

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Gelis/Received</u> 05.09.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 29.03.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.336784	

Deniz dibi tarama malzemesinin faydalı kullanımı için yıkama-eleme tesisi tasarımı ve yıkama-eleme prosesi atıksuyunun yönetimi

Hatice Merve Başar^{*1}, Barış Güzel, Pembe Özer-Erdoğan, Selda Murat-Hocaoğlu, Doğan Özel, Şeyla Ergenekon, Leyla Tolun

ÖZ

Deniz dibi tarama faaliyetlerinden kaynaklanan dip tarama malzemelerinin (DTM) yönetimi küresel bir sorundur. Ülkemizde DTM'ler genellikle dökü gemileriyle açık denize boşaltılmakta ve sucul ortam için ciddi bir risk teşkil etmektedir. Bu çalışmada, dip tarama faaliyetleri neticesinde ortaya çıkan DTM'lerin ve yıkama atıksularının karakterizasyonu belirlenmiş ve DTM'nin beton uygulamalarında ince agrega olarak faydalı kullanımı için bir yıkama-eleme tesisi tasarımı yapılmıştır. Ayrıca, kurulması planlanan yıkama-eleme tesisinin pilot bölgeler için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile DTM'nin yıkama-eleme ön işlemine tabi tutulması durumunda yüksek klorür, sülfat ve su içeriğinin giderilerek ince agrega olarak beton çalışmalarında kullanılabileceği, oluşan yıkama-eleme atıksuyunun kanalizasyona/denize deşarjına risk oluşturacak herhangi bir kirletici içermediği belirlenmiştir. Olası 1.500 m³/gün kapasiteli bir DTM yıkama-eleme tesisinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin sırasıyla 6.753.600 TL ve 2.366.810 TL ve birim maliyetinin ise 6,3 TL/ton olacağı tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deniz Dibi Tarama Malzemesi, Faydalı Kullanım, Yıkama-Eleme Tesisi, Atıksu Karakterizasyonu, Atıksu Yönetimi

Washing-sieving plant design for the beneficial use of marine dredged material and management of wastewater from washing-sieving process

ABSTRACT

The management of dredging materials (DM), which is generated from marine dredging activities is a global problem. DMs in our country are usually dumped at sea by barges and pose a serious risk to the aquatic environment. In this study, the characterization of the DMs excavated by dredging operations and the characterization of their washing wastewaters are determined and the design of a washing-sieving plant for the beneficial use of DM as a fine aggregate in concrete applications is carried out. Furthermore the cost analysis of the washing-sieving plant planned to be established for pilot regions is performed. The findings of this study indicate that DM can be used as a fine aggregate in concrete applications in case of subjecting to the washing-sieving pre-treatment process, generated washing-sieving wastewater does not involve any contaminant causing a risk to the sewage/sea discharge. The first investment and operating costs of possible DM washing-sieving plant's having a capacity of 1,500 m³/day are predicted to be 6,753,600 TL and 2,366,810 TL, respectively, and the unit cost is presumed as 6.3 TL/ton.

Keywords: Marine Dredged Material, Beneficial Use, Washing-Sieving Plant, Wastewater Characterization, Wastewater Management

¹ Beykent Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Sarıyer, 34398, İstanbul, Türkiye hmervebasar@gmail.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Deniz dibi tarama faaliyeti, limanlarda, marinalarda ve su kanallarında zaman içinde akıntı ile biriken malzemenin alınması suretiyle derinliğin artırılması ve iyileştirilmesi, remediasyon, rekreasyon ve taşkın yönetimi için yapılmaktadır [1-3]. Gerçekleştirilen tarama faaliyetleri sonucu yüksek miktarlarda tarama malzemesi ortaya çıkmaktadır. Fransa'da yılda 50 milyon m³ [4,5], ABD'de 400 milyon m³, Hollanda'da 40 milyon m³ [6], Almanya'da 40-50 milyon m³ [7], Japonya'da 25-30 milyon m³ [8] ve ülkemizde ise yılda yaklaşık 3 milyon m³ dip tarama malzemesi (DTM) çıkarıldığı tahmin edilmektedir. Çevresel yönetimi küresel bir problem [9] olan DTM'nin yönetiminde denize boşaltım, bertaraf ve faydalı kullanım olmak üzere üç alternatif mevcuttur [10]. Ülkemizde DTM'ler genellikle dökü gemileriyle açık denize boşaltılmakta iken, gelişmiş bazı ülkelerde tehlikeli özellik gösteren DTM'lerin bertaraf edildiği, tehlikesiz özelliğe sahip olanların ise ham madde olarak kullanıldığı görülmektedir. Denize boşaltım; sucül ortam için ciddi bir risk teşkil etmekle birlikte [10] bertaraf seçeneği hem maliyetli oluşu, hem de geniş alanlar gerektirmesi nedeniyle tercih edilememektedir [11,13]. Bu nedenle, DTM'nin ham madde olarak çeşitli uygulama alanlarında faydalı kullanımının değerlendirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. DTM'nin ham madde olarak değerlendirmesinde üç temel faydalı kullanım alternatifi [14] sunulmaktadır: (a) mühendislik kullanımları, diğer bir deyişle, arazi iyileştirme, arazi ıslahı, kumsal besleme, kıyı koruma, günlük ara örtü ve kaplama malzemesi; (b) sulak alan oluşturmayı da içeren çevresel iyileştirme ve (c) tarımsal/ürün kullanımları, örneğin, iyileştirilmiş yüzey toprağı, inşaat dolgu malzemeleri, tuğla, seramik, hafif agrega ve karayolu alt taban malzemesi [3,15-27].

DTM'ler inorganik karakterde malzemeler olup tarama faaliyetleri neticesinde karaya çıkarılmaları halinde atık olarak değerlendirilmekte ve atık mevzuatına tabi olmaktadırlar. 02.04.2015 tarihli ve R.G. 29314 sayılı Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY)'ne göre DTM; 17 05 05* (tehlikeli maddeler içeren dip tarama çamuru) ve 17 05 06 (17 05 05 dışındaki dip tarama çamuru) atık kodları ile tanımlanmaktadır [28]. AYY madde 19'da bir atığın "yan ürün" olarak kullanılabilmesi için sağlanması gereken kriterler yer almakta olup

bu kapsamda DTM'lerin de "yan ürün" olarak kullanımı mümkün olabilmektedir. DTM'nin faydalı kullanımının teknik, çevresel ve ekonomik açıdan uygunluğunun tespit edilmesi halinde beton, peyzaj, karayolu uygulamaları gibi faydalı kullanım seçeneklerinde "yan ürün" olarak değerlendirilebilmesi mümkündür; ancak, DTM'nin öncelikle ön işleme tabi tutularak yüksek klorür ve sülfat içeriğinin azaltılması ve ince fraksiyonun (<63 µm) uzaklaştırılması gerekmektedir.

Ön işlem alternatifleri arasında en ekonomik görünen fiziksel ayırma/kum yıkama; DTM partiküllerinin elek sistemi ve hidrosiklon yardımıyla büyüklük, yoğunluk ve yüzey kimyalarındaki farklılıklara göre ayrılması, bu sayede olası kirleticilerin yoğun oldukları ince fraksiyonla birlikte kumlu malzemedan uzaklaştırılmasıdır [29]. Temiz olduğu düşünülen iri taneli/granül malzemenin inşaat/yol dolgusu, düzenli depolama sahalarında ara örtü, çimento, beton ham maddesi gibi pek çok faydalı kullanım seçeneği mevcuttur [9, 30-32], ince fraksiyon (silt-kil) mekanik susuzlaştırma/pompalama ile düzenli depolama tesislerine gönderilmekte, yıkama suyu ise metal/organik gideriminden sonra tekrar kullanım için sisteme geri beslenmekte veya alıcı ortama deşarj edilmektedir [29,33].

