



Alara, Türkiye denizel alanında sediman taşınımının modellenmesi

Aslı Numanoğlu Genç*

Atılım Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kızılcaşar Mahallesi, İncek, 06830, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Alara denizel alanı kıyı boyu sediman taşınımının, bölgenin kıyı morfolojisi üzerindeki etkisi
- Kıyı boyu sediman taşınımının HYDROTAM-3D kullanılarak üç boyutlu sayısal modellenmesi
- Uzun dönem rüzgar ölçümü kullanılarak dalga iklimi ve akıntı düzeni sayısal modellenmesi

Makale Bilgileri

Geliş: 08.05.2013

Kabul: 24.03.2016

DOI:

10.17341/gummfd.22374

Anahtar Kelimeler:

Kıyı boyu sediman taşınımı,
sayısal modelleme,
rüzgar iklimi,
dalga iklimi

ÖZET

Kıyı bölgelerinde yapılacak olan kıyı yapılarının kıyı morfolojisi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla fiziksel modeller ve sayısal modeller (sayısal benzeştirmeler) uygulanmaktadır. Sayısal modeller yardımıyla uzun süreli ölçülmüş rüzgâr hızları kullanılarak tahmin edilen dalga yüksekliği değerleri akıntı ve kıyı boyu sediman taşınım miktarlarının benzeştirilmesinde veri olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Alara Çayının Antalya Körfezine bağlandığı kıyı bölgesinde meydana gelen taşınım olaylarının nedenlerini incelemek için HYDROTAM 3D modeli kullanılarak, çalışma sahası ile çevresindeki kıyı bölgesinde, rüzgar ve dalga etkenli kıyısal akıntı düzeni ve kıyı boyu sediman taşınımı modellenmiştir. Rüzgar ve dalga iklimi çalışmalarında Alanya Meteoroloji İstasyonunun 1970-2011 yılları arası saatlik ortalama rüzgar hızları kullanılmıştır. Modelleme sonucu, kıyı boyu sediman taşınımının BatıKuzeyBatı (WNW)-DoğuGüneyDoğu (ESE) doğrultusunda gerçekleştiğini göstermektedir. Çalışma bölgesinde, yıllık denizel net sediman taşınım miktarının 22237 m³ olduğu sonucuna varılmıştır.

Modeling of sediment transport processes in Alara, Turkey

H I G H L I G H T S

- The effect longshore sediment transport along Alara coastal area on the coastal morphology of the region
- 3-D numerical modeling of longshore sediment transport by using HYDROTAM 3-D
- Numerical modeling of wave climate and current pattern by using long term wind data

Article Info

Received: 08.05.2013

Accepted: 24.03.2016

DOI

10.17341/gummfd.22374

Keywords:

Longshore sediment
transport,
numerical modeling,
wind climate,
wave climate

ABSTRACT

There are various methods to investigate the effects of the coastal structures on coastal morphology. These can be grouped as physical and numerical models (numerical simulations). Since measurements of wave data are short term in Turkey, wind waves are hind casted by using long-term wind data. With the aid of numerical models, wave propagation from deep to shallow water can successfully be modeled, and the resulting currents from breaking waves, the amount longshore sediment transport and shoreline changes due to coastal structures can successfully be predicted. In this study, wind and wave induced coastal currents, and longshore sediment transport at the outlet of Alara River to Antalya Bay are modeled by using three dimensional hydrodynamic and transport numerical model HYDROTAM 3D. Wind and wave climate studies are based on the hourly data of Alanya Meteorological Station between the years 1970-2011. The model studies showed that the longshore sediment transport is along WestNorthWest (WNW)-EastSouthEast(ESE) direction. It is concluded that the net yearly sediment transport from east to west is 22237 m³.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çoğunlukla yüksek maliyetli olan kıyı yapıları yapılırken, uygun kıyı alanlarının seçilmesi, çevreye en az zarar verecek şekilde tasarlanması, maliyetinin gözetilmesi gerekmektedir. Kıyı alanlarında, doğal ya da yapay nedenler etkisiyle akıntı düzeni değişmekte, kıyı boyu ve kıyıya dik

sediman taşınımı artmakta, bunun sonucunda kıyılarda erozyon ya da yığılma meydana gelmektedir. Kıyı boyu sediman taşınımının temel etkeni dalga kırılması ile oluşan akıntılardır. Bu nedenle katı madde taşınımının incelenmesi için dalgalar iyi anlaşılmalı ve sediman taşınımı çalışması yapılabilmesi için de proje bölgesinin dalga iklimi belirlenmelidir. Kıyıları üzerinde oluşan

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: asli.genc@atilim.edu.tr / Tel: 0 312 586 8321

