

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YUVARLAK ÖRME MAKİNESİ ELEMANLARININ AŞINMA VE
DİNAMİK DAVRANIŞININ MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Sena DURU

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Tekstil Mühendisliği Programı

EKİM 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YUVARLAK ÖRME MAKİNESİ ELEMANLARININ AŞINMA VE
DİNAMİK DAVRANIŞININ MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Sena DURU
(503062806)**

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Tekstil Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cevza CANDAN
Eş Danışman: Prof. Dr. Ata MUĞAN**

EKİM 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503062806 numaralı Doktora Öğrencisi Sena DURU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YUVARLAK ÖRME MAKİNESİ ELEMANLARININ AŞINMA VE DİNAMİK DAVRANIŞININ MODELLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Cevza CANDAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof.Dr. Ata MUĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Banu NERGİS**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Arif KURBAK
Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Özer GÖKTEPE
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Recep EREN
Uludağ Üniversitesi

Prof. Dr. Ömer B. BERKALP
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 22 Eylül 2016
Savunma Tarihi : 24 Ekim 2016







ÖNSÖZ

Öğrenim hayatım boyunca benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, mesleğime büyük katkıları olan kıymetli danışman hocalarım Prof. Dr. Cevza Candan ve Prof. Dr. Ata Muğan'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının deneysel bölümünün gerçekleştirilmesinde makine üretiminin yanı sıra her türlü teknik desteği sağlayan İpekçioğlu Makine San. Tic. A.Ş.'den başta Ali Rıza İpekçioğlu olmak üzere tüm firma çalışanlarına, RWTH ITA'da bana her türlü olanağı, desteği, bilgiyi eksik etmeyen Dr. Dieter Viet ve Dr. Achim Hehl'e, gerinim ölçer ile çalışmalarım esnasında bana her türlü yardımcı sağlayan, bilgilerini benimle paylaşan Dr. Arman Nylias ve HBM Sensor Teknolojileri firmasından Emre Tolay'a, Abaqus programı ile sonlu elemanlar modellemesi esnasında bilgi ve tecrübesiyle çalışmalarına yön veren A-ztech Ltd. firmasına ve özellikle Zeynep Sönmez'e, nCode programı hakkında her danıştığım da desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen BIAS Mühendislik Ltd. Şti. firmasından Burak Erdal'a, Solidworks çizimlerinde her başım sıkıştığında bana yardım eden Öğr. Gör. M. Fırat Gönkan'a, iğne malzemesinin tayininde verdiği destekten dolayı Doç. Dr. Mustafa Bakkal'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, tüm hayatım boyunca desteklerini ve yardımlarını bir an olsun esirgemeyen çok değerli aileme ve özellikle hayat arkadaşım Özgür Duru ile canım kızım Deniz'e buradan teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2016

Sena DURU
Y. Tekstil Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Aşınmanın Tanımı.....	5
2.1.1 Tribosistem.....	5
2.1.2 Aşınma mekanizmaları	7
2.1.2.1 Adhesiv aşınma	7
2.1.2.2 Abrasiv aşınma.....	8
2.1.2.3 Uzun ömürlü yorulma aşınması	9
2.1.2.4 Tribokimyasal (koroziyon) aşınma.....	9
2.1.3 Aşınmaya etki eden parametreler.....	9
2.1.4 Örne içnelerinde meydana gelen aşınmalar	10
2.1.4.1 Örne içnelerinde meydana gelen aşınmanın nedenleri	13
2.2 Yorulma Teorisi	16
2.2.1 Yorulma zorlaması	17
2.2.2 Yorulma tasarım yaklaşımları	18
2.2.2.1 Sonsuz ömür yaklaşımı	18
2.2.2.2 Sonlu ömür yaklaşımı	18
2.2.2.3 Emniyetli ömür yaklaşımı	19
2.2.2.4 Kontrollü ömür yaklaşımı	19
2.2.3 Yorulma ömrü tahmin yöntemleri.....	20
2.2.3.1 Ömür tahmin yöntemlerinin kullanım alanları.....	21
2.2.4 Gerilme-ömür yaklaşımı	22
2.2.4.1 Gerilme çevrimlerinin tanımı	22
2.2.4.2 Gerilme-ömür (S-N) diyagramı.....	24
2.2.4.3 Ortalama gerilmenin etkisi.....	27
2.2.4.4 Değişken genliğe sahip yükleme durumunda toplam hasar	28
2.2.4.5 Değişken genliğe sahip yükleme durumunda çevrim sayısı hesaplama	30
2.2.5 Birim uzama-ömür yaklaşımı.....	31
2.2.5.1 Statik durum için gerilme-birim uzama diyagramları	32
2.2.5.2 Dinamik durum için gerilme-birim uzama diyagramları	33
2.2.5.3 Dinamik durum için gerilme-birim uzama diyagramları	34

2.2.6 Çatlak ilerleme yaklaşımı.....	36
2.2.6.1 Yorulma hasarında kırılma yüzeyinin görünümü.....	40
2.2.7 Sonlu elemanlar analizine dayalı yorulma hesapları.....	42
2.2.8 Yorulmaya etki eden faktörler.....	46
2.2.8.1 Parçanın mikro yapısı.....	46
2.2.8.2 Parça boyutunun etkisi	46
2.2.8.3 Yüzey durumunun etkisi	47
2.2.8.4 Yüzey işlemleri	47
2.2.8.5 Metalurjik faktörlerin etkisi	47
2.2.8.6 Sıcaklık etkisi	47
2.2.8.7 Gerilme birikmesi.....	48
2.2.8.8 Gerilme gradyanının etkisi	48
2.2.8.9 Artık gerilmeler	48
2.2.8.10 Korozyon etkisi	48
2.3 Örme Elemanları	49
2.3.1 Örme iğneleri.....	49
2.3.2 Platin.....	50
2.3.3 İğne yatakları.....	50
2.3.4 Kam mekanizmaları	51
2.3.4.1 Doğrusal kamlar	52
2.3.4.2 Doğrusal olmayan kamlar	53
2.4 Makine Üzerinde İğneye Etki Eden Kuvvetler	59
2.4.1 Darbe, reaksiyon, direnç ve sönüm kuvvetleri.....	60
2.4.1.1 İlmek kamları ile iğne arasında oluşan darbe ve reaksiyon kuvvetleri	60
2.4.1.2 Rehber kamları ile iğne arasında oluşan darbe ve reaksiyon kuvvetleri	67
2.4.1.3 İğne dili ile kam arasında oluşan darbe ve reaksiyon kuvvetleri	70
2.4.2 İplik kuvvetleri	72
2.4.3 Eylemsizlik (atalet) kuvvetleri	77
2.4.4 Diğer kuvvetler.....	79
2.4.4.1 İğne ağırlığının etkisi	79
2.4.4.2 Kam ile silindir arasındaki boşluğun etkisi	79
2.4.4.3 İğne topuğunda yapılan modifikasyonların etkisi	79
2.4.4.4 Yağlamanın etkisi.....	79
2.5 Sonlu Elemanlar Yönteminin Tekstil Uygulamaları	80
3. MALZEME VE METOT	85
3.1 Laboratuvar Tipi Örme Makinası Üzerinde Çalışmalar	85
3.1.1 Makine özellikleri	85
3.1.2 İplik ve iğne kalite parametreleri	89
3.1.2.1 İplik kalite parametreleri	89
3.1.2.2 İğne kalite parametreleri.....	90
3.1.3 Metod	96
3.1.3.1 Gerinim ölçer ölçüm düzeneği	96
3.1.3.2 SEM stereoskopi	100
3.1.3.3 İğnenin 3-Boyutlu olarak çizilmesi, sonlu elemanlar yardımı ile modellenmesi ve yorulma ömrünün tayini	101
3.2 Sanayii Tipi Yuvarlak Örme Makinası Üzerinde Çalışmalar.....	109
3.2.1 İğne hareketinin incelenmesi.....	109
4. SEM GÖRÜNTÜ SONUÇLARI.....	117

4.1 Pim Yüzey SEM Görüntü Sonuçları	117
4.2 Topuk Sol Yüzeyinin SEM Görüntü Sonuçları.....	119
4.3 Topuk Sağ Yüzeyinin SEM Görüntü Sonuçları	122
4.4 Topuk Üst Yüzey SEM Görüntü Sonuçları.....	125
4.5 Kanca Sol ve Sağ Yanal Yüzeylerinin SEM Görüntü Sonuçları	129
4.6 Kanca İç Yüzey SEM Görüntü Sonuçları	131
5. GERİNİM ÖLÇER SONUÇLARI ÜZERİNDEN YORULMA TAHMİNİ	135
5.1 Gerinim Ölçer Sonuçları	135
5.2 nCode Yorulma Sonuçları	136
6. SONLU ELEMANLAR MODELİ ÜZERİNDEN YORULMA TAHMİNİ.	141
6.1 Sonlu Elemanlar Modeli Sonuçları	141
6.2 nCode Yorulma Sonuçları	143
7. ÇEŞİTLİ MAKİNE VE İPLİK PARAMETRELERİNİN İĞNE HAREKETİNE ETKİSİ.....	147
7.1 İplik Gerginliği ve Makine Hızının Etkisi.....	147
7.1.1 % 100 Pamuk	147
7.1.2 % 100 Tekstüre polyester.....	154
7.1.3 % 100 Pamuk ve % 100 tekstüre polyester sonuçlarının karşılaştırılması	161
7.2 İplik Gerginliği ve Makine Hızının Elastanlı Çalışma Hali için Etkisi.....	166
7.2.1 Pamuk-elastan	166
7.2.2 Tekstüre polyester-elastan.....	175
7.2.3 Pamuk-elastan ve tekstüre polyester-elastan sonuçlarının karşılaştırılması	182
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	185
KAYNAKLAR	189
ÖZGEÇMİŞ.....	199



KISALTMALAR

FEM:	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
S-N	: Gerilme - Çevrim
ϵ -N	: Gerinim – Çevrim
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
CNC	: Bilgisayar Kontrollü Tezgah
SPSS	: Sosyal Bilimler için İstatistik Paketi
ANOVA	: Varyans Analizi
DIN	: Alman Standart Enstitüsü
EDX	: Enerji Yayılımlı X-Işını Analizi



SEMBOLLER

A	: Genlik oranı
b	: Yorulma direnç üsteli
c	: Yorulma süneklik üsteli
E	: Elastisite modülü
F	: Sıvı sürtünme kuvveti
f(x)	: İplik gerginliği tarafından uygulanan kuvvet
K	: Malzemenin dayanım sabiti
K*	: Normalleşmiş aşınma oranı
K_f	: Yorulma dayanım faktörü
K_{max}	: Yorulma zorlanması sırasında oluşan en büyük gerilme şiddeti faktörü
K_{min}	: Yorulma zorlanması sırasında oluşan en küçük gerilme şiddeti faktörü
L₁	: Kancanın sol tarafındaki iplik uzunluğu
L₂	: Kancanın sağ tarafındaki iplik uzunluğu
m	: İğne kütlesi
N	: Yük tekrar sayısını
N_f	: Hasara neden olacak toplam çevrim sayısı
N_i	: Çatlak başlangıcına kadar olan çevrim sayısı
N_p	: Çatlak ilerleyişi aşamasındaki çevrim sayısı
Q	: İğneyi kanal içinde tutan yayın uyguladığı kuvvet
p	: Yumuşak olan malzemenin sertliği
P	: İğne hareketini engelleyen reaksiyon kuvveti
P_o	: İğnenin düşey hareketini engelleyen kuvvet
r	: Silindir çapı
R	: Kam-iğne reaksiyon kuvveti
R_a	: Profil sapmalarının aritmetik ortalaması
R_k	: İğnenin arkasına uygulanan yatay reaksiyon kuvveti
R_q	: Profil sapmalarının kareleri ortalamasının karekökü
R_p	: Max profil tepesi yüksekliği
R_x	: Yatay kam-iğne reaksiyon kuvveti
R_y	: Düşey kam-iğne reaksiyon kuvveti
R_z	: Max profil yüksekliği
S	: Kayma uzunluğu
S	: İğneyi kam yolunda aşağı veya yukarı hareket ettirecek yatay kuvvet
S_a	: Gerilme genlik değeri
S_e	: Yorulma limiti
S_f	: Yorulma mukavemeti
S_m	: 10 ³ çevrimdeki malzeme dayanımına
S_{max}	: Maksimum gerilme değeri
S_{min}	: Minimum gerilme değeri
S_{ort}	: Ortalama gerilmeyi
S_r	: Gerilme aralığını
S_u	: Çekme dayanımını

S_{ut}	: Kritik çekme dayanımını
S_y	: Akma dayanımını
T_1	: İplik çıkış gerginliği
T_k	: Örme bölgesinden iğnenin batış mesafesi
T_0	: İplik giriş gerginliği
V	: Aşınma miktarı
x	: İğne topuğunun yatay yönde O'dan uzaklığı
X	:İğne topuğunun ilmek kamıyla temas bitiş noktasından iğne topuğunun rehber kamı ile temas olduğu yere kadar olan yatay mesafe
X'	: Rehber kamında darbe anında oluşan yatay iğne hızı
y	: İğne topuğunun düşey yönde O'dan uzaklığı,
Y	:İğne topuğunun ilmek kamıyla temas bitiş noktasından iğne topuğunun rehber kamı ile temas olduğu yere kadar olan düşey mesafe
Y'	: Rehber kamında darbe anında oluşan düşey iğne hızı
ε	: Birim uzama
ε_e	: Elastik birim uzama
ε_p	: Plastik birim uzama
ε_f'	: Yorulma süneklik sabiti
σ	: Gerilme değeri
σ_a	: Gerçek gerilme çevrim genliği
σ_f'	: Yorulma direnç sabiti
$2N_f$	: Tersinir çevrimlerin sayısı
μ_1	: Duvar ile iğne arasındaki dinamik sürtünme katsayısı
μ_2	: Kam ile iğne arasındaki dinamik sürtünme katsayısı
μ_{1k_1}	: Duvar ile iğne arasındaki statik sürtünme katsayısı
μ_{2k_2}	: Kam ile iğne arasındaki statik sürtünme katsayısı
$\mu_2 R$	: Kam yolu boyunca iğneye etkiyen sürtünme kuvveti
$\mu_1 S$	: Silindir duvarı ile iğne arasındaki sürtünme kuvveti
v	: Makinenin çevresel yatay hızı
δ	: Topuk dönmesi
θ	: Kam açısı
γ	: O noktasında ilmek kamı açısı
β	: Rehber kam açısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Deneysel çalışma detayları.....	4
Çizelge 2.1 : Çeşitli yükleme şartları için gerilme oran değerleri.....	23
Çizelge 2.2 : Yüzey faktörlerinin katsayıları.....	26
Çizelge 2.3 : Güvenilirlik faktörleri.....	26
Çizelge 2.4 : z faktörleri	27
Çizelge 2.5 : “da/dN-ΔK” eğrisini etkileyen faktörler	40
Çizelge 2.6 : İğne eğilmelerinde kullanılan sabitler	66
Çizelge 3.1 : Makine bakım zamanlarının detayları.....	89
Çizelge 3.2 : İplik özellikleri	90
Çizelge 3.3 : İğne numunesine ait EDX analiz sonuçları	91
Çizelge 3.4 : İşlem görmemiş numuneye ait artık gerilme sonuçları	94
Çizelge 3.5 : İğne milinin arka yüzeyine kanal açılmış iğneye ait artık gerilme sonuçları.....	94
Çizelge 3.6 : Topuk bölgesine ait pürüzlülük sonuçları	95
Çizelge 3.7 : SEM görüntü çekim zamanlarının ayrıntıları.....	101
Çizelge 3.8 : Modele tanımlanan iğne malzeme özellikleri	105
Çizelge 3.9 : nCode yazılımında iğne malzemesine girdi olarak kullanılan S-N eğrisi parametreleri	109
Çizelge 3.10 : Üretimde kullanılan ipliklerin fiziksel özellikleri	110
Çizelge 3.11 : Deneysel çalışma detayları.....	111
Çizelge 4.1 : İğnelerin kırılma zamanları	117