Günümüzde, DTM yıkama-eleme tesisleri gerek Avrupa'da gerekse Amerika'da çok sayıda mevcuttur. Florida'da Miami nehrinde 2004-2008 yıllarında remediasyon amaçlı çıkartılan 500.000 m³ DTM, limanda mobil olarak kurulan 150 ton/saat kapasiteli ve tam ölçekli yıkama-eleme tesisinde elek sistemleri ve hidrosiklon ile fraksiyonlarına ayrılıp susuzlaştırılarak düzenli depolama sahasında ara/üst örtü olarak değerlendirilmiştir [34,35]. Almanya'da Hamburg ve Bremen limanlarından taranan DTM, Hamburg'daki ön işlem tesisinde tane boyutuna göre sınıflandırılıp susuzlaştırılarak 5 milyon tuğla/yıl kapasiteli Hanseaten-Stein Ziegelei (HZG) GmbH tuğla tesisine gönderilmektedir [7]. İngiltere ve Galler'in açık denizlerinden yıllık 20-25 milyon ton deniz agregası rıhtımlarda konumlanan ön işlem tesislerinde ıslah edilerek yapı endüstrisinin yaklaşık %20 oranında kum ve çakıl ihtiyacını karşılamaktadır [36].

01.10.2013-01.10.2016 tarihleri arasında "(111G036) Deniz Dip Tarama Uygulamaları ve Tarama Malzemesinin Çevresel Yönetimi (DİPTAR)" isimli 3-yıllık ulusal araştırma projesi yürütülmüş, proje ile DTM'lerin yönetim

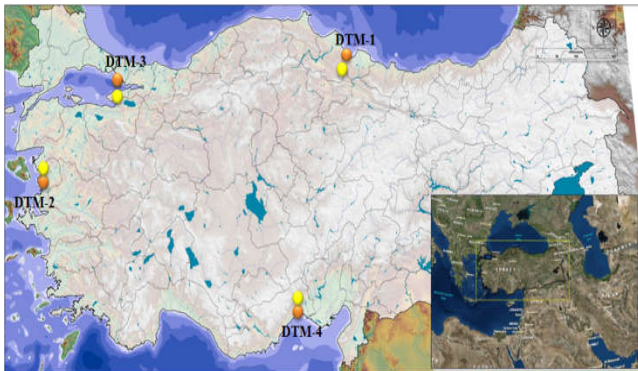
seçenekleri olan denize boşaltım, bertaraf ve faydalı kullanım kapsamında ülkemizde ilk kez entegre ve çevresel sürdürülebilir bir yaklaşım geliştirilmiştir [37]. Söz konusu projenin çıktıları da kullanılarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan “Taslak Deniz Dibi Taraması ve Dip Tarama Malzemesinin Çevresel Yönetimi Yönetmeliği” hazırlanmış, yönetmeliğin 2018 yılı 2. yarısında yürürlüğe girmesi ile DTM yönetimindeki mevzuat ihtiyacının giderilmesi planlanmaktadır.

Bu çalışmada, DTM'lerin beton uygulamalarında silika kumu yerine ikame edilmek sureti ile ince agrega olarak faydalı kullanımı için karada kalıcı DTM yıkama-eleme tesisinin ülkemiz için ilk kez tasarlanması, bu tesise ait ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin genel olarak ortaya konulması ve laboratuvar ölçekli DTM yıkama-eleme çalışmaları ile ortaya çıkan atıksuyun karakterizasyonunun ve yönetiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

DIPTAR Projesi [37] kapsamında Türkiye genelinde dört denizi de içerecek şekilde toplam 15 Pilot Bölge bulunmasına karşın, bu çalışma özelinde DTM yıkama-eleme tesislerinin kurulabilme olasılığı olan 4 Pilot Bölge ele alınmıştır. Pilot bölgeler, tarama faaliyetlerinin yoğun olduğu limanlar, bu limanlara konum olarak yakın ileri/ikincil arttırma içeren AAT'ler göz önünde bulundurularak farklı limanlardan dökü gemisi ile DTM'nin taşınabileceği merkezi bir konumda seçilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan dört farklı DTM numunesinin alındığı Pilot Bölgeler Şekil 1'de, bu bölgelere ilişkin detay bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Pilot bölgeler (Pilot regions)

Tablo 1. Pilot bölgelere ilişkin bilgiler (Information relating to pilot regions)

Örnek No	Pilot Bölge	Deniz Adı	Koordinatlar
DTM-1	Samsun Yakakent Balıkçı Barınağı	Karadeniz	41° 38' 22" N 35° 30' 23" E
DTM-2	İzmir PETKİM Konteyner Limanı	Ege Denizi	38° 46' 43" N 26° 55' 44" E
DTM-3	Kocaeli TÜPRAŞ Yarımca Limanı	Marmara Denizi	40° 45' 18" N 29° 45' 22" E
DTM-4	Mersin Uluslararası Limanı	Akdeniz	36° 48' 12" N 34° 38' 40" E

2.1.1. DTM'lerin Fiziko-kimyasal ve Toksikolojik Özelliklerinin Belirlenmesi (Determination of the Physico-chemical and Toxicological Properties of DMs)

DTM numunelerinin ilk olarak renk, koku, nem/katı madde içeriği (%ağ.), pH, iletkenlik (mS/cm), özgül ağırlık (g/cm³) gibi fiziksel özellikleri ve tane boyutu dağılımları (%ağ.) belirlenmiştir. Daha sonra DTM'lerin sırası ile organik/inorganik madde içerikleri (%ağ.), Toplam S (%), Toplam N ve Toplam P (mg/kg), Yağ-gres (mg/kg), Suda çözünen Cl⁻ (%ağ.) ve asitte çözünen SO₄⁻² (%ağ.), Dioksin/Furan (ng/kg I-TEQ), Poliaromatik Hidrokarbon (mg/kg), Toplam Pestisit (mg/kg), Tributyl kalay (mg/kg) ve ağır metal içerikleri (mg/kg) gibi kimyasal içerikleri saptanmıştır. Son olarak, DTM'lerin toksikolojik özellikleri ekotoksiste ve akut toksiste (balıklarda ve farelerde) kapsamında incelenmiştir. İlgili fiziko-kimyasal ve toksikolojik analizlere ilişkin yöntemler Tablo 2'de belirtilmiştir.

2.1.2. DTM Yıkama-Eleme Prosesi Atıksularının Karakterizasyonu (Characterization of DMs Washing-Sieving Procedure's Wastewater)

31.12.2004 tarihli ve R.G.25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'nde, olası DTM yıkama-eleme tesisi atıksuyunun deşarj kriterlerine ilişkin sektör tablosu olmadığından laboratuvar ölçekli DTM yıkama-eleme işlemi sonucu ortaya çıkan atıksuların karakterizasyonu için parametre seçiminde SKKY'de yer alan kum yıkama tesisi kriterleri (SKKY-Tablo 7.5), derin

deniz deşarjı kriterleri (SKKY-Tablo 22) ve deniz suyunun genel kalite kriterleri (SKKY-Tablo 4) dikkate alınmıştır. Ayrıca, ham DTM'nin karakterizasyon sonuçları da göz önünde bulundurulmuştur. Seçilen parametreler; pH, iletkenlik, Klorür, Sülfat, Askıda Katı Madde (AKM), Toplam Organik Karbon (TOK), Besin Elementleri (Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) ve Toplam Fosfor (TP)) ve Ağır Metaller (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, As, Ag) olmuştur. Laboratuvar ölçekli DTM yıkama-eleme atıksularının pH ve iletkenlik değerleri WTW Inolab multimetre ile ölçülmüştür. Klorür ve Sülfat konsantrasyonları Dionex ICS-1000 İyon Kromatografi cihazı, ağır metal konsantrasyonları ise Perkin-Elmer 8300 DV İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES) cihazı ile saptanmıştır. Atıksu örneklerinin AKM, TKN, TP ve TOK içerikleri Standard Metodlara [38] göre belirlenmiştir.

