

Araklı sahilindeki kıyı yapıları tasarımında sediment taşınım süreçlerinin değerlendirilmesi

Evaluation of sediment transportation processes in designing coastal structures of Araklı

Devran YAZIR^{1*}, Bekir ŞAHİN², Coşkun ERUZ³

^{1,2,3}Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
dyazir@ktu.edu.tr, bekirsahin@ktu.edu.tr, ceruz@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 13.06.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 24.10.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.19971

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz'e taşınan çapı 500 µm'den küçük olan koheziv ve koheziv olmayan sedimentler irdelenmiş ve pilot alan olarak, Trabzon-Araklı Karadere çayının mansabındaki durum incelenmiştir. Karadere'den taşınan koheziv ve koheziv olmayan sediment miktarı, rüzgâr yön ve şiddeti ile sediment sürüklenme hızındaki (derenin akış hızı) değişimin Doğu Karadeniz kıta sahanlığı çökeltme alanları üzerine etkileri incelenmiştir. Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e taşınan koheziv sedimentlerin dere ağzından itibaren çökeltme yön ve miktarları Pomsed paket programı kullanılarak, modellenmiştir. Bu model, farklı senaryolara göre koheziv sedimentlerin deniz ortamındaki dağılımını kısa zamanda belirleyebilmektedir. Araklı sahili, iki dere arasında, rüzgârlardan çok fazla etkilenmeyen, ancak Karadere havzasından gelen yoğun miktarlardaki sedimentten dolayı kıyı yığılması olan bir bölgedir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Araklı kıyılarında, Karadere'den taşınan sedimentlerle, dolma etkisinin en az olacağı, olası bir liman yapısının en uygun konum ve biçiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Olası bir liman inşası durumunda rüzgâr ve dalga akıntıları etkisiyle oluşacak sediment yığılmalarının olması durumunda liman girişlerinin sığlaşma süreleri ve dolum oranlarına dikkat çekmek amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kıyı yapıları, Araklı Karadere, Koheziv sediment, Taşınım

Abstract

In this study, depositional areas of cohesive and non-cohesive sediments of which diameters are less than 500 µm, carried by the Araklı Karadere River to the Eastern Black Sea are examined in the marine environment. Affects of changes in the amount of cohesive sediments entering the sea from Araklı Karadere River, sediment drift velocity, direction and magnitude of wind-stream on depositional areas of cohesive sediments are observed separately. Pomsed program is implemented to model the directions and amount of cohesive sediments entering to Black Sea. By the help of this model, different scenarios can easily be carried out in a short time to observe the final positions of cohesive sediments in the marine environment. Araklı coastline is between two rivers, and is not affected by the winds too much. However, the location is excessively affected by the cohesive sediments. The most proper location and form of a probable port in which siltation effect is minimum are investigated in the directions of the findings. This study points out the accumulation time and rate of the cohesive sediments caused by the wind and waves for the probable port construction.

Keywords: Coast structures, Araklı Karadere, Cohesive sediment, Transport

1 Giriş

Akarsuların sediment yükü, taşınan sediment yükünün dere ağzından denize girişi ve deniz ortamındaki dağılımı şimdiye kadar nitelik ve nicelik olarak az çalışılmış konuları oluşturmaktadır. Bu konunun az çalışılmasının sebebi ise bu olayın karmaşık ve ölçüm yapılmasının zor oluşudur. Sedimentin hareketi, taşınması ve çökmesi her hidrolik koşul için farklı özelliklerde meydana gelir. Sediment denize dere tarafından taşınmasına rağmen, sonuçta sedimentin dağılımı ve çökeltme alanı deniz ortamıdır [1]. Sedimentin denize girişi; nehir ağzının giriş açısı ve sedimentin deniz ortamında dağılımı, derelerdeki sediment birikimi ve taşınımına kıyasla daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Denize giriş yapan sedimentin bir kısmı kapalı koy ve limanlarda alıkonularak açık denize taşınmaları engellenir. Yerel şartlara göre dalga hareketleri kıyı bölgelerindeki kayaları ve kıyıyı aşındırarak kıyı çizgisinin karaya doğru ilerlemesine veya parçalanmış partikülleri kıyıya doğru taşıyarak kıyıda sediment yığılmasına, kıyı çizgisinin denize doğru ilerlemesine sebep olur. Dalgalar, açık kıyılardaki katı madde taşınımını kontrol eden ve kıyı şeklini belirleyen ana unsurdur [2]. Dalgalar, kıyı bölgelerinde sabit bir kıyı çizgisinin oluşmasına yol açar. Deniz dibi profili ve

sabit kıyı çizgisi oluşumu birbirinden ayrı olarak düşünülemez. Bu oluşumlar ve kıyı çizgisi değişimi insanların ekonomik aktiviteleri ile de çok yakından ilişkilidir [1]. Kıyı alanları, rüzgâr, dalga, akıntı gibi çeşitli dış etmenler ve kendilerini besleyen akarsular gibi kaynakların ve kendilerinden malzeme kaybına yol açan çeşitli sebeplerin etkisi altında çok uzun bir süreçte, kum, çakıl ve kil gibi katı madde (sediment) taşınımı sonucunda dengeye ulaşır. Binlerce yılla ifade edilen bu süreçte sabit kıyı alanı yapısını bozacak bir faktör etkin olmadığı sürece, kıyı alanlarında önemli ölçüde erozyon (kıyı gerilemesi) veya yığılma (kıyı ilerlemesi) durumları ile karşılaşılmaz. Kıyıların üzerinde oluşan değişikliklerin özellikle de zaman içerisinde gerçekleşen taşınım olaylarının, alansal ölçümlerle belirlenmesi veya fiziksel modellerle incelenmesi hem zor hem de pahalı çalışmalar gerektirmektedir. Her geçen gün gelişen ve kapasitesi artan bilgisayar sistemleri ile kıyılardaki sediment taşınım hareketlerinin sayısal benzeşim modelleri kullanılarak modellenmesi ve bu sayede uzun dönemler içerisinde kıyı alanında meydana gelen kıyasal değişimlerin (oyulma, yığılma) başarılı bir şekilde benzeştirilmesi sağlanabilmektedir [1],[2]. Sediment taşınım modelleri, kıyasal alanlarda hidrodinamik sistemlerdeki sediment hareketinin anlaşılabilmesini ve benzeştirilmesini amaçlar. Bir sediment taşınım modelinin

sonuçları, sediment yığılması ve aşınması miktarlarını, sediment taşınım kıyı boyu yollarını ve şekillerini, kıyı yapıları ile etkileşimlerini içerir. Sediment taşınım modellerinin büyük bir çoğunluğu, zamana göre değişen hidrodinamik ve sediment taşınım eşitliklerini çözmektedirler [3]. Bu çalışmada, Araklı Karadere'nin Doğu Karadeniz'e taşıdığı sedimentin deniz ortamındaki akıbeti POM (The Princeton Ocean Model) kullanılarak modellenmiştir. Bu çalışmada kullanılan model (POM), başta Hollanda ve Çin olmak üzere Japonya ve Hirvatistan gibi ülkelerde sıklıkla kullanılmaktadır.