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çalışmanın akış şeması	3
Şekil 2.1 : Tribo sistemin genel “Giriş-Çıkış” tanımları	6
Şekil 2.2 : Aşınmayı oluşturan unsurlar	7
Şekil 2.3 : Dört aşınma mekanizmasının şematik olarak gösterilmesi	8
Şekil 2.4 : İğne kancasının iç kısmına gelen gerilme kuvvetlerinin etkisi	11
Şekil 2.5 : Deformasyona uğramış iğne görüntüsü.....	11
Şekil 2.6 : Kanca ve dil teması sonucunda meydana gelen kanca ve dildeki aşınma	12
Şekil 2.7 : İğne dilindeki sapmalar ve kancanın altına kaymış iğne dili	12
Şekil 2.8 : Kullanılmamış ve aşınmış iğne dili kafası	13
Şekil 2.9 : Sonlu ömür yaklaşımı ile tasarlanmış 3 bacaklı tabure.....	19
Şekil 2.10 : Emniyetli ömür yaklaşımına göre tasarlanmış çok bacaklı tabure.....	19
Şekil 2.11 : Kontrollü ömür yaklaşımına ile tasarlanmış 4 bacaklı tabure.....	20
Şekil 2.12 : İdealleştirilmiş yorulma tasarım metodu.....	20
Şekil 2.13 : Temel yorulma gerilmesi çevrimleri a- tam tersinir b- ötelenmiş c- rastgele	22
Şekil 2.14 : Wöhler’in çentikli ve çentiksiz numunelerde geliştirdiği S-N diyagramı	24
Şekil 2.15 : Çeşitli ortalama gerilme etkisi yaklaşımlarının S_a - S_{ort} grafiği	28
Şekil 2.16 : Farklı gerilme genliklerine sahip basit bir yükleme.....	29
Şekil 2.17 : “Rainflow” çevrimi	30
Şekil 2.18 : “Rainflow” metodu a- “Rainflow” yolu b-İhmal edilen tepeler ve çukurlar hesaplanır c- Hesaplanacak çevrimler seçilir.....	31
Şekil 2.19 : Standard bir S-N yorulma analizinde izlenecek yol.....	31
Şekil 2.20 : Statik durumda gerilme-birim uzama grafiği	33
Şekil 2.21 : Tekrarlı yükleme için gerilme-birim uzama grafiği	34
Şekil 2.22 : Toplam birim uzama-ömür eğrisi.....	36
Şekil 2.23 : Yorulma hasarının safhaları	37
Şekil 2.24 : Kırılma hasarında çatlakların ilerleme modları a- Açılma, b- İleri-geri açılma ve c- Yanal açılma.....	38
Şekil 2.25 : Çatlak ilerleme hızının gerilme şiddet faktörü aralığı ile değişimi.....	40
Şekil 2.26 : Yorulma yüzeyindeki bölgeler	41
Şekil 2.27 : Yorulma analiz akışının geleneksel görünüşü.....	44
Şekil 2.28 : Alternatif ömür tahmini hesabı.....	44
Şekil 2.29 : Sonlu elemanlar analizleri ile ömür hesabı	45
Şekil 2.30 : Sonlu elemanlar yöntemiyle yorulma analizi akışı	46
Şekil 2.31 : Yuvarlak örme makinasında iğne.....	50
Şekil 2.32 : Farklı profil yapısına sahip platin örnekleri	50
Şekil 2.33 : A- Yuvarlak örme makinasında iğne kam profili ve B- İğne ve platinlerin örme esnasındaki pozisyonu	51

Şekil 2.34 : Basit kam sistemleri	51
Şekil 2.35 : Dilli iğnenin makinedeki örme hareketi	52
Şekil 2.36 : Yüksek hızlı doğrusal olmayan ve standart doğrusal kamların genel şekilleri.....	53
Şekil 2.37 : Doğrusal olmayan kamlarda yer değişim eğrisi	54
Şekil 2.38 : A) Farklı cam profillerine ait yer değiştirme diyagramı B) Maksimum kam açıları.....	58
Şekil 2.39 : A) Tek eğri kamlarının B) Kompozit eğri kamlarının ivme diyagramları	58
Şekil 2.40 : A) Doğrusal kamın darbe kuvveti, B) Doğrusal olmayan kamın darbe kuvveti.....	59
Şekil 2.41 : Kam sistemlerindeki kuvvetlerin sınıflandırması.....	60
Şekil 2.42 : θ açısına sahip kam sisteminde sabit v hızı ile aşağı doğru hareket eden iğnenin maruz kaldığı kuvvetler	61
Şekil 2.43 : θ açısına sahip kam sisteminde sabit v hızı ile yukarı doğru hareket eden iğnenin maruz kaldığı kuvvetler	62
Şekil 2.44 : İğnenin ilmek kamına darbesi anında oluşan kuvvetler	64
Şekil 2.45 : Darbe sırasında iğnenin ilmek kamı üzerindeki hareketi	66
Şekil 2.46 : Rehber kamına etki eden darbe kuvvetleri ve koordinatları.....	68
Şekil 2.47 : Kancada meydana gelen çarpma sonucunda iğnede meydana gelen muhtemel hasarlar	71
Şekil 2.48 : Silindir etrafında belirli bir açı ile sarılan tekstil malzemesinin geçişi ..	72
Şekil 2.49 : Geri besleme teorisinde iplik hareketi.....	73
Şekil 2.50 : İplik ilmek oluşumunun tersi yönüne dönerken iplik gerginliği	74
Şekil 2.51 : Kütle değişiminin şematik gösterimi.....	75
Şekil 2.52 : Doğrusal olmayan kam sistemlerinde tanımlamalar	78
Şekil 2.53 : Optimizasyon sonrasında iğnede gerilim	81
Şekil 2.54 : İğne kancasındaki gerilim.....	82
Şekil 2.55 : ANSYS/LS-DYNA ile elde edilen analitik sonuçlar A- Yer değişim, B- Hız ve C- İvme	82
Şekil 3.1 : Makinenin genel görünüşü	86
Şekil 3.2 : Çalışmada kullanılan iğne	86
Şekil 3.3 : Örme kam sistemleri.....	87
Şekil 3.4 : A- Besleme sistemi, B- İpliğin örme bölgesine beslenmesi.....	87
Şekil 3.5 : Kumaş çekim sistemi.....	88
Şekil 3.6 : A-Makine tahrik sistemi, B- Makine motoru	88
Şekil 3.7 : Malzeme alışım elementleri ve yüzdeleri	90
Şekil 3.8 : Malzeme faz durumu	92
Şekil 3.9 : Ölçüm yönleri.....	93
Şekil 3.10 : İğnede gerinim ölçer yapıştırılan alanlar.....	96
Şekil 3.11 : Gerinim ölçerin yakından görünümü.....	96
Şekil 3.12 : İğne gövdesine açılan kanal.....	97
Şekil 3.13 : A-İğne gövdesine açılan kanala yerleştirilmiş teflon kablo ve B- Teflon kablonun iğne gövdesinden çıkış pozisyonu.....	97
Şekil 3.14 : İğnenin pim bölgesine gerinim ölçer yapıştırılması	98
Şekil 3.15 : İğnenin silindir kanaldaki konumu	98
Şekil 3.16 : Pim bölgesine gerinim ölçer yapıştırılan iğnenin makinedeki pozisyonu	98

Şekil 3.17 : A-Makinenin çekim bölgesindeki ek kablo ve gerinim ölçer kablosunun yerleşimi ve B- Gerinim ölçer kablolarının makineden düzgün bir şekilde uzaklaştırılmasına yardımcı olan ekstra aparatlar	99
Şekil 3.18 : Gerinim ölçer kablolarının gerginlik sistemi ve koruyucu kapak görüntüsü.	100
Şekil 3.19 : Deney tertibatının sinyal akış şeması	100
Şekil 3.20 : Koordinat belirleme makinesi	102
Şekil 3.21 : Yüzey profilin bilgisayar ortamına aktarılması.....	102
Şekil 3.22 : İğne görüntüsü.....	102
Şekil 3.23 : Silindir görüntüsü	103
Şekil 3.24 : Kam sistemi görüntüsü.....	103
Şekil 3.25 : Örme sisteminin 3-boyutlu montaj görüntüsü.....	104
Şekil 3.26 : Modelin genel çözüm ağı görüntüsü	106
Şekil 3.27 : İplik ve kumaş kuvvetinin modelde tanımlanması.....	107
Şekil 3.28 : nCode yazılımında girdi olarak kullanılan S-N eğrisi.....	109
Şekil 3.29 : Modifiye kam sisteminin detaylı görüntüsü.....	112
Şekil 3.30 : Işığın makine üzerindeki konumu	113
Şekil 3.31 : Veri kaydı sırasında kameranın konumu.....	113
Şekil 3.32 : Kamera görüntüsünün değerlendirilmesi	114
Şekil 3.33 : A- İğnenin kama ilk temas ettiği nokta ve B- İğnenin kama ikinci temas ettiği nokta	114
Şekil 4.1 : A-10x-İğne piminin kırılmış kesit görüntüsü B- 1000x-Ani kırılma sonrasında zoraki kırılma bölgesinin görünümü.....	118
Şekil 4.2 : A- 12x-0 tekrar pim yanal yüzey ve B-10x-13.492.242 tekrar sonrasında pim yanal yüzey	119
Şekil 4.3 : İğne topuğunun sol yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 10X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar	120
Şekil 4.4 : İğne topuğunun sol yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 250X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar	121
Şekil 4.5 : İğne topuğunun sol yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 3000X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar	122
Şekil 4.6 : İğne topuğunun sağ yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 10X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar	123
Şekil 4.7 : İğne topuğunun sağ yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 250X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar	124
Şekil 4.8 : İğne topuğunun sağ yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 3000X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar	125
Şekil 4.9 : Kullanılmamış iğne topuğunun üst yüzey görüntüsü: A- Sol yanal yüzey 100x, B- Genel görünüş 10x ve C-Sağ yanal yüzey 100x	126
Şekil 4.10 : 5.009.201 tekrar sayısı sonrasında iğne topuğunun üst yüzey görüntüsü: A- Sol yanal yüzey 100x, B- Genel görünüş 10x ve C-Sağ yanal yüzey 100x	127

Şekil 4.11 : 6.337.595 tekrar sayısı sonrasında iğne topuğunun üst yüzey görüntüsü: A- Sol yanal yüzey 100x, B- Genel görünüş 10x ve C-Sağ yanal yüzey 100x.....	128
Şekil 4.12 : 13.492.242 tekrar sayısı sonrasında iğne topuğunun üst yüzey görüntüsü: A- Sol yanal yüzey 100x, B- Genel görünüş 10x ve C-Sağ yanal yüzey 100x.....	129
Şekil 4.13 : İğne kancasının sol yanal yüzey görüntüsü: A- 0 tekrar 10X, B-0 tekrar 3000X, C-13.492.242 tekrar 10X ve D-13.492.242 tekrar 3000X	130
Şekil 4.14 : İğne kancasının iç yüzey görüntüsünün örme işlemi ile değişimi: A-0 tekrar 500X, B-0 tekrar 3000X, C- 5.009.201 tekrar 500X, D- 5.009.201 tekrar 3000X, E- 6.337.595 tekrar 500X, F- 6.337.595 tekrar 3000X, G- 13.492.242 tekrar 500X ve H- 13.492.242 tekrar 3000X	131
Şekil 4.15 : İğne kancasının iç yüzey görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 30X için A-0 tekrar ve B- 13.492.242 tekrar	133
Şekil 5.1 : İğnenin pim bölgesine ait 2 saniyelik gerilme veri grafiği.....	1365
Şekil 5.2 : İğnenin pim bölgesine ait gerilme veri grafiği	136
Şekil 5.3 : nCode programına tanımlanan gerilme verisi (MPa).	137
Şekil 5.4 : nCode programının blok diyagramları	137
Şekil 5.5 : Zamana bağlı hasar veri grafiği.....	138
Şekil 5.6 : Gerilmeye bağlı hasar veri grafiği.....	139
Şekil 6.1 : İğne ile kam arasında ortaya çıkan reaksiyon kuvvetleri: a-x yönünde, b-y yönünde ve c-z yönünde	142
Şekil 6.2 : nCode programına sonlu elemanlar modelinin tanıtılması.....	143
Şekil 6.3 : nCode yazılımı blok diyagramları	143
Şekil 6.4 : A-İgnede meydana gelen hasar ve B-Kırılmanın gerçekleştiği bölgenin yakından görünümü	144
Şekil 6.5 : Kırılma yüzeyinden ömür tayini.....	145
Şekil 6.6 : A-Topuk üst yüzey hasar profili ve B- Topuk alt yüzey hasar profili....	146
Şekil 7.1 : 15 dev/dak hızda % 100 pamuk ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi	148
Şekil 7.2 : 20 dev/dak hızda %100 pamuk ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.....	150
Şekil 7.3 : Makine hızının iğne hareketine etkisi.....	152
Şekil 7.4 : 15 dev/dak hızda % 100 PET ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.....	155
Şekil 7.5 : 20 dev/dak hızda % 100 PET ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.....	157
Şekil 7.6 : Makine hızının iğne hareketine etkisi.....	159
Şekil 7.7 : Malzeme ve iplik tipinin iğne hareketine etkisi.....	163
Şekil 7.8 : Malzeme ve iplik tipinin iğne hareketine etkisi.....	165
Şekil 7.9 : 15 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.....	168
Şekil 7.10 : 20 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.....	170
Şekil 7.11 : Makine hızının iğne hareketine etkisi.....	173
Şekil 7.12 : 15 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.....	176
Şekil 7.13 : 20 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.....	178
Şekil 7.14 : Makine hızının iğne hareketine etkisi.....	180
Şekil 7.15 : Malzeme ve iplik tipinin iğne hareketine etkisi.....	183

YUVARLAK ÖRME MAKİNESİ ELEMANLARININ AŞINMA VE DİNAMİK DAVRANIŞININ MODELLENMESİ

ÖZET

Yuvarlak örme makinelerinde çalışan iğneler, kumaş üretimi esnasında değişken ve tekrarlı yüklere maruz kalmaktadırlar. Etki eden bu kuvvetlerin yarattığı gerilme değerleri malzemenin karakteristik değerleri olan akma ve kopma dayanımından küçüktür. Ancak dinamik yüklemeler altında malzemeler bir süre sonra maruz kaldıkları bu yükleri taşıyamazlar ve kırılırlar. Bu durum, iğnelerin yorulması olarak değerlendirilir ve bu yorulma karşılığında meydana gelen maliyet kayıplarının önüne geçebilmek için iğne yorulma ömrünün tayinini zorunlu kılar. Bu noktadan çıkışla, yapılan doktora çalışmasında; yuvarlak örme makinesi iğnesine etki eden kuvvetler ve bu kuvvetler doğrultusunda iğne ömrünün hesaplanmasına yönelik bir çalışma kurgulanmıştır.

Doktora çalışması ana hatları ile iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısmı İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Örme Laboratuvarı'nda laboratuvar tipi yuvarlak örme makinesinde gerçekleştirilmiştir. İğneler, Ne 4/1 % 100 telefli open-end pamuk ipliği ile kumaş örerek ilk iğne kırılıncaya kadar aşındırılmışlardır. Daha sonra iğne üzerine gerinim ölçer (strain gage) bağlanmış; 100 dev/dak makine hızı ve 100 Hz'de birim şekil değişimi değerleri ölçülerek Catman yazılımı ile bilgisayara kaydedilmiştir. Daha sonra elde edilen bu değerler, nCode yorulma programına aktarılarak sanal yorulma analizi yapılmış ve bu programdan elde edilen değerler ile gerçek yorulma sonuçları karşılaştırılmış; aradaki farkın % 9,04 olduğu tespit edilmiştir. Bunun devamında, 3-boyutlu olarak modellenen örme sisteminin sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Bu modele, uygun sınır şartları ve kuvvetlerin uygulanması ile sonlu elemanlar analizleri tamamlanmıştır. Analiz sonucu elde edilen gerilme değerleri kullanılarak nCode programında sanal yorulma testleri yaptırılmış ve elde edilen sonuçlar gerçek kırılma zamanı ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sırasında, iğnenin yedi farklı yüzeyinden dört farklı tekrar sayısına ait farklı büyütmelede SEM çekimleri yapılmış ve iğne profilinin üretim esnasında nasıl değiştiği de irdelenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmı ise RWTH Aachen Üniversitesi ITA Enstitüsü'nde 90 beslemeli E24 30" sanayi tipi yuvarlak örme makinesinde gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, iğne hareketine makine hızı, iplik tipi, iplik gerginliği ve elastanın etkisi irdelenmiştir. Makine üretim halindeyken OLYMPUS i-SPEED 3 yüksek hızlı kamera yardımıyla alınan görüntüler yoluyla iğnelerin hareket eğrileri irdelenmiştir.

Yuvarlak örme iğnelerinde karşılaşılan yorulma hasarlarının tespiti amacıyla gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizi üzerinde farklı üretim verileri anlamında değişikliklere gidilerek değişen koşullar için iğne ömürlerinin hızlı bir şekilde belirlenebildiği gösterilmiştir. Diğer bir deyişle, çalışma kapsamında geliştirilen model kullanılarak; düşük maliyetlerde ve çok hızlı sürelerde iğne yorulmasına, dolayısıyla hatalı kumaş üretimine yol açabilecek verilerin belirlenebileceği

gösterilmiştir. Buna ilave olarak, iğnelerin değişen örme şartlarına bağlı olarak yüzey topolojilerinin nasıl değiştiği de irdelenmiştir. Son olarak, üretim şartlarına bağlı olarak iğne hareketinin değişimi analiz edilmek suretiyle, kumaş üretimi esnasında iğne sıçrama miktarını en aza indirebilecek ve dolayısıyla iğne ömrünün uzatılmasını sağlayabilecek bir optimizasyona gidilmesinin de mümkün olacağı gösterilmiştir.