2.1.3. DTM'nin Taranması, Karaya Çıkartılması ve DTM Yıkama-Eleme Tesisine Transferi İçin Kabuller (Assumptions for the Dredging, Unloading and Transfer of DM to the DM Washing-Sieving Plant)

DTM'nin yıkama-eleme tesisinde işleme tabii tutulması öncesi uygulanması gereken adımlar için çeşitli kabuller yapılmıştır. Buna göre; ticari limanda/marinada kepçeli tarak gemisi ile günde 1.500 m³ DTM (özellik ağırlık ~2.500 kg/m³) taranacağı varsayılmıştır. Taranan DTM, 250 ve/veya 500 m³lük dökü gemisi ile kıyıya yanaştırıldıktan sonra, limandaki vinç vasıtasıyla karaya çıkartılarak, limanda inşa edilen 2.000 m³ hacimli su sızdırma/çöktürme havuzuna (25 m x 40 m x 2 m) alınmalıdır. DTM taranması, karaya çıkartılması ve ilgili DTM yıkama-eleme tesisine taşınması için gerekli maliyetlerin, taramayı yaptıran liman işletmesine ait olması öngörülmüştür. Su sızdırma/çöktürme havuzunda geçirimsiz tabaka, drenaj tabakası ve drenaj boruları ile birlikte vakum sisteminin bulunması, havuzdaki DTM yığınının katı madde miktarının vakum sistemi ile 3-4 saat içerisinde yaklaşık %65'ten %90'a çıkarılması ve bu sayede tuzlu su yükünün DTM yıkama-eleme tesisine girişinin önlenmesi düşünülmüştür. Su sızdırma/çöktürme havuzundan ekskavatörle alınan DTM'nin, kamyonlarla yıkama-eleme tesisindeki besleme bunkerine taşınması öngörülmüştür (Şekil 2).

2.1.4. Maliyet Analizi Kabulleri (Cost Analysis Assumptions)

İlk yatırım maliyetlerine ilişkin olarak, 1.500 m³ kapasiteli DTM yıkama-eleme tesisinin özel sektör kurum/kuruluş tarafından kendi öz kaynakları ile kurulacağı düşünülmüş, taranan DTM'nin katı madde miktarı % 65 olarak kabul edilmiştir. DTM yıkama-eleme prosesi sonucu 200 ton/saat net yıkanmış kuru ürün (5mm-63µm) (528.000 ton/yıl yıkanmış ürün) elde edileceği öngörülmüştür. Tesisten çıkacak kaliteli çakıl (+5 mm) bu tonaja dahil edilmemiştir. Kentsel AAT çıkış suyunun DTM yıkama-eleme tesisine bedelsiz verilmesi ve boru hattı ile tesise pompalanması planlanmıştır.

DTM yıkama-eleme tesisindeki besleme bunkerleri, konveyör bantlar, titreşimli elekler, karıştırıcı, hidrosiklon sistem, tikener ve filtrepress için 5 yılda bir, ilgili ekipmanın ilk yatırım maliyetinin %10'u oranında yenileme maliyeti öngörülmüştür. Proses suyunun tesise transferinde kullanılacak su pompasının ise 5 yılda bir tamamen yenileneceği düşünülmüştür.

İşletme maliyeti hesabı için ekonomik analiz ise 15 yıl süre ile yapılmıştır. DTM yıkama-eleme tesisinin gelir ve giderleri hesaplanırken sabit fiyatlar kabul edilmiş ve enflasyon hesaba katılmamıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. DTM'lerin Fiziko-kimyasal ve Toksikolojik Özellikleri (Physico-chemical and Toxicological Properties of DMs)

DTM'lerin fiziko-kimyasal ve toksikolojik özellikleri 02.04.2015 tarihli, R.G.29314 sayılı "Atık Yönetimi Yönetmeliği-EK3B: Tehlikeli atık eşik konsantrasyonları"na göre değerlendirilmiş, elde edilen analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde; DTM'lerin nötrale yakın ve/veya (hafif) bazik ve genellikle düşük-orta su içerikli oldukları; pH ve nem içerikleri itibarı ile düzenli depolama tesislerinde depolanmalarının mümkün olacağı; içerdikleri tuzluluk sebebiyle iletkenlik değerlerinin yüksek olması (1,85-3,76 mS/cm) kabul edilebilir seviyelerdedir. Elektriksel iletkenlik, numunedeki tuzluluk seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılmakta olup DTM'lerin özellikle toprak uygulamaları öncesinde (tuz mevcudiyetinin bitki

Tablo 2. DTM'lerin fiziko-kimyasal ve toksikolojik özellikleri (Physico-chemical and toxicological properties of DMs)

Parametreler	DTM-1	DTM-2	DTM-3	DTM-4	Yöntem		
Fiziksel Özellikler							
Renk	Füme	Kahverengi	Füme	Füme	Görsel		
Koku	Hafif kokulu				Duyusal		
Nem (%ağ.)	29,53	24,00	23,92	29,14	TS 9546 EN 12880		
Katı Madde (%ağ.)	70,47	76,00	76,08	70,86	TS 9546 EN 12880		
pH (sulu çöz.)	8,77	8,92	7,90	9,11	TS 8753 EN 12176		
İletkenlik (mS/cm) (sulu çöz.)	1,86	3,76	1,85	2,86	SM-2510 B		
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,24	2,47	2,46	2,34	TS EN 1097-6:2002		
Kimyasal Özellikler							
Organik madde (%ağ.)	2,46	5,01	<0,01	<0,01	TS 8336		
İnorganik madde (%ağ.)	68,01	70,99	76,08	70,84	TS 8336		
Toplam S (%)	0,13	0,19	0,28	0,26	ASTM D4239		
Toplam N (mg/kg)	400,4	80,1	226,8	146,6	SM-4500 N		
Toplam P (mg/kg)	469,6	1.347,1	710,2	419,4	SM-4500 P		
Yağ-Gres (mg/kg)	405	<180	<180	<180	SM-5220B		
Suda çözünen Cl ⁻ (%ağ.)	0,32	0,39	0,26	0,34	TS EN 1744-1:2013		
Asitte çözünen SO ₄ ²⁻ (%ağ.)	0,26	0,33	0,24	0,30			
Dioksin/Furan (ng/kg I-TEQ)	0,029	0,029	0,635	0,313	EPA 1613		
P.Arom. Hd.karbon (mg/kg)	0,347	0,732	0,776	0,009	ISO 11338-2		
Toplam Pestisit (mg/kg)	<0,005				EPA 8081 ve 8141		
Tributikalay (mg/kg)	<0,009				İşletme içi yöntem		
Toksikolojik Özellikler							
Ekotoksosite	Deniz bakterisi <i>vibrio fischeri</i> üzerinde ekotoksik değil.				ISO/EN/DIN 11348		
Akut toksisite (balık)	Balıklar için akut risk yok.				92/69/EEC- C.1.		
Akut toksisite (fare)	Kategori 5 veya tanımlanmamış (LD ₅₀ > 5000 mg/kg)				OECD TG 423		
Tane boyutu dağılımı (%ağ.)							
Çakıl (>2mm)	0,53	40,36	38,40	31,88	Yaş eleme		
Kaba kum (2mm-200µm)	13,04	36,86	36,56	28,27			
İnce kum (200µm-63µm)	61,23	10,13	10,25	27,37			
Silt-kil (<63µm-2µm)	25,20	12,65	14,79	12,48			
Ağır metallere	Risk kodları	DTM-1	DTM-2	DTM-3	DTM-4	Risk koduna göre AYY EK3B Tehlikeli atık eşik kons.(min.)	Yöntem
Pb	R: 33, 61, 62, 26/27/28, 20/22, 50/53	%0,0011 11 mg/kg	%0,0013 13 mg/kg	%0,0008 8 mg/kg	%0,0032 32 mg/kg	% 0,1	ISO 11885 EPA 7473
Cd	R: 26, 45, 62, 63, 68, 50/53, 48/23/25	<%0,00001 <0,1 mg/kg	<%0,00004 0,4 mg/kg	%0,00001 0,1 mg/kg	%0,00004 0,4 mg/kg	% 0,1	
Cr	R: 11, 40, 52	%0,0047 47 mg/kg	%0,0140 140 mg/kg	%0,0017 17 mg/kg	%0,599 599 mg/kg	% 1	
Cu	R: 11, 52, 36/37/38	%0,0024 24 mg/kg	%0,0023 23 mg/kg	%0,0012 12 mg/kg	%0,0038 38 mg/kg	% 20	
Ni	R: 40, 43, 48/23, R52/53	%0,003 30 mg/kg	%0,0132 132 mg/kg	%0,0009 9 mg/kg	%0,0251 251 mg/kg	% 1	
Zn	R: 15, 17, 50/53	%0,0051 51 mg/kg	%0,0128 128 mg/kg	%0,00793 79,3 mg/kg	%0,00105 105 mg/kg	% 0,25	
Hg	R: 26, 61, 48/23, 50/53	%0,000005 0,05 mg/kg	%0,0002 2,00 mg/kg	%0,00013 1,30 mg/kg	<%0,000003 0,03 mg/kg	% 0,1	
As	R: 23/25, 50/53	%0,0017 17 mg/kg	%0,035 350 mg/kg	%0,00086 9 mg/kg	%0,00084 8 mg/kg	% 0,25	

gelişimine engel olması sebebiyle) tuz giderim işleminin yapılması gereklidir [18].