Bin (2008), Yangtze nehrinden Çin denizine giren koheziv ve koheziv olmayan sedimentlerin tekrar askıya alınmalarını ve Yangtze nehrinden Çin denizine giriş yapan bu sedimentlerin kıyı alanlarına etkilerini incelemiştir. Huang (2006), derinlemesine ortalama sayısal modellerin kapasitesini arttırmak ve üç boyutlu sediment taşınım etkisini hesaplamak için yeni bir algoritma önermiştir. Wei-Bo Chen ve diğ. (2015), Danshui-nehir sisteminde askıdaki sediment taşıma modülü ile üç boyutlu, yapılandırılmamış bir hidrodinamik modelin birleşimini ve uygulanmasını sunmaktadır. Aagaard ve diğ. (2013), dağılmış, ara ve yansıtıcı kumsalın kıyısında, askıdaki sediment taşınımının alan ölçümlerini gözden geçirip sentezlemiştir. Dallali ve Armeni (2015), askıdaki sedimenttaşınımını ve türbülanslı sınır tabakasının dinamikleri üzerindeki etkisini araştırmak için sayısal simülasyonlar yapılmıştır. Büyük girdap simülasyonu, hareketin büyük ölçeklerini çözmek için kullanılırken, küçük ölçeklerin katkısı, dinamik bir Smagorinsky modeli kullanılarak parametrelendirildiklerini göstermişlerdir. Türkiye'de ise genellikle deneysel yöntemlerle çalışmalar yapılmış olup bu tür paket programlar kullanılmamıştır [1]. Yapılan bu çalışmada kullanılan POM paket programına çalışılmak istenen bölgenin batimetrik haritası girdi olarak işlenip farklı sınır şartları uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar hem kısa vadede elde edilmiş olmakta hem de maliyeti en aza indirmektedir. Karadere'den denize giriş yapan kohezivsedimentin deniz ortamındaki çökme alanları, POM Pomsed modülü kullanılarak, farklı parametre değerleri için incelenmiştir. Derenin denize giriş açısı ve akış hızı, rüzgârın hızı ve şiddeti gibi parametreler üzerinde değişiklikler yapılarak Karadere'den Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sedimentlerin deniz ortamındaki durumu hakkında bilgi edinilerek bu bilgiler doğrultusunda kıyı erozyonu ve kıyı yığılmasını engelleyecek önlemleri belirlemek amaçlanmıştır. Araklı Karadere yakınlarına olası bir liman, mendirek, dalgakıran gibi kıyı yapılarının inşa edilmesi durumunda, bu yapıların en uygun yerlere yapılması ayrıca maliyetin ve zamanın minimum seviyeye indirilmesi bu çalışmanın diğer amaçlarıdır [4],[5].

2 Teorik model

The Princeton Ocean Model (POM), üç boyutlu hidrodinamik, dalga ve sediment taşınım modelidir. Bu model, gerçekçi bir şekilde zaman bağımlı olarak su seviyesi dağılımını, akıntıyı, sıcaklığı, tuzluluğu, koheziv ve koheziv olmayan sedimenttaşınımını ve tatlı su sistemlerini simüle etmek için tasarlanmıştır. Bu model birkaç modülden oluşur. Bunlar hidrodinamik modül, sediment taşınım modülü, rüzgâr kaynaklı dalga modülü, ısı akışı modülü ve parçacık izleme modülüdür. Modelinin yapısı her bir modülün ayrı ayrı çalışabilmesini sağlar. Örneğin, sediment taşınım modülü tek başına çalıştırılabilir. Modülün gerekliliğine göre kullanıcı istediği modülü çalıştırıp veya kapatabilir [2],[3],[6].

2.1 Sediment taşınım modülü (POMSED)

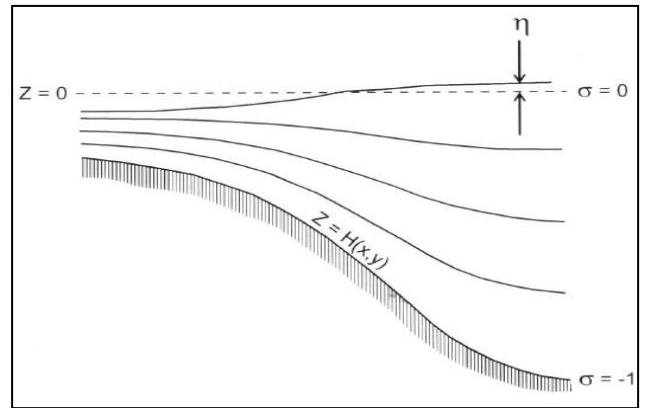
Sediment taşınım çeşitli problemlerin çözümü için hayati önem taşır. Bunlar; sulak alanların korunması, restorasyon, kıyı erozyonu, navigasyon kanallarının bakımı, inşaat çalışmalarının sudaki siltasyon ve bulanıklık etkilerinin incelenmesi gibi. Hesaplama teknolojisinin gelişmesi ile birlikte nümerik simülasyon teknolojisi bu problemlerle baş edilebilmesini sağlamaktadır [6]. Koheziv ve koheziv olmayan sedimentin çökmesini, tekrar askıya alınmasını, taşınımını ve bu taşınım sonucu sedimentlerin akıbetinin ne olacağı sediment taşınım modülü ile elde edilir. Tekrar askıya alınma ve çökme mekanizmalarının her ikisi de su ve sediment ara yüzündeki kayma gerilmesine bağlıdır. Taban kayma gerilmesinin hesaplanması sediment taşınım sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır [7],[8].

2.2 Sediment sınıfları

- Koheziv (Cohesive) Sedimentler: İnce taneli sedimentler, çapları 62.5 µm den daha az olansedimentler (kil-silt aralığı),
- Koheziv olmayan (Non-Cohesive) Sedimentler: İri parçacıklar, çapları 62.5-500 µm arasında olan parçacıklardır (ince-orta kum aralığı),
- Yatak yükü (BedLoad): İri kum, çakıl yani parçacık çapı 500 µm'den daha büyük olan parçacıklardır. Bu parçacıkların taşınımınaBedLoad Transportadı verilir,
- Sediment Sürüklenme Hızı: Derenin m/s'deki akış hızıdır,
- Askıda Katı Madde: Sedimentin dalga hareketleri ile su yüzeyinde ya da su içerisinde belirli bir derinlikte salınım yapmasıdır [2].

2.3 Sigma koordinat sistem

Genellikle sıradan bir x, y, z koordinat sistemi düzensiz, geniş batimetri alanlarında dezavantajlıdır bu yüzden tabanı ve su yüzeyini bağımsız değişkenlerle ifade edebilen yeni bir koordinat sistemi elde edilmiştir. Bu koordinat sistemine sigma koordinat ($\sigma - koordinat$) sistemi denir (Şekil 1),[2].



Şekil 1: Sigma koordinat sistem [2].