MODELING OF ABRASION AND DYNAMIC BEHAVIOUR OF CIRCULAR KNITTING ELEMENTS

SUMMARY

Needles are the most important stitch formation elements of the knitting process and they are exposed to variable and repetitive loads and forces during fabric production. Stresses that are obtained due to these forces are smaller than the material yield and tensile strength. However, after a while the material cannot carry these dynamic loading they are exposed and finally broken. This is regarded as the fatigue of the needles. Any abraded or fracture of these needles cause unwanted and irrecoverable faults on fabric like uneven loop structure, holes and dropped stitches, which cause huge irresistible loss costs. Meanwhile, majority of the manufacturers would like to produce their products with high speed but without any faults in the process. This is achieved to some extent with the advance in many industrial areas, especially machinery and computer technology. However, it has been realized that it is impossible to increase the production speed infinitely without considering textile materials using on the machines due to the material related problems occurring in the production. Increasing the speeds of weft knitting machines will consequently enlarge the reaction forces between knitting elements and then cause their attrition. From this point of view, the doctoral thesis under discussion was conducted with the aim of obtaining the forces acting on the circular knitting machine needle, and then of determining the fatigue life of the needle in accordance with these forces.

The study consisted of two parts. The first part was performed at Istanbul Technical University, Knitting Laboratory. With the aim of determining the life of the needles, the laboratory type knitting machine, which helps to save material and energy, was employed. The machine was 3.25" in diameter and had fifty six needles. During the production process, all the settings were kept constant in order to investigate the lifetime of the needle at standard conditions. The machine had the same equipment such as automatic oil, take up and feeding system, as an industrial one. Before starting the experiment, all of the needles of the machine were replaced with the new ones and the knitting period was ended when a needle breakage occurred. For the study, second quality Ne 4/1 100 % cotton open-end yarn was used. In the beginning of the study the machine velocity was adjusted to 100 rpm, but then increased to 250 rpm and finally the velocity was adjusted to 450 rpm. A positive feeding system was used to supply yarn from side creel to the knitting zone under four grams of tension. The periodic machine maintenance was also applied such that the needles, sinkers, slots and cams were cleaned in detail. Up to needle fracture, three maintenance processes were made.

At first section of the first part of the study, the surface change during fabric production was examined by scanning electron microscopy (SEM) due to its good resolution, depth of focus and its ability to provide an understanding of the surface change during fabric production. To do so, seven different surfaces of the needle at four different

cycles were analyzed at different magnifications. The SEM examination was conducted using a 10-20 kV electron beam and with a magnification range of 10X to 3000X. In our study, the first fracture occurred at rivet part of the needle after knitting 10.042.072 courses. In our study there was only one fatigue source propagating from the surface. Heterogeneities, micro cracks and mechanical striations were observed when lateral surface of the unused needle rivet part was examined in detail under electron microscope. This could be an additional factor that had given rise to crack initiation as a result of stress concentration. The fracture surfaces of the particles are mostly perpendicular to the uniaxial loading direction, and the cracks propagate from the free boundary to inside, which is corresponding to a maximum principle stress direction. From the SEM photos, it appears that wear of the latch hole and rivet had perpendicular visual sight to the latch stem. This wear might be the result of abrasive particles in the open-end yarn etching the metal from the surface. As the yarn comes into contact with the throat area of the needle, these fiber particles which contain certain levels of micro dust generate wear on the latch blade and saw slot walls. The SEM photographs also showed that there was a wear on both upper and bottom parts of the needle butt. The wear mostly occurred in the areas where needle butt follows the cam path and the wear at these points grew gradually when the total revolution of the needle was increased. Moreover, the amount of wear on each side of the needle butts was dependent on direction of the machine revolution as the right sides of the needle butts tended to wear more, when compared to the left sides. Also, it was found that the wearing off in the hook part moved in more by increasing the number of knitting courses especially at inner contour of the hook. Furthermore, the grooves occurred due to the heavy yarn friction between the yarn and the needle hook became more deepened and extended as the number of knitted courses increased.

At second section of the first part, strain gage was glued onto the closed position to the fracture occurred point and strain values were recorded at 100 Hz and 100 rpm conditions. These strain values were evaluated at Catman program and then imported to nCode Glyphworks program in order to perform virtual fatigue analyze. nCode Glyphworks results showed that there was a 9,04% difference between the real and virtual fatigue lives of the needle.

In the following section, 3-D models of the cam, needle as well as cylinder of the knitting system were drawn by Solidworks program and then a finite element solver ABAQUS was used to determine the forces acting on the needles during knitting production process. The stress values obtained were then imported to nCode Designlife program in order to comparatively study the fatigue lives of the experimental and finite element results and with a 14,17 % difference the lives of the needles could be estimated. Also, the damage images obtained by nCode Designlife program were similar to SEM images.

Second part of the study was performed at RWTH Aachen University Institut für Textiltechnik (ITA). A E 24 30" circular knitting machine, equipped with Groz-Beckert needles, with 90 positive feeding systems was used in an attempt to investigate real time needle movement on an industrial machine using a OLYMPUS i-SPEED 3 high speed camera, which was a novel approach for such studies. The measurements were recorded at two different machine speeds, which were 15 and 20 rpm, and Ne 50/1 ring cotton and 110 dtex textured polyester yarns were used at three different yarn tension values in order to see their visual effects on the needle movement. Also, elasthane and its three different tensions were also added to the experimental set. By

doing so, forty eight varied situations were investigated. The important results of the study under discussion can be summarized as follows:

1. The needle displacement in both x and y coordination did tend to increase as the yarn tension raised, irrespective of machine speed.
2. For all the relevant cases discussed, the presence of elastane yarn was a significant parameter on needle movement. However, its input tension was not as influential as its presence.
3. The data obtained for knitting with textured polyester yarn showed that the needle movement was highly dependent on yarn tension.
4. Producing with cotton ring yarn made the needle bounce more than knitting with the textured polyester yarn, especially for low yarn tension and machine speed.
5. For all situations, the velocity of the needle was higher at robbing back, which in turn caused a greater displacement.

Accordingly, it may be suggested that for a longer needle life;

- Manufacturing at optimized yarn would decrease the force inside needle hook.
- Working at lower machine speeds causes needles to bounce less, which in turn results in decreasing impact force.
- Working with yarns of low frictional properties would allow needles to follow cam path thoroughly, which results in less abrasion on cam and needle butt.

The finite element model developed to determine the fatigue damage encountered in circular knitting needle showed that by changing production data, the lifetime of the needle can be determined very quickly at low cost. In addition to that, the surface topology of the needle during fabric production was investigated. Finally, it was showed that with the help of an optimization process based on analyzing needle movement at various production conditions, not only needle life could be extended, but also the production conditions causing possible needle damage could be avoided.

1. GİRİŞ

Tekstil sektöründe müşterilerin beklentilerine hızlı ve hatasız bir şekilde cevap verebilmek, rekabet ve devamlılık açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle sürekli olarak artan işçilik ve enerji maliyetleri, değişken iplik fiyatları ile küreselleşme üreticiler üzerindeki baskıyı arttırmaktadır [1]. Bu yüzden tekstil firmaları, tekstil makine ve parçalarının dayanıklılığına büyük önem vermektedir; zira bunlarda meydana gelen herhangi bir problem, doğrudan kumaş kalitesini ve üretim süresini etkilemekte; maliyetin artmasına ve dolayısıyla kar marjının düşmesine neden olmaktadır. Bu durum, özellikle hataların daha sık rastlandığı ve ortaya çıkan bu hataların sonradan fark edilebildiği örme sektöründe daha büyük önem taşımaktadır.

Örme makinelerinin temel elemanı olan iğneler, üretilen kumaşın kalitesini ve üretim verimliliğini doğrudan etkiler. Makine üzerinde çok sayıda bulunan örme iğnelerinde meydana gelen bir problem sonucunda ortaya çıkan hatalar, telafisi mümkün olmayan zararlara neden olabilmektedir. Kırılma, yorulma, aşınma ve korozyon örme iğnelerin arızalanmasında klasik nedenlerdir ve bunların ortaya çıkmasına en çok aşırı yük, kirlenme, yağlama eksikliği, kimyasal etkiler, yüksek aşınma ve mekanik hasarlar neden olmaktadır [1]. Makine üzerinde yer alan iğne sayısı ve her bir iğnenin ortalama 6000 Euro/1000 adet birim fiyatı düşünüldüğünde iğnelerde meydana gelen deformasyonun önceden tahmin edilebilip, kumaş üretim hatalarının önüne geçilmesi büyük önem taşımaktadır.

Genel olarak, metallerde meydana gelen hasarların yorulma nedeniyle kaynaklandığı göz önüne alınırsa [2-4]; çevrimsel diğer bir deyişle dinamik yüke maruz kalan tasarımlar için gerçekleştirilecek yorulma analizlerinin değeri ortaya çıkar. Ancak yorulma kırılmaları herhangi bir belirti göstermeden bir anda meydana geldikleri için önceden tespit edilebilmeleri çok güçtür. Çeşitli sebeplerden dolayı deneysel çalışmalarda her parça için farklı yorulma ömür değerleri bulunur ve yorulmaya karşı tasarım yapılırken güvenilir veriler elde edebilmek için onlarca test yapılması gerekir. Bununla birlikte, amaca uygun yazılımlar yorulma ömür tayini hesaplarını çok kısa sürelerde gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca, bilgisayar ortamında güvenilir bir yorulma

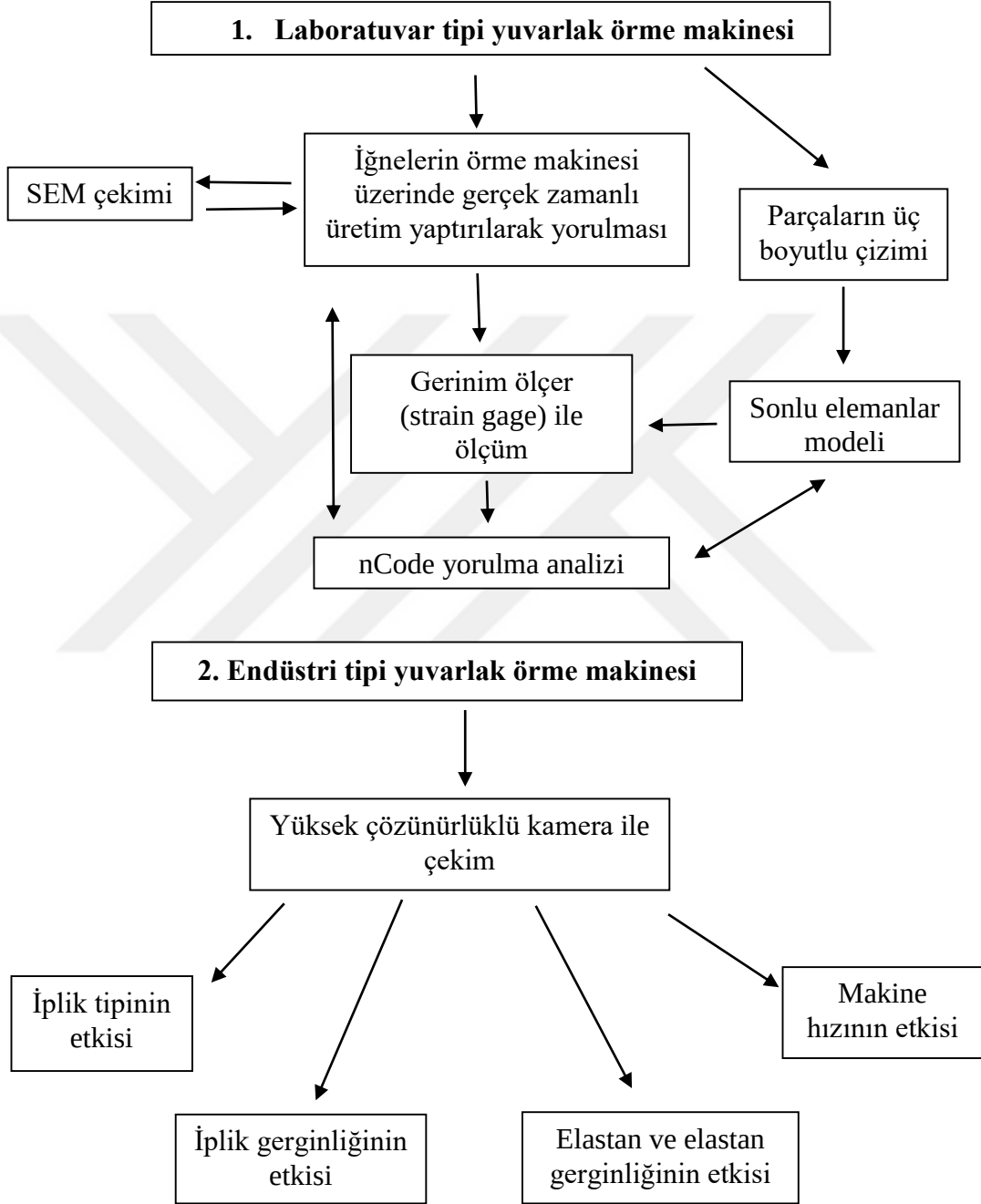
analizi ile yorulma hasarını önceden tahmin etme yöntemiyle maliyet kayıplarının önüne geçilebilmektedir.

Bu noktadan çıkışla, belirli şartlar altında çalışan iğnelerin ömürlerini önceden tahmin etmeye yönelik bu doktora çalışması kurgulanmıştır ve çalışma ana hatları ile iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısmı İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Örme Laboratuvarı'nda istenilen özelliklerde ürettirilen elli altı iğneli 3.25” tek beslemeli laboratuvar tipi yuvarlak örme makinesinde gerçekleştirilmiş, ikinci kısmı ise RWTH Aachen Üniversitesi ITA Enstitüsü’nde doksan beslemeli E24 30” sanayi tipi yuvarlak örme makinesinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.1’de çalışmanın akış şeması görülmektedir.

Çalışmanın birinci kısmında; iğne aşınmasında en fazla etkili olan iplik tipinin open-end olduğu bulgusundan yola çıkarak [5-8]; Ne 4/1 %100 open-end telefli pamuk ipliği kullanılarak kontrollü ve sabit örme şartları altında kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir. 10.042.072 tekrardan itibaren iğnelerin pim bölgelerinden kırıldığı tespit edilmiş, kumaş üretim prosesi bu noktada sonlandırılmıştır. Bunu takiben; makinede kullanılan iğnelerin malzeme özellikleri belirlenerek, iğne hasarının gerçekleştiği pim bölgesine en yakın bölgeden gerinim ölçer (strain gage) vasıtasıyla 100 Hz’de iğnede meydana gelen birim uzama değişimleri ölçülmüştür. Gerinim ölçerden elde edilen veriler nCode yorulma programına aktararak yorulma analizi yapılmıştır. Ayrıca kullanılmamış iğnelerin yanı sıra üretim esnasında üç farklı çevrim zamanında alınan iğnelerin yedi farklı yüzeyinden; 10-20 kV hızlanma voltajı (EHT), 10x-3000x büyütme aralığında SEM çekimleri TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü’nde gerçekleştirilmiştir.

DeneySEL çalışmaların yanı sıra; yuvarlak örme iğnelerinin yorulma ömür tayini hesaplarında kullanılan bilgisayar destekli uygulamaların güvenilirliği de bu tez kapsamında tartışılmıştır. Çalışmada kullanılan iğnenin 3-boyutlu modeli, gerçek model üzerinden koordinat belirleme makinesi ile alınmıştır. Örme sisteminde yer alan silindir ve kam bloklarının 3-boyutlu modelleri ise Solidworks programı kullanılarak çizilmiştir. Daha sonra ayrı ayrı elde edilen bu 3-boyutlu modellerin montajı yapılmış ve Abaqus yazılımı kullanılarak, yerçekimi ve kamın dönüş hızına bağlı olarak kam profilini takip edebilen iğneye ait sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelde, şimdiye kadar yapılan çalışmalardan farklı olarak iğne, tüm bileşenlerini (kanca, dil, topuk vb.) içerecek şekilde modellenebilmiş ve üretim şartları da gerçek

koşulları birebir yansıtacak şekilde literatürde ilk kez oluşturulmuştur. Yapılan dinamik/explicit analiz sonucunda elde edilen gerilme değerleri, nCode yorulma programına aktararak yorulma testi yapılmış; kırılmanın gerçekleştiği yüzeydeki sonuçlar ile deneysel çalışma değerleri karşılaştırılarak doğrulanmıştır.



Şekil 1.1 : Çalışmanın akış şeması.

Sanayi tipi yuvarlak örme makinesinde gerçekleştirilen çalışmanın ikinci kısmında; örme kumaş üretimi gerçekleştirilirken, makine hızı, iplik gerginliği ve elastanın üretime katılıp gerginliğinin değiştirilmesinin iğnenin kam yolunda yapmış olduğu

hareketi nasıl etkilediği detaylı olarak araştırılmıştır. Kırk sekiz farklı kombinasyonun analiz edildiği çalışmada, kullanılan parametreler Çizelde 1.1’de gösterilmiştir. Yuvarlak örme kumaş üretimi esnasında yüksek çözünürlüklü kameranın ilk kez kullanıldığı bu çalışmada; veri kaydı için OLYMPUS i-SPEED 3 yüksek hızlı kamera kullanılmıştır.

Çizelge 1.1 : Deneysel çalışma detayları.

