

Bilgin Kaftanođlu
Profesör

Okan Alkan
Arařtırma Görevlisi

Makina Mühendisliđi Bölümü
Orta Dođu Teknik Üniversitesi
06531 ANKARA

Katı Atık İşleme Tesisleri için Bilgisayar Destekli Döner Tambur Elek ve Konveyörü Tasarımı

Bu çalışmada mevcut katı atık sistemleri incelenmiştir. Bunun sonucu olarak, kompostlama tesislerinde kullanılmak üzere döner tambur elek ve konveyör tasarımı yapılmıştır. Bu işlemlerin bir bilgisayar programı ile yapılması sağlanmıştır. Programa eklenen benzetim modülü aracılığıyla elde edilen değerler grafiklerle sunulmuş ve sistem karakteristiği hakkında bilgiler üretilmiştir. Bu değerlerin önceki bulgularla karşılaştırılması da yapılmıştır.

GİRİŞ

Katı atıklar tarihinin ilk çağlarından itibaren insanların ürettikleri çöplerin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. O zamanlar kullanılabilir alanların çokluğu sayesinde çok fazla sorun olmayan katı atıkların ortadan kaldırılması, çağımızda başlı başına bir teknoloji haline gelmiştir. Mevcut katı atık yok etme metodları, arazi doldurma, yakma, kompostlama ve diğer metodları kapsamaktadır [1]. Şu an için katı atıkların arazi doldurarak ortadan kaldırılması en çok kullanılan metoddur. Ancak katı atıkların hiç bir ön elemeye tabi tutulmadan gömülmesi katı atıklardan elde edilebilecek çok kıymetli yan ürünlerinde toprağa gömülmesini ortaya çıkarmaktadır. Bu anlayışla, dünyanın pek çok ülkesinde çöplerin geri kazanımına önem verilmekte ve pek çok çalışmalar yapılmaktadır. Katı atıklar, geri kazanım tesislerinde ön elemeye tabi tutulmakta, kağıt, plastik, cam, metaller ayrıştırılarak yeniden kullanılabilir hale getirilmektedir. Nem oranı bakımından düşük olan çöplerin ise yakılarak değerlendirilmesi yoluna gidilmektedir. Yakılan çöplerden elde edilen enerji ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Türkiye gibi nem oranı yüksek olan çöplerde ise geri kazanım sonrasında kalan organik maddelerden kompostlama metoduyla gübre yapılması metodu uygulanmaktadır. Yapay gübrelerin yan etkileri ve pahalı oluşları gözönüne alındığında katı atıklardan elde edilen ve tamamen doğal olan bu gübrenin toprağın

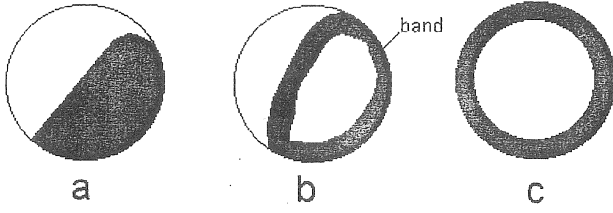
ihtiyacı olan organik madde katkısını sağlayarak, ülke ekonomisine ve insan sağlığına olan katkısı azımsanmamalıdır.

Katı atık işleme tesislerinde ilk önce yapılan işlem çöplerin tasnifidir. Bu işlem için çok farklı mekanik ayırma metodları kullanılmaktadır. Bunlar, eleme, manyetik ayırma, eddy akımı ile ayırma, hava ile ayırma, balistik ayırma metodları olarak basitçe sıralanabilir. Ancak, büyük işleme tesislerinde ilk uygulanan ayırma tekniği döner tambur eleklerle ayırmadır. Döner tambur elekler maden ve mineral endüstrisinde, çimento ve kimya sanayilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, tambur eleklerin uygun işletme parametrelerinde çalıştırılabilmesi için içindeki malzemenin karakteristiğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple, her malzeme için geçerli olan genel bir tambur elek işletme parametreleri yoktur. Bu çalışmada kompostlama sistemlerinde, gelen çöp içindeki organik maddelerin parça büyüklüğüne göre tasnifinde kullanılacak bir döner tambur elek tasarımı bilgisayar programı haline getirilmiştir. Buna göre kompostlama tesisi kapasitesine göre, tambur çapı, tambur boyu, tambur eğimi, açısız hızı, malzeme dinamiği gibi parametreler hesaplanmıştır.