Risk oluşturabilecek kayda değer bir uçucu organik içeriğe ve organik içerikte kayda değer fonksiyonel gruplara sahip olmadıkları saptanmış, bu sebeple organik içerik açısından tehlikesiz oldukları sonucuna varılmıştır. DTM'lerdeki organik içerik miktarının genellikle 0-12% arasında değişiklik göstermesi beklenen bir sonuçtur [39].

İnorganik madde içerikleri AYY-EK 3B'de verilen sınır değer olan %20'nin altında bulunmuş; ayrıca, örneklerde tespit edilen ağır metal seviyelerinin risk oluşturabilecek seviyelerden çok aşağıda oldukları saptanmıştır. Bu sebeple inorganik içerik açısından tehlikesiz oldukları belirlenmiştir. Ekotoksikolojik değerlendirmesinde denizel ortam bakterisi vibrio fischeri üzerine ekotoksik etki göstermedikleri (Sınıf 0) belirlenmiştir. Test balıkları üzerinde yapılan akut toksisite testlerinde herhangi bir risk (balık biyodeneji, ZSF=1) tespit edilememiştir. Test fareleri üzerinde yapılan akut toksisite testlerinde herhangi bir risk tespit edilmemiştir. Ancak, olası kronik etkiler bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır. İnorganik içerikli olmaları sebebiyle kalorifik değerleri çok düşük olduğundan yakma ile bertaraf açısından uygun olmadıkları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, AYY-EK3B analiz sonuçlarına göre; DTM'lerin "tehlikesiz atık" ve atık kodunun 17 05 06 (17 05 05 dışındaki dip tarama çamuru) olduğu belirlenmiştir [37].

3.2. Yıkanmış-Elenmiş DTM'lerin Temel Karakteristikleri (Basic Characteristics of Washed-Sieved DMs)

DTM'lerin betonda silika kumu yerine ince agrega olarak kullanımına yönelik laboratuvar ölçekli yıkama-eleme deneyleri sonucu elde edilen DTM temel parametreleri ile silika kumuna (şahit) ait analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Ham DTM'lere kıyasla; yıkanmış-elenmiş DTM'lerin (4mm-63µm) katı madde içeriklerinin arttığı, pH'larının düştüğü görülmektedir. Ayrıca, DTM'nin beton çalışmalarında ince agrega olarak kullanımına risk teşkil eden klorür, sülfat ve kil-silt içeriklerinin önemli oranda azaldığı ve "TS 706 EN 12620+A1:2009 Beton Agregaları" standardındaki limit değerlere uygun hale geldiği görülmektedir.

Analiz sonuçları Estes ve Palermo tarafından 2001 yılında yapılan çalışma [40] ile uyumludur. Öte

yandan; DTM'lerin yıkama-eleme sonrasında silt-kil ve klorür içeriklerinde ciddi bir azalma gözlenmiş olup, söz konusu sonuçların silika kumuna kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, yıkama-eleme işlemine tabi tutulan DTM'lerin betonda herhangi bir çevresel riske sebebiyet vermeden beton uygulamalarında ince agrega olarak faydalı kullanımı teknik olarak mümkün görülmektedir.

Tablo 3. Yıkama-eleme sonrası DTM temel parametreleri (Basic parameters of DMs after washing-sieving)

Parametre	Silika Kumuna (Şahit)	DTM-1	DTM-2	DTM-3	DTM-4	Yöntem
Katı Madde (%ağ.)	-	86,03	87,59	88,21	85,74	TS 9546 EN 12880
pH (sulu çöz.)	8,08	7,82	7,73	7,42	7,95	TS 8753 EN 12176
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,68	2,51	2,53	2,59	2,58	TS EN 1097-6:2002
Silt-kil (%ağ.)	18,85	9,81	3,84	5,68	5,92	Yaş eleme
Suda çözünen Cl (%ağ.)	0,07	0,06	0,02	0,03	0,04	TS EN 1744-1:2013
Asitte çözünen SO ₄ ⁻² (%ağ.)	0,025	0,08	0,07	0,08	0,08	

3.3. DTM Yıkama-Eleme Atıksularının Karakterizasyonu ve Yönetimi (Characterization and Management of DM Washing-Sieving Wastewater)

DTM yıkama-eleme atıksularının karakterizasyon sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. DTM'ler yapılarındaki CaCO₃ kaynağı olarak da bilinen deniz kabukları mevcudiyetinden ötürü ve deniz suyunun doğal pH aralığının 7,5-8,5 olması sebebiyle (hafif) bazik (pH: 8,77-9,11) karakterdedirler. Dolayısıyla, DTM yıkama-eleme atıksularının pH değerlerinin de (hafif) bazik (pH: 8,21-8,68) değerinde tespit edilmesi olağandır. pH değerlerinin SKKY-Tablo 4'teki pH aralığı (pH: 6,00-9,00) ile de uyumlu olduğu gözlenmiştir. Yıkama atıksularında çözülmüş formdaki ağır metal konsantrasyonlarının ise, ölçüm limitlerinin altında olduğu tespit edilmiş olup, bu durum, atıksuyun alkali özelliğine göre beklenen bir sonuçtur. Ham DTM'lerdeki ağır metal içeriklerinin de düşük olması sebebiyle atıksu örneklerinde ağır metal açısından risk ön görülmemektedir. Atıksu karakterizasyon

Tablo 4. DTM yıkama-eleme işlemi atıksularının karakterizasyon sonuçları (Characterization results of DM washing-sieving procedure)

Parametreler	DTM-1	DTM-2	DTM-3	DTM-4	Yöntem
pH	8,21	8,34	8,35	8,68	SM-4500-H+B
İletkenlik (µS/cm)	1960	2010	3740	5130	
AKM (mg/L)	330	176	304	146	SM-2540
Cl ⁻ (mg/L)	461	463	1.006	1.400	SM-4110B
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	115	134	135	183	
TKN (mg/L)	1,64	0,74	1,29	0,55	SM-4500 N
TP (mg/L)	0,16	0,06	0,15	0,05	SM-4500 P
TOK (mg/L)	9,50	< 0,50	2,70	< 0,50	SM-5310B
Pb (mg/L)		< 0,01			EPA 6020A
Cd (mg/L)		< 0,004			
Cr (mg/L)		< 0,006			ICP-OES
Cu (mg/L)		< 0,02			
Ni (mg/L)		< 0,004			SM-3112
Hg (mg/L)		< 0,00013			
Zn (mg/L)		< 0,007			EPA 6020A
As (mg/L)		< 0,014			
Ag (mg/L)		< 0,004			ICP-OES

sonuçları incelendiğinde, en önemli parametrenin AKM olduğu, AKM içeriklerinin 146-330 mg/L arasında değiştiği ve DTM'lerdeki kil-silt fraksiyonu ile AKM değerleri arasında bağlantı bulunduğu saptanmıştır. Besin elementleri sonuçlarına göre; atıksulardaki TKN ve TP konsantrasyonları sırası ile; 0,55-1,64 mg/L ve 0,05-0,16 mg/L aralığında ölçülmüş; en yüksek TKN ve TP içeriklerine AKM'lerin de yüksek bulunduğu DTM-1 ve DTM-3 no.lu atıksu örneklerinde rastlanmıştır. Makronütrient (TKN, TP) konsantrasyonlarının aynı örneklerde yüksek olması, bu kirleticilerin de AKM yapısındaki organik içerikten kaynaklandığına işaret etmektedir. Bir başka ifadeyle, TKN ve TP'nin atıksuda büyük oranda partiküler formda olduğu ve AKM giderimi yapılarak giderilebileceği düşünülmüş; bu sebeple, DTM-3 örneği atıksuyunda Imhoff hunisi ile gravite çöktürme uygulanarak AKM giderimi denenmiştir. Beklendiği üzere, çöktürme süresi arttıkça AKM giderimi artmış, buna paralel olarak, nin arttığı, TKN-TP içerikleri de büyük oranda partiküler madde kaynaklı olması sebebiyle, azalarak ölçüm limitlerinin altına inmiştir.