Lif tipi	% 100 Ring pamuk, %100 Tekstüre polyester
Makine hızı (devir/dakika)	15 ve 20
İplik gerginliği (cN)	3, 6 ve 9
Elastan gerginliği (cN)	0, 3, 6 ve 9

Verilen açıklamalar ışığında, bu çalışmanın esas olarak iki önemli hedefe hizmet etmek üzere kurgulandığı söylenebilir:

1. Oldukça katmaşık konstrüksüyona sahip iğne gibi örme elemanları için sonlu elemanlar ve sanal yorulma metotlarını kullanarak, “yorulmaya bağlı malzeme hasarlarının” tahminlenmesi ve böylece bu tip hasarlardan kaynaklanabilecek üretim kalite problemlerinin bertaraf edilmesi,
2. Makine üretim parametrelerine bağlı olarak değişen iğne hareketlerinin, gerçek zamanlı analizleri yoluyla, iğne ömrünün optimizasyonunu sağlayacak üretim şartlarının belirlenmesidir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Aşınmanın Tanımı

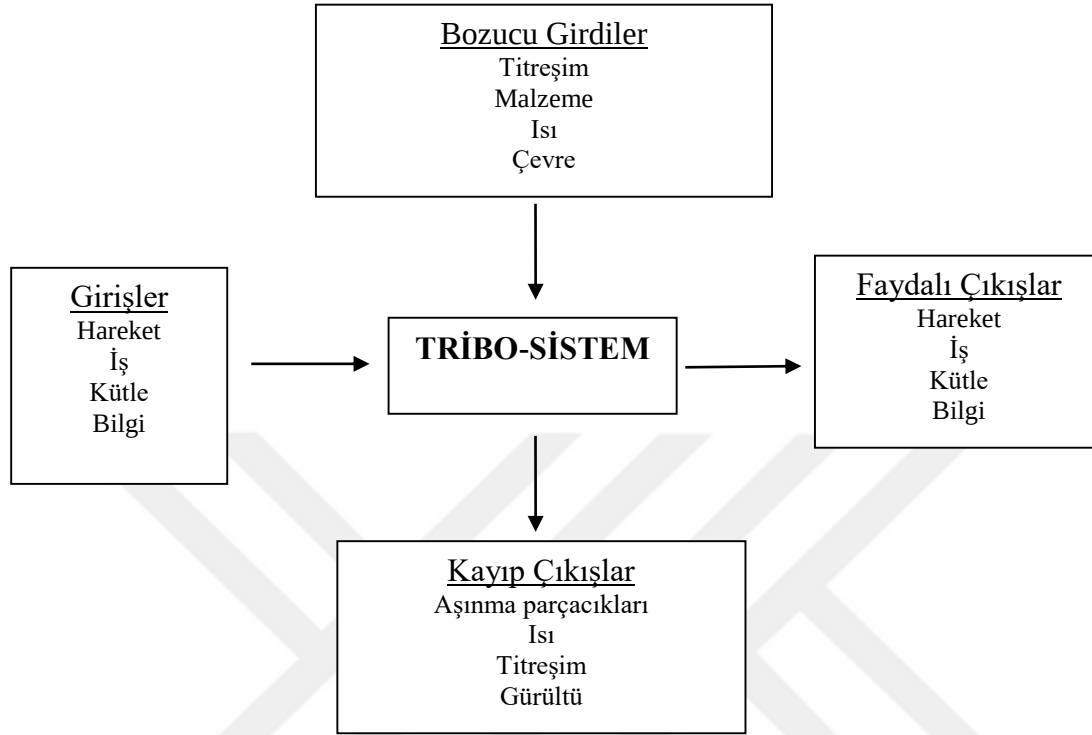
Aşınma karmaşık bir olay olduğundan bir çok çeşidi vardır ve çok sayıda tanımı yapılmıştır. DIN 50320'ye göre aşınma “Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması ile mekanik etkiler ile yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucunda meydana gelen ve istenmeyen yüzey hasarlarıdır”. Organisation for Economic Cooperation and Development, aşınmayı “İzafi bir hareket sonucunda bir cismin yüzeyinde meydana gelen sürekli malzeme kaybı” olarak tanımlarken American Society of Lubrication Engineers ve diğerleri “Mekanik bir etki ile malzemenin kaldırılması” şeklindeki tanımı kabul etmişlerdir. Diğer bir tanımlama ise “Katı cisimlerin yüzeylerinden tribolojik etkiler ile sürekli malzeme kaybı” şeklindedir [9].

Sonuç olarak aşınma, malzemelerin yüzeyinden kopma ve kırılma yoluyla küçük parçacıkların ayrılması sonucunda oluşan bir hasar mekanizması olarak tanımlanabilir. Bu mekanizmanın aşınma sayılabilmesi için gerek ve yeterli şartlar, malzeme yüzeylerinin birbirlerine göre izafi hareket yapmaları, malzeme yüzeylerinin her ikisinde veya birinde mekanik bir etki sonucunda malzeme kaybı oluşması ve aynı zamanda, bu olayın istem dışı meydana gelmesidir. Aşınma olayları, tribolojik sistem (tribosistem) adı verilen bir sistem içinde incelenir [9].

2.1.1 Tribosistem

Triboloji; sürtünmenin, yağlamanın, aşınmanın ve aynı zamanda triboloji biliminin teknik uygulamalarının, bütün tiplerinin bilimsel araştırmalarını içeren bir bilim dalıdır. Aşınma davranışı bağlamında; sürece etki eden değişkenler ve bunların birbirleriyle etkileşimleri dikkate alınarak incelenmesi gerekmektedir. Bu süreç tribolojik sistem olarak adlandırılır. Aşınma hızı veya direnci ve sürtünme katsayısı; sertlik ve çekme mukavemeti gibi bir malzeme özelliği olmayıp tribosistemin özelliğine bağlı olarak değişir. Sürtünme, harekete karşı direnci ifade eder ve katı cisimlerde gerçek temas alanlarının iç etkileşimleri sonucunda artar. Sürtünme büyük

enerji kayıplarına neden olurken, aşınma büyük malzeme kayıplarına neden olmaktadır [9, 10]. Tribolojik sistemin, genel giriş-çıkış tanımı Şekil 2.1’de şematik olarak görülmektedir.

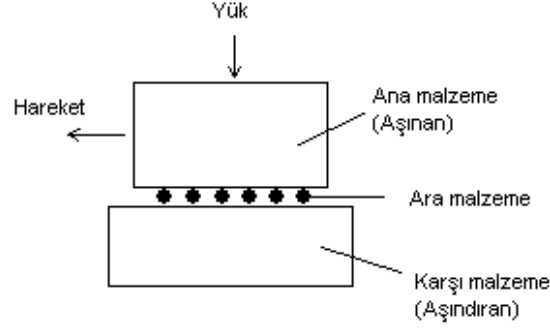


Şekil 2.1 : Tribo sistemin genel “Giriş-Çıkış” tanımları [9].

Bir aşınma olayını oluşturan unsurlar şunlardır:

1. Ana malzeme (Aşınan)
2. Karşı malzeme (Aşındıran)
3. Ara malzeme
4. Yük
5. Hareket

Aşınan ve aşındıran malzemelere “Aşınma çifti” denilir. Aşınma çifti ile ara malzemeye de beraberce “Aşınma kombinasyonu” denilmektedir (Şekil 2.2). Aşınma çifti arasındaki ara malzeme, sert taneli, sıvı, gaz ve buhar halinde olabilir. Aşınma sırasında oluşan aşınma parçacıkları da ara malzeme gibi etki yaparak aşınma olayına katılabilirler [9].



Şekil 2.2 : Aşınmayı oluşturan unsurlar [9].

Tekstil üretimindeki tipik tribo sistem; temel yüzey (tekstil yüzeyi), karşıt yüzey (tekstilden daha sert olan, lif ile temas eden yüzey) ve her iki yüzey arasındaki lif, polimer, mum, terbiye maddeleri ile çevreden gelen diğer maddelerden oluşan ara malzemeden meydana gelir [10].

2.1.2 Aşınma mekanizmaları

Bir tribosistemin, parametrelerine bağlı olarak farklı aşınma mekanizmaları oluşabilir. Aşınma mekanizması, bir tribosistemin elemanları arasında malzeme ve enerji etkileşimi olarak tanımlanabilir. Gerekli giriş büyüklüklerinin tribolojik sistem içerisinde yaptığı etkinin iletilmesine göre farklı aşınma mekanizmaları ortaya çıkabilmektedir. Bu aşınma tipleri şunlardır [9, 11]:

1. Adhesiv aşınma,
2. Abrasiv aşınma,
3. Uzun ömürlü yorulma aşınması,
4. Tribokimyasal reaksiyon veya tribokimyasal aşınma.

Bu aşınma mekanizmaları Şekil 2.3’de şematik olarak gösterilmiştir.

2.1.2.1 Adhesiv aşınma

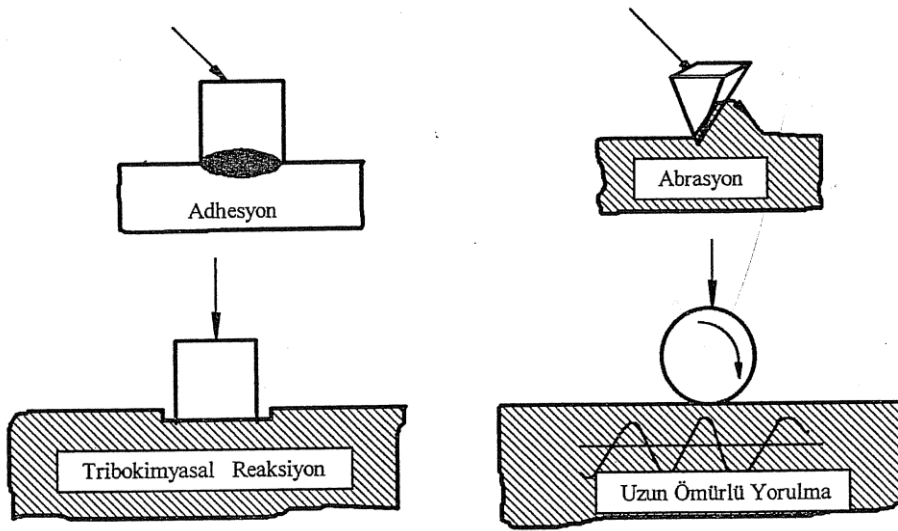
Adhesiv aşınma, birbiri ile kayma sürtünmesi yapan metal-metal aşınma çiftinde oluşan basınç kaynağının (kaynama veya yenme aşınması) bir sonucudur. Uygulanan basınç veya yük ile temas alanı, adhesiv aşınmayı etkileyen çok önemli faktörlerdir. Uygulanan basıncın etkisiyle çıkıntılarının daha fazla deforme olduğu ve bu yüzden malzemenin gerçek temas alanının arttığı gözlenmiştir. Gerçek temas alanının artması uygulanan basınç miktarına olduğu kadar, malzemenin özelliklerine ve yüzey

geometresine de bağılıdır. Aşınma, birim alana uygulanan yüzey basıncı ile doğru, malzemenin sertliği ile ters orantılı olarak değişmektedir.

Adhesiv aşınma, denklem 2.1 ile ifade edilebilir [11]:

$$V = \frac{K PS}{3 p} \quad (2.1)$$

Burada V aşınma miktarı, P yük, S kayma uzunluğu, p temas eden malzemelerden yumuşak olan malzemenin sertliği, K pürüzlerin transfer olma ihtimalidir.



Şekil 2.3 : Dört aşınma mekanizmasının şematik olarak gösterilmesi [9, 11].

2.1.2.2 Abrasiv aşınma

Abrasiv aşınma, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle temas eden iki cisimden daha sert olanının, pürüz tepelikleri ya da taneleri vasıtasıyla diğer cismi çizerek üzerinden mikron mertebesinde talaş kaldırması olayıdır. Aşınma talaşları; çizme kesme, raybalama ve çarpma sonucunda meydana gelebilir. Burada katı/katı, tanecik/katı, katı/sıvı gibi pek çok aşınma çiftleri olabilir [9, 11]. Abrasiv aşınma denklem 2.2 ile ifade edilebilir [11]:

$$V = K^* \frac{PS}{p} \quad (2.2)$$

Burada V aşınma miktarı, P yük, S kayma uzunluğu, p temas eden malzemelerden yumuşak olan malzemenin sertliği, K* normalleşmiş aşınma oranıdır ve aşınmaya neden olacak profil ile temas açısına bağlıdır.

2.1.2.3 Uzun ömürlü yorulma aşınması

Mühendislik malzemelerinde yorulma aşınması, değişken tekrarlı zorlanma altında ve zamana bağlı olarak meydana gelir. Yüzey bölgesi titreşimli ve değişken zorlanmaya maruz kaldığı zaman, malzeme yüzeyinin hemen altında mikro çatlaklar oluşur. Bu çatlakların yüzeye ulaşması sonucunda da yüzeyden pullanma şeklinde parçacıklar ayrılır, yüzeyde çukur ve oyuklar oluşur. Tekrarlı gerilmeler genellikle elastik sahada değiştiğinden, bu tür yorulma uzun ömürlü yorulmadır [9]. Uzun ömürlü yorulma aşınması denklem 2.3 ile ifade edilebilir [11]:

$$V = k \frac{P^m S^n}{p^l} \quad (2.3)$$

Burada V aşınma miktarı, P yük, S kayma uzunluğu, p yumuşak olan malzemenin sertliği, k aşınan malzemenin mekanik özelliklerine bağlı bir sabittir. $m \geq 1$ olma eğilimindeyken $n \leq 1$ olma eğilimindedir.

2.1.2.4 Tribokimyasal (koroziyon) aşınma

Tribokimyasal aşınma mekanizması, kimyasal olarak oluşturulmuş yüzeylerin ayrılması veya yeniden oluşturulmasıdır. Metaller korozyon oluşumuna eğilimlidir ve korozyona sebep olan ortam gaz veya sıvı olabilir ve her biri aşınma hasarına sebep olabilir [11].

2.1.3 Aşınmaya etki eden parametreler

Tüm aşınma mekanizmalarına çok çeşitli parametreler etki eder. Bunlar;

- Malzeme parametreleri: Bileşim, termal iletim, sertlik, habbe büyüklüğü vb.
- Tasarım parametreleri: Şekil, yükleme, hareket şekli, düzgünsüzlük, titreşim vb.
- Yağlama parametreleri: Sıcaklık, nem, viskozite, yağlama stabilitesi vb.
- Üzerinde kaplama olması veya olmaması

Yüzeyde oluşan aşırı yük, aşınma olayının en yaygın karakteristiğidir. Malzemenin temas eden yüzeyleri ne kadar hassas işlenirse işlensin, yüzeyde pürüzlülük mutlaka bulunur. İki yüzey temas ettiği zaman görülenin aksine, gerçek temas daha çok küçük bir alanda meydana gelmektedir. Bu alan yüzeydeki pürüzlülüğü oluşturan

yükseltilerin temasından meydana gelir. Bu nedenle, iki katı malzeme yüzeyinin görünen ve gerçek temas alanları arasında büyük farklılıklar olduğu farklı uygulamalarda ortaya konulmuştur [10].

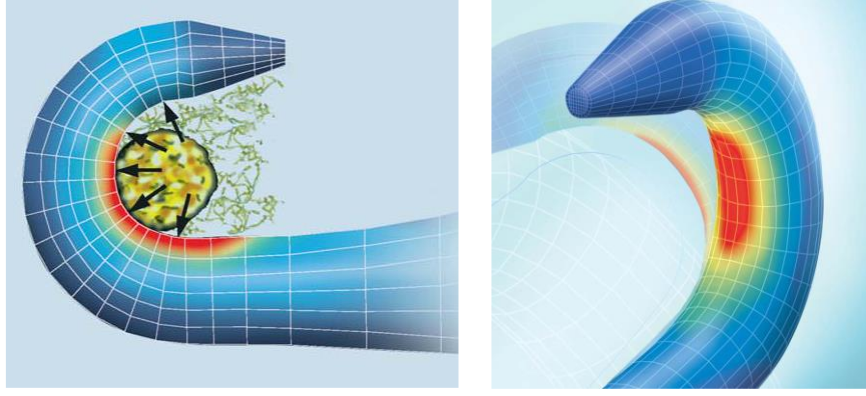
Uygulanan basınç veya yük, temas alanını ve dolayısıyla aşınmayı etkileyen çok önemli bir faktördür. Uygulanan basıncın etkisi ile çıkıntıların daha fazla deforme olduğu ve bu yüzden malzemenin gerçek temas yüzeyinin arttığı gözlenmektedir. Temas bölgesindeki iki veya daha fazla yapının sürtünme kuvveti üzerine etkisi incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü ile sürtünme arasındaki ilişki önem kazanır. Temas bölgesindeki yükselti sayısındaki artış, sürtünme kuvvetini arttırmaktadır. İki yüzeye ait yükselti temas ettiği zaman, yükselti malzemelerin sürtünme dayanımı için başlıca kaynağı oluştururlar. Aynı zamanda bu yükselti, metal yüzey aşınmasına etki eden en önemli faktörlerden birisidir [10].