değişikliklerin özellikle de zaman içerisinde gerçekleşen taşınım olayının, alansal ölçümlerle belirlenmesi veya fiziksel modellerle benzeştirilmesi ve tahmin edilmesi, hem zor hem de pahalı çalışmalar gerektirmektedir. Rüzgar ve yoğunluk değişimi etkisiyle oluşan akıntılarda, askı maddelerinin taşınımı üç boyutlu olarak incelenmesi gereken bir olaydır. Rüzgarla oluşan kıyısız akıntılar, rüzgar şiddetine ve rüzgarın su alanı üzerindeki esme yönüne bağlıdır. Bir kıyısız su alanı üzerindeki rüzgar, yüzey sularında esme yönüne doğru akıntı oluştururken, su tabanı tabakalarında, esme yönüne karşıt yönde bir zıt akıntı meydana getirir. Birçok durum için derinlik boyunca ortalama değerlerle çalışan, bir boyutlu veya iki boyutlu taban ve askı maddesi sayısal modelleri, taban taşınımı ve askı maddesi miktarının hesabında, kararlı hale ulaşılmış koşullardaki analitik değerleri girdi olarak kullandıkları için uygun sonuçlar verirler. Yatışkın hale ulaşılamayan veya üç boyutlu akıntılarının etkin olduğu durumlarda ise, sonuçları tutarsız olmaktadır. Bu problem üç boyutlu bir model kullanılarak çözümlenebilmektedir [1-7]. Literatürde doğal veya insan kaynaklı etkenlere bağlı olarak oluşan aşınma problemini tanımlayabilmek amacıyla sediman taşınım modelleri çalışılmakta ve uygulanmaktadır [8-10]. Çalışılan modeller arasında en yaygın olarak uygulanan üç boyutlu modellerden öne çıkanlar CSTM-ROMS, Delft3D, ECOMSED ve MIKE21 olarak sıralanabilir [11]. Ayrıca Chen vd. [12] dalga kaynaklı ve gelgit akıntılarının sediman taşınımı üzerindeki etkilerini üç boyutlu yakın kıyı sediman taşınım modeli olan 'NearCoM-TVD'yi [13] kullanarak çalışmışlar ve farklı kıyı bölgelerine uygulamışlardır. İki boyutlu bir taşınım modeli olan CROSMOR kıyı boyu taşınım benzeştirilmesinde uygulanmaktadır [14]. Keshtpoor vd. [15] Indian Nehri (Delaware, A.B.D) giriş ağzındaki aşınma problemini araştırmak amacıyla üç boyutlu türbülans ve sediman taşınım modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, Alara Çayının Antalya Körfezine bağlandığı kıyı bölgesinde meydana gelen taşınım olaylarının nedenlerini incelemek için HYDROTAM 3D modeli kullanılarak, çalışma sahası ile çevresindeki kıyı bölgesinde, rüzgar ve dalga etkenli kıyısız akıntı düzeni ve kıyı boyu sediman taşınımı modellenmiştir. Bu çalışmada kullanılan HYDROTAM-3D modeli Türkiye'de birçok kıyı alanına uyarlanmış bir modeldir. HYDROTAM-3D'nin veri tabanında Türkiye kıyı meteoroloji istasyonlarının yaklaşık 40 yıllık saatlik verileri bulunmaktadır. Bu bağlamda model Türkiye kıyılarına özgün bir model olarak tanımlanabilir. [16-26].

2. ÜÇ BOYUTLU HİDRODİNAMİK TAŞINIM MODELİ: HYDROTAM- 3D (3D HYDRODYNAMIC TRANSPORT MODEL: HYDROTAM- 3D)

Üç boyutlu modellerin kullanımı, yoğunluk dağılımının göz ardı edilemeyeceği ve/veya rüzgarların oluşturduğu akıntılarının önemli olduğu kıyısız su alanlarında kaçınılmazdır. Bu tip akıntılar derinlik boyunca ve alansal olarak yön değiştirirler, bu nedenle iki ve tek boyutlu modellerle benzeştirilmeleri

önemli hatalar doğurur. HYDROTAM- 3D Modeli, rüzgar iklimi, dalga iklimi, hidrodinamik, türbülans, dalga ilerlemesi ve kıyı boyu sediman taşınım alt modellerinden oluşmaktadır [16-20]. Model veri tabanında Türkiye Kıyıları Meteoroloji İstasyonları'nın kuruluşlarından bu yana (yaklaşık 40 yıllık) saatlik rüzgar verileri yer almakta ve rüzgar iklimi alt modelinde bu veriler kullanılmaktadır. Ayrıca ECMWF'in (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) operasyonel ve ERA (ECMWF re-analysis) arşiv rüzgar ve dalga tahminleri HYDROTAM-3D'nin veri tabanında yer almaktadır. Dalga iklimi alt modeli derin deniz belirgin dalga yüksekliklerini ve belirgin dalga dönemlerini, uzun dönem dalga istatistiği ve en yüksek dalga istatistiği kullanarak hesaplamaktadır. Hidrodinamik alt modeli rüzgar, gelgit ya da yoğunluk farklılaşması etkenli akıntıları, su düzeyi değişimlerini, fırtına kabarmasını 3-boyutlu olarak benzeştirmektedir. Türbülans alt modeli üç boyutlu k-ε türbülans modeli içermektedir. Dalga ilerlemesi alt modeli yumuşak eğim eşitliklerini çözerek, açık denizde tahmin edilen dalga yüksekliğini kıyısız alanlara taşımaktadır. Dalga ilerlemesinde, sığlaşma, sapma, dönme, sürtünme, kırılma ve dalga kabarması etkileri hesaplanmakta ve dalga etkenli kıyısız akıntılar modellenmektedir. Kıyı boyu sediman taşınım modeli kırılan dalgalar etkisiyle kıyı boyu sediman taşınımını modellemektedir. Sediman taşınım modelinin sonuçları, sediman yığılması ve aşınması (erozyon) miktarlarını, sediman taşınımının kıyıboyu yollarını ve şekillerini, kıyı yapıları ile etkileşimlerini içerir. Geliştirilen sediman taşınım modeli, sayısal olarak çözümlenen şu temel eşitlikleri içermektedir [1]: *Kütlenin korumu denklemi*: Akıntı hızı tahminlerini ve sediman karakteristiklerini kullanılarak, sediman derişimleri hesaplanır. Çözüm türbülans etkilerini de içermektedir. *Hareket denklemi*: Akışkan-sediman karışımının hareket dengesi çözülerek, askıdaki maddelerin taşınımına olan etkileri incelenmektedir. *Sediman taşınım denklemi*: Sedimanın ortalama akıntıyla yatayda ve derinlik boyunca ilerlemesi, türbülans ile dağılımı ve çökmesi çözümlenmektedir. Üç boyutlu askı maddesi taşınım modelinde, ilerlemeli yayılma denklemi çözümlenmektedir. Seçilen denizel alanda, her yön için, uzun dönem dalga istatistiğinden elde edilen dalgaların, değişen dalga yükseklikleri aralıklarındaki, oluşma olasılıkları da kıyı boyu sediman taşınım modelinde dikkate alınmaktadır. Denizel alanda, net ve toplam (gross) kıyı boyu sediman taşınım miktarları (m^3/yr), dünyada en yaygın olarak kullanılan CERC metodu [27-30] ile hesaplanmaktadır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Çalışma sahası konum olarak Alara Çayının Antalya Körfezine bağlandığı alan ($36^{\circ}39'48.01''N$, $31^{\circ}38'55.94''E$) ve denizel alanını kapsamaktadır (Şekil 1). Bölgede kıyı alanında ve özellikle kumsal alanda Alara Çayının sıklıkla taşması sonucunda oluşan aşınma sorunu

gözlemlenmektedir. Taşkın ve kumsal alanlarının aşınmasından kıyıda bulunan turizm tesisleri ve ikincil evler olumsuz etkilenmektedir. Mevcut durumu belirleyebilmek amacıyla Alara denizel alanı için kıyı boyu sediman taşınımı çalışılmıştır.