DTM yıkama-eleme atıksuyunun denize deşarjında deniz suyu kalitesinin etkilenmemesi için SKKY-Tablo 4'teki AKM limit değerinin 30 mg/L olduğu düşünüldüğünde, yıkama

atıksularındaki kil-silt'in ve dolayısıyla AKM'nin ayrımı önem arz etmektedir. Bu sebeple, DTM yıkama-eleme tesisinden çıkacak atıksuların deşarj edilmeden önce en azından gravite çöktürme işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Çöktürme veriminin yeterli olmadığı durumlarda, çöktürme sonrasında uygun gözenek açıklığına sahip mikro elek kullanımı ve/veya koagulan ve flokülan madde kullanılarak kimyasal çöktürme yapılması göz önünde bulundurulabilir. Kimyasal çöktürmenin oluşacak çamur özelliklerini etkileyeceği unutulmamalı ve çöktürme sonrasında alt fazda oluşacak kil-silt içeren DTM'nin kullanılmasının planlandığı durumlarda, kimyasal madde seçiminde malzemenin kullanım amacı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda, mikro elek kullanımı tercih edilebilir ve/veya geri kazanılacak malzemenin kullanım amacını etkilemeyecek kimyasalların seçimi yapılabilir. Ayrıca, DTM yıkama-eleme işleminden çıkan atıksuların SKKY'ye göre kanalizasyona/denize deşarjı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın görüşüne başvurulmalıdır.

3.4. DTM Yıkama-Eleme Tesisi Tasarımı ve Çalışma Prensibi (Design and Working Principle of DM Washing-Sieving Plant)

DTM yıkama-eleme tesisinin tasarımında, gerek yurt içindeki kum yıkama-eleme tesislerinin, gerekse yurt dışındaki DTM yıkama-eleme tesislerinin tasarımları göz önünde bulundurulmuştur. DTM yıkama-eleme tesisinin ileri/ikincil arıtma sistemine sahip kentsel atıksu arıtma tesisi (kentsel AAT) arazisine sabit bir tesis olarak kurulması; yıkama-eleme işleminde proses suyu olarak, ilgili kentsel AAT çıkış suyunun kullanılması ve bu sayede su tüketim maliyetlerinin azaltılması düşünülmüştür. Ancak, kentsel AAT çıkış suyunun kum filtrasyon ve UV dezenfeksiyon işlemlerinden geçirilmesi ve proses suyu olarak kullanımı öncesi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan görüş alınması gereklidir. Kum filtrasyon ve UV dezenfeksiyon işlemlerinin uygulanma sebebi, kentsel AAT çıkış suyunun içindeki çözünmeyen, çeşitli büyüklüklerdeki partiküllerin ve AKM'nin giderimi ve mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesidir [41,42].

Tasarımı yapılan DTM yıkama-eleme tesisinin çalışma prensibi, tesiste yer alması planlanan üniteler ve her bir ünitenin tercih edilme nedenleri, DTM'nin malzeme özellikleri ve kullanım amacı

ile ilişkilendirilerek aşağıda detayları ile belirtilmiştir.

Taramanın yapıldığı limandan kamyonlarla yıkama-eleme tesisindeki besleme bunkerine taşınan DTM, besleme bunkerinden konveyör bantlarla iki katlı kaba elek sistemine gelerek, içeriğindeki çöp ve kaba malzemelerden (+100 mm ve 50-100 mm) yıkama (nozzle)-eleme yöntemiyle arındırılmalıdır. DTM daha sonra blademill adı verilen karıştırıcıda su ilavesi ile iyice karıştırılarak yapısındaki topaklar dağıtılmalıdır. Karıştırıcıdan (blademill) çıkan DTM, üç katlı yıkamalı titreşimli elek sisteminden geçirilerek 5 mm üzeri malzeme, betonda kaba agrega olarak kullanım ihtiyacına göre üç farklı fraksiyona (+22 mm, 12-22 mm, 5-12 mm) ayrılmalıdır. Üç katlı elek sisteminden çıkan 5 mm altı sulu DTM, yapısında bulunan ve betonda ince agrega olarak kullanım için uygun olmayan 63 µm altı malzemedan ayrılması amacıyla, 250 ton/saat kapasiteli hidrosiklon sistemine alınarak [43] merkezkaç ve çekme kuvvetlerinin etkisiyle yoğunluk farkına göre iki alt sınıfa ayrılmalıdır. Buna göre; hidrosiklon alt çıkışından kumlu malzeme (5 mm-63 µm) (hedef ürün) alınmalı ve susuzlandırma eleğinden geçirilerek susuzlaştırılmalıdır. Hidrosiklon üst çıkışından alınan sulu kil-silt karışımı (<63 µm) ise, önce 180 m³'lük karıştırıcı sekizgen ara tanka, oradan da çöktürme havuzuna (tikener) alınarak kimyasal polimer dozajı uygulanmalı, kil-silt fraksiyonu gravitasyonel yolla çöktürülerek [44] tikener alt çıkışından 200 ton/saat kapasiteli filtre-prese verilerek susuzlaştırılmalıdır [45]. Tikener üst fazından alınan atıksuyun yüksek tuz içeriğine sahip olması ve tuz gideriminin yüksek maliyeti sebebiyle atıksu geri kazanımı yapılmaması öngörülmüştür. Proses atıksuyunun mikro elek/kum filtresinden geçirilerek denize/kanalizasyona deşarj edilmesi düşünülmüştür. Söz konusu DTM yıkama-eleme tesisinin tasarımındaki kritik parametrelerden ilki, DTM'nin tane boyu dağılımıdır. Böyle bir DTM yıkama-eleme tesisinin ancak maksimum %40 kil-silt içeriğine sahip bir tarama malzemesinin ön işlemden geçirilmesinde verimli olacağı öngörülmüştür.

DİPTAR Projesi [37] kapsamında Türkiye genelinde DTM yıkama-eleme tesislerinin kurulabileceği alanlar dört deniz özelinde önerilmiştir. Bu alanlar seçilirken ülke çapında tarama faaliyetlerinin yoğun olduğu limanlar ve bu limanlara konum olarak yakın ileri/ikincil arıtma

içeren AAT'ler ön planda tutulmuştur. DTM yıkama-eleme tesisinin gerek limana gerekse ileri/ikincil arıtma içeren AAT'ye yakın bir konumda inşa edilmesi, tasarımdaki ikinci kritik parametredir. Olası DTM yıkama-eleme tesisinin merkezi konumu, DTM'nin denize boşaltım yerine dökü gemisi ile bu tesislere taşınmasına olanak sağlayacaktır.

Tasarımı yapılan DTM yıkama-eleme tesisi Şekil 2'de verilmiştir. 2016 yılında Kim ve çalışma arkadaşları [43], Shingal gölünden alınan ham tarama sedimanının ayırma işlemi için benzer bir şematik tasarım yapmışlardır.

