

45458

**EKSANTRİK ROTORLARLA TAHRİK EDİLEN
TİTREŞİMLİ ELEKLERİN
TASARIM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Mehmet İlhan İLHAK

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**


ZONGULDAK

Temmuz 1995


KABUL:

Mehmet İlhan İlhak tarafından hazırlanan “EKSANTRİK ROTORLARLA TAHRİK EDİLEN TİTREŞİMLİ ELEKLERİN TASARIM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Mühendislik tezi olarak kabul edilmiştir. 20/7/1995.


Başkan:


Doç.Dr. Ertuğrul TAÇGIN

Üye :

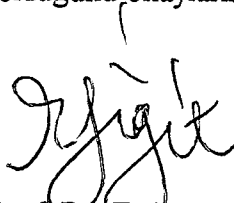

Yrd.Doç.Dr. M. Emin TÖZÜN

Üye :


Yrd.Doç.Dr. Sadri ŞENSOY

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. / /


Prof. Dr. Erdoğan YİĞİT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EKSANTRİK ROTORLARLA TAHRİK EDİLEN TİTREŞİMLİ ELEKLERİN TASARIM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet İlhan İLHAK

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ertuğrul TAÇGIN

Temmuz 1995, 44 sayfa.

Bu çalışmada endüstri kollarında yaygın olarak kullanılan ve eğim açıları 18-25 derece arasında değişen dairesel titreşimli elekler incelenmiştir. Çalışmada bir milin iki ucuna monte edilmiş eksantrik rotorlarla tahrik edilen titreşim eleklerinin dinamik davranışları düzlemsel inceleme amacıyla üç serbestlik dereceli olarak modellenmiş ve eleğin hareket denklemleri analitik olarak elde edilmiştir. Titreşim esnasında, elenmeyecek kadar büyük bir parçacığın elek üzerindeki hareketleri bilgisayar yardımıyla iteratif olarak incelenmiş ve elenecek parçacıkların davranışları

ÖZET (devam ediyor)

hakkında bilgi edinilmiştir. Bu bilgiler yardımıyla bir eleme modeli kurularak, titreşim esnasındaki eleme olayı gerçeğe yeterince yakın sonuçlar verecek şekilde modellenmeye çalışılmıştır.

Eleme yüzeyi ile malzeme taneleri arasındaki sürtünme kuvvetini tayin etmek ve eleme yüzeyi ile tanelerin çarpışması anında tanelerin geometrik yapısından ve yüzeyde bulunan deliklerden dolayı meydana gelen düzensiz sıçramaları hesaba katmak oldukça zor olduğundan, eleme modeli kurulurken eleme yüzeyinin düz bir yüzey ve tanelerin maddesel nokta oldukları kabul edilmiştir. Elde edilen nümerik sonuçları deneysel verilere uyumlu hale getirebilmek için gerçek elek üzerinde yapılan elemeler gözlenmiş ve aradaki ilişkiyi sağlayan bir eleme modeli teklif edilmiştir. Daha sonra eleğe giren parçacık debisinin en çabuk ve tam olarak elenmesini sağlayacak elek parametreleri nümerik olarak optimize edilmiş ve elek tasarımı için genel kriterler belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Titreşim, Elek, Dinamik Modelleme

Bilim Kodu: 625.01.00

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS OF VIBRATIONAL SCREENS DRIVEN BY ECCENTRIC ROTORS

Mehmet İlhan İLHAK

**Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Assoc.Prof.Dr. Ertuğrul TAÇGIN

July 1995, 44 pages

In this study, commonly used industrial vibration screens whose slope vary between 18-25° are investigated. The screens driven by two eccentric rotors located on both ends of the supporting shaft are modelled as a three degrees of freedom planar object and equations of motion are obtained. Motion of a particle that is big enough not to be screened during vibration is simulated using a personal computer. Using this simulation, information of the behaviour of relatively small

ABSTRACT (continued)

particles is estimated. A screening model is, then, established for producing results compatible with actual behaviour of the particle.

Since it is difficult to determine the friction force between the screen surface and the particles and taking into account random bouncing of the particles due to their irregular shapes, it is assumed that the screen surface is smooth and particles have masses in the model proposed. In order to correlate the numerical results to the experimental data, screening operation is observed and a screening model is established. Finally, screen parameters are numerically optimised to screen the particles as quick as and as much as possible, and some general criteria are deduced.

Key Words: Vibration, Screen, Dynamic Modelling

Science Code: 625.01.00

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın yapılmasında maddi ve manevi her türlü yardımını esirgemeyen Sayın Hocam Do.Dr. Ertuğrul TAÇGIN' a; yoğun alıőmalarında bana gösterdiği manevi destek ve sabırdan dolayı eőim'e; bilgisayara ihtiyaç duyduğum zamanlarda elinde bulunan tüm imkanları sunan arkadaőım Abdullah BORCA' ya ve çalışma hayatı içinde yüksek lisans yapabilmem için gereken izni vererek maddi ve manevi tüm imkanları bana sunan Filyos Ateş Tuğlası Genel Müdürü Sayın Zeynel KİBAR' a sonsuz teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mehmet İlhan İLHAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tezin Kapsamı	2
BÖLÜM 2 TİTREŞİMLİ ELEKLER	3
2.1 Eleme İşleminin İncelenmesi ve İdeal Eleme Şartları.....	3
2.2 Endüstriyel Elek Tipleri.....	6
2.3 Mekanik Titreşimli Eleklerin Tahrik Mekanizmaları.....	8
2.4 Elek Tasarımında Gelişmeler	14
BÖLÜM 3 DİNAMİK MODELLEME	17
3.1 Titreşim Eleğinin Dinamik Modellenmesi	17
3.2 Elenen Taneciğın Dinamik Modellenmesi.....	28
3.3 Elenen Debinin Dinamik Modellenmesi	29

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4 ELEK VERİMİNİ VE KAPASİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER	31
4.1 Eğim Açısı	31
4.2 Titreşim Genliği	33
4.3 Devir Sayısı.....	35
4.4 Yörünge Formu	38
 BÖLÜM 5 DEĞERLENDİRME VE GELECEK ÇALIŞMA	 43
5.1 Değerlendirme	43
5.2 Gelecek Çalışma.....	44
 KAYNAKLAR	
EKLER	
I. Program Listesi.....	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Basitleştirilmiş bir elekte eleme işleminin gösterilmesi	4
Şekil 2.2 Tabakalaşmanın mekaniği ve eleme işlemine etkisi, a) Tabakalaşma derinliği çok az, b) Tabakalaşma derinliği yeterli.....	4
Şekil 2.3 Eksantrik rotorlar, a) Yarım daire şeklinde plaka, b) Merkezden kaçık mil	7
Şekil 2.4 Titreşimli bir eleğin ana parçaları	7
Şekil 2.5 Titreşimli elek	9
Şekil 2.6 Eğik titreşimli elek	9
Şekil 2.7 Yatay titreşimli elek.....	10
Şekil 2.8 Mekanik titreşimli eleklerin tahrik mekanizmaları, a) Uçlarında balanslı kasnak bulunan mil, b) Eksantrikli mil, c) Çift eksantrikli mil, d) Yatay olarak yanyana monte edilen eksantrikli mil, e) Uçlarında yarım daire plakalar bulunan milin eleğin üst kısmına monte edilmesi, f) Uçlarında yarım daire plakalar bulunan milin eleğin merkez kısmına monte edilmesi, g) İki eksantrikli milin birbirlerine eğimli olarak birbirine monte edilmesi	12
Şekil 3.1 Eğimli eleğin parametreleri.....	18
Şekil 3.2 Elek üzerinde alınan herhangi bir noktanın konumu.....	27
Şekil 3.3 Eleğin üst, merkez ve alt kısımlarında alınan noktaların bilgisayardan elde edilen yörüngeleri	27
Şekil 3.4 Nace Makina Sanayiinin imalatını yaptığı eğimli eleğin üzerinde görünen yörüngeler.....	27
Şekil 3.5 Tek bir tanenin titreşmekte olan elek yüzeyi ile çarpışması	29
Şekil 4.1 Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.1'deki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri.....	32
Şekil 4.2 Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.2'deki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.3 Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.3'deki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri	36
Şekil 4.4 Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.4'deki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri	37
Şekil 4.5 Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.5'deki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri	40
Şekil 4.6 Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.6'deki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri	41



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 Farklı eğim açıları için elek üzerindeki bir tanenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişmeler, $x=y=5$ mm, $n=1000$ d/d	32
Çizelge 4.2 Farklı genlikler için elek üzerindeki bir tanenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişmeler, $n=1000$ d/d, $\alpha=20^\circ$	34
Çizelge 4.3 Farklı devir sayıları için elek üzerindeki bir tanenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişmeler, $x=y=5$ mm, $\alpha=20^\circ$	36
Çizelge 4.4 Farklı genlikler için elek üzerindeki bir tanenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişmeler, $n=1500$ d/d, $\alpha=20^\circ$	37
Çizelge 4.5 Değişik yörünge formları için elenen bir tanenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişmeler, $n=1000$ d/d, $\alpha=20^\circ$	40
Çizelge 4.6 Eleğin ağırlık merkezi etrafında dönme olması durumunda elenen malzemenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişmeler, $x_g=y_g=5$ mm, $\alpha=20^\circ$	41

SİMGELER DİZİNİ

- m = kütle
 a = sağdaki yayın ağırlık merkezine uzaklığı
 b = soldaki yayın ağırlık merkezine uzaklığı
 J = kütleli atalet momenti
 ρ = elenen malzemenin yoğunluğu
 r = tanecik yarıçapı
 α = elek eğim açısı
 ε = faz farkı
 t = zaman
 Q = elek debisi
 F_m = uygulama kuvvetinin genliği
 ω = eleğin ağırlık merkezi etrafındaki açısal hızı
 x_g = eleğin ağırlık merkezinin yatay konumu
 \dot{x}_g = eleğin ağırlık merkezinin yatay hızı
 \ddot{x}_g = eleğin ağırlık merkezinin yatay ivmesi
 y_g = eleğin ağırlık merkezinin düşey konumu
 \dot{y}_g = eleğin ağırlık merkezinin yatay hızı
 \ddot{y}_g = eleğin ağırlık merkezinin yatay ivmesi
 φ = eleğin ağırlık merkezi etrafındaki dönme açısı
 $\dot{\varphi}$ = eleğin ağırlık merkezi etrafındaki açısal hızı
 $\ddot{\varphi}$ = eleğin ağırlık merkezi etrafındaki açısal ivmesi
 k_{1x} = eleğin üst kısmında bulunan yayın yatay yöndeki yay katsayısı
 k_{2x} = eleğin alt kısmında bulunan yayın yatay yöndeki yay katsayısı
 k_{1y} = eleğin üst kısmında bulunan yayın düşey yöndeki yay katsayısı
 k_{2y} = eleğin alt kısmında bulunan yayın düşey yöndeki yay katsayısı
 r_{1x} = eleğin üst kısmında bulunan yayın yatay yöndeki sönüm katsayısı
 r_{2x} = eleğin alt kısmında bulunan yayın yatay yöndeki sönüm katsayısı

SİMGELER DİZİNİ (devam ediyor)

- r_{1y} = eleğin üst kısmında bulunan yayın düşey yöndeki sönüm katsayısı
 r_{2y} = eleğin alt kısmında bulunan yayın düşey yöndeki sönüm katsayısı
 k_{xt} = elekte bulunan yayların yatay yöndeki yay katsayılarının toplamı
 r_{xt} = elekte bulunan yayların yatay yöndeki sönüm katsayılarının toplamı
 X_{hi} = elek üzerindeki herhangi bir noktanın konumunun yatay bileşeni
 \dot{X}_{hi} = elek üzerindeki herhangi bir noktanın hızının yatay bileşeni
 \ddot{X}_{hi} = elek üzerindeki herhangi bir noktanın ivmesinin yatay bileşeni
 Y_{hi} = elek üzerindeki herhangi bir noktanın konumunun düşey bileşeni
 \dot{Y}_{hi} = elek üzerindeki herhangi bir noktanın hızının düşey bileşeni
 \ddot{Y}_{hi} = elek üzerindeki herhangi bir noktanın ivmesinin düşey bileşeni
 R_i = elek üzerindeki herhangi bir noktanın ağırlık merkezine olan mesafesi
 V_{tx} = tanenin çarpışmadan önceki yatay hızı
 V_{ty} = tanenin çarpışmadan önceki düşey hızı
 V_{ex} = elek yüzeyinin çarpışma anındaki yatay hızı
 V_{ey} = elek yüzeyinin çarpışma anındaki düşey hızı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çeşitli boyutlardaki tanelerden oluşan bir harmanın veya birkaç çeşit maddenin bir arada bulunduğu bir karışımın istenen ölçü ve özelliklere göre tasnif edilmesine eleme işlemi denir. Bu tasnifleme işleminin yapıldığı, eleme yüzeyleri bulunan makinalara elek adı verilir.

Eleme yüzeyleri istenen boyuttaki tanelerin geçebilmesi için üzerlerinde çeşitli formlarda delikler bulunan elemanlardır. İşletme şartlarına ve ekonomik şartlara bağlı olarak çelik, poliüretan, bez gibi çok çeşitli malzemelerden imal edilirler. Dinamik eleklerin eleme işlemini yapabilmesi için titreşmeleri gerekir. Titreşimin oluşabilmesi için sistemi denge konumundan uzaklaştıracak dış kuvvetlerin olması şarttır. Bu dış kuvvetler manyetik veya mekanik olarak uygulanabilirler. Her iki durumda da amaç aynıdır. Bu çalışmada eksantrik rotorlar vasıtasıyla tahrik edilen eğimli tip elekler incelenecektir.

1.1 TEZİN AMACI

Bu çalışmada tek mil üzerindeki eksantrik bir rotor tarafından tahrik edilen ve iki ucundan dört yay aracılığı ile temele tespit edilen eğimli tip eleğin hareket denklemleri çıkarılmıştır. Bu denklemlerin çözümleri yapılarak, bir düzlem içerisinde hareket eden eleğin yatay ve düşey yöndeki yer değiştirmesi ile ağırlık merkezi etrafındaki dönme miktarı zamana bağlı olarak belirlenmiştir.

Eleğin rejim durumundaki titreşimini ifade eden eşitliklerin bulunmasından sonra değişen elek parametrelerinin titreşim genliğini ve titreşim yörüngesinin formunu ne şekilde değiştirdiğini görebilmek için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Programın amacı, eleğin genliğini ve yörünge formunu hesaplamak, değişen elek

parametrelerinin, elek verimini ve elek kapasitesini nasıl etkilediğini göstermektedir.

Tanecik eleme modeli ve elenen malzeme debisi modelinin kurulmasında bazı kabuller yapılmış ve bu nedenle gerçek elek debisinden bir miktar uzaklaşmıştır. Ancak yapılan kabullerden kaynaklanan debi sapmaları her eleme şartı için mevcut olduğundan gerçek ve teorik debiler arasında bir ilişki kurmak mümkün olabilmektedir. Bu doğrultuda en uygun elek veriminin ve elek kapasitesinin elde edilebildiği elek parametreleri tespit edilmiştir.

1.2 TEZİN KAPSAMI

Bu çalışma 5 bölüm olarak hazırlanmıştır. İkinci bölümde, eleme işleminin esasları anlatılmış ve ideal bir eleminin elde edilebilmesi için gerekli olan şartlar incelenmiştir. Eksantrik rotorlarla tahrik edilen endüstriyel elekler hakkında genel bir bilgi verildikten sonra, üzerinde çalışma yapılacak elek tipinin özellikleri ve hangi işlerde yaygın olarak kullanıldığı anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde dinamik modelleme esas alınmış, eleğin bir düzlem içerisinde üç serbestlik dereceli olarak titreşim yaptığı kabul edilerek hareket denklemleri çıkarılmıştır. Bu denklemler çözülerek eleğin yol, hız ve ivme bağıntıları zamana bağlı olarak elde edilmiştir. Elek üzerine bırakılan bir tanenin, eleme yüzeyiyle çarpışma durumları incelenerek tanecik eleme modeli geliştirilmiştir. Daha sonra tanecik eleme modelinden elde edilen veriler kullanılarak debi eleme modeli kurulmuştur.

Dördüncü bölümde, geliştirilen tanecik eleme modeli bilgisayara uyarlanarak bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Programda elek üzerine bırakılan bir tanenin hareket karakteristiklerindeki değişimler, çeşitli elek parametreleri için belirlenmekte ve elde edilen sonuçlara göre elek tasarımı için optimum kriterler belirlenmektedir.

Son bölümde ise, bu çalışma esnasında varılan sonuçlar genel olarak değerlendirilmiş ve yapılan bu çalışmanın, ileride hangi doğrultuda devam edebileceği tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

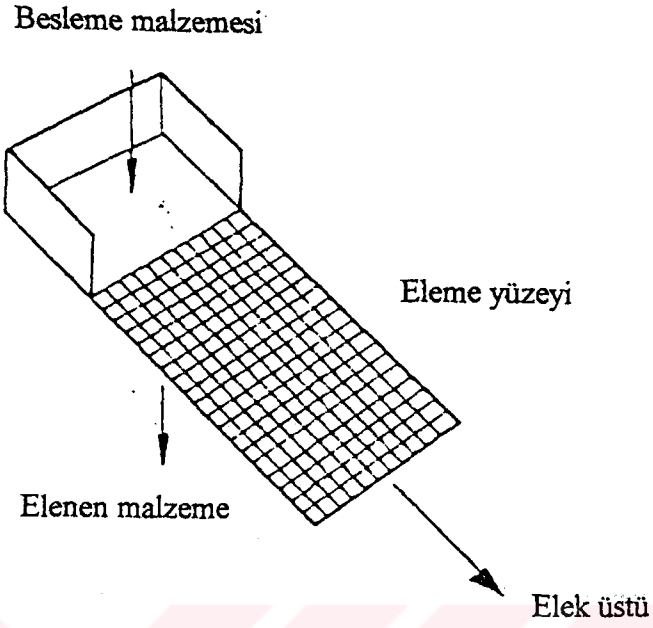
TİTREŞİMLİ ELEKLER

Bugün endüstride tane boyutu 0.2 mm.' den daha büyük elemeler için, yaygın olarak, mekanik titreşimli elekler kullanılmaktadır. Eleklerin en çok kullanıldığı yerler maden ocakları, kum ve çakıl işletmeleri, taş kırma tesisleri, tuğla sanayii, kimyasal gübre sanayii gibi temel sanayii tesisleridir. Titreşimli elekler bu sanayii ve işletmelerde genellikle malzemelerin boyutlarına göre tasnif edilmesinde, çamurlu malzemelerin yıkanmasında, katı - sıvı karışımlarından suyun uzaklaştırılmasında, malzemelerin iletiminde ve daha birçok işlerde yaygın olarak kullanılırlar. Eleme yüzeyleri delik boyutlarına göre standart hale getirilmişlerdir. En çok kullanılan elek standartları Amerikan standardı, Tyler standardı ve İngiliz standardıdır.