2.1.4 Örme iğnelerinde meydana gelen aşınmalar

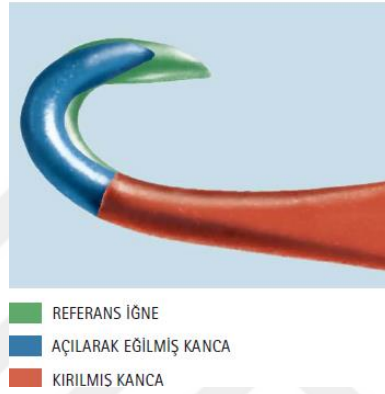
Örme makinelerinde kullanılan iğneler örme işleminin temel elemanı olup, iğnelerin kalitesi üretilen kumaşın kalitesini ve üretimin verimliliğini, kısacası üretimin ekonomik açıdan optimum olmasını doğrudan etkileyen faktörlerden biridir. Özellikle beklenen süreden daha önce aşınan iğneler, imalatçılar için büyük maddi kayıplara neden olur. Kumaş üretimi sırasında fark edilmeyen iğne hasarları sonucunda meydana gelen düzgün olmayan ilmek ve kumaş yapısı (istenmeyen askı ilmek, çift ilmek vb), ipliklerin hasar görmesi sonucunda tüylü bir görünüm, delik ve patlaklar gibi ortaya çıkan ve telafisi mümkün olmayan hatalar ciddi mali kayıplara neden olmaktadır.

İğnede en belirgin aşınma belirtileri, iplik ile temasın en yüksek olduğu bölgelerde (kanca, dil ve pim gibi) meydana gelirken; en büyük aşınma ise ilmeğin iğne kancasından gövdesine geçerken meydana gelir [7, 10, 12, 13].

Örme işlemi esnasında; iğne kancası içinde iplik besleme gerginliği ve kumaş çekim kuvveti nedeniyle bir yük oluşmaktadır. Bu yük seviyesi, iplikten gelen kalın yerler veya iplikle beraber taşınan lif uçuntu ve benzeri birikintilerle normalin yirmi katına kadar çıkabilmektedir. Kancanın içerisindeki çekim gerginliği de buna bağlı olarak artmakta (Şekil 2.4) ve aşınmaya neden olmaktadır. Belirli bir noktadan sonra iğne kancası bu zorlanma nedeniyle kırılır (Şekil 2.5). Özellikle üretilen sıra sayısı arttıkça kanca yanal yüzeylerinde ve iğne dilinde meydana gelen aşınma artar [1].



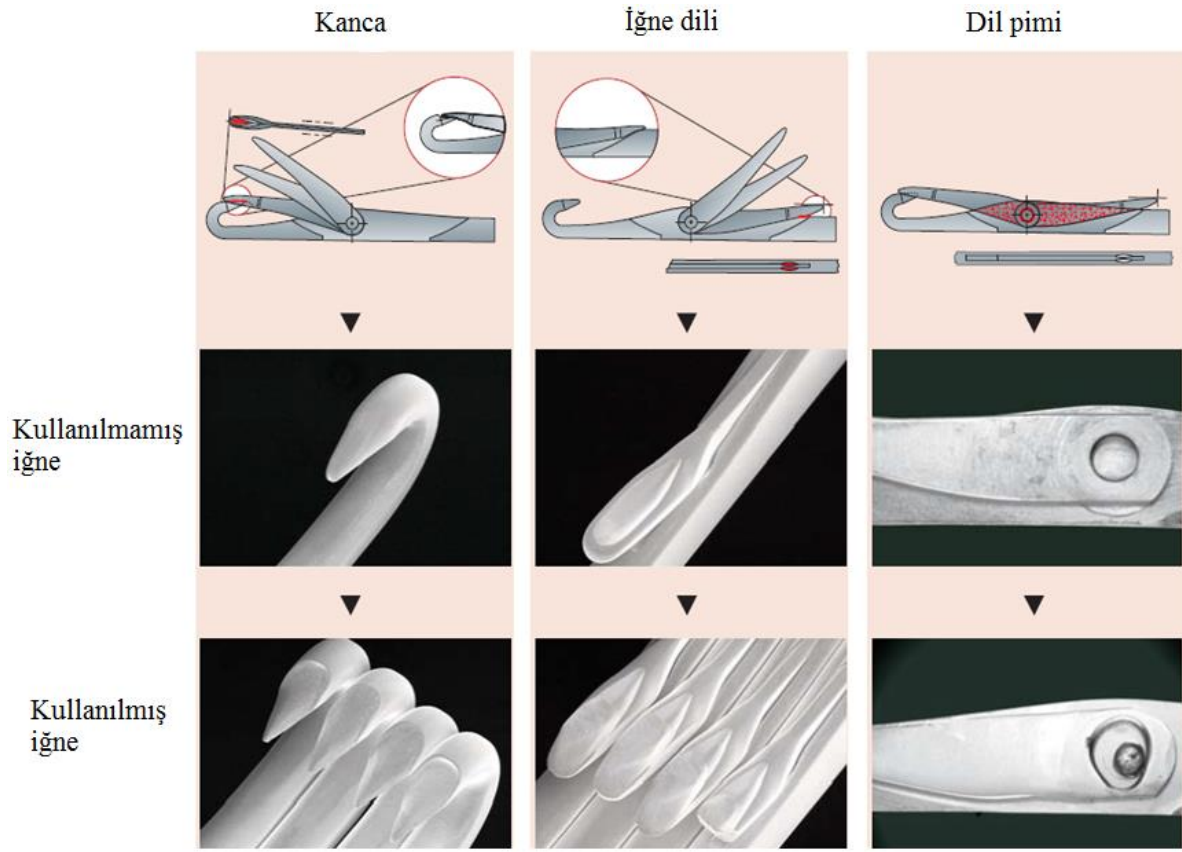
Şekil 2.4 : İğne kancasının iç kısmına gelen gerilme kuvvetlerinin etkisi [1].



Şekil 2.5 : Deformasyona uğramış iğne görüntüsü [1].

İlmek kancadan gövdeye geçerken dili aşağıya doğru iter ve böylelikle kanca deliği ve pimindeki aşınma hızlanır [12]. İğne dilinin her kapanış hareketinde, dil kanca ucuna çarpmaktadır. Uygulanan basınç ve sürtünmenin etkisi ile bu bölgede biriken aşındırıcı maddeler iğnede yıpranmalara sebep olmaktadır. Şekil 2.6’de kanca ve dilde meydana gelen bu tip aşınmalar verilmiştir [7].

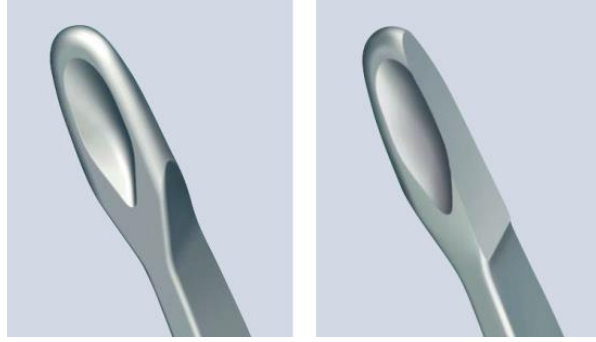
İğne yoruldukça kare şekline sahip dilin şekli git gide yuvarlak forma döner, kancanın çapı daralır ve böylelikle kırılma veya deformasyon yoluyla hatalı kumaş üretme ihtimali artar. Şekil 2.7 ve 2.8’da iğne dilindeki deformasyonlar görülebilir. Ayrıca silindir iğnelerinin üzerindeki gerilim daha fazla olduğundan, silindir iğnelerinin dillerinin arkası kapak iğnelerine göre daha çok aşınır [12].



Şekil 2.6 : Kanca ve dil teması sonucunda meydana gelen kanca ve dildeki aşınma [1, 7].



Şekil 2.7 : İğne dilindeki sapmalar ve kancanın altına kaymış iğne dili [1].



Şekil 2.8 : Kullanılmamış ve aşınmış iğne dili kafası [1].

2.1.4.1 Örme iğnelerinde meydana gelen aşınmanın nedenleri

Lif tipi

Yapılan çalışmalara göre elyaf tipi iğne aşınmasında bir numaralı etkindir [6]. Düzgün temizlenmemiş, doğal liflerden yapılmış iplikler üzerindeki yabancı maddeler ile sentetik iplikler üzerinde matlaşma amaçlı kullanılan kimyasallar (TiO_2 -titanyum oksit) aşınmayı artırıcı faktörler arasında yer alır [7, 12]. TiO_2 etkisinin özellikle naylon ipliklerinde önem kazanıp, selülozik rayon ipliklerde büyük bir etki göstermediği görülmüştür. Yapılan çalışmalara göre polyester iplikleriyle çalışan iğnelerdeki aşınma, naylonla çalışanlara göre daha fazladır. Diğer taraftan; Tricel, Dicel ve Viscose Rayon gibi selülozik rejenere liflerden yapılmış ipliklerle çalışıldığı zaman ortaya çıkan aşınma, polyester ve naylona göre daha farklıdır. Şöyle ki; selülozik liflerle çalışıldığı zaman, iğne kancasında meydana gelen izlerin düzensiz ve küçük olduğu görülürken; polyester ve naylonla çalışıldığı zaman ortaya çıkanların ise daha düzenli ve devamlı olduğu belirlenmiştir [12].

% 100 viskon lifi ile çalışıldığında ortaya çıkan aşınmanın, pamuk ile çalışma durumuna göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Karışım ipliklerde pamuk elyafının oranının artmasıyla aşınma bölge alanında herhangi bir azalma gözlenmezken; meydana gelen aşınmanın daha az olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, iplikte ince viskon lifi kullanılmasıyla aşınmanın arttığı görülmüştür. Ayrıca pamuk ipliğindeki durumun aksine viskon ring iplikleri, viskon open-end ipliklerine göre daha fazla aşındırmaya sebep olmuşlardır [6]. Mercerize pamuk ipliği kullanılarak dört saat çalıştırılan iğnelerin ise neredeyse hiç aşınmadığı görülmüştür [12].

Çukul'un [10] üç farklı lif tipi (%100 pamuk ring, %100 pamuk rotor, %100 viskon ring ve %100 polyester ring) ile iğnelerin aşınma durumlarını inceleyebilmek için ticari üretim şartlarında bir dizi deneme üretimi gerçekleştirdiği çalışmasında; iğne

kanca iç bölgesinde aşınma sonucunda meydana gelen topografik değişiklikleri stereoskopik SEM ile görüntülenmiş, yüzey haritaları ve yüzey pürüzlülük değerlerine (R_a) ait ölçümler yapılmış ve iğne görüntülerine ait stereo görüntüleri Scandium-Height yazılımı ile üç boyutlu hale getirilerek değerlendirilmiştir. Buna göre; iğne yüzeyinin, open-end pamuk iplik kullanıldığında, ring pamuk kullanımına göre daha düz görüldüğü, ancak iğne yüzeyinin farklı bölümlerinde farklı topografik yapıların var olduğu gözlenmiştir. Viskon elyafı ile çalışıldığında ise, kullanılmamış iğnelerin kanca yüzeyinde çizgisel oluşumlar görülmüştür. Bu izler, iplik-metal sürtünmesi sonucunda meydana gelen iplik yolları olarak değerlendirilmiştir. Polyester iplik ile çalışıldığında ise; iğne yüzeyinde rastlanan bazı çizgisel oluşumların, ipliğin iğne ile teması sonucunda iğne yüzeyinde bırakmış olduğu izler şeklinde yorumlanmıştır. Pamuk ring ve viskon ring iplikle temas eden iğne yüzeyleri üzerindeki pürüzlülüklerin, iplik-metal teması sonucunda aşındığı ve yüzeyde iplik yolları oluşturduğu tespit edilmiştir. Her iğnenin yüzey dokusundaki değişik yapılar sebebiyle de, bazı pürüzlülük ölçümleri arasında büyük farklara rastlanmaktadır.

İplik tipi

İplikteki kirlilikler; lif parçaları, bitkisel artıklar ve mikro tozlar (150 mikrondan küçük tozlar) olmak üzere üç başlıkta toplanabilir. Bütün bu unsurlar, ipliğe (özellikle de mikro tozlar) daha aşındırıcı bir yapı kazandırarak örme makine parçalarının aşınmasına neden olmaktadır [7, 10, 12, 13].

Örme parametrelerinin aynı kalması durumunda, faydalı ömür iplik türüne göre değişebilmektedir. Dilli iğnenin ömrü, ring iplikle çalışıldığında 6-12 ay aralığındayken; open-end rotor iplikler ile çalışıldığında yararlı ömür azalmakta hatta bazı durumlarda 4-10 hafta arasına kadar inebilmektedir. Open-end ipliğin yapısında bulunan yanıl sarmal liflerin iğne-iplik arasında daha fazla teması, dolayısıyla artan sürtünmeye neden olması iğnenin daha fazla aşınmasına sebep olur. Diğer taraftan open-end ipliklerin bünyesinde iğne aşınmasına neden olacak daha fazla yabancı madde, kısa elyaf ve mikro toz bulunmaktadır [5-7]. Oksit ve silikat parçacıkları gibi iğnenin çeliğinden daha sert maddelerin iplik yüzeyinde taşındığı durumlarda, iğne yüzeyi çizilmekte ve bunun kaçınılmaz bir sonucu olarak iğne malzemesinde aşınma meydana gelmektedir [8]. İçinde yabancı elyaf oranı yüksek olan open-end pamuk iplik ile çalışıldığında meydana gelen aşınmanın, temiz open-end pamuk ipliğine göre %80 daha aşındırıcı olduğu görülmüştür [6]. Open-end ipliklerin bünyesinde bulunan

mikro tozlar; iğnenin yeni ilmeği oluşturup kancasından iğne gövdesine geçtiği pozisyondayken dilin arka yüzeyinin çizilmesine neden olur. İğne dili open-end iplikte olan mikro toz gibi aşındırıcı parçalar ile dolarsa hem kancada hem de dilde zımparalama etkisi ortaya çıkabilir. Bu etki de iğne metalinde meydana gelen aşınmanın artmasına neden olur. Groz Beckett'in çalışmasına göre; mikro toz ve yabancı maddeler yüzünden aşınan dil deliği ve pimi, ilmek oluşumu sırasında iğnenin diğer bölgelerinde meydana gelen aşınmanın da artmasına neden olur. Ayrıca temas kuvveti ve aşındırıcı parçacıklar, dilin kapanma uzaklığının azalmasına ve bunun bir sonucu olarak dilin efektif olarak kapanmamasına neden olur. Böylelikle kumaşa delik ve askı ilmekleri meydana gelebilir [7, 12, 13].

Groz-Beckett'in iplik kalitesine ya da tipine bağlı olarak iğnelerdeki aşınma dayanımı üzerine yaptıkları çalışmalarda, konvansiyonel iğnelerdeki altmış saatlik çalışma sonrasında kaybolan metal malzeme miktarının, abrasif dayanımı yüksek olan iğnelere göre iki kat daha fazla olduğu ifade edilmiştir. Aşınma dayanımı yüksek malzemeden üretilmiş iğnenin bin saat örme makinesinde çalışması neticesinde, iğnenin kanca ve dilinde aşınmaya karşı yüksek direnç gözlenmiştir. Çalışılan ipliğin gerginliği ve kumaş çekimindeki artış ile iğne kancasında ortaya çıkan gerilmenin, iplik özelliklerine bağlı olarak arttığı da söylenmiştir [10].

Yapılan bir başka çalışmada ise aynı sayıda filamente sahip ipliklerden daha kalın olanı, daha geniş yüzey alanına basınç yapacağından dolayı, ince iplikler kadar metal yüzeyleri kesemediği ve böylece iğne kancasında daha geniş ve yüzeysel izler oluşturduğu belirtilmiştir [12].

Örme işlemi sırasında tekstüre ipliklerin, tekstüre olmayanlara göre iğneyi daha az aşındırdığı gözlenmiştir. Ayrıca, düşük bükümlü ipliklerin daha aşındırıcı olduğu da tespit edilmiştir [12].

Atasu ve Candan [14]'in dilli iğnede meydana gelen aşınmayı stereoskopik SEM görüntü yöntemi ile inceledikleri çalışmalarında; farklı iğne tiplerinin hem miktar hem de şekil olarak farklı aşındığını, kullanılan iplik tipine bağlı olarak iğne aşınmasında farklı sonuçlar ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Kumaş çekimi

Kumaş çekimi örme işlemine uygun olmadığı takdirde ürün ve üretim performansını etkilediği; kumaş çekim gerginliğindeki artışın örme bölgesindeki iplik gerginliğini artırarak, iplik ile iğne arasındaki kuvvetin artmasına neden olduğu görülmüştür [12].

Çukul [10], farklı iplik kaliteleri ile yaptığı çalışmada, kumaş çekimindeki artış ile iğnelerde daha fazla aşınma meydana geldiğini tespit etmiştir. Fakat R_a yüzey pürülülük değerlerini incelediğinde, kullanılmış iğne yüzeyine ait sonuçların kullanılmamış iğne yüzeyinden çok farklı olmadığını görmüştür. SEM görüntüleri de temel durumdakilere oldukça benzerlik göstermiştir.

