

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK SACLARIN SICAK HADDELENMESİNDE
HADDELEME KUVVETİNİN DENEYSEL
MODELLENMESİ**

Metalurji Müh. Abdullah SEZER

**F.B.E. Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Adem BAKKALOĞLU

Prof. Dr. Nispet Sönmez

Doç. Dr. Hüseyin Sönmez

85085

İSTANBUL, 1999

SİMGE LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. SICAK HADDELEME PROSESİ	2
3. HADDELEME KUVVETİ TEORİK MODELLERİ	3
3.1 Haddeleme Prosesi Matematiksel Modellerinde Kullanılan Standart Terimler	4
3.1.1 Ortalama Şerit Kalınlığı	4
3.1.2 Verilen Ezme Miktarı	4
3.1.3 Ezme Oranı	5
3.1.4 Kapma Açısı	6
3.1.5 Temas Boyu	6
3.1.6 Hadde Yassılaşması	6
3.1.7 Nötr Nokta , Nötr Açısı	7
3.2 Haddeleme Yüğü Hesabı için Gerekli Ana Parametreler	8
3.2.1 Deformasyon Direnci	8
3.2.1.1 Hadde Merdanesi ile Malzemenin Birleştiği Temas Yüzey Alanı	9
3.2.1.2 Malzeme Genişliği	10
3.2.1.2.1 Aritmetik Ortalama Genişlik	10
3.2.1.2.2 Parabolik Ortalama Genişlik	10
3.2.1.2.3 Geometrik Ortalama Genişlik	10
3.2.1.3 Deformasyon Direncine Etki Eden Parametreler	10
3.2.2 Deformasyon Bölgesi Geometrisi	11

3.2.2.1	Deformasyon Bölgesinin Aritmetik Ortalama En-Boy Oranı	11
3.2.2.2	Deformasyon Bölgesinin Parabolik Ortalama En-Boy Oranı	11
3.2.2.3	Deformasyon Bölgesinin Geometrik Ortalama En-Boy Oranı.....	11
3.2.3	Ortalama Deformasyon Hızı.....	12
3.2.3.1	Sims Çözümü.....	13
3.2.3.2	Ford - Alexander Çözümü.....	13
3.2.4	Dinamik Akma Gerilmesi.....	15
3.2.5	Sıcak Haddelemede Sürtünme Etkisi	16
3.3	Haddeleme Yükünün Hesabında Kullanılan Teorik Metotlar	17
3.3.1	Geleji Metodu	18
3.3.2	Sims Metodu.....	19
3.3.3	Ford-Alexander Metodu.....	21
3.3.3.1	Sims&Ford-Alexander'ın Önerdiği Akma Gerilmesi Hesaplarının Karşılaştırılması.....	22
4.	HADDELEME YÜKÜNÜN HESAPLANMASI İÇİN DENEYSEL MODELLEME	23
4.1	Sistem Tanılama Teorisi.....	24
4.1.1	Deneysel Planlama.....	25
4.1.2	Model Yapıları.....	25
4.1.2.1	Kriterler	25
4.1.3	Parametre Tahmin Metotları.....	26
4.1.4	Model Geçerliliği	27
4.2	En Küçük Kareler Yönteminin Prensibi.....	28
4.3	Sistem Tanılama	30
4.4	Matlab Sistem Tanılama Programı	31
4.4.1	Ölçeklendirme Fonksiyonu (Scal)	33
4.4.2	Wrtreg Fonksiyonu	33
4.4.3	Çokterimli En Küçük Kareler Regresyonu Yöntemi	35
4.4.4	Modelin Geçerliliğinin Araştırılması.....	36
5.	SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	37
5.1	Kullanılan Malzemeler	37

5.2	Kullanılan Hadde Tezgahı ve Özellikleri	37
5.3	Verilerin Toplanması	38
5.4	Oluşturulan Modeller	39
5.4.1	Kuvvet Modeli	39
5.4.2	Hadde Sıçraması Modeli	39
6.	BİLGİSAYAR PROGRAMI VE GRAFİKLER	41
7.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR		67
ÖZGEÇMİŞ		69



SİMGE LİSTESİ

c	Geleji geometrik faktörü
C	Hitchcook sabiti
E_{mer}	Merdanenin elastiklik modülü
E_{mlz}	Malzemenin elastiklik modülü
Fd	Temas yüzey alanı
h_1	Malzemenin haddeye giriş kalınlığı
h_2	Malzemenin haddeden çıkış kalınlığı
h_a	Ortalama şerit kalınlığı
h_i	Ani darbe cevabı katsayıları
h_n	Nötr noktadaki malzeme kalınlığı
h_x	Malzemenin haddeden çıkış noktasından x mesafesindeki malzeme kalınlığı
$J(\Theta)$	Kayıp fonksiyonu
k	Malzemenin ortalama kesme akma gerilmesi
kg	Ford-Alexander geometrik faktörü
K_v	Hız etki katsayısı
K_w	Deformasyon direnci
L	Temas boyu uzunluğu
P	Haddeleme yükü
Q_p	Sims geometrik faktörü
r	% Ezme oranı
R	Merdane yarıçapı
R'	Yassılaştırmış merdane yarıçapı
S	Dinamik akma gerilmesi
T_h	Haddeleme sıcaklığı
u	Sisteme girişler
V_r	Merdane yüzey hızı
w	Malzeme genişliği
w_a	Aritmetik ortalama genişlik
w_g	Geometrik ortalama genişlik
w_p	Parabolik ortalama genişlik
Y	Akma gerilmesi
y	Sistemden çıkışlar
y^*	Modelin bulduğu çıkış değeri
Z_a	Deformasyon bölgesinin aritmetik ortalama en-boy oranı
Z_g	Deformasyon bölgesinin geometrik ortalama en-boy oranı
Z_p	Deformasyon bölgesinin parabolik ortalama en-boy oranı
α	Kapma açısı
γ	Malzemenin poisson oranı
Δ	Malzemeye verilen ezme miktarı
ε	Deformasyon hızı
$\dot{\varepsilon}$	Ortalama deformasyon hızı
ε_i	Ölçülen değer ile tahmin edilen değer arasındaki fark.
Θ	Modelin bilinmeyen parametreleri
θ	Nötr açı
μ	Sürtünme katsayısı
σ_x, σ_y	Eksenel gerilmeler
Φ	Modele giriş verilerini içeren matris.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Genel sıcak haddehane prosesi	2
Şekil 3.1 Deformasyon bölgesi geometrisi	7
Şekil 3.2 Haddeleme kuvveti ve basıncın normal dağılımı	8
Şekil 3.3 Deformasyon bölgesinin parametreleri	9
Şekil 3.4 Değişik formüllerle hesaplanmış ortalama deformasyon hızının karşılaştırılması .	15
Şekil 3.5 Hız etki sayısı ile merdane yüzey hızı arasındaki bağıntı	19
Şekil 3.6 Sims geometrik faktörü	20
Şekil 3.7 1000-1100-1200 °C’de 0.17 C’lu çelik için dinamik akma gerilmesi grafiği.....	20
Şekil 3.8 Sims ve Ford-Alexander metodunun karşılaştırılması.....	22
Şekil 4.1 Sistem tanılama döngüsü.....	27
Şekil 4.2 Ölçülmüş çıkış değerleri ile modelin tahmin değerinin karşılaştırılmasıyla fark üretimi	35
Şekil 5.1 Kuvvet modelinin blok diyagramı	39
Şekil 5.2 Hadde sıçraması modelinin blok diyagramı	40

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Haddeleme kuvvetinin hesaplama argümanları	5
Çizelge 5.1	Kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri	37



ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Can ÖZSOY'a, gösterdikleri yakın ilgi nedeniyle Erdemir 2. Sıcak H addehane Genel Müdürü Halil KARTAL'a, modelde kullanılan proses verilerinin ve bilgilerin temininde bana zaman ayırıp yardımcı olan İşletme Baş Mühendisi Ahmet TAŞKIN'a, yüksek lisans tez hocam Doç. Dr. Adem BAKKALOĞLU'na, bana verdiği destek ve sabrından dolayı nişanlım Banu ŞİMŞEK'e teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

Bir prosesin matematiksel bir modeli sonuçların önceden tahmini için gerekli bir araçtır. Bu çalışmadaki matematiksel model haddeleme kuvveti ile ilgilidir. Haddeleme kuvveti sıcak haddeleme sırasında çoğu ölçülemeyen birçok faktöre bağlı olarak elde edilir. Proses sonunda çelik sacların istenilen kalınlığına getirebilmek için gerekli olan haddeleme yükünün ve hadde sıçramasının tam olarak tahmin edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, sıcak haddeleme prosesine genel bir yaklaşım sağlamak amacıyla üç değişik kuvvet hesaplama yöntemi incelenmiş ve haddeleme kuvvetinin ve hadde sıçramasının önceden tahmini için deneysel bir modelleme dizaynı amaçlanmıştır.

Sistem tanılama, dinamik bir sistemden alınan veriler yardımıyla matematiksel model oluşturma problemiyle uğraşır ve proses modellemeye deneysel bir yaklaşımdır. Model katsayılarını belirlemek için matlab bilgisayar programının model kestirimci kontrol bölümündeki çok değişkenli en küçük kareler regresyonu yöntemi kullanılmıştır. Sistem tanılamadaki ana kriterimiz gözlemlenen veriler ile hesaplanan değerler arasındaki farkları toplamının en aza indirgenmesidir.

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda haddeleme kuvveti ve hadde sıçraması için deneysel modelin kullanılabileceğini göstermiştir. Bu teknik diğer sıcak hadde tezgahlarına kolayca uyarlanabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Sıcak haddeleme, haddeleme kuvveti, sistem tanılama, deneysel modelleme, çokterimli en küçük kareler regresyonu.

ABSTRACT

A mathematical model of a process is essentially an instrument of prediction. The prediction in mathematical rolling model related to roll force. The roll force obtained during hot rolling depends on many factors most of which can not be measured. Control of the thickness of steel strip requires accurate prediction of rolling load and roll deflection.

In this study, three different roll force mathematical calculation methods are investigated in order to provide basic approach to hot rolling and it is aimed at designing an experimental modelling in order to predict of the roll force and roll deflection.

System identification is the experimental approach of process modelling and deals with the problem of building mathematical models of dynamical systems, based on observed system data. Matlab computer program was used to predict of the model coefficients which determined multivariable least squares regression method in model predictive control toolbox. The main criterion is that the sum of squares of the differences between the actual observed data and computed value is a minimum.

Simulation results prove that the proposed experimental model can be used with confidence in prediction of hot rolling force and roll deflection. The technique can be adapted easily to other types of hot rolling.

Keywords: Hot strip rolling, roll force, system identification, experimental modelling, multivariable least square regression.

1. GİRİŞ

Sıcak haddeleme prosesinde malzemenin istenilen kalınlığa getirilmesi esastır. Bunu yapmanın yolu ise malzemeye verilecek ezme miktarı için uygulanacak olan haddeleme kuvvetinin ve hadde sıçramasının önceden tahmin etmektir.

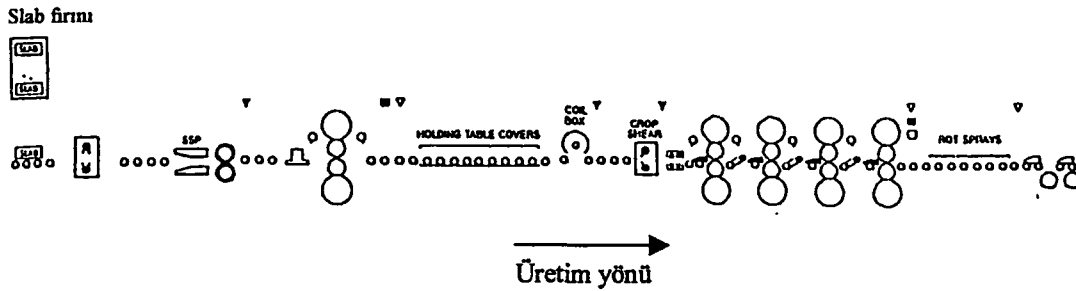
Bir prosesin matematiksel bir modelinin çıkarılması sonuçların önceden tahmini için gereklidir. Hem teorik hem de deneysel olarak haddeleme prosesi modellenmesi üzerinde bir çok çalışma yapılmıştır. Bunlar haddeleme kuvveti, tork, slab sıcaklığı, haddeleme sırasında iş parçasının deformasyon direnci ve akma gerilmesi ile ilgili matematiksel modelleri içeriyordu. Yapılan bu araştırmalar sonucunda önerilen modellerin hiçbirisi güvenilir bir sonuç vermemektedir. Erdemir 1. sıcak haddehanede haddeleme yükünün tespiti için kullanılan modellerden Geleji metodunun gerçeğe en yakın değeri verdiği Tozlu(1992), ve Sarıoğlu (1994) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Haddeleme yükünün tespiti için Sims'in önerdiği matematiksel model de bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Bugün Erdemir 2. Sıcak haddehanesine kullanılan otomasyon sisteminde haddeleme yükünün hesaplanmasında kullanılan kuvvet modellerinde Sims'in direk ve modifiye edilmiş haliyle Ford-Alexander metotları kullanılabilir. Bu çalışmada sıcak haddeleme prosesine genel bir yaklaşım sağlamak amacıyla haddeleme yüküne etki eden faktörler ile yük hesaplanmasında kullanılan metotlardan Geleji, Sims ve Ford-Alexander'ın önerdikleri matematiksel modeller incelenmiştir.

İkinci bölümde ise haddeleme kuvvetinin ve hadde sıçramasının önceden tahmin edilmesi amacıyla daha basit ve etkili olan deneysel modelleme yoluna gidilmiştir. Prosesin deneysel modellenmesi amacıyla sistem tanılama olgusu üzerinde durulmuştur. Sistem tanılama olgusu en küçük kareler prensibine dayanmaktadır. Modelimizi Matlab bilgisayar programının model kestirimci kontrol araç kutusunda bulunan çok terimli en küçük kareler regresyonu algoritmasından yararlanılarak oluşturulmuştur. Deneysel modelleme için gerekli olan veriler Erdemir 2. Sıcak haddehanedeki prosesindeki otomasyon sisteminden kaba hadde tezgahından alınmıştır.

Oluşturulan modellerde simülasyon çalışması yapılarak modelin çalışması incelenmiş ve modelin sonuçları tam olarak belirleyebilmesi için kullanması gerekli minimum veri sayısı bulunmuştur. Model geçerliliğinin araştırılması kullanılmamış verilerin oluşturulan modele yüklenmesiyle yapılmıştır.

2. SICAK HADDELEME PROSESİ

Genel bir sıcak haddehane prosesi Şekil 2.1’de görülmektedir. Fırın bölgesinde slabların sıcak haddelenebilmesi için gerekli olan tavlama işlemi yapılmaktadır. Slab itici yardımı ile fırına şarj edilen slablar fırın içinde yaklaşık 1200-1300°C’ de tavlandıktan sonra çıkış masasının üzerine gelir ve haddelenmek üzere dik tufal kırıcıya doğru sevk edilirler. Slabın genişliği azaltılacaksa sürekli slab presinde (SSP) istenilen genişliğe getirilir. Slab presinden sonra ön kaba hadde bölgesinde malzemeye yaklaşık %17’lik bir ezme uygulanır. Buradan kaba haddeye malzeme gelir. Kaba hadde ana olarak; dik tufal kırıcı, yatay tufal kırıcı, bağımlı kenarcı ve tersinir kaba hadde ile giriş çıkış masaları ve ara masa gruplarından meydana gelir. Slab kaba haddeye girmeden önce basınçlı su püskürten tufal atıcı ile yüzeyindeki tufallar kırılır. Tersinir kaba haddenin hemen önünde haddelenen slabın genişliğini ayarlamak için bağımlı dik kenarcı (edger) bulunur. Kaba haddede yaklaşık 5 –7 paso sonunda slab kalınlık ve genişlik olarak istenen boyutlara indirilerek şerit ön malzemesi olarak şerit hadde bölgesine sevk edilir. Eğer malzeme şerit hadde için istenilen sıcaklığın altına düşmüşse coil-box’da tavlanoarak istenilen sıcaklığa getirilebilir. Şerit haddenin ana bölümü olarak kırpıntı makası, sıkma merdaneli tufal atıcı, yedi ayaklı şerit hadde ve duşlu masalardan meydana gelir. Şerit haddeye gelen malzeme kırpıntı makası ile kesilir ve sıkma merdaneli tufal atıcı da malzemenin kaba haddede işlenmesi sırasında meydana gelen tufal basınçlı su ile temizlendikten sonra malzeme şerit haddeye beslenir. Malzeme 7 ayaklı şerit haddeden geçerek nihai kalınlığa kadar inceltirilir. Şerit hadde çıkışında duşlu masalarda soğutularak sarılma sıcaklığına getirilir. Nihai kalınlığa kadar haddelenmiş malzeme bobin sarma bölgesine sevk edilmektedir (Erdemir yayınları,1991).



Şekil 2.1 Genel sıcak haddehane prosesi

3. HADDELEME KUVVETİNİN TEORİK MODELLERİ

Sıcak haddelemede malzemeye uygulanacak olan kuvvetin hesaplanması gerçek kullanımda mühendislik karar tipinin iyi bir göstergesidir.

Haddeleme kuvveti sıcak haddeleme sırasında çoğu ölçülemeyen birçok faktöre bağlıdır. Genel olarak bu faktörleri üç gruba ayırmak mümkündür.

- Deformasyon direncine etki eden malzeme faktörü
- Malzeme ile hadde merdanesi yüzeyi arasındaki temas ile ilgili sınır faktörü
- Kuvvetin düşey bileşeninin oluşturduğu geometrik faktör

Malzeme faktörü; malzemenin kalınlığı, genişliği, sıcaklığı, kimyasal kompozisyonu, iç yapısı ve haddeleme hızından oluşur. Kalınlığın azalması veya artması deformasyon direncine etki eder. Gerinimdeki bir artış, sertliğin artmasına neden olmaktadır. Önemli yatay yayılmaların meydana geldiği malzeme genişliği de çok önemlidir. Sıcaklık sertliğe etki eden birinci faktördür. Malzemenin kimyasal kompozisyonundaki nispeten küçük bir değişikliğin bile sertliğe etkisi gözlenebilmektedir. Malzeme iç yapısı da sertlik üzerine etkilidir. Haddeleme sırasında malzeme iç yapısı bozulur ve deformasyon sertleşmesinin etkisi belli bir süre devam eder. Hız, gerinim hızına bağlı olarak deformasyon direncine etki etmektedir.

Sınır faktörü; malzemenin genişliği, hadde merdanesinin boyutu, sertliği ve yüzey durumu, malzemenin yüzey durumu, hadde yağlayıcıların kullanımı ve malzeme gerilimidir. Genişliğin değişimi ezme bölgesinde toplam kuvvet üzerine önemli bir etkiye sahiptir. Haddeleme sırasında merdanelerin boyutu değişir. Temas bölgesinde merdanelerin kavisi malzemeye birlikte yassılaşır (Şekil 3.1). Merdanelerin sertliği yassılaşmaya, merdane yüzeyinin pürüzlülüğü ise haddelenen malzeme ile merdane arasındaki sürtünme kuvvetine etki etmektedir. Malzemenin yüzey pürüzlülüğü de yağlamanın olmadığı zaman sürtünmeye tesir etmektedir. Malzemenin gerilimi hadde kuvvetini azaltma eğilimindedir.

Geometrik faktör; merdane sertliği için izin verilen merdane yarıçapı ile birlikte giriş ve çıkış kalınlıklarına bağlıdır. Bu malzemenin haddeye giriş açısını tarif eden birinci geometrik faktördür. Geometrik faktörde genişlik de çok önemlidir. Çünkü gerinim düzleminde toplam kuvvet genişlik boyunca dağılmıştır. Geometrik faktöre ikinci etken olan basınç dağılımı,

malzeme genişliği boyunca uniform olmayıp parabolik bileşene sahiptir. Yarıçaptan başka, merdane boyutu haddeleme sırasında merdanenin eğilmesine etki eder.