MATEMATİK MODELLEME

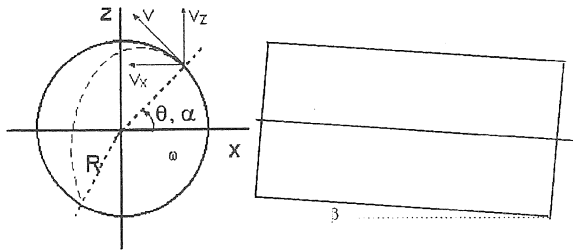
Döner tambur eleklerin yaygın kullanımı sebebiyle, bu tür eleklerin matematik modellemesi üzerine çok

çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Ancak, katı atık işlemlerine uygun yaklaşımlar gösteren kaynaklar incelenmeye değerdir [2,3,4,5]. Döner elek içindeki malzeme, tamburun açısız hızına göre değişik hareket tarzları almaktadır. Bu tarzlar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) Kiln hareketi, (b) Şelaleme etkisi, (c) Merkezkaç etkisi

Hızın düşük olduğu ve doluluk oranının fazla olduğu durumda malzeme birbiri üzerine yığılır ve "kiln hareketi" olarak tanımlanan bir hareket şekli gözlemlenir. Kiln hareketinde malzeme düşük açısız hızla sahip olduğundan merkezkaç kuvvetiyle tambur duvarından ayrılamaz ve birbiri üzerine yığılır. Bu durumda eleme işlemi çok düşüktür. Doluluk oranı az olan tamburlarda ve açısız hızın yüksek olduğu durumda, malzeme belli bir yüksekliğe çıkar ve bu noktadan itibaren eğik atış eğrisini takip eder. Elek sınırları içinde yüzeye çarparak eleme işlemi gerçekleşir. Bu işlem şelaleme olarak adlandırılır. Şelaleme etkisi, katı atık işlemede yüksek eleme oranı nedeniyle tercih edilen bir methodur. Çok yüksek hızlarda ise malzeme merkezkaç etkisiyle tambur duvarına yapışır ve eleme işlemini güçleştirir. Bu nedenle tercih edilmez. Şekil 2'de hesaplamalarda kullanılan referans sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2. Referans sistemi

Alınan referans sisteminde şelaleme etkisine göre malzemenin tambur yüzeyinden ayrılma anındaki anlık hızı

$$\omega R \cos \alpha = \dot{z}_0$$

$$\omega R \sin \alpha = \dot{x}_0$$

olarak ifade edilebilir. β eğim açısına etkiyen ağırlık ise,

$$F_g = mg \cos \theta$$

olarak ifade edilir. β açısı malzemenin eksene doğru aşağıya doğru ilerlemesini sağlayan tamburun eğim açısıdır. Malzeme üzerinde hava sürtünme kuvvetinin yarattığı etki,

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho v |v| \left[\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]$$

$$v = (v_p - v_a)$$

formülleriyle hesaplanır [2,3]. Burada v_a havanın hızını, v_p ise parçacığın hızını ifade eder. Sürtünme katsayısı ise