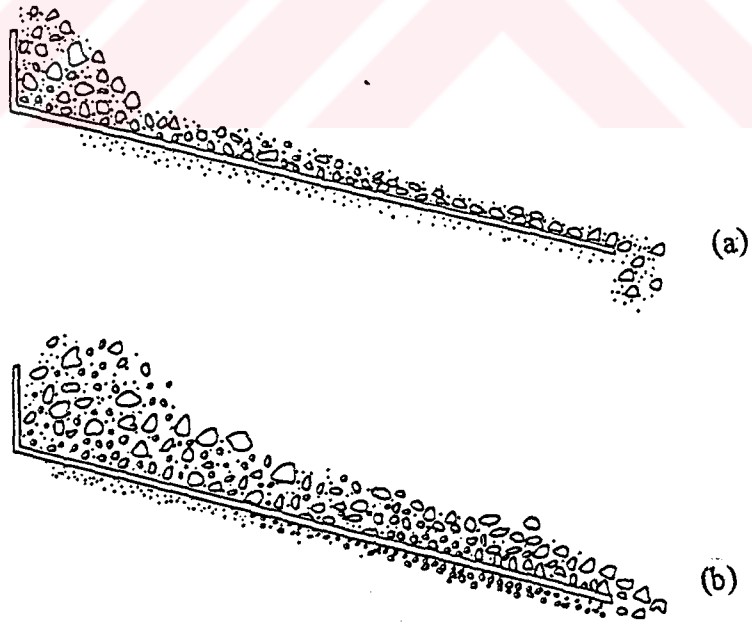
2.1 ELEME İŞLEMİNİN İNCELENMESİ VE İDEAL ELEME ŞARTLARI

Şekil 2.1' de görüldüğü gibi titreşimli bir eleme yüzeyine, elenmesi istenen değişik tane boyutlarına sahip olan malzeme dökülsün. Eleme yüzeyinin üzerindeki tüm delikler aynı boyutta olduğundan, titreşimin etkisiyle yüzey üzerinde ilerleyen malzeme, iki farklı boyut grubuna ayrılacaktır. Deliklerden geçemeyecek büyüklükteki taneler "elek üstü" olarak adlandırılır ve eleğin çıkış ağzından dökülerek eleği terkederler. Yüzey üzerindeki deliklerden geçebilen taneler ise bir toplama kanalı vasıtasıyla ya doğrudan silo içine aktarılır veya bir götürücü ile istenen yere sevk edilir.

Elenmekte olan malzemenin tek bir tanesini ele alırsak; bu tanecik, eleme yüzeyine yaklaştığı zaman ya delik kenarına çarparak elenmeyecek yada hiçbir yere çarpmadan delikten geçecektir. Eğer tanecik delik boyutuna göre çok küçük ise büyük bir ihtimalle eleği terkedmeden deliklerin birinden geçecektir. Tanecik elek üzerinde hızlı bir şekilde ilerliyorsa, delik kenarlarına çarparak elenmeyebilir. Tanenin hızı



Şekil 2.1. Basitleştirilmiş bir elette eleme işleminin gösterilmesi.



Şekil 2.2. Tabakalaşmanın mekaniği ve eleme işlemine etkisi. a) Tabakalaşma derinliği çok az. b) Tabakalaşma derinliği yeterli.

ve tel kalınlığı arttıkça eleme verimi düşecektir. İdeal eleme aşağıdaki şartlar gerçekleştiği takdirde elde edilir

- 1) Eleme yüzeyi üzerindeki her bir deliğe tek bir tanecik ulaşırsa.
- 2) Deliğe ulaşmış taneciğin hızı sıfır olursa.
- 3) Tanecik deliğin normali doğrultusunda düşerse.
- 4) Tanecik en küçük boyutuyla deliğin merkezinden geçerse.
- 5) Eleme yüzeyi ince olursa.

Bu şartların sağlanması halinde ideal bir elenmenin elde edileceği açıkça görülmektedir. Fakat gerçekte bu şartların sağlanması çok zordur ve sağlanabilse dahi elek kapasitesi çok düşük olacaktır. İstenen kapasitenin elde edilebilmesi için malzeme tanelerinin en kısa zaman periyodunda elek deliklerinden geçmesi gerekir. Bu durumda eleme yüzeyi üzerinde bulunan birçok tane aynı anda deliklerden geçmeye çalışacaktır. Malzemenin akışını sürdürebilmesi için, eleme yüzeyine paralel kabul edilebilir bir hıza sahip olması gerekmektedir. Taneler her zaman en küçük boyutlarıyla eleme yüzeyine düşemeyeceklerinden, deliklerden geçme şansları azalacaktır. Malzemenin ağırlığından dolayı eleme yüzeyinin parçalanmaması içinde belirli bir kalınlığa sahip olması gerekir. Tüm bu zorunluluklardan dolayı yukarıda saymış olduğumuz ideal eleme şartlarını uygulamada tam olarak elde edebilmek mümkün olmamaktadır.

Gerçek eleme şartlarında eleme verimini yükseltmek için bazı noktalara dikkat edilmesi gerekir. Öncelikle, malzemenin eleme yüzeyi üzerine döküldüğü besleme kanalının eni, mümkünse eleme yüzeyi genişliğinde olmalıdır. Böylece eleme yüzeyi tam olarak kullanılır ve malzemenin döküldüğü bölgenin aşınması önlenir.

İkincisi, titreşimli bir eleğin genliği ve devir sayısı yeterli ise, elenen malzemenin içinde bulunan büyük boyutlu tanecikler daha yükseğe sıçrar. Küçük boyutlu taneler ise altta kalarak elenme imkanı bulurlar. Bu olaya tabakalaşma adı verilir. Şekil 2.2' de tabakalaşmanın eleme verimine olan etkisi görülmektedir. Burada önemli olan optimum tabakalaşma derinliğini tespit edebilmektir. Tabakalaşma derinliği çok ince olursa şekil 2.2a' da görüldüğü gibi elek deliklerinde meydana

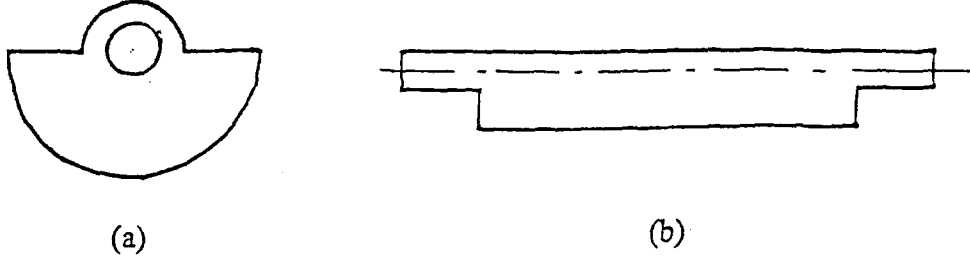
gelen yığılmadan dolayı eleme verimi düşer. Tabakalaşma derinliği çok kalın olursa tanelerin hızı artar ve delik ölçüsüne yakın boyuttaki tanelerin elenmesi güçleştiğinden, eleme verimi düşer (Şekil 2.2b).

Üçüncüsü, besleme oranının iyi ayarlanmasıdır. Eleğin aşırı beslenmesi durumunda elek delikleri bloke olacağından, elenecek boyutta olan taneler elenmeden eleği terkedeceklerdir. İdeal bir besleme oranı için, elek çıkış ağzındaki malzemenin derinliği elek göz boyutunun dört katı civarında olmalıdır (Weiss, 1985).

2.2 ENDÜSTRİYEL ELEK TİPLERİ

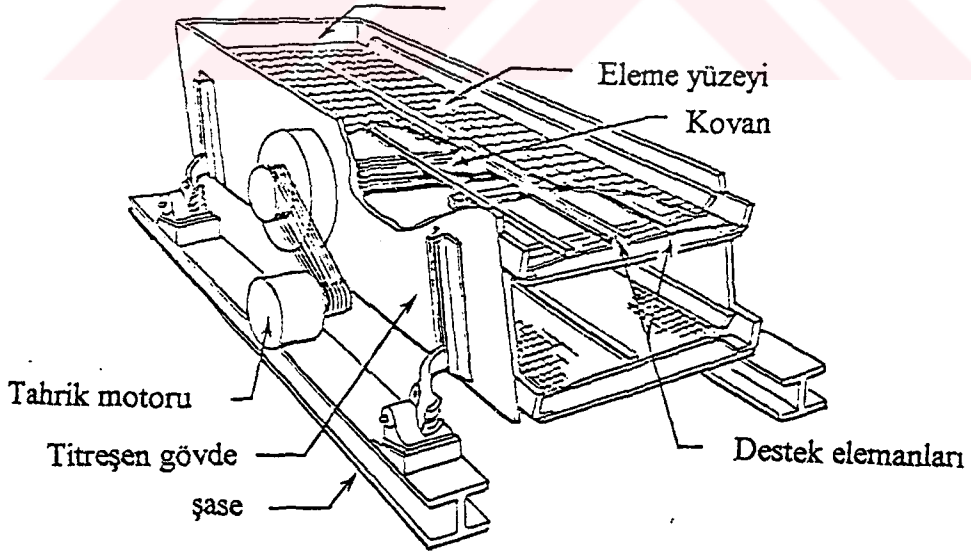
Yukarıda bahsettiğimiz gibi çok çeşitli endüstri ve işletmelerde kullanılan eleklerin yapıları ve çalışma özellikleri birbirlerinden farklıdır. Bununla beraber hepsinin yapılarında temel olarak hemen hemen aynı elemanlar bulunmaktadır. Bütün eleklerde eleme işlemi için malzemenin yapıldığı eleme yüzeyleri bulunur. Eleme veriminin yüksek olabilmesi için bu eleme yüzeylerin mümkün olduğunca ince olması gerekir. Eleme yüzeyleri üzerindeki delikler değişik geometrik şekillerde olabilir. En yaygın olarak kullanılan tip kare şeklinde delikleri bulunan eleme yüzeyleridir. Eleme şartlarına göre yuvarlak, altıgen ve dikdörtgen şekilli eleme yüzeyleri de kullanılmaktadır. Eleme yüzeyleri, destek elemanları denilen ve elek boyunca birbirlerine paralel olarak monte edilmiş profiller üzerine gergin bir şekilde dayanırlar. Gerilme yetersiz olursa titreşim esnasında eleme yüzeyi destek elemanlarına çarparak parçalanır. Eleme yüzeylerinin hasar görmesini önlemek amacıyla destek elemanlarının üzeri kauçuk lastiklerle kaplanır. Bu suretle elek telleri ile destek elemanlarının direk olarak teması önlenerek eleme yüzeyinin ömrü arttırılır.

Titreşim hareketinin oluşması için gerekli tahriği temin eden eksantrik rotorlar, merkezden kaçık bir mil şeklinde veya düz bir milin iki ucuna monte edilen yarım daire plakalar gibi muhtelif şekillerde olabilir (Şekil 2.3). Elek tipine göre, gövdeye en az iki yatakla bağlanırlar ve genellikle bir elektrik motoru vasıtasıyla tahrik edilirler. Eksantrik rotorların üzerine monte edildiği mil, elenen malzeme tarafından aşındırılmaması için kovan adı verilen silindirik bir muhafaza içine alınır.



Şekil 2.3. Eksantrik rotorlar. a) Yarım daire şeklinde plaka.

b) Merkezden kaçık mil.



Şekil 2.4. Titreşimli bir eleğin ana parçaları.

Eleme yüzeylerini, destek elemanlarını ve eksantrik rotorları içinde bulunduran titreşimli gövde, dört kenarından çelik veya kauçuk yaylar aracılığı ile temele bağlanır. Eleme esnasında malzemenin dışarı sıçramaması ve etrafa toz yayılmaması için elek üzerine bir kapak yapılabilir. Şekil 2.4’ de mekanik titreşimli bir eleğin başlıca elemanları görülmektedir.

Birçok endüstri ve işletmelerde işin gereği olarak farklı eleme özellikleri istenir. Kum ve çakıl ocaklarında tanecik boyut hassasiyeti aranmaz iken bir tuğla sanayiinde hassas ölçülerde eleme işlemine ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacı karşılamak üzere değişik tip ve titreşim karakteristiklerine sahip elekler üretilmiştir. Aşağıda çeşitli eleme şartlarında kullanılan elekler gözden geçirilmiştir.

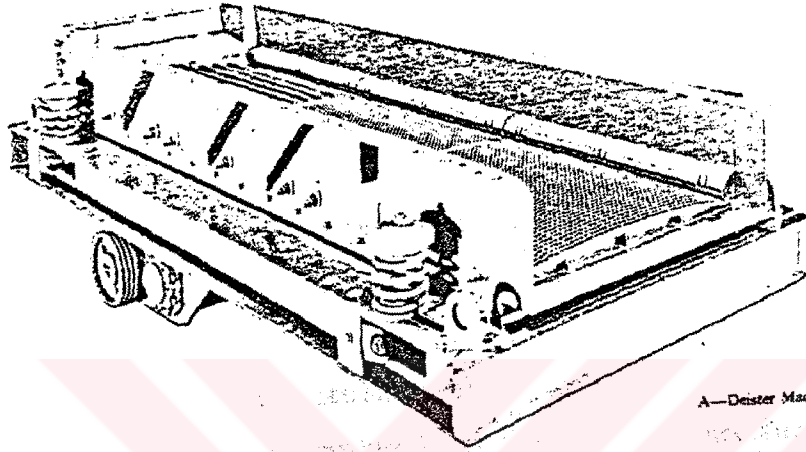
A) Titreşimli elek: Genellikle 600 d/d’ dan daha yüksek devire ve 25 mm.’ den daha küçük strok’ a sahiptir. Eleme yüzeyi eğimli veya yatay olabilir. Mekanik veya elektromanyetik olarak tahrik edilebilir. Eksantrik rotorlar diğer elek tiplerinden farklı olarak yayların bağlandığı şase üzerine monte edilmiştir (Şekil 2.5).

B) Eğik titreşimli elek: Titreşen gövde, yatayla belirli bir açı yapacak şekilde temele monte edilmiş profiller üzerine yaylar aracılığı ile bağlanır. Malzeme üst taraftan eleme yüzeyi üzerine dökülür ve titreşim kuvveti ile eğim doğrultusunda çıkış ağzına doğru sürüklenir. Yüksek elek kapasitesi istenen yerlerde kullanılırlar (Şekil 2.6).

C) Yatay titreşimli elek: Eleme yüzeyi yatay olarak tasarlanmış bir elek tipidir. Malzeme beslemesi eleğin arka tarafından yapılır ve taneler elek boyunca titreşimin etkisiyle sıçrayarak çıkış ağzına doğru ilerler. Malzemenin elek üzerinde kalma zamanı uzundur. Dolayısıyla eleme verimi yüksek, elek kapasitesi ise düşüktür. Yüksek eleme hassasiyeti istenen yerlerde kullanılırlar (Şekil 2.7).

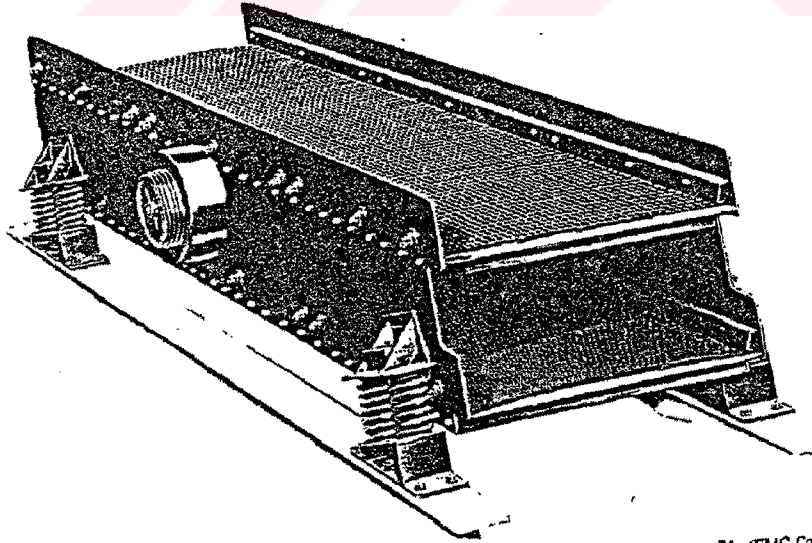
2.3 MEKANİK TİTREŞİMLİ ELEKLERİN TAHRİK MEKANİZMALARI

Eleme işleminin verimini etkileyen parametrelerden biri de titreşim yörüngesinin formudur. Eksantrik rotorların elek gövdesindeki yeri, yay katsayılarının seçimi



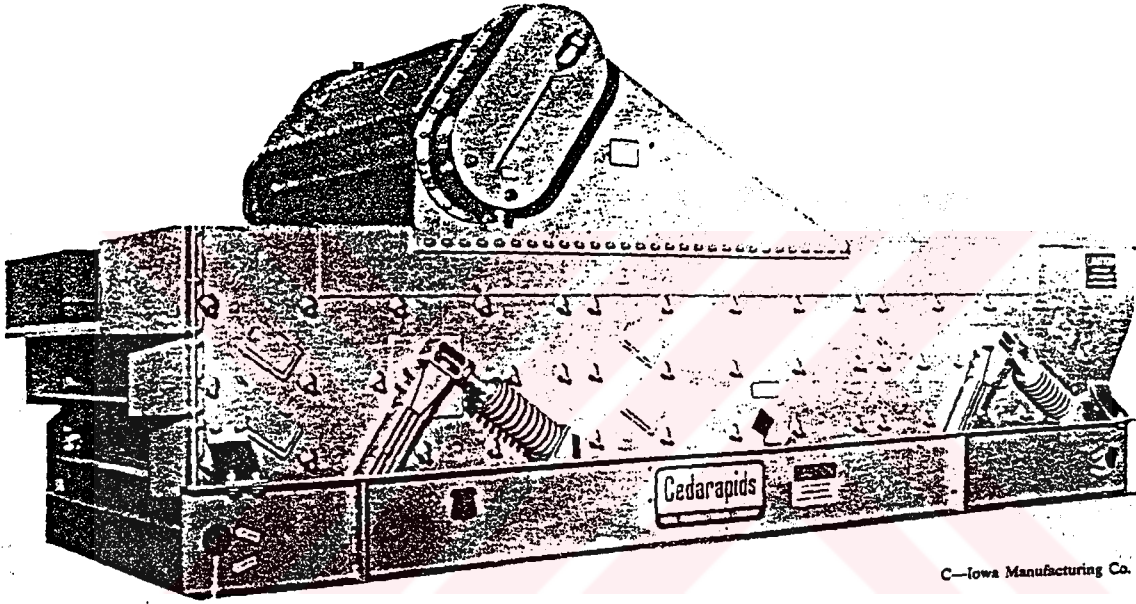
A—Deister Machine Co.