3.1. Rüzgar İklimi (Wind Climate)

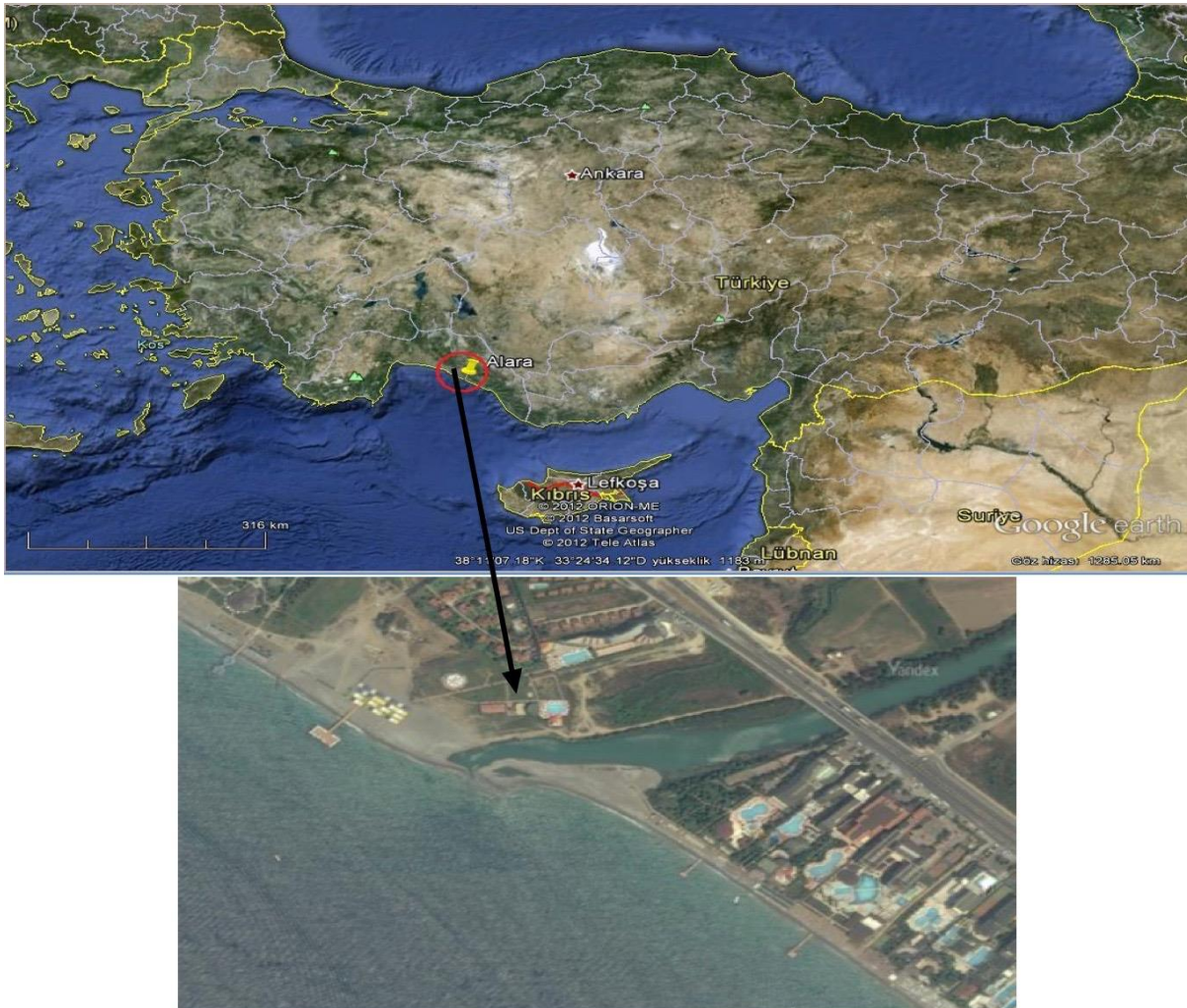
Çalışma bölgesinin rüzgar ikliminin belirlenebilmesi için, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilen Antalya (1970-2009), Manavgat (1983-2011), Alanya(1970-2011) ve Anamur (1970-2011) Meteoroloji İstasyonuna ait rüzgar verileri incelenmiştir. Model çalışmalarında, konumu itibarı ile Alanya Meteoroloji İstasyonu 1970-2011 yılları arası saatlik ortalama rüzgar hızlarının çalışma bölgesinin rüzgar ve dalga iklimini en iyi yansıtacağı görülmüş ve yönlere göre rüzgar oluşum sayıları belirlenerek yıllık rüzgar gülü oluşturulmuştur (Şekil 2).