Teorik matematiksel modellerdeki ana problem deformasyon bölgesinde hangi olayların gerçekleştiğinin tam olarak bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Gerilimin dağılımı, malzemenin termomekanik durumu hatta malzeme ile merdane arasındaki sürtünme kuvveti türlerinden hangisinin gerçekleştiği tam olarak bilinmemesi nedeniyle sadece bir hipotez olarak kalmaktadır. Araştırmacılar haddeleme sırasında sürtünme kuvveti için bazı kabullerde bulunmaktadır (Iron and Steel December 1989).

Deneme, bilginin araştırılması için tek yoldur. Bu sadece sisteme etki eden parametrelerin ve sonuç ölçümlerinin doğru şekilde alınmasıyla oluşan veriler ile çalışma sırasında meydana gelen olaylardaki kısmi deneysel kanıtların birleştirilmesiyle mümkün olmaktadır.

Sıcak haddelemede malzemenin hadde merdaneleri arasında istenilen kalınlığa getirilebilmesi için uygulanacak hadde yükünün önceden tahmini için kullanılan teorik matematiksel modellerde bazı parametrelerin hesaplanması ve bilinmesi gerekmektedir. Bunlar çizelge 3.1’de verilmiştir.

3.1 Haddeleme Prosesi Matematiksel Modellerinde Kullanılan Standart Terimler

Yassı malzemelerin haddelenmesinde kullanılan teorik modellerde yaygın olarak kullanılan standart terimler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

3.1.1 Ortalama Şerit Kalınlığı

Ortalama şerit kalınlığı (h_a), haddelenecek slabın haddeye girmeden önceki kalınlığı (h_1) ile haddeden çıkış kalınlığı (h_2) arasındaki farkın yarısına eşittir.

$$h_a = (h_1 + h_2) / 2 \quad (3.1)$$

3.1.2 Verilen Ezme Miktarı

Malzemeye verilen ezme miktarı (Δ), malzemenin haddeye giriş ve çıkış kalınlığı arasındaki farka eşittir.

$$\Delta = h_1 - h_2 \quad (3.2)$$

Çizelge 3.1 Haddeleme kuvvetinin hesaplama argümanları (General Electric)

TERİM	SEMBOL	BİRİM
Sürtünme kuvveti	-	kW/mm ³ /sn veya kW/inc ³ /sn
Deformasyon kuvveti	-	kW/mm ³ /sn veya kW/inc ³ /sn
Çıkış kayma hızı	-	Malzeme hızı / Merdane hızı
Germe kuvveti	-	kW/mm ³ /sn veya kW/inc ³ /sn
Deformasyona uğramış merdane yarıçapı	R'	mm veya inc
Nötr nokta açısı	θ	Radyan
Haddeye giriş açısı,(Kapma açısı)	α	Radyan
Nötr noktadaki maksimum basınç	P _{ömax}	Kg/mm ² , psi, Mpa
Temas yayı boyunca normal basınç	P _n	Kg/mm ² , psi, Mpa
Plastik bölgedeki kuvvet	P _p	Mton/mm, kN/mm
Elastik bölgedeki kuvvet	P _e	Mton/mm, kN/mm
Temas yayı uzunluğu	L	Mm, inc
Deforme olmamış merdane yarıçapı	R	Mm, inc
Malzeme giriş kalınlığı	h ₁	Mm, inc
Malzeme çıkış kalınlığı	h ₂	Mm, inc
Merdane yüzey hızı	V _r	Mpm
Malzemenin akma gerilmesi	σ	Kg/mm ² , psi, Mpa
Merdane için Hitchcook sabiti	C	Kg/mm ² , psi, Mpa
Malzemenin haddeye giriş gerilmesi	σ ₁	Kg/mm ² , psi, Mpa
Malzemenin haddeden çıkış gerilmesi	σ ₂	Kg/mm ² , psi, Mpa
Merdanenin elastiklik modülü	E _{mer}	Kg/mm ² , psi, Mpa
Malzemenin elastiklik modülü	E _{mlz}	Kg/mm ² , psi, Mpa
Malzemenin poisson oranı	γ	-
Sürtünme katsayısı	μ	-

3.1.3 Ezme Oranı

Ezme oranı (r), bir pasodaki malzemeye verilen ezme miktarının haddeye giriş kalınlığına bölümüne eşittir (Vlademir 1989).

$$r = \Delta / h_1 = 1 - (h_2 / h_1) = \log_e (h_1 / h_2) \quad (3.3)$$

3.1.4 Kapma Açısı

Kapma (kavrama) açısı (α), hadde merdanesinin merkez noktasından slabın merdaneye ilk temas ettiği giriş noktası ile çıkış noktası arasındaki açıya eşittir (Şekil3.1).

$$\alpha = \arccos[(1 - (\Delta / 2R))] \quad (3.4)$$

R = Merdane yarıçapı

Slabın merdaneler arasında sürtünme kuvveti etkisiyle ilerleyebilmesi için sürtünme katsayısında $\mu > \tan \alpha$ şeklinde bir ilişki bulunmalıdır (Kayalı ve Çimenoglu,1995).

3.1.5 Temas Boyu

Temas boyu (L), slabın haddelenmesi esnasında merdaneler ile malzemenin temas yayının(yüzeyinin) izdüşüm uzunluğudur. Hadde yassılaşması göz önüne alınmazsa temas boyu aşağıdaki şekilde ifade edilir(Vlademir 1989).

$$L = (R \Delta - \Delta^2 / 4)^{1/2} \quad (3.5)$$

3.1.6 Hadde Yassılaşması

Haddeleme sırasında merdanelerin uygulanan yükten dolayı elastik şekil değişimiyle merdane yarıçapı temas alanı L boyunca yassılaşarak R' değerine gelmektedir (Şekil 3.1).

Ezme bölgesindeki yük dağılımının eliptik kabul edilerek yassılaşmış merdane yarıçapı (R'), Hitchcook tarafından çıkarılan ve günümüzde kullanımda olan aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır.

$$R' = R [1 + (C.P / w . \Delta)] \quad (3.6)$$

$$C = 16 (1 - \gamma^2) / \pi E \quad (3.7)$$

Burada hitchcook sabiti denklemini (3.6)'da yerine koyarsak;

$$R' = R [1 + (16.P (1-\gamma^2) / \pi.E.w.\Delta)] \quad (3.8)$$

R' =Yassılaşımiş merdane yarıçapı (mm),

R = Merdane yarıçapı (mm),

P = Haddelme kuvveti (kg),

w = Genişlik(mm),

Δ = Ezme miktarı (mm),

γ = Merdane malzemesi poisson oranı,

E = Merdaneenin elastiklik modülü,

C = Hitchcook sabiti,

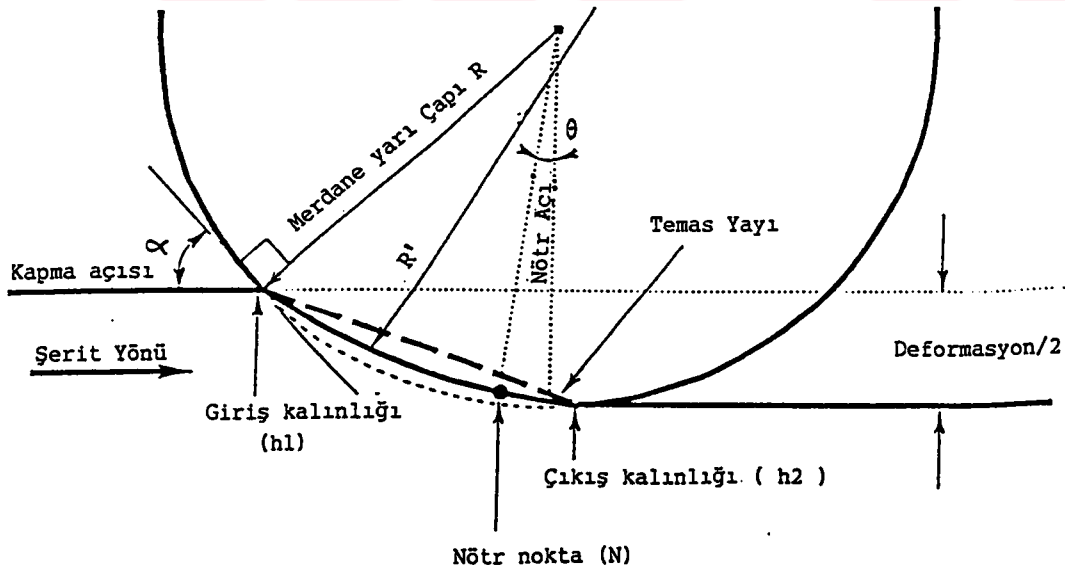
C = Merdane malzemesi ile ilgili sabit(mm^2/kg),

$C = 2,12 \times 10^{-4} (\text{mm}^2/\text{kg})$ Çelik merdaneler için,

$C = 4,17 \times 10^{-4} (\text{mm}^2/\text{kg})$ Dökme demir merdaneler için (Kayalı ve Çimenoglu,1995).

3.1.7 Nötr nokta , Nötr açı

Nötr nokta (N), deformasyon bölgesinde merdane hızının malzeme hızına eşit olduğu noktadır. Nötr açı (θ), nötr nokta ile çıkış düzlemi arasındaki açıdır Şekil (3.1) (Ginzburg,1989).



Şekil 3.1 Deformasyon bölgesi geometrisi (General Electric)

3.2 Haddeme Yüğü Hesabı İçin Gerekli Ana Parametreler

3.2.1 Deformasyon Direnci

Haddelenen malzemenin deformasyon direnci genellikle aşağıdaki formülle belirlenir.

$$K_w = P / F_d = P / w.L \quad (3.9)$$

Burada

K_w = Deformasyon direnci,

P = Uygulanan haddeme kuvveti,

F_d = Hadde merdanesi ile malzemenin temas yüzey alanı.

Deformasyon bölgesinde normal basıncın dağılımı (p_x) bilinirse uygulanacak hadde kuvveti belirlenebilir (Şekil 3.2).

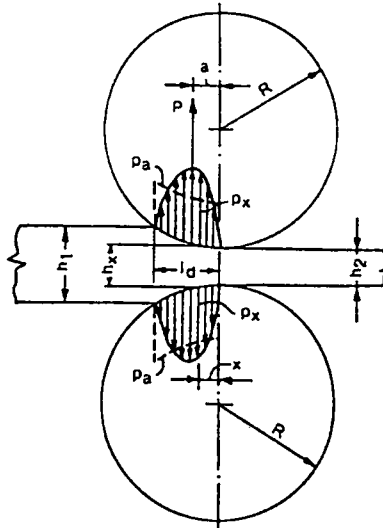
$$P = \int_0^{l_d} p_x \cdot dx = \int_0^{\alpha} R \cdot p_{\theta} \cdot d\theta \quad (3.10)$$

p_x = Çıkış düzleminden x mesafesindeki normal basınç,

p_{θ} = Merdane θ açısındaki normal basınç,

L = Temas boyu

α = Kapma açısı.



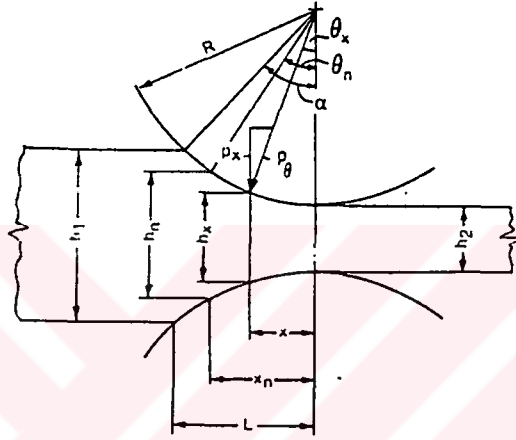
Şekil 3.2 Haddeme kuvveti ve basıncın normal dağılımı (Ginzburg, 1989).

Malzemenin haddeye giriş ve çıkış noktasında gergi nedeniyle uygulanan hadde kuvveti düştüğünden dolayı deformasyon direncini doğru olarak belirleyebilmek için (3.9)'daki denklem aşağıdaki gibi modife edilmiştir (Ginzburg,1989).

$$K_w = (P / F_d) + (\beta_1.S_1 + \beta_2.S_2), \quad (3.11)$$

S_1, S_2 = Giriş ve çıkış şerit gerginliği

β_1, β_2 = Giriş ve çıkış şerit gerginliğinin katsayıları



Şekil 3.3 Deformasyon bölgesinin parametreleri (Ginzburg,1989).

3.2.1.1 Hadde Merdanesi ile Malzemenin Birleştiği Temas Yüzey Alanı

Hadde merdanesi ile haddelenecek malzemenin temas yüzey alanı şu denklemle belirlenir.

$$F_d = w.L_d \quad (3.12)$$

w = Malzeme genişliği

Hadde yassılaşması göz ardı edildiği durumda temas boyunun hesabı denklem (3.5)'de verilmiştir. Hadde yassılaşması göz ardı edilmediği durumda temas boyu aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$L_d = L = \sqrt{(R'\Delta - \Delta^2/4)} \approx \sqrt{R'\Delta} \quad (3.13)$$

3.2.1.2 Malzeme Genişliği

Deformasyon bölgesindeki malzemenin genişliği genellikle aritmetik, parabolik veya geometrik ortalamalarından biri ile hesaplanır.

3.2.1.2.1 Aritmetik ortalama genişlik

Aritmetik ortalama genişlik (w_a), genişlik eğrisinin düz bir çizgi olarak kabul edilerek hesaplanır.

$$w = w_a = (w_1 + w_2) / 2 \quad (3.14)$$

w_1, w_2 = Malzemenin giriş ve çıkış genişlikleri.

3.2.1.2.2 Parabolik ortalama genişlik

Parabolik ortalama genişlik (w_p), genişlik eğrisinin parabolik olduğunu kabul edilerek hesaplanır.

$$w = w_p = (w_1 + 2w_2) / 3 \quad (3.15)$$

3.2.1.2.3 Geometrik ortalama genişlik

Geometrik ortalama genişlik de aşağıdaki formülle belirlenir.

$$w = w_g = \sqrt{w_1 \cdot w_2} \quad (3.16)$$

3.2.1.3 Deformasyon Direncine Etki Eden Parametreler

Sıcak haddelemede aşağıdaki ana parametreler deformasyon direncine etki etmektedir.

1. Malzemenin kimyasal kompozisyonu
2. Malzemenin metalurjik karakteri
3. Malzeme sıcaklığı
4. Deformasyon bölgesinin geometrisi
5. Deformasyon bölgesindeki dış sürtünme
6. Pasodan önceki malzeme sertliği
7. Deformasyonun gerinim hızı

Bugüne kadar haddeleme teorileri yukarıdaki listelenen bütün parametrelerin deformasyon direncine etkisi üzerine analitik bir ilişki ortaya koyamamıştır (Ginzburg, 1989).

Deformasyon direncinin hesaplanmasında kullanılan Sims ile Fort-Alexander çözümüne geçmeden önce değişik teorik metotlarda sık sık kullanılan deformasyon bölgesi geometrisi ile ortalama deformasyon hızının hesaplanması kısaca açıklanmasında fayda vardır.

3.2.2 Deformasyon Bölgesi Geometrisi

Deformasyon bölgesinin geometrisi haddeleme yükü ve deformasyon direncinin hesabında önemli bir rol oynamaktadır. Haddeleme yükünün ve deformasyon direncinin hesaplanmasında kullanılan teorik metotlarda deformasyon bölgesi geometrisinin etkisi hakkında üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla;

3.2.2.1 Deformasyon bölgesinin aritmetik ortalama en-boy oranı

Aritmetik ortalama en-boy oranı (Z_a), deformasyon bölgesinde merdane ile malzeme temas yayı uzunluğu düz bir çizgi olarak kabul edilerek, temas boyunun (L) ortalama şerit kalınlığına oranı olarak ifade edilir.

$$Z_a = l_d / h_a = 2 l_d / (h_1 + h_2) \quad (3.17)$$

h_a = Ortalama malzeme kalınlığı

h_1, h_2 = Malzemenin haddeye giriş ve çıkış kalınlığı.

3.2.2.2 Deformasyon bölgesinin parabolik ortalama en-boy oranı

Parabolik ortalama en-boy oranı (Z_p), merdane-malzeme temas yayını bir parabol olarak kabul ederek aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$Z_p = l_d / h_p = 3 l_d / (h_1 + 2 h_2) \quad (3.18)$$

3.2.2.3 Deformasyon bölgesinin geometrik ortalama en-boy oranı

Geometrik ortalama en-boy oranı (Z_g), temas yayının geometrik ortalama kalınlığa oranı olarak formüle edilmiştir.

$$Z_g = l_d / h_g = l_d / \sqrt{h_1 \cdot h_2} \quad (3.19)$$

3.2.3 Ortalama Deformasyon Hızı

Haddeleme sırasında, malzemenin haddeye girişinden çıkışına doğru deformasyon hızı azalmaktadır. Hesaplamalarda matematiksel kolaylık sağlaması amacıyla ortalama deformasyon hızı kullanılmaktadır.

Eğer haddeleme sırasında merdane ile malzeme arasında yapışma sürtünmesi meydana geliyorsa (malzeme ile merdane yüzey hızı temas uzunluğu boyunca eşittir) ortalama deformasyon hızı sn^{-1} olarak aşağıdaki formülle hesaplanır (Ginzburg,1989).

$$\dot{\epsilon}_{st} = d\epsilon / dt = V_R \cdot r / L = V_R \cdot (2 \log_e(h_1/h_2)) (R(h_1-h_2))^{-1/2} \quad (3.20)$$

Burada;

V_R = Merdane yüzey hızı (m /sn)

r = Ezme oranı

L = Temas yayı (mm)

h_1, h_2 = Malzemenin giriş ve çıkış kalınlıkları(mm)

R = Merdane yarıçapı(mm)

Haddelemede kayma sürtünmesi meydana geliyorsa ortalama deformasyon hızı aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$\dot{\epsilon}_{st} = d\epsilon / dt = (V_R \cdot (3h_2+h_1) / (4h_1.h_2)) (2 (h_1-h_2) / R)^{1/2} \cos \alpha \quad (3.21)$$

Yukarıdaki bağıntıdan da anlaşılacağı üzere deformasyon hızı ve ezme oranının doğru orantılı temas yayı uzunluğu ile ters orantılıdır. Genel olarak sıcak haddelemede deformasyon hızı $1 - 100 sn^{-1}$ arasındadır.

Deformasyon hızının hesaplanmasında kullanılan çeşitli çözümler bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı Sims , Fort - Alexander, Orawan ve Pascoe, Wusatowski çözümleridir. Burada bunların arasındaki çok iyi bilinen Sims ile Fort - Alexander çözümü incelenecektir.

3.2.3.1 Sims Çözümü

Sims'e göre deformasyon hızının hesabı deformasyon bölgesinin herhangi bir bölgesinde şu formülle verilir;

$$\dot{\epsilon}_\theta = (1 / h_\theta) (d h_\theta / d \theta) (d \theta / dt) \quad (3.22)$$

burada $h_\theta = \theta$ açısına bağlı olarak malzeme kalınlığıdır.