Şekil 2.5. Titreşimli elek.



B—Link-Belt Div./FMC Corp.

Şekil 2.6. Eğik titreşimli elek.



C—Iowa Manufacturing Co.

Şekil 2.7. Yatay titreşimli elek.

eksantrik rotorlar arasındaki faz farkı ve dönüş yönleri titreşim yörüngesinin formunu belirleyen temel parametrelerdir. Bu bölümde titreşim tahrik mekanizmalarının çeşitleri ve elek yörüngesine etkileri anlatılacaktır.

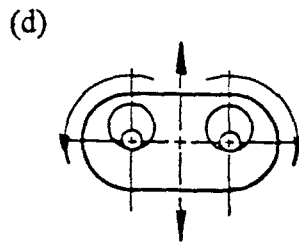
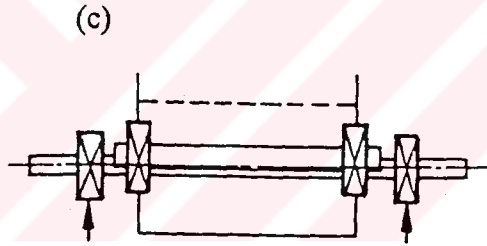
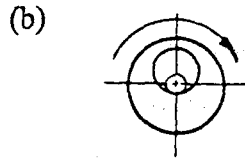
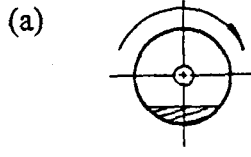
(i) Titreşimin, iki yatakla eleğe monte edilen ve uçlarında balanslı kasnak bulunan bir mil vasıtasıyla elde edilmesi: Balanslı kasnak, dairesel bir titreşim yörüngesi oluşturur. Genlik, kasnakların balans miktarını ayarlamakla değiştirilebilir. Genellikle küçük boyutlu eleklerde kullanılır (Şekil 2.8a).

(ii) Titreşimin, iki veya dört yatakla eleğe monte edilen kendinden eksantrikli bir mil vasıtasıyla elde edilmesi: Balanslı mil dairesel bir titreşim yörüngesi oluşturur. Genlik milin balans miktarını ayarlamakla değiştirilebilir. Küçük ve büyük boyutlu eleklerde kullanılır (Şekil 2.8b).

(iii) Titreşimin, dört yatakla eleğe monte edilen çift eksantrikli bir mil vasıtasıyla elde edilmesi: Yatakların ikisi elek gövdesini, diğer ikisi mili destekler. Diğer tahrik mekanizmalarından farklı olarak, bu mekanizmada titreşim merkezkaç kuvvet etkisiyle oluşturulmaz ve genlik elek ağırlığının artmasıyla değişmez. Dairesel bir titreşim yörüngesi elde edilir. Ağır işletme şartlarında ve eğimli tip eleklerde kullanılır (Şekil 2.8c).

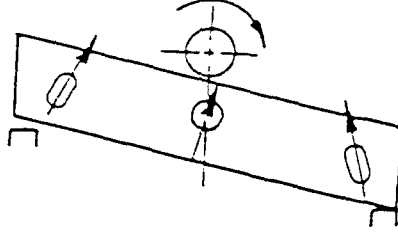
(iv) Titreşimin, herbiri iki yatakla elek gövdesine monte edilen iki eksantrik mil ile elde edilmesi: Birbirine zıt yönde dönen iki eksantrik mil düşey yönde bir genlik oluşturur. Eksantrik millerin farklı fazda monte edilmesiyle yörünge formu düşey durumdan eğik bir duruma dönüştürülebilir. Genlik millerdeki balans miktarı değiştirilerek ayarlanabilir. Yatay titreşimli eleklerde ve bazı ileticilerde kullanılırlar (Şekil 2.8d).

(v) Titreşimin, iki yatakla elek gövdesinin üst kısmına monte edilen ve uçlarında yarım daire şeklinde eksantrik rotorlar bulunan bir mil vasıtasıyla elde edilmesi: Elek gövdesinin merkezinde daire şeklinde bir yörünge, kenarlarında ise eliptik yörüngeler elde edilir. Eksantrik rotorlar saat yönünde döndürülürse elek kapasitesi artar, eleme verimi ise düşer. Bu durumda elek hassas bir e-

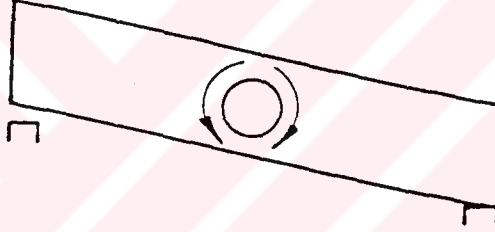


Şekil 2.8. Mekanik titreşimli eleklerin tahrik mekanizmaları. a) Uçlarında balanslı kasnak bulunan mil. b) Eksantrikli mil. c) Çift eksantrikli mil. d) Yatay olarak yanyana monte edilen eksantrikli mil.

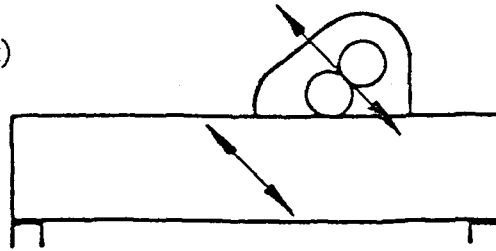
(e)



(f)



(g)



Şekil 2.8. (Devam ediyor.) Mekanik titreşimli eleklerin tahrik mekanizmaları.

- e) Uçlarında yarım daire plakalar bulunan milin eleğin üst kısmına monte edilmesi. f) Uçlarında yarım daire plakalar bulunan milin eleğin merkez kısmına monte edilmesi. g) İki eksantrikli milin birbirlerine eğimli olarak eleğe monte edilmesi.

lemenin istenmediği ve yüksek besleme oranına ihtiyaç duyulan işletmelerde kullanılır. Eksantrik rotorlar saat yönünün tersi istikamette döndürüldüğü durumda ise daha etkin bir eleme işlemi elde edilir. Malzeme elek üzerinde daha uzun süre kalır ve daha derin bir malzeme katmanlaşması oluşur fakat elek kapasitesi azalır (Şekil 2.8e).

(vi) Titreşimin, iki yatakla elek gövdesinin merkez kısmına monte edilen ve uçlarında yarım daire şeklinde eksantrik rotorlar bulunan bir mil vasıtasıyla elde edilmesi: Bu durumda elek üzerinde dairesel yörüngeler oluşur. Yay katsayılarının ayarlanmasıyla dairesel yörüngeler elips şekline getirilebilir. Eksantrik rotorlar saat yönünde döndürülürse eleme verimi düşer, elek kapasitesi artar. Dönüş yönü tersine çevrildiğinde eleme verimi yükselir, elek kapasitesi düşer. Genellikle ağır işletme şartlarında kullanılır (Şekil 2.8f).

(vii) Titreşimin, dört yatakla elek gövdesinin üst veya alt kısmına monte edilen ve birbirlerine göre eğimli bir şekilde duran eksantrikli iki mil vasıtasıyla elde edilmesi: Millerden biri elektrik motoru tarafından tahrik edilir. Diğer mile hareket dişli çark sistemiyle tahrik edilen milden aktarılır. Eksantrik miller birbirlerine ters yönde dönerler aralarında genellikle 90° faz farkı olacak şekilde ilk montajları yapılır. Elek gövdesi üzerinde oluşan yörünge doğrusaldır. Genlik miktarı millerdeki balans miktarı değiştirilerek ayarlanabilir. Eleme verimleri yüksektir (Şekil 2.8g).

Görüldüğü gibi mekanik titreşimli eleklerde işletme şartlarına bağlı olarak çeşitli tahrik mekanizmaları kullanılmaktadır. Burada önemle vurgulanması gereken durum şekil 2.8c haricindeki tahrik mekanizmalarının bulunduğu eleklerin genliğinin besleme miktarının artmasıyla azalmasıdır. Dolayısıyla elek tasarımı yapılırken genlikteki bu azalmanın dikkate alınması gerekir.

2.4 ELEK TASARIMINDA GELİŞMELER

Kapasitelerinin az, bakımlarının ise ekonomik olmayışı nedeniyle birçok işletmede klasik eleklerden vazgeçilmiş, daha az bakım gerektiren ve ağır işletme şartlarında yüksek bir performansla çalışabilen eğimli tip eleklerle geçilmiştir. Klasik bir

elekte eleme yüzeyinin eğim açısı sıfırdır veya çok küçüktür. Eleme yüzeyinin malzeme tanelerini fırlatma açısı da genellikle küçüktür ve elips şeklinde oluşan yörüngeğin uzun asal eksenini hemen hemen eleme yüzeyine paraleldir. Malzeme, eleme yüzeyi boyunca kayarak ilerler. Eğimli tip eleklerde ise eleğin eğim açısı ve eleme yüzeyinin malzemeyi fırlatma açısı klasik eleklerle nispeten daha büyüktür. Eğim açıları genellikle 18 - 32 derece arasında değişmektedir. Malzeme taneleri eleme yüzeyi üzerinde bir dizi halinde sıçrayarak ilerler. Eğimli eleklerin klasik eleklerle göre en büyük avantajı daha büyük bir kapasiteye sahip olmalarıdır. Bununla birlikte eleme verimi klasik eleklerle nispeten daha düşüktür (Gluck, 1965; Matthews, 1971; Rongguang et al., 1992).

Eleklerin performansları üzerine birçok çalışmalar yapılmış ve değişen elek parametrelerinin, elek kapasitesine ve verimine etkileri pek çok araştırmaya konu olmuştur (Mirva, 1960; Brereton and Dymott, 1973; Batterham, 1980; Beeckmans and Hill, 1983; Beeckmans et al., 1985; Chen et al., 1988).

Eleme işleminin matematiksel modelinin kurulmasıyla ilgili çalışmalar Ferrara and Preti, 1975 ve De Pretis et al., 1977 ile başlamış, daha sonra Schena, 1982; Kelly and Spottiswood, 1982; Hess, 1983; Herbst and Oblad, 1984; Akçalı ve Mutlu, 1992 isimli yazarların çalışmalarıyla devam etmiştir. Ferrara ve Preti, 1975 yılında önerdikleri eleme işlemi modelini Schena' yı da aralarına alarak 1986 yılında tekrar incelemişlerdir (Ferrara, Preti and Schena, 1986). Bu çalışmalarda besleme malzemesinin boyut dağılımının ve elek boyutlarının eleme işlemine olan etkileri başlıca çalışma amacını oluşturmaktadır.

Çeşitli tanecik çaplarında ve delik ölçülerinde elenme işleminin ne şekilde etkilendiğini tespit edebilmek için yapılan teorik çalışmaların başlangıcı dinamik modellemeden daha eskilere dayanır. Delik boyutuna yakın boyutlardaki tanelerin elenmesinin oldukça zor olduğu daha 1947 yılında Taggart tarafından gösterilmiştir (Taggart, 1947). Teorik ve deneysel olarak tanecik boyutlarının ve malzeme içindeki boyut dağılımının elek verimine etkileri birçok yazarın ilgisini çekmiş ve muhtelif çalışmalara konu olmuştur (Burson et al., 1963; Mizutani, 1963; Jansen and Glastonburry, 1967; Elder, 1968). Malzemenin tane boyutlarına göre elek

seçimiyle ilgili bir diğer çalışma da Westerfield tarafından yapılmıştır (Westerfield, 1968).

Değişen elek parametrelerinin, elek verimine ve kapasitesine olan etkilerini incelemek üzere muhtelif simülasyon çalışmaları da yapılmıştır. Titreşim genliği, titreşim frekansı, eğim açısı gibi parametrelerin eleme işlemine olan etkileri, özellikle Whiten, 1972 ve Beeckmans and Jutan, 1989 gibi yazarların ilgi alanı olmuştur.

Görüldüğü gibi, eleme işleminde yaygın olarak kullanılan titreşimli elekler üzerine yapılan çalışmalar 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren başlamıştır. Öncelikle teorik ve deneysel yöntemlerle hazırlanan çalışmalara daha sonra simülasyon çalışmaları da eklenerek bu konudaki çalışmalara devam edilmiştir. Bu çalışmaların neticesi olarak sanayii kullanımı için öncekilere nispeten boyutları daha küçük, kapasiteleri daha yüksek elekler geliştirilebilmiştir. Bu konudaki çalışmalar, elek verimini daha da arttırma, boyutlarını ise azaltma amacına yönelik olarak özellikle simülasyon doğrultusunda devam etmektedir.

BÖLÜM 3

DİNAMİK MODELLEME

Bu bölümde değişen elek parametrelerinin, eleme işlemine olan etkilerini tespit edebilmek için, üzerinde çalışılan eleğin titreşimini ifade eden bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntılar yardımıyla eleğin üzerindeki herhangi bir noktanın konumu, hızı ve ivmesi belirlenmiş olup elenen bir tanenin hareketi ve buna bağlı olarak elenen debinin tayin edilebilmesi için birer model teklif edilmiştir.

3.1 TİTREŞİM ELEĞİNİN DİNAMİK MODELLENMESİ

Hareket denklemleri elde edilecek elek, uçlarında yarım daire şeklinde eksantrik elemanlar bulunan bir mil tarafından tahrik edilmektedir (Şekil 3.1). Mil, iki rulmanlı yatak ile elek gövdesine monte edilmiştir. Titreşimli gövde her iki tarafından toplam dört yay vasıtasıyla şaseye bağlanmıştır. Eleğin dinamik modellenmesi aşağıdaki kabuller göz önünde tutularak yapılacaktır.

(i). Tahrik motoru ile eksantrik rotorları taşıyan mil arasındaki elastik kaplinde, titreşim esnasında oluşan kuvvetler ihmal edilmiştir.

(ii). Eleği üst ve alt ucundan şaseye bağlayan yaylar karşılıklı simetrikler. Yani üst kısımda bulunan iki yay birbirleriyle özdeş, alt kısımdaki iki yay da birbirleriyle özdeştir. Dört yayın hepsi de aynı özelliklere sahip olabilir. Herbir özdeş yay grubu tek yay olarak birleştirilmiş, böylece elek, üst ve alt uçlardan iki yay ile şaseye bağlı olarak modellenmiştir. Dolayısıyla elek bir düzlem içerisinde hareket etmektedir.

Şekil 3.1' de görülen elekte, k_1 üst tarafta bulunan yayın katsayısı, k_2 ise alt tarafta bulunan yayın katsayısıdır. a ve b sırasıyla k_1 ve k_2 yaylarının eleğin ağırlık merkezine olan mesafeleridir. G eleğin ağırlık merkezidir. C_x ve C_y eksantrik milin

ağırlık merkezine göre yatay ve düşey konumunu göstermektedir.

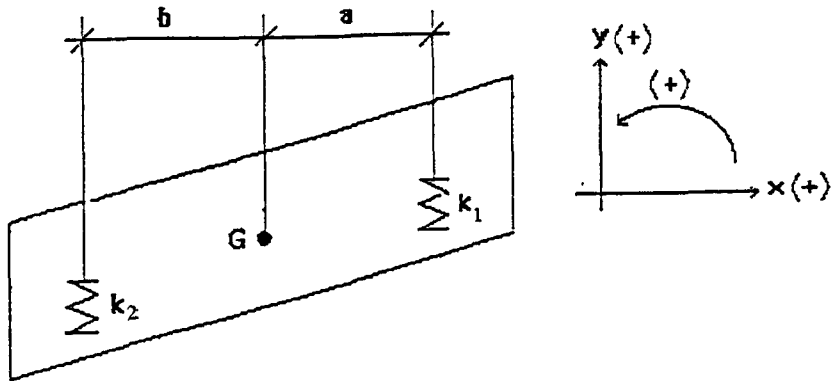
Hareket denklemlerini elde edebilmek için şekil 3.1' de görüldüğü gibi, gövdenin seçilen pozitif yönlerdeki yerdeğiştirmesi durumunda Newton' nun 2. kanununu yazmak yeterlidir. Yatay yöndeki hareket denklemi,

$$m.\ddot{x}_g = -(k_{1x} + k_{2x}).x_g - (r_{1x} + r_{2x}).\dot{x}_g + F_m.\cos(\omega.t)$$

şeklinde olacaktır. Gerekli düzenlemeler yapılarak,

$$m.\ddot{x}_g + (r_{1x} + r_{2x}).\dot{x}_g + (k_{1x} + k_{2x}).x_g = F_m.\cos(\omega.t) \quad (1)$$

denklemi elde edilir. Burada, m eleğin kütlesini, x_g , \dot{x}_g ve \ddot{x}_g sırasıyla eleğin ağırlık merkezinin yatay yöndeki konumu, hızı ve ivmesini göstermektedir. r_{1x} , r_{2x} , k_{1x} ve k_{2x} sırasıyla üst ve alt tarafta bulunan yayların yatay yöndeki sönüm katsayıları ile yatay yöndeki yay katsayılarıdır. F_m merkezkaç kuvvet olup, $F_m = m_e.r.\omega^2$ formülüyle bulunacaktır. Burada, m_e eksantrik rotorların kütlesi, r eksantrisite, ω ise açısal hızdır.