Makine hızı ve dönüş yönü

İğne ile kam arasındaki ortaya çıkan kuvvetin, makine hızındaki artışa bağlı olarak arttığı ve dolayısıyla iğne ömrü ve kumaş kalitesini etkilediği görülmüştür.

Çukul [10] çalışmada makine hızının viskon iplik ile yapılan üretim haricinde iğne aşınması üzerine etkili olmadığını belirlemiştir.

Candan ve Atasü [14] yaptıkları çalışmada; makinenin dönüş yönünün iğne kancasının yanal yüzeyinde meydana gelen aşınmayı etkilediğini belirtmişlerdir. Elde ettikleri SEM görüntüleri sonucunda; makine hızı arttıkça iğne kancasının iç yüzeyi üzerindeki düzensiz aşınma izlerinin daha düzenli ve devamlı hale geldiğini görmüşlerdir.

Makine yağı

Yapılan araştırmalar makinenin düzgün bir şekilde yağlanması ve temizlenmesinin iğne ömrünü uzattığı yönündedir. Groz Beekert'in yaptığı çalışmalar sonucunda; iğne yapısında bulunan karbon miktarı azaldıkça iğne aşınmasının daha hızlı olduğu görülmüştür. Diğer taraftan kullanılan makine yağında demir ve potasyum gibi elementlerle birlikte bulunan çinkonun yüksek oranda olması daha büyük aşındırıcı etken oluşturmaktadır. [1, 12].

2.2 Yorulma Teorisi

Bir parçaya etki eden gerilmelerin, malzemenlerin akma dayanımının altında, yani elastik bölgede kalması durumunda herhangi bir mekanik hasar beklenmemektedir. Ancak bu zorlamanın yönü ve şiddeti dinamik olarak değişiyorsa hasar oluşabilir ve kırılmaya kadar gidebilen bu olay yorulma olarak adlandırılır [2, 4, 15, 16]. Burada

parça üzerinde esas etkili olan yükün defalarca tekrar edilmesidir ve bu yük tekrarı malzemede yorulmaya neden olur. Bir süre sonra parçanın en düşük mukavemete sahip olduğu bölgede mikro çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar zamanla büyüyerek, yapı üzerinde yayılır. Bu süre zarfında parça üzerinde başka bölgelerde de çatlaklar oluşabilir. Sonunda parça daha fazla yük tekrarına dayanamaz ve çatlaklar üzerinde kırılma ortaya çıkar. Bu durum yorulma kırılması olarak tanımlanır [15-17]. Metalik malzemelerde hasarların %90'ı yorulma kırılması şeklinde ortaya çıkmaktadır [2, 3].

2.2.1 Yorulma zorlaması

İşletme koşullarında parçalara gelen yükler sonucu oluşan gerilmeler, mukavemetin temel denklemleri ile her zaman hesaplanamamaktadır. Dolayısıyla teorik olarak çekme veya basma gerilmeleri parça kesitinde eşit olarak dağılırken, eğilme ve burulma gerilmeleri parçanın yüzeyinden ortasına doğru doğrusal bir azalma gösterir. Ancak pratikte bu şekilde dağılımlar oluşmayabilir ve gerilme dağılımlarında değişkenlik görülebilir. Büyüklüğü, yönü ve uygulama noktası düzenli ya da düzensiz bir şekilde sürekli değişen; kısacası dinamik özelliklere sahip kuvvet veya momentlerin oluşturduğu gerilmelere yorulma zorlanması adı verilir. Belirli bir ortalama gerilme için parçanın kırılmadan sonsuz çevrim sayısında taşıyabileceği yük miktarına ise yorulma dayanımı denir. Sonsuz sayıda yük tekrarını kırılmadan taşıyabilen eleman, yorulmaya karşı dayanıklıdır. Elemanın yorulma dayanımı sadece bir malzeme özelliği olmayıp; parça büyüklüğü, biçimi, yüzey kalitesi ve üretim şekline bağlıdır [16, 18].

Yorulma zorlaması sırasında yük istenildiği kadar tekrarlanabilir veya aralıklı uygulanabilir. Yorulma zorlamasında yükün zamana bağlı olarak nasıl değiştiğinden ya da değişim sıklığından (frekansından) çok, alt ve üst sınır değerlerinin büyüklüğü yani gerilme aralığı ve genliği önem kazanmaktadır. Birim zamandaki çevrim sayısı (periyot), malzemenin ısınmasına neden olacak kadar yüksek olmamak şartıyla yorulma ömrünü yani kırılmaya kadar geçen çevrim sayısını önemli ölçüde etkilemez. Yorulma zorlanması sadece dış kuvvetlerin değil iç gerilmelerin (sıcaklık farkları ile oluşan) etkisi ile de görülebilir [16, 18]. Wöhler'in yapmış olduğu deneyler; yorulma ömrünün dinamik gerilmelerin genliğine bağlı olduğunu göstermiştir. Gerilmenin genliği ne kadar büyükse, ömür o kadar az; genlik ne kadar küçükse ömür de o ölçüde çok olmaktadır. Dinamik gerilmelere maruz elemanlarda, yorulma ömrü yük tekrarı

sayısı ile ölçülmektedir. Yükün veya gerilmenin periyodik değişimi bir yük tekrarına denk gelmektedir. Bir eleman yorulma sonucu hasara uğrayana kadar kaç adet periyodik yük tekrarına dayanabilirse, ömrü o kadar yük sayısına (N) eşit olacaktır.

2.2.2 Yorulma tasarım yaklaşımları

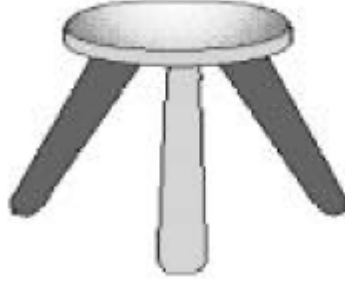
Yorulma hesabına geçilmeden önce hangi yorulma tasarımı yaklaşımının kullanılacağına karar verilmesi gerekir. Bu yaklaşımlar; parçanın, yapının ya da aracın hayati önemi olup olmamasına, basit ya da kompleks olmasına, pahalı ya da ucuz olmasına, tek seferlik ya da binlerce kez kullanım gerektirmesine göre oluşmuştur. Komple uçak gibi büyük sistemlerin tasarım ve geliştirme çalışmalarında, aşağıda bahsedilen yaklaşımlardan birkaçı sistemin farklı parçalarında kullanılıyor olabilir. Bu durum dikkate alınarak; koordineli bir şekilde tasarım, test ve üretim aşamaları gerçekleştirilmelidir.

2.2.2.1 Sonsuz ömür yaklaşımı

Tasarım çalışmalarında kullanılan en eski yaklaşımdır. Malzemede oluşan yerel gerilmelerin ya da uzamaların elastik bölgede kaldığını ve yorulma sınırlarının yeterince altında olduğunu kabul eder. Bununla beraber; birçok parçanın önemli ölçülerde değişken genlikte yüklemeye maruz kalmasının yanı sıra, uygun bir yorulma sınırı belirlenmesi de oldukça zordur. Bu yaklaşım sonucu tasarlanan bir parçanın maliyetinin de yüksek olması nedeniyle günümüzde pek kullanılmamaktadır [2, 16, 19, 20].

2.2.2.2 Sonlu ömür yaklaşımı

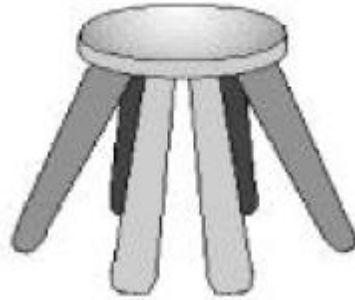
Bu yaklaşım taşıtların tasarım aşamasında olmak üzere bir çok endüstride kullanılmaktadır. Sonlu ömür yaklaşımında, parçalar belirlenmiş bir tasarım ömrünü sağlamak üzere tasarlanmaktadır. Genelde önceden belirlenmiş emniyet sınırları içerisinde tam ölçekli testler uygulanır. Çoğunlukla üç bacaklı tabure gibi en uygun tasarım yaklaşımlarında kullanılır (Şekil 2.9). Yaklaşım, çatlak başlangıcı veya kırılma mekaniği yöntemleri için uygundur ve genellikle değiştirilmesi kolay, ucuz ve hasara uğrayınca bağlı bulunduğu yapının hayati önemini etkilemeyen parçalar için kullanılır. Oluşan çatlak hızlı bir şekilde ilerler ve kısa bir süre içinde kırılmaya neden olur [2, 16, 17, 19, 20].



Şekil 2.9 : Sonlu ömür yaklaşımı ile tasarlanmış 3 bacaklı tabure [19].

2.2.2.3 Emniyetli ömür yaklaşımı

Bu yaklaşımda maliyet faktörü dikkate alınmadan, tasarımın oldukça emniyetli olması gerekir. Yaklaşım göre, yapı üzerinde bir hasar oluşabilir ama bu hasar yapının fonksiyonunu yerine getirmesini etkilemez ve yapı tamir edilene kadar bu şekilde kullanılabilir. Şekil 2.10'da görülen altı bacaklı tabure bu yaklaşım için örnek gösterilebilir. Taburenin herhangi bir bacağı kırılırsa tamir edilene kadar diğer bacaklarla tabure fonksiyonunu yerine getirebilir. Bu yaklaşımdaki amaç hasarı keşfetmek ve tamir etmektir [2, 16, 17, 19, 20].



Şekil 2.10 : Emniyetli ömür yaklaşımına göre tasarlanmış çok bacaklı tabure [19].

2.2.2.4 Kontrollü ömür yaklaşımı

Kontrollü ömür yaklaşımında, yukarıda sıralanan yaklaşımlardan farklı olarak hasar meydana gelsin ya da gelmesin taburenin bacakları düzenli olarak kontrol edilir. Şekil 2.11'de görüldüğü üzere, taburenin bacaklarından biri kırılırsa dahi geriye kalan üç bacak taburenin işlevini yerine getirmesi için yeterli olacaktır. Fakat tasarımın bu duruma toleransı bulunmasına rağmen, tabure bacaklarında hasar meydana gelmiş ise hemen servis dışı bırakılır. Yükleme çatlak ilerlemesini nasıl etkiler ve ne kadar büyüklükte bir çatlak parçanın kırılmasına yol açar gibi sorular kontrollü ömür

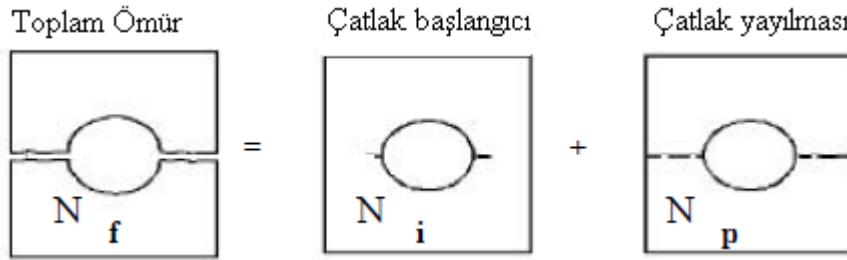
yaklaşımının temelini oluşturur. Bu yaklaşımlar kırılma mekaniği konuları ile uygunluk gösterir. [2, 16, 17, 19, 20].



Şekil 2.11 : Kontrollü ömür yaklaşımına ile tasarlanmış 4 bacaklı tabure [19].

2.2.3 Yorulma ömrü tahmin yöntemleri

Toplam ömür, Şekil 2.12’ de görüldüğü üzere, çatlak başlangıcı ve çatlak ilerlemesi olmak üzere iki safhadan oluşmaktadır. Bunların oranı geometri, yükleme ve malzemeye göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin, çelikler çatlak ilerlemesi safhası için oldukça geniş bir ömür oranına sahip olmalarına karşın seramikler ya da dökme demirler oldukça kısa bir ömür oranına sahiptirler. Ayrıca toplam ömür tanımı farklı parçalar için değişmektedir [17, 19].



Şekil 2.12 : İdealleştirilmiş yorulma tasarım metodu [19].

Üç temel yorulma yaklaşımı bulunmaktadır [16, 17, 19, 20]. Bunlar;

- Gerilme- Ömür Yaklaşımı
- Birim Uzama- Ömür Yaklaşımı
- Çatlak İlerlemesi Yaklaşımı

Bu üç yöntemde, Şekil 2.12’de verilmiş üç yorulma aşaması ile bağlantılıdır. Hasara neden olacak toplam çevrim sayısı (N_f), çatlak başlangıcına kadar olan çevrim sayısı (N_i) ile çatlak ilerleyişi aşamasındaki çevrim sayısının (N_p) toplamına eşittir. Bu üç

yöntem; teorik olarak doğruluk göstermekle beraber pratikte aynı problem üzerinde çok nadir olarak uygulanır.

2.2.3.1 Ömür tahmin yöntemlerinin kullanım alanları

Bölüm 2.2.2’de bahsi geçen ömür tahmin yöntemlerinden hangisinin hangi uygulama için kullanılacağına bilinmesi önemli bir ayrıntıdır. Belirli bir uygulama için uygun olmayan ömür tahmin yöntemi kullanılması, elde edilen sonuçların sağlıklı olmamasına neden olmaktadır. Buna göre yorulma ömür tahmin yöntemlerinin kullanım alanları şöyle özetlenebilir [16]:

Gerilme- Ömür Yöntemi (S-N)

- Gerilme-ömür yaklaşımı parçanın toplam ömrü ile ilgilenir ve çatlak başlangıcını ve çatlak ilerleyişini kapsamaz.
- Gerilme-çevrim/(S-N) diyagramına dayanır.
- Yüksek çevrimli yorulma analizlerinde kullanılır ve 10^5 değerinden yüksek çevrimleri kapsar.
- Az olsa da plastisite görülebilen ve uzun yorulma ömrünün beklendiği yorulma problemlerinde kullanılır. Temeli, nominal gerilme durumuna dayanır.
- Genellikle kompozit malzemeler, plastikler, kaynaklı yapılar ve içerisinde demir bulundurmeyen malzemelerin analizinde kullanılır.

Birim Uzama- Ömür Yöntemi (ϵ -N)

- Birim uzama-ömür yaklaşımı, yorulmanın düşük çevrim sayılarını karakterize eden, tipik olarak çatlak başlangıcını kapsayan bir yöntemdir.
- Birim uzama-çevrim/(ϵ –N) diyagramına dayanır.
- Düşük çevrimli yorulma analizlerinde kullanılır ve 10^5 değerinden düşük çevrimleri kapsar.
- Genellikle üzerinde kusur bulundurması mümkün olan, metalik yapı ve parçaların yorulma analizlerinde kullanılır.
- Çatlak başlangıcının hasar analizinde önemli bir aşama olduğu parçaların ve emniyet açısından hassasiyetin büyük olduğu yapılarda kullanılır.
- Genellikle izotropik sünek metalik malzemelerin yorulma analizlerinde kullanılır.

- Plastisitenin hakim olduğu ve kısa ömür değerlerinin görüldüğü parçaların yorulma analizlerinde kullanılır.

Çatlak İlerlemesi Yaklaşımı Yöntemi

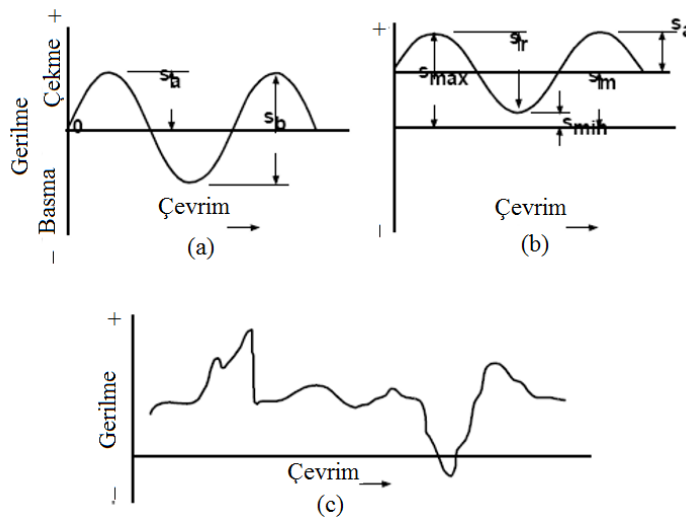
- Tipik olarak çatlak ilerlemesini inceler, çatlak başlangıcını kapsamaz.
- Önceden yapısında çatlak oluşmuş ya da önceden bünyesinde çatlakların oluştuğu varsayılan yapıların analizlerinde kullanılır.
- Genellikle izotropik sünek metalik malzemelerin yorulma analizlerinde kullanılır.

2.2.4 Gerilme-ömür yaklaşımı

Yorulma hesabında kullanılan metodların en eski olanıdır. Nominal gerilme yöntemi olarak da adlandırılan gerilme-ömür yaklaşımı, parçalarda meydana gelen gerilme değerlerinin her zaman elastik limitin altında kaldığını kabul eder ve yüksek çevrimli yorulma analizlerinde kullanılır [19].