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

istatistiksel formülüyle hesaplanır. Parçacık yörüngesi ise yatay ve dikey yöndeki ivmelerin çözülmesiyle hesaplanır. Buna göre:

$$\dot{x} = \frac{1}{m} [F_{D,x}]$$

$$\ddot{z} = \frac{1}{m} [-mg + F_{D,z}]$$

Bu denklemler 4. dereceden Runge Kutta rutini ile çözülür. Hesaplamalar parçacığın duvara çarptığı anda yani,

$$R^2 = x^2 + z^2$$

denklemini sağlandığı zaman sona erer. Tambur elekteki eksene hareket hem çıkış hızının dik bileşenine hem de eleğin eğim açısına bağlıdır. Parçacığın çıkış ve çarpma noktalarının dik koordinatları bilinmektedir. Buna göre parçacığın elek üzerindeki spiral yolu aşağıdaki denklemle bulunur,

$$I_A = \left[(z_D - z_I) = \dot{z}_D t \right] \sin \beta$$

Bu formül, tambur eleğin boyunun hesaplanmasında ve ayrıca malzeme yatak derinliğinin hesaplanmasında da kullanılır.

Döner elek ile temas halinde bulunan parçacıkların yükselmesi, parçacıkların yüzeyden ayrılma noktalarını ve eleğin ne kadarının malzeme ile kaplı olduğu bilgisini verir. Bir dönüşte parçacıklar tarafından işgal edilen alan, Şekil 1'de de gösterildiği gibi bant olarak adlandırılır [2,3]. Bant alanı, ne kadar eleme ve eksene ilerleme yapıldığının hesaplanması için çok önemlidir. Aynı şekilde eleğe giren malzeme miktarı bant alanına doğrudan etki ettiği için çok önemli bir parametre

olarak ele alınmıştır.

Geleneksel hesaplama yöntemi önce çıkış noktasının hesaplanması, daha sonra da bu çıkış noktasını veren açısal hızın tesbitidir. Bu hesaplama merkezkaç kuvveti ve ağırlığın dengelenmesi yoluyla hesaplanır,

$$\dot{\theta} = \sqrt{\frac{g \sin \alpha}{R}}$$

formülüyle ifade edilir. Ancak bu analiz malzemenin tambur duvarları üzerinde kaymadığında geçerlidir. Buna göre radyal ve teğetsel ivmeler hesaplanırsa,

$$A_R = -R(\dot{\theta})^2 - g \sin \theta$$

$$A_T = R\ddot{\theta} = \mu_d A_R - g \sin \theta$$

olarak bulunur. Bunlar birleştirilirse

$$\ddot{\theta} = \mu_d \dot{\theta}^2 - \frac{g}{R} [\mu_d \sin \theta + \cos \theta]$$

olarak bulunur. Bu denklemde 4. dereceden Runge-Kutta rutini kullanılarak çözülür.

Eleğin kapasitesi ve işlem hacmi elek üzerindeki malzemenin bir fonksiyonudur. Daha önce de belirtildiği gibi elek varsayım olarak bantlara bölünmüştür. Bir bant tarafından kapsanan alan, bant eni ile yay boyunun çarpılmasıyla elde edilir. Yay uzunluğu ise parçacık çıkış ve çarpma açıları kullanılarak:

$$I_T = R [2\pi - (\alpha_I - \alpha_D)]$$

olarak tanımlanır. Yatak derinliği ise tambura bir dönüşte giren malzeme miktarı V_B ve bant alanından

$$T = V_B / I_A I_T$$

olarak bulunur.

Genel olarak parçacık yörüngesinin ve diğer parametrelerin hesaplanmasını kolaylaştırmak amacıyla, Visual Basic 4.0 kullanılarak bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Genel parametreler dışında bir benzetim (simulasyon) modülü de eklenerek elek içindeki malzemenin elenmesi simule edilmiştir. Bu işlem sırasında malzemenin elek içindeki kalma süresi de tayin edilmiştir.