Şekil 3.1 Eğimli eleğin parametreleri

Eğer k_1 ve k_2 yayları farklı özelliklere sahipse veya a ve b mesafeleri birbirine eşit değilse, elek düşey yönde yer değiştirdiğinde, k_1 ve k_2 yaylarında meydana gelen uzamalar birbirinden farklı olacaktır. Dolayısıyla elek ağırlık merkezi etrafında bir miktar dönme yapacaktır. Bu dönme miktarı " ϕ " ile gösterilecektir. Pozitif dönme yönü şekil 3.1' de görüldüğü gibi saat yönünün tersi istikamette seçilirse, düşey yöndeki hareket denklemi,

$$m \cdot \ddot{y}_g = -k_{1y} \cdot (y_g + a \cdot \phi) - k_{2y} \cdot (y_g - b \cdot \phi) - r_{1y} \cdot (\dot{y}_g + a \cdot \dot{\phi}) - r_{2y} \cdot (\dot{y}_g + b \cdot \dot{\phi}) + F_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

şeklinde olacaktır. Gerekli düzenlemeler yapılarak,

$$m \cdot \ddot{y}_g + (r_{1y} + r_{2y}) \cdot \dot{y}_g + (k_{1y} + k_{2y}) \cdot y_g + (r_{1y} \cdot a - r_{2y} \cdot b) \cdot \dot{\phi} - (k_{1y} \cdot a - k_{2y} \cdot b) \cdot \phi = F_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2)$$

denklemi elde edilir. Burada, y_g , \dot{y}_g ve \ddot{y}_g sırasıyla eleğin ağırlık merkezinin düşey yöndeki konumu, hızı ve ivmesini, r_{1y} , r_{2y} , k_{1y} ve k_{2y} sırasıyla üst ve alt tarafta bulunan yayların düşey yöndeki sönüm katsayıları ile yine aynı yayların düşey yöndeki yay katsayılarını, ϕ ve $\dot{\phi}$ sırasıyla eleğin ağırlık merkezi etrafında dönme miktarını ve açısal hızını göstermektedir.

Eleğin üzerinde bulunduğu yaylar ve yayların ağırlık merkezine olan mesafeleri birbirlerine eşit olsa dahi, eğer eksantrik rotorları taşıyan mil, eleğin ağırlık merkezinden geçmiyorsa, titreşim esnasında bir döndürme kuvveti oluşacaktır. Bu kuvvetin etkisiyle elek ağırlık merkezi etrafında dönmeye zorlanacaktır. Newton'un ikinci kanununa göre ağırlık merkezi etrafındaki dönme denklemi,

$$J \cdot \ddot{\phi} = -k_{1y} \cdot (y_g + a \cdot \phi) \cdot a + k_{2y} \cdot (y_g - b \cdot \phi) \cdot b - r_{1y} \cdot (\dot{y}_g + a \cdot \dot{\phi}) \cdot a + r_{2y} \cdot (\dot{y}_g - b \cdot \dot{\phi}) \cdot b + F_m \cdot C_x \cdot \sin(\omega \cdot t) - F_m \cdot C_y \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

şeklinde olacaktır. Gerekli düzenlemeler yapılarak,

$$J \cdot \ddot{\phi} + (r_{1y} \cdot a^2 + r_{2y} \cdot b^2) \cdot \dot{\phi} + (k_{1y} \cdot a^2 + k_{2y} \cdot b^2) \cdot \phi + (r_{1y} \cdot a - r_{2y} \cdot b) \cdot \dot{y}_g + (k_{1y} \cdot a - k_{2y} \cdot b) \cdot y_g = F_m \cdot C_x \cdot \sin(\omega \cdot t) - F_m \cdot C_y \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (3)$$

denklemi elde edilir. Burada, J eleğin kütle atalet momenti, $\ddot{\phi}$ ise eleğin ağırlık merkezi etrafında dönmesi esnasındaki açısal ivmesidir.

Elde edilen diferansiyel denklemlerden yatay hareketi temsil eden denklemin diğerlerinden bağımsız olarak çözülebileceği görülmektedir. Dönme denklemini düşey yöndeki diferansiyel denklemle birlikte çözmek gerekecektir. Önce yatay yöndeki diferansiyel denklemi inceleyelim. Bu diferansiyel denklem için çözüm teklifi,

$$x_g = X_g \cdot \cos(\omega \cdot t - \varepsilon) \quad (4)$$

şeklinde olsun. Burada, X_g ağırlık merkezinin yatay titreşimin genliği, ε ise yatay titreşimin faz açısıdır. (4) eşitliği aynı zamanda aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$x_g = S_1 \cdot \cos(\omega \cdot t) + T_1 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Bu eşitliğin zamana göre iki defa türevi alınarak hız ve ivme eşitlikleri elde edilir.

$$\dot{x}_g = -S_1 \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t) + T_1 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$\ddot{x}_g = -S_1 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t) - T_1 \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

x_g , \dot{x}_g ve \ddot{x}_g eşitlikleri (1) denkleminde yerine konulursa, S_1 ve T_1 katsayıları,

$$S_1 = \frac{F_m (k_{xt} - m \omega^2)}{(k_{xt} - m \omega^2)^2 + (r_{xt} \omega)^2} \quad (5)$$

$$T_1 = \frac{F_m r_{xt} \omega}{(k_{xt} - m \omega^2)^2 + (r_{xt} \omega)^2} \quad (6)$$

şeklinde elde edilir. Burada, k_{xt} ve r_{xt} yatay yöndeki yay ve sönüm katsayılarının toplamı olup,

$$k_{xt} = k_{1x} + k_{2x}$$

$$r_{xt} = r_{1x} + r_{2x}$$

değerlerine eşittir. Ağırlık merkezinin genliğinin ve yatay yöndeki titreşimin faz açısının elek parametreleri cinsinden ifadeleri ise,

$X_g = (S_1^2 + T_1^2)$ ve $\varepsilon = \tan^{-1} \left(\frac{T_1}{S_1} \right)$ olduğundan,

$$X_g = \frac{F_m}{\sqrt{(k_{xt} - m\omega^2)^2 + (r_{xt}\omega)^2}} \quad (7)$$

$$\varepsilon = \tan^{-1} \left(\frac{r_{xt} \cdot \omega}{k_{xt} - m \cdot \omega^2} \right) \quad (8)$$

şeklinde ifade edilir. Böylelikle yatay yöndeki hareket denklemi çözülmüş olmaktadır. Düşey hareket denklemi ve dönme denklemi bir diferansiyel denklem sistemi oluşturmaktadırlar ve beraber çözümleri gerekir. Çözüm yöntemi olarak “D” operatör yöntemi kullanılıp katsayılarda aşağıdaki kısaltmalar yapılırsa,

$$Z_1 = r_{1y} \cdot b - r_{2y} \cdot a$$

$$Z_2 = k_{1y} \cdot b - k_{2y} \cdot a$$

$$Z_3 = r_{1y} \cdot b^2 + r_{2y} \cdot a^2$$

$$Z_4 = k_{1y} \cdot b^2 + k_{2y} \cdot a^2$$

$$r_{yt} = r_{1y} + r_{2y}$$

$$k_{yt} = k_{1y} + k_{2y}$$

bu denklemlerin yeni şekli aşağıdaki gibi olacaktır.

$$(m \cdot D^2 + r_{yt} \cdot D + k_{yt}) \cdot y_g + (Z_1 \cdot D + Z_2) \cdot \varphi = F_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (9)$$

$$(J \cdot D^2 + Z_3 \cdot D + Z_4) \cdot \varphi + (Z_1 \cdot D + Z_2) \cdot y_g = F_m \cdot C_x \cdot \sin(\omega \cdot t) - F_m \cdot C_y \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (10)$$

(9) ve (10) eşitlikleri taraf tarafa çözümlenerek “φ” yok edilir ve gerekli kısaltmalar yapılırsa tek değişken cinsinden düşey yöndeki hareketin diferansiyel denklemi aşağıdaki şekilde bulunur.

$$A \cdot \overset{****}{y}_g + B \cdot \overset{***}{y}_g + C \cdot \overset{**}{y}_g + D \cdot \overset{*}{y}_g + E \cdot y_g = K \cdot \cos(\omega \cdot t) + L \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (11)$$

(11) denkleminde görülen A, B, C, D, E, K ve L katsayıları (9) ve (10) eşitliklerinin çözümünden elde edilmiş olup elek parametreleri cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilirler.

$$A = m.J$$

$$B = m.Z_3 + r_{yt}.J$$

$$C = m.Z_4 + r_{yt}.Z_3 + k_{yt}.J - Z_1^2$$

$$D = k_{yt}.Z_3 + r_{yt}.Z_4 - 2.Z_1.Z_2$$

$$E = k_{yt}.Z_4 - Z_2^2$$

$$K = F_m.(Z_3.\omega + Z_1.C_x.\omega - Z_2.C_y)$$

$$L = F_m.(Z_2.C_x + Z_4 - J.\omega^2 + Z_1.C_y.\omega)$$

(11) diferansiyel denklemi için çözüm teklifi,

$$y_g = Y_g.\sin(\omega.t - \Psi) \quad (12)$$

şeklinde olsun. Burada Y_g düşey titreşimin genliği, Ψ ise düşey titreşimin faz açısıdır.

(12) denklemi aynı zamanda aşağıdaki gibi de yazılabilir.

$$y_g = M.\sin(\omega.t) - N.\cos(\omega.t)$$

M ve N katsayılarının bulunabilmesi için bu eşitliğin 4 defa zamana göre türevi alınır ve elde edilen eşitlikler (11) diferansiyel denkleminde yerlerine koyulur,

$$\dot{y}_g = M.\omega.\cos(\omega.t) + N.\omega.\sin(\omega.t)$$

$$\ddot{y}_g = -M.\omega^2.\sin(\omega.t) + N.\omega^2.\cos(\omega.t)$$

$$\dddot{y}_g = -M.\omega^3.\cos(\omega.t) - N.\omega^3.\sin(\omega.t)$$

$$\overset{\cdot\cdot\cdot}{y}_g = M.\omega^4.\sin(\omega.t) - N.\omega^4.\cos(\omega.t)$$

ve gerekli düzenlemeler yapılırsa, aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$(D.\omega - B.\omega^3).M - (A.\omega^4 - C.\omega^2 + E).N = K \quad (13)$$

$$(A.\omega^4 - C.\omega^2 + E).M + (D.\omega - B.\omega^3).N = L \quad (14)$$

(13) ve (14) denklemleri taraf tarafa çözümlenerek M ve N katsayıları,

$$P = A.\omega^4 - C.\omega^2 + E \quad \text{ve} \quad R = D.\omega - B.\omega^3 \quad \text{olmak üzere,}$$

$$M = \frac{K.R + L.P}{P^2 + R^2} \quad (15)$$

$$N = \frac{L.R - K.P}{P^2 + R^2} \quad (16)$$

şeklinde bulunur. Eleğin ağırlık merkezinin yörüngesi ve düşey titreşimin faz açısı,

$$Y_g = (M^2 + N^2) \quad \text{ve} \quad \Psi = \tan^{-1}\left(\frac{N}{M}\right)$$

olduğundan M ve N katsayıları yerlerine konulursa,

$$Y_g = \left(\frac{K^2 + L^2}{P^2 + R^2}\right)^{(1/2)} \quad (17)$$

$$\Psi = \tan^{-1}\left(\frac{L.R - K.P}{K.R + L.P}\right) \quad (18)$$

şeklinde ifade edilir. Diğer taraftan (9) ve (10) eşitliklerinde “y_g” yok edilip gerekli kısaltmalar yapılırsa (11) diferansiyel denkleminin benzer şekilde, “φ” ye bağlı olarak aşağıda görülen 4. mertebeden sabit katsayılı 2. yanlı lineer bir diferansiyel denklem elde edilir.

$$A.\ddot{\ddot{\phi}} + B.\ddot{\phi} + C.\ddot{\phi} + D.\dot{\phi} + E.\phi = H.\cos(\omega.t) + I.\sin(\omega.t) \quad (19)$$

(19) diferansiyel denkleminde görülen A, B, C, D ve E katsayıları (11) diferansiyel denklemindeki katsayılarla aynıdır. Eşitliğin sağ tarafında kalan H ve I katsayıları ise elek parametreleri cinsinden,

$$H = F_m.(-Z_1.\omega + m.C_y.\omega^2 + r_{yt}.C_x.\omega - k_{yt}.C_y)$$

$$I = F_m.(-Z_2 - m.C_x.\omega^2 + r_{yt}.C_y.\omega + k_{yt}.C_x)$$

şeklinde ifade edilir. (19) diferansiyel denklemi için çözüm teklifi,

$$\varphi = F_i.\sin(\omega.t - \gamma) \quad (20)$$

şeklinde olsun. Burada, F_i eleğin ağırlık merkezi etrafındaki dönme miktarı, γ ise ağırlık merkezi etrafındaki dönmenin faz açısıdır. Bu durumda (20) eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\varphi = S.\sin(\omega.t) - T.\cos(\omega.t)$$

Bu eşitliğin zamana göre dört defa türevi alınıp (19) diferansiyel denkleminde yerine konulursa,

$$(D.\omega - B.\omega^3).S - (A.\omega^4 - C.\omega^2 + E).T = H \quad (21)$$

$$(A.\omega^4 - C.\omega^2 + E).S + (D.\omega - B.\omega^3).T = I \quad (22)$$

denklemleri elde edilir. (21) ve (22) denklemleri taraf tarafa çözümlenerek S ve T katsayıları aşağıdaki gibi bulunur.

$$S = \left(\frac{H.R + I.P}{P^2 + R^2} \right) \quad (23)$$

$$T = \left(\frac{I.R - H.P}{P^2 + R^2} \right) \quad (24)$$

$$F_i = (S^2 + T^2) \quad \text{ve} \quad \gamma = \tan^{-1} \left(\frac{T}{S} \right)$$

olduğundan S ve T katsayıları burada yerlerine konulursa,

$$F_i = \left(\frac{H^2 + I^2}{P^2 + R^2} \right)^{(1/2)} \quad (25)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{I.R - H.P}{H.R + I.P} \right) \quad (26)$$

ifadeleri elde edilir.

Buraya kadar olan kısımda şekil 3.1' de görülen eleğin titreşimini ifade eden eşitlikler elde edildi. Eleğin kütlesi, eksantrik rotorların kütlesi ve devir sayısı, elekte kullanılan yayların özellikleri, yayların eleğin ağırlık merkezine olan mesafeleri ve eleğin kütle atalet momenti bilindikten sonra, elde edilen bu ifadeler kullanılarak, elek üzerindeki herhangi bir noktanın, herhangi bir andaki konumu, hızı ve ivmesi tayin edilebilir. Şekil 3.2' de hareketsiz halde duran eleğin üzerindeki herhangi bir noktanın, eleğin ağırlık merkezine göre konumu görülmektedir. Hareketsiz halde iken eleğin ağırlık merkezinin bulunduğu konum orijin olarak kabul edilirse seçilen noktanın koordinatları

$$X_i = R_i \cdot \cos(\alpha) \quad (27)$$

$$Y_i = R_i \cdot \sin(\alpha) \quad (28)$$

eşitlikleriyle belirlenir. Titreşim hareketi başladığı zaman, herhangi bir anda eleğin ağırlık merkezinin koordinatları x_{gi} ve y_{gi} olacaktır. Aynı anda elek üzerinde seçilen noktanın koordinatları ise,

$$X_{hi} = x_{gi} + R_i \cdot \cos(\alpha + \varphi) \quad (29)$$

$$Y_{hi} = y_{gi} + R_i \cdot \sin(\alpha + \varphi) \quad (30)$$

eşitlikleri yardımıyla bulunur. Burada, R_i eleğin üzerinde seçilen herhangi bir noktanın eleğin ağırlık merkezine olan mesafesi, α ise R_i konum vektörünün yatayla yapmış olduğu açıdır (Şekil 3.2). Diğer taraftan seçilen noktanın hız ve ivme bileşenleri, ağırlık merkezinin yatay yöndeki hız ve ivme (x_{gi} , y_{gi}) bileşenleri ve ağırlık merkezinin düşey yöndeki hız ve ivme (y_{gi} ve y_{gi}) bileşenleri cinsinden,

$$\dot{X}_{hi} = \dot{x}_{gi} + R_i \cdot \dot{\phi} \cdot \cos(\alpha + \varphi) \quad (31)$$

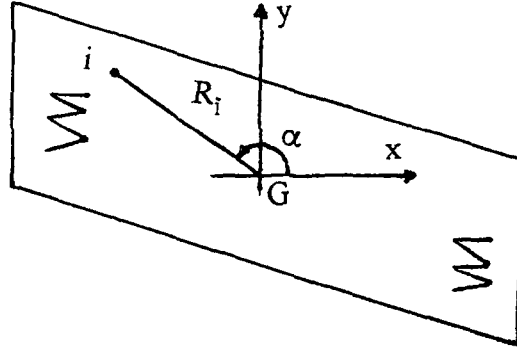
$$\dot{Y}_{hi} = \dot{y}_{gi} + R_i \cdot \dot{\phi} \cdot \sin(\alpha + \varphi) \quad (32)$$

$$\ddot{X}_{hi} = \ddot{x}_{gi} + R_i \cdot \ddot{\phi} \cdot \cos(\alpha + \varphi) \quad (33)$$

$$\ddot{Y}_{hi} = \ddot{y}_{gi} + R_i \cdot \ddot{\phi} \cdot \sin(\alpha + \varphi) \quad (34)$$

şeklinde ifade edilir. (4) ve (12) nolu eşitlikler, faz açılarının alacağı değerlere göre, eleğin ağırlık merkezinin yörüngesinin dairesel veya elips şeklinde olacağını göstermektedir. (20) nolu eşitliğe göre, eğer eleğin ağırlık merkezi etrafında dönme var ise bu takdirde ağırlık merkezinin her iki tarafındaki yörüngelerin formları (29) ve (30) eşitliklerinden, hız ve ivmeleri ise (31 - 34) eşitliklerinden bulunabilir. Bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programında, elek üzerine bırakılan bir tanenin hareketi esnasında kaç defa elek yüzeyi ile temas ettiği, eleği ne kadar zamanda terk ettiği ve ortalama olarak elek üzerindeki zıplama yüksekliği bulunmaktadır. Elde edilen neticeler, değişen elek parametrelerinin eleme verimine ve elek kapasitesine ne şekilde etki ettiğini verecektir.

