

## ARITMA ÇAMURLARININ TOPRAKLAŞTIRILMASININ UYGULANABİLİRLİĞİ VE MALİYET ANALİZİ

<sup>1</sup>Sayiter YILDIZ, <sup>2</sup>Mustafa DEĞİRMENCI

*Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, TR-58140 Sivas-Türkiye*  
<sup>1</sup>sayiteryildiz@gmail.com, <sup>2</sup>degir@cumhuriyet.edu.tr

(Geliş/Received: 18.11.2012; Kabul/Accepted in Revised Form: 25.12.2013)

**ÖZET:** Günümüzde arıtma çamurlarının bertaraf çözülmesi gereken en önemli sorunlarından biridir. Arıtma çamurunun yeni ürünlere dönüştürülerek kullanılabilir hale getirilmesi oldukça önemli bir bertaraf alternatifi olacaktır. Bu çalışmada, arıtma çamurunun topraklaştırma yöntemi ile yeni ürünlere dönüştürülmesinin uygulanabilirliği incelenmiştir. Çamurun ve hacim artırıcı malzemelerin miktarları (girdi malzemeleri) dikkate alınarak farklı alternatifler öngörülmüştür. Topraklaştırma işleminin uygulanması durumunda gerekli ilk yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Ayrıca işletme maliyetleri ile birlikte her bir alternatif için elde edilecek ürünlerin birim başına maliyetleri de hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelime:** Arıtma çamuru, topraklaştırma, kompostlaştırma

### Waste Sludge Soilification Applicability and Cost Analysis

**ABSTRACT:** Today, the disposal of sewage sludge is one of the most important problems to be solved. Converting sewage sludge into new usable products will be an important alternative to disposal. In this study, the applicability of conversion of sewage sludge into new products with soilification method is examined. Taking into account the amount of sludge bulking agent materials (input materials) different alternatives envisaged. In the implementation process of soilification, then necessary initial investment costs have been calculated. In addition, together with the enterprise costs for each alternative product to be obtained per unit costs are also calculated.

**Keyword:** Waste sludge, soilification, composting

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde çevreye verilen önemin artmasının yanı sıra sanayinin gelişmesi ile birlikte artan atık su arıtma tesislerine paralel olarak arıtma çamuru miktarı da her geçen gün artmaktadır.

Arıtma çamurları, tüm geleneksel atık su arıtma işlemlerinin kaçınılmaz nihai ürünüdür [1]. Giderek yaygınlaşan atık su arıtma tesislerinden çıkan ve organik kökenli bir gübre olarak kullanılabilir biyokatıların elden çıkarılması gereken bir atık değil de toprağı ıslah eden, üretimi arttıran ve erozyonu da önleyebilen bir kaynak olduğu bilinci, sürdürülebilirlik kavramı için bir örnek oluşturmaktadır [2].

Artan atık çamur miktarları, çamur stabilizasyon yöntemlerinin yanı sıra çamurun yeniden değerlendirilerek değişik alanlarda kullanımını gündeme getirmiştir[3]. Atık çamurunun uzaklaştırılmasının neden olduğu soruna en ekonomik ve yenilikçi çözümü bulmak gerekmektedir [4]. İnsan sağlığı ve çevrenin korunduğu ekonomik bir çamur bertaraf prosesi kullanılmalıdır [5].

Aritma çamurlarında bulunan bitki besin elementleri, ticari gübrelerdekinin aksine bitkiler tarafından hemen kullanılabilir formda değildir. Çamur içeriğindeki bitki besin elementlerinin büyük bölümü organik formdadır ve organik maddenin mikroorganizma tarafından parçalanmasıyla bitki tarafından alınabilir formlara dönüşmektedir [6].

Aritma çamurunun da dahil olduğu organik katı atıkların kompostlaştırılması çok eskiden beri kendini kabul ettirmiş bir yöntemdir [7]. Kompost, biyokimyasal olarak ayrışabilir çeşitli organik maddelerin organizmalar tarafından stabilize edilmiş, mineralize olmuş üründür [8]. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği[9] ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde[10] kompost: organik esaslı katı atıkların oksijenli ve oksijensiz ortamda ayrıştırılması suretiyle üretilen toprak iyileştirici madde" olarak tanımlanmıştır. Kompostlaştırma ise, organik maddelerin biyolojik olarak ayrışma hızını arttırmak için uygulanan kontrollü biyolojik süreçtir [11]. Kompostlaştırma aslında doğada, bitki yetişen her yerde doğal olarak yürüyen bir süreçtir. Kompost yapımı bu olayın iyi bir şekilde incelenip taklit edilmesiyle oluşmuştur [12].

Kompost, kompostlama prosesi ile elde edilir [13]. Kompostlama sırasında organik maddeler mikroorganizmaların ve onların enzimlerinin faaliyetleri ile humusça zengin bir ürüne dönüşür[14]. Kompost uygulaması organik madde oranını artırır, besin düzeylerini, mikrobiyal biyokütle ve toprak fiziksel özelliklerini iyileştirir (havalandırma, su tutma kapasitesi, vb) [15]. Aritma çamurunun kompostlanması çalışmalarında farklı hacim artırıcı maddeler kullanılmıştır [16]. Kompostlar, kompost ürünü için kullanılan hammadde bileşimine daha fazla bağlı olan stabilite ve kaliteleri farklı olan farklı organik atıklardan hazırlanır [17]. Tam anlamıyla yürütülmüş kompost, nispeten düşük hava ve su kirliliği, düşük işletme maliyeti ve gelir getirici gibi çeşitli avantajları ile sürdürülebilir [18].

Sürekli artan enerji maliyetleri ve atıksu arıtma tesislerine karşılık olarak ülkelerin büyük miktarda çamur üretimiyle kompostlama; düzenli depolama, okyanuslarda bertaraf ve yakmaya önemli bir alternatif olacaktır [19]. Kaynakların korunması ve arıtma çamuru bertarafının bir aracı olarak birçok şehir kompostlamaya dönmektedir [20]. Aritma çamurlarından kompost üretiminin araştırıldığı çalışmalarda, sosyal ve çevresel problemlerin önemi belirtilerek, kompostun kullanımına yönelik düzenlemelerin gerekli olduğu vurgulanmıştır [21].