Dahili (internal) ve harici (external) korunum denklemleri (x, y, z) koordinat sisteminden (x^*, y^*, σ, t^*) koordinat sistemine dönüştürülürse,

$$x^* = x, y^* = y, \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}, t^* = t, D \equiv H + \eta \quad (1)$$

ve zincir kuralı uygulanırsa;

$$\frac{\partial G}{\partial x} = \frac{\partial G}{\partial x^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \right] \quad (2)$$

elde edilir. Benzer şekilde

$$\frac{\partial G}{\partial y} = \frac{\partial G}{\partial y^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} = \frac{\partial G}{\partial t^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial t^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial t^*} \right] \quad (4)$$

$$\frac{\partial G}{\partial z} = \frac{\partial G}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial t} = \frac{1}{D} \frac{\partial G}{\partial \sigma} \quad (5)$$

denklemleri de elde edilir.

Burada, G keyfi bir alanı ifade etmek üzere, $\sigma = 0$ için $z = \eta$ ve $\sigma = -1$ için $z = -H$ olur.

Dikey Hız:

$$\omega \equiv w - U\omega\sigma \frac{\partial D}{\partial x^*} + \frac{\partial \eta}{\partial x^*} - V\sigma \frac{\partial D}{\partial y^*} + \frac{\partial \eta}{\partial y^*} - \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial t^*} + \frac{\partial \eta}{\partial t^*} \right) \quad (6)$$

olarak tanımlanır. Yeni sınır koşulları ise,

$$\omega(x^*, y^*, 0, t^*) = 0, \quad \omega(x^*, y^*, -1, t^*) = 0 \quad (7)$$

şeklinde. Her hangi bir entegre miktarı olan G ,

$$\bar{G} = \int_{-1}^0 G d\sigma \quad (8)$$

olarak hesaplanır.

2.4 Sediment konsantrasyonu için korunum denklemi

Sediment taşınımı için üç boyutlu yayılım (advection) ve saçılım (dispersion) denklemi ($k=1,2$) olmak üzere, burada $k=1$ için koheziv sediment, $k=2$ için koheziv olmayan sedimenti ifade eder.

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{\partial UC_k}{\partial x} + \frac{\partial VC_k}{\partial y} + \frac{\partial (W - W_{S,k})C_k}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial C_k}{\partial y} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

dir. Burada,

U, V, W : 3-D hız vektörü,

C_k : Sediment konsantrasyonu,

$W_{S,k}$: Çökme hızı,

A_H : Yatay difüzyon,

K_H : Dikey girdap difüzyonu,

Sınır şartları ise;

$$K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} = 0, z \rightarrow \eta \quad (10)$$

$$K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} = E_k - D_k, z \rightarrow -H \quad (11)$$

E_k : Askıda madde (resuspension) akısı,

D_k : Çökme akısı,

η : Su yüzeyi ile ortalama deniz seviyesi arasındaki düşey uzaklık,

H : Belirli bir noktadan tabana olan batimetrik derinliktir [2].

2.5 Koheziv sedimentlerin tekrar askıya alınmaları

Laboratuvar deneyleri ve alan çalışmaları, zırlama (flocculation) sonucu olarak sabit kesme gerilmesine maruz kalan koheziv sediment yatağındaki yalnızca sınırlı miktarda sedimentin tekrar askıya alındığını ortaya koymuştur [9],[10]. Gailanive diğ. (1991)'e göre koheziv sediment yatağından tekrar askıya alınan ince taneli sediment miktarı,

$$\varepsilon = \frac{a_0}{T_d^m} \left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c} \right)^n \quad (12)$$

ile elde edilir. Burada,

ε : Askıda katı madde potansiyeli,

a_0 : Kaynak özelliğine bağlı sabit,

T_d : Çökme sonrası geçen zaman,

τ_b : Yatak kayma gerilmesi,

τ_c : Erozyon için kritik kayma gerilmesi,

m, n : Çökme çevresine bağlı sabitler.

Bu parametreler genel olarak Shaker çalışmaları sonucunda belirlenmiştir. Shaker çalışmaları en az 12 akuatik sistemde yapılmıştır ve sayısız sediment taşınım modelinde kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar bize su sütunlarındaki sedimentlerin aniden tekrar askıya alınmadıklarını, belirli bir zaman periyodu sonrası bu yaklaşık bir saat sonra askıya alındıklarını göstermektedir [2],[11].

2.6 Koheziv sedimentlerin çökelmeleri

Koheziv sedimentlerin çökme oranı sediment akısına ve sedimentlerin topaklanma olasılığına bağlıdır [12]. Krone (1962)'e göre formülasyon şöyledir:

$$D_1 = -W_{s,1} C_1 P_1 \quad (13)$$

$$P_1 = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Y e^{-\frac{\omega^2}{2}} d\omega \quad (14)$$

$$Y = 2.04 \log [0.25 \left(\frac{\tau_b}{\tau_{b,min}} - 1 \right) e^{1.07 \tau_{b,min}}] \quad (15)$$

Burada,

D_1 : Çökme akısı ($gcm^{-2}s^{-1}$),

$W_{s,1}$: Koheziv sediment topaklarının çökme hızı ($cm s^{-1}$),

C_1 : Askıda koheziv sediment konsantrasyonu ($g cm^{-3}$),

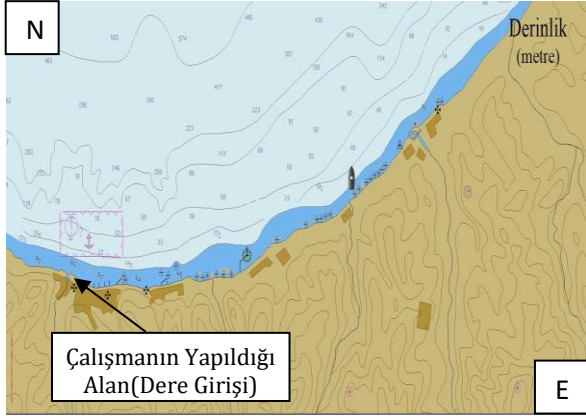
P_1 : Çökme olasılığı.

İndislerdeki 1 ifadesi koheziv sediment olduğunu göstermektedir.

Burban ve diğ. (1990), yaptığı çalışmada koheziv sediment yumaklarının çökme hızını geniş bir konsantrasyon ve kesme gerilmesi aralığında ölçmüştür. Bu çalışmanın deneysel sonuçları, koheziv sediment yumaklarının çökme hızı konsantrasyon ürünü, sediment yumaklarının yapısı ve su kolonlarındaki kesme gerilmesine bağlı olduğunu ortaya koymuştur [13].