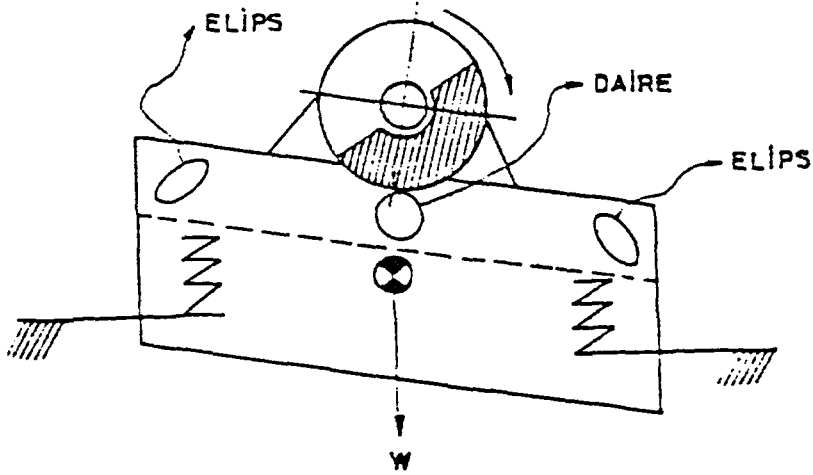
Bilgisayar programında kullanılan eleme modelindeki katsayılar, deney eleğindeki gözlem sonuçlarına göre tespit edilecektir. Şekil 3.3' de eleğin üst, merkez ve alt kısımlarına konulan noktaların iz yörüngelerinin, aynı şekilde bilgisayar programından elde edilmesi gösterilmiştir. Nace makina sanayiinin imal ettiği eğimli tip eleklerin kataloğunda da aynı yörüngelerin gözlenmesi gerektiği bildirilmektedir (Şekil 3.4). Elek parametrelerinin değişmesiyle elek kapasitesi ve veriminin değişip değişmeyeceği sorusunun cevabını verebilmek için, tek bir tanenin elek üzerindeki hareketinin gözlenmesi gerekmektedir. Bu gözlemin yapılabilmesi için bir tanecik eleme modeli geliştirilmiştir.



Şekil 3.2 Elek üzerinde alınan herhangi bir noktanın konumu.



Şekil 3.3 Eleğin üst, merkez ve alt kısımlarında alınan noktaların bilgisayardan elde edilen yörüngeleri.



Şekil 3.4 Nace Makine Sanayiinin imalatını yaptığı eğimli eleğin üzerinde görülen yörüngeler (Nace).

3.2 ELENEK TANECİĞİN DİNAMİK MODELLENMESİ

Elenecek malzeme, eleme yüzeyi üzerine döküldüğü zaman, belirli bir genlik ve frekansta titreşmekte olan elek yüzeyine çarpacak ve bu çarpışmanın etkisiyle tanecikler tekrar sıçrayarak elek üzerinde ilerleyeceklerdir. Bu esnada, elek deliklerinden daha küçük boyuttaki malzemeler elenecek, diğerleri ise belli bir süre sonra eleğin çıkış ağzından dökülerek eleği terkedeceklerdir. Bu olay tek bir tanenin elenmesi durumunda incelensin. Tanecik, bir maddesel nokta olsun ve elek yüzeyi düz yüzey kabul edilsin. Şekil 3.5' te elek yüzeyi ile bir taneciğin çarpışması gösterilmiştir.

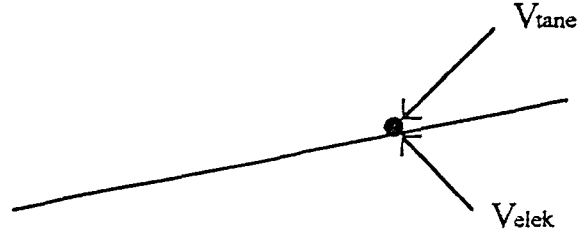
Elek yüzeyine çarpan tanenin çarpışmadan sonra yeni bir hızı olacaktır. Tanenin çarpışmadan önceki yatay hızı " V_{tx} ", düşey hızı " V_{ty} " ve elek yüzeyinin çarpışma anındaki yatay hızı " V_{ex} ", düşey hızı " V_{ey} " ile gösterilirse çarpışmadan sonra tanenin yeni hız bileşenleri;

$$V_{tx_1} = I_1.(I_2.V_{ty} - V_{ey}).\cos(90 - 2\alpha) + I_3.(I_4.V_{tx} - V_{ex}).\cos(2\alpha) \quad (35)$$

$$V_{ty_1} = I_1.(V_{ey} - I_2.V_{ty}).\sin(90 - 2\alpha) + I_3.(I_4.V_{tx} - V_{ex}).\sin(2\alpha) \quad (36)$$

şeklinde modellenmiştir. Burada I_1 , I_2 , I_3 ve I_4 elenecek malzemenin cinsi ile eleme yüzeyinin malzemesine ve çarpışma durumlarına göre değerleri değişen katsayılarıdır. V_{tx_1} tanenin yeni yatay hızı, V_{ty_1} ise tanenin yeni düşey hızıdır.

(35) ve (36) eşitliklerinde görüldüğü gibi I_1 ve I_2 katsayıları düşey hızlarda, I_3 ve I_4 katsayıları ise yatay hızlarda kullanılmaktadır. Düşey yönde meydana gelen çarpışma durumları için I_1 ve I_2 katsayılarının alacağı değerler şu şekilde olacaktır. Tanenin V_{ty} düşey hızı ile eleme yüzeyi üzerine çarptığı kabul edilsin. Aynı anda eleme yüzeyi tane ile aynı yönde yani aşağı doğru hareket ediyorsa I_2 katsayısı "1" değerini, I_1 katsayısı ise çarpışma esnasında meydana gelen enerji kaybından dolayı, (mesela 0.3 gibi) 1' den küçük bir değer alacaktır. Yatay yöndeki çarpışma durumlarında kullanılan I_3 ve I_4 katsayıları da benzer şekilde değerler almaktadır.



Şekil 3.5 Tek bir tanenin titreşmekte olan elek yüzeyi ile çarpışması.

3.3 ELENEN DEBİNİN DİNAMİK MODELLENMESİ

Bir titreşim eleğinde, elenen debinin dinamik olarak modellenmesi oldukça zordur. Eleme yüzeyi üzerinde ilerleyen bir malzeme tanesi, eğer küresel bir şekle sahip değilse uzunluk, genişlik ve kalınlık olmak üzere üç boyutlu olarak değerlendirilir. Bu tanenin elek gözlerinden geçebilmesi için en az iki boyutunun göz aralığından küçük olması gerekir. Eleme yüzeyi üzerine düşen tanecik, küçük boyutuyla elek gözlerine rast geldiği takdirde elenebilir. Eleme işleminde meydana gelebilecek muhtemel problemler şunlar olabilir.

- 1) Birden fazla tane aynı anda bir deliğe rastgelebilir ve hepsi küçük boyutta olduğu halde hiçbiri elenmeyebilir.
- 2) Büyük boyutlu tanecikler delikleri tıkadığı için küçük boyutlu taneler elenmeyebilir.
- 3) Delik boyutuna yakın boyutta olan elenebilir taneler, delik kenarına çarparak elenmeyebilir.

Bütün bu problemlerden dolayı elenen debinin modellenebilmesi için bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bu kabuller,

- a) Bütün malzeme küresel tanelerden oluşmaktadır.
- b) Malzemenin tamamı elenebilir boyuttadır.
- c) Malzemenin eleme yüzeyi ile her temasında her bir delikten sadece bir tanecik geçmektedir.

Malzemenin küresel tanelerden oluştuğu kabul edildiğine göre her bir tanenin kütlesi,

$$m_t = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho \quad (37)$$

eşitliği ile bulunur. Burada, r tanenin yarıçapı, ρ ise tanenin yoğunluğudur. Malzeme, eleme yüzeyini terkedinceye kadar geçen süreyi T_s , bu süre zarfında eleme yüzeyi ile temas etme sayısını Z_{ps} ile gösterirsek 1 saatteki temas etme sayısı,

$$Z_{pt} = Z_{ps} \cdot 3600 / T_s \quad (38)$$

olacaktır. Eleme yüzeyi üzerindeki delik sayısı n ise elenen debi,

$$Q = Z_{pt} \cdot m_t \cdot n \quad (39)$$

eşitliğiyle bulunur.

BÖLÜM 4

ELEK VERİMİNİ VE KAPASİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Besleme kanalından eleğe dökülen malzeme, titreşimin etkisiyle eleme yüzeyi üzerinde ilerleyerek çıkış ağzından eleği terkeder. Eleği terkeden malzeme içinde, elenebilir boyutta olan tanelerin miktarına bağlı olarak elek verimi hesaplanır. Elenebilir tanelerin elenmeden eleği terketmesi, elek verimini düşürmektedir. Sadece elek veriminin yüksek olması birçok işletme için bir anlam ifade etmiyebilir. Elek altına geçen malzeme miktarının da önemi büyüktür. Buna elek kapasitesi denir. Bu bölümde elek verimini ve kapasitesini etkileyen temel parametreler incelenecektir.

4.1 EĞİM AÇISI

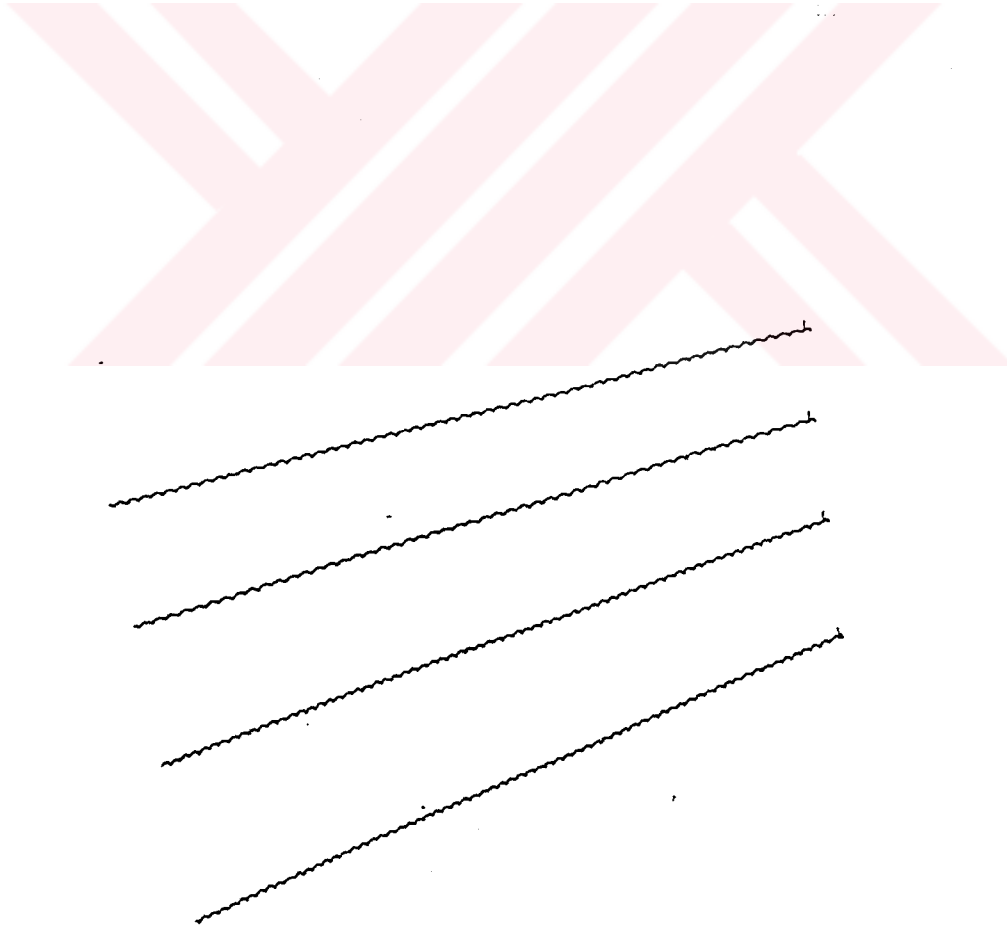
Bir elekte, eleme yüzeyinin yatayla yapmış olduğu açıya eğim açısı denir. Tablo 4.1' de farklı eğim açıları için, tanenin elenme süresi, temas sayısı, zıplama sayısı ve zıplama yüksekliği görülmektedir.

Çizl. 4.1'de görülen temas sayısı, tanenin eleme yüzeyine dokunma sayısıdır. Zıplama sayısı, eleme yüzeyinin taneyi fırlatma sayısı olup, genellikle temas sayısından küçüktür. Bir eleme işleminde temas sayısının zıplama sayısından çok büyük olması, tanelerin elek yüzeyi üzerinde kayarak ilerlediğini gösterir. Zıplama yüksekliği ise ortalama bir değerdir ve tanenin eleme yüzeyinden düşey yöndeki uzaklaşma miktarını göstermektedir.

Çizl. 4.1'de eğim açısının 18° den 20° ye çıkması durumunda, tanenin elenme süresinde ve zıplama sayısında bir miktar düşme görülmektedir. Ancak eğim açısının 23° ve 25° olması durumunda, tanenin elenme süresinde ve zıplama sayısında tekrar bir artma olmuştur. Bunun nedeni şu şekilde izah edilebilir. Titreşim esnasında elek üzerindeki her noktanın yatay ve düşey yönde olmak üzere

Acı (°)	Eln. süresi (sn.)	Tms. sayısı	Zıpl. sayısı	Zıpl. vükseklığı (mm.)
18	7.00	60	59	15.16
20	6.45	55	54	14.78
23	8.54	71	70	15.47
25	8.35	70	70	15.64

Çizelge 4.1. Farklı eğim açıları için elek üzerindeki bir tanenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değışmeler. $x=y=5$ mm., $n=1000$ d/d.



Şekil 4.1 Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.1' deki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri

iki hız bileşeni vardır. Tane eleme yüzeyi ile temas ettiği zaman, temas noktasının o andaki yatay hız bileşeni, düşey hız bileşeninden büyük ise, çarpışmadan sonra tanenin yatay hız bileşeni küçük, düşey hız bileşeni büyük olacaktır. Dolayısıyla, tanenin eleme yüzeyi üzerindeki ilerleme hızı düşecektir. Ters durumda ise tanenin ilerleme hızı artacaktır. Bu nedenle elek eğim açısının artması ile tanenin elenme süresi arasında doğrudan bir ilişki kurmak mümkün değildir. Şekil 4.1' de , Çizl. 4.1' deki eleme parametreleri için, tanenin hareketi esnasında izlediği yörüngeler görülmektedir.

Elenme süresinin artması halinde ise eleme verimi yükselir. Ancak bu kural eğimli elekler için her zaman geçerli değildir. 1963 yılında Stoff tarafından dairesel titreşimli elekler için geliştirilen bir bağıntıya göre eğim açısı ve genlik arttıkça eleme veriminin düştüğü ifade edilmektedir. Bu ifade;

$$K_v = \frac{r \omega^2}{g \cdot \cos(\alpha)} \quad (40)$$

şeklindedir. Burada, r eleğin genliği, ω açısal hızı, α eğim açısı ve g yerçekimi ivmesidir.

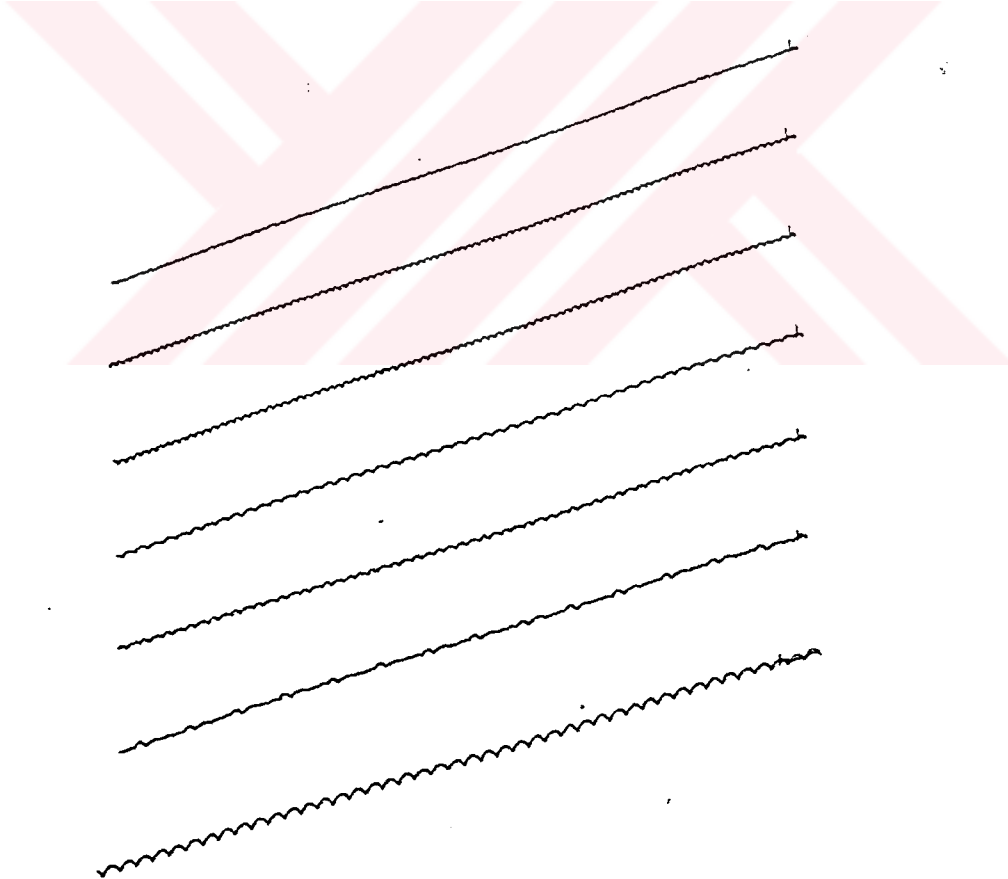
Bölüm 2.1.' de ifade edildiği gibi, ideal bir elemanın olması için, tanenin elek deliğine, delik normali doğrultusunda düşmesi gerekmektedir. Eleğin eğim açısı arttıkça, tanenin elek deliğine düşme açısı büyüdüğü için eleme verimi düşmektedir. Bu nedenle tane boyutunun önemli olduğu işletmelerde yatay veya az eğimli elekler seçilmelidir.