Bu çalışma kapsamında, Sivas atık su arıtma tesisinden çıkan arıtma çamurundan topraklaştırma yöntemi ile farklı ürünler elde etmek için gerekli olan hacim artırıcı (kompost girdi malzemelerin) malzemelerin temin edilebilirliği ve miktarları belirlenerek farklı alternatifler ortaya konmuştur. Ayrıca bu kompost tesisinin işletilebilmesi için gerekli koşullar belirlenerek maliyet analizleri yapılmıştır.

## 2. MATERYAL METOD (MATERIAL AND METHOD)

Topraklaştırma, kompostlama işleminden farklı olarak son ürünlerin hangi özellikte olacağı bilinerek çamurun yeni ürünlere dönüştürüldüğü bir uygulamadır. Yığın-kompost tekniği kullanılır, ancak bekleme süreleri daha uzundur. Yıldız'ın [22] çalışması 24 hafta sürmüştür. Topraklaştırma için farklı miktarlarda, arıtma çamuru, yaprak, çim, ağaç dalı, arıtma tesisi kum tutucu ünitesinden çıkan inorganik ve organik maddeler kullanılmıştır [22]. Her bir ürünün oluşturulması için gerekli karışım oranları Yıldız'ın [22] çalışmasından alınmıştır. Çalışmanın uygulamaya geçmesi durumunda girdi malzemelerinin temin edilebilirlikleri incelenmiştir. Temin edilebilir miktarlara göre farklı kullanım alternatifleri ortaya konmuştur. Ayrıca bu alternatiflerin uygulanması durumunda ilk yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri ve oluşan ürün başına birim maliyetler hesaplanmıştır.

### 2.1 Topraklaştırmada Kullanılacak Malzemeler ve Miktarları

(Materials and Their Quantities to be Used in Soilification)

#### Aritma Çamuru Miktarı (Amount of sludge)

Sivas atık su arıtma tesisi işletmeye alındığı tarihten itibaren 2009-2011 yılları arası aylık olarak çıkan çamur miktarları Çizelge 1' de verilmektedir.

**Çizelge 1:** 2009-2011 yıllarında arıtma tesisinden çıkan aylık çamur miktarları

(The monthly amounts of sludge emerging from treatment plant between 2009-2011)

Aylar	2009 yılı Çıkan çamur miktarı ton/ay	2010 yılı Çıkan çamur miktarı ton/ay	2011 yılı Çıkan çamur miktarı ton/ay
Ocak		987.29	855,22
Şubat		937.86	1212,50
Mart	336.32	906.85	1786,86
Nisan	755.56	685.02	1429,70
Mayıs	1,386.72	945.75	1535,92
Haziran	1,597.60	434.32	740,70
Temmuz	1,722.43	1,447.93	1722,28
Ağustos	1,974.81	1,388.06	1620,02
Eylül	2,123.11	1,088.99	917,06
Ekim	1,784.72	1,809.96	1561,53
Kasım	1,710.00	1,706.23	
Aralık	1,011.56	2,322.13	
Toplam	14402,82	14660,38	13411,78

Çizelge 1' de görüldüğü gibi tesisten yıllık yaklaşık 15.000 ton arıtma çamuru çıkmaktadır. İleriki yıllarda nüfusun artmasıyla birlikte artan debiye bağlı olarak çamur miktarı da artış gösterecektir.

#### **Organik ve İnorganik Atıklar (Organic and Inorganic Wastes)**

Sivas atık su arıtma tesisinden alınan verilere göre tesisin havalandırılmalı kum tutucu ünitesinden yıllık ortalama 300 ton organik atık ve ortalama 350 ton inorganik atık çıkmaktadır.

#### **Yaprak, Çim ve Ağaç Dalı Miktarları (Leaves, Grass and Branch Quantities)**

Sivas Belediyesince toplanan yeşil atık; iki haftada bir kesilen 700.000 m<sup>2</sup> (70 ha) alandan gelmektedir. Kuruyan ot miktarının 4,1 ton KK/hektar(Kuru Kütle) olduğu varsayılmaktadır. Netice itibarıyla yıllık toplam kesilen yeşil atık miktarı 287ton KK çıkmaktadır. Sivas Belediyesi [23]raporuna göre, çim için alınan toprak numunesinin özgül ağırlığı 0,214 t/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Buna göre yıllık kesilen yeşil atık miktarı yaklaşık 1341 m<sup>3</sup>/yıl çıkmaktadır.

Sivas Belediyesi Park Ve Bahçeler Müdürlüğü'nden alınan bilgilere göre yaprakların miktarı yıllık yaklaşık 100 kamyonudur. Bir kamyon kapasitesinin 12 m<sup>3</sup> olduğu dikkate alındığında toplam brüt yaprak miktarı 1.200 m<sup>3</sup>/yıl olacaktır. Kütle yoğunluğunun 0,2-0,3 t/m<sup>3</sup> [23] olması nedeniyle hacim 240-360 t/yıl olarak hesaplanmıştır. Park ve Bahçeler Müdürlüğü sonbaharda yaprakları yakmaktadır.

Park ve Bahçeler Müdürlüğü budanan ağaç dallarının miktarını yaklaşık 150 kamyon olarak belirtmiştir. Bir kamyonun kapasitesinin 12 m<sup>3</sup> olduğu dikkate alındığında ağaç dallarının toplam miktarı yaklaşık 1.800 m<sup>3</sup>/yıl olacaktır. Kütle yoğunluğunun 0,15-0,3 t/m<sup>3</sup> olması nedeniyle [23] hacim 270-540 t/yıl hesaplanmıştır.