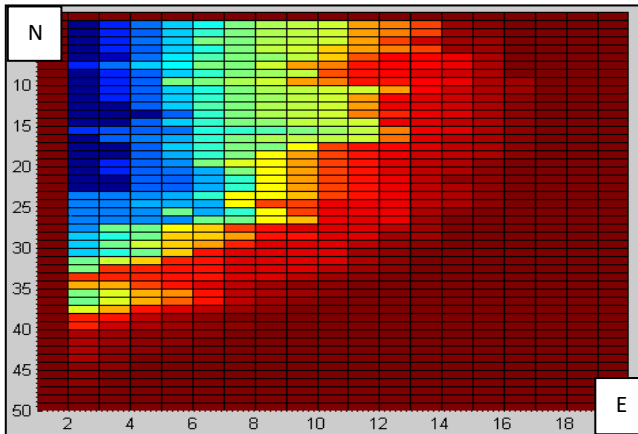
2.7 Modelin kurulması

Doğu Karadeniz'e ait batimetrik haritası (Şekil 2) kullanılarak çalışma alanı olan Karadere Çayı mansabından başlayarak 50 km'lik kıyı çizgisi boyunca ve açık deniz su kütlesi 50x20 ölçülerinde çözüm ağı sistemi (gridleme) yapılarak her bir grid alanına karşılık gelen ortalama derinlik değeri yazılıp modele giriş yapılmıştır. Burada 50x20 ölçülerinde çözüm ağı sisteminin alınmasının sebebi veri çokluğunu azaltarak uygulanan modelin sonuçlarını daha kısa zamanda almaktır. Bütün Şekillerde sol alt köşeler $x=0$ ve $y=0$ başlangıç noktalarıdır. Doğu yönü x-bileşenini, kuzey yönü y-bileşenini derinlik ise z-bileşenini temsil etmektedir.



Şekil 2: Doğu Karadeniz kıyılarındaki Karadere çayı ile ilgili batimetrik harita [16].

Yapılan bu ağ (mesh) alanı ve ağ göz sayısı isteğe göre artırılabilir ya da azaltılabilir. Model çalışma alanında, on günün sonucunda meydana gelen sediment miktarındaki değişimi incelemek için kurulmuş olup bu süre bilgisayardayaklaşık 12 sa. sürmektedir. Bu on (10) günlük süre isteğe bağlı olarak artırılır veya azaltılır. Model için kullanılan bilgisayar 12 GB Ram kapasiteli, 2.80 GHz işlemci hızı ve Intel Core i7 işlemci teknolojisine sahip dizüstü bilgisayardır. Çözüm ağı işlemi yapıldıktan sonra POM-Pomsed programı sediment taşınım modülünün çalıştırılması ile elde edilen topografik/batimetrik veriler MATLAB programı kullanılarak suretiyle sayısal topografik veri haritası elde edilmiştir. Matlab programından elde edilen topografik veri grafiği Şekil 3'teki gibidir.



Şekil 3: Doğu Karadeniz'in matlab programından elde edilen topografyası.

Doğu Karadeniz'de olduğu gibi çalışma bölgesinde de su derinliği kıyından itibaren hızlı bir şekilde artmaktadır (Şekil 4). Bu artış lineer olmayıp ani ve rastgele biçimde olmaktadır. Derinlikteki ve düzensiz ani artış sonucunda koheziv sedimentlerin çökme alanları ve tekrar askıya alınmaları daha karmaşık bir yapıda olmaktadır.



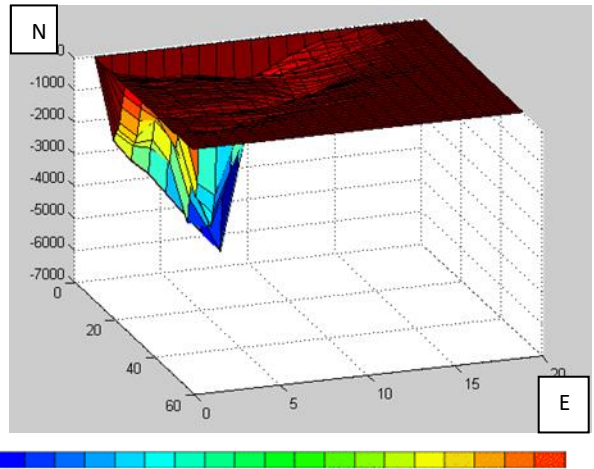
Şekil 4: Çalışma alanının uydudan görüntüsü [14].

3 Uygulamalar

Aşağıda ifade edilen durumlardaki rüzgâr hız ve yönleri, sediment sürüklenme hızı ve Araklı Karadere'den Karadenize giriş yapan koheziv sediment miktarı gibi sayısal veriler Şekil 18'den ve bu bölgede yapılmış deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş veriler doğrultusunda gerçek durumlar dikkate alınarak senaryolaştırılmış ve Tablo 1'de özet olarak verilmiştir [16]-[18],[24].

3.1 Durum 1

Rüzgârın kuzey-doğu yönünde (geliş yönü) minimum 3 km/s şiddetinde esmesi (Şekil 18) ve sediment sürüklenme hızının minimum 0.001 m/s olması yani havanın rüzgarsız, akış hızının yavaş olması durumunda Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sedimentler dere girişinin doğu yönünde ve kıyından 200 m açıktan itibaren yoğun miktarda çökmektedirler. Sedimentlerin çökme yoğunluğu 200 m'den kıyıya yaklaştıkça kademeli olarak azalmaktadır (Şekil 5).

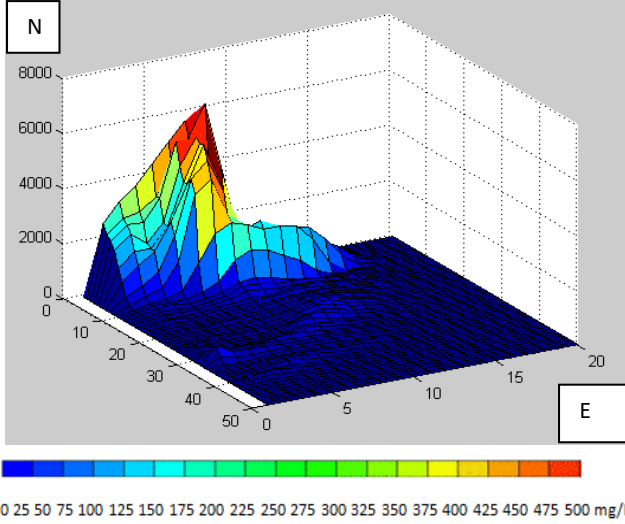


500 475 450 425 400 375 350 325 300 275 250 225 200 175 150 125 100 75 50 25 0 mg/l

Şekil 5: Durum 1 için koheziv sedimentlerin çökme alanları.

Koheziv sedimentlerin açıkta çökelmelerinin başlıca sebebi rüzgârın yönünün kuzey-doğu yönünde olmasıdır. Karadeniz kıyılarımızda batı-doğu yönlü akıntı oluşur [15].

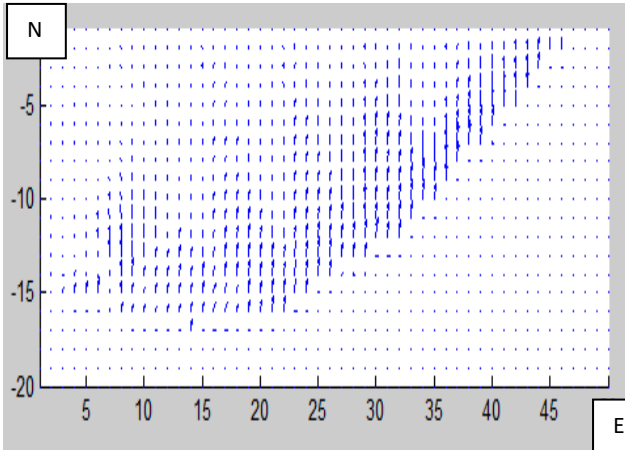
Doğu Karadeniz’de akıntının yönü batıdan-doğuya doğru olduğu için ve rüzgârın da etkisiyle yığılma işlemi dere girişinin doğu yönünde yoğun miktarlarda olmaktadır (Şekil 6).