4.2 TİTREŞİM GENLİĞİ

Elek gövdesinin herhangi bir yerine konulan noktanın, titreşim esnasında gözlenen iz yörüngesinin uzunluğuna strok denir. Genlik ise stroğun yarısıdır ve elek verimi ile kapasitesini etkileyen önemli parametrelerdendir. Sabit devir sayısında genliğin artması ile elek üzerindeki her noktanın hızı ve ivmesi artar. Çizl. 4.2' de eleme yüzeyi üzerine bırakılan bir tanenin, farklı genlikler için, hareket karakteristikle-

Gnl. (mm.)	Eln. süresi (sn.)	Tms. sayısı	Zıpl. sayısı	Zıpl. yüksekli. (mm.)
3.5	9.70	163	82	9.47
4.0	11.9	200	100	10.8
4.5	10.7	179	90	12.2
5.0	6.45	55	54	14.8
5.5	7.47	62	61	17.5
6.0	5.36	73	45	16.5
7.0	8.10	88	45	29.3

Çizelge 4.2. Farklı genlikler için elek üzerindeki bir tanenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişmeler. $n=1000$ d/d, $\alpha=20^\circ$.



Şekil 4.2. Yukardan aşağı doğru Çizl. 4.2' deki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri.

rinde meydana gelen değişiklikler görölmektedir.

Genlik 3.5 mm' den 4, 4.5 ve 5 mm'ye çıkartıldığı zaman şekil 4.2' de görüldüğü gibi, tanenin elek üzerinde hareket ederken izlediği yörünge düzenlilik kazanmaktadır. Eleme işleminde bu periyodik düzenin oluşması, yüksek bir eleme verimi ve elek kapasitesinin elde edilebilmesi için gereklidir. Düzenli bir elenme yörüngesi olduğu takdirde, genliğin artmasıyla elenme zamanı kısalır. Tanenin zıplama sayısındaki azalmaya ve zıplama yüksekliğindeki artmaya bağlı olarak elek verimi düşer. Genlik 5.5 ve 6 mm. olduğu zaman tanenin hareketinde tekrar düzensizlikler görölmekte ve elek verimi düşmektedir. Eleğin 7 mm. genlikte çalışması halinde tanenin hızı ve zıplama yüksekliği artmaktadır. Ancak temas sayısının, zıplama sayısından yaklaşık iki kat büyük olması tanenin elenme zamanını uzatmakta ve bu durum elek verimi ile elek kapasitesine iyi yönde tesir etmektedir. İçinde kaba ve ince taneler bulunan bir harmandan, ince tanelerin elenmesi istenmekte ise, genliğin 7 mm. seçilmesi, kalın bir tabakalaşma derinliği oluşturacağı için, ince tanelerin elenmesi kolaylaşacak ve elek kapasitesi yükselecektir. (40) nolu bağıntıda sabit eğim açısı ve devir sayısı için, genliğin artması ile elek veriminin düşeceği görölmektedir. Çizl. 4.2' de de genliğin 4 mm.'den 4.5 mm.' ye çıkartılması ile elenme süresi, temas sayısı ve zıplama sayısındaki azalmadan dolayı elek veriminin düşeceği görölmektedir. Bu nedenle işletme şartları da göz önünde tutularak, düzenli bir hareketin elde edildiği en küçük genlik tercih edilmelidir.

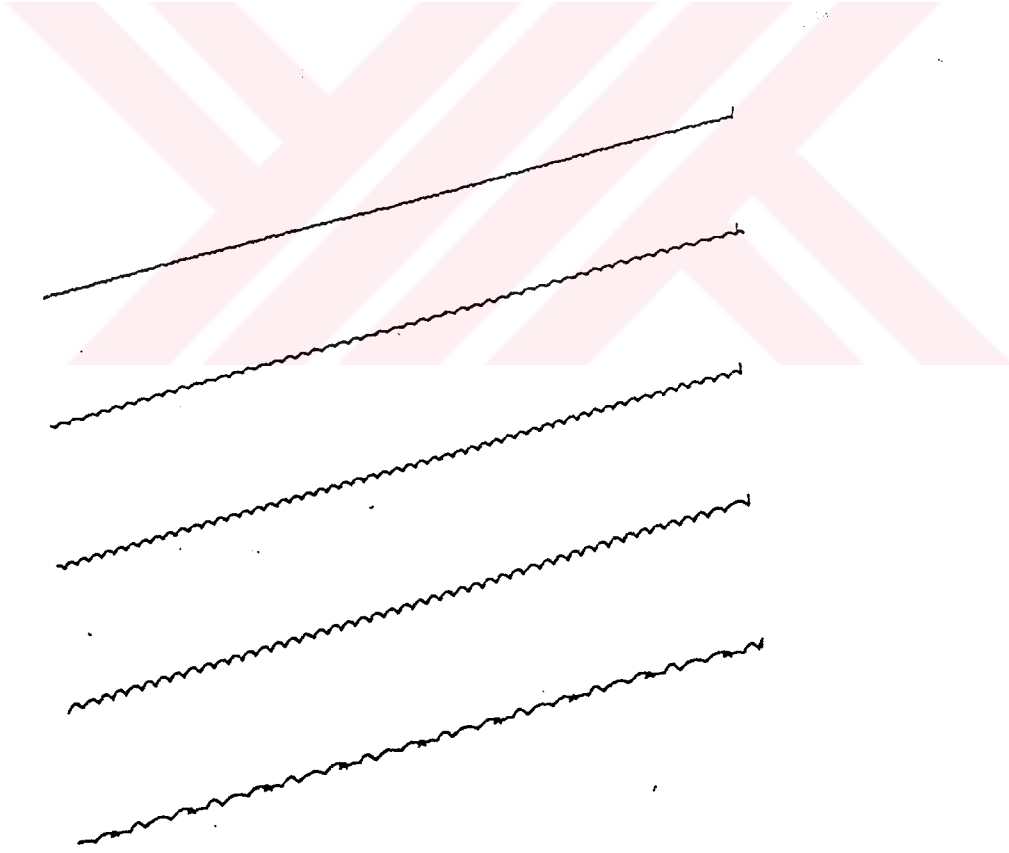
4.3 DEVİR SAYISI

Elek verimini ve kapasitesini etkileyen parametrelerden biri de eksantrik rotorların devir sayısıdır. Bazı eleme işlemleri dışında devir sayısının artması her zaman için elek verimini ve kapasitesini düşürür. Genlik sabit olmak üzere devir sayısının artırılması halinde elde edilen değerler Çizl. 4.3' te görölmektedir.

Devir sayısının 750 d/d olması durumunda, temas sayısının zıplama sayısından iki kat büyük olması ve elenme zamanının diğer devirlerdeki elenme zamanlarından uzun olması, verimli bir eleme işleminin elde edildiğini göstermektedir. Ancak aynı durum devir sayısının 1200, 1400 ve 1500 d/d olması halinde de meydana gelmek-

D. sayısı (d/d)	Eln. süresi (sn.)	Tms. sayısı	Zıpl. sayısı	Zıpl. yüksekli. (mm.)
750	9.0	113	57	9.10
1000	6.5	55	54	14.8
1200	8.2	110	55	23.9
1400	8.1	92	47	30.5
1500	8.5	73	55	30.0

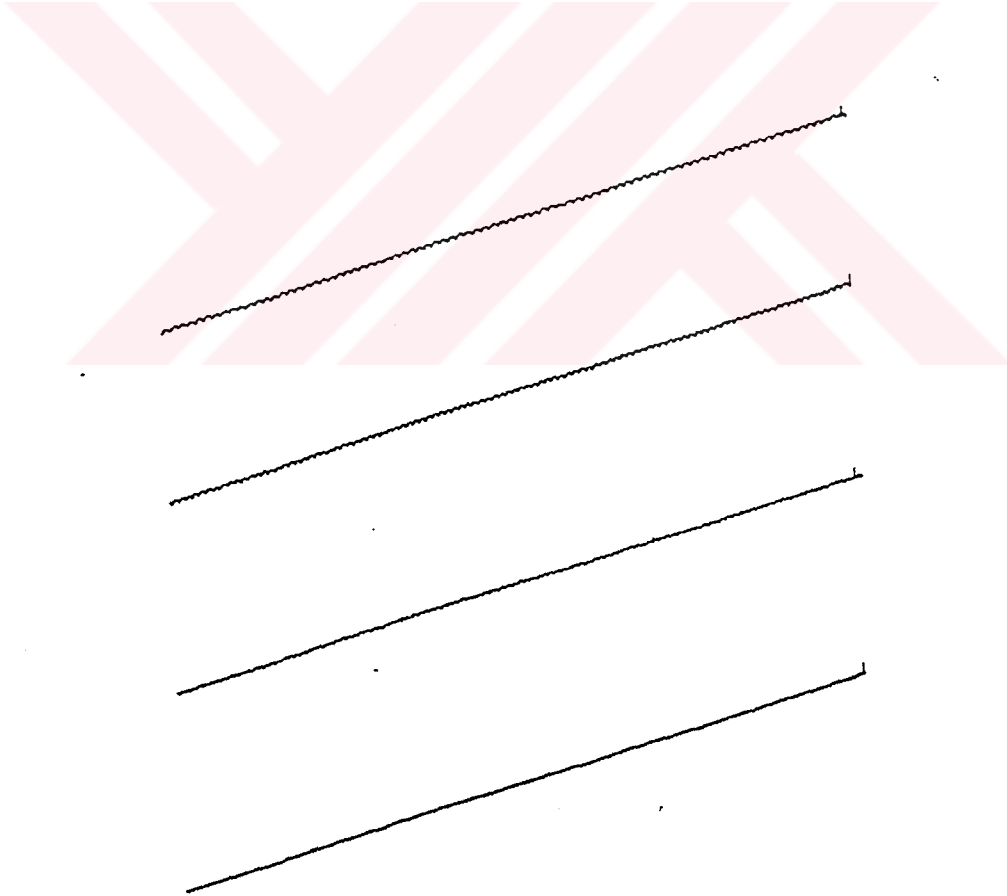
Çizelge 4.3. Farklı devir sayıları için elek üzerindeki bir tanenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişmeler. $x=y=5\text{mm}$ $\alpha=20^\circ$



Şekil 4.3. Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.3' deki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri.

Gnl. (mm.)	Eln. süresi (sn.)	Tms. sayısı	Zıpl. sayısı	Zıpl. yüksekli.(mm.)
3.5	10.2	86	85	18.3
3.0	12.3	204	103	14.3
2.5	9.40	119	117	9.5
2.0	15.1	378	190	7.3

Çizelge 4.4 Farklı genlikler için elek üzerindeki bir tanenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişmeler. $n= 1500$ d/d, $\alpha= 20^\circ$.



Şekil 4.4. Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.4' deki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri.

tedir. Bu olayın izahı şu şekilde yapılabilir. Bölüm 2.1' de incelendiği üzere, ideal bir elemanın elde edilebilmesi için öne sürülen şartlardan bir tanesi, eleme yüzeyi ile tanelerin hızlarının sıfıra yakın olması idi. Sabit genlikte çalışma devrinin artırılması ile elek üzerindeki her noktanın hızı ve ivmesi artmaktadır. Bu yüksek hız ve ivme nedeni ile taneler deliklerden geçecek fırsat bulamamakta ve elenmeden eleği terketmektedirler. Dolayısıyla tablo 4.3' te 1200, 1400 ve 1500 devir sayıları için temas sayısının zıplama sayısından yaklaşık iki kat büyük olması iyi bir elemanın elde edildiğini göstermez. Çizl. 4.3' teki hareket karakteristiklerine ait bilgisayar çıktıları şekil 4.3' te görülmektedir.

Devir sayısının yüksek olması elek verimini ve kapasitesini düşürdüğü halde, bazı eleme işlemlerinin yapılabilmesi için, yüksek devirli eleklerle de ihtiyaç vardır. Elek göz aralığının çok küçük olması halinde, yani süper ince eleme şartlarında, tanelerin elek deliklerinden geçebilme olasılığı oldukça düşmektedir. Boyutları 1 mm.' den daha küçük olan tanelerin elenebilmesi, eleme yüzeyi üzerinde zıplıyarak değil, kayarak ilerlemeleri halinde mümkün olabilmektedir. Elek göz aralığına yakın boyuttaki tanelerin elenebilmesi için eleme yüzeyinin eğim açısı küçük olmalıdır. Tanelerin eleme yüzeyi üzerinde sıçramaması için yüzeyin hızı küçük olmalı fakat tanelerin yüzey üzerinde kayması ve delikleri tıkamaması için devir sayısının yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı süper ince elemelerde tanelerin eleme yüzeyi üzerinde zıplamadan en çabuk şekilde ilerlemelerini sağlayacak elek parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çizl. 4.4' te devir sayısının 1500 d/d olması durumunda, farklı genlikler için elde edilen değerler görülmektedir.

4.4 YÖRÜNGENİN FORMU

Buraya kadar olan kısımda, yörünge formu çember şeklinde olan titreşim durumları için, eğim açısının genliğin ve devir sayısının, eleme işlemine olan etkileri incelenmiştir. Bu kısımda ise, yörünge formunun eleme işlemine olan etkileri incelenecektir. Dairesel titreşimli bir elekte, yatay ve düşey genlikler birbirine eşit değil ise, elek üzerindeki bir noktanın izlediği yörünge elips şeklinde olacaktır. Yörünge formunun değişmesi ile eleme yüzeyinin yatay ve düşey hız bileşenleri de değişir. Dolayısıyla değişik yörünge formlarına sahip eleklerde elenmekte olan ta-

nelerin, hareket karakteristikleri birbirinden farklı olacaktır (Çizl. 4.5).

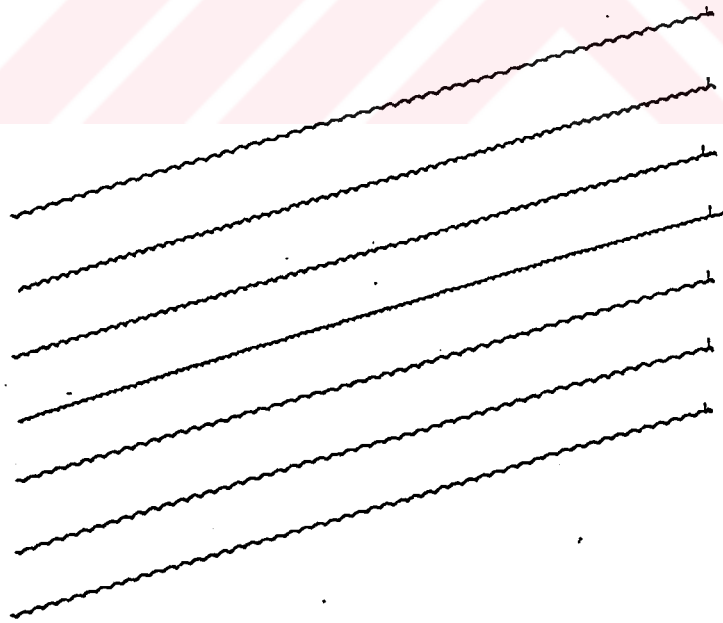
Çizl. 4.5' te görülen X, Y yatay ve düşey yönlerdeki genlikler olup birimi mm.' dir Çizl. ' de 3 farklı yörünge formu bulunmaktadır. En üstte bulunan yörünge formu çember şeklinde olup karşılaştırma yapmak amacıyla verilmiştir. 2., 3. ve 4. sıradaki yörüngeler elips şeklindedir. Titreşimin X genliği daha büyük olduğu için elipslerin uzun asal eksenleri yatay yöndedir. Çizl. ' de görüldüğü gibi, X genliği sabit olduğu halde Y genliği küçültülür ise elenme süresi uzamaktadır. Bununla birlikte eleğin yatay hızı arttığı için tanelerin elenmesi de zorlaşacaktır. Dolayısıyla elek verimi ve kapasitesinde düşme olacaktır. Çizl. ' de görülen diğer yörüngelerin Y genliği büyük olduğu için elipslerin uzun asal eksenleri düşey yöndedir. Bunların elenme süreleri ile diğer karakteristiklerinde belirgin bir farklılık gözlenmemesine rağmen , yatay genliğin azalmasıyla tanelerin elenmesi kolaylaşacağından elek veriminde yükselme olacaktır. Bu nedenle yörünge formunun düşey elips şeklinde seçilmesi daha uygundur. Çizl. 4.5' e ait elenme yörüngeleri şekil 4.5' te görülmektedir.

Eleğin yatay ve düşey yönlerde yaptığı harekete ek olarak, ağırlık merkezi etrafında dönme hareketi yapması halinde, değişik yörünge formları oluşacaktır. Buraya kadar olan kısımda, eleğin her noktasının aynı genlik ve formda titreşim yapması halinde ortaya çıkan elenme durumları incelenmiştir. Eksantrik rotorların elek ağırlık merkezinden kaçık yerleştirilmesi veya eleği şaseye bağlayan yayların birbirlerinden farklı özelliklerde olması halinde, eleğin ağırlık merkezi etrafında bir miktar dönme olacaktır. Bu durumda ağırlık merkezi ile merkez dışındaki noktalarda farklı yörüngeler oluşacaktır Çizl. 4.6' da ağırlık merkezi etrafında dönme olması durumunda elde edilen hareket karakteristikleri görülmektedir.