#### **2.2 Elde Edilebilecek Ürün Alternatifleri (Obtainable Product Alternatives)**

Arıtma çamurundan elde edilecek gübre, suni toprak ve toprak iyileştirici ürünlerinin her birini oluşturmak için kullanılacak organik ve inorganik girdi malzeme miktarları farklıdır. Girdi malzemelerimizin temelini arıtma çamuru oluşturmaktadır. Gübre, suni toprak ve toprak iyileştirici malzemelerini oluşturmakta kullanılacak olan malzemeler ve Sivas kentinde yıllık temin edilebilir miktarları Çizelge 2' de verilmektedir.

**Çizelge 2:**Malzemelerin temin edilebilir miktarları (Materials' Obtainable Quantities)

Malzeme	Temin edilebilir miktar ton/yıl
Aritma Çamuru	15.000
Yaprak+Çim	640
Ağaç Dalı	500
Kum tutucu ünitesi organik atığı	300
Kum tutucu ünitesi inorganik atığı	350

Aritma tesisinden çıkan yaklaşık 15.000 ton/yıl çamurun tamamını kullanarak ürün elde edilebilmesi için gerekli karışım oranları ve malzeme miktarları Çizelge 3'de görülmektedir. Çizelge 3'de, çıkan çamurun 1/3'ünden gübre, 1/3'ünden toprak iyileştirici ve 1/3'ünden de suni toprak elde edilmesi halinde gerekli malzeme miktarları hesaplanmıştır (Alternatif I).

**Çizelge 3:** Alternatif I için gerekli karışım oranları ve malzeme miktarları

(Essential mixing ratio sand material quantities for alternative I)

Ürün Çeşidi	Ürün Oranı %	Girdi Malzemeleri	Karışım Oranı	Malzemenin Kendine Özgü Kısımının Miktarı ton / yıl	Toplam Malzeme ton / yıl
Gübre	33.33	Çamur	0,79	5.000	8.544,30
		Yaprak/Çim	0,21	1.329,11	
		Dallar	0,16	1.012,66	
		Kum tutucu organik	0,19	1.202,53	
Toprak İyileştirici	33.33	Çamur	0,53	5.000	12.547,1
		Yaprak/Çim	0,21	1.981,13	
		Kum tutucu inorganik	0,43	4.056,60	
		Dallar	0,16	1.509,43	
Suni Toprak	33.33	Toprak	19,05		33.679,2
		Çamur	1,06	5.000	
		Yaprak/Çim	0,21	990,57	
		Dallar	0,16	754,72	
		Toprak	5,71	26.933,96	

\* Sivas AAT'den bir yılda çıkan ortalama çamur miktarı

Çizelge 3'de bir yılda çıkan toplam çamurun eşit miktarlarda kullanılması durumunda yaklaşık 8.500 ton/yıl gübre, 12.500 ton/yıl toprak iyileştirici ve 33.600 ton/yıl da suni toprak üretilebileceği görülmektedir. Ancak ürün oluşumu sırasında kütle kayıpları olacaktır. Bu alternatifin uygulanabilmesi için gerekli malzeme miktarları ile malzemelerin temin edilebileceği miktarlar ve ilaveten gereken malzeme miktarları hesabı Çizelge 4'de görülmektedir.

**Çizelge 4:** Alternatif I için gerekli malzeme ihtiyacı (Essential material requirement for alternative I)

Malzeme	Gerekli miktar ton	Temin edilebilir miktar ton/yıl	İlave ihtiyaç (fark) (ton)
Aritma Çamuru	15000	15.000	-
Yaprak+Çim	4300,81	640	3660,81
Ağaç Dalı	3276,81	500	2776,81
Kum tutucu ünitesi organik atığı	1202,53	300	902,53
Kum tutucu ünitesi			

inorganik atığı	4056,60	350	3706,60
Toprak	26933,96	26933,96	-

Çizelge 4’de görüldüğü gibi gerekli olan malzeme miktarları temin edilebilir miktarların oldukça üzerindedir. Bu sebeple böyle bir çalışmanın yapılması pratikte mümkün görülmemektedir. Arıtma çamurundan farklı ürünlerin elde edilmesinde temin edilebilecek girdi miktarları göz önünde bulundurularak farklı alternatifler geliştirilmelidir. Temin edilebilir miktarlara göre arıtma çamurundan gübre, suni toprak ve toprak iyileştiricilerin üçünden de elde edilmek istenmesi durumunda yapılan hesaplamaya göre kullanılacak malzeme miktarları Çizelge 5’de verilmektedir (Alternatif II).

**Çizelge 5:** Mevcut ürün miktarlarına göre oluşabilecek ürünler ve miktarları (Alternatif II)

Potential products and their quantities according to the existing product (Alternative II)					
Ürün Çeşidi	Ürün Oranı	Girdi Malzemeleri	Oran (%)	Malzemenin Kendine Özgü Kısımının Miktarı ton / yıl	Toplam Malzeme ton / yıl
Gübre	8%	Çamur	0,79	1.200	2.050,63
		Yaprak/Çim	0,21	318,99	
		Dallar	0,16	243,04	
		Kum tutucu organik	0,19	288,61	
Toprak İyileştirici	3%	Çamur	0,53	450	1.129,25
		Yaprak/Çim	0,21	178,30	
		Kum tutucu inorganik	0,43	365,09	
		Dallar	0,16	135,85	
		Toprak	19,05		
Suni Toprak	5%	Çamur	1,06	750	5.051,89
		Yaprak/Çim	0,21	148,58	
		Dallar	0,16	113,21	
		Toprak	5,71	4.040,09	

\* Sivas AAT’den bir yılda çıkan ortalama çamur miktarı (2009-2010 verilerine göre)

Çizelge 5’de görüldüğü gibi temin edilebilecek miktarlara göre üç üründen de elde edilmesi durumunda bir yılda çıkan çamurun % 8’ini kullanarak gübre, %3’ünü kullanarak toprak iyileştirici ve % 5’ini kullanarak da suni toprak elde etmek mümkündür. Bu saha uygulaması ile yılda yaklaşık 2.050 ton gübre, 1.130 ton toprak iyileştirici ve 5.050 ton da suni toprak oluşturmak mümkündür. Alternatif II’in (Çizelge 5) uygulanması durumunda elde edilecek olan ürün miktarları ve ihtiyaç miktarları Çizelge 6’da verilmektedir.