3.2. Dalga İklimi (Wave Climate)

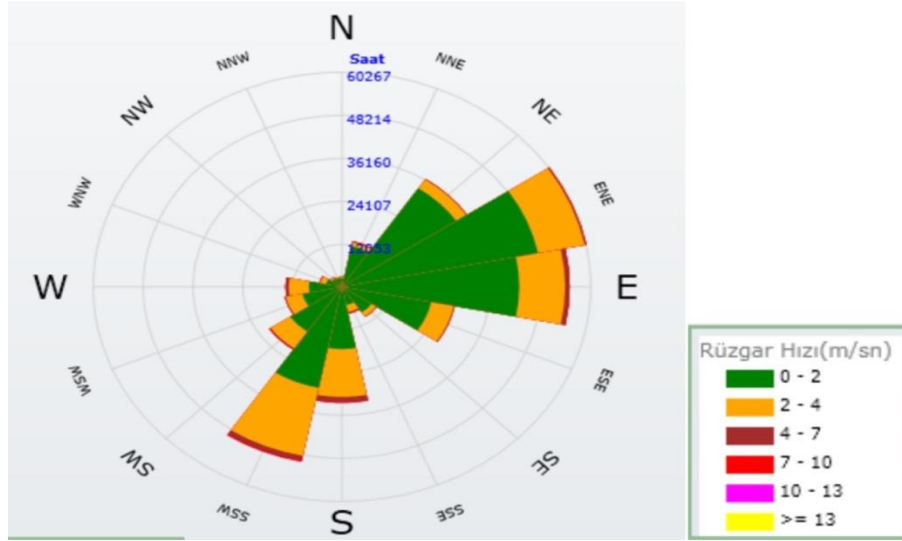
Dalga istatistikleri için gereken etkin dalga kabarma mesafeleri (Şekil 3) belirlenmiş ve Tablo 1'de sunulmuştur.

Bu çalışmada, dünyada da yaygın olarak kullanılan, CEM (Coastal Engineering Manual) [27] ampirik modeli kullanılmıştır. Tüm yönlerdeki etkin dalga kabarma uzunluğunun belirlenmesi için cosinüs ortalama metodu uygulanmıştır. Alara denizel alanı konumu itibarıyla en fazla dalga kabarmasına yol açabilecek dalga kabarma mesafeleri Batı Güney Batı (WSW) – Güney Doğu (SE) yönleri aralığındadır (Tablo 1, Şekil 3).

Bu çalışma kapsamında, yörenin log-normal uzun dönem dalga istatistiği çalışılmıştır. Çalışma sahası denizel alanında, konum olarak en çok BatıKuzeyBatı (WNW) ve DoğuGüneyDoğu (ESE) yönleri aralığından gelecek dalgalar etkili olan dalgalardır. Bu aralıklar için örnek uzun dönem dalga istatistik belirgin dalga yükseklikleri aşılma süreleri ve olasılık dağılımları Tablo 2'de verilmektedir. Model tahminleri, birincil etken dalga yön aralığının GüneyBatı(SW) ve GüneyGüneybatı(SSW), ikincil etken dalga yön aralığının ise Güney(S) ve Güneydoğu (SE) aralığı olduğunu göstermektedir. Uzun dönem dalga istatistiği belirgin derin deniz dalga yüksekliği H_s ile pik dalga periyodu T_p ilişkisi Şekil 4'te, yıllık dalga gülü Şekil 5'te sunulmaktadır.



Şekil 1. Alara denizel alanı (Alara coastal area) (Google Earth, 2015)



Şekil 2. Alanya meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık rüzgar gülü (Annual wind rose of Alanya meteorological station)



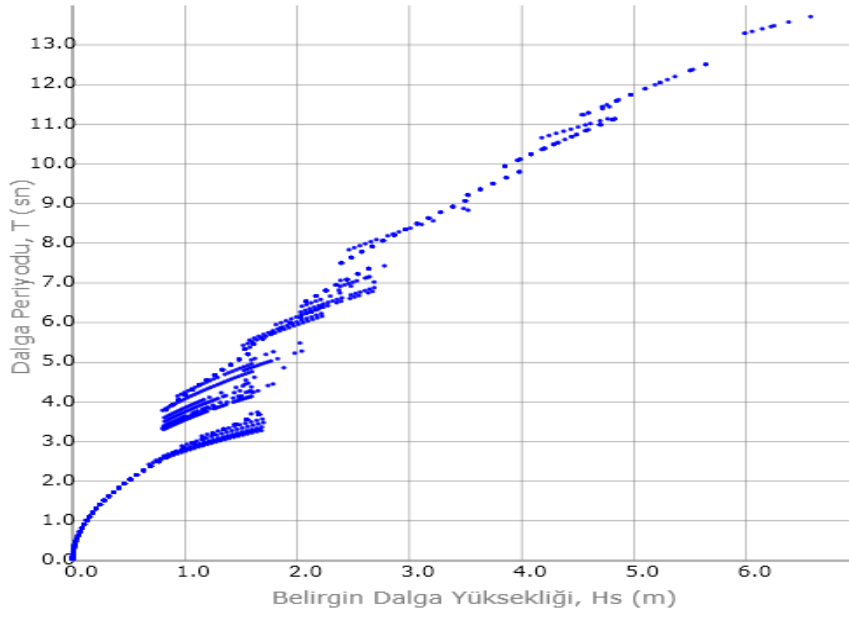
Şekil 3. Dalga kabarma mesafeleri (Fetch distances)

Tablo 1. Etkin Dalga Kabarma Mesafeleri (Effective fetch distances)