Yukarıdaki analitik hesaplamalarda parçalar homojen ve küresel olarak alınmıştır. Ancak, çöplerin içeriğinin çeşitliliği gözönüne alınarak, eleme benzetimi modülünde parçacıklar kare, dikdörtgen ve üçgen şeklinde varsayılmıştır. Benzetim modülünde önce elenecek olan çöpün bileşiminin yüzdeleri ve ortalama

parça boyutları istenir. Elek yüzeyi belli çapta perfore plakalardan oluşmuştur ve belirli bir açık alan yüzdesine sahiptir. Ayrıca çöpün elek içindeki yatak hacim oranı da hesaba katılarak, her dönüşte elenen ve kalan malzemenin miktarı belirlenir. Bu benzetim modülü sayesinde çeşitli sistem parametrelerinin genel performans üzerine etkileri belirlenmiştir. Bunlar bir sonraki bölümde sunulmuştur. Bilgisayar programında ayrıca tamburun yük ve güç hesaplamaları da gerçekleştirilmiştir. Tambur tasarımına ek olarak katı atık işleme tesislerinde kullanılmak üzere, düz ve eğik konveyör tasarımlarının yapılabildiği bir modül de program içine dahil edilmiştir.

ELEK DELİK ÇAPLARININ TAYİNİ

Döner elek tasarımının önemli bir noktası elek delik çaplarının tesbitidir. Kompostlama işlemi için gerekli olan organik maddelerin gelen çöpten ayrılması için, uygun elek delik çaplarına ihtiyaç vardır. Eleme işleminde sadece organik maddeler değil, kağıt, mukavva, teneke kutular gibi maddeler de elenmektedir. Bu yüzden tek delik çapı kullanmak yerine, birkaç değişik delik çapı da kullanılabilir.

Organik maddelerin ayrılması için uygun elek delik çapı tayininde Rousseaux'un [6] çalışmaları ışık tutmuştur. Bu çalışmalarda Brezilya çöprü incelenmiş ve organik maddelerin ayrılması için gerekli olan elek delik çapları bulunmuştur. Brezilya ve Türkiye'deki çöplerin hemen hemen aynı oranlarda organik madde içermesi, bu çalışmaların bize uygulanabilirliğini göstermektedir. Bu çalışmanın sonucuna göre:

25 - 60 mm arasındaki elek delik çapları çöp içinde bulunan organik maddelerin ayrılmasında kullanılmalıdır. Bu sınır içinde çöpler üçe ayrılabilir.

• 25 mm ve altında % 95 oranında organik maddeler bulunmaktadır. Ancak ağır metallerle kirlenme riski vardır.

• 25-60 mm arasında organik maddeler % 55 oranında olup, ağır malzemeler balistik ayırma metoduyla ayrılabilir.

• 60 mm'den büyük parçalarda ise yüksek oranda geri kazanılabilir malzeme bulunmaktadır. elle ayırma metoduyla kağıtların % 70'i, plastiklerin % 80'i, metallerin ise % 90'nını ayırmak mümkün olmaktadır.

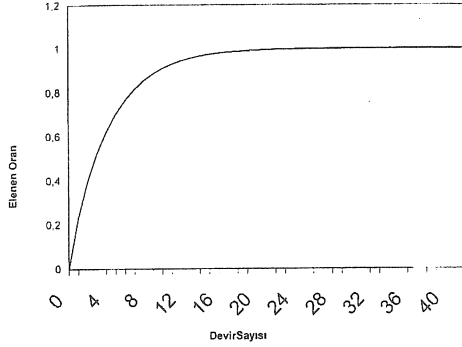
Görüldüğü üzere organik maddelerin ayrılabilinmesi için 25-60 mm arasındaki elek delik çapı yeterli olmaktadır.

Elek delikleri perfore plakalardan tambur çapına göre üretilmektedir. Bilgisayar programında ve diğer hesaplamalarda, delik çapları ASTM E 674 nolu standart değerlere göre tesbit edilmiştir. Aynı standartların ISO 7805-1:1984 nolu karşılıkları da bulunmaktadır. Tambur içine atılan çöp torbalarını açmak için, tambur boyunca sivri plakalar yerleştirilmiştir. Ayrıca, perfore plakalar tambur üzerine civatalanmak suretiyle monte edilmiştir. Bu sayede, hasar gören plakaların kolayca değiştirilmesi sağlanmış olacaktır. Tambur geometrisi ise sadece silindirik bir şekilde sınırlı değildir. Alügen, sekizgen gibi çokgen

kenarlı tambur geometrilerinin eleme verimliliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Fakat, bu tür tamburların imalatı, diğerlerine göre daha zor olmaktadır.