**Çizelge 6:** Alternatif II için gerekli malzeme ihtiyacı

(Essential material requirement for alternative II)			
Malzeme	Gerekli miktar ton	Temin edilebilir miktar ton/yıl	Gereksinim (fark) (ton)
Arıtma Çamuru	2400	15000	-
Yaprak+Çim	645,87	640	5,87
Ağaç Dalı	492,09	500	-
Kum tutucu ünitesi organik atığı	288,61	300	-
Kum tutucu ünitesi inorganik atığı	365,09	350	15,09
Toprak	4040,09	4040,09	-

Çizelge 6’da görüldüğü bu alternatif için girdi malzemelerinin mevcut miktarları yeterlidir. İnorganik madde ve yaprak malzemelerindeki gereksinimler karşılanabilecek miktardadır. Böyle bir uygulama yapıldığı takdirde yılda yaklaşık 2.400 ton arıtma çamuru kullanılabilir. Sivas atık su arıtma tesisinden günde yaklaşık 40 ton arıtma çamuru çıktığı düşünülürse yaklaşık 60 günlük çamur bu uygulamada kullanılabilir. Elde edilecek ürünün çeşitliliğine bakılmaksızın en fazla çamurun kullanılması ve bertarafının gerçekleştirilmesi düşünülürse sadece suni toprak elde etmek gerekecektir (Alternatif III). Sadece suni toprak elde edilmesi için gerekli malzeme miktarları Çizelge 7’de verilmektedir.

**Çizelge 7:** Alternatif III için gerekli karışım oranları ve malzeme miktarları

(Essential mixing ratios and material quantities for alternative III)					
Ürün Çeşidi	Ürün Oranı	Girdi Malzemeleri	Oran	Malzemenin Kendine Özgü Kısımının Miktarı ton / yıl	Toplam Malzeme ton / yıl
Suni Toprak	22%	Çamur	1,06	3.300	22.228,30
		Yaprak/Çim	0,21	653,77	
		Dallar	0,16	498,11	
		Toprak	5,71	17.776,42	

Çizelge 7’de görüldüğü gibi temin edilebilir girdi malzemeleri kullanılarak sadece suni toprak elde edilmesi durumunda yaklaşık 3.300 ton arıtma çamuru kullanılabilir. Yani Sivas kent atık su arıtma tesisinden 82 gün boyunca çıkan çamur suni toprağa dönüştürülebilir. Suni toprak elde etmek için kullanılacak malzeme miktarları ve gereksinimleri Çizelge 8’de verilmektedir.

**Çizelge 8:** Alternatif III için gerekli malzeme ihtiyacı

(Essential material requirement for alternative III)			
Malzeme	Gerekli miktar Ton	Temin edilebilir miktar ton/yıl	Gereksimin (fark) ton
Arıtma Çamuru	3300	15000	-
Yaprak+Çim	653,77	640	-
Ağaç Dalı	498,11	500	-
Toprak	17776,42	17776,42	-

Arıtma çamuru kullanılarak elde edilebilecek üç ürüne (gübre, toprak iyileştirici, suni toprak) bakıldığında ekonomik değer olarak en önemlisi gübredir. Bu sebeple hem çamurdan fazla miktarda kullanmak hem de gübre elde etmek önemli olacaktır. Bu şekilde ki bir saha uygulaması için gerekli malzeme miktarları ve oranları Çizelge 9’da verilmektedir (Alternatif IV).

**Çizelge 9:** Alternatif IV için gerekli karışım oranları ve malzeme miktarları

(Essential mixing ratios and material quantities for alternative IV)					
Ürün Çeşidi	Ürün Oranı	Girdi Malzemeleri	Oran	Malzemenin Kendine Özgü Kısımının Miktarı ton / yıl	Toplam Malzeme ton / yıl
Gübre	8.5%	Çamur	0,79	1.275	2.178,80
		Yaprak/Çim	0,21	338,92	
		Dallar	0,16	258,23	
		Kum tutucu organik	0,19	306,65	
Suni Toprak	10.5%	Çamur	1,06	1.575	10.608,96
		Yaprak/Çim	0,21	312,03	

Dallar	0,16	237,74
Toprak	5,71	8.484,20

\* Sivas AAT'den bir yılda çıkan ortalama çamur miktarı

Çizelge 9'da görüldüğü gibi girdi malzemelerinin temin edilir miktarlarını kullanarak elde edilebilecek gübre ve suni toprak için 2.850 ton arıtma çamuru kullanılacaktır. Bu uygulama ile tesisten çıkan yaklaşık 72 günlük arıtma çamurunun hem bertarafı hem de geri kazanımı sağlanmış olacaktır. Bu uygulama için gerekli olan malzeme miktarları ve gereksinim durumları Çizelge 10'da görülmektedir.

**Çizelge 10:** Alternatif IV için gerekli malzeme ihtiyacı

(Essential material requirement for alternative IV)

Malzeme	Gerekli miktar ton	Temin edilebilir miktar ton/yıl	Gereksimin (fark) ton
Arıtma Çamuru	2850	15000	-
Yaprak+Çim	650,95	640	10,95
Ağaç Dalı	495,96	500	-
Kum tutucu ünitesi organik atığı	306,65	300	6,65
Toprak	8484,20	8484,20	-

Çizelge 10'da görüldüğü gibi Alternatif IV'ün uygulanması için çok az yaprak, çim ve kum tutucu organik maddeye ihtiyaç vardır. Bu miktarlar karşılanabilecek düzeydedir.

### 2.3 Topraklaştırma Uygulaması İçin Gerekli Alan Hesabı (Essential Area Account For Soilification)

Yığın aşırı derece büyük olursa, yığının merkezinde anaerobik merkez oluşacak ve karıştırıldığında koku yayılacaktır. Diğer taraftan küçük yığınlar çok çabuk ısı kaybederler ve nemi buharlaştırmak, patojenleri ve yabancı ot tohumlarını öldürmek için gerekli olan sıcaklıklar sağlanamayacaktır [12].