Çizl. 4.6' da görüldüğü gibi dönme açısının 0.131° ve 0.112° olması durumunda eleme işlemi meydana gelmemektedir. Diğer değerlere dikkat edilir ise dönme açısının azalması ile elenme süresinde düşme olmaktadır. Dönmenin 0.075° olması durumunda şekil 4.6' da da görüldüğü gibi tane elek üzerine bırakıldığı noktadan geriye doğru kaçabilmektedir. Bu nedenle dönme açısını Çizl. 4.6' daki titreşim şartları için 0.075° değerinden daha küçük seçmek gerekir. Diğer taraftan ağırlık merkezi etrafında dönme olması durumunda tanenin elek girişinde daha yükseğe

X	Y	Eln. süresi (sn.)	Tms. sayısı	Zıpl. sayısı	Zıpl. yüksekli.(mm.)
5.0	5.0	6.45	55	54	14.8
5.0	4.5	8.70	145	73	12.2
5.0	4.0	8.67	145	73	11.0
5.0	3.5	12.5	313	105	11.0
4.5	5.0	6.35	54	53	14.8
4.0	5.0	6.21	53	52	14.6
3.5	5.0	6.45	55	54	18.6

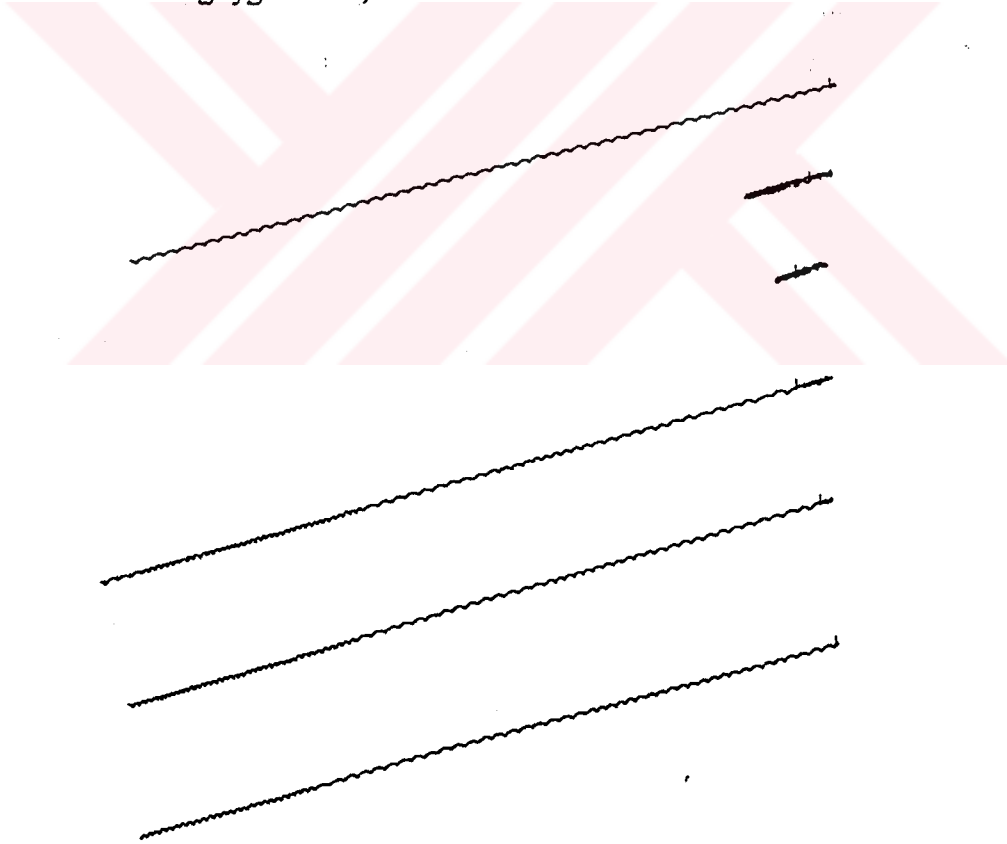
Çizelge 4.5 Değişik yörünge formları için elenen bir tanenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişmeler. $n= 1000$ d/d, $\alpha= 20^\circ$.



Şekil 4.5. Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.5' teki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri.

Dn. açısı (°)	Eln. süresi (sn.)	Tms. sayısı	Zıpl. sayısı	Zıpl. yüksekli.(mm.)
0.000	6.45	55	54	14.8
0.131	---	---	---	---
0.112	---	---	---	---
0.075	10.9	153	91	15.0
0.056	9.80	138	82	15.1
0.037	8.54	100	72	15.2

Çizelge 4.6 Eleğin ağırlık merkezi etrafında dönme olması durumunda elenen malzemenin hareket karakteristiklerinde meydana gelen değişimler. $x_g=y_g=5\text{mm.}$, $\alpha=20^\circ$.



Şekil 4.6 Yukarıdan aşağı doğru Çizl. 4.6' daki sıraya göre bir tanenin eleme yüzeyi üzerindeki yörüngeleri.

sıçradığı, elek çıkışında ise zıplama yüksekliğinde ve ilerleme adımlarında düşme olduğu görülmektedir. Bu olayın bazı elenme durumlarında elek kapasitesine ve verimine büyük etkisi vardır. İçinde elek gözlerinden çok küçük boyutta, elek gözleri boyutunda ve elek gözlerinden büyük boyutta tanelerin bulunduğu bir harmanın elenmesi durumunda, eleğin bu yörünge formlarında titreşim yapması elek verimini ve kapasitesini büyük oranda artırır. Elek girişinde iri taneler yükseğe sıçradıkları için elek delikleri bloke olmaz ve altta kalan ince tanelerin hepsi elenir. Eleme yüzeyinin diğer yarısına geçebilen taneler arasında ince tane kalmadığı için malzeme miktarı azalır ve zıplama yüksekliğinin azalmasıyla elek gözlerine yakın boyuttaki taneler elenirler. Bu nedenle özel eleme şartları dışında, dairesel titreşim yapan eğimli eleklerde yörüngelerin bu formlarda olmasını temin etmelidir.



BÖLÜM 5

DEĞERLENDİRME VE GELECEK ÇALIŞMA

Bu çalışmada, eksantrik rotorlarla tahrik edilen dairesel titreşimli eleklerin dinamik modellenmesi yapılmış ve geliştirilen tanecik elem modeli vasıtasıyla en verimli elemanın elde edilebileceği elek parametrelerinden dört tanesi üzerinde inceleme yapılmıştır.

5.1 DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada incelenen elek parametrelerinden birincisi olan eğim açısı 18° - 25° arasında değiştirilmiş ve neticede eğim açısının artırılması ile her zaman için elenme süresinin azalmıyacağı, tersine artabileceği görülmüştür. Ancak eleme süresi artsa dahi elek veriminde artma olmayacağı sebepleriyle beraber belirtilmiştir.

İkinci parametre olarak titreşim genliği ele alınmış, 1000 (d/d) devir sayısı ve 20° eğim açısı için genlik 3,5 mm.' den 7 mm.' ye kadar değiştirilerek, elek üzerine bırakılan bir tanenin hareketinde meydana gelen değişiklikler belirlenmiştir. Elde edilen değerlere göre genliğin artmasıyla eleğin hızı ve ivmesi artmasına karşın, elek üzerindeki tanenin elenme süresi ve zıplama sayısı arasında doğrudan bir ilişki kurulamamış, ancak zıplama yüksekliğinde devamlı bir artmanın olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen simülasyon programı vasıtası ile elde edilen şekillerde, tanenin bazı genlik değerleri için elek üzerindeki hareketinde düzensizlikler olduğu görülmüş ve bu düzensizliğin elenme süresi ile zıplama sayısı üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu anlaşılmıştır.

Üçüncü parametre olan devir sayısı 750 (d/d) ile 1500 (d/d) arasında değiştirilmiş ve eleme yüzeyi üzerine bırakılan bir tanenin zıplama yüksekliğinde, artan devir sayısı ile doğru orantılı olarak artma olduğu gözlenmiştir. Dairesel titreşimli

eleklerde yüksek devir sayısının elek verimi ve kapasitesine olumsuz etki yaptığını ancak süper ince eleme şartlarında kullanıldığı belirtilmiştir.

Son kısımda ise dördüncü parametre olan titreşimin yörünge formu incelenmiştir. Yatay ve düşey genliklerin birbirine eşit olmaması halinde meydana gelen elips yörüngelerin eleme işlemine olan etkileri araştırılmış ve neticede uzun asal ekseni düşey yönde olan elips yörüngelerin, elek verimini ve kapasitesini arttırdığı anlaşılmıştır. Eleğin ağırlık merkezi etrafında dönme olması halinde, oluşan yörüngelerin, eleğin farklı noktaları için birbirlerine benzemediği belirtilmiş ve dönme açısının belirli bir değerden büyük olmaması gerektiğine, aksi halde eleme işleminin yapılamıyacağına işaret edilmiştir.

5.2 GELECEK ÇALIŞMA

Bu çalışmada incelenen elek parametrelerinin eleme işlemine olan etkilerinin belirlenmesi, bilgisayar çalışması düzeyinde olmuş ve deneylerle teyit edilmemiştir. Elelenen bir tanenin dinamik modeli çıkarılırken, eleme yüzeyi ile tane arasındaki sürtünme katsayısı ve tanenin geometrik şekli dikkate alınmamış, eleme yüzeyi düz bir yüzey, tanecik ise maddesel nokta olarak kabul edilmiştir. Gelecek çalışmada, incelenen parametrelerin deneysel olarak doğrulanması ve daha doğru bir eleme modeli kurulması amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akçalı, İ.D. ve Mutlu, H.** (1992) Salınımlı Elek İnceleme ve Tasarımı. 5. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, O.D.T.Ü., Ankara.
- Batterham, R.J., Weller, K.R., Nortgate, T.E. and Birkett, C.J.** (1980) Screen Performance and Modelling with Special Reference to Iron Ore Crushing Plants. Europ. Symp: Particle Technol., Amsterdam.
- Beeckmans, J.M. and Hill, J.** (1983) Probability Screening. Powder Technol., 35: 263-269.
- Beeckmans, J.M. and Jutan, A.** (1989) Monte Carlo Simulation of a Probability Screen. Can. J. Chem. Eng., 67: 329-336.
- Beeckmans, J.M., Hu, E., Germain, R. and McIntyre, A.** (1965) Performance Characteristics of a Probability Screening Machine. Powder Technol., 43: 249-256.
- Brereton, T. and Dymott, K.R.** (1973) Some Factors Which Influence Screen Performance. Proc. 10th IMPC, London.
- Burson, J.H., Iinoya, K. and Orr, C.Jr.** (1963) Particle Size Classifier for the Subsieve Range. Review of Scientific Instruments. Vol. 34, pp. 1023-1025.
- Chen, Q., Zhao, Y. and Chen, R.** (1988) Probability Theory for Screening Granular Materials. In: Proc. Trilateral Symp. on Particuology. Science Press, Beijing, 378-384.
- Colman, K.G.** (1978) Selection Guidelines for Size and Type of Vibrating Screens in Ore Crushing Plants. In: A.L. Mular and R.B. Bhappu (Editors). Mineral Processing Plant Design. AIMF., New York, N.Y. pp. 341-361.
- De pretis, A., Ferrara, G., Guarascio, M. and Preti, U.** (1977) A New Approach to Screening Design. Proch. 12th IMPC, Sao Paulo, Brasil.
- Elder, J.** (1968) How to Position Drive Assembly to Obtain Maximum Efficiency from Vibrating Equipment. Pit and Quarry. pp. 142-147.
- Ferrara, G. and Preti, U.** (1975) A Contribution to Screening Kinetics. Proc.11th IMPC, Cagliari, Italy.
- Gluck, S.E.** (1965) Gratory, Circular-Motion and Special-Action Screens. Chem. Eng. pp. 131-146.

KAYNAKLAR (devam ediyör)

- Herbst, J.A. and Oblad, A.E.** (1984) A Population Balance Model for Screening. Proc. 9th Powder in Bulk Solids Conf., Chicago.
- Hess, F.** (1983) Mathematical Modelling of Screen and Related Units for Communication Circuits. SME - AIME Meeting, New Orleans, La.
- Jansen, M.L. and Glastonbury, J.R.** (1967/68) The Size Separation of Particles by Screening. Powder Technol., 1: 334-343.
- Kelly, E.g. and Spottiswood, D.J.** (1982) Introduction to Mineral Processing. John Wiley and Sons, New York, N.Y., pp. 185-189.
- King, E.H.** (1977) How to Determine Plant Screening Requirements. Chem. Eng. Progr., 73 (5): 74-79.
- Matthews, C.W.** (1971) Buyers Guide to Screens. Engineering and Mining Journal, pp. 53-65.
- Mirva, S.** (1960) Proposal of a New Index for Expressing the Performance of Screens. Chem. Eng. (Japan), Vol. 24, pp. 150-155.
- Mizutani, S.** (1983) Theoretical and Experimental Consideration on the Accuracy of Sieving Analysis. Journal of Earth Sciences. Nagoya University, Vol. 11, pp. 1-27.
- Rongguang, C., Beeckmans, J.M. and Qingru, C.** (1992) A Convenient Correlation for Modelling the Performance of Probability Screens. Int. J. Miner. Process., 36: 31-40.
- Schena, G.D.** (1982) The Processing of Industrial Screening Data. A Modelling Approach. Internal Report, Ist. Miniere e Geofisica Appl., Universita' di Trieste.
- Stoff, F.** (1963) Betrachtungen über den Einfluss der Schwingungsdaten auf den Siebvorgang. Aufbereitungs-Techn., 11: 426-466.
- Taggart, A.F.** (1947) Handbook of Mineral Dressing. John Wiley and Sons. New York.
- Weiss, N.L.** (1985) SME Mineral Processing Handbook. Published by Society of Mining Engineers, Volume 1, New York.
- Whiten, W.J.** (1972) The Simulation of Crushing Plants with Models Developed Using Multiple Spline Regression. 10th Int. Symp. Application of Computer Methods in the Mineral Industry, (J.S. Afr. Inst. Min. Metall., Johannesburg), pp. 257-264.



EKLER

(PROGRAM LİSTESİ)

```

CLS
READ A1, B1, ME, M1, N1, R1, J, PI#, YST
DATA 1,1,.550,30,1000,.0724,.445,3.1415926,.01
CX = 0: CY = .1: Z = PI# / 180
W = N1 * PI# / 30
FM = M1 * R1 * W ^ 2 / 1000
LOCATE 8, 10:
PRINT "Istenen genliği veren yay katsayılarını bulmak"
LOCATE 9, 10:
PRINT "istiyorsanız [1] tusuna basınız."
LOCATE 12, 10:
PRINT "Yay değerleri biliniyor yorunge isteniyor ise [2]"
LOCATE 13, 10:
PRINT "tusuna basınız."
LOCATE 15, 10: INPUT "Seciminizi giriniz : ", AŞ
IF AŞ = "1" THEN 500
IF AŞ = "2" THEN 1000 ELSE 490

```

```

CLS
LOCATE 2, 12: INPUT "Elek acisini giriniz (18-25):", EAC
IF EAC < 18 OR EAC > 25 THEN 505
LOCATE 3, 12: INPUT "Düsey genligi giriniz (mm.):", Y
IF Y <= 0 THEN 510
LOCATE 4, 12: INPUT "Yatay genligi giriniz (mm.):", X
IF X <= 0 THEN 520
X = X / 1000: Y = Y / 1000
GOTO 527
YST = YST - .001
K1Y = ME * 9.81 * B1 / ((A1 + B1) * YST)
K2Y = ME * 9.81 * A1 / ((A1 + B1) * YST)
IF K1Y > K2Y THEN KY = K1Y ELSE KY = K2Y
P1 = A1 - B1: P2 = A1 ^ 2 + B1 ^ 2: Z2 = KY * P1: Z4 = KY * P2
KT1# = FM * (W * P2 - W * CX * P1): SB1# = FM * CY * Z2
KT2# = FM * W * CY * P1: SB2# = FM * (Z4 - J * W ^ 2 - CX * Z2)
KT3# = -2 * W ^ 2 * P2 + W ^ 2 * P1 ^ 2
DD = 2 * KY * J * W ^ 2
SB3# = ME * J * W ^ 4 - ME * Z4 * W ^ 2 - DD + 2 * KY * Z4 - Z2 ^ 2
EE = 2 * KY * W * P2: FF = 2 * P1 * Z2 * W
KT4# = 2 * Z4 * W + EE - FF - ME * W ^ 3 * P2 - 2 * J * W ^ 3
A1# = Y ^ 2 * KT3# ^ 2
B1# = 2 * Y ^ 2 * KT3# * SB3# + Y ^ 2 * KT4# ^ 2 - KT1# ^ 2 - KT2# ^ 2
C1# = 2 * KT1# * SB1# - 2 * KT2# * SB2#
D1# = Y ^ 2 * SB3# ^ 2 - SB1# ^ 2 - SB2# ^ 2
B1# = B1# / A1#: C1# = C1# / A1#: D1# = D1# / A1#: A1# = 1
DEF FNF (RY) = RY ^ 4 + B1# * RY ^ 2 - C1# * RY + D1#
DEF FNG (RY) = 4 * RY ^ 3 + 2 * B1# * RY - C1#
RY0# = 50
RY1# = RY0# - FNF(RY0#) / FNG(RY0#)
FX = FNF(RY1#): IF ABS(FX) < 10 THEN 544
IF RY1# < 0 THEN 525
RY0# = RY1#: GOTO 530
RY = RY1#
K# = RY * KT1# + SB1#: L# = -RY * KT2# + SB2#
P# = RY ^ 2 * KT3# + SB3#: R# = RY * KT4#
EPS = ATN((L# * R# - K# * P#) / (K# * R# + L# * P#))

```

```

YST1 = ME * 9.81 * B1 / (KY * (A1 + B1))
YST2 = ME * 9.81 * A1 / (KY * (A1 + B1))
IF YST1 > YST2 THEN YST = YST1 ELSE YST = YST2
YST = YST * 1000: KY = KY / 2: RY = RY / 2: EPS = EPS / Z + 180
LOCATE 6, 12:
PRINT "Tek bir yayın dusey yay katsayısı (kg/cm)="; KY * 1000 / 981
LOCATE 7, 12:
PRINT "Tek bir yayın dusey sonum katsayısı (kg/sn)="; RY * 1000
LOCATE 8, 12: PRINT "Dusey titresimin faz acısı (deg)="; EPS
LOCATE 9, 12: PRINT "Dusey yondeki statik çokme (mm)=";
IF YST >= 10 THEN PRINT USING "###.##"; YST ELSE PRINT USING "###.##"; YST
EPS = (EPS - 180) * Z

```

```

LOCATE 11, 10:
INPUT "Yatay faz farkı dusey faz farkıyla aynı olsun mu? (E/H): ", B$
IF B$ = "E" OR B$ = "e" THEN PSI = EPS: GOTO 575
IF B$ = "H" OR B$ = "h" THEN GOTO 570 ELSE 560
LOCATE 11, 10
INPUT "Yatay faz farkını 100 - 170 derece arasında giriniz : ", PSI
IF PSI < 100 OR PSI > 170 THEN 570
PSI = (PSI - 180) * Z

```

```

KX = 2 * KY
IF (2 * KX - ME * W ^ 2) >= 0 THEN LOCATE 13, 10:
PRINT "Yay katsayısı çok büyük. Kucultun.": END
IF KX > 0 THEN 587
LOCATE 13, 3:
PRINT "
LOCATE 13, 3:
INPUT "Yatay faz acısını kucultmeniz gerekiyor. (E/H):", Q$
IF Q$ = "E" OR Q$ = "e" THEN GOTO 583
IF Q$ = "H" OR Q$ = "h" THEN END ELSE 582
LOCATE 13, 3:
PRINT "
LOCATE 13, 5:
INPUT "Yatay faz acısını derece olarak giriniz :", PS1
IF PS1 >= (PSI / Z + 180) OR PS1 <= 90 THEN 584
PSI = (PS1 - 180) * Z: I1 = 0: I2 = 0: GOTO 575
RX = TAN(PSI) * (2 * KX - ME * W ^ 2) / (2 * W)
XG = FM / SQRT((2 * KX - ME * W ^ 2) ^ 2 + (2 * RX * W) ^ 2)
IF I2 = 1 THEN 590
IF XG < X THEN I1 = 1: KX = KX + 1: GOTO 580
IF I1 = 1 THEN 600
IF XG > X THEN I2 = 1: KX = KX - 1: GOTO 580
RX = RX * 1000 / 2: XG = XG * 1000: KX = KX / 2