Küçük ölçekli tarama faaliyetlerinden çıkan DTM'lerin ön işlemleri için ise denizde mobil DTM yıkama-eleme tesisleri ayrıca değerlendirilmelidir. Tablo 5'te çalışmaya konu olan dört pilot bölgedeki tarama senaryolarına göre DTM'nin taşınacağı olası yıkama-eleme tesisleri ve proses suyunun temin edileceği AAT'ler kapasiteleri ile birlikte verilmiştir.

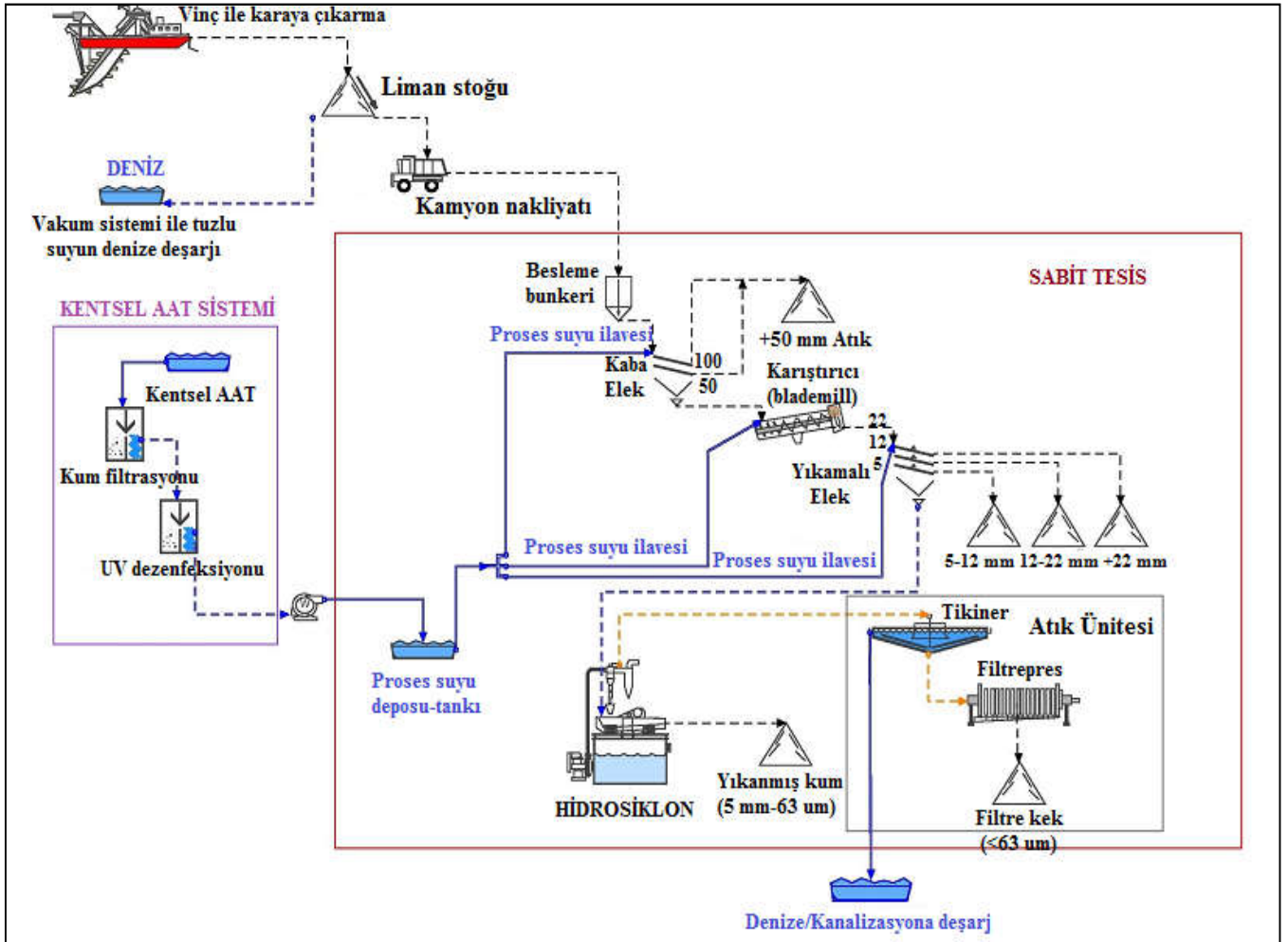
3.5. DTM Yıkama-Eleme Tesisi Maliyetleri (DM Washing-Sieving Plant Costs)

3.5.1. DTM Yıkama-Eleme Tesisi Maliyet Analizi Genel Değerlendirme (General Assessment of DM Washing-Sieving Plant Cost Analysis)

Maliyet analizi, alternatif yatırım projelerinin karşılaştırılmasında kullanılan bir analiz yöntemi olup, gerek özel teşebbüs, gerekse kamu kuruluşlarınca, yatırım projelerinde seçme ve sıralama yapmak için kullanılmaktadır. Bu analizde, yatırımın ekonomik ömrü süresince beklenen net gelirler (yıllık gelirlerle giderlerin farkı), belirli bir iskonto oranı ile yatırımın başlangıç dönemindeki değerine (bugünkü değer) indirgenmekte ve bu değer, yapılan yatırım harcaması ile karşılaştırılmaktadır. Net Bugünkü Değer (NBD) (1) no.lu eşitlik ile hesaplanmakta olup Y_0 ; ilk yatırım maliyetini, NF ; net faydayı (yıllık gelir-gider farkı), i ; iskonto oranını ve n ; yılı ifade etmektedir. İskonto oranı %10 kabul edilmiştir.

$$NBD = -Y_0 + \sum_{n=1}^n \frac{NF_n}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Dinamik birim maliyet yönteminde, öncelikle her alternatifin tüm fayda ve maliyetleri dikkate alınarak net bugünkü değer hesaplanmaktadır. Bu değer, o alternatifle yıllar içerisinde işlenecek DTM miktarının net bugünkü değerine bölünmekte, en düşük birim maliyetli alternative



Şekil 2. DTM Yıkama-Eleme tesisi tasarımı (Design of DM washing-sieving plant)

Tablo 5. DTM yıkama-eleme tesisi - Kentsel AAT eşleştirilmesi (öneri) (Matching of DM washing-sieving plant - Urban wastewater treatment plant (proposal))

Numune Kodu	Pilot Bölge Adı	Tahmini DTM (m ³)	DTM Yıkama-Eleme Tesisi Alanı	AAT Mevcudiyeti	AAT Kademesi/ Teknolojisi	AAT Ort. Kapst. (m ³ /gün)
DTM-1	Samsun Limanı	400.000	Samsun Limanı	-Ondokuz Mayıs AAT	-İkincil/klasik aktif çamur	10.000
DTM-2	İzmir PETKİM Limanı	100.000	İzmir Çiğli	-Çiğli AAT	-Uzun hava. aktif çamur	-
DTM-3	Kocaeli TÜPRAŞ Yarımca Limanı	100.000	Yalova Altınova	-Altınova Tavşanlı Kaytazdere AAT	-İkincil arıtım klasik aktif çamur	12.200
DTM-4	Mersin Uluslararası Limanı	2.000.000	Mersin Limanı	-Atakent AAT -Erdeмли AAT -İskenderun AAT	-Klasik aktif çamur -Uzun hava. aktif çamur -Klasik aktif çamur	8.000 20.000 57.000

seçilmektedir. (2) no.lu eşitlikte DBM; dinamik birim maliyeti, DTM; tarama malzemesini (m³), i; iskonto oranını, n; yılı ifade etmektedir.

$$DBM = \frac{NBD}{\sum_{n=1}^n \frac{DTM_n}{(1+i)^n}} \quad (2)$$

İlk yatırım maliyetinin bileşenleri olarak sırası ile; tesisin kurulacağı arazi, tesis zemin betonu, su sızdırma/çöktürme havuzu, tesis giriş suyunun arıtımı (kum filtrasyon ve UV dezenfeksiyon), tesis çıkış suyunun arıtımı (mikro elek ve kum filtresi), besleme bunkerı ve konveyör bantlarla tesis kurulumu, titreşimli kaba elek sistemi,

karıştırıcı, titreşimli ince elek sistemi, hidrosiklon sistemi, ara tank, tikener, filtre-pres, su pompası, idari bina, kantar, dozer, kamyon, yükleyici maliyetleri ve öngörülemeyen giderler dikkate alınmalıdır.