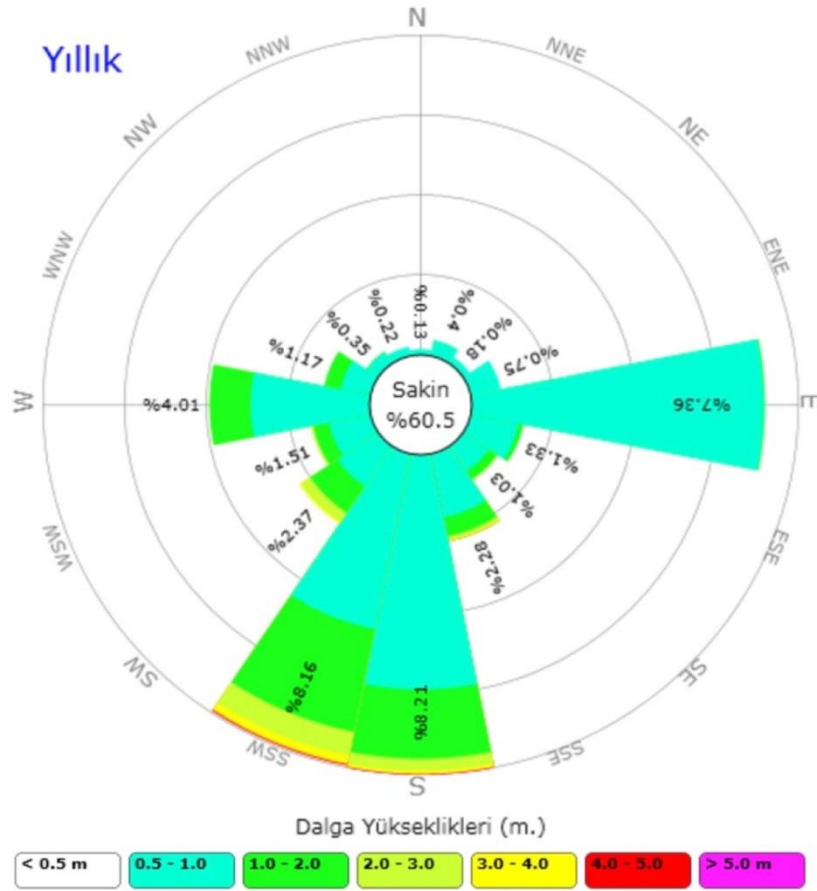
Yön	Mesafe (km)	Yön	Mesafe (km)
BatıKuzeyBatı (WNW)	110,8	GüneyGüneyBatı (SSW)	780,1
Batı (W)	119,1	Güney(S)	684,6
Batı GüneyBatı (WSW)	1037,6	GüneyGüneyDoğu(SSE)	436,4
GüneyBatı (SW)	926,6	GüneyDoğu(SE)	237,2
		DoğuGüneyDoğu(ESE)	135,2

Tablo 2. Belirgin Dalga Yükseklikleri Aşılma Süreleri ve Olasılık Dağılımları
(The exceedence probabilities and distributions of significant wave heights)

Yön	Dağılım Denklemi		1 h/yr			5 h/yr			10 h/yr		
	$H_s = a \cdot \ln(p(H)) + b$		H_s (m)			H_s (m)			H_s (m)		
	a		b								
WNW	$H_s =$	-0,358	$\ln(p(H))$	-0,893	2,355	1,779	1,531				
W	$H_s =$	-0,326	$\ln(p(H))$	-0,595	2,367	1,842	1,616				
WSW	$H_s =$	-0,473	$\ln(p(H))$	-1,129	3,168	2,406	2,078				
SW	$H_s =$	-0,546	$\ln(p(H))$	-1,156	3,805	2,926	2,547				
SSW	$H_s =$	-0,496	$\ln(p(H))$	-0,707	3,792	2,994	2,651				
S	$H_s =$	-0,492	$\ln(p(H))$	-0,726	3,741	2,949	2,608				
SSE	$H_s =$	-0,486	$\ln(p(H))$	-1,057	3,355	2,573	2,236				
SE	$H_s =$	-0,474	$\ln(p(H))$	-1,481	2,820	2,058	1,729				
ESE	$H_s =$	-0,280	$\ln(p(H))$	-0,299	2,247	1,795	1,601				



Şekil 4. Belirgin dalga yüksekliği- pik dalga periyodu ($H_s - T_p$) grafiği (Significant wave height (H_s) vs. Peak wave period (T_p) graph)



Şekil 5. Dalga Gültü (Wave rose)

3.3. Fırtına Kabarması (Storm Surge)

Deniz yüzeyinde rüzgar etkenli kayma gerilmelerinin, su düzeyinde meydana getirdiği değişime, fırtına kabarması adı verilir. HYDROTAM-3D modellemesi sonucunda yönlere göre Alara denizel alanında, sakin su seviyesinin üzerinde oluşması beklenen en yüksek ve yıllık ortalama fırtına kabarması değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Modelleme çalışmalarında Akdeniz baseni kullanılmış, gelgit yüksekliği 50 cm. [17, 28, 29] olarak alınmıştır. Fırtına yinelenme periyodu 50 yıl olarak alınmıştır.

Tablo 3. Alara denizel alanında oluşması beklenen en yüksek fırtına kabarması değerleri
(Expected maximum Fetch distances in Alara coastal zone)

Yönler	En Yüksek Fırtına Kabarması (cm)
GüneyDoğu (SE)	83
GüneyGüneyDoğu (SSE)	82
Güney (S)	98
GüneyGüneyBatı (SSW)	102
GüneyBatı (SW)	101
BatıGüneyBatı (WSW)	91

3.4. Rüzgar Dalgaları Etkisiyle Kıyı Boyu Sediman Taşınımı

(Wind induced Longshore Sediment Transport)

Alara denizel alanı için kıyı doğrultusu yaklaşık olarak BatıKuzeyBatı (WNW) – DoğuGüneyDoğu (ESE) yönünde uzanmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Sediman taşınım yönleri (Sediment transport directions)

Kıyı çizgisi doğrultusu normalinin doğusunda kalan yönler (SSW, S, SSE, SE) doğudan batıya sediman taşınımına, kıyı çizgisi doğrultusu normalinin batısında kalan yönler (SW, WSW, W, WNW) ise batıdan doğuya sediman taşınımına neden olmaktadır. Çalışılan bölgenin sediman özellikleri Devlet Su İşleri 13. Bölge (Antalya) Bölge Müdürlüğü tarafından incelenmiş ve raporlanmıştır. Modelleme çalışmalarında bu rapor sonuçlarından faydalanılmış ve sediman dane çapı $D_{50}=4$ mm olarak alınmıştır. HYDROTAM-3D modeli kullanılarak, uzun dönem (1970-2011) yönsel aşılma olasılıklarına bağlı