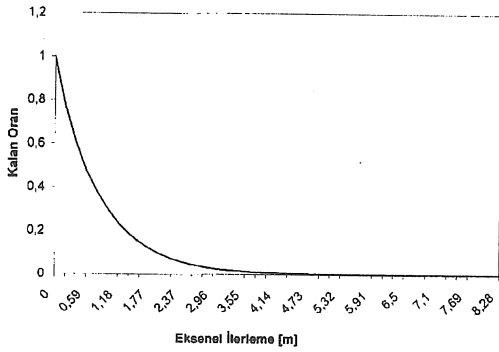
SİSTEM PARAMETRELERİNİN TARTIŞILMASI

Bir önceki bölümde belirtildiği gibi yapılan bilgisayar programı kullanılarak çeşitli sistem parametrelerinin değişimleri grafik olarak gösterilmiştir. Bu değerler, 3 m. çapında ve 12 m. boyunda ve 60 ton/saat işleme kapasitesine sahip bir tambur kullanılarak bilgisayar tarafından elde edilmiştir. Şekil 3'te tambur dönüş sayısının parçacıkların elenmesi üzerine etkisi gösterilmiştir.



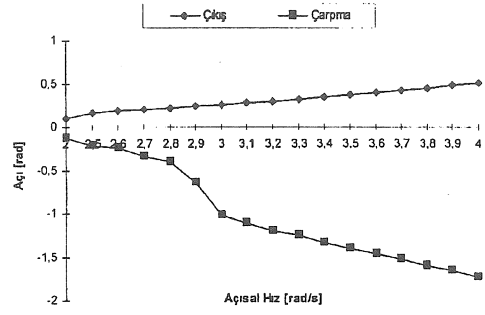
Şekil 3. Devir sayısına göre elenen oran değişimi

Görüldüğü gibi dönüş sayısı arttıkça elenen malzeme miktarı da artmaktadır. Bu yaklaşım daha önce diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da gözlenmiştir [2,3]. Şekil 4'te kalan malzemenin eksenel uzunluk ile değişimini göstermektedir.



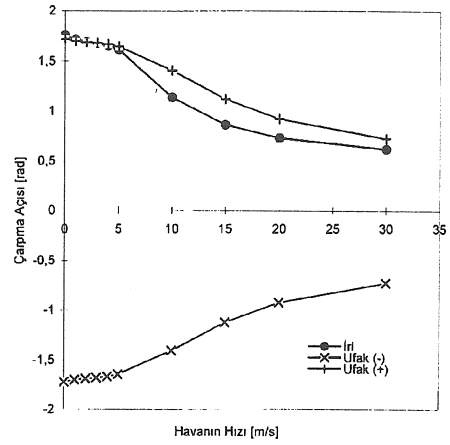
Şekil 4. Eksenel uzunluğa göre kalan oran değişimi

Tambur boyunun tayininde ipuçları veren bu grafikte, tambur boyu uzadıkça elenen malzemenin artacağını göstermektedir. Modelin genel performansı belirlendikten sonra giriş parametrelerinin veya girdilerin çıkış ve çarpma açıları gibi çıktı parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Bu parametreler parçacık çapı ve yoğunluğu, havanın hızı, açısal hız, delik veya perfore çapı gibi tambur elek karakteristikleridir. Şekil 5'te açısal hızın çıkış ve çarpma açılarına olan etkisi gösterilmiştir.