İşletme maliyetinin bileşenleri olarak ise sırası ile; personel, elektrik, su, polimer, yakıt giderleri, bakım-onarım maliyetleri, rıtma tesisleri işletme giderleri ve genel idari giderler dikkate alınmalıdır.

3.5.2. Pilot Bölgeler için Maliyet Analizi (Cost Analysis for Pilot Regions)

1.500 m³/gün kapasiteli DTM yıkama-eleme tesisi için ilk yatırım maliyeti Tablo 6'da, işletme maliyeti ise Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. DTM yıkama-eleme tesisi ilk yatırım maliyeti (DM washing-sieving plant investment cost)

Faaliyet	İlk Yatırım Maliyet Bileşeni	Maliyet (TL)
Yapım İşleri	Tesisin kurulacağı arazi (50 m x 60 m)	bedelsiz tahsis
	Tesis zemin betonu (900 m ³ C25/30 betonu)	234.000
	Su sızdırma/çöktürme havuzu (25 m x 40 m x 2 m) (geçirimsiz tabaka, drenaj boruları, drenaj tabakası, C25/30 sınıfı beton dahil)	100.000
	Tesis giriş suyunun arıtımı (kum filtrasyon ve UV dezenfeksiyon)	600.000
	Tesis çıkış suyunun arıtımı (mikro elek ve kum filtresi)	750.000
Makine-Ekipman	Besleme bunker ve konveyör bantlarla tesis kurulumu	500.000
	Titreşimli kaba elek sistemi	160.000
	Karıştırıcı (blademill)	240.000
	Titreşimli ince elek sistemi	160.000
	Hidrosiklon sistemi	1.100.000
	Ara tank, tikener, filtre-pres	1.400.000
	Su pompası	6.000
	İdari Bina	50.000
	Kantar	100.000
	Dozer	160.000
	Kamyon (3 adet) (25 ton kapasiteli)	450.000
	Loader (yükleyici)	160.000
	Öngörülemeden Giderler (Toplam mekanik ekipman ilk yatırım bedelinin %10'u)	583.600
	TOPLAM	6.753.600

Tablo 7. DTM yıkama-eleme tesisi işletme maliyeti (DM washing-sieving plant operating cost)

İşletme Maliyet Bileşeni	Maliyet (TL) (Yıllık)
Personel (10 kişi) (10 saat/gün)	600.000
Elektrik gideri (1,6 kW/ton ürün (5mm-63µm)) (Elektrik birim fiyat: 0,2 TL/kW)	211.200
Su (750 ton/saat)	Bedelsiz
Polimer (100 gr/1 ton ürün) (10 TL/kg)	528.000
Yakıt (0,2 L/ton ürün)	462.000
Bakım - Onarım (toplam mekanik ekipman ilk yatırım bedelinin yıllık %2,5'u kabulü)	145.900
Arıtma tesisleri işletme giderleri	225.000
Genel İdari Giderler (Tüm işletme giderlerinin %10'u kabulü)	194.710
TOPLAM	2.366.810

Buna göre; yıkanmış nihai ürünün satış fiyatı 15 TL+KDV olarak belirlenmiştir. DTM yıkama-eleme tesisinin yıllık geliri 528.000 ton ürünün satılması durumunda 7.920.000 TL, bu bedelden yıllık işletme gideri düşüldüğünde tesisin yıllık net geliri 5.553.190 TL olacaktır. Geri ödeme süresi; bir projenin net nakit girişlerinin, toplam ilk yatırım tutarını tamamen geri ödemesi için gerekli süre olup, tesis yatırımı için bu süre, tesisin sürekli faaliyette olması durumunda 2 senedir. Gelirin net bugünkü değeri 54.763.772 TL iken, harcamaların net bugünkü değeri 22.915.223 TL olarak hesaplanmıştır. Ürünün net bugünkü değeri de

3.650.918 ton olduğundan, DTM'nin yıkanması-elenmesi için birim maliyet (NBD harcama/NBD ürün) 6,3 TL/ton olarak öngörülmektedir.

Bu çalışmada yer alan DTM yıkama-eleme tesisi tasarım verilerine ilişkin fiyatlandırmalar günümüz koşullarını içermekte olup, söz konusu verilerin, gelecek yıllarda yapılacak çalışmalarda sadece yol gösterici olarak kullanılması hususu önem arz etmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir: DTM'lerin Atık Yönetimi Yönetmeliği-EK3B'ye göre "tehlikesiz atık (17 05 06)" olduğu belirlenmiştir. DTM'lerin göreceli yüksek silt-kil fraksiyonu, klorür, sülfat ve su içeriklerinin, betonda silika kumu yerine ince agrega olarak kullanımlarına engel teşkil etmesi sebebiyle ön işleme tabi tutulmaları gerekir. Laboratuvar ölçekli DTM yıkama-eleme atıksularının AKM giderimi sağlandığı takdirde kanalizasyona/denize deşarjında risk teşkil edecek bir kirletici içermediği saptamıştır; ancak, deşarj izni alınması gereklidir. Endüstriyel ölçekli DTM yıkama-eleme atıksularında AKM giderimi için uygun gözenek açıklığına sahip mikro elek kullanımı ve/veya polimer dozajı ile kimyasal çöktürme düşünülebilir. Gerek yurt içindeki kum yıkama-eleme tesisleri, gerekse yurt dışındaki DTM yıkama-eleme tesisleri göz önünde bulundurularak 1.500 m³/gün DTM işleme kapasiteli yıkama-eleme tesisinin kurulabileceği, yer seçiminde ise kentsel AAT AAT'lere yakınlık göz önünde bulundurularak, AAT çıkış suyunun yıkamada kullanılması ve bu sayede su tüketim maliyetlerinin azaltılması mümkün görünmektedir. Bunun için, kullanımdan önce AAT çıkış suyunun kum filtrasyon ve UV dezenfeksiyon işlemlerinden geçirilmesi gerekmektedir. DTM yıkama-eleme tesisinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri sırasıyla 6.753.600 TL ve 2.366.810 TL ve birim maliyet ise 6,3 TL/ton olarak tahmin edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma 111G036 no.lu TÜBİTAK KAMAG projesi kapsamında gerçekleştirilmiş olup başta müşteri kurum Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı ve TÜBİTAK MAM olmak üzere proje ekibi çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] R. N. Bray, "Environmental Aspects of Dredging," IADC/CEDA and Taylor & Francis Publishers, London, United Kingdom, 2008
- [2] R. Zentar, D. Wang, N. E. Abriak, M. Benzerzour, W. Chen, "Utilization of siliceous-aluminous fly ash and cement for solidification of marine sediments," *Construction and Building Materials*, vol. 35, pp. 856–863, 2012.
- [3] H. Cho, J. Shim, J. Park, "Performance evaluation of solidification/ stabilization of dredged sediment using alkali-activated slag," *Desalination and Water Treatment*, vol. 57, pp. 10159–10168, 2016.
- [4] C. Alzieu, "Dredging and Marine Environment, State of the Art," Ifremer, Plouzané, France, 1999.
- [5] R. Boutin, "Improvement of Knowledge about the Outputs of Dredging Products as Mud in Sea: Phenomena Short Term-Close Field," Lyon, France, 1999.
- [6] J. Vermeulen, S. G. Van Dijk, J. T. C. Grotenhuis, W. H. Rulkens, "Quantification of physical properties of dredged sediments during physical ripening," *Geoderma*, vol. 129, pp. 147–166, 2005.
- [7] A. Netzband, A. L. Hakstege, K. Hamer, "Treatment and Confined Disposal of Dredged Material – Part 2: Dutch-German Exchange on Dredged Material," Germany, 2002.
- [8] L.A. Murray, "Dredged material as a resource," *Terra et Aqua*, vol. 112, pp.3-10, 2008.
- [9] V. Dubois, N. E Abriak, R. Zentar, G. Ballivy, "The use of marine sediments as a pavement base material," *Waste Management*, vol. 29, pp. 774–782, 2009.
- [10] OSPAR Commission, "JAMP Assessment of the Environmental Impact of Dumping of Wastes at Sea," Oslo-Paris Commission, Biodiversity Series, London, United Kingdom, pp. 433, 2009.
- [11] LIFE, "Methods for Management and Re-use of Polluted Sediments," European Project Realized by in vivo, France, 2002 (in French).
- [12] P. Grégoire, "Conceptual Model for Help with Multi-criterion Decision-taking in the Framework of the Negotiated Choice for a Marine Dredging Scenario," France, pp. 281, 2004 (in French).
- [13] F. Agostini, F. Skoczylas, Z. Lafhaj, "About a possible valorisation in cementitious materials of polluted sediments after treatment," *Cement and Concrete Composites*, vol. 29, pp. 270–278, 2007.
- [14] J. Lukens, "An Analysis of State, Territory & Commonwealth Policies Related to Dredging & Dredged Material Management," Vol. I/II, OCRM/ CPD Coastal Management Program Policy Series, Technical Document 00–02, 2000.
- [15] P. R. Krause, K. A. McDonnell, "The Beneficial Reuse of Dredged Material for Upland Disposal," California, USA, 2000.
- [16] J. P. Ulbricht, "Contaminated Sediments: Raw Materials for Bricks," *Symposium Dragage*, 2002.
- [17] Port of Baltimore, "Up for Grabs-innovative Solutions Are Being Found for Dredged Material," The Port of Baltimore Magazine, Maryland, 2009.
- [18] C. Sheehan, J. R. Harrington, J. D. Murphy, "A technical assessment of topsoil production from dredged material," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 54 pp. 1377–1385, 2010.
- [19] D. J. Yozzo, P. Wilber, R. J. Will, "Beneficial use of dredged material for habitat creation, enhancement, and restoration in New York- New Jersey Harbor," *Journal of Environmental Management*, vol. 73 pp. 39–52, 2004.
- [20] K. Reine, D. Clarke, C. Dickerson, "Fishery resource utilization of a restored estuarine borrow pit: a beneficial use of dredged material case study," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 73, pp. 115–128, 2013.
- [21] J. Limeira, M. Etxeberria, L. Agulló, D. Molina, "Mechanical and durability properties of concrete made with dredged