Ortalama deformasyon hızını denklemin her iki tarafın da integrali alınarak elde edilmektedir.

$$\epsilon = 1 / \alpha \int_0^\alpha \dot{\epsilon}_\theta d\theta = 1 / \alpha \int_0^\alpha (1 / h_\theta) (dh_\theta / d\theta) (d\theta / dt) d\theta, \quad (3.23)$$

$$dh_\theta / d\theta = (d / d\theta) (h_2 + R' \theta^2) = 2R' \theta \quad (3.24)$$

$$d\theta / dt = \pi N / 30 \quad (3.25)$$

Ortalama deformasyon hızını gerekli kısaltmalar yapılmış aşağıdaki formda yazılabilir.

$$\dot{\epsilon} = (\pi N / 30) (\sqrt{R' / h_1}) (1 / \sqrt{r}) \ln(1 / 1-r) \quad (3.26)$$

N = Hadde merdanesi açısal hızı (rpm)

R' = Deforme olmuş merdanenin yarıçapı

r = Malzemeye verilen ezme oranı

3.2.3.2 Ford - Alexander çözümü

Ford-Alexander'ın önerdikleri ortalama deformasyon hızı çözümüne göre deformasyon bölgesinin herhangi bir bölgesindeki deformasyon hızı şu formülle ifade edilir (Ginzburg, 1989);

$$\dot{\epsilon}_x = (1 / h_x) (d h_x / dt) = (1 / h_x) (d h_x / dx) (dx / dt), \quad (3.27)$$

x = Çıkış düzleminde olan uzaklık,

$h_x = x$ mesafesindeki malzeme kalınlığı,

bu formülde;

$$d x / d t = V_x = V_n (h_n / h_x) \cos \theta_n \quad (3.28)$$

V_x = x mesafesindeki malzemenin yatay hızı

V_n = Merdane çevresel hızı

h_n = Nötr noktada malzeme kalınlığı

θ_n = Nötr açısı

Denklem (3.28)'de $\cos \theta_n$ ihmal edilebileceğinden dolayı formül

$$d x / d t = V_n(h_n/h_x) \quad \text{şeklini alır,} \quad (3.29)$$

Deformasyon bölgesi geometrisinden de aşağıdaki bağıntı kurabilir.

$$dh_x / dx = (d / dx) (h_2 + (x^2 / R)) = 2x / R \quad (3.30)$$

Denklem (3.29) ve (3.30) birleştirilir ve (3.27)'de yerine konacak olursak

$$\epsilon_x = (2x / h_x^2) (V_n \cdot h_n / R), \quad (3.31)$$

buradaki V_n ve h_n aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$V_n = 2\pi R N / 60 \quad h_n = h_2 + (x_n^2 / R)$$

$$x_n = h_2 \cdot L / (h_1 + h_2)$$

N = Hadde merdanesi çevresel hızı (rpm).

Bu durumda x mesafesindeki deformasyon hızını (ϵ_x); r , V_n , R , ve h_1 cinsinden yazabiliriz.

$$\epsilon_x = (2 V_n / \sqrt{R h_1}) [(4 - 3r)(1 - r)(\sqrt{1 - r x}) / (2 - r)^2 (1 - r x)^2] \quad (3.32)$$

Burada;

$$r x = (h_1 - h_x) / h_1 \quad (3.33)$$

Ortalama deformasyon hızını herhangi bir paso için denklem (3.31)'un her iki tarafını da integrali alınarak elde edilebilir.

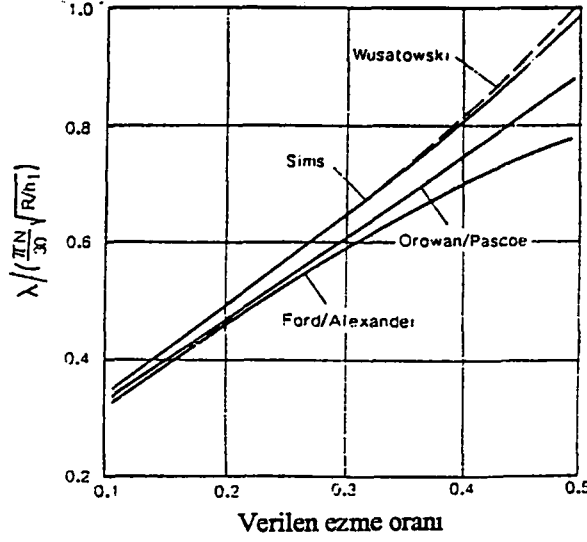
$$\bar{\epsilon} = 1 / L \int_0^L \epsilon_x dx = (V_n \cdot h_n / L) (1/h_2 - 1/h_1) \quad (3.34)$$

Bu denklem bizi ortalama deformasyon hızına götürür.

$$\dot{\epsilon} = (\pi N / 30) (\sqrt{R/h_1}) [(4-3r)/(2-r)^2] \quad (3.35)$$

Gerekli kısaltmaları yaparsak son denklemimiz;

$$\dot{\epsilon} = (\pi N / 30) (\sqrt{R/h_1}) [1+(r/4)]\sqrt{r} \quad (3.36)$$



Şekil 3.4. Değişik formüllerle hesaplanmış ortalama deformasyon hızının karşılaştırılması
(Ginzburg, 1989)

3.2.4 Dinamik Akma Gerilmesi

Haddeleme kuvvetinin hesaplanması için deformasyon hızına ve sıcaklığa bağlı olan dinamik akma gerilmesinin bilinmesi gerekmektedir. Çeliğin östenit fazında ortalama deformasyon hızına ve sıcaklığına bağlı olarak dinamik akma gerilmesiyle ilgili ampirik olarak birçok denklem geliştirilmiştir (William, 1988).

Tarokh ve Seredynski, Sims'in yapışma sürtünmesini esas alan bir model geliştirmişlerdir. Bu denkleme göre;

$$S = a_0 + a_1 / T^2 + a_2 r^{1/2} + a_3 r^{1/2} / T + a_4 r^{1/2} \log \dot{\epsilon} \quad (3.37)$$

S = Plastik akma gerilmesi (psi)

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 = Katsayılar

T = Sıcaklık (°C)

$\dot{\epsilon}$ = Ortalama deformasyon hızı (sn^{-1}) (Sims çözümü)

r = Ezme oranı

Moller 0.20 C’lu çelik için 2 sn⁻¹ deformasyon hızında aşağıdaki ampirik bağıntıyı geliştirmiştir.

$$k = -1.429 + 4.985(T / 1000)^2 - 21.36 r^{1/2} + 33.08 r^{1/2} (T / 1000)^{-1} \quad (3.38)$$

$$k = S = \text{Dinamik akma gerilmesi(Mpa)}$$

Kayma sürtünmesinin olduğu durumda ise dinamik akma gerilmesi şu bağıntıyla hesaplanabilir.

$$S = 238.5 \exp. (8.53 * 10^3 / (459 + T_h)) + 2600 \log_{10} \dot{\epsilon} \quad (3.39)$$

$$T_h = \text{Haddeleme sıcaklığı}$$

Hatta ve Kokado ise dinamik akma gerilmesi için şu formülü kullanmışlardır.

$$S = 1.15 \times 1.5 \times 10^6 (1 - h_{i+1}/h_i)^{0.2} \times ((1 - h_{i+1}/h_i)(v_i + v_{i+1}) / (2(R(h_i - h_{i+1})))^{1/2})^{0.1} \exp.(2850/(T+273)) \quad (3.40)$$

Burada;

h_i ve h_{i+1} = Malzemenin i. pasodaki haddeye giriş ve çıkış kalınlığı

v_i ve v_{i+1} = malzemenin i. pasodaki haddeye giriş ve çıkış hızı

3.2.5 Sıcak Haddelemede Sürtünme Etkisi

Haddeleme teoristleri ilk başlarda deformasyon bölgesinde yapışma sürtünmesinin(sticking friction) meydana geldiğini kabul ediyorlardı. Malzeme ile merdane yüzeyinin temas ettiği bölgedeki etkin yapışma sürtünmesi katsayısı yaklaşık 0.577 olarak bulunmuştu. Günümüzde ise merdane ile malzeme arasında daha düşük katsayılı kayma sürtünmesinin(slipping friction) var olduğu kabul edilmektedir.

Sürtünmeye etki eden faktörler sıcaklık, malzeme yüzeyinde oluşan tufal, yağlama ve merdane ile malzemenin yüzey durumudur.

Malzemenin yüzeyinde bulunan tufal yağlama görevi gördüğünden sürtünme katsayısını azaltmaktadır.

Yağlamanın yapılmadığı haddeleme durumunda sıcaklık (T) ile sürtünme katsayısı (μ) arasındaki ilişki aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\mu = 2.7 \times 10^{-4} T - 0.08 \quad (3.41)$$

Araştırmacılar sürtünme katsayısı için yaklaşık 0.2 ile 0.5 arasında değerler elde etmişlerdir.

Yağlamanın yapıldığı zaman sürtünme kuvveti 0.2 ile 0.3 arasında değişmektedir. Değişimi etkileyen etkenler ;

- Yağlayıcının kimyasal ve fiziksel özelliği,
- Uygulama şekli ile miktarı,
- Malzemenin sıcaklığı,
- Malzemenin yüzey durumu (özellikle tufal kalınlığı),
- Hadde merdanesinin yüzey pürüzlülüğüdür.

Villiam Roberts'in (1983) yaptığı deneylerde yağlı haddeleme yapıldığı zaman sürtünme katsayısını yaklaşık olarak veren bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$\mu = 2.77 \times 10^{-4} \exp(2.61 \times 10^4 / (4.59 + T)) + 0.21 \quad (3.42)$$

T = Sıcaklık °F

3.3 Haddeleme Yükünün Hesabında Kullanılan Teorik Metotları

Sıcak haddeleme prosesinde malzemeyi haddelemek için uygulanacak yükün önceden tespiti için çok basitten çok karmaşık denklemlere kadar birçok matematiksel metot geliştirilmiştir. Uygulanacak haddeleme kuvvetinin hesabında prosesin kompleks olması ve çoğu ölçülemeyen birçok faktöre bağlı olduğundan dolayı haddeleme prosesinin tam bir teorik analizi henüz matematiksel olarak çözülememiştir. Önerilen formüller ve metotlar deneysel sonuçlar ile kesin bir uyum gösterememektedir. Erdemir 1. Sıcak haddehane şerit haddeleme haddeleme yükü hesabı için yapılan araştırmalarda (Tozlu,1992 ve Sarıoğlu,1994) Geleji metodunun gerçek haddeleme yüküne en yakın değeri verdiğini bulmuştur. Bununla beraber haddeleme prosesinde kullanılan otomatik kontrol tekniklerinin gelişmesiyle birlikte daha güvenilir modeller kullanılmaya başlanılmıştır. Dahası adaptif tekniklerinin uygulanmasıyla haddeleme kuvveti ve diğer parametrelerin tahmini her hadde prosesi ve malzeme için daha kolay bir şekilde yapılmaktadır. Bugün Erdemir 2. Sıcak haddehanesine kullanılan otomasyon sisteminde haddeleme yükünün hesaplanmasında kullanılan kuvvet modellerinde Sims ve Ford-Alexander denklemleri de kullanılmaktadır. Bu çözümler bugün on-line kullanılan yarı ampirik adaptif kuvvet modellerine temel teşkil etmektedir (Özsoy vd.,1992).

Haddeleme yükünün hesabında kullanılan teorik modellerden Geleji, Sims ve Ford-Alexander çözümü incelenmiştir.

Bir sonraki bölümde haddeleme kuvvetini hesaplamak için teorik modeller yerine haddeleme kuvvetinin ve hadde sıçramasının ne olacağının önceden tahmini için deneysel modelleme yoluna gidilmiştir. Teorik modellerden Geleji, Sims ve Ford-Alexander metodu aşağıda incelenmiştir.

3.3.1 Geleji Metodu

Geleji haddeleme yükünün hesaplanması için kullanılan deformasyon direnci için aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

$$K_w = 1.15Y (1 + c \mu Z a^4 \sqrt{V}) \quad (3.43)$$

Bu denklemi (3.9)'da yerine konacak olursa Geleji'nin önerdiği haddeleme kuvveti;

$$P = 1.15Y (1 + c \mu Z a^4 \sqrt{V}) w.L \quad (3.44)$$

Y = Haddelenen malzemenin sıcaklığa bağlı akma gerilmesi, kg/mm^2 ,

c = Geometrik faktör(Geleji)

Za = Deformasyon bölgesinde aritmetik ortalama en-boy oranı(denklem 3.17)

μ = Sürtünme katsayısı

V = Merdanenin çevresel hızı, m/sn .

Akma gerilmesinin hesabı için T haddeleme sıcaklığında aşağıdaki formülü önermiştir.

$$Y = 0.015 (1400 - T) \quad (3.45)$$

Bu formül $800-1300^\circ\text{C}$ arasında haddelenmiş ve oda sıcaklığında 60 kg/mm^2 ye kadar çekme mukavemeti olan karbon çelikleri için geçerlidir.

Geometrik faktör c aritmetik ortalama en-boy oranının bir fonksiyonu olarak iki aralıkta verilmiştir.

$$0.25 < Za < 1 \quad \text{ise} \quad c = 17.Za^2 - 29.85 Za + 18.3 \quad (3.46)$$

$$1 < Za < 3 \quad \text{ise} \quad c = 0.8Za^2 - 4.9 Za + 9.6 \quad (3.47)$$

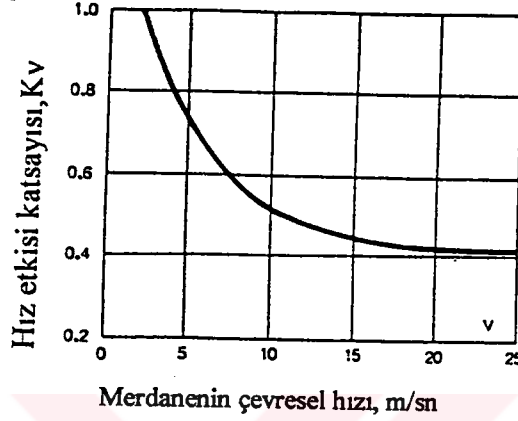
Sürtünme katsayısı μ haddeleme sıcaklığına (T), hadde merdanesi cinsine, yüzey durumuna ve haddeleme hızına (V) bağlı olarak aşağıdaki denklemleri kullanmıştır.

$$\mu = (1.05 - 0.005 T) K_v \quad (\text{Çelik merdane için}) \quad (3.48)$$

$$\mu = (0.92 - 0.005 T) K_v \quad (\text{Sertleştirilmiş çelik merdane için}) \quad (3.49)$$

$$\mu = (0.82 - 0.005 T) K_v \quad (\text{Sertleştirilmiş ve yüzeyi taşlanmış çelik merdane için}) \quad (3.50)$$

K_v = Hız etkisi katsayısı



Şekil 3.5 Hız etki katsayısı ile merdane yüzey hızı arasındaki bağıntı (Ginzburg, 1989)

3.3.2 Sims Metodu

Sims deformasyon bölgesinde temas yayı boyunca yapışma sürtünmesi olduğunu varsayarak aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

$$P = K_w \cdot L \cdot w \quad (3.51)$$

$$K_w = Q_p \cdot S \quad (3.52)$$

$$P = Q_p \cdot S \cdot w \cdot L \quad (3.53)$$

Burada;

P = Haddeleme yükü

K_w = Deformasyon direnci

Q_p = Geometrik faktör

S = Ortalama dinamik akma gerilmesi

w = Haddelenen malzemenin genişliği

Geometrik faktör Q_p aşağıdaki şu formülle ifade edilir.

$$Q_p = [(\pi / 2a)\tan^{-1} a - (\pi / 4) - (1/a)(\sqrt{R'/h_2})[\ln(hn/h_2)+1/2\ln(a^2/r)]] \quad (3.54)$$

$$a = r(1 - r) \quad (3.55)$$

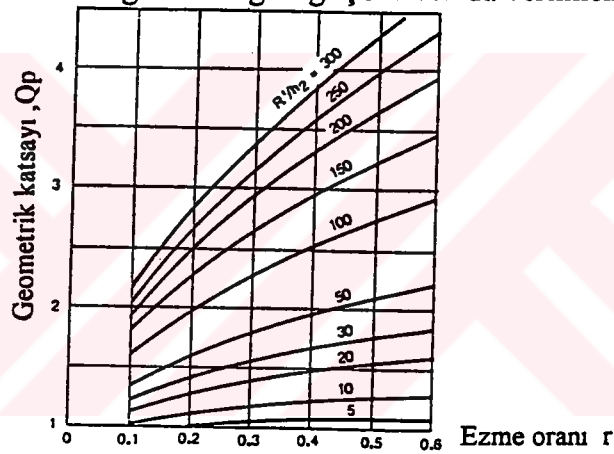
hn = nötr noktadaki malzeme kalınlığı

$$hn = h_2 + (x^2 / R) \quad (3.56)$$

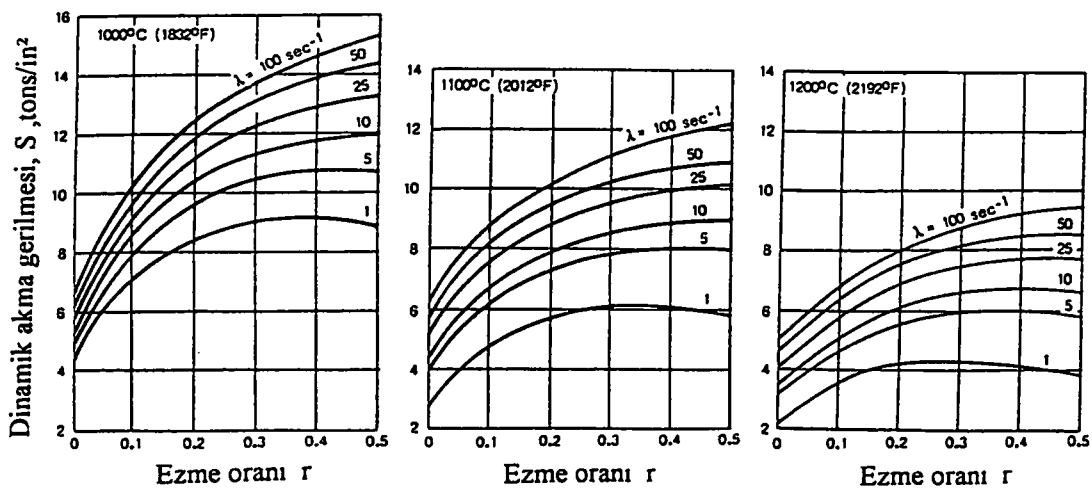
Dinamik akma gerilmesi S_p aşağıdaki denklemle elde edilmektedir.

$$S = \frac{1}{\alpha} \int_0^{\alpha} S d\theta, \quad (3.57)$$

Sims'in Q_p geometrik faktörünün grafikse hesabı Şekil 3.6'de ve 1000-1100-1200 °C' de 0.17 C'lu çelik için dinamik akma gerilmesi grafiği Şekil 3.7'da verilmektedir.



Şekil 3.6 Sims geometrik faktörü (Ginzburg, 1989)



Şekil 3.7 1000-1100-1200 °C' de 0.17 C'lu Çelik için dinamik akma gerilmesi grafiği

3.3.3 Ford - Alexander Metodu

Ford – Alexander metoduna göre deformasyon bölgesinde dinamik akma gerilmesi (S) ile aritmetik ortalama en-boy oranı (Za) esas alınmaktadır.

$$P = K_w . L . w$$

$$K_w = 2 . k_g k = k_g S, \quad (3.58)$$

$$k_g = 0.25 (\pi / Z_a), \quad (3.59)$$

$$P = 0.25 w L (\pi / Z_a) S, \quad (3.60)$$

Burada;

P = Haddelene yükü

K_w = Deformasyon direnci

S = Ortalama dinamik akma gerilmesi

L = Temas yayı uzunluğu

w = Şerit genişliği

Z_a = Deformasyon bölgesi aritmetik ortalama en –boy oranı

k = Haddelenen malzemenin ortalama kesme akma gerilmesi

k_g = Geometrik faktör

Hadde yassılaştırması göz ardı edildiği durumda deformasyon direncini (K_w) aşağıdaki denklemlerle formüle etmişleridir.