Oluşturulacak yığınlar 3 m genişliğinde ve 1,5 m yüksekliğinde olacaktır. Yığının uzunluğu hesaplamalarda 200 m olarak alınmıştır. Yığınlar arasında da karışımı yapacak olan karıştırıcının rahatlıkla hareket edebilmesi için 3mmesafe bırakılmıştır. Seçilen ölçülere göre her bir yığında 900 m<sup>3</sup> (200x3x1,5) malzeme olacaktır.

Tesisten çıkan arıtma çamurunun tamamı kullanılarak elde edilebilecek ürün miktarı toplam 54.770 m<sup>3</sup> dür. Bu miktardaki bir malzemedan belirlenen ölçülerde yaklaşık 61 adet yığın oluşturulması gerekir. Yan yana iki yığının kapladığı alan (9m x200m) 1800 m<sup>2</sup>dir. İki yığının kapladığı alan bilindiğine göre 61 yığın için gerekli alan 54.900 m<sup>2</sup> yani yaklaşık 55 dönümdür. Bu alanın dışında kompostlaştırma malzemelerinin depolanacağı, ölçümlerinin ve karışımlarının yapılacağı, ayrıca çalışanların barınması için gerekli binanın da yer alacağı bir alana da ihtiyaç vardır. Tüm bunlar içinde 20 dönümlük bir arazi yeterli olacaktır. Uygulamanın yapılabilmesi için gerekli toplam alan 75.000 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Oluşan malzemelerin kullanımının mevsimsel şartlar ve ihtiyaçlar dikkate alınarak kullanılmayacak malzemeler ise 24 haftanın sonunda oluşumunu tamamlamış yığınların yerine depolanabilir.

Malzemelerin temin edilebileceği miktarlar dikkate alındığında en fazla çamur kullanımı suni toprak elde edilmesi durumunda (Alternatif III) gerçekleşmektedir. Bu çalışmanın yapılabilmesi için gerekli alan ihtiyacı hesabı, belirlenen ölçülere göre oluşabilecek yaklaşık 25 yığın için yapılabilir. Bu yığınlar için gerekli alan 22.500 m<sup>2</sup>dir(22,5 dönüm). Girdi malzemelerinin depolanması, ölçülmesi ve diğer ihtiyaçlar içinde gerekli alan 10.000 m<sup>2</sup> kabul edilirse, toplam alan ihtiyacı 32.500 m<sup>2</sup>dir. Bu alternatif de gereken malzeme miktarları diğerlerinden fazla miktarda olduğundan, bu alan alternatif uygulamaların tamamına yetecek büyüklüktedir.

#### 2.4 Yatırım Maliyetleri (Investment Costs)

Topraklaştırma işleminin uygulama aşamasında gerekli olan araç ve onarımlar ile yaklaşık maliyetleri Çizelge 11’de görülmektedir. Uygulamanın yapılacağı alan belediyeye ait olacağından yatırım maliyetine arazi bedeli dahil edilmemiştir.

**Çizelge 11:Araç ve donanım yatırım maliyetleri (Vehicles and equipment investment costs)**

Gerekli Araç Ekipman	İhtiyaç Sayısı	Yaklaşık maliyet (adet/TL)
Kamyon	1	180.000
Yükleyici kepçe	1	90.000
Windrowturner (Karıştırıcı)	1	200.000
Mekanik öğütücü	1	80.000
Kantar	1	10.000
Konveyör (Taşıyıcı bant)	1	20.000
Büyük elek	1	10.000
Bina inşaatı (çalışanlar için)		50.000
Elektrik işleri		20.000
Toplam		660.000
Bilinmeyen (%10)		66.000
<b>TOPLAM</b>		<b>726.000</b>

Çizelge 11’de görüldüğü gibi topraklaştırma uygulamasına başlamak için gerekli ilk yatırım maliyeti yaklaşık 730.000 TL dir. Uygulama için yapılması gereken diğer çalışmalar, sahanın düzenlenmesi, temizlenmesi, drenaj borularının yerleştirilmesi, sahaya ulaşım ve saha için yollarının açılmasıdır. Bu çalışmalarının tamamı belediyenin kendi imkânları ile yapılabileceğinden ilk yatırım maliyetine ilave edilmemiştir.

#### 2.5 İşletme Maliyetleri (Operation Cost)

Yıllık işletim maliyetleri Çizelge 12’de verilen kabuller doğrultusunda hesaplanmıştır.

**Çizelge 12: Maliyet hesabında kullanılacak ücretler (Fees used in the calculation cost)**

Personel maliyetleri					
Mühendis TL/yıl	İşçi TL/yıl	Operatör TL/yıl	Şoför TL/yıl	Yakıt TL/ litre	Analiz ücretleri TL/numune
42.804	14.268	21.402	18.548	4,18	1050 (440 avro)

#### Personel Maliyeti (Personnel Costs)

Topraklaştırma uygulaması için sahada çalışması gereken personel sayısı 1 adet mühendis, 2 adet işçi, 1 operatör ve 1 kamyon şoförü olarak öngörülmüştür. Personelin yıllık toplam maliyeti Çizelge 12’ye göre yapılan hesaplamada 111.290 TL dir. Personel maliyetleri Sivas Belediyesinin hizmet alım ihalesiyle çalıştırdığı personel maliyetlerine göre hesaplanmıştır.

#### Enerji maliyeti (Energy Cost)

Uygulama sahasında aydınlatma, konveyör (taşıyıcı bant) ve ısınma ihtiyaçları için elektrik enerjisi kullanılacaktır. Tüm bu ihtiyaçlar için yıllık toplam 12.000 TL enerji giderinin olabileceği kabul edilmiştir. Alternatif I’ de konveyörün daha fazla çalışacağı düşünülürse bu alternatif için elektrik enerjisi maliyeti diğer alternatiflerin iki katı yani 24.000TL/yıl olarak kabul edilebilir.