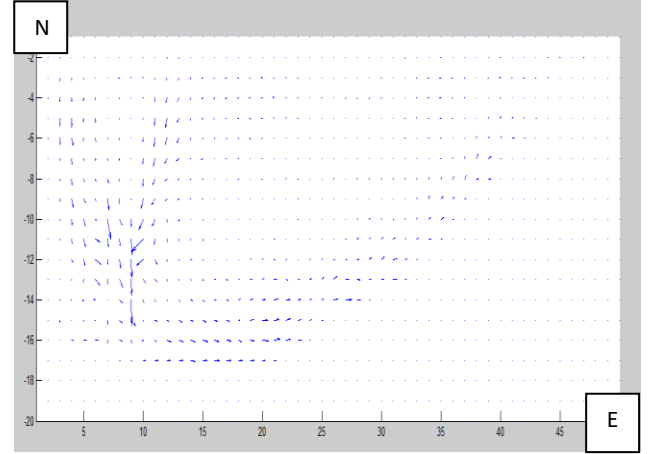
Şekil 6: Durum 1 için koheziv sedimentlerin yığılma alanları.

Bu veriler dikkate alınarak şu sonuca ulaşılır, rüzgârın kuzey-doğu yönünde minimum şiddette olması ve dere-akış hızının küçük olması durumunda Araklı-Karadere’nin taşıdığı koheziv sedimentler Doğu Karadeniz’de dere girişinin doğu yönünde ve 200m açıkta yoğun miktarda, kıyı alanlarında ise az miktarda çökelmektedirler.

Şekil 7’deki vektörler koheziv sedimentlerin Araklı Karadere’den denize ulaştıktan sonra deniz ortamındaki davranışlarını (yönlerini) göstermektedirler. Şekil 8’deki vektörler ise deniz ortamındaki akıntının yönünü göstermektedirler.



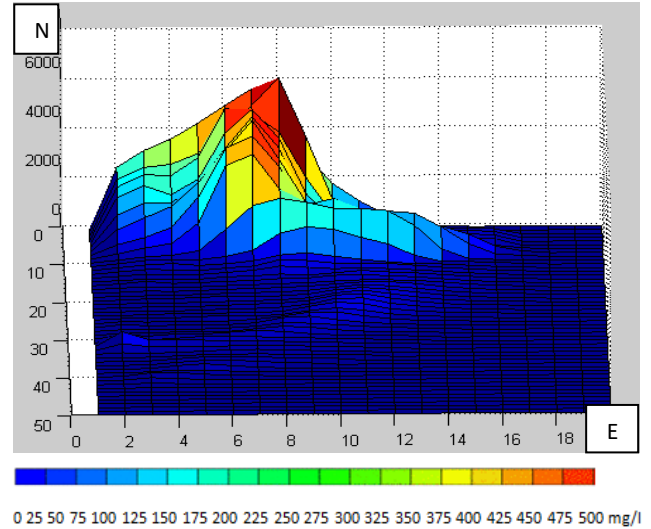
Şekil 7: Durum 1 için denizdeki koheziv sedimentlerin davranışları.



Şekil 8: Durum1 için denizdeki akıntının yön etkisi.

3.2 Durum 2

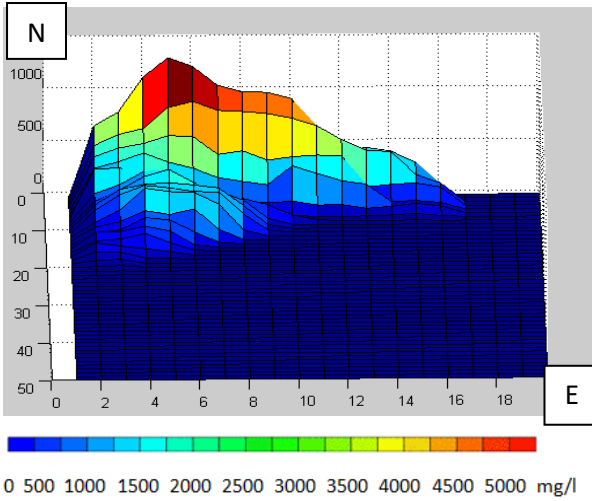
Durum 1’deki rüzgârın yönü ve şiddeti sabit tutulup ayrıca dereden Doğu Karadeniz’e giriş yapan koheziv sediment miktarı da aynı tutulmak koşulu ile sadece Araklı Karadere’nin akış-hızı arttırılırsa dere girişinin doğu yönündeki çökelen koheziv sediment yoğunluğu arttığı belirlenmiştir (Şekil 9). Artan sediment sürüklenme hızı ile Coriolis kuvveti de doğru orantılı olarak artmaktadır. Artan bu kuvvet koheziv sedimentleri dere girişinin doğu yönüne doğru hareketlenmelerini sağlamak ve koheziv sedimentlerin çökelmeleri de dere girişinin doğu yönünde daha yoğun miktarda olmaktadır.



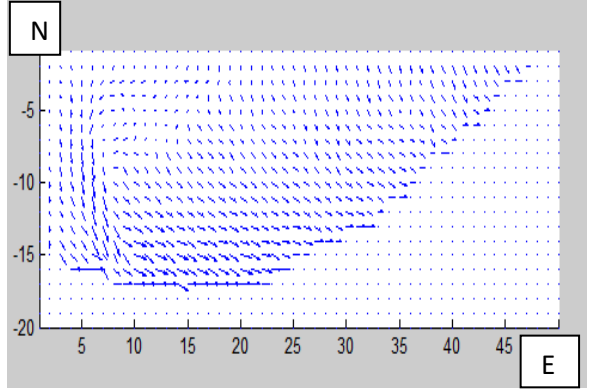
Şekil 9: Durum2 için koheziv sedimentlerin yığılma alanları.

3.3 Durum 3

Rüzgârın güney-doğu yönünde orta şiddette 10 km/s hızında esmesi (Şekil 18) ve Araklı Karadere’deki koheziv sedimentlerin sürüklenme hızının minimum düzeyde 0.001 m/s olması durumunda dereden Doğu Karadeniz’e giriş yapan koheziv sedimentler dere girişinin doğu yönünde, açıktaki bölgelerde yoğun miktarlarda çökelmektedirler (Şekil 10 ve Şekil 11) ve bu çökeltme işlemi dere girişinden doğu yönüne doğru gidildikçe azalan bir eğilim göstermektedir.



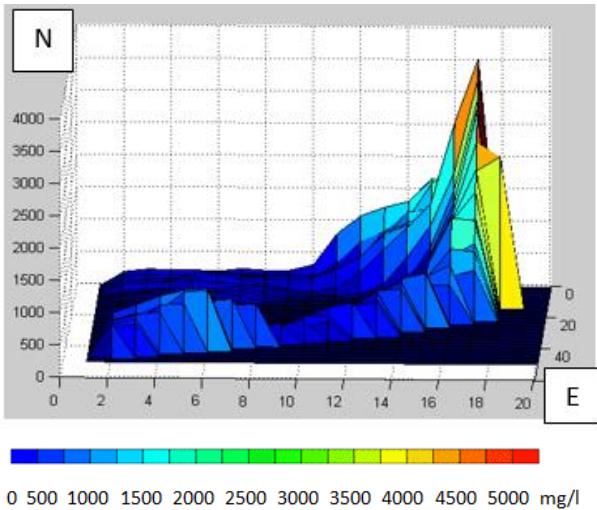
Şekil 10: Durum 3 için koheziv sedimentlerin yığılma alanları.