```

```

LOCATE 15, 12:
PRINT "Tek bir yayın yatay yay katsayısı (kg/cm)="; KX * 1000 / 981
LOCATE 16, 12: PRINT "Tek bir yayın yatay sonum katsayısı (kg/sn)=";
IF RX >= 10000 THEN PRINT USING "#####.##"; RX
IF RX < 10000 THEN PRINT USING "#####.##"; RX
LOCATE 17, 12: PRINT "Yatay titresimin genliği (mm.)=";
IF XG >= 10 THEN PRINT USING "###.##"; XG ELSE PRINT USING "###.##"; XG
LOCATE 18, 12: PRINT "Yatay titresimin faz acısı (deg)=";
PRINT USING "#####.##"; PSI / Z + 180

```

```

LOCATE 21, 8: INPUT "Animasyona gecmek istiyor musunuz ? (E/H):", D$
IF D$ = "E" OR D$ = "e" THEN GOTO 5
IF D$ = "H" OR D$ = "h" THEN END ELSE 105

```

```

RX = RX / 1000
RY = 2 * RY: RXT = 4 * RX: KY = 2 * KY: KXT = 4 * KX
RYT = 2 * RY: KYT = 2 * KY
Z1 = RY * (A1 - B1): Z2 = KY * (A1 - B1)
Z3 = RY * (A1 ^ 2 + B1 ^ 2): Z4 = KY * (A1 ^ 2 + B1 ^ 2)

```

```

CLS
RO1 = 1480: RO2 = 1530: A = EAC - 20
ALFA = (25 + A) * Z: BETA = (196 + A) * Z
DV = 60 / N1: STP = DV / 90
A = ME * J: B = ME * Z3 + RYT * J
C = ME * Z4 + RYT * Z3 + KYT * J - Z1 ^ 2
D = KYT * Z3 + RYT * Z4 - 2 * Z1 * Z2
E = KYT * Z4 - Z2 ^ 2
I = FM * (-Z2 + KYT * CX - CX * ME * W ^ 2 + RYT * CY * W)
H = FM * (-Z1 * W + RYT * CX * W + CY * ME * W ^ 2 - KYT * CY)
P = A * W ^ 4 - C * W ^ 2 + E: R = D * W - B * W ^ 3

```

```

S = (I * P + H * R) / (P ^ 2 + R ^ 2)
T = (I * R - H * P) / (P ^ 2 + R ^ 2)
FI = SQR(S ^ 2 + T ^ 2): IF FI = 0 THEN 150: GAMA = ATN(T / S) / Z
IF GAMA < 0 THEN GAMA = 180 + GAMA
L = FM * (-Z2 * CX + Z4 - J * W ^ 2 - Z1 * CY * W)
K = FM * (Z3 * W - Z1 * CX * W - Z2 * CY)
M = 1000 * (K * R + L * P) / (P ^ 2 + R ^ 2)
N = 1000 * (L * R - K * P) / (P ^ 2 + R ^ 2)
Y = SQR(M ^ 2 + N ^ 2): EPS = ATN(N / M) / Z
IF EPS < 0 THEN EPS = 180 + EPS
X1 = KXT - ME * W ^ 2: X2 = RXT * W
T1 = X2 * FM / (X1 ^ 2 + X2 ^ 2) * 1000
S1 = X1 * FM / (X1 ^ 2 + X2 ^ 2) * 1000
X = SQR(T1 ^ 2 + S1 ^ 2): PSI = ATN(T1 / S1) / Z
IF PSI < 0 THEN PSI = 180 + PSI

```

```

DIM XGU(181), XGUU(181), YGU(181), YGUU(181)
DIM XG(181), YG(181), X1G(91), Y1G(91), X2G(91), Y2G(91)
DIM F1(181), FU(181), FUU(181), X1(181), Y1(181), X2(181), Y2(181)

```

```

SCREEN 12: WINDOW SCREEN (0, 0)-(644, 480)
LINE (200, 130)-(440, 130): LINE (300, 60)-(300, 200)
LINE (50, 280)-(250, 280): LINE (150, 210)-(150, 350)
LINE (350, 280)-(550, 280): LINE (450, 210)-(450, 350)
X1 = RO1 * COS(ALFA): Y1 = RO1 * SIN(ALFA)
X2 = RO2 * COS(BETA): Y2 = RO2 * SIN(BETA): I = 0

```

```

FOR TS = 0 TO DV STEP STP: WT = W * TS: I = I + 1
XG(I) = S1 * COS(WT) + T1 * SIN(WT)
XGU(I) = -S1 * W * SIN(WT) + T1 * W * COS(WT)
YG(I) = M * SIN(WT) - N * COS(WT)

```

```

YGU(I) = M * W * COS(WT) + N * W * SIN(WT)
F1(I) = S * SIN(WT) - T * COS(WT)
FU(I) = S * W * COS(WT) + T * W * SIN(WT)
FUU(I) = -S * W ^ 2 * SIN(WT) + T * W ^ 2 * COS(WT)
XGUU(I) = -S1 * W ^ 2 * COS(WT) - T1 * W ^ 2 * SIN(WT)
YGUU(I) = -M * W ^ 2 * SIN(WT) + N * W ^ 2 * COS(WT)
X1(I) = XG(I) + RO1 * COS(ALFA + F1(I))
Y1(I) = YG(I) + RO1 * SIN(ALFA + F1(I))
X1G(I) = X1(I) - X1: Y1G(I) = Y1(I) - Y1
X2(I) = XG(I) + RO2 * COS(BETA + F1(I))
Y2(I) = YG(I) + RO2 * SIN(BETA + F1(I))
X2G(I) = X2(I) - X2: Y2G(I) = Y2(I) - Y2
PSET (300 + XG(I) * 3, 130 - YG(I) * 3)
PSET (150 + X2G(I) * 3, 280 - Y2G(I) * 3)
PSET (450 + X1G(I) * 3, 280 - Y1G(I) * 3)
IF I = 90 THEN 100
NEXT TS

```

```

PRINT "Y(mm)="; Y: PRINT "EPS(deg)="; EPS
PRINT "X(mm)="; X: PRINT "PSI(deg)="; PSI
PRINT "FI(deg)="; FI / Z: PRINT "GAMA(deg)="; GAMA
LOCATE 3, 32: PRINT "Agirlik merkezi"
LOCATE 12, 51: PRINT "RO1 ="; : PRINT RO1; : PRINT "Ust"
LOCATE 12, 13: PRINT "RO2 ="; : PRINT RO2; : PRINT "Alt"
LOCATE 28, 3: PRINT "Devam icin bir tusa basiniz !"
A$ = INPUT$(1)

```

```

WINDOW SCREEN (0, 0)-(3000, 3000): KS = 1: I = 1
CLS : TS = STP: EA = EAC * Z + F1(I): YU = 0: XU = 0
X3 = X1(I) - 300 * COS(EA): Y3 = Y1(I) - 300 * SIN(EA) + 50
PSET (1500 + X3, 1500 - Y3): GOTO 40
RO = SQR(X3 ^ 2 + Y3 ^ 2): DH = RO * FU(I): EA = EAC * Z + F1(I)
A = (PI# / 2) - 2 * EA: B = 2 * EA
IF X3 = 0 OR Y3 = 0 THEN 32
ACI = ABS(ATN(Y3 / X3))

```

```

IF X3 > 0 AND Y3 > 0 THEN 22 ELSE 24
XU = XGU(I) - DH * SIN(ACI): YU = YGU(I) + DH * COS(ACI): GOTO 38
IF X > 0 AND Y < 0 THEN 26 ELSE 28
XU = XGU(I) + DH * SIN(ACI): YU = YGU(I) + DH * COS(ACI): GOTO 38
IF X3 < 0 AND Y3 > 0 THEN 30 ELSE 32
XU = XGU(I) - DH * SIN(ACI): YU = YGU(I) - DH * COS(ACI): GOTO 38
IF X3 < 0 AND Y3 < 0 THEN 34 ELSE 36
XU = XGU(I) + DH * SIN(ACI): YU = YGU(I) - DH * COS(ACI): GOTO 38
IF X3 = 0 THEN XU = XGU(I) - DH: YU = YGU(I): GOTO 38
IF Y3 = 0 THEN XU = XGU(I): YU = YGU(I) - DH

```

```

IF YU <= 0 THEN KT1 = .1: KT2 = 1 ELSE KT1 = 1: KT2 = .1
IF XU <= 0 AND VTX >= 0 THEN KT3 = 1: KT4 = .1: GOTO 39
IF XU < 0 AND VTX < 0 AND XU <= VTX THEN KT3 = 1: KT4 = 1: GOTO 39
IF XU < 0 AND VTX < 0 AND XU > VTX THEN KT3 = .1: KT4 = 1: GOTO 39
IF XU > 0 AND VTX >= 0 THEN KT3 = .1: KT4 = 1: GOTO 39
IF XU > 0 AND VTX < 0 THEN KT3 = 1: KT4 = .1

```

```

VTY = KT1 * (YU - KT2 * Y0) * SIN(A) + KT3 * (KT4 * VTX - XU) * SIN(B)

```

```
VTX = KT1 * (KT2 * Y0 - YU) * COS(A) + KT3 * (KT4 * VTX - XU) * COS(B)
ART = 0: ZP = 0
```

```
FOR TS = TS TO 30 STEP STP: ART = ART + STP
I = I + 1: IF I = 91 THEN I = 1
Y = Y3 + VTY * ART - 4905 * ART ^ 2: X = X3 + VTX * ART: ZP = ZP + 1
YY = (X - X1(I)) * (Y2(I) - Y1(I)) / (X2(I) - X1(I)) + Y1(I)
IF X < X2(I) THEN 45 ELSE 50
PRINT "Dusme zamani ="; TS: GOTO 145
IF X > X1(I) THEN 55 ELSE 60
PRINT "Baska bir konum icin tekrar deneyiniz.": GOTO 147
IF Y <= YY THEN Y = YY
PSET (1500 + X, 1500 - Y)
IF Y = YY THEN 110
NEXT TS
```

```
PRINT "Cevrim bitti.": END
IF ZP <= 2 THEN X3 = X: Y3 = Y: GOTO 120
TMS = TMS + 1
IF ART < DV THEN 115
ZPY1 = Y3 + VTY ^ 2 / 19620: XT = X3 + VTX * VTY / 9810: FT = FT + 1
YY = (XT - X1(1)) * (Y2(1) - Y1(1)) / (X2(1) - X1(1)) + Y1(1)
ZPT = ZPT + ZPY1 - YY
ZPS = ZPS + 1
X3 = X: Y3 = Y
Y0 = VTY - 9810 * ART
GOTO 20
```

```
FOR TS = TS TO 30 STEP STP
RO = SQR(X3 ^ 2 + Y3 ^ 2): DI = FU(I) * RO: DH = FU(I) * RO
IF Y3 = 0 OR X3 = 0 THEN 132
ACI = ABS(ATN(Y3 / X3))
IF X3 > 0 AND Y3 > 0 THEN 122 ELSE 124
XUU = XGUU(I) - DI * SIN(ACI): YUU = YGUU(I) + DI * COS(ACI)
XU = XGU(I) - DH * SIN(ACI): YU = YGU(I) + DH * COS(ACI): GOTO 142
IF X3 > 0 AND Y3 < 0 THEN 124 ELSE 126
XU = XGU(I) + DH * SIN(ACI): YU = YGU(I) + DH * COS(ACI): GOTO 142
IF X3 < 0 AND Y3 > 0 THEN 130 ELSE 132
XUU = XGUU(I) - DI * SIN(ACI): YUU = YGUU(I) - DI * COS(ACI)
XU = XGU(I) - DH * SIN(ACI): YU = YGU(I) - DH * COS(ACI): GOTO 142
IF X3 < 0 AND Y3 < 0 THEN 134 ELSE 136
XUU = XGUU(I) + DI * SIN(ACI): YUU = YGUU(I) - DI * COS(ACI)
XU = XGU(I) + DH * SIN(ACI): YU = YGU(I) - DH * COS(ACI): GOTO 142
IF X3 = 0 THEN 138 ELSE 140
XUU = XGUU(I) - DI: YUU = YGUU(I)
XU = XGU(I) - DH: YU = YGU(I): GOTO 142
IF Y3 = 0 THEN XUU = XGUU(I): YUU = YGUU(I) - DI
XU = XGU(I): YU = YGU(I) - DH
IF YU > 0 AND YUU < 0 THEN 144
IF XU < 0 AND XUU > 0 THEN 144
I = I + 1: IF I = 91 THEN I = 1
Y3 = (X3 - X1(I)) * (Y2(I) - Y1(I)) / (X2(I) - X1(I)) + Y1(I)
PSET (1500 + X3, 1500 - Y3)
NEXT TS
```

```

1 IF YU > 0 THEN VTY = YU ELSE VTY = 0
IF XU < 0 THEN VTX = XU ELSE VTX = 0
TS = TS + STP: X4 = X3: Y4 = Y3
H = I + 1: IF H = 91 THEN H = 1
Y = Y3 + VTY * STP - 4905 * STP ^ 2: X = X3 + VTX * STP
YY = (X - X1(H)) * (Y2(H) - Y1(H)) / (X2(H) - X1(H)) + Y1(H)
IF Y > YY THEN GOTO 40
Y = YY: I = I + 1: IF I = 91 THEN I = 1
PSET (1500 + X, 1500 - Y)
X3 = X: Y3 = Y: GOTO 120
IF TMS > 5 * ZPS THEN ZPS = 0: ZPY = 0 ELSE ZPY = ZPT / FT
PRINT "Ziplama sayisi="; ZPS
PRINT "Temas sayisi="; TMS
PRINT "Ziplama yuksekligi (mm.)="; ZPY
PRINT "Elek acisi (derece)="; EAC: PRINT "Konum sayisi="; KS
LOCATE 24, 3
INPUT "Baska bir konum icin denemek ister misiniz. (E/H):", S$
IF S$ = "H" OR S$ = "h" THEN 160
IF S$ = "E" OR S$ = "e" THEN 149 ELSE 147
LOCATE 25, 3
INPUT "Konum sayisini 1 - 90 arasinda giriniz":", KS
IF KS < 1 OR KS > 90 THEN 149
ZPS = 0: Y0 = 0: VTY = 0: VTX = 0
ZP = 0: FT = 0: ZPT = 0: I = KS: H = 0: TMS = 0: GOTO 7
LOCATE 26, 3
INPUT "Elek acisini degistirmek ister misiniz? (E/H)":", E$
IF E$ = "H" OR E$ = "h" THEN END
IF E$ = "E" OR E$ = "e" THEN 165 ELSE 160
LOCATE 27, 3
INPUT "Elek acisini 18 - 25 derece arasinda giriniz.":", EAC
IF EAC < 18 OR EAC > 25 THEN 165
ZPS = 0: Y0 = 0: VTY = 0: VTX = 0
ZP = 0: FT = 0: ZPT = 0: H = 0: TMS = 0: GOTO 10

) CLS
) LOCATE 2, 10
INPUT "1 ve 2 nolu yay gruplari birbirine esit mi? (E/H):", E$
IF E$ = "H" OR E$ = "h" THEN CL = 15: GOTO 1020
IF E$ = "E" OR E$ = "e" THEN KK = 1: CL = 10: ELSE 1010
) LOCATE 5, 10:
INPUT "1 nolu yay grubunun dusey yay katsayisini giriniz (kg/cm):", K1Y
IF K1Y <= 0 THEN 1020
) LOCATE 6, 10:
INPUT "1 nolu yay grubunun dusey sonum katsayisini giriniz (kg/s):", R1Y
IF R1Y <= 0 THEN 1030
) LOCATE 7, 10:
INPUT "1 nolu yay grubunun yatay yay katsayisini giriniz (kg/cm):", K1X
IF K1X <= 0 THEN 1040
) LOCATE 8, 10:
INPUT "1 nolu yay grubunun yatay sonum katsayisini giriniz (kg/s):", R1X
IF R1X <= 0 THEN 1050
IF KK = 1 THEN K2Y = K1Y: R2Y = R1Y: K2X = K1X: R2X = R1X: GOTO 1200
) LOCATE 10, 10:
INPUT "2 nolu yay grubunun dusey yay katsayisini giriniz (kg/cm):", K2Y
IF K2Y <= 0 THEN 1060

```

```
70 LOCATE 11, 10:
  INPUT "2 nolu yay grubunun dusey sonum katsayısını giriniz (kg/s):", R2Y
  IF R2Y <= 0 THEN 1070
80 LOCATE 12, 10:
  INPUT "2 nolu yay grubunun yatay yay katsayısını giriniz (kg/cm):", K2X
  IF K2X <= 0 THEN 1080
90 LOCATE 13, 10:
  INPUT "2 nolu yay grubunun yatay sonum katsayısını giriniz (kg/s):", R2X
  IF R2X <= 0 THEN 1090
00 LOCATE CL, 10: INPUT "Elek acısını derece olarak giriniz (18-25) :", EAC
  IF EAC < 18 OR EAC > 25 THEN 1200
  R1Y = R1Y / 1000: R2Y = R2Y / 1000: R1X = R1X / 1000: R2X = R2X / 1000
  K1Y = K1Y * .981: K2Y = K2Y * .981: K1X = K1X * .981: K2X = K2X * .981
  Z1 = R1Y * A1 - R2Y * B1: Z2 = K1Y * A1 - K2Y * B1
  Z3 = R1Y * A1 ^ 2 + R2Y * B1 ^ 2: Z4 = K1Y * A1 ^ 2 + K2Y * B1 ^ 2
  RYT = R1Y + R2Y: KYT = K1Y + K2Y: RXT = R1X + R2X: KXT = K1X + K2X
  GOTO 10
```

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet İlhan İlhak 1969'da Mersin'de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Mersin Tevfik Sırrı Gür Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1988 yılında Hacettepe Üniversitesi Zonguldak Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 1992 yılında "iyi" derece ile mezun olduktan sonra Filyos Ateş Tuğlası Sanayii T.A.Ş.'de makina mühendisi olarak göreve başladı; halen, 1993'de girdiği ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