#### Numune Analiz Maliyetleri (Sample Analysis Costs)

Kompostlaştırma uygulaması yapılırken yığınların analizlerinin yapılarak son ürünün uygunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Oluşturulan her bir yığın için en az bir analiz yaptırmaya ihtiyaç duyulabilir. Bir fraksiyon analizinin ücreti 1050 TL’dir (440 avro) (Çizelge 12). Herbir alternatif için analiz ücretleri maliyeti Çizelge 13’de verilmektedir.



**Çizelge 13:** Analiz maliyetleri (Analysis costs)

Yapılacak Uygulama	Alternatif I	Alternatif II	Alternatif III	Alternatif IV
Yığın Sayısı (adet)	61	9	25	14
Analiz Ücreti (TL)	64.000	9.450	26.250	14.700

**Yakıt Maliyeti (Fuel cost)**

İşletmede kamyon, yükleyici ve karıştırıcıya (windrow) ihtiyaç duyulacaktır. Kamyon ile düzenli olarak kullanılacak girdi malzemelerinin sahaya nakli sağlanacak olup, yükleyici ile malzemelerin kırıcıya boşaltılması, karışımın sahaya serilmesi gibi saha içindeki işler yapılacaktır. Karıştırıcı ise yığınların düzenli olarak harmanlanmasında kullanılacaktır. Uygulama sahasının arıtma tesisine ve kente olan uzaklığı arttıkça işletme açısından önemli bir gider olan taşıma maliyetleri de artacaktır. Sivas için Sivas Belediyesi'nin alternatif arıtma çamuru deponi alanı olarak belirlediği, kente yaklaşık 14 km ve arıtma tesisine 4 km mesafedeki alan uygulama için son derece müsaittir. Taşıma ile ilgili hesaplar bu alan dikkate alınarak yapılmıştır.

Alternatif I uygulaması için yapılan hesaplamalarda gerekli malzeme toprak hariç yılda yaklaşık 28.000 tondur (Çizelge 14). Kompostta kullanılacak girdi malzemelerinden olan toprak, uygulama sahasından karşılanması düşünüldüğünden ve bu miktar nakliye hesabına dahil edilmemiştir. Bir kamyonun ortalama 10 ton malzeme taşıyabileceği hesap edilirse yıl boyunca 2.800 kamyon malzeme taşınacaktır. Bu taşımanın yaklaşık yarısının arıtma çamuru olduğu düşünülürse bir taşıma için bir kamyon en az 20 km yol alacaktır (gidiş-dönüş). Bir kamyon kilometreye yaklaşık 1 TL yakacağı tahmin edilmektedir (malzeme taşırken yüklü olacağı ve uygulama sahasının yolunun biraz dik olduğu dikkate alınmıştır). Her bir uygulama alternatifi için gerekli yakıt hesaplamaları çizelge 14'de verilmektedir.

**Çizelge 14:** Alternatif uygulamaları için taşıma maliyetleri (Transport costs for alternative applications)

Alternatif	Taşınacak malzeme miktarı ton/yıl	Kamyon sefer sayısı	Toplam yapılacak mesafe km	Toplam yakıt maliyeti TL
Alternatif I	28000	2800	56000	56000
Alternatif II	4200	420	8400	8400
Alternatif III	4550	455	9100	9100
Alternatif IV	4300	430	8600	8600

Topraklaştırma uygulamasında sahada bir adet yükleyicide sürekli çalışacaktır. Alternatif I için bir yükleyicinin bir günde 6 saat çalışacağı düşünülmektedir. Bir yükleyici kepçenin saatte ortalama 45 TL yakıt harcayacağı kabul edilmiştir. Bu durumda bir günde yükleyici ortalama 270 TL'lik yakıt harcayacaktır. Bir yılda 270 gün çalışacağı kabul edilirse, yükleyicinin harcayacağı toplam yakıt miktarı yaklaşık 73.000 TL/yıl dır. Diğer uygulama alternatifleri için ise yükleyicinin saha içerisinde bir günde ortalama 4 saat çalışacağı kabul edilmiştir. Bu durumda bir günde yükleyici ortalama 180 TL yakıt harcayacaktır ve bir yıldaharcayacağı yakıt miktarı 48.600 TL/yıl dır.

**Çizelge 15:** Her bir alternatif için işletme maliyetleri (Operating costs for each alternative)

	Personel	Yakıt	Elektrik Enerjisi	Analiz Ücreti	*Diğer	Toplam İşletme Maliyet
Alternatif I	111.290	153.300	24.000	64.000	20.000	384.590
Alternatif II	111.290	105.700	12.000	9.450	20.000	258.440
Alternatif III	111.290	106.400	12.000	26.250	20.000	275.940
Alternatif IV	111.290	105.900	12.000	14.700	20.000	263.890

\*Tesislerde çalışan her türlü araç ve donanımların yıllık bakımlarının yapılması ve yıl içerisindeki tamir ve yedek parça ihtiyaçlarının da karşılanması için 20.000 TL ilave edilmiştir.

Alternatif I için karıştırıcı günde ortalama 2 saat çalışacağı tahmin edilmektedir. Yakıt harcaması yükleyici kepçe hesabından yapılacak olursa karıştırıcının da yılda yaklaşık 24.300 TL/yıl yakıt harcayacağı tahmin edilmektedir. Diğer alternatifler için ise karıştırıcı her gün ortalama 1 saat çalışması

durumunda yılda yaklaşık 12.100 TL/yıl yakıt harcayacağı hesaplanmaktadır. Tüm bu hesaplamalar dikkate alındığında her bir alternatife ait yıllık işletme maliyetleri Çizelge 15’de görülmektedir.

### 2.6 Ürün Başına Düşen Birim Maliyetler (Yield-Per-Unit Costs)

Birim maliyetler işletme giderleri üzerinden hesaplanmıştır. Tesis ilk yatırımı ile birlikte uzun yıllar kullanılabileninden ürün maliyeti hesabında kullanılmamıştır. Topraklaştırma işlemi sırasında yığınlarda hacim azalmaları meydana gelmektedir. Her bir ürün için ilk hacim, oluşumdan sonraki hacim ve azalma yüzdeleri Çizelge 16’ da görülmektedir.