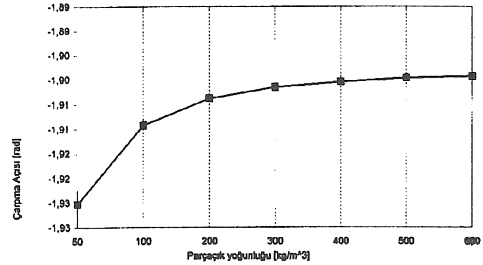
Şekil 5. Açısal hızın, çıkış ve çarpma açılarına olan etkisi

Grafikten görüldüğü üzere düşük açısal hızlarda çıkış ve çarpma açıları birbirlerine çok yakın değerdedirler. Bu kiln hareketinin göstergesidir. Parçacık hızı eğik atışı başlatacak hızda değildir. Ancak, belli bir hızdan sonra açı değerleri farklar göstermektedir. Çarpma açısının eksi değer göstermesi Şekil 1'de gösterilen referans sisteminden dolayıdır. Elek içindeki havanın hızının ve parçacık boyutunun çarpma açısına olan etkisi ise Şekil 6'da gösterilmiştir.



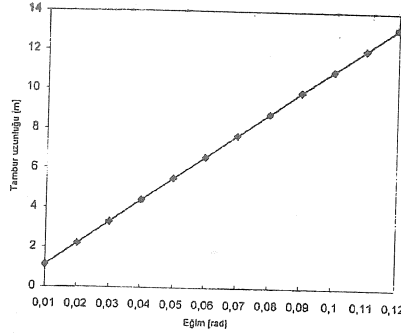
Şekil 6. Havanın hızı ve parçacık boyutunun çarpma açısına olan etkisi

Havanın hızı arttıkça parçacık daha kısa mesafelere düşmektedir. Ayrıca 5 m/s'den daha fazla hızlarda hafif parçaların çarpma açısının ağırlara nazaran daha çabuk azaldığı görülmüştür. Şekil 7'de parçacık yoğunluğunun çarpma açısına olan etkisi gösterilmiştir.



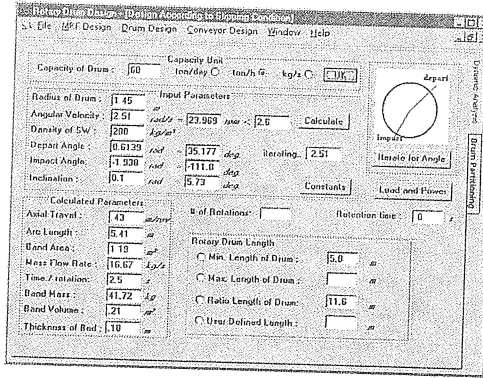
Şekil 7. Parçacık yoğunluğunun çarpma açısına olan etkisi

Hafif parçaların daha fazla gittikleri görülmektedir. Tambur eleğin boyunun tesbitinde en önemli faktörün eleğin eğiminin olduğu Şekil 8'de gösterilmiştir.

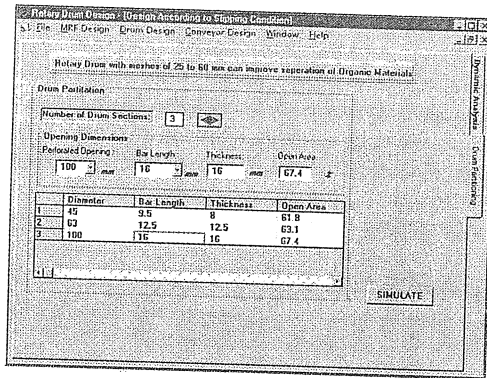


Şekil 8. Tambur uzunluğunun eğime göre değişimi

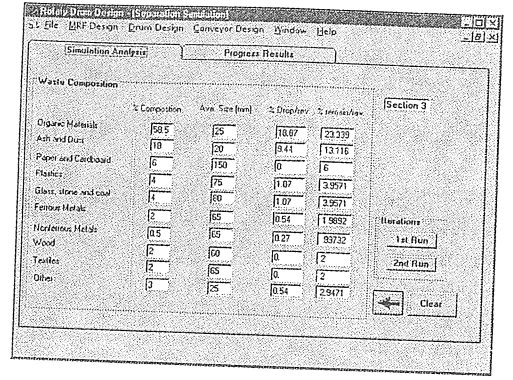
Aynı sonuçların Erden, Platin ve Gülder'in çalışmalarında da gözlemlenmiştir [5]. Yapılan bilgisayar programının ekran görüntüleri de Şekil 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 ve 16'da gösterilmektedir.