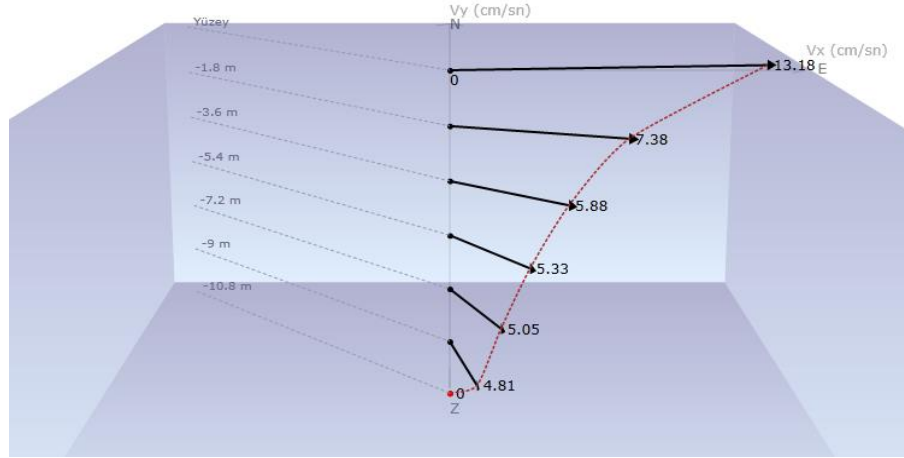
yönsel rüzgar dalgaları etkenli kıyı boyu sediman taşınım miktarları hesaplanmıştır. Yıllık net kıyı boyu sediman taşınım miktarı, Q_{net} , kıyıda hangi yönde ve ne miktarda madde birikimi veya erozyonu olduğu konusunda bilgi vermektedir. Hesaplanan net ve toplam sediman miktarları, Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4. Yıllık kıyı boyu sediman taşınım miktarı Q (m^3/yr)
(Amount of annual sediment transport)

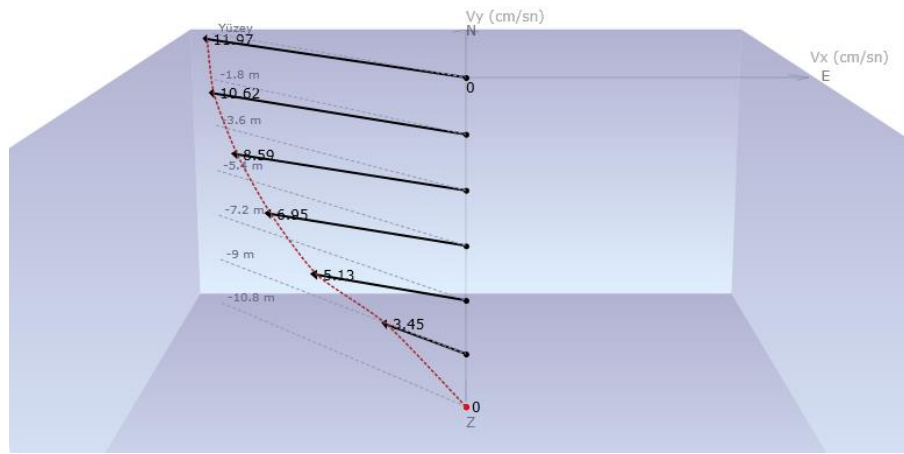
Yön	Batıdan Doğuya	Doğudan Batıya
E	-	-
ESE	-	-
SE	-	14348,7
SSE	-	141038,4
S	-	226838,9
SSW	-	52600,0
SW	150929,6	-
WSW	170385,8	-
W	84028,5	-
WNW	7245,1	-
Toplam	412589,0	434826,0
---Net---	-	22237,0
---Gross---	847415,0	-

3.5. Akıntı Düzeni Modellemesi (Modeling of Current Pattern)

Kıyısız su alanındaki çevrıntiler genellikle düzensiz ve türbülanslıdır. Modelde, türbülanslı hareket ile ortalama hareket arasındaki bağlantı, düşey ve yatay eddy vizkoziteler ve düşeyde ve yatayda eddy difüzyonu ile oluşan kütle yer değişimi ile sağlanmaktadır. Alara denizel alanı gibi yüzey su alanının, su derinliğine oranla büyük olduğu kıyı sularında, hareketin yatay ve düşey yönlerdeki türbülans yoğunluğu da önemli ölçüde farklılaşmaktadır. Düşey ve yatay uzunluklardaki bu farklılık izotropik olmayan bir durum yaratmakta, bu nedenle, modelde yatay ve düşeyde kullanılan birbirinden farklı eddy vizkozitesi değerleri de benzeştirmelerde çok önem kazanmaktadır. Düşeyde izotropik $k-\epsilon$ modeli ile hesaplanan eddy vizkozite değerleri kullanılarak, yatayda çözüm ağı uzunluklu alt bir türbülans modeli ile bu farkı karşılayacak doğrultuda yatay eddy vizkozite değerleri hesaplanmıştır. Deniz suyu sıcaklığı, tuzluluğu ve yoğunluğu alansal ve derinlik boyunca sabit alınmıştır. Alara denizel alanında açık denizle en kuvvetli su alışverişini sağlayan yön aralığı BatıGüneyBatı(WNW) – GüneyDoğu(SE) aralığıdır. Bu yön aralığından esen rüzgarlar en kuvvetli kıyısız çevrinti düzenini oluştururlar. Sayısal çalışmalarda, Alara denizel alanı yüzey suları, olası en yüksek akıntı hızlarını ve çevrinti düzenlerini anlamak amacıyla, rüzgar güllerinden alınan en yüksek rüzgar hızının sabit kesme kuvveti etkisi ile hareketlendirilmiştir. BatıGüneyBatı (WSW) yönünden 10 m/s, ve GüneyDoğu (SE) yönlerinden 9 m/s hızla esen rüzgarlar etkisinde nehir giriş ağzında su derinliğinin yaklaşık 10 m olduğu noktada derinlik boyunca akıntılar Şekil 7 ve 8'de sunulmuştur.