**Çizelge 16:** Her bir yığın için hacim değişim oranları [22] (Volume change rates for each heap)

	Oluşturulan (m3)	Kalan (m3)	Değişim Oranı %
Gübre	11,25	3,5	%69
Suni Toprak	15	7	%53
Toprak İyileştirici	15	4,8	%68

**Çizelge 17:** Oluşan her bir ürün için ton başına maliyet hesabı

(Per ton cost calculation for each composed product)

	*Gübre	* Toprak İyileştirici	* Suni Toprak	Toplam Ürün Miktarı	1 yıllık İşletme maliyeti	Elde edilen ürünün ton başına maliyeti
Alternatif I	2648,7	4015,1	15835,3	22499,1	375200	16,67 TL
Alternatif II	635,7	361,3	2374,4	3371,4	249050	73,87 TL
Alternatif III	-	-	10447,3	10447,3	266550	25,51 TL
Alternatif IV	675,4	-	4986,2	5661,6	254500	44,95 TL

\* Çizelge 5.16’da verilen hacim azalmaları dikkate alınarak hesaplanan oluşabilecek toplam ürün miktarı

Isıl çürüme sırasında ortaya çıkan biyolojik dönüşüm ve çürüyen malzeme önemli miktarda hacim azalmasına neden olmuştur. Bu azalma içinde azda olsa harmanlama sırasında oluşabilecek kayıplar ile rüzgâr gibi iklim şartlarından kaynaklanacak malzeme azalması da vardır [22].

Ürün başına birim maliyet hesabı yapılırken Çizelge 16’da verilen yığınların hacminde meydana gelen azalma oranları hesaba katılarak oluşabilecek son ürün miktarları hesaplanmıştır. Her bir alternatif için oluşabilecek ürünlerin ton başına düşen birim maliyetleri Çizelge 17’de verilmektedir.

Çizelge 17’de görüldüğü gibi oluşan ürün miktarı arttıkça ürünün ton başına düşen maliyeti de azalmaktadır. Alternatif II için maliyet ton başına 73,87 olarak hesaplanmış olup bu seçenek en pahalı alternatiftir. En ucuz maliyet ise sadece suni toprak elde edilen alternatif IV seçeneği olup, ton başına birim maliyet 25,51 TL dir. Gübre ve toprak iyileştirici elde edilen alternatiflerin tamamının ton başına birim maliyetleri piyasada satılan gübre fiyatlarının çok altındadır. Kimyasal gübre fiyatı (Üre) 1380 \$/ tondur [24].

Yapılan araştırmalara göre elde edilecek ürün miktarına, tarımsal girdilerden gübrenin etkisi % 58’dir. Tarımsal üretimin artırılmasında en büyük payı gübreler oluşturmaktadır [25].

### 3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Arıtma çamurunun topraklaştırılmasında kullanılacak olan tüm girdi malzemeleri uzaklaştırılması gereken atıklardır (yaprak, çim, arıtma çamuru, kum tutucu ünitesi organik kısmı ve kum tutucu ünitesi inorganik kısmı). Bu atıkların gerek uzaklaştırılması gerekse depolanması maliyet gerektirmektedir. Arıtma çamurunun topraklaştırılması ile çamurun uygun bertarafı sağlandığı gibi aynı zamanda diğer atıklarda geri kazanılmaktadır.

Temin edilebilecek malzemeler ile gerçekleştirilebilecek alternatiflere bakıldığında en fazla 3.300 ton arıtma çamuru kullanılabilir. Bu miktar bir yılda tesisten çıkan çamurun %22’sidir. Daha

fazla arıtma çamurunun kullanılarak daha fazla ürün elde edilebilmesi için girdi malzemelerinin temin miktarlarının artırılması ve alternatiflerinin bulunması gerekmektedir.

Ağaç dalı için olabilecek en uygun alternatif talaştır. Gerek temin imkânının kolaylığı gerekse tane büyüklüğünün küçük olması nedeniyle kompostlaştırma girdi malzemesi için önemli bir alternatiftir. En önemli dezavantajı ise ekonomik değerinin olmasıdır. Bu miktar hesaplamalar yapılırken maliyet oluşturacaktır. Yaprak ve çim için ise belediye dışında diğer kurumlarla görüşülerek ayrıca kent yakınlarında nakliye maliyetlerinin çok yüksek olmayacağı çiftlik ve ağaçlık alanlar belirlenerek bu alanlardaki yeşil atıklarda düzenli olarak alınmalıdır. Yaprak ve çim atıklarının geri dönüşümü ve ekonomik değerinin olmaması ve kişilerin bu atıkları buldukları alandan uzaklaştırmayı masrafsız ve zahmetsiz yapabilecek olması bu alternatifin en önemli avantajıdır. Böylelikle kullanılacak yeşil atık miktarları artmış olacaktır.

Kum tutucu ünitelerinin inorganik atıklarının miktarından kaynaklanan eksikliği gidermek daha kolay olabilir. İnşaat molozlarının ve hafriyatlarının döküldüğü alanlar incelenerek buradaki atık hafriyattan yararlanılarak inorganik malzeme temini gerçekleştirilebilir. Böylece sahayı doldurmaktan başka bir işe yaramayan atıkların bir kısmı değerlendirilerek alanların depolama ömürlerine de fayda sağlanabilir. Kum tutucu ünitelerinin organik atık miktarının eksikliğini gidermek ve organik madde miktarını artırmak da gerekmektedir. Bunun için en önemli alternatif pazar ve sebze hali atıklarıdır. Temiz şekilde toplanmış içerisinde inorganik atık içermeyen (naylon poşet, pet şişe vs.) sebze, meyve atıklarının ebatları küçültülerek hacim artırıcı olarak kullanılabilir. Böylece hem elde edilen ürün miktarı hem de kullanılan çamur miktarı artacaktır.