Hadde yassılaştırmasının göz ardı edilemeyeceği durumda deformasyona uğramış merdanenin yarıçapı;

$$R' = R [1 + (C . P / w . \Delta)]$$

$$C = 16(1 - \gamma^2) / \pi . E$$

Deformasyon direnci yeniden aşağıdaki şekilde elde edilebilir (Ginzburg, 1989).

$$K_w' = K_w / (1 - x . k) \quad (3.61)$$

$$x = (\pi . C / 2r) \sqrt{(R/h_1)(2C/2-r)(R/h_1)} \quad (3.62)$$

3.3.3.1 Sims ve Ford-Alexander'ın önerdiği akma gerilmesi hesaplarının karşılaştırması

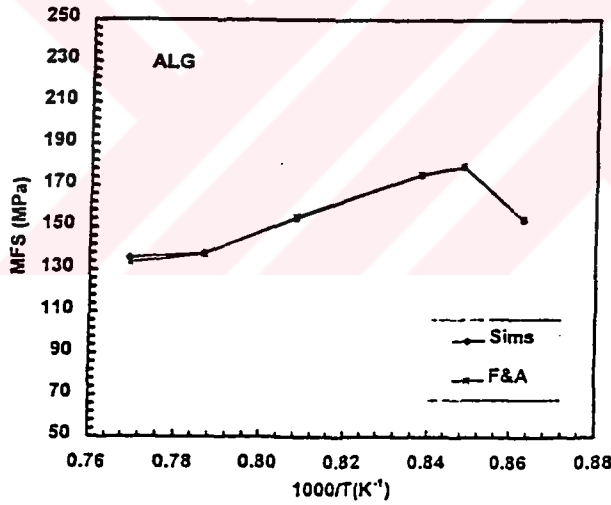
Ford –Alexander metodu, deformasyon direncinin hesaplanmasındaki kolaylıktan dolayı on-line çalışan modellerde kimi zaman kullanılmıştır. Onların denklemi ortalama kesme akma gerilmesi (S) (MSYS “mean shear yield stress”) aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$S = MSYS = P / [(\sqrt{R(h_1, h_2)})(1.57 + (\sqrt{R(h_1, h_2)} / (h_1 + h_2)))] \quad (3.63)$$

Sims'in yaklaşımında ortalama dinamik akma gerilmesinden bahsederken F&A metodu ortalama kesme akma gerilmesinden bahsetmektedir. Kesme akma gerilmesinden dinamik akma gerilmesine geçiş faktörü 2'dir. Bununla beraber Sims'in çözümünde sade gerinim düzeltmesi olarak sade akma gerinimini $2\sqrt{3}=1.15$ 'e bölünmesiyle elde edilen etkin akma gerilmesini(MFS “mean flow stress”) kullanmaktadır. Buradan Sims ve F&A arasındaki bağıntı;

$$MFS_{sims} = \sqrt{3} MSYS_{F\&A} \quad (3.64)$$

Bu iki metot şekil (3.8)'de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre her iki metot ile yapılan hesaplama birbirine çok yakındır ve ikisi de kullanılabilir (Siciliano, J.F. vd).



Şekil 3.8 Sims ve Ford-Alexander'ın MFS hesaplamalarının karşılaştırılması(Siciliano,J.F vd.)

4. HADDELEME YÜKÜ TAHMİNİ İÇİN DENEYSEL MODELLEME

Bir prosesin matematiksel bir modeli sonuçların önceden tahmini için gerekli bir araçtır. Matematiksel haddeleme modelleri haddeleme kuvveti, torq ve slab sıcaklığının önceden tahmini ile ilgilidir. Bu haddeleme prosesi matematiksel modellerinin deneysel doğrulanması için çeşitli araştırmacılar tarafından oldukça fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Bu araştırmaları sonucunda hiçbir matematiksel teorik modelin güvenilir bir sonuç vermediği bulunmuştur. Dahası modellerin katsayıları belirli bir malzeme için, belirli bir hadde tezgahı ve deneyin yapıldığı zaman için belirlenmiştir. Bu modellerdeki katsayılar haddeleme prosesi için adaptif kontrollerin kullanılmasıyla geçerleştirilebilir.(Özsoy,1993). Şu an Erdemir 2. Sıcak haddehanesinde bir önceki bölümde incelenen Sims'in ve Alexander-Ford'un matematiksel kuvvet modelleri de doğrudan veya modifiye edilmiş halleri ile otomasyon sisteminde adaptif olarak sistem parametrelerin güncelleştirilmesiyle çalışılmaktadır. Oluşturulmuş olan bu adaptif modeller oldukça karmaşıktır ve yüklü bir maliyeti beraberinde getirmektedir.

Kuvvet modelinin oluşturulmasında diğer bir araç da deneysel modellemedir. Deneysel modellemede amaç kullanılan haddeleme prosesinin tanımlanmasını sağlamaktır. Sistem tanımlama proses modellemeye deneysel bir yaklaşımdır. Bunu yaparken kuvvet modeline etki eden ana parametrelerin sisteme giriş ve çıkış verilerinin kaydedilmesi, düzenlenmesi gerekmektedir. Bu durumda ölçümlerden alınan verilerden sistemin bilinmeyen parametrelerin belirlenebilmesi için bir metoda ihtiyacımız vardır. Genel bir yaklaşım olarak problemi bir optimizasyon problemi olduğundan temel en küçük kareler yöntemi genel bir yaklaşım olacaktır. Sistemin bilinmeyen parametrelerini belirleyebilmek için çok terimli en küçük kareler regresyonu metodu seçilmiştir.

Deneysel modellemenin ana prensibi sistemin geçmiş verilerini kullanarak bir sonraki adımda sistemin çıkış değerinin ne olacağını tahmin etmektir. Model parametrelerin belirlenebilmesi için kullanılacak verilerin sistemle alakalı tüm özellikleri sergilemesi gerekmektedir (Ljung,1995).

Bu çalışmada off-line olarak deneysel model oluşturulmuştur. Bu yüzden model parametreleri güncelleştirilememektedir. Modelin on-line çalışması durumunda model parametrelerinin güncelleştirilmesi için tekrarlamalı en küçük kareler yöntemi algoritması (Recursive least squares estimation algorithm(RLS)) kullanılmalıdır. Bu durumda zaman içinde giriş ve çıkış değerleri değiştikçe model de değişecek ve sürekli olarak kendini yenileyecektir. (Özsoy,1993; Wellstead ve Zarrap).

4.1 Sistem Tanılama Teorisi

Sistem tanılamamın (System Identification) kökleri standart istatistiksel tekniklere dayanmaktadır. Hatta temel iş programlarının bir çoğu en küçük kareler ve maksimum olasılık metotları gibi çok iyi bilinen istatistiksel tekniklerle direk olarak ilgilidir.

Kontrol biliminde , 1960'lı yılların başında modern kontrol teorilerinin oluşmasından hemen sonra dinamik sistemlerde bu basit tekniklerin uygulanmaları ve geliştirilmesiyle aktif döneme girilmiştir. Maksimum olasılık kestirimi değişik denklemlere(ARMAX modeli) Åström ve Bohlin(1965) tarafından uygulanmıştır. Bundan sonra kestirim teknikleri geniş bir alana yayılmıştır. Bugün, bu alan daha iyi anlaşılmış ve yayınlanmış teknikler ile iyice olgunlaşarak endüstriyel kullanımı ve tekniklerin uygulanmaları standart hale gelmiştir. (Ljung,1995).

Kontrol sistemlerinde sistemin bir matematik modelinin olması yani sistemin tanılanmış olması gerekmektedir. Bir sistemin çözümünde ilk adım onun modelini çıkarmaktır. Modeller gerçekliğin sadeleştirilmiş şekilleridir.

Sistem tanılama proses modellemeye deneysel bir yaklaşımdır. Sistem tanılama şu bölümlerden oluşur. (Wittenmark ve Åström,1984)

- Deneysel planlama,
- Model yapısının seçimi,
- Parametre tahmini,
- Model geçerliliğinin araştırılması.

Pratikte sistem tanılamamın prosedürü yenilemelidir. Bir proses incelenirken ön bilgilerin yetersiz kaldığı durumlarda, sistemin dinamiğini ve bozucuların kaba bir tahmin yapılabilmek için geçici rejim veya frekans cevabı analiziyle başlamak daha uygundur. Elde edilecek sonuçlar ileride yapılacak deneyleri planlamak için kullanılabilir. Elde edilen veriler, modeldeki bilinmeyen parametreleri tahmin etmekte kullanılır. Alınacak sonuçlara göre model yapısı geliştirilebilir veya değiştirilebilir (Wittenmark ve Åström,1984).

İncelediğimiz haddeleme prosesinden elde ettiğimiz verilerin kurduğumuz model için yeterli olmasından dolayı geçici rejim ve frekans cevabı analizi kullanılmamıştır.

4.1.1 Deneysel Planlama

Endüstriyel proseslerde deney yapılması sitem itibariyle genellikle zor ve pahalıya mal olan bir işlemdir. Bu yüzden özel giriş sinyalleri gerektirmeyen tanılama metodu tercih edilir. Birçok klasik metot özel giriş sinyali olarak sinüs veya anidarbe formundaki kullanımına bağlıdır. Giriş sinyalinden istenen, prosesin bütün modellerini uyarmasıdır.

Sistem tanılamayı prosesin kapalı çevrim kontrolünde elde edilen veriler üzerine kurmak da mümkün olmaktadır. Bu uygulamalar açısından yararlıdır. Örneğin adaptif kontroller çoğunlukla kapalı çevrim tanılama üzerine kurulmuşlardır. Bir prosesten veriler elde edilirken ana zorluk modelin gereksinim duyduğu bütün parametrelerin belirlemenin güçlüğünden kaynaklanmaktadır. Bu parametreler açık çevrim deneylerden sağlansa bile sistem tanılanamamaktadır. (Wittenmark ve Åström, 1984).

Bu çalışmada kurduğumuz modellerde kullanılacak verileri Ereğli Demir Çelik Fabrikaları 2. Sıcak haddehanedeki General Electric'in kurduğu kapalı çevrim, adaptif, otomasyon sisteminden elde edilmiştir. Bu sistemden verilerin alınmasındaki amaç kurulmuş olan ölçüm aletlerinden daha sağlıklı yararlanmak ve iyi işleyen bir haddeleme modeliyle kuracağımız modelimizi karşılaştırmaktır.

4.1.2 Model Yapıları

Model yapısı proses ve bozucuların ön bilgilerinden tayin edilir. Bazı durumlarda ön bilgi sadece prosesin belirli bir işlem aralığında doğrusal olarak tanımlanabilmesidir. Bu durumda doğrusal sistemlerin genel özelliklerini kullanmak doğaldır. Buna tipik bir örnek;

$$y(t) + a_1y(t-1) + \dots + a_ny(t-n) = b_1u(t-1) + \dots + b_mu(t-m) \quad (4.1)$$

Denklemden y çıkış u ise giriş olarak tanımlanmıştır.

4.1.2.1 Kriterler

Bir tanılama problemini formüle ederken modelin deneysel verileri ne kadar karşıladığının ölçümü için bir kriter verilir. Kriter bir ön gerçek olarak ifade edilebilir. İstatistiksel varsayımlar yapılarak kriteri olasılık argümanlarından da elde etmek mümkündür. Ayrık zaman sistemlerinde kriter olarak genellikle aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$J(\Theta) = \sum_{i=1}^N \epsilon_i \quad (4.2)$$

Burada ϵ giriş hatası, çıkış hatası veya bir genelleştirilmiş hatadır.

Bir tanılama probleminin ilk formülasyonu, çözümü ve uygulaması Ceres Astroid'inin yörüngesini belirleyebilmek için Gauss tarafından verilmiştir. Gauss tanılama problemini bir optimizasyon problemi olarak formüle etti ve en küçük kareler prensibini önerdi. Bu metot hataların karelerinin toplamının minimum hale getirmek üzerine kurulmuştur. Sonraları en küçük kareler kriteri yaygın olarak kullanılmaya başlandı.

En küçük kareler metodu oldukça basit ve anlaşılması kolaydır. Bazı durumlarda yanlış ortalamalı değerler verse de değişik eklemelerin kullanılmasıyla bu sorunun üstesinden gelinebilmektedir. En küçük kareler metodu bilinmeyen parametrelerin doğrusal olduğu model yapısında kullanılabilir (Wittenmark ve Åström,1984).

4.1.3 Parametre Tahmin Metotları

Parametre tahmin probleminin çözümü için;

- Prosese ait giriş ve çıkış verileri
- Modelin türü
- Bir kriter

gerekmektedir. Parametre tahmini bir optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir. Verilen kritere göre sistem verilerine mümkün olduğunca uyan model en iyi modeldir.

Problemin tahmin sonuçları problemin nasıl formüle edildiği ile ilgilidir. Deney şartlarını, model tiplerini ve kriterleri birleştirmek için birçok olasılık vardır. Aynı zamanda hesaplamaları düzenlemek için birçok değişik yol vardır. Bu ikisini göz önüne aldığımızda çok fazla sayıda değişik tanılama metotları bulunabilir. Genel olarak model tiplerin ikiye ayırmak mümkündür.

- On-line metodular
- Off-line metotlar

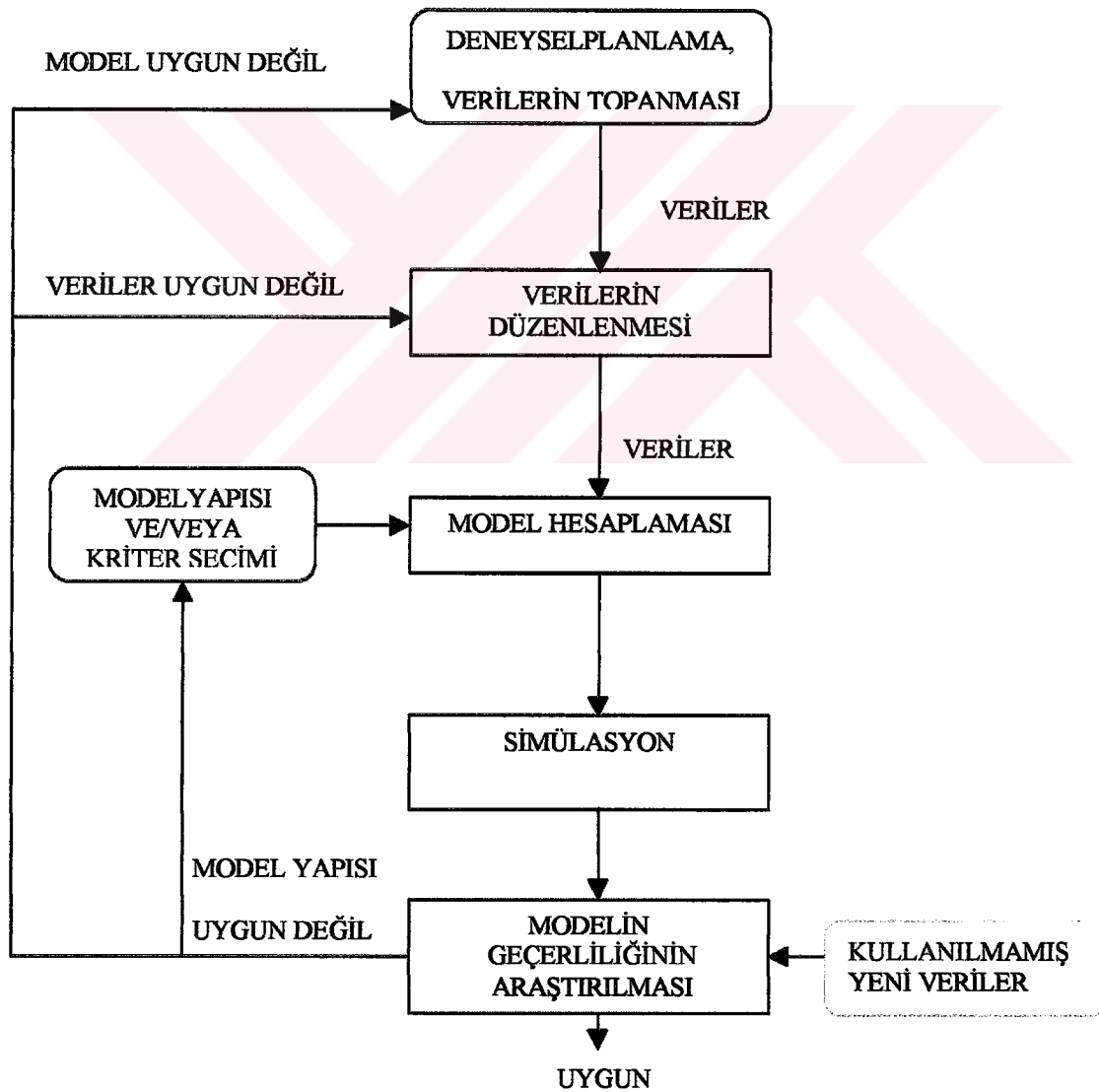
On-line metotlar, sistemden ölçümlerin alınmasıyla tahminleri ardışık olarak verir. Sistem tanılama için adaptif kontroller kullanılıyorsa ve proses zamanla değişkenlik gösteriyorsa on-line metot tek alternatiftir.

Birçok durumda off-line metotlar daha güvenilir ve doğru tahminler vermektedir. (Wittenmark ve Åström,1984)

Biz modelimizde off-line olarak çalışacağız.

4.1.4 Model Geçerliliği

Sistemden ölçülen veriler yardımıyla bir model oluşturulduğunda, modelin varsa yetersiz kaldığı yerleri görmek için modeli kontrol etmek yani geçerliliğini araştırmak gereklidir. Modelin geçerliliğini araştırmak için basamak cevabı , anidarbe basamak cevabı, model hataları ve tahmin hataları gibi faktörlerin belirlenmesi gerekir. Model, değişimlere duyarlı veri bölümlerin araştırılması ve bunun neden kaynaklandığının tespit etmeye olanak sağlar ve bu sayede model geliştirilebilir veya değişiklik yapılabilir (Wittenmark ve Åström,1984).



Şekil 4.1 Sistem Tanılama Döngüsü

4.2 En Küçük Kareler Yönteminin Prensibi

En küçük kareler prensibine göre sistemde ölçülen ve modelden hesaplanan değerlerin farklarının kareleri toplamı, minimum olmalıdır.

Genel olarak en küçük kareler probleminde hesaplanan değer y^* , Gauss terminolojisinde model tarafından aşağıdaki şekilde verilir;

$$y^* = \Theta_1 \varphi_1(x) + \Theta_2 \varphi_2(x) + \dots + \Theta_n \varphi_n(x) \quad (4.3)$$

Burada $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ bilinen fonksiyonlar ve $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n$ bilinmeyen parametrelerdir. Gözlemlenen çiftler $\{(x_i, y_i); i=1,2,3,\dots,N\}$ sistemde ölçülen değerlerden elde edilmektedir. Buradaki problem model tarafından hesaplanan y^* çıkış değerlerinin belirlemek, deneysel x_i değerlerini, ölçülen sonuç değerler olan y_i değerlerine mümkün mertebe yakınlaştırmaktır. Ölçümlerin tümünün aynı hassasiyet ile alındığı varsayarsak, en küçük kareler prensibine göre parametreler kayıp fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde seçilebilir.

$$J(\Theta) = 1/2 \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 \quad (4.4)$$

Değerinin minimum olması gerekmektedir. Burada;

$$\varepsilon_i = y_i - y_i^* = y_i - \Theta_1 \varphi_1(x_i) - \Theta_2 \varphi_2(x_i) - \dots - \Theta_n \varphi_n(x_i) \quad (4.5)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N$$

hesaplamayı kolaylaştırmak için, aşağıdaki vektörler sembollerle gösterilmişlerdir.

$$\varphi = [\varphi_1 \ \varphi_2 \ \varphi_3 \dots \varphi_n]^T \quad (4.6)$$

$$\Theta = [\Theta_1 \ \Theta_2 \ \Theta_3 \dots \Theta_n]^T \quad (4.7)$$

$$y = [y_1 \ y_2 \ y_3 \dots y_N]^T \quad (4.8)$$

$$\varepsilon = [\varepsilon_1 \ \varepsilon_2 \ \varepsilon_3 \dots \varepsilon_N]^T \quad (4.9)$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} \varphi^T(x_1) \\ - \\ \varphi^T(x_N) \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

En küçük kareler problemi şimdi kısa bir şekilde formüle edilebilir. Kayıp fonksiyonu $J(\Theta)$ ifadesi aşağıdaki şekilde tekrar yazılabilir.

$$J(\Theta) = 1/2 \epsilon^T \epsilon = \|\epsilon\|^2 \quad (4.11)$$

Burada

$$\epsilon = y - y^* \quad (4.12)$$

ve

$$y^* = \Phi \Theta \quad (4.13)$$

(4.13), (4.12)'de yerine konursa

$$\epsilon = y - \Phi \Theta \quad (4.14)$$

bulunur.

