılları Arası Deniz Seviyesi ve Jeodezik Ölçülerin Değerlendirilmesi. *Harita Dergisi*, **Özel Sayı 17**, 1–75.

Zhang, K. (1998). Twentieth Century Storm Activity and Sea Level Rise along the U.S. East Coast and Their Impact on Shoreline Position. *Ph.D. dissertation*, Department of Geography. University of Maryland, College Park, 266 leaves.

Url-1 <*http:// www.cukurovadeltasi.org/index.html* > alındığı tarih 02.12.2011

Url-2 <*http:// www.bzo.org.tr* > alındığı tarih 02.12.2011

Url-3 <*http://www.aviso.oceanobs.com*>, alındığı tarih 12.01.2011

Url-4 <*http://rads.tudelft.nl/rads/rads.shtml*>, alındığı tarih 12.01.2011

Url-5 <*http://ias.dgfi.badw.de/*> alındığı tarih 12.01.2011

Url-6 <*http:// webhelp.esri.com/arcgiSDEsktop/9.3//*> alındığı tarih 12.03.2012

Url-7 <*http:// www. glcf.umiacs.umd.edu* > alındığı tarih 25.06.2011

Url-8 <*http:// web.pdx.edu/~emch/bandcombinations.html*> alındığı tarih 25.06.2011

EKLER

EK A: RADS Veri Dosyası Örneği

EK A

```
# RADS_ASC
# Satellite = CRYOSAT2
# Phase     = a
# Cycle     = 012
# Pass      = 0042
# Equ_time  =  824516510.833186 (17-Feb-2011 00:21:51)
# Equ_lon   =  390.807301
# Original  = L1R (1.13) from L1B (SIR1LRM/3.9) data of 2011-03-
25 23:46:47
# Col  1    = time rel. to equator passage [s]
# Col  2    = latitude [degrees_north]
# Col  3    = longitude [degrees_east]
# Col  4    = sea level anomaly [m]
# Col  5    = total inverse barometer correction, MOG2D [m]
# Col  6    = significant wave height [m]
 -608.665170  36.931453   34.865206       NaN -0.013  0.000
 -607.721731  36.874373   34.858123       NaN -0.014    NaN
 -606.778291  36.817292   34.851044       NaN -0.014    NaN
 -605.834856  36.760210   34.843971       NaN -0.014  1.192
 -604.891418  36.703128   34.836902    -0.133 -0.013  0.671
 -603.947982  36.646044   34.829837    -0.087 -0.013  0.538
 -603.004544  36.588961   34.822777    -0.097 -0.013  0.492
 -602.061106  36.531876   34.815722    -0.102 -0.012  0.737
 -601.117669  36.474791   34.808671    -0.117 -0.012  1.400
 -600.174231  36.417705   34.801625    -0.092 -0.012  1.243
 -599.230793  36.360618   34.794584    -0.091 -0.012  1.271
 -598.287355  36.303530   34.787547    -0.044 -0.012  1.451
 -597.343919  36.246442   34.780514    -0.016 -0.012  1.376
 -596.400481  36.189353   34.773486    -0.016 -0.013  1.409
 -595.457041  36.132264   34.766462    -0.017 -0.015  1.448
 -594.513610  36.075174   34.759443     0.009 -0.016  1.162
 -593.570178  36.018083   34.752428     0.012 -0.017  1.268
```

Şekil A.1 : CRYOSAT2 uydusuna ait 12 devir/42 geçiş numaralı veri dosyası.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Özlem Simav

Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli – 10.10.1981

E-Posta: ozlem.simav@hgk.msb.gov.tr

Lisans: Kara Harp Okulu, Harita Yüksek Teknik Okulu

Yüksek Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

MSB Harita Genel Komutanlığı Kartografya Dairesinde 2006 yılından bu yana, önce Temel Ölçekli kısımda 2 sene, daha sonra Genelleştirme kısmında proje ve üretim subayı olarak görev yaptım. Halen Genelleştirme kısmında çalışmaktayım.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Simav Ö**., Şeker D.Z., Tanık A., Gazioğlu C., 2011. Deniz Seviyesi Yükselmelerinin Kıyı Alanlara Olası Etkilerinin Araştırması. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 30 Ekim-02 Kasım 2011, Antalya.

- **Simav Ö.**, Şeker D.Z., Gazioğlu C., Tanık A., 2012: Deniz Seviyesi Yükselmesi ve Ekstrem Deniz Durumuna Bağlı Kıyı Alanı Su Baskını ve Potansiyel Etkileri: Çukurova Deltası Örneği. *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IX. Ulusal Kongresi*, 14-17 Kasım 2012, Antakya.

- **Simav Ö**., Şeker D.Z., Gazioğlu C., 2012: Coastal Inundation Due To Sea Level Rise and Extreme Sea State and Its Potential Impacts: Çukurova Delta Cases. *Turkish Journal of Earth Siences*, Haziran 2012 (İnceleme aşamasında).