Topraklaştırma işleminin yapılacağı sahanın zemininin çalışma yapılmadan önce geçirimsiz hale getirilmesi, yağmur ve sızıntı sularının drenaj kanalları ile yığınlardan uzaklaştırılması uygun olacaktır. Böylece gerek yığınların harmanlaması yağışlı havalarda da uygun şekilde yapılabilecek gerekse olası kirleticilerin yeraltına sızması engellenmiş olacaktır. Topraklaştırma projesinin uygulanması halinde farklı alternatif uygulamalar için farklı işletme giderleri ve buna bağlı olarak da ton başına maliyetler hesaplanmıştır. Maliyetler ve ortaya çıkan ürüne bakıldığında arıtma çamurlarının topraklaştırma yöntemi ile geri kazanımı, her atık su arıtma tesisi için uygulanabilecek bir yöntem olup ülkemizde mutlaka hayata geçirilmelidir. Böylece arıtma çamurunun uygun bertarafının yanı sıra, hem kentteki pek çok atığın geri kazanımı sağlanmış olacak hem de kullanılabilir ve ekonomik ürünler elde edilmiş olacaktır.

#### **Teşekkür (Acknowledgements)**

"Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi CÜBAP başkanlığı tarafından M 384 numaralı proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı CÜBAP başkanlığına teşekkür ederim".

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Bruce, A.M. and Davis, R.D., "Sewage Sludge Disposal: Current and Future Options", *Water Science & Technology* Vol.21, No.10-11, 1113-1128, 1988.
- [2] Akyarlı, A. ve Şahin, H., "Arıtma Çamurlarının Bertarafında Kireç Kullanımı", *I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu*, , İzmir, 191-200, 23-25 Mart 2005.
- [3] Aydın, S., *Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Değişik Amaçlarla Kullanımının Araştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- [4] Chen, X. and Jeyaseelan, S.J., "Study of Sewage Sludge Pyrolysis Mechanism and Mathematical Modeling", *Journal of Environmental Engineering*, 126, 1082-1087, 2000.
- [5] Lee, M.K., Griffith P, Farrell BJ, Eralp EA., "Conversion of municipal sludge to oil". *J Water Pollut Control*, Fed 59(10):884-889, 1987.
- [6] Dindar, E., Topaç, F.O. ve Başkaya, H.S., "Arıtma Çamuru Uygulanan Topraklarda Sulamadan Kaynaklanan Kirliliğin Azot Minerizasyonuna Etkisi", *Ekoloji Dergisi*, 17, 66, 31-38, 2008.
- [7] Kranert, M., Berkner, I., Erdin, E., Alten, A., "Arıtma Çamurlarından Elde Edilen Kompost ve Diğer Ürünlerde Kalite Güvenliği", *I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu*, İzmir, 181-190, 23-25 Mart 2005.

- [8] Özten, A.F., Hanecio, L., Er, M.K., Nişli, G., Kılıç, Y., Demir, E., "Sıfır Atık Projesi Kapsamında Yeni Kompost Teknolojilerinin Uygulanması", *II. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu*, İzmir, 282-292, 2009.
- [9] Katı Atık Kontrol Yönetmeliği, 14.3.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete, 1991
- [10] Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 31.05.2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazete, 2005.
- [11] Renkow, M. And Rubin, A. R., "Does Municipal Solid Waste Composting Make Economic Sense", *Journal of Environmental Management*, Vol.53, 339-347, 1998.
- [12] Çetin, S.C., Ekinci, K., Haktandır, K., "Kompost Yapım Tekniği", *Türkiye 3. Ulusal Gübre Kongresi, Tarım-Sanayi-Çevre*, Tokat, 1313-1445, 11-13 Ekim 2004
- [13] Imbeah, M., "Composting Piggery Waste: a Review", *Bioresource Technol*, 63, 197-203, 1998.
- [14] Khalil, A. I., Hassouna, M. S., El-Ashqar, H. M. A., "Changes in physical, chemical and microbial parameters during the composting of municipal sewage sludge", *World J Microbiol Biotechnol*, 27: 2359-2369, 2011
- [15] Bertran, E., Sort, X., Soliva, M., and Trillas, I., "Composting Winery Waste: Sludges and Grape Stalks", *Bioresource Technol*, 95, 203-208, 2004.
- [16] Banegas, V., Moreno, J.L., Moreno, J.I., Garcia, C., Leon, G., Hernandez, T., "Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust", *Waste Management*, 27, 1317-1327, 2007.
- [17] Goyal, S., Dhull, S.K., Kapoor, K.K., "Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity", *Bioresource Technology*, 96, 1584-1591, 2005.
- [18] Taiwo, A.M., "Composting as A Sustainable Waste Management Technique in Developing Countries", *Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 93-102, 2011.
- [19] Willson GB, Parr JF, Epstein E, Marsh PB, Chaney RL, Colacicco D, Burge WD, Sikora LJ, Tester CF, Hornick S., "Manual for composting sewage sludge by the Beltsville aerated-pile method". EPA-600/8-80-022, USA, 1980.
- [20] McKinley, V.L., Vestal, J.R., "Physical and chemical correlates of microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge", *Appl Environ Microbiol*, 50(6):1395-1403, 1985.
- [21] Sanchez-Monedero, M.A., Mondini, C., De Nobili, M., Leita, L., Roig, A., "Land Application of Biosolids. Soil Response to Different Stabilization Degree of the Treated Organic Matter", *Waste Management*, Vol.24, 325-332, 2004.
- [22] Yıldız, S., *Arıtma Çamurlarının Topraklaştırma Yöntemi ile Yeniden Kullanımı ve Sivas Örneği*, Cumhuriyet Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, ss.201, 2011.
- [23] Sivas Belediyesi, "Soilification in Sivas Development of an Environmental Pilot Project Feasibility Study, Republic of Turkey, German Financial Cooperation with the Republic of Turkey", Re-Q Boden GmbH, Sivas, 2011.
- [24] [www.tmo.gov.tr/Upload/Document/piyasabulteni/piyasagunluk.pdf](http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/piyasabulteni/piyasagunluk.pdf)
- [25] Topbaş, M.T., Brohi, A.R. ve Karaman, M.R. "Çevre Kirliliği", T.C. Çevre Bakanlığı, Ankara, 340s. 1998.