Θ parametresini $\|\epsilon\|^2$ yi minimal yapılarak elde edilebiliriz.

(4.14'deki) ϵ , (4.11)'de yerine konursa kayıp fonksiyonu aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir.

$$\begin{aligned} 2J(\Theta) &= \epsilon^T \epsilon = [y - \Phi \Theta]^T [y - \Phi \Theta] \\ &= y^T y - y^T \Phi \Theta - \Theta^T \Phi^T y + \Theta^T \Phi^T \Phi \Theta \end{aligned} \quad (4.15)$$

$J(\Theta)$ 'nın Θ 'te göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse kayıp fonksiyonu minimum olur.

$$dJ(\Theta)/d(\Theta) = 0 \quad (4.16)$$

$$0 = -y^T \Phi - \Theta^T y + \Phi^T \Phi \Theta + \Phi^T \Theta^T \Phi$$

$$\Phi^T \Phi \Theta + \Phi^T \Theta^T \Phi = y^T \Phi + \Phi^T y$$

$$2 \Phi^T \Phi \Theta = 2 \Phi^T y$$

$$\Phi^T \Phi \Theta = \Phi^T y \quad (4.17)$$

elde edilir

Eğer $\Phi^T \Phi$ matrisi tekil değil ise minimum tektir ve aşağıdaki gibi verilir.

$$\Theta = \Theta^* = [\Phi^T \Phi]^{-1} \Phi^T y \quad (\text{Wittenmark ve Åström, 1984}) \quad (4.18)$$

4.3 Sistem Tanılama

En küçük kareler yöntemini, bir sistemin parametrelerinin hesaplanmasında kullanabiliriz.

Bir sisteme giriş ve çıkış verilerini genellikle k örnekleme anında u ve y ile gösteririz. k örnekleme anında sistemi

$$y(k) + a_1 y(k-1) + \dots + a_n y(k-n) = b_1 u(k-1) + \dots + b_n u(k-n) \quad (4.19)$$

sisteme giren giriş ve çıkışlar

$$u = [u_1 \ u_2 \ u_3 \ \dots \ u_N] \quad (4.20)$$

$$y = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ \dots \ y_N] \quad (4.21)$$

Bilinmeyen parametreler satır vektörü olarak gösterilir.

$$\Theta = [a_1 \ \dots \ a_n \ b_1 \ \dots \ b_n]^T \quad (4.22)$$

Çok kullanışlı bir yol olarak bir sonraki değeri geçmiş gözlemlerden belirleyebiliriz.

$$\phi(k+1) = [-y(k) \ \dots \ -y(k-n+1) \ u(k) \ \dots \ u(k-n+1)]^T \quad (4.23)$$

ve kriterimiz

$$J(\Theta) = 1/2 \sum_{i=1}^N \epsilon_i^2$$

minimumudur ve

$$\epsilon(k) = y(k) - y^*(k) = y(k) - \phi(k) \Theta$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} \phi(n+1) \\ - \\ - \\ \phi(N) \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

olacaktır.

$$\Theta^* = [\Phi^T \Phi]^{-1} \Phi^T y$$

$$y = \begin{bmatrix} y_{(n+1)} \\ y_{(n+2)} \\ \vdots \\ y_{(N)} \end{bmatrix}$$

olacaktır.

4.4 Matlab Sistem Tanılama Programı

Çok girişli ve tek çıkışlı (MISO) sistemler için Matlab paket programının model kestirim kontrol bölümünde sistem tanılama programı mevcuttur. Model tanılama sistemden alınan çıkış değerleri $y(k)$ ve giriş değeri $u_1(k)$, $u_2(k)$, $u_3(k)$, $u_{nu}(k)$,

$$y = \begin{bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ y(3) \\ \vdots \\ \vdots \\ y(N) \end{bmatrix} \quad u = \begin{bmatrix} u_1(1) & u_2(1) & \dots & u_{nu}(1) \\ u_1(2) & u_2(2) & \dots & u_{nu}(2) \\ u_1(3) & u_2(3) & \dots & u_{nu}(3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_1(N) & u_2(N) & \dots & u_{nu}(N) \end{bmatrix}$$

ve basamak cevabı katsayıları

$$\begin{bmatrix} s_{1,1} & s_{2,1} & \dots & s_{nu,1} \\ s_{1,2} & s_{2,2} & \dots & s_{nu,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{1,i} & s_{2,i} & \dots & s_{nu,i} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix}$$

belirlenir.

Basamak cevabı katsayılarını belirleyebilmek için tek giriş-tek çıkışlı (SISO) bir model aşağıdaki formda yazabiliriz.

$$\Delta y(k) = \sum_{i=1}^n h_i \Delta u(k-i) \quad (4.25)$$

burada

$$\Delta y(k) = y(k) - y(k-1) \quad (4.26)$$

ve

$$h_i = s_i - s_{i-1} \quad (4.27)$$

Buradaki h_i 'ler anidarbe cevabı katsayılarıdır. Bu model dizayncılara bütün giriş değerleri (u) ve çıkış değerleri (y) bilgilerini çoğunlukla istenen sapma formunda verilmesine olanak verir.

Genellikle parametrelerin belirlenebilmesi için bütün değişkenlerin aynı tür ve büyüklükte ölçeklendirilmesi tavsiye edilir. Bunu matlab'de ölçeklendirme fonksiyonu (autoscal veya scal) kullanılarak yapılabilir. Daha sonra veriler yeniden düzenlenerek aşağıdaki form'a sokulur

$$y = \varphi \Theta$$

Burada y bütün çıkış değerlerini ve φ bütün giriş değerlerini içermektedir. Θ bir vektördür ve kestirilen parametreleri içermektedir. Sisteme giriş ve çıkış verileri bilgilerini yeniden düzenleme işini wrtreg fonksiyonu yapmaktadır.

Öncelikle sisteme giriş verilerini içeren φ belirlendikten sonra Θ parametreleri matlab gibi modern sayısal yazılımlar sayesinde kolayca belirlenebilir. Biz bu Θ parametrelerini belirlemek için matlab'de model kestirimci denetim kutusundaki çokterimli en küçük kareler regresyonu [Multivariable Least Squares Regression (mlr)] yöntemi kullanıldı. Bunun dışında kısmi en küçük kareler regresyonu da (Partial Least Squares, PLS) kullanılabilir (Morari vd.,1994).

Modelimizin geçerliliğini araştırmak için kullanılmamış verilerden oluşturulan bir veri setiyle ani darbe cevabı modelinin geçerliliği araştırılmıştır.

Aşağıda bu bahsedilen fonksiyonlar ve yaptıkları işlevler açıklanmıştır.

4.4.1 Ölçeklendirme Fonksiyonu (scal)

Bir matrisin ortalaması ve standart sapmasının belirleyerek ölçeklendirir. Kullandığımız programda bu fonksiyonun kullanımı aşağıdaki gibidir.

$$sx = \text{scal}(x, mx, stdx)$$

Bir matrisin ölçeklendirmeye yarayan bu fonksiyon ile giriş matrisinin veya vektörün sütun ortalaması (mx), ve standart sapmasını (stdx) bulunur . Ölçeklendirme işlemiyle sisteme girişler belirli ortalama ve/veya standart sapmayla değerleriyle ölçeklendirilir.

Çıktılar;

mx = Bir satır çıkış vektörüdür ve X matrisinin her bir sütunu için ortalama değerini içerir.

stdx = Bir satır çıkış vektörüdür ve X matrisinin her bir sütunu için standart sapmayı içerir.

sx = Sütunun her bir değerinin standart sapmaya bölünmesiyle elde edilir.

Burada giriş matrisi standart sapmayla bölünmüştür. mx sütun ortalamaları her bir sütun için (0) alınmıştır (Morari vd.,1994).

4.4.2 Wrtreg fonksiyonu

Çok giriş ve tek çıkışlı sistemler için modele giriş ve modelden çıkış verilerinin regresyonunu anidarbe cevabı katsayılarını belirlemekte kullanılmak üzere düzenler.

Fonksiyonunu gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$[xreg, yreg] = \text{wrtreg}(x, y, n)$$

x = (N_x nu) boyutlu giriş matrisi

y = (N_x 1) boyutlu çıkış vektörü

n = Bütün girişler için anidarbe cevabının katsayılarını sayısı

N = Sisteme girilen verilerin sayısı

Bu fonksiyon yardımıyla sisteme giriş matrisi olan x matrisi n satır sayısı kadar ötelenmesiyle (N-n-1) x (nxnu) boyutlu xreg matrisi oluşturmak için tekrar düzenlenir.

yreg vektörü sistemin y çıkış sütun vektöründen n adet satırın silinmesiyle elde edilir. Burada çıkarılan n kadar veri anidarbe cevabı katsayılarını belirlemek için mlr fonksiyonunda kullanılır (Morari vd.,1994). Bu yapılan işlemler aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{1(1)} & \dots & x_{nu(1)} \\ x_{1(2)} & \dots & x_{nu(2)} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{1(N)} & \dots & x_{nu(N)} \end{bmatrix}_{N \times nu} \quad Y = \begin{bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ \dots \\ y(N) \end{bmatrix}_{N \times 1}$$

$$X_{reg} = \begin{bmatrix} x_{1(n)} & \dots & x_{1(1)} & \dots & x_{nu(n)} & x_{nu(1)} \\ x_{1(n+1)} & \dots & x_{1(2)} & \dots & x_{nu(n+1)} & x_{nu(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1(N-1)} & \dots & x_{1(N-n)} & \dots & x_{nu(N-1)} & x_{nu(N-n)} \end{bmatrix}$$

$$Y_{reg} = \begin{bmatrix} y_{(n+1)} \\ y_{(n+2)} \\ \dots \\ y_{(N)} \end{bmatrix}$$

4.4.3 Çokterimli En Küçük Kareler Regresyonu Yöntemi

Çok terimli en küçük kareler regresyonu yönteminin amacı çok girişli ve tek çıkışlı (MISO) olan bir sistemde anidarbe basamak cevabının katsayılarını belirlemektir.

Matlab'de model kestirimci denetim sistemleri (Model Predictive Control Toolbox) içinde bulunan bu fonksiyon aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$[theta, yres] = mlr(xreg, yreg, ninput, plotopt)$

Burada girişler;

$xreg$ = Wrtreg fonksiyonun oluşturduğu giriş matrisi.

$yreg$ = Wrtreg fonksiyonun oluşturduğu çıkış vektörü.

$ninput$ = Modele yüklenen giriş sayısı.

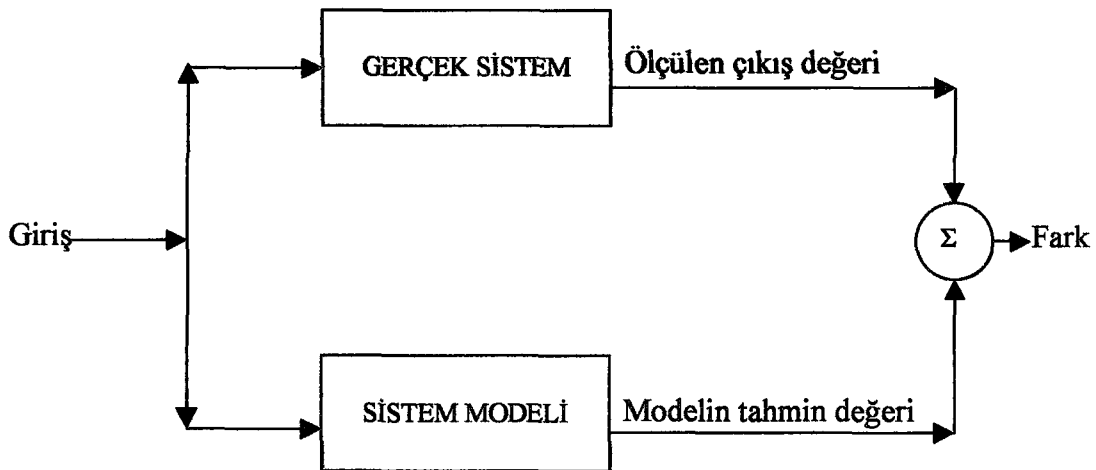
$plotopt$ = Çıkan sonuçları grafiğe aktarır.

Çıkışlar;

$theta$ = Ani darbe cevaplarını içeren katsayılar matrisidir. Her bir sütun belirli bir giriş ve çıkış değerleri için anidarbe basamak cevabının katsayılarıyla ilişkilidir.

$yres$ = Modelimizin hesapladığı değer ile sistemden ölçülen değerlerin farkı.

En küçük kareler yöntemi anidarbe cevabının katsayılar matrisini $theta$ 'yı belirlemek için kullanılır (Morari vd.,1994).



Şekil 4.2 Ölçülmüş çıkış değerleri ile modelin tahmin değerinin karşılaştırılmasıyla fark üretimi

4.4.4 Modelin Geçerliliğinin Araştırılması

Modelin geçerliliğini araştırmak bir modelin oluşturulmasında çok önemli bir bölümdür.

Modelde kullanılmayan yeni bir veri bölümünde modelinin daha önce bulmuş olduğu bilinmeyen parametrelerini kullanarak modelin tahmin ettiği değerler ile sistemden ölçülen değerlerin karşılaştırılmasıyla kolaylıkla test edilebilir.

Modelimizin geçerliliğini araştırmak için aşağıdaki fonksiyon kullanılmıştır.

`yres = validmod (xreg,yreg, theta ,plotopt)`

Kurulan bir modelinin geçerliliğini araştırmak için yeni, kullanılmamış veriler düzenlenerek (xreg ve yreg), modelin çıkış verileri ile gerçek değerler arasındaki farkın hesaplanmasıyla (yres), anidarbe cevabı modeli test edilmektedir. Theta, çok terimli en küçük kareler regresyonundan elde edilen anidarbe cevabı katsayılarından oluşur.



5. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

5.1 Kullanılan Malzemeler

Haddeleme prosesinin malzeme bazında tanımlanması için aşağıda kimyasal kompozisyonları verilen 4009 ve 5009 Erdemir kalitesi sıcak mamul çelikler kullanılmıştır. Boru ve profil imalatında kullanılan bu çeliklerin yaygın kullanımı nedeniyle daha zengin bir verinin işlenmesi mümkün olmuştur.

STANDART			KİMYASAL BİLEŞİM (%)				
Erdemir kalite no:	Standart	Karşılığı	C	Mn	P	S	Si
4009	ASTM A53-96 Gr.A	Standart Erdemir	0.25	0.95	0.050	0.045	0.35
			0.12	0.25	0.025	0.020	0.05
5009	ASTM A53-96 GrA	Erdemir	0,04	0,25	0.025	0.020	0.040

Tablo 5.1 Kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri

5.2. Kullanılan Hadde Tezgahı ve Özellikleri

Modellemede kullanılan veriler Ereğli Demir ve Çelik Fabrikası ikinci sıcak haddehanedeki kaba haddeden alınmıştır. Kaba hadde 4 merdaneli olup tersinir haddeleme yapmaktadır. Malzemeler kaba haddeye gelmeden önce bir ön haddeden geçirilerek yaklaşık %17 lik bir ezme verilmektedir. Kaba haddede her malzemeye 5 paso verilmek suretiyle istenilen kalınlığa getirilmiştir.

Paso sayısı malzemenin özelliğine, istenilen kalınlığa ve haddeleme şartlarına göre artırılabilir yada azaltılabilir. Genelde şerit ön malzemesi için toplam verilen paso 6 ile 8 arasında değişmektedir. Malzemelere kaba hadde girişinde basınçlı su püskürtmek suretiyle scal temizleme işlemi, işlem şartlarına göre yapılmaktadır.

Hadde tezgahının özellikleri aşağıda verilmiştir.

Kurucu	: WEAN UNITED
Elektrik aksamı	: GENERAL ELECTRIC
Maksimum yük	: 3000 ton
Maksimum çalışma yükü	: 2500 ton
Hadde merdanesi malzemesi	: Yüksek kromlu dökme demir : Dökme çelik (Adanit)
İş merdanesi yarıçapı	: 950-1050 mm
Destek merdanesi yarıçapı	: 123.19 –135.89mm
Maksimum haddeme hızı	: ± 100 rpm
Su püskürtme basıncı	: 180 bar

1995 yılında I.H.I ve General Electric tarafında genel bir modernizasyondan geçirilmiştir. General Electric'in kurduğu 4 seviyeli otomasyon sistemiyle çalışılmaktadır.

5.3 Verilerin toplanması

Modellerimizde kullanılan veriler her bir geçiş için;

- Uygulanan hadde yükleri
- Malzemeye verilen ezme miktarı
- Malzemenin haddeye giriş ve çıkış sıcaklıkları
- Malzemenin haddeye giriş ve çıkış kalınlıklar
- Her bir pasodaki verilen merdane açıklıkları

değerleri alınmıştır. Veriler ikinci sıcak haddehanedeki General Electric'in kurduğu 4 seviyeli otomasyon sisteminde kaydedilen verilerden ve proses modellerinin hesapladığı verilerden yararlanılmıştır.

4009 kalite malzeme için 269 adet çeşitli genişlik ve boylardaki slablardan veriler toplanmış ve yukarıdaki değerler düzenlenmiştir.

5009 kalite malzeme için ise 134 adet çeşitli genişlik ve boylarda slablardan veriler toplanmış ve yukarıdaki değerler düzenlenmiştir.

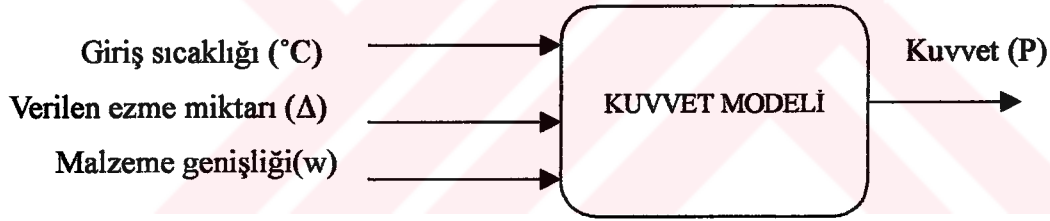
5.4 Oluşturulan Modeller

5.4.1 Kuvvet Modeli

Haddeleme kuvveti haddeleme sırasında çoğu ölçülemeyen birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler çalışmamızın birinci bölümünde incelenmişti. Haddeleme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan teorik kuvvet modelleri incelendiğinde haddeleme kuvvetine etki eden ana parametrelerin malzemenin haddeye giriş ve çıkış kalınlığı yani malzemeye verilen ezme miktarına, malzemenin genişliğine, kimyasal kompozisyonuna ve sıcaklığına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Buradan yola çıkarak sistem tanılama çalışmasında kuvvet modelimizi 3 girişli bir çıkışlı olarak kuruldu. Kimyasal kompozisyonu elimine etmek için modelimizde kullanacağımız verileri iki farklı malzeme için hazırlanıp ayrı ayrı modellenmiştir.

$$P(\text{sıcaklık, ezme oranı, genişlik, kimyasal kompozisyon})$$

Modelin blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.1 Kuvvet modelinin blok diyagramı

5.4.2 Hadde Sıçraması Modeli

Metaller herhangi bir yüke maruz kaldıkları zaman şekil değişikliğine (deformasyon, sünme, akma) uğrarlar. Bu şekil değişikliği düşük yüklerde elastik (eski duruma dönen), yüksek yüklerde plastiktir (eski durumuna dönmeyen). Malzemede kalıcı şekil değişikliği yapmak için plastik akmanın gerçekleşmesine yetecek kadar yük uygulanması gerekmektedir. Haddeleme sırasında malzeme elastik+plastik, hadde ekipmanları da elastik şekil değişikliği olmaktadır. Hadde ekipmanlarında meydana gelen bu elastik şekil değişikliğine hadde sıçraması denmektedir (Taşkın,1991).