Şekil 7. WSW yönünden esen 10 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda derinlik boyunca akıntı profili
(Current profile through the depth under the effect of the WSW wind with the speed of 10m/sec in steady state)



Şekil 8. SE yönünden esen 9m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda derinlik boyunca akıntı profili
(Current profile through the depth under the effect of the SE wind with the speed of 9m/sec in steady state)

3.6. Tartışma (Discussion)

Alara Çayının denizle buluştuğu bölgede sık yaşanan taşkın olayları sonucu bölgenin kıyı alanı olumsuz etkilenmektedir. Çalışmada bölgenin mevcut durumunun belirlenebilmesi amacıyla kıyı boyu sediman taşınımı modellenmiştir. Alanya ilçesine yapılması planlanan Yeniköy Barajı'nın yapımı bittiğinde Alara Çayından gelen katı maddeyi engelleyeceği düşünülerek modelleme çalışmalarında Alara Çayından gelen katı madde miktarı dikkate alınmamıştır. Böylelikle çalışma alanının modellemesi daha kritik koşullara göre yapılmıştır. Yaz mevsiminin uzun olması, deniz sıcaklığının yıl boyunca rekreasyonel etkinliklere uygun seyretmesi ve bölge coğrafyasının güzelliği Antalya Körfezinde turizmin gelişmesine ve bunun sonucu olarak bölgede giderek artan bir turizm baskısına neden olmuştur [31, 32, 33]. Alara kıyı bölgesi de turizm yatırımlarının sık olduğu bir alandır. Bu duruma ek olarak Antalya Bütünleşik Kıyı Alanları Planı Nihai Raporunda [34] kıyı yapıları alt yönetim plan stratejileri arasında nehir ağızlarında marina ve tesisler

düzenlenmesi önerilmiştir. Ancak bu planlamalar yapılırken bölgenin kıyusal alanları için rüzgar ve dalga iklimi, su seviyesi değişimleri, akıntı ve sediman taşınımı modelleme çalışmalarının önemi vurgulanmıştır. Bu nedenle bölgeye yapılacak olan kıyı yapılarının kıyı boyu sediman taşınımına etkisinin belirlenmesinde bu çalışma önemli bir tahmin aracı olarak kullanılabilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Alara denizel alanında üç boyutlu hidrodinamik ve taşınım modeli HYDROTAM-3D kullanılarak, rüzgar iklimi, dalga iklimi, rüzgar ve dalga etkenli akıntılar, kıyı boyu sediman taşınımı modellenmiştir. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden edinilen Alanya İstasyonu 1970-2011 yılları arası saatlik ortalama rüzgar hızları kullanılarak dalga tahminleri yapılmış ve uzun dönem (log-normal) dalga istatistiği çalışmaları tamamlanmıştır. Çalışma alanında, etken dalga ilerlemesi yön aralığı BatıGüneyBatı (WSW) ve GüneyDoğu (SE) yönleri aralığı olarak belirlenmiştir. Genel olarak, güney batılı yönlerden yılda 1 saat aşılma olasılığı

ile 3.5 m'den fazla derin deniz dalga yüksekliğine sahip dalgalar yaklaşırken, güney doğulu yönlerden yılda 1 saat aşılma olasılığı ile 3 m'den fazla derin deniz dalga yüksekliğine sahip dalgalar yaklaşmaktadırlar. Modelleme sonucunda, Alara denizel alanında, sakin su seviyesinin üzerinde oluşması beklenen en yüksek fırtına kabarması (gelgit etkisi ve dalga kabarmasını da içeren) değeri yaklaşık 1 m olarak hesaplanmıştır. Alara denizel alanı için kıyı doğrultusu yaklaşık olarak BatıKuzeyBatı(WNW)–DoğuGüneyDoğu(ESE) yönünde uzanmaktadır. Modelleme sonucu beklenen, rüzgar ve dalga etkenli, en yüksek kıyı boyu yüzey akıntıları yaklaşık olarak 14 cm/s değerinde olup, taban sularında bu değer yaklaşık 5 cm/s'ye azalmaktadır. Kıyı boyu sediman taşınımı BatıKuzeyBatı (WNW) -DoğuGüneyDoğu(ESE) doğrultusunda gerçekleşmektedir. Uzun dönem (1970-2011) saatlik yönsel dalga tahminlerine dayanılarak, çalışma bölgesinde, batıdan doğuya yılda 412589 m³, doğudan batıya ise yılda 434826 m³ sediman taşınmakta olduğu hesaplanmıştır. Mevcut denizel sediman taşınım hareketleri, sağdan sola, soldan sağa taşınımın yaklaşık olarak birbirine denk olduğu (Net taşınım=22237 m³) dengede bir kıyıya sahiptir. Sunulan çalışma ileride bölgeye yapılacak olan kıyı yapılarının kıyı boyu sediman taşınımına etkisinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Bu nedenle Alara denizel alanı ve komşu denizel alanlar için yapılacak rüzgar, dalga iklimi, hidrodinamik, ve sediman taşınımı modelleme çalışmalarının artması özellikle bölgenin sürdürülebilir kıyı yönetimi planlamasına belirgin katkı sağlayacaktır.

5. SİMGELER (SYMBOLS)

k : Kinetik enerji
 ε : Kinetik enerjinin yok olma hızı

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Devlet Su İşleri, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığına ve Devlet Su İşleri, Antalya 13. Bölge Müdürlüğüne bu çalışmaya olan katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yegül U., Kıyısız alanlarda askı maddesi taşınımının modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
2. Smith J.M., O'Connor B.A., Rayleigh-Ritz and Galerkin Finite Element for Diffusion-convection Problems, *Water Resour.*, 9 (3), 1-45, 1977.
3. Hayter E.J., Mehta A.J., Modeling cohesive sediment transport in estuarial waters, *Appl. Math. Modell.*, 10 (4), 294-303, 1986.
4. Glenn S.M., Grant W.D., Stratification Correction for Combined Wave and Current Flows, *Journal of Geophysical Resources*, 92 (C8), 8244-8264, 1987.
5. Holmedal L. E., Myrhaug D., Wave-Induced Steady Streaming, *Mass Transport and Net Sediment*