- marine sand,” *Construction and Building Materials*, vol. 25, pp. 4165–4174, 2011.
- [22] I. Said, A. Missaoui, Z. Lafhaj, “Reuse of Tunisian marine sediments in paving blocks: factory scale experiment,” *Journal of Cleaner, Production*, vol. 102 pp. 66–77, 2015.
- [23] V. Cappuyns, V. Deweirt, S. Rousseau, “Dredged sediments as a resource for brick production: possibilities and barriers from a consumers’ perspective,” *Waste Management*, vol. 38, pp. 372–380, 2015.
- [24] Y. T. Kim and B. Pradhan, “Mechanical and germination characteristics of stabilized organic soils,” *Marine Georesources & Geotechnology*, vol. 0, pp. 1-8, 2015.
- [25] J. Park, Y. Son, S. Noh, T. Bong, “The suitability evaluation of dredged soil from reservoirs as embankment material,” *Journal of Environmental Management*, vol. 183, pp. 443-452, 2016.
- [26] S. Lirer, B. Liguori, I. Capasso, A. Flora, D. Caputo, “Mechanical and chemical properties of composite materials made of dredged sediments in a fly-ash based geopolymer,” *Journal of Environmental Management*, vol. 191, pp. 1-7, 2017.
- [27] V. Mymrin, J. C. Stella, C. B. Scremim, R. C. Y. Pan, F. G. Sanches, K. Alekseev, D. E. Pedroso, A. Molinetti, O. M. Fortini, “Utilization of sediments dredged from marine ports as a principal component of composite material,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, pp. 4041-4049, 2017.
- [28] AYY, “Atık Yönetimi Yönetmeliği,” Resmi Gazete No.: 29314, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2015.
- [29] D. E. Averett and T. J. Estes, “Physical Separation Process Demonstrations-A Review of Three Dredging Projects,” DOER Technical Notes Collection, ERDC TN-DOER-T10, Vicksburg, MS, USA, 2011.
- [30] J. Riordan, J. P. Murphy, J. R. Harrington, “Construction and Demolition Waste and Dredge Material as Landfill Liner in Ireland,” *1st Middle European Conference on Landfill Technology*, 2008.
- [31] M. A. Chikouche, E. Ghorbel, M. Bibi, “The possibility of using dredging sludge in manufacturing cements: optimization of heat treatment cycle and ratio replacement,” *Construction and Building Materials*, vol. 106, pp. 330-341, 2016.
- [32] W. Liu, H. Cui, Z. Dong, F. Xing, F. Zhang, T. Y. Lo, “Carbonation of concrete made with dredged marine sand and its effect on chloride binding,” *Construction and Building Materials*, vol. 120, pp. 1-9, 2016.
- [33] GLC, “Beneficial Uses of Great Lakes; Dredged Material: A Report of the Great Lakes Beneficial Use Task Force,” Great Lake Commission, Ann Arbor, USA, 2001.
- [34] P. J. Kelly, “In USACE/American Association of Port Authorities Quality Partnership Initiative-Emerging Technologies,” Miami River Project, VA: American Association of Port Authorities, USA, 2008.
- [35] A. Taylor, J. McWilliams, H. Van Dam, B. Lammers, “Deepening, cleaning and processing sediment from the miami river,” *Terra et Aqua*, no. 103, pp. 23-30, 2006.
- [36] D. E. Highley, L. E. Hetherington, T. J. Brown, D. J. Harrison, G. O. Jenkins, “The Strategic Importance of the Marine Aggregate Industry to the UK,” Research Report OR/07/019, Nottingham, United Kingdom, 2007.
- [37] TÜBİTAK MAM, “Deniz Dip Tarama Uygulamaları ve Tarama Malzemesinin Çevresel Yönetimi (DİPTAR),” Final Raporu, Proje No: 111G036, TÜBİTAK KAMAG 1007 Projesi, Kocaeli, Türkiye, 2016.
- [38] SM, 2012, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters, 22nd ed., APHA/AWWA/Water Environment Federation, American Public Health Association Publication, Washington, USA.
- [39] USACE, 2001, Long-Term Management Strategy (LTMS) for the Placement of Dredged Material in the San Francisco Bay Region, Appendix R: Dredged material at landfills, USA.
- [40] T. J. Olin-Estes and M. R. Palermo, “Recovery of dredged material for beneficial use: the future role of physical separation processes,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 85, pp. 39-51, 2001.

- [41] G.-Q. Li, W.-L. Wang, Z.-Y. Huo, Y. Lu, H.-Y. Hu, “Comparison of UV-LED and low pressure UV for water disinfection: Photoreactivation and dark repair of *Escherichia coli*”, *Water Research*, vol. 126, pp. 134-143, 2017.
- [42] D. Tonon, A. L. Tonetti, B. C. Filho, D. A. C. Bueno, “Wastewater treatment by anaerobic filter and sand filter: Hydraulic loading rates for removing organic matter, phosphorus, pathogens and nitrogen in tropical countries”, *Ecological Engineering*, vol. 82, pp. 583-589, 2015.
- [43] J. O. Kim, J. Choi, S. Lee, J. Chung, “Evaluation of hydrocyclone and post-treatment technologies for remediation of contaminated dredged sediments,” *Journal of Environmental Management*, vol. 166, pp. 94-102, 2016.
- [44] F.A. Benn, P.D. Fawell, J. Halewood, P.J. Austin, A.D. Costine, W.G. Jones, N.S. Francis, D.C. Druett, D. Lester, “Sedimentation and consolidation of different density aggregates formed by polymer-bridging flocculation”, *Chemical Engineering Science*, 2018 (in press).
- [45] J. E. Lee, J. K. Lee, H. K. Choi, “Filter press for electrodeewatering of waterworks sludge”, *Drying Technology*, vol. 25, pp. 1649-1657, 2007.