Sıcak haddeleme işi darbeli çalışan bir prosestir. Malzemeyi istenilen kalınlığa getirebilmek için vermemiz gereken hadde açıklığında hadde sıçramasını göz önüne almak zorundayız.

Bunu formüle edersek;

$$h_i = s_i + d_i$$

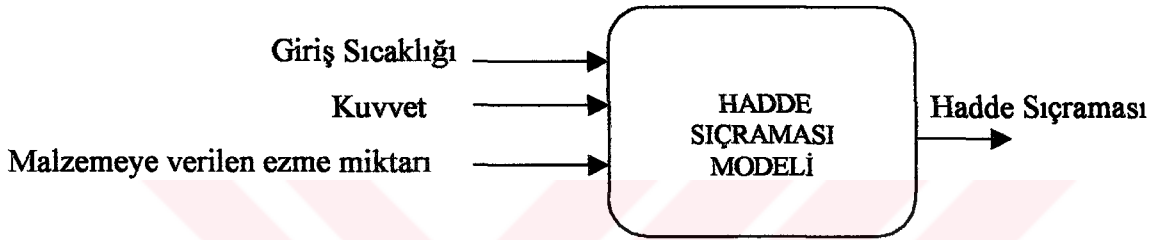
h_i = i pasosundan sonra malzeme kalınlığı.

s_i = Hadde merdanesi vida seti ayarı (hadde merdaneleri açıklığı).

d_i = Hadde sıçraması

Her paso sonunda malzemeyi istediğimiz kalınlığa getirebilmek için verilecek vida seti ayarını dolayısıyla hadde sıçramasını bulmamız gerekiyor.

Buradan yola çıkarak modelimizin girişleri malzemeye verilen ezme miktarı ve haddeye giriş sıcaklığı ve kuvvettir. Modelimizin çıkışı ise hadde sıçramasıdır.



Şekil 5.2 Hadde sıçraması modelinin blok diyagramı

6. BİLGİSAYAR PROGRAMI VE GRAFİKLER

Haddeleme kuvveti ve hadde sıçramasını önceden belirleyebilmek için yaptığımız deneysel modelimizin bilgisayar programı ile modelin çalıştırılması sonucunda elde edilen simülasyon sonuçları verilmiştir.

Program dili olarak MATLAB (Matrix Laboratory) paket programı kullanılmıştır. Matlab yüksek performanslı sayısal hesaplama ve grafik oluşturma–görüntüleme işlemleri için teknik hesaplama ortamları sunar. Deneysel sonuçlardan veya herhangi bir gözlem sonucu elde edilen verilerin analizi ile bu verilere uyan eğrilerin bulunması, sistem dinamiği analizi ve denetim sistemlerinin tasarımı ve analizi gibi konuları kapsar (Yüksel,1996).

Aşağıda kuvvet modelimizin modellenmesi için örnek bir program verilmiştir.

echo on

%KUVVET MODELİ ÖRNEĞİ

% Purpose:Demonstrates the use of identification routines.
 % The system considered here has three inputs and one output.
 %

load hdm4009.prn

x1=hdm4009(1:800,2);%Verilen ezme miktarı

x2=hdm4009(1:800,3);%Giriş sıcaklığı

x3=hdm4009(1:800,4);%Malzeme genişliği

x=[x1 x2 x3];

y=hdm4009(1:800,1);%Kuvvet

%
 % Determine the standard deviations for input
 % data using the function autosc.
 %

[ax,mx,stdx] = autosc(x);

pause

%
 % Let us scale the input data by their standard deviations only.
 %

```

mx=[0 0 0];

sx = scal(x,mx,stdx);

%
%Put the input & output data in a form such that they can be used to determine the impulse
%response coefficients. 125 impulse response coefficients (nofcoe) are used.
%

n=125

[xreg,yreg] = wrtreg(sx,y,n);

pause

%
% Determine the impulse response coefficients via mlr. No penalties on theta and delt theta
%are used in mlr. By specifying plotopt of 2, two plots - plot of predicted output and
% actual output, and plot of the residue output (or predicted error) - are produced.

ninput = 3;

plotopt = 2;

[theta,yres] = mlr(xreg,yreg,ninput,plotopt);

%
%Scale theta based on the standard deviations used in scaling the input.
%

theta = scal(theta,mx,stdx);

pause

% Convert the impulse model to a step model to be used in MPC design. Sampling time of
% 1 minutes was used in determining the impulse model. Number of outputs (1 in this case)
% must be specified.

nout = 1;

delt = 1;

pause

newx1=hdm4009(801:1355,2);

newx2=hdm4009(801:1355,3);

newx3=hdm4009(801:1355,4);

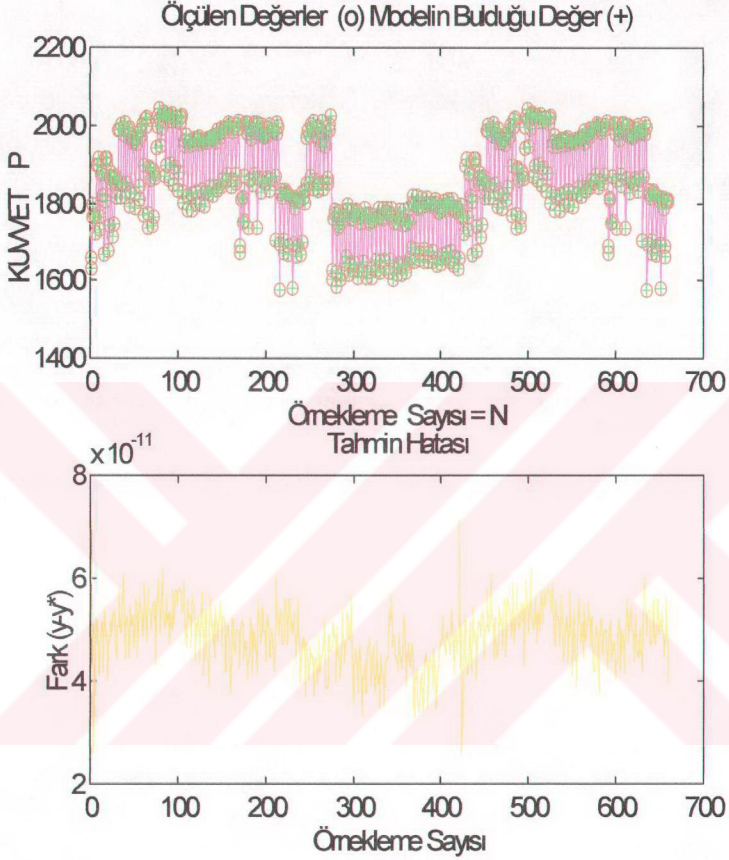
newx=[newx1 newx2 newx3]

```

```
newy=hdm4009(801:1355,1);  
[newxreg,newyreg] = wrtreg(newx,newy,n);  
yres = validmod(newxreg,newyreg,theta,plotopt);  
echo off
```



Kuvvet Modeli Simülasyonu(4009 Kalite, n=140)



Sisteme girişler:

- u_1 = Malzemenin haddeye giriş sıcaklığı (T °C)
- u_2 = Malzemeye verilen ezme miktarı (Δ)
- u_3 = Malzemenin genişliği (w).

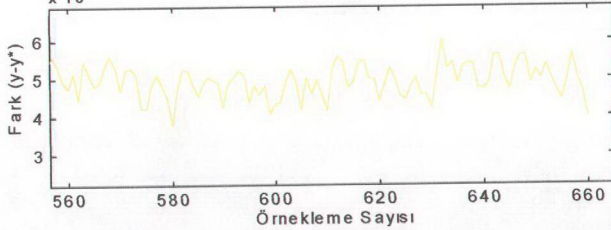
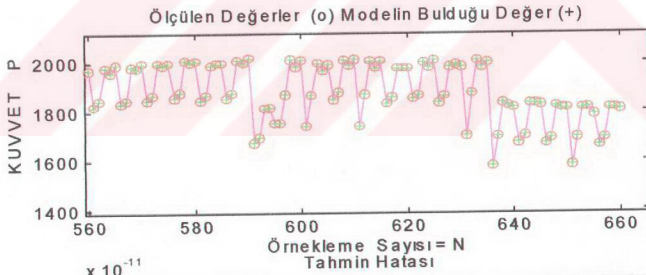
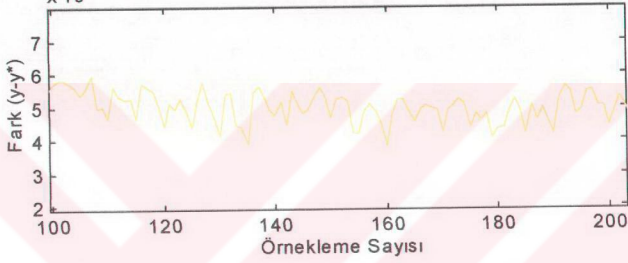
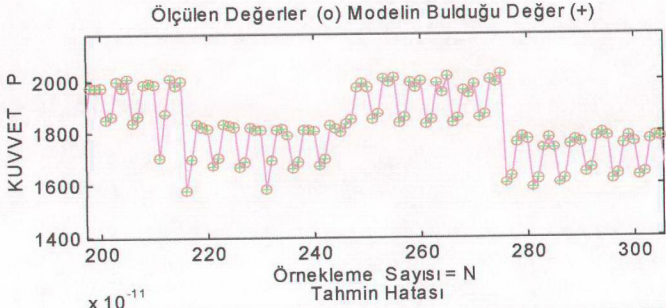
Sistemden çıkışlar

- y = Ölçülen haddeleme kuvveti

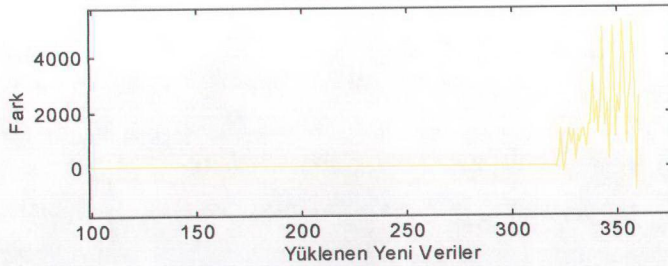
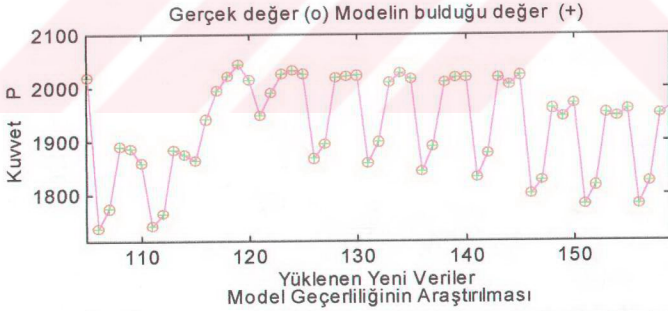
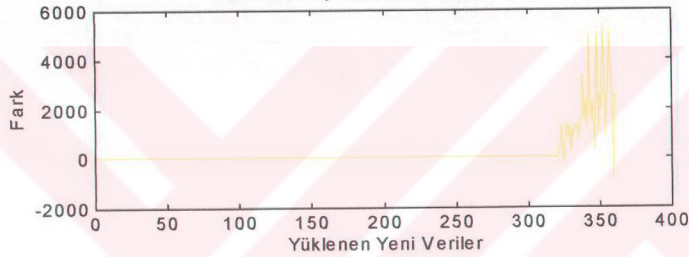
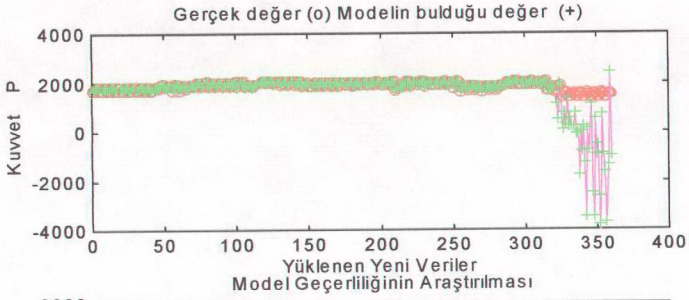
Model çıkışı = y^* = Modelin bulduğu haddeleme yükü

Örnekleme sayısı = 800 paso, 160 slab

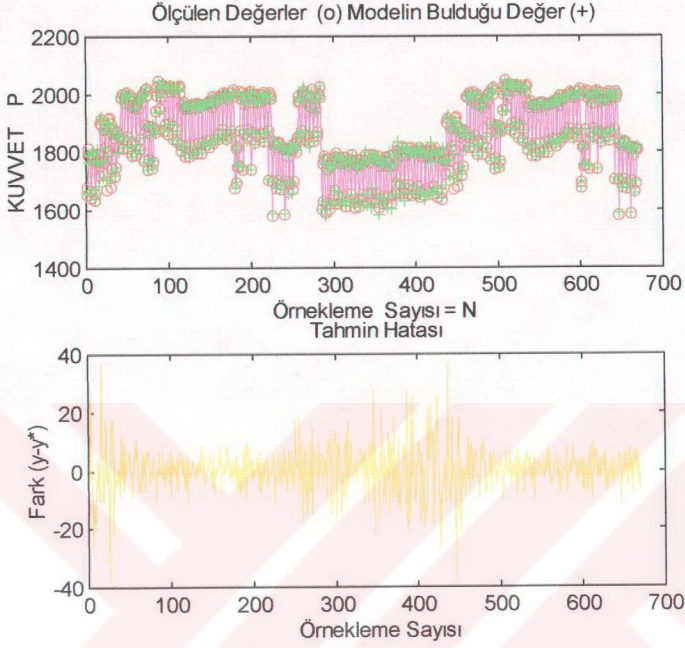
Model parametrelerinin bulunması için kullanılan veri sayısı , $n = 140$ paso, 28 slab

4009 kalite $n = 140$ 

Kuvvet Modeli İçin Model Geçerliliğinin Araştırılması (4009 kalite, n=140)



Kuvvet Modeli Simülasyonu (4009 kalite, n = 130)



Malzeme : 4009 kalite

Sisteme girişler:

- u_1 = Malzemenin haddeye giriş sıcaklığı (T °C)
- u_2 = Malzemeye verilen ezme miktarı (Δ)
- u_3 = Malzemenin genişliği (w).

Sistemden çıkışlar

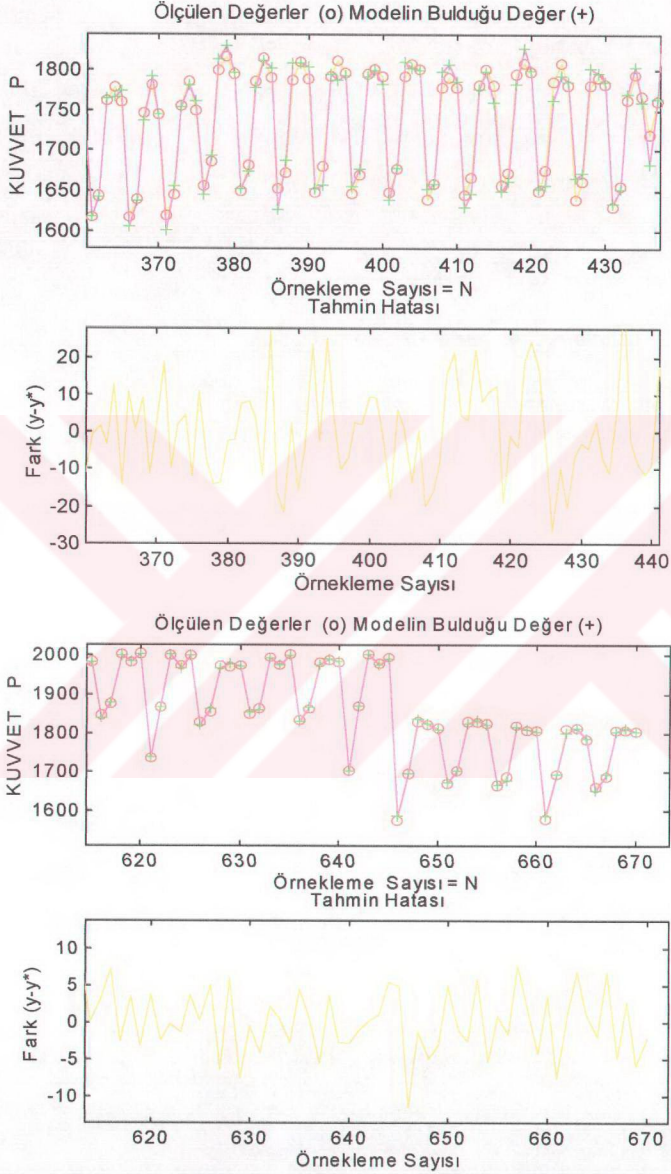
y = Ölçülen haddeleme kuvveti

Model çıkışı = y^* = Modelin bulduğu haddeleme yükü

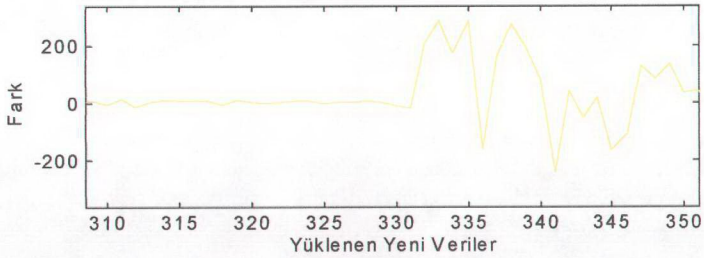
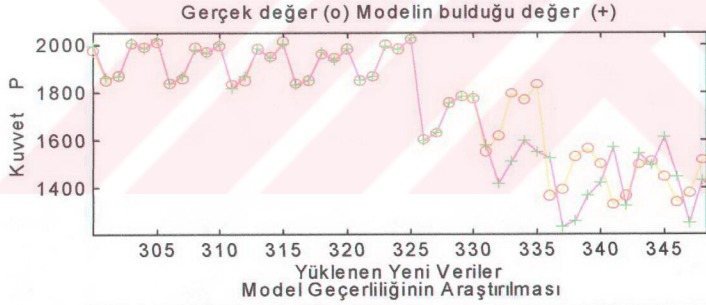
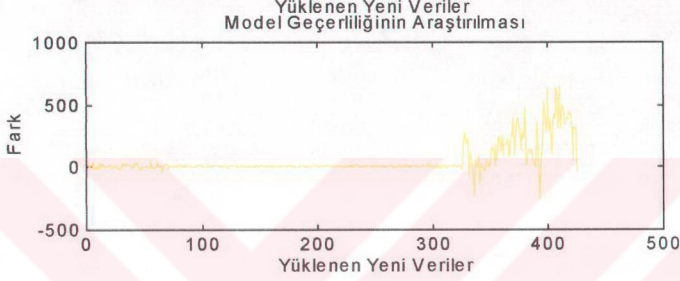
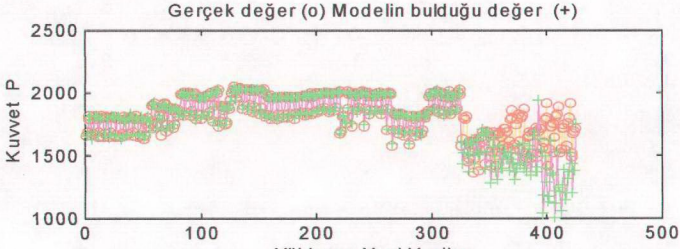
Örnekleme sayısı = 800 paso, 160 slab

Model parametrelerinin bulunması için kullanılan optimum veri sayısı, $n=130$ paso, 26 slab

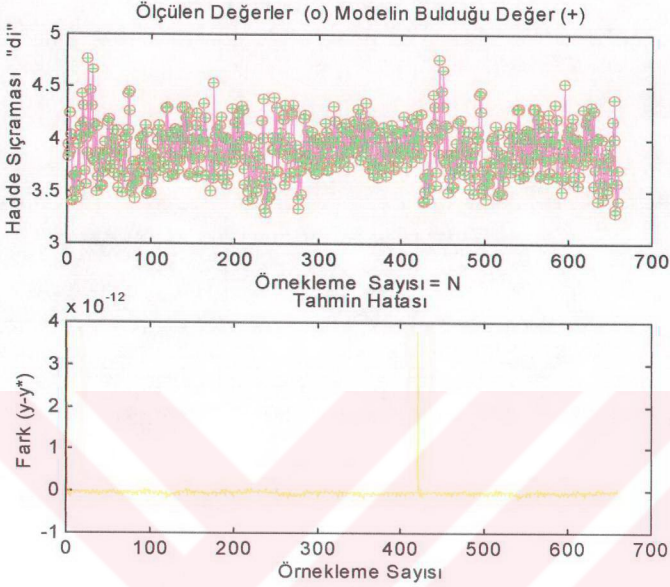
4009 kalite, n =130



Kuvvet Modelinin Geçerlilik Araştırması (4009 kalite, n = 130)



Hadde Sıçraması Modeli Simülasyonu (4009 kalite, $n = 140$)



Malzeme : 4009 kalite

Sisteme girişler:

u_1 = Malzemenin haddeye giriş sıcaklığı (T °C)
 u_2 = Malzemeye verilen ezme miktarı (Δ)
 u_3 = Haddeleme kuvveti (P).