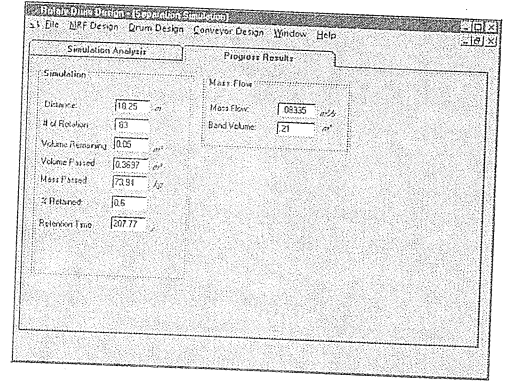
Şekil 9. Döner elek tasarım ekranı



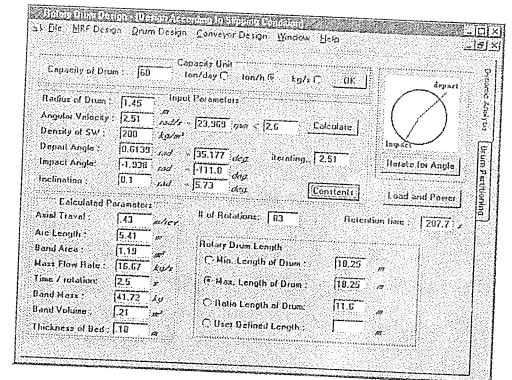
Şekil 10. Perfore plaka ve bölümlendirme ekranı