Şekil 11: Durum 3 için koheziv sedimentlerin davranışları.

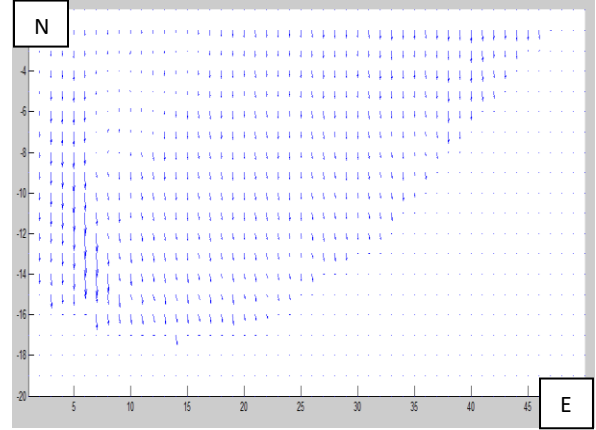
3.4 Durum 4

Durum 3'teki rüzgârın yönü ve şiddeti sabit tutulup ayrıca Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sediment miktarının aynı kalması koşulu ile sadece sediment sürüklenme hızının maksimum seviye 1 m/s çıkarılması durumunda Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sedimentler dere girişinin doğu yönünde ve dere girişinden uzaklaştıkça yoğunluğu artan şekilde kıyıya yakın alanlara çökelmektedirler (Şekil 12).



Şekil 12: Durum 4 için koheziv sedimentlerin yığılma alanları.

Sediment sürüklenme hızının maksimum olması Coriolis kuvvetini arttırmakta dolayısı ile Coriolis kuvvetinin etkisiyle koheziv sedimentler dere girişini doğu kısmına yönlendirmekte ve dere girişinin doğusunda dere ağzına uzak ancak kıyıya yakın bölgelerde yoğun miktarlarda çökelmektedirler.

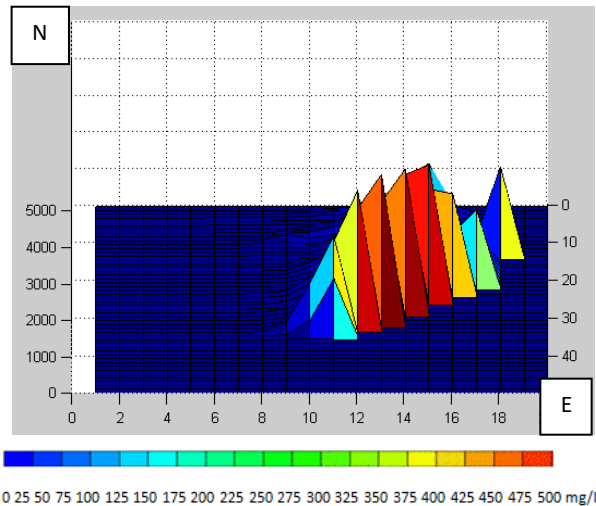


Şekil 13: Durum 4 için koheziv sedimentlerin davranışları.

Coriolis kuvveti sediment sürüklenme hızı ile doğru orantılı olarak artan ve kuzey yarım kürede batıdan doğuya doğru hareket eden bir kuvvet dir. Rüzgârın güney-doğuya doğru olması ise koheziv sedimentlerin kıyıya yakın alanlara hareket etmelerini sağlamaktadır (Şekil 13). Bu sebeplerden dolayı Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sedimentler dere girişinin doğu tarafında, dere girişinden uzak ve kıyıya yakın alanlara çökelmektedirler.

3.5 Durum 5

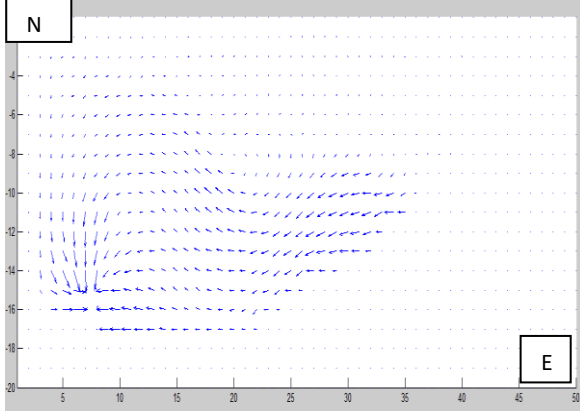
Rüzgârın olmadığı (Şekil 18), sediment sürüklenme hızının minimum 0.001 m/s ve dreden denize giriş yapan koheziv sediment miktarının az (500 mg/l) olduğu durumda Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sedimentlerin dere girişinin doğu yönünde dere girişine uzak alanlarda ve kıyıya yakın bölgelerde yığılma yaptığı görülmektedir (Şekil 14).



Şekil 14: Durum 5 için koheziv sedimentlerin yığılma alanları.

Bu yığılmanın en önemli sebeplerinden birisi Coriolis kuvvetidir. Yani Coriolis kuvveti kuzey yarımkürede batıdan doğuya doğru olduğundan denize giriş yapan koheziv sedimentleri dere girişinin doğu tarafına yönlendirmektedir

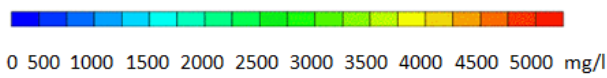
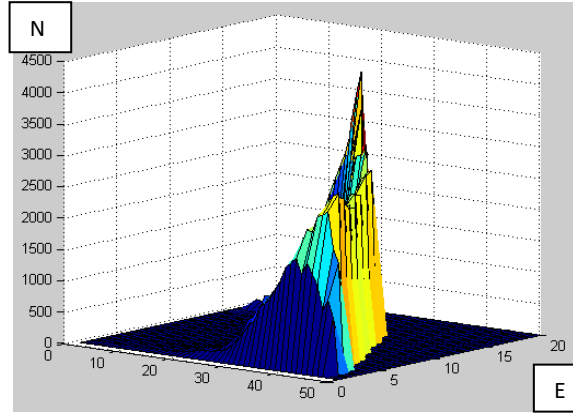
(Şekil 15). Dere girişinin doğu tarafına yönlendirilen koheziv sedimentler akıntısının etkisiyle dere girişinden uzak alanlara taşınmakta ve çökeltmede bu alanlarda gerçekleşmektedir.