Sistemden çıkışlar

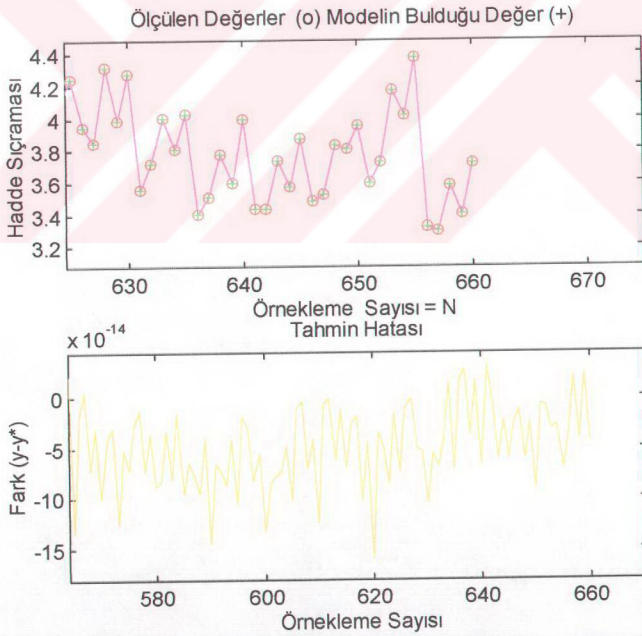
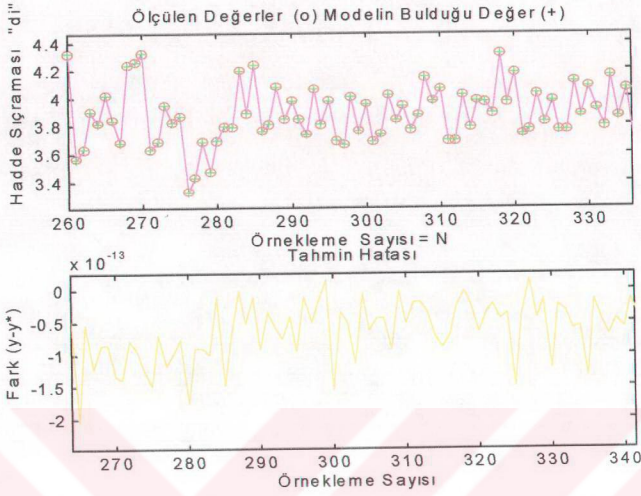
y = Hesaplanan(ölçülen) hadde sıçraması

Model çıkışı = y^* = Modelin bulduğu hadde sıçraması

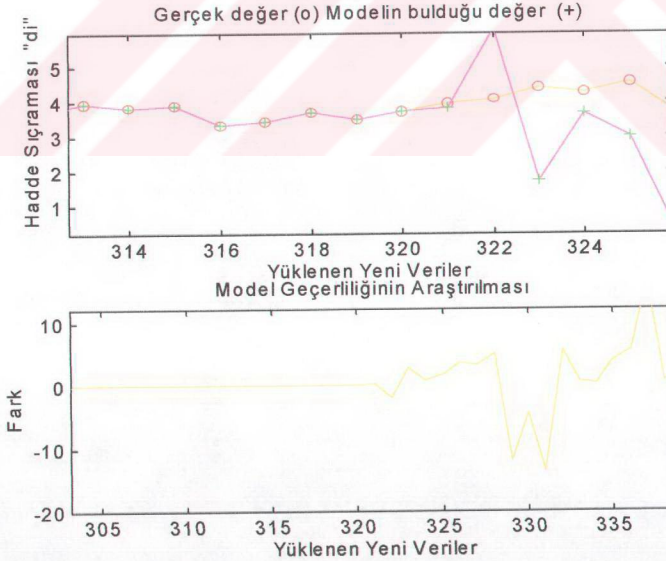
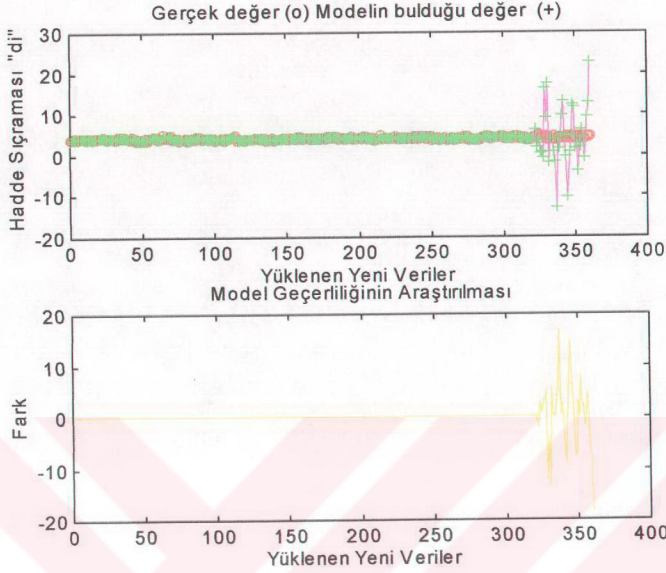
Örnekleme sayısı = 800 paso, 160 slab

Model parametrelerinin bulunması için kullanılan veri sayısı, $n = 140$ paso, 28 slab

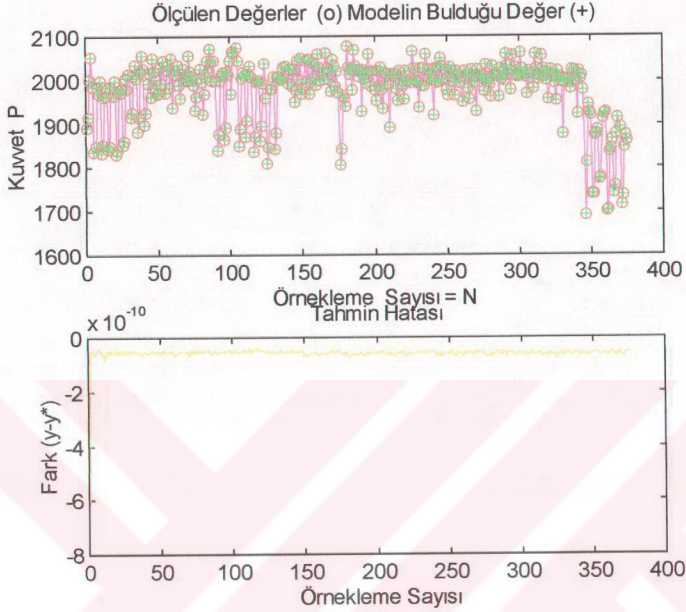
4009 kalite, $n = 140$



Hadde Sıçraması Model Geçerliliğinin Araştırılması (4009 kalite, n = 140)



Kuvvet Modeli Simülasyon Çalışması (5009 kalite, $n = 125$)



Malzeme : 5009 kalite

Sisteme girişler:

u_1 = Malzemenin haddeye giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

u_2 = Malzemeye verilen ezme miktarı (Δ)

u_3 = Malzeme genişliği (w)

Sistemden çıkışlar

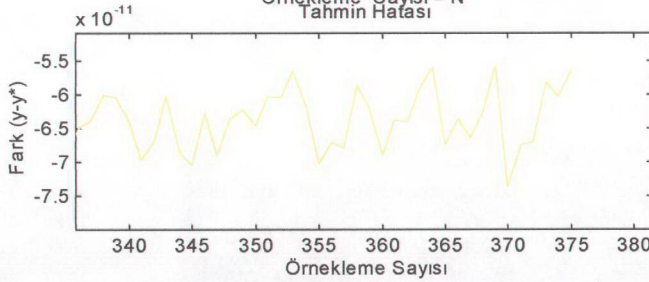
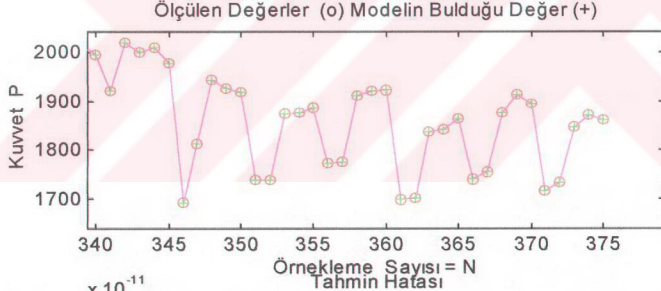
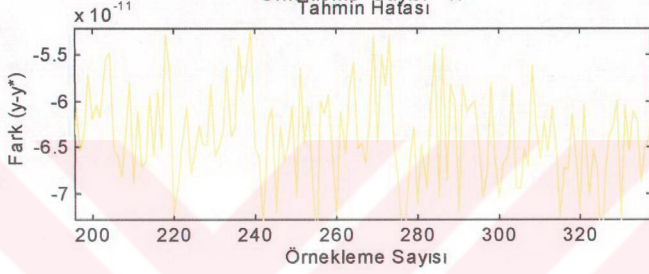
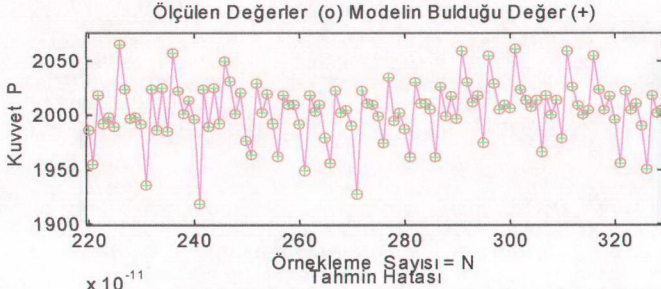
y = Ölçülen kuvvet değeri (P)

Model çıkışı = y^* = Modelin bulduğu kuvvet değeri

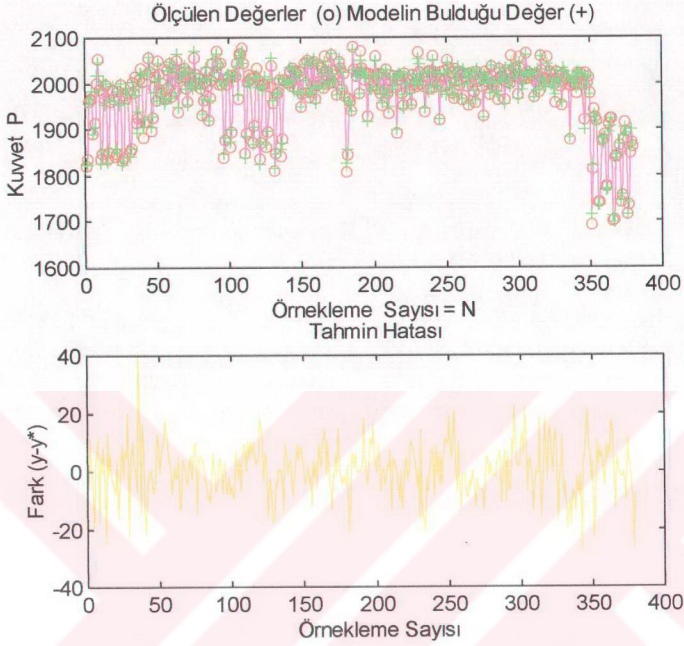
Örneklem sayısı = 500 paso, 100 slab

Model parametrelerinin bulunması için kullanılan veri sayısı, $n = 125$ paso, 25 slab

5009 kalite, n = 125



5009 kalite, n = 120



Malzeme : 5009 kalite

Sisteme girişler:

u_1 = Malzemenin haddeye giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

u_2 = Malzemeye verilen ezme miktarı (Δ)

u_3 = Malzeme genişliği (w)

Sistemden çıkışlar

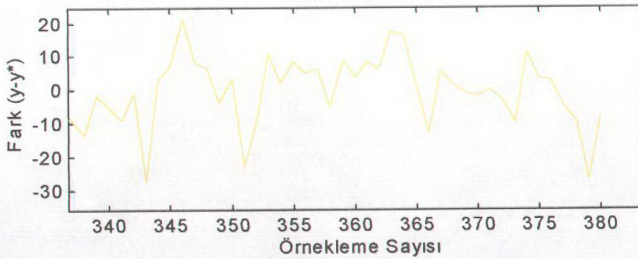
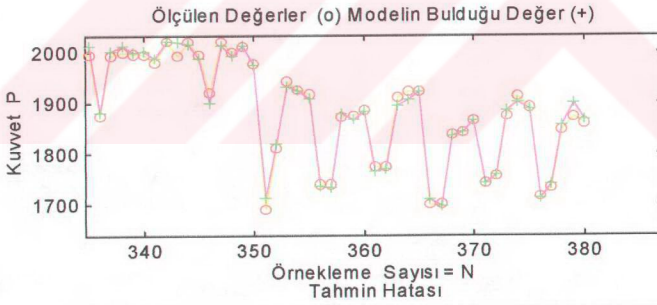
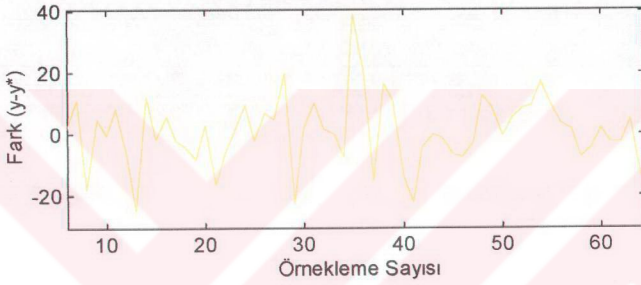
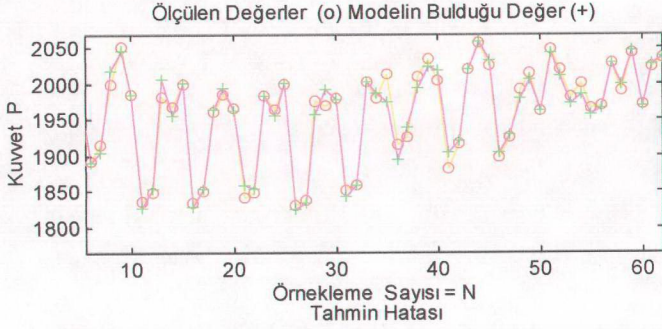
y = Ölçülen kuvvet değeri (P)

Model çıkışı = y^* = Modelin bulduğu kuvvet değeri

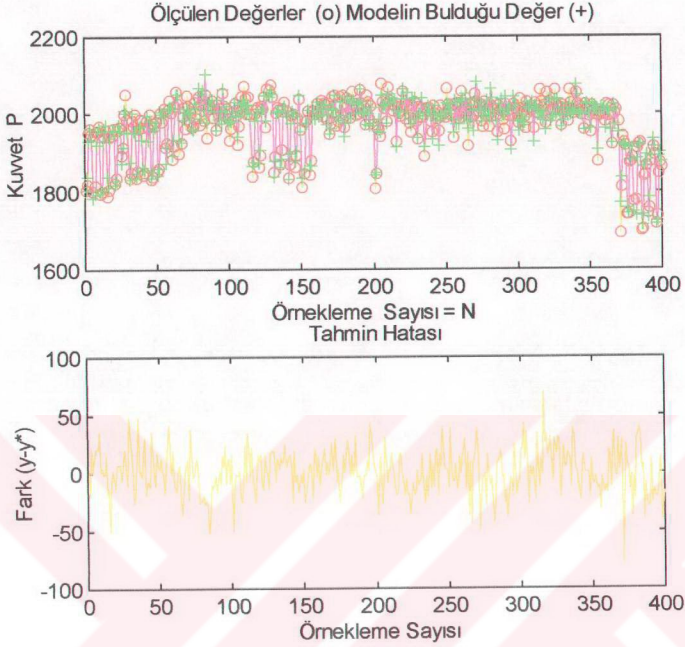
Örnekleme sayısı = 500 paso, 100 slab

Model parametrelerinin bulunması için kullanılan veri sayısı, $n = 120$ paso, 24 slab

5009kalite, n = 120



5009 kalite, $n = 100$



Malzeme : 5009 kalite

Sisteme girişler:

u_1 = Malzemenin haddeye giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

u_2 = Malzemeye verilen ezme miktarı (Δ)

u_3 = Malzeme genişliği (w)

Sistemden çıkışlar

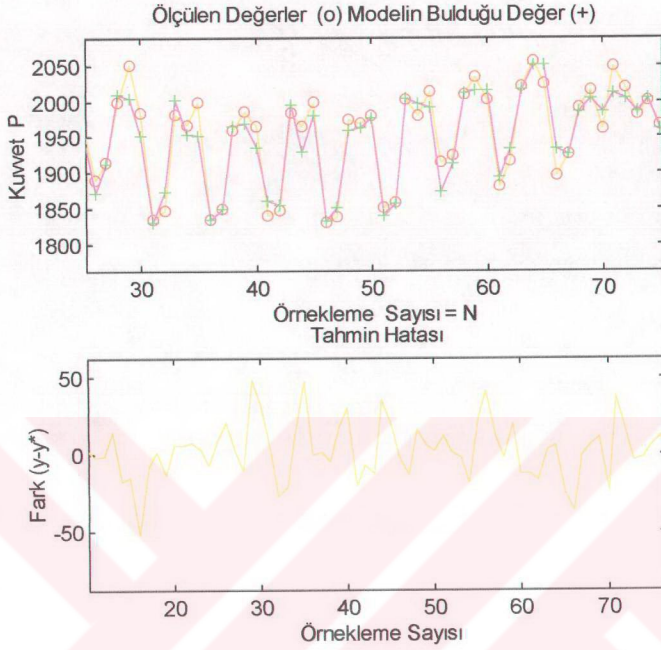
y = Ölçülen kuvvet değeri (P)

Model çıkışı = y^* = Modelin bulduğu kuvvet değeri

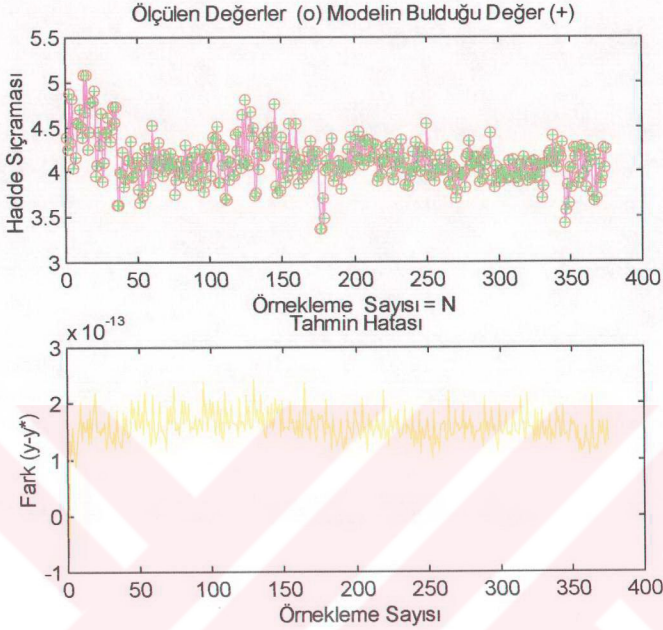
Örneklem sayısı = 500 paso, 100 slab

Model parametrelerinin bulunması için kullanılan veri sayısı, $n = 100$ paso, 20 slab

5009 kalite, $n = 100$



Hadde Sıçraması Modeli Simülasyonu (5009 kalite, n = 125)



Malzeme : 5009 kalite

Sisteme girişler:

- u_1 = Malzemenin haddeye giriş sıcaklığı (T °C)
- u_2 = Malzemeye verilen ezme miktarı (Δ)
- u_3 = Haddeleme kuvveti (P).