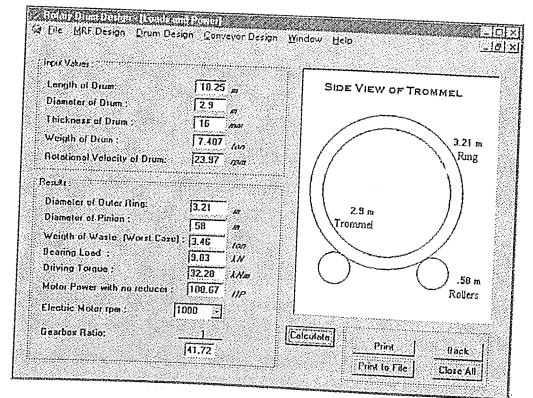
Şekil 11. Simülasyon ekranı-1



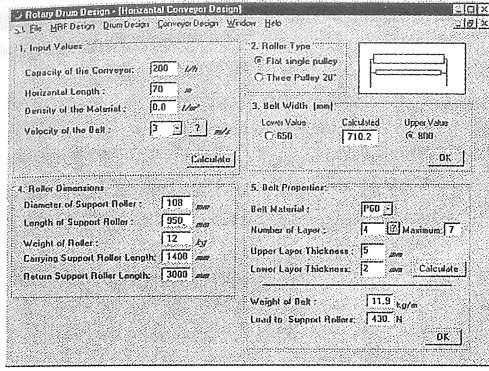
Şekil 12. Simülasyon ekranı-2



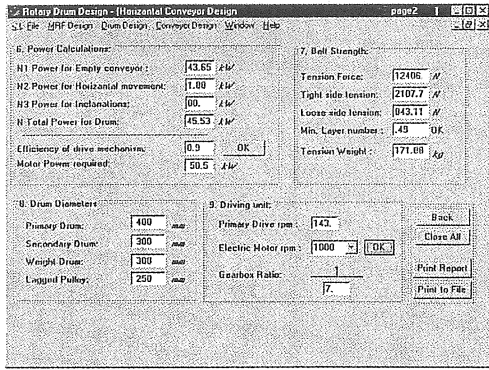
Şekil 13. Uzunluk belirlenmesi



Şekil 14. Yük ve güç hesabı



Şekil 15. Konveyör tasarımı 1/2



Şekil 16. Konveyör tasarımı 2/2

SONUÇ

Parametrelerin incelenmesi sonucunda, (1) ince parçacıkların daha önce elendiği, (2) iyi bir şelaleme etkisi elde edildiğinde dahi oldukça yüksek açısız hızlara gerek duyulduğu, (3) düşük hız ve besleme oranlarında uçuşların oldukça düştüğü ve malzemenin elenmesinin zorlaştığı, (4) malzeme kalma süresinin doğru tahmininin iyi bir eleme ve tambur boyunun tesbitinde önemli bir parametre olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalar ve bilgisayar programı sayesinde katı atık işleme tesislerinde çok önemli bir yer tutan döner tambur elek tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede gelen karışık çöp içinden organik maddelerin büyük kısmı ilk etapta ayrılarak, kalan işlemlerde de kağıt, metal, cam gibi geri kazanılabilecek malzemelerin ayrıştırılması imkanı sağlanmıştır. Böylece komple bir katı atık işleme ve kompost tesisi tasarımının temelleri atılmıştır.

SEMBOLLER

A	ivme	m/s^2
C_D	çekme katsayısı	
d	parçacık çapı	m

g	yerçekim ivmesi	m/s^2
H	yükseklik	m
I	atalet	m^4
l	uzunluk	m
m	kütle	kg
N_c	kritik hız	rpm
R	yarıçap	m
Re	Reynolds sayısı	
t	zaman	s
t	kalınlık	m
u	mesafe	m
v	yatay hız	m/s
V	hız	m/s
x	parçacık yatay pozisyonu	m
z	parçacık dikey pozisyonu	m
α	elekte noktanın açısız yeri	rad
β	eğim açısı	rad
μ	sürtünme katsayısı	
ω	açısız hız	rad/s

Alt karakterler

0	başlangıç
1	birinci
2	ikinci
a	havaya ait
ave	ortalama
A	eksenel
c	kiritik
d	dinamik
eq	eşdeğer
D	çıkış
g	yerçekim
I	çarpma
p	parçacık
R	radyal
T	total
u	üst
x	yanal yönde
z	dik yönde

COMPUTER AIDED DESIGN OF ROTARY SCREEN AND ITS CONVEYOR FOR SOLID WASTE PROCESSING SYSTEMS

In this study, current solid waste processing systems are analyzed. Then, a rotary screen and conveyor is designed for composting plants. A computer program is developed for design operations. By the use of a simulation model included in the program, data are obtained and these are plotted to see system characteristics. These data then are compared with the previous works.

KAYNAKÇA

1. Howard, S. Peavy, Donald R. Rowe, George Tchobanoglous, *Environmental Engineering*: McGraw Hill Book Company, 1986, 661.
2. Stessel Ian Richard, *A New Trommel Model*, *Resources, Conservation and Recycling*, 6 (1991) 1-22.
3. Stessel Ian Richard, and Kranc S.C., Particle Motion in Rotary Screen, *Journal of Engineering Mechanics*, v.118, n.3, March (1992) 604-619.
4. Erden, A., Kılıç, E.S., Gülder, Ö.L., Platin, B.E., Tambur Tipi Savuruculu Döner Kurutucu Tasarımı, II-Kurutulacak Malzemenin Akış Mekanikliği, *TÜBİTAK 7. Bilim Kongresi*, Mak. Müh. Böl., Aydın, (1980) 97-110.
5. Erden, A., Platin, B.E., Gülder, Ö.L., Modelling and Design of Rotary Dryers, *Proc. Third International Drying Symposium*, v.2 (1982) 466-477.
6. Rousseaux, P., Borges de Castilhos, A., Vermande, P. and Veron, J., Determination of Trommel Meshes for Optimal Separation of Compostible Fraction of Municipal Solid Waste from Florianopolis, S.C., Brazil, *Resources, Conservation, and Recycling*, 6 (1992) 217-229.
7. Alkan, Okan, Computer Aided Design of Rotary Screen and its Conveyor for Solid Waste Processing Systems, *MS: Thesis*, Mechanical Engineering Department, Middle East Technical University, 1996.