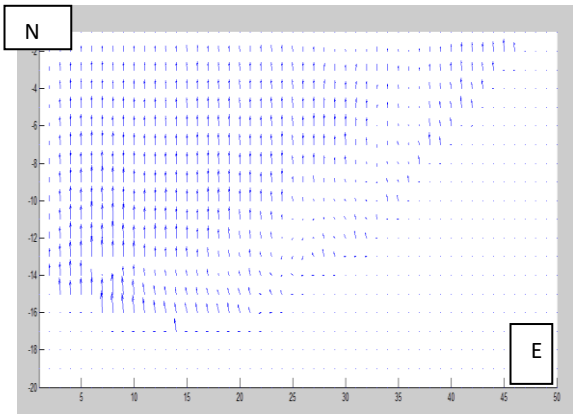
Şekil 15: Durum 5 için koheziv sedimentlerin davranışları.

3.6 Durum 6

Rüzgârın kuzey-batı yönünde esmesi, rüzgâr şiddetinin çok büyük 28 km/s olması (Şekil 18) ve sediment sürüklenme hızının maksimum seviyede 1 m/s olması durumunda Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sedimentlerin dere girişinin her iki yönüne ve kıyıya yakın alanlara çökeldiği gözlemlenmiştir (Şekil 16 ve Şekil 17).



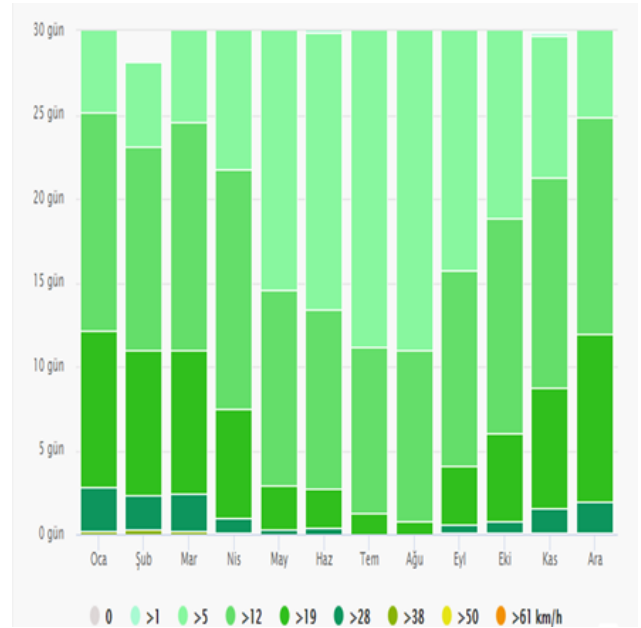
Şekil 16: Durum 6 için koheziv sedimentlerin yığılma alanları.



Şekil 17: Durum 6 için koheziv sedimentlerin davranışları.

Sediment sürüklenme hızının büyük olması Coriolis kuvvetini arttırmakta ve bu kuvvet koheziv sedimentleri dere girişinin doğu tarafına çökeltmesini sağlamaktadır. Rüzgârın kuzey-batı yönünde olması ise sedimentleri dere girişinin batı tarafına çökeltmesini sağlamaktadır. Dere girişinin doğu kısmına çökelen koheziv sediment miktarının dere girişinin batı tarafına çökelen koheziv sediment miktarından daha fazla yoğunlukta olmasının sebebi ise Coriolis kuvvetinin etkisinin rüzgârın etkisine göre daha fazla olmasıdır.

Tüm durumlara bakıldığında farklı şartlarda Araklı Karadere girişinden Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sedimentlerin çökeltme alanının büyük yoğunluğunun dere girişinin doğu yönünde olduğu saptanmıştır. Bu bölgeye yapılması olası bir limanın uygun konuma yapılabilmesi için bu durumlardan elde edilen sonuçlar dikkate alınarak yapılması hem işlevsel hem zaman hem de maliyet açısından kazanç sağlayacaktır.



Şekil 18: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Trabzon ili 2016 yılına ait rüzgâr hızı [24].

Tablo 1: Çalışılan durumlar.

| | Sediment Sürüklenme Hızı | Rüzgâr Hızı | Denize Giriş Yapan Sediment Miktarı |
|---------|--------------------------|-------------|-------------------------------------|
| Durum 1 | 0.001 m/s | 3 km/s | 500 mg/l |
| Durum 2 | 0.01 m/s | 3 km/s | 500 mg/l |
| Durum 3 | 0.001 m/s | 10 km/s | 5000 mg/l |
| Durum 4 | 1 m/s | 10 km/s | 5000 mg/l |
| Durum 5 | 0.001 m/s | 0 km/s | 500 mg/l |
| Durum 6 | 1 m/s | 28 km/s | 5000 mg/l |

4 Tartışma ve Sonuçlar

Doğu Karadeniz bölgesi genelde yağışlı bir bölge olduğu için derelerin Doğu Karadeniz'e taşıdığı sediment miktarları yoğun olmaktadır. Bu yüzden dere ağızlarına ya da dere yakınlarına yapılan liman ya da mendirekler vb. kıyı yapıları için uygun yerlerin belirlenmesi ve bu yerlerin en işlevsel şekilde kullanılmasının sağlanması Doğu Karadeniz bölgesinde için zor bir durumdur [16],[17]. Araklı Karadere de bu duruma uygun bir örnektir. Doğu Karadeniz'in antik çağdan günümüze en önemli ve uygun doğal liman özelliğine sahip Araklı Karadere

mansabı bölgenin zengin sediment potansiyeli ile geçen süreçte dolarak doğal liman özelliğini kaybetmiştir [16]. Bol sediment taşıyan Karadere'nin boşaldığı Sürmene Koyu içerisinde Karadere'nin Doğu Karadeniz'e taşıdığı sedimentlerin nasıl bir taşınım davranışı gösterdiği ve çökeldiği POM Pomsed paket programı kullanılarak modellenmiştir. Pomsed paket programının çalıştırılması sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda sedimentlerin çökme alanları belirlenmiş ve bu işlemin sonucu olarak, sediment taşınımı göz önüne alınarak olası bir liman tasarımı için Araklı Karadere yakınlarındaki en uygun alan saptanmaya çalışılmıştır. Rüzgârın kuzey-doğu yönünde esmesi ve dere akış hızının küçük olması durumunda Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sedimentler dere girişinin doğu yönünde ve kıyıda 200 m uzakta yani açıkta yoğun miktarlarda çökelmektedirler. Koheziv sedimentlerin açıkta çökelmelerinin başlıca sebebi rüzgârın kuzey-doğu yönünde olmasıdır. Doğu Karadeniz'de akıntının yönü batıdan doğuya doğru olduğu için ve rüzgârın da etkisiyle çökme işlemi dere girişinin doğu-yönünde yoğun miktarlarda olmaktadır [1]. Dere girişinin doğu yönündeki sediment çökme yoğunluğu dere girişinden doğu-yönüne gittikçe kademeli olarak azalmaktadır.