Sistemden çıkışlar

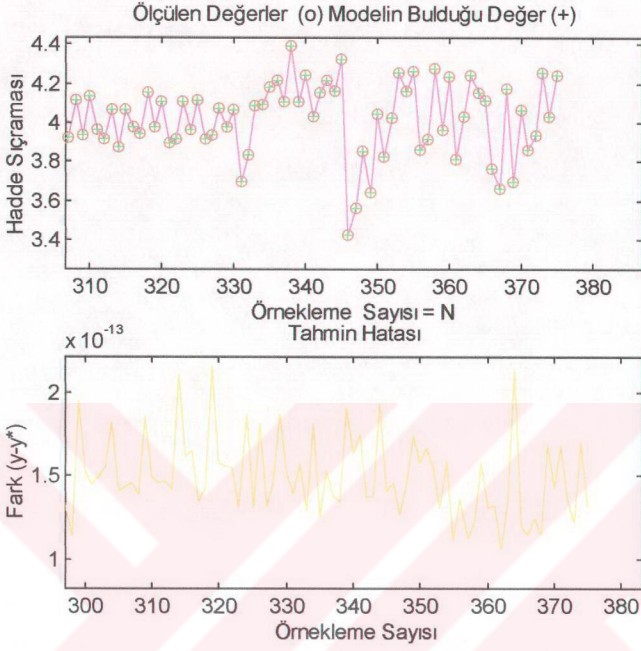
y = Hesaplanan(ölçülen) hadde sıçraması

Model çıkışı = y^* = Modelin bulduğu hadde sıçraması

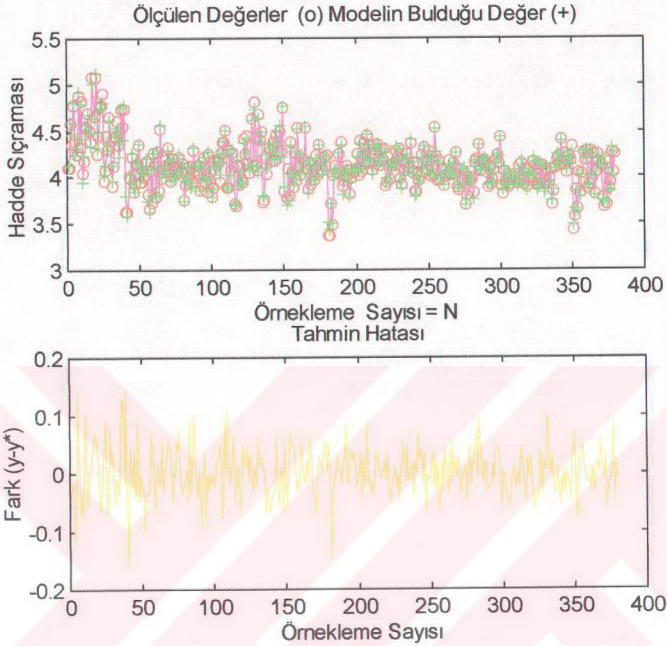
Örnekleme sayısı = 500 paso, 100 slab

Model parametrelerinin bulunması için kullanılan veri sayısı, $n = 125$ paso, 25 slab

5009 kalite, n = 125



Hadde Sıçraması Modeli Simülasyonu (5009 kalite, $n = 120$)



Malzeme : 5009 kalite

Sisteme girişler:

u_1 = Malzemenin haddeye giriş sıcaklığı (T °C)
 u_2 = Malzemeye verilen ezme miktarı (Δ)
 u_3 = Haddeleme kuvveti (P).

Sistemden çıkışlar

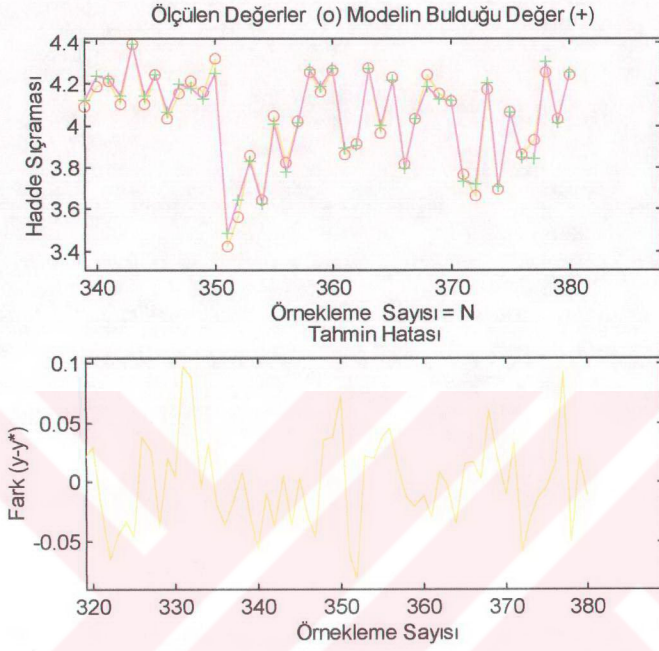
y = Hesaplanan(ölçülen) hadde sıçraması

Model çıkışı = y^* = Modelin bulduğu hadde sıçraması

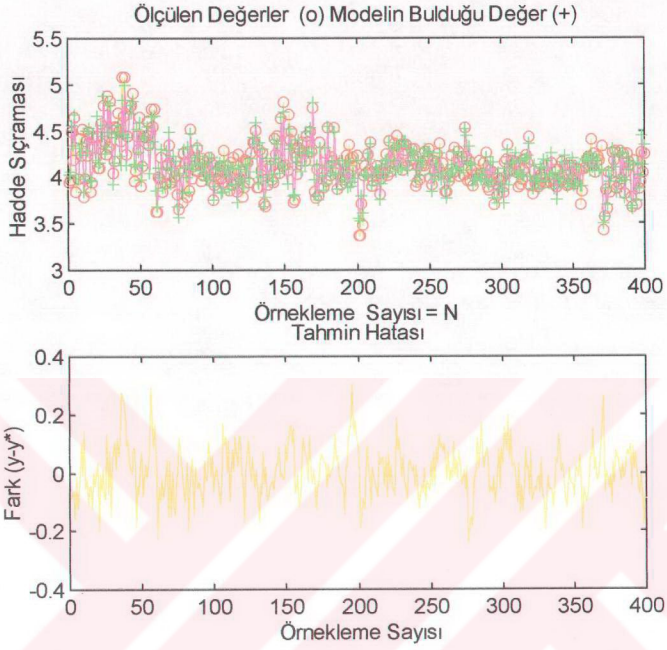
Örnekleme sayısı = 500 paso, 100 slab

Model parametrelerinin bulunması için kullanılan veri sayısı, $n = 120$ paso, 24slab

5009 kalite, $n = 120$



Hadde Sıçraması Modeli Simülasyonu (5009 kalite, $n = 100$)



Malzeme : 5009 kalite

Sisteme girişler:

u_1 = Malzemenin haddeye giriş sıcaklığı (T °C)
 u_2 = Malzemeye verilen ezme miktarı (Δ)
 u_3 = Haddeleme kuvveti (P).

Sistemden çıkışlar

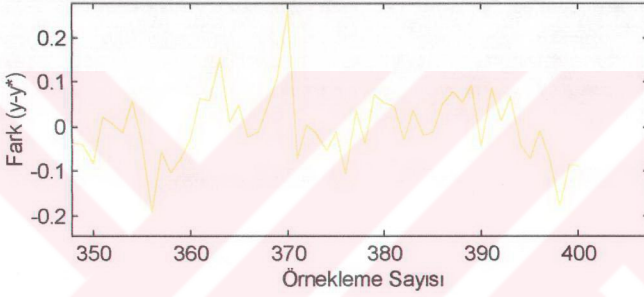
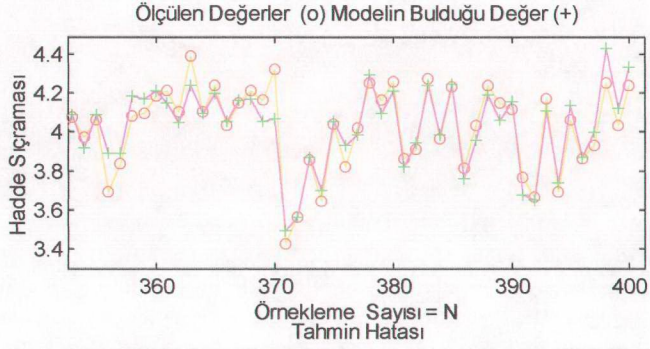
y = Hesaplanan(ölçülen) hadde sıçraması

Model çıkışı = y^* = Modelin bulduğu hadde sıçraması

Örnekleme sayısı = 500 paso, 100 slab

Model parametrelerinin bulunması için kullanılan veri sayısı, $n = 100$ paso, 20 slab

5009 kalite, $n = 120$



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 4009 ve 5009 kalite çelik malzemelerin sıcak haddelenmesi sırasında istenilen kalınlığa getirmek amacıyla uygulanması gereken yükün ve oluşacak hadde sıçramasının önceden tahmini için deneysel modelleme yapılmıştır. Modelimizi MATLAB bilgisayar programında off-line olarak çalıştırılması sonucunda elde edilen simülasyon sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

1. Oluşturulan kuvvet modeli 4009 kalite malzeme için 160 adet slab için çalıştırılmıştır. Simülasyon çalışması sonucunda yüklerin doğru olarak tahmini için modelimizin kullandığı optimum veri sayısı 140 (paso) olarak bulunmuştur. Bunun anlamı ilk 28 slab verileri kullanılarak bundan sonraki 132 slab için ölçülen yükler ile modelin bulduğu yük değerleri aynı bulunmuştur. 5009 kalite malzeme için oluşturulan kuvvet modeli ise 100 adet slab için çalıştırılmıştır. Modelin kullandığı optimum veri sayısı 125 (125 paso, 25 slab) olarak bulunmuştur. Bu modellerimizin çok iyi işlediğini göstermektedir.

2. Haddeleme işlemi hesaplamaların çok kısa zamanda yapılmasını gerektirmektedir. Modelin öğrenme sürecini artırdığımız zaman hesaplamalar daha fazla zaman alacaktır. Azalttığımız zaman ise zaman kısalmakta fakat modelimizin bulduğu değerler ile ölçülen değerler arasında fark oluşmaktadır. Örneğin 4009 kalite malzeme için 28 yerine 26 slab verileri kullanılırsa ± 40 ton ölçülen ile tahmin edilen arasında fark oluşmaktadır. Bu modelin çalıştırılacağı bilgisayarın kapasitesinin artırılmasıyla çözülebilir.

3. Modelin öğrenme sürecinde kullandığı slab verileri diğer bütün slabları temsil edecek şekilde olması gerekmektedir. Bu sayede öğrenme süreci azalabilir ve modelin geçerliliği aynı kalite malzemeler için sağlanabilir. 4009 kalite malzeme için bu sağlanmış ve modelimizin geçerli olduğu ispat edilmiştir. 5009 kalite malzeme için modelin öğrenme sürecinde kullanılan veriler bütün slabları temsil etmediğinden dolayı modelin geçerliliği sağlanamamıştır.

4. Kuvvet modelinin geçerliliğinin araştırmak için 4009 kalite malzemeden yeni 111 slab verileri modele yüklenmiş ve kuvvet modelinin çalıştırılması sonucunda 92 slab için modelimiz çok iyi çalıştığı tespit edilmiştir. 93 slab'dan itibaren modelimizin bulduğu değerler ölçülen değerler ile uyum göstermemiştir. Bunun nedeninin araştırılması sonucunda 965.7 mm yarıçaplı olan hadde merdanesinin 1000.8 mm yarıçaplı merdane ile değiştirilmiş

olduğu tespit edilmiştir. Bu modelimizin aynı haddeleme şartları altında iyi çalıştığını fakat şartlar değişirse modele uygun eklemeler yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Kuvvet modelinin girişlerine merdane yarıçapının da eklenmesi gerekir.

5. Oluşturulan hadde sıçraması modeli de kuvvet modelinin gibi aynı öğrenme sürecinde çok iyi sonuçlar vermiştir. Hadde sıçramasının önceden tahmini ile malzemeyi istenilen kalınlığa düşürmek için merdane açıklığının ne olması gerektiği kolaylıkla hesaplanabilecektir.

6. Modelimizin gerçek kullanımda uygulanabilmesi için ölçüm değerlerinin sağlıklı olması gerekir. Sistemin darbeli çalışmasında ve yük ölçüm cihazındaki olabilecek hatalardan dolayı ölçülen yük değerleri, gerçekleşen ile farklı olabilmektedir. Bu çalışmada yük ölçüm değerleri general electric'in kurduğu iyi çalışan otomasyon sisteminden alındığından dolayı ölçüm hataları elimine edilmiştir. İyi bir otomasyon sisteminin olmadığı haddeleme proseslerinde ise kuvvetin doğru alınabilmesi için ölçülen yük değerleri ile hadde motorlarının çektiği gücün karşılaştırılması sonucunda uygulanan gerçek kuvvetin ne olduğu belirlenmelidir. Ayrıca slab fırınından itibaren malzemedeki sıcaklık düşmelerinin, zamana ve malzemenin gördüğü işlemlere göre ne olacağının tahmin edileceği iyi bir sıcaklık modelimizin olması gerekmektedir.

7. Çalışmanın proses dışında oluşturulan modellerin sadece simülasyon çalışması yapılmasından dolayı çok terimli en küçük kareler regresyonu yöntemi kullanılmıştır. Bunun için model parametreleri güncelleştirilememektedir. Modelin gerçek kullanımda kullanılabilmesi için ardışık en küçük kareler regresyonu algoritması kullanılmalıdır. Bu sayede zaman içinde modelin giriş ve çıkış verileri değiştikçe model de kendini yenileyecektir.

Elde edilen bu sonuçlara göre, 3. bölümde incelen haddeleme yükünün hesaplanması için önerilen teorik matematiksel hesaplamalara alternatif olarak yapılan deneysel modellemenin, her malzeme için oluşturulabilecek veri bankası yardımıyla güvenilir bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür. Her hadde tezgahına sistem tanılama yoluyla adapte edilebilecektir.

KAYNAKLAR

Güneş, A. ve Yıldız, K., (1997), Matlab for Windows Matematik ve Grafik Programlama Dili, Türkmen Kitabevi, İstanbul.

Iron and Steel Engineer.,(1989), "Modelling and Adaptive Techniques for Rolling Mill Automation", Iron and Steel Engineer, December : 39-46.

İnceyan, T., (1989), Haddeleme Tekniğinin Esasları.

Ljung, L., (1993), System Identification Toolbox For Use with Matlab User's Guide, The Math Works, Inc., Natick, United State.

Ljung, L., (1995), "System Identification " Department of Electrical Engineering, Linköping University, Sweden. e-mail ljung@isy.liu.se

Morari, M. ve Ricker, N. L., (1994), Model Predictive Control Toolbox For Use with Matlab, User's Guide , The Math Work, Inc., Natick, United State.

Özdaş, N., Dinibütün, T. ve Kuzucu, A., (1995), Otomatik Kontrol Temelleri, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Özsoy, C., Rudge, E. D. ve Crawley, A. F., (1992) "Optimum Scheduling of A Hot Rolling Process By Nonlinear Programming" Canadian Metallurgical Quarterly, 31(3): 217-224

Özsoy, C., (1993) "A Self-Tuning Thickness Control In Plate Hot-Rolling" Canadian Metallurgical Quarterly, 32(2): 177-183

Roberts, W. L., (1983), Hot Rolling of Steel, Marchel Dekker, Inc, Newyork.

Roberts, W. L., (1988), Flat Processing of Steel, Marchel Dekker, Inc, Newyork.

Sarıoğlu, A., (1994) "Sıcak Haddelemede Yük Hesabı Metotlarının Karşılaştırılması ve Uygun Metotun Pratik Bir Uygulaması" Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kartal, H., Çamcı, D., vd., (1991), Sıcak Haddehane Müdürlüğü, Erdemir Eğitim Müdürlüğü Yayınları.

Siciliano Jr, F., ve Minami, K. ve Maccagno, T.M., ve Jonas, J.J., (1996), "Mathematical Modelling off the Mean Flow Strees, Fractional Softening and Grain Size during Hot Strip Rolling of C-Mn Steels" ISIJ International, 36(12): 1500-1506

Sims, R.B., (1954), "Calculation of Roll Force and Torque in Hot-Rolling Mills", Proc. Inst. Mech. Eng., 168: 191-219

Taşkın, A., (1991), "Hadde Sıçraması ve Şerit Hadde Çıkış Kalınlığı Hesaplanması" 2. Sıcak Haddehane İşletme Mühendisi Notları.

Tozlu, İ., (1992) "Yassı Çelik Mamullerin Sıcak Haddelemesinde Haddeleme Yükünün Hesaplanmasında Kullanılan Metotların İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vladimir, G.G., (1989), Steel Rolling Technology, Theory and Practice, International Rolling Mill Consultants, Inc., Pittsburg, Pennsylvania.

Wellstead, P.E., ve Zarrap, M.B., Self Tuning Systems, Control and Signal Processing, Part-3 (Recursive Estimation)

Wittenmark, B., ve Åström, K. J., (1984), Computer Controlled System Theory and Design Prentice Hall.

Yüksel, İ., (1996), Matlab ile Mühendislik Sistemleri Analizi ve Çözümü, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Bursa.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 19.02.1974
 Doğum Yeri Kdz. Ereğli
 Lise 1989 – 1991
 Lisans 1992 – 1996

Yüksek Lisans 1996 – 1999

Uşak Lisesi

Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi
 Metalurji Mühendisliği Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
 Metalurji Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı

Çalıştığı kurumlar

1998-1999

Prestij Uluslararası Gözetim ve Danışmanlık Ltd. Şti

1999- Devam ediyor

Kerim Çelik Mamulleri İmalat ve Ticaret A.Ş.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
 DOKÜMANTASYON MERKEZİ