- Transport in Rough Turbulent Ocean Bottom Boundary Layers, *Cont. Shelf Res.*, 29 (7), 911–926, 2009.
6. Zhang J. X., Liu H., Currents Induced By Vertical Varied Radiation Stress in Standing Waves and Evolution of The Bed Composed of Fine Sediments, *Int. J. Sediment Res.*, 24 (2), 214–226, 2009.
7. Hassan W.N.M., J.S. Ribberink., Modelling Of Sand Transport Under Wave-Generated Sheet Flows With RANS Diffusion Model, *Coastal Eng.*, 57, 19-29, 2010.
8. Kristensen S.E., Dronen N., Fredsoe J., Hybrid Morphological Modeling of Shoreline Response to a Detached Breakwater, *Coastal Eng.*, 71, 13-27, 2013.
9. Tomasicchio, G., D'Alessandro, F., Barbaro, G., Malar, G., "General Longshore Transport Model", *Coastal Eng.*, 71, 28-36, 2013.
10. Restrepo J.C., Schrottko K., Traini C., Ortiz, J.C., Orejarena A., Otero L., Higgins A, Marriaga L. Sediment Transport and Geomorphological Change in a High-Discharge Tropical Delta (Magdalena River, Colombia): Insights From A Period of Intense Change And Human Intervention (1990–2010), *Journal of Coastal Research*, 32 (3), 575-589, 2016.
11. Amoudry L., Souza A., Deterministic Coastal Morphological And Sediment Transport Modeling: A Review and Discussion, *Reviews of Geophysics*, 49, 1-21, 2011.
12. Chen J.-L., Hsu T.J., Shi F., Raubenheimer B., Elgar S., Hydrodynamic and Sediment Transport Modeling of New River Inlet (NC) Under the Interaction of Tides and Waves, *J. Geophys. Res. C: Oceans*, 120 (6), 4028-4047, 2015.
13. Chen J.-L., Shi F. Hsu T.J., Kirby J.T., Nearcom-TVD - A Quasi-3D Nearshore Circulation And Sediment Transport Model, *Coastal Eng.*, 91, 200-212, 2014.
14. Van Rijn L.C., A Simple General Expression For Longshore Transport of Sand, Gravel and Shingle, *Coastal Eng.*, 90, 23-39, 2014.
15. Keshtpoor M., Puelo J.A., Shi F., Ma G., 3D Numerical Simulation of Turbulence and Sediment Transport Within A Tidal Inlet, *Coastal Eng.*, 96, 13-26, 2014.
16. Balas L., Modelling of Interaction Between Surface Waves and Mud Layer , *Lect. Notes Comput. Sci.*, 3037, 618-621, 2004.
17. Balas L., Özhan E., An Implicit Three Dimensional Numerical Model to Simulate Transport Processes in Coastal Water Bodies, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 34, 307-339, 2000.
18. Balas L., Özhan E., Applications of a 3-D Numerical Model to Circulations in Coastal Waters, *Coastal Engineering Journal*, 43 (2), 99-120, 2001.
19. Balas L., Özhan E., Three Dimensional Modelling of Stratified Coastal Waters, *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 56, 75-87, 2002.
20. Balas L., Özhan E., A Baroclinic Three Dimensional Numerical Model Applied to Coastal Lagoons, *Lect. Notes Comput. Sci.*, 2658, 205-212, 2003.
21. Balas L., Küçükosmanoglu A, 3-D Numerical Modelling of Transport Processes in Bay of Fethiye,

- Turkey, Journal of Coastal Research, 39, 1529-1539, 2006.
22. Balas L., İnan A., Yılmaz E. Modelling of sediment transport of Akyaka Beach, Journal of Coastal Research, 64, 460-463, 2011.
 23. Balas L., Numanoglu Genc A., İnan A, HYDROTAM: 3D Model for Hydrodynamic and Transport Processes in Coastal Waters, International Environmental Modelling and Software Society (IEMSS) International Congress on Environmental Modelling and Software, Leipzig, Germany, 1439-1446, 1-5 July, 2012.
 24. Numanoglu Genc A., İnan, A., Yılmaz N., Balas L., Modeling of Coastal Erosion in Göksu Coasts, Journal of Coastal Research, 65, 2155-2160, 2013.
 25. Yılmaz N., Balas L., İnan A., Coastal Erosion Problem, Modelling and Protection, Ocean Science Journal, 50 (3), 589-60, 2015.
 26. Cebe K., Balas, L., Water Quality Modeling in Kaş Bay, Appl. Math. Modell., 40 (3), 1887-1913, 2016.
 27. Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineers. CEM, Coastal Engineering Manual. <http://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>. Yayın tarihi Nisan 30, 2002. Erişim tarihi Ağustos 1, 2012.
 28. Yıldız İ., Dalga akıntılarının sayısal modellenmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
 29. Balas L., İnan A., İpek, Y., Numerical Modeling of Coastal Currents, Lect. Notes Comput. Sci., 3980, 547-555, 2006.
 30. İnan A., Balas L., A Finite Difference Approach for Extended Mild Slope Equation, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 28 (2), 401-408, 2013.
 31. Atik M., Altan T. Artar M., Turizm ve Doğa “Güney Antalya Bölgesi”: Gelişmeler ve Sonuçları, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 19 (2), 165-177, 2006.
 32. Alpaslan Ö., Antalya Kıyı Bölgesi Planlama Sürecinin Kıyı Alanlarına Etkileri, Planlama, 46, 67-71, 2009.
 33. Sayan S., Antalya Kıyılarındaki Turistik Tesisler ile Çevre Arasındaki İlişkinin Peyzaj Mimarlığı Yönünden Değerlendirilmesi, Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi, 2, 14-20, 1999.
 34. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü, Antalya Bütünleşik Kıyı Alanları Planı Nihai Raporu. <http://www.csb.gov.tr/gm/mpgm/>. Yayın tarihi 2012, Erişim tarihi Eylül 30, 2015.