2.2.4.1 Gerilme çevrimlerinin tanımı

Şekil 2.13’de temel gerilme-yorulma çevrim eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.13 : Temel yorulma gerilmesi çevrimleri a-tam tersinir b- ötelenmiş c- rastgele [16, 17, 21].

Şekil 2.13a’da verilen sinus eğrisi formundaki ideal yük çevrimidir. Maksimum ve minimum gerilme değerleri aynı şiddette fakat ters işaretlidir. Pozitif olan çekme gerilmesi negatif olan ise basma gerilmesidir. Şekil 2.13b’de ise maksimum ve minimum gerilmelerin aynı şiddette olmadığı ve daha sık karşılaşılan bir durum

görülmektedir. Bu durum; her iki gerilme de pozitif işaretli olduğu için yapıda çekme gerilmesinin hakimiyetini gösterir ve ötelenmiş yükleme çevrimi olarak adlandırılır. Şekil 2.13c diğerlerine göre daha karmaşık ve gelişigüzel değerler alan bir yükleme tipidir. Ancak gerçek yapılardaki gerilme dağılımlarına daha çok uygunluk gösterir. Şekil 2.13'deki grafiklerden de görülebileceği gibi dalgalı gerilme dağılımı iki ayrı bileşenden oluşur. Birincisi statik tipteki ortalama gerilme S_{ort} , ikincisi S_a gerilme genlik değeridir. Maksimum gerilme değeri S_{mak} ile minimum gerilme değeri S_{min} arasındaki fark S_r gerilme aralığını verir [16, 17, 19-26].

$$S_r = S_{mak} - S_{min} \quad (2.4)$$

Gerilme genliği (S_a), gerilme aralığının yarısına eşittir.

$$S_a = \frac{S_r}{2} = \frac{(S_{mak} - S_{min})}{2} \quad (2.5)$$

Ortalama gerilme, S_m maksimum ve minimum gerilmelerin matematiksel ortalamasına eşittir.

$$S_{ort} = \frac{(S_{mak} + S_{min})}{2} \quad (2.6)$$

Ortalama gerilme için iki çeşit oran kullanılmaktadır. Birincisi gerilme oranı (R), ikincisi genlik oranıdır (A). Çizelge 2.1'de bazı yükleme koşulları için gerilme oranları gösterilmektedir.

$$R = \frac{S_{min}}{S_{mak}} \quad (2.7)$$

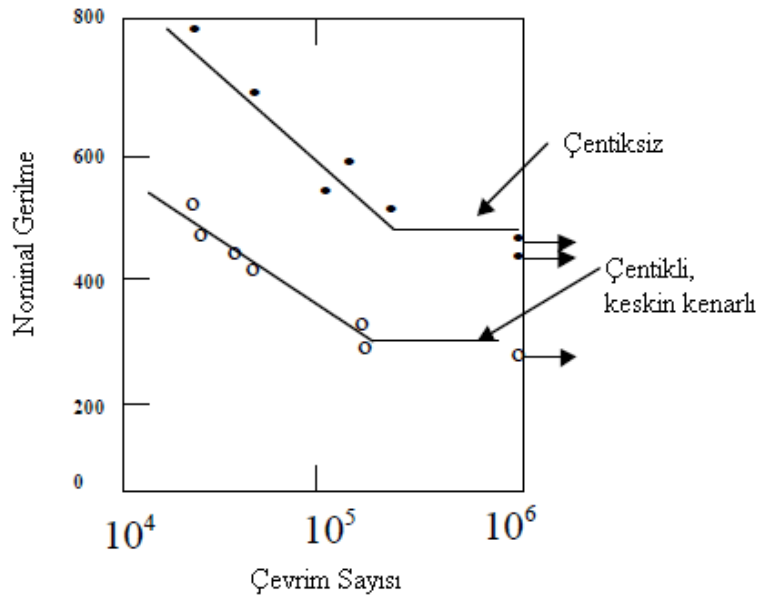
$$A = \frac{S_a}{S_{ort}} = \frac{(1 - R)}{(1 + R)} \quad (2.8)$$

Çizelge 2.1 : Çeşitli yükleme şartları için gerilme oran değerleri [16, 17, 19, 20].

Gerilme Oranı (R ratio)	Yükleme Koşulları
$R > 1$	S_{mak} ve S_{min} negatif işaretlidir. Ortalama gerilme negatiftir.
$R = 1$	
$0 < R < 1$	S_{mak} ve S_{min} pozitif işaretlidir. Ortalama gerilme pozitifdir.
$R = 0$	
$R = -1$	Tam tersinir yükleme $ S_{mak} = S_{min} $; ortalama gerilme sıfırdır.
$R < 0$	
R sonsuz	$S_{mak} = 0$

2.2.4.2 Gerilme-ömür (S-N) diyagramı

Alman demiryolu mühendisi August Wöhler; 1852 ve 1870 yılları arasında ilk sistematik yorulma araştırmalarını başlatmıştır. Wöhler gerçek boyutlardaki demiryolu akslarına tekrarlı yüklemelerin uygulandığı testler yürütmüş ve ayrıca farklı malzemelerden küçük boyuttaki numunelere; eğilme, burulma, çekme ve basma kuvvetleri uygulayarak yorulma testleri gerçekleştirmiştir. Şekil 2.14’de Wöhler’in bir aks çeliği için gerçekleştirdiği yorulma testleri sonucu elde ettiği nominal gerilme değerlerine karşın hasarın görüldüğü çevrim sayıları gösterilmiştir. Bu tipik bir S-N diyagramıdır. Bu diyagramı oluştururken; S_m , R ve A değerleri için standart değerler alınır [16].



Şekil 2.14 : Wöhler’in çentikli ve çentiksiz numunelerde geliştirdiği S-N diyagramı [5, 21].

S-N diyagramlarında çevrim sayısı daima yatay eksenle verilir ve logaritmik skala kullanılır. Düşey eksenle gerilme değerleri doğrusal ya da logaritmik olarak verilir. Her deneyin belirli bir değişim bölgesinde, yani belirli bir ortalama (S_{ort}) değerinde gerçekleştirilmiş olması gerekmektedir. Çünkü gerilme genliği (S_a) aynı şiddet aralıklarında değişse bile farklı S_{ort} değerleri için farklı ömür değerleri ortaya çıkmaktadır. Belirli bilgiler ışığında, bir malzemenin S-N diyagramı oluşturulabilir. 10³ çevrimdeki malzeme dayanımı S_m ise; test verileri S_m değerinin denklem 2.9 ve 2.10’daki gibi ifadesinin makul olduğunu göstermektedir [22, 27]:

$$\text{Eğilme} \quad S_m = 0.9S_{ut} \quad (2.9)$$

$$\text{Eksenel yükleme} \quad S_m = 0.75S_{ut} \quad (2.10)$$

Burada S_{ut} kritik çekme dayanımını belirtmektedir. Yorulma test numunesinden veya statik testlere bağlı olarak tahmini elde edilen yorulma limiti (S_e) ve yorulma mukavemetinin (S_f); test numunesi ile gerçek parça arasındaki farklılıkları gözeterek şekilde modifiye edilmesi gerekmektedir. Bunun için de testin uygulandığı koşullar ile gerçek numunenin şartları arasında bir düzeltme yapılması gerekmektedir. Diğer bir deyişle, denklem 2.11 ve 2.12’de belirtildiği şekilde uygulanan yük, sıcaklık, boyut ve yüzey farklılıklarının dikkate alınması gerekmektedir [22, 27, 28].

$$S_e = C_{yük} C_{boyut} C_{yüzey} C_{sıcaklık} C_{güvenilirlik} S_{e'} \quad (2.11)$$

$$S_f = C_{yük} C_{boyut} C_{yüzey} C_{sıcaklık} C_{güvenilirlik} S_{f'} \quad (2.12)$$

Denklem 2.11’de yer alan düzeltilmiş yorulma limitini elde etmek için (S_e), düzeltilmemiş yorulma limiti denklem 2.13-2.16’daki gibi hesaplanır.

$$\text{Çelik:} \quad \begin{cases} S_{e'} \cong 0.5S_{ut} & S_{ut} < 1400Mpa \\ S_{e'} \cong 700Mpa & S_{ut} \geq 1400Mpa \end{cases} \quad (2.13)$$

$$\text{Demir:} \quad \begin{cases} S_{e'} \cong 0.4S_{ut} & S_{ut} < 400Mpa \\ S_{e'} \cong 160Mpa & S_{ut} \geq 400Mpa \end{cases} \quad (2.14)$$

$$\text{Aliminyum:} \quad \begin{cases} S_{f'@5E8} \cong 0.4S_{ut} & S_{ut} < 330Mpa \\ S_{f'@5E8} \cong 130Mpa & S_{ut} \geq 330Mpa \end{cases} \quad (2.15)$$

$$\text{Bakır alaşımları:} \quad \begin{cases} S_{f'@5E8} \cong 0.4S_{ut} & S_{ut} < 280Mpa \\ S_{f'@5E8} \cong 100Mpa & S_{ut} \geq 280Mpa \end{cases} \quad (2.16)$$

Yüklemeye etkisi yüklemeye durumuna bağlı olarak denklem 2.17 veya 2.18’deki gibi elde edilir.

$$\text{Eğilme} \quad C_{yük} = 1 \quad (2.17)$$

$$\text{Eksenel yükleme} \quad C_{yük} = 0.70 \quad (2.18)$$

Boyut etkisi denklem 2.19-2.22 şeklinde hesaplanır.

$$d \leq 0.3 \text{ in (8mm)} \quad C_{boyut} = 1 \quad (2.19)$$

$$0.3 \text{ in} < d \leq 10 \text{ in} \quad C_{boyut} = 0.897d^{-0.097} \quad (2.20)$$

$$0.3 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm} \quad C_{boyut} = 1.189d^{-0.097} \quad (2.21)$$

$$\text{daha büyük parçalar için} \quad C_{boyut} = 0.6 \quad (2.22)$$

Yüzey etkisi denklem 2.23 ve Çizelge 2.2'den belirlenir.

$$C_{yüzey} \cong A(S_{ut})^b \quad (2.23)$$

Çizelge 2.2 : Yüzey faktörlerinin katsayıları [22, 27].

Yüzey işlemi	A	b
Zemin (ground)	1,58	-0,085
İşlenmiş veya soğuk haddeli	4,51	-0,265
Sıcak haddeli	57,7	-0,718
Dövülmüş	272	-0,995

Sıcaklığa bağlı olarak yorulma limiti denklem 2.24-2.26'e bağlı olarak değişir.

$$T \leq 450^{\circ}C \quad C_{sıcaklık} = 1 \quad (2.24)$$

$$450^{\circ}C < T \leq 550^{\circ}C \quad C_{sıcaklık} = 1 - 0.0058(T - 450) \quad (2.25)$$

$$850^{\circ}F < T \leq 1020^{\circ}F \quad C_{sıcaklık} = 1 - 0.0032(T - 840) \quad (2.26)$$

Güvenirliğin etkisi Çizelge 2.3'den belirlenen şekilde seçilir.

Çizelge 2.3 : Güvenilirlik faktörleri.

% Güvenilirlik	$C_{güvenilirlik}$
50	1,000
90	0,897
95	0,868
99	0,814
99,9	0,753
99,99	0,702
99,999	0,659
99,9999	0,620

Üstteki parametrelere bağlı olarak düzeltilmiş yorulma limiti (S_e) hesaplanır ve denklem 2.27-2.28 ve Çizelge 2.4 kullanılarak S-N eğrisi çizilir [22, 27, 28].

$$S(N) = aN^b \quad \log S(N) = \log a + b \log N \quad (2.27)$$

$$b = \frac{1}{z} \log \left(\frac{S_m}{S_e} \right) \quad z = \log N_1 - \log N_2 \quad (2.28)$$

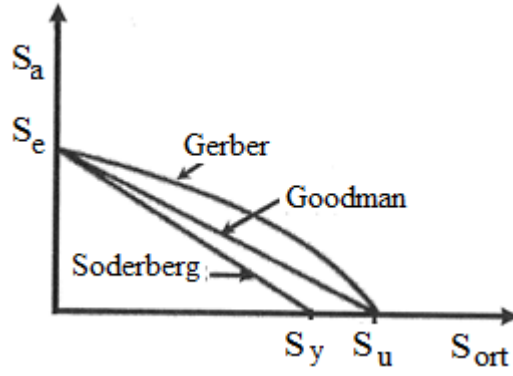
Çizelge 2.4 : z faktörleri.

N2	z
1.0E6	-3,000
5.0E6	-3,699
1.0E7	-4,000
5.0E7	-4,999
1.0E8	-5,000
5.0E8	-5,699
1.0E9	-6,000
5.0E9	-6,699

2.2.4.3 Ortalama gerilmenin etkisi

Bir çok malzemenin S-N diyagramının oluşturulduğu yorulma testi, yüklemenin tam değişken olduğu ($R=-1$) yani ortalama gerilme değerinin '0' olduğu ve gerilmenin sabit genlikli olduğu laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilmektedir. Fakat, gerçek ortamlardaki yüklemelerin çok azında ortalama gerilme değeri sıfırdır. Bu yüzden laboratuvar ortamlarında elde edilen S-N diyagramlarının pratikte de kullanışlı olabilmesi için ortalama gerilme değerlerinin, ortalama üzerindeki etkisi göz önüne alınmalıdır. Aslında her bir ortalama gerilme değeri için farklı bir sürekli mukavemet değeri oluşmaktadır ve sağlıklı sonuçlar için bu değerlerin çok sayıda deneyler yapılarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu zorluğu aşarak, uygulamalarda kullanılabilecek mukavemet sınır değerlerini elde etmek üzere Gerber, Goodman ve Soderberg yaklaşımları sunulmuştur [16, 18, 19].

Gerber yaklaşımı genellikle çekme gerilmelerinin görüldüğü sünek malzemeler için uygundur. Fakat; yorulma ömrü çekme ve basma durumuna göre farklılık gösterdiği için günümüzde çok fazla kullanılmaz. Goodman yaklaşımı ise deneysel sonuçlar dikkate alındığında kırılma metaller için uygun sonuçlar vermektedir. Ayrıca, sünek malzemeler için de garantili sonuçlar elde edilebilmektedir. Fakat, Goodman yaklaşımı ile basma gerilmelerinin görüldüğü durumlarda emniyetli sonuçlar elde edilemez. Soderberg yaklaşımı bunlar içinde en emniyetli sonuçların elde edildiği yöntemdir. Bir çok mühendislik malzemesi için en garantili yorulma ömrünü vermektedir [4, 16, 24, 25].



Şekil 2.15 : Çeşitli ortalama gerilme etkisi yaklaşımlarının S_a - S_{ort} grafiği [3, 16].

Şekil 2.15'deki grafiğe ve aşağıdaki formüllerde geçen S_y 'i akma dayanımını; S_u çekme dayanımını; S_{ort} , ortalama gerilmeyi; S_e yorulma limitini; S_a gerilme genliğini; N yük tekrar sayısını; K_f ise yorulma dayanım faktörünü göstermektedir. Aşağıda verilmiş üç farklı ortalama gerilme etkisi yaklaşımına ait formülleri kullanarak, ortalama gerilmenin sıfır olmadığı yorulma analizi çalışmalarında sürekli mukavemet, yani yorulma limit değeri bulunabilmektedir [24, 25, 27, 29].

Gerber

$$\frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_{ort}}{S_u}\right)^2 = 1 ; K_f \frac{NS_a}{S_e} + \left(\frac{NS_{ort}}{S_u}\right)^2 = 1 \quad (2.29)$$

Goodman

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_{ort}}{S_u} = 1 ; K_f \frac{S_a}{S_e} + \frac{S_{ort}}{S_u} = 1 \quad (2.30)$$

Soderberg

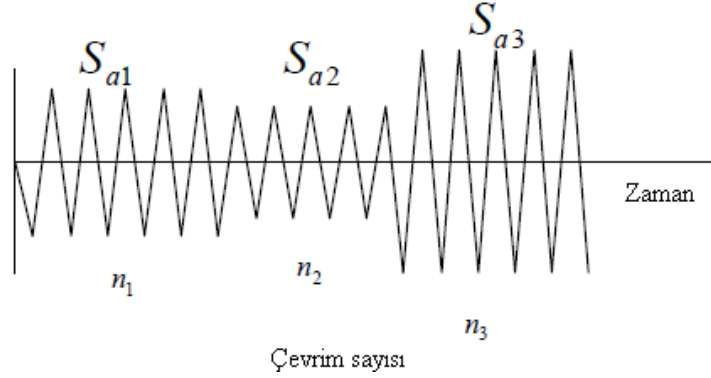
$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_{ort}}{S_y} = 1 ; K_f \frac{S_a}{S_e} + \frac{S_{ort}}{S_y} = \frac{1}{N} \quad (2.31)$$

Çekme durumunda ortalama gerilme değerleri yorulma ömrünü azaltırken, basma durumunda ortalama gerilme değerleri yorulma ömrünü artırmaktadır.