Rüzgârın güney-doğuya yönünde orta şiddette (7-10 m km/s) esmesi ve Araklı Karadere'deki koheziv sedimentlerin sürüklenme hızının minimum seviyede (0.001 m/s) olması durumunda dereden Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sedimentler dere girişinin doğu-yönünde, dere girişine yakın ve dere akıntısının istikametindeki bölgelerde yoğun miktarlarda çökelmektedirler. Bu çökme işlemi dere girişinden doğu-yönüne doğru gidildikçe azalan bir eğilim göstermektedir. Rüzgârın yönü ve şiddeti sabit tutulup ayrıca Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sediment miktarının aynı kalması koşulu ile sadece sediment sürüklenme hızının maksimum seviyeye (1 m/s) çıkarılması durumunda Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e giriş yapan koheziv sedimentler dere girişinin doğu-yönünde ve dere girişinden uzaklaştıkça yoğunluğu artan şekilde kıyıya yakın alanlara çökelmektedirler. Rüzgarsız, durgun hava şartlarında bile batıdan doğuya doğru akıntının olması çökme işlemi yine dere girişinin doğu kısmında meydana gelmesini sağlamaktadır ancak rüzgâr kuzey-batı yönünde eserse ve sediment sürüklenme hızı da küçük olursa sedimentler dere girişinin batı yönünde de çökülürler. Sonuç olarak Araklı Karadere'den Doğu Karadeniz'e giren sedimentler büyük oranda dere girişinin doğu-yönünde ve sediment sürüklenme hızına bağlı olarak açıkta veya kıyıya yakın yerlerde çökelmektedirler. Olası bir liman yapımında bu sonuçlar göz önüne alınacak olursa limanın ya dere ağzının batı yönüne yapılması gerekmekte ya da dere ağzının doğu kısmına yapılacaksa mendireğin dış tarafı dere ağzına gelecek şekilde yapılması gerekmektedir. Araklı Karadere bölgesi iki dere arasında kaldığından dolayı yapılacak olan olası limanın dere ağzının doğu kısmına yapılması durumunda Küçükdere çayından gelecek sedimentleri engellemek için yeni bir mendirek inşa edilmeli ve bu mendirek Karadere tarafından gelen mendirekten daha küçük ve Karadere tarafından gelen mendireğin içinde yer alacak şekilde inşa edilmelidir. Araklı Karadere'nin doğu kısmında mevcut olan dalgakıranlar hem konum olarak hem de sayıca yanlış bir planlama ile inşa edilmiştir. Dalgakıranlar yanlış konuma inşa edildiklerinden dolayı kıyı yığılmasına yol açmaktadır ve konumlarının birbirlerine yakın olmasının maddi zararları da vardır. Gereğinden fazla dalgakıran inşası her bir dalgakıran için fazladan harcanan maddi bir zarardır.

Dere girişinin batı yönüne sediment çökmesi az olduğu için olası bir liman inşa edilebilir ancak orada kuzey-batı rüzgârlarının etkili olmasından dolayı dere girişinin doğu yönüne liman yapılması daha uygun olmaktadır. Liman ağzını doğuya döndürerek yıldız ve karayel rüzgârları engellenir, sediment te taşınmaz ise çok kullanışlı bir liman olur. Limana sediment girişini önlemek mendireğin sırt kısmı dere girişi tarafında kalacak şekilde tasarlanmalıdır.

5 Kaynaklar

- [1] Ülger M. Kıyı Boyu Sediment Taşınımının Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2006.
- [2] HydroQual, Inc. A Primer for ECOMSED Manual. Version 1.3, USA, 2002.
- [3] Hydrotam-3D Modüller. "Hydrotam-3D SedimanTaşınımModelleme". <http://hydrotam.com/sediman.html> (10.08.2016).
- [4] Orman H, Batuhan G. "Nehir tipi hidro-elektrik santrallerin çevresel ve sosyal etkilerinin ulusal havza yönetimi stratejisi ekseninde değerlendirilmesi". *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 4. Su Yapıları Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, 19-21 Kasım, 2015.
- [5] Ürker O, Çobanoğlu N. "Türkiye'de hidroelektrik santraller'in durumu (HES'ler) ve çevre politikaları bağlamında değerlendirilmesi". *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 65-88, 2012.
- [6] Lick W, Lick J, Ziegler CK. "There suspension and transport of fine-grained sediments in lake erie". *Journal Great Lakes Research*, 20(4), 599-612, 1994.
- [7] El Kheishy K, Mccorquodale J, Georgiou I, Meselhe E. "Three dimensional hydrodynamic modeling over bed forms in open channels". *International Journal of Sediment Research*, 25(4), 431-440, 2010.
- [8] Mellor GL, Blumberg AF. "Modeling vertical and horizontal viscosity and the sigma coordinate system". *Monthly Weather Review*, 113, 1379-1383, 1985.
- [9] Tsai C, Lick W. "Flocculation of fine-grained lake sediments due to a uniform shear stress". *Journal of Great Lakes Research*, 13(2), 135-146, 1987.
- [10] Gailani J, Ziegler CK, Lick W. "The transport of sediments in the foxriver". *Journal Great Lakes Research*, 17, 479-491, 1991.
- [11] Ziegler CK, Nisbet BS. "Fine-Grained sediment transport in pawtuxet river, Rhode Island". *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 120(5), 561-576, 1994.
- [12] Krone RB. "Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarial Shoaling Processes". Final Report. Hydraulic Engr. LabSanitary EngrResLab, University of California, Berkeley, 110, 1962.
- [13] Burban PY, Xu Y, McNeil J, Lick W. "Settling speeds of flocs in fresh and seawaters". *Journal of Geophysical Research*, 95(C10), 18213-18220, 1990.
- [14] GoogleHaritalar."GoogleMaps". <https://www.google.com/maps> (14.10.2016).
- [15] Tekne Dergisi. "Deniz Suyu Özellikleri ve Akıntılar". <http://www.teknedergisi.com/deniz-suyu-ozellikleri-ve-akintilar> (14.10.2016).
- [16] Eruz C, Köse E, Güneroğlu A, Basar E, Sivri N, Feyzioğlu M, Toraman Ç. "Doğu Karadeniz akarsularında askıda katı madde dinamiği". *Türk Sucul Yasam Dergisi*, 3(1), 235-239, 2005.

- [17] Malkoç Y, Durukanoğlu F, Özer F. "Doğu Karadeniz'de deniz iklimi ve su ürünleri". *Doğu Anadolu Bölgesi II. Su ürünleri Sempozyumu*, Erzurum, Türkiye, 14-16 Haziran 1995.
- [18] Sensoy S, Demircan M, Ulupınar Y, Balta İ. "Türkiye İklimi". 1. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2008.
- [19] Bin C. "Suspended sediment transport in the offshore near yangtz estuary". *Journal of Hydrodynamics*, 20(3), 373-381, 2008.
- [20] Huang S. "Numerical modeling of suspended sediment transport in channel bends". *Journal of Hydrodynamics*, 18(4), 411-417, 2006.
- [21] Chen W, Cheng-Li W, Hsu M, Hwang C. "Modeling investigation of suspended sediment transport in a tidal estuary using a three-dimensional model". *Applied Mathematical Modelling*, 39(9), 2570-2586, 2015.
- [22] Aagaard T, Greenwood B, Hughes M. "Sediment transport on dissipative, intermediate and reflective beaches". *Earth-Science Reviews*, 124, 32-50, 2013.
- [23] Dallali M, Armeni V. "Large-Eddy simulation of two-way coupling sediment transport". *Advances in Water Resources*, 81, 33-44, 2015.
- [24] T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "2016 Yılı Trabzon İli için Rüzgâr Hızı Verileri". <https://www.meteoblue.com/tr/hava/tahmin/modelclimate/trabzon> (21.09.2017).