2.2.4.4 Değişken genliğe sahip yükleme durumunda toplam hasar

Bir çok makina, taşıt veya yapı değişken genliğe sahip yüklemelere maruz kalmaktadır. Yükleme çeşitli etkenlere bağlı olarak sürekli değişkenlik gösteriyorsa alınabilecek belli bir minimum ve maksimum değeri yoktur. Bu değerler, çeşitli

yöntemlerle birleştirilerek toplam bir hasar değeri oluşturulur. Bu yöntemler arasında en yaygın olanı “Palmgren-Miner” yöntemidir. Farklı genliklere sahip basit bir yükleme durumu Şekil 2.16’daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 2.16 : Farklı gerilme genliklerine sahip basit bir yükleme [4, 16, 17, 19, 21].

Bu yükleme; n_1 adet çevrime sahip S_{a1} genliğine, n_2 adet çevrime sahip S_{a2} genliğine ve n_3 adet çevrime sahip S_{a3} genliğine sahiptir. Palmgren-Miner yöntemini basitçe incelemek için; n_1 adet çevrime ait S_{a1} genliği alınabilir. S-N diyagramına bakarak ve diğer genlikleri yok sayarak, S_{a1} genliğinin ne kadar çevrim sonrası hasara neden olduğu bulunabilir. Bu çevrim sayısı N_1 olarak gösterilirse, n_1/N_1 değeri yapının ömründeki S_{a1} genliğinin etkisini göstermektedir. Diğer genlikler içinde aynı hesaplama ile hareket edildiğinde 2.32 ve 2.33 denklemleri ortaya çıkmaktadır.

$$\sum \frac{n}{N} = 1.0 \quad (2.32)$$

Şekil 2.16’daki grafiğe göre 3.9’daki denklem, denklem 2.33 şeklinde gösterilebilir:

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots = 1.0 \quad (2.33)$$

Palmgren-Miner yönteminin bir takım kabülleri bulunmaktadır:

1. Aynı genliğe sahip her yükleme çevrimi, yapı üzerinde aynı büyüklükte hasara neden olmaktadır. Bu çevrimlerin, yapının yorulma ömrünün başında ya da sonunda olması (yani sırası) önemli değildir.
2. Farklı gerilme genlik değerlerinin yapı üzerinde vereceği hasarların, birbirinden bağımsız oluşturulduğu varsayılır. Örneğin, S_{a1} genliği tarafından yapıya verilmiş olan hasar, S_{a2} genliğinin yapı üzerinde oluşturacağı hasarda etkisi bulunmamaktadır.

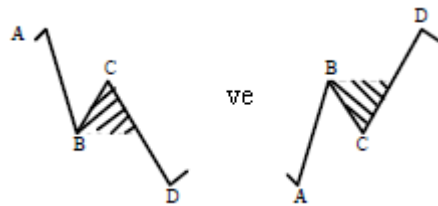
3. Farklı genlik değerlerinin yapı üzerinde gerçekleştirdiği toplam hasarın birbirine eşit olduğu varsayılır [16, 17, 19, 21, 30].

2.2.4.5 Değişken genliğe sahip yükleme durumunda çevrim sayısı hesaplama

Değişken genliğe sahip yüklemenin bulunduğu yapılardaki yorulma sonucu oluşan hasarlar incelendiğinde; hasara neden olan esas yüklemelerin, aslında yapının ömrü boyunca çok az tekrarlandığı ve bu yüklemelerin büyük genliklere sahip olduğu gözükmemektedir [16, 19].

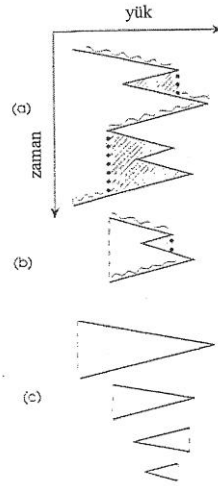
Matsuishi ve Endo tarafından geliştirilen “Rainflow” çevrim hesaplama yöntemi; yük-zaman, gerilme-zaman ve birim uzama-zaman değişkenlerine ait verileri azaltmak için günümüzde oldukça yaygın kullanılmaktadır. “Rainflow” hesaplaması aşağıdaki kurallar çerçevesinde yapılır [4, 16, 17, 19, 21, 22, 28, 30, 31]:

1. Minimum ve maksimum değerler esas alınır. Bu nedenle minimum ve maksimum noktalara yakın değerler elenir.
2. Sıralamanın başlangıcı ve bitişi aynı seviyede olmalı.
3. En yüksek değer bulunur ve tüm değerler yeniden düzenlenir. Orjinal sıralamanın başlangıç ve bitişi aynen korunmuş olunur.
4. En baştan başlanır ve dört tane tepe ve çukur seçilir. Şu kural uygulanır: ikinci parça birincisinden kısaysa ve üçüncüsü de ikincisinden daha uzunsa ortadaki parça atılır ve “Rainflow” çevrim olarak kaydedilir. Şekilde görüldüğü üzere B ve C, A ve D tarafından tamamen kapsanmaktadır.



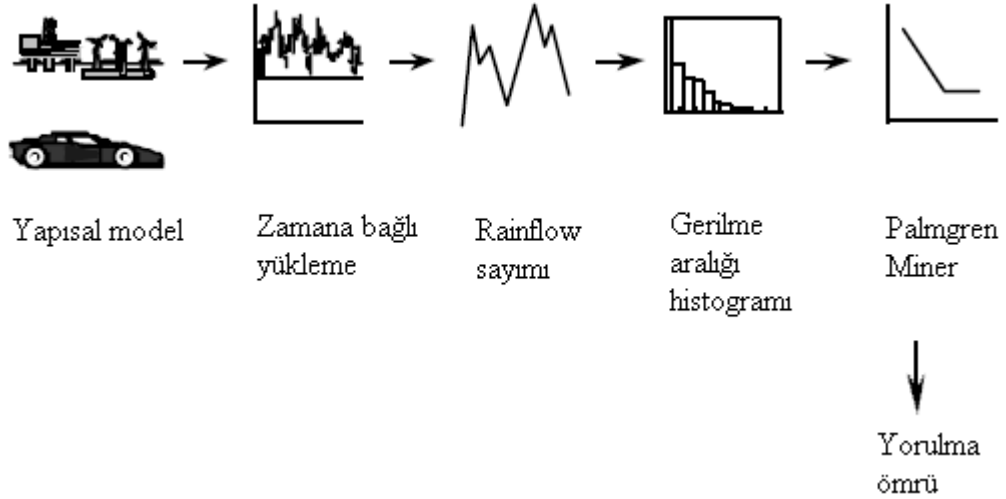
Şekil 2.17 : “Rainflow” çevrimi [4, 16, 17, 19, 22].

Dört tepe ve çukur arasından hiç rainflow çevrimi hesaplanamazsa, bu kez 2’den 5’e olan tepe ve çukur noktalarına bakılır ve bu durum “Rainflow” çevrimi hesaplanana kadar devam eder. Şekil 2.18’de “Rainflow” metodu gösterilmiştir.



Şekil 2.18 : “Rainflow” metodu a- “Rainflow” yolu b-İhmal edilen tepeler ve çukurlar hesaplanır c- Hesaplanacak çevrimler seçilir [16, 17, 19, 21, 22, 28].

Şekil 2.19’da bir yapının yorulma ömrü hesaplanırken izlenecek çalışma gösterilmiştir. Görüldüğü üzere; yapı üzerinden elde edilen zamana bağlı yükleme verileri "Rainflow" yöntemi ile incelenmektedir. “Rainflow” yöntemi ile bu yük verisi üzerinden aynı genliklere sahip çevrimlerin adet sayısı hesaplanabilmekte ve genliklere bağlı olarak histogram grafiği oluşturulabilmektedir. Elde edilen bu histograma göre de Palmgren-Miner yöntemi kullanılarak yapının yorulma ömrü hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.19 : Standard bir S-N yorulma analizinde izlenecek yol [16, 17-19].

2.2.5 Birim uzama-ömür yaklaşımı

Tahmin edilen yorulma ömrü ile fiziksel işlemlerde ortaya çıkacak yorulma ömrünün birbirlerini doğrulaması için yapılması gereken en iyi yol, parçanın ömrünü çatlak başlangıcı ve çatlak ilerlemesi olarak iki bölüme ayırmaktır. Modern yazılımlarda,

çatlak başlangıcı baskın bir yöntemdir ve birim uzama-ömür yaklaşımı adını alır. Birim uzama- ömür yaklaşımı hasar oluşan noktalardaki birim uzama- zaman geçmişi üzerinde yoğunlaşır. Bu yaklaşım, çağdaş gözlemlerde ortaya çıkan hasar mekanizmasının gerilme değil, uzama kontrolünde olduğunu ifade etmektedir [17].

Gerilme ve birim uzama değerleri çok düşük olduğundan dolayı gerilme-ömür yaklaşımı yüksek yorulma ömrü durumlarında çalışır. Bu nedenle birim uzama ve gerilme birbiriyle doğrusal olarak bağlantılıdır. Ancak yük seviyesi arttıkça bu yaklaşım geçerli değildir ve oluşan plastisiteden dolayı birim uzama-ömür yaklaşımı benimsenmelidir. Dolayısıyla, ömür-birim uzama yaklaşımını düşük yorulma ömrü durumlarında kullanmak uygundur. Yorulma ömrü, $10^4 \sim 10^5$ çevrimden büyükse yüksek yorulma ömrü, küçükse düşük yorulma ömrü adını alır [17, 19].

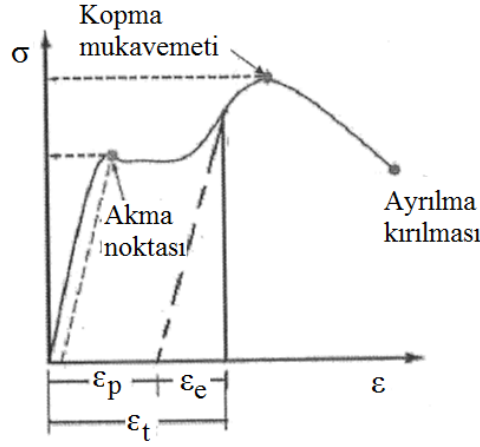
Birim uzama-ömür yaklaşımı aşağıdaki şekilde özetlenebilir [17]:

- Birim uzama, yorulmanın başlıca sebebidir. Çatlağın başladığı yerde plastik şekil değişimi görülmektedir.
- Plastik birim uzama parçanın malzeme özelliklerini değiştirmektedir. Özellikle kuvvet kaldırıldıktan sonra parça süner.
- Bölgesel gerilme-uzama hesaplanırken uygulanan gerilme aralığını tanımlamak için geçerli bir çevrim hesabı yöntemi kullanılır.
- Birim uzama çevrimleri hesaplandığında, ömür tahmini için sabit birim uzama altında yapılan deneysel verilere ihtiyaç vardır.

2.2.5.1 Statik durum için gerilme-birim uzama diyagramları

Elastik şekil değişimi içinde kalan malzemeler, “Hooke” kanununa göre hareket ederek, gerilme ve birim uzama değerleri arasında doğrusal bir ilişki oluştururlar. Fakat plastik şekil değişimine uğramış bir malzemede gerilme ve birim uzama arasındaki bağıntılar, statik yükleme durumunda hem elastik hem de plastik şekil değişimi için verilmiştir. Şekil 2.20’de bu durum görülmektedir. Bu grafiği elde etmek için bir test numunesine çekme kuvveti uygulanarak akmaya zorlanmıştır. Belirli bir plastik şekil değişiminden sonra ise kuvvet geri çekilmediği zaman oluşacak “ayrılma kırılması” noktası da burada gösterilmiştir. Malzeme çekme durumundayken, bir maksimum kopma mukavemeti değerine ulaşır. Bu değer kopmadan önce numunenin ulaşabileceği en yüksek mukavemet değeridir. Bu esnada malzemedeki plastik deformasyonlardan ötürü bir miktar pekleşme gözlenir ve bu yüzden numune bir

miktar gerilmeye daha dayanabilir. Fakat sonunda ayrılma kırılması şeklinde aniden kırılır.



Şekil 2.20 : Statik durumda gerilme-birim uzama grafiği [4].

Statik yükleme durumunda, malzemede meydana gelen elastik birim uzama 2.34 denklemi ile ifade edilir:

$$\varepsilon_e = \frac{\sigma}{E} \quad (2.34)$$

Statik yükleme durumunda, malzemede meydana gelen plastik birim uzama denklem 2.35 ile ifade edilir:

$$\varepsilon_{pe} = \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2.35)$$

Elastik ve plastik durumda oluşan uzamaların toplamı denklem 2.36 ile verilir:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_e + \varepsilon_p = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2.36)$$

Bu formüllerde; ε birim uzama, ε_e elastik durum için birim uzama, ε_p plastik durum için birim uzama, σ gerilme değeri, E elastisite modülü, K malzemenin dayanım sabiti, n pekleşme üstelidir [19, 4, 20].

2.2.5.2 Dinamik durum için gerilme-birim uzama diyagramları

Bölüm 2.2.5.1’de bahsedilen statik yükleme durumunda; çekmeye zorlanan parça belirli bir plastik şekil değişime uğradıktan sonra, çekme kuvveti kaldırılmıştır. Bir kuvvet geri çekildikten sonra tekrar uygulanırsa malzemenin bu yükleme durumuna

karşı tepkisi, statik durumda gösterdiği tepkiden daha farklı olacaktır; çünkü yükleme, dinamik yükleme tipine girmiş ve tekrarlı hale gelmiştir.

Şekil 2.21’de gösterilen gerilme-birim uzama grafiğinde; O noktasından başlanılan çekme yüklemesi B noktasına gelince kaldırılmıştır. Kuvvetin geri çekilmesi ile birlikte malzeme C noktasındaki özellikleri gösterir. Malzeme özellikleri C noktasına geldikten sonra, parçaya basma kuvveti uygulandığında malzeme önce D, daha sonra da F noktasındaki özellikleri gösterir. D noktasından itibaren malzemede basma kuvveti sonucu akma meydana gelmektedir. F noktasından sonra basma kuvveti kaldırılıp, tekrar çekme kuvveti uygulandığında ise kapalı bir çevrim ortaya çıkar. BCDFB çevrimi histeresiz döngüsü olarak tanımlanır ve tipik bir yorulma çevrimidir [4, 16,19, 26, 32,].

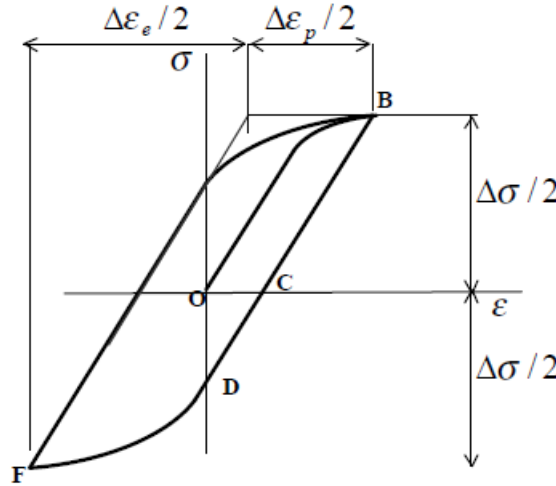
Yukarıdaki duruma göre elastik ve toplam birim uzama değeri:

$$\Delta\varepsilon_t = \Delta\varepsilon_e + \Delta\varepsilon_p \quad (2.37)$$

ya da

$$\Delta\varepsilon_t = \frac{\Delta\sigma}{E} + \Delta\varepsilon_p \quad (2.38)$$

şeklinde verilebilir.



Şekil 2.21 : Tekrarlı yükleme için gerilme-birim uzama grafiği [4,19, 21, 31, 32].

2.2.5.3 Dinamik durum için gerilme-birim uzama diyagramları

Basquin gerilme-ömür verilerini logaritmik skala kullanarak bir doğru denklemi haline getirmiştir [4, 16, 17, 19, 21, 22, 26, 31-33]:

$$\sigma_a = \sigma_f' (2N_f)^b \quad (2.39)$$

σ_a : gerçek gerilme çevrim genliği

σ_f' : yorulma direnç sabiti

$2N_f$: tersinir çevrimlerin sayısı

b : yorulma direnç üsteli

σ_f' ve b değerleri deneysel olarak bulunan malzeme özelliğidir ve -0,05 ile -0,12 arasında değer alırlar. Basquin denklemi elastik birim uzama genliğine göre yeniden düzenlenirse:

$$\varepsilon_e = \frac{\sigma_a}{E} = \frac{\sigma_f'}{E} (2N_f)^b \quad (2.40)$$

şeklini alır. Burada ε_e elastik birim uzama genliğidir.

1950 yıllarında Coffin ve Manson, birbirlerinden bağımsız olarak yorulma çevriminin plastik birim uzama bileşeninin ömür üzerindeki etkisini denklem 2.41 ile açıklamışlardır [4, 16, 17, 19, 21, 22, 32]:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_f' (2N_f)^c \quad (2.41)$$

Burada;

ε_p : plastik birim uzama genliği

ε_f' : yorulma süneklik sabiti

$2N_f$: yarım çevrimlerin sayısı

c : yorulma süneklik üsteli

olarak gösterilmektedir. ε_f' ve c değerleri malzeme özelliğidir ve -0.5 ve -0.8 arasında değer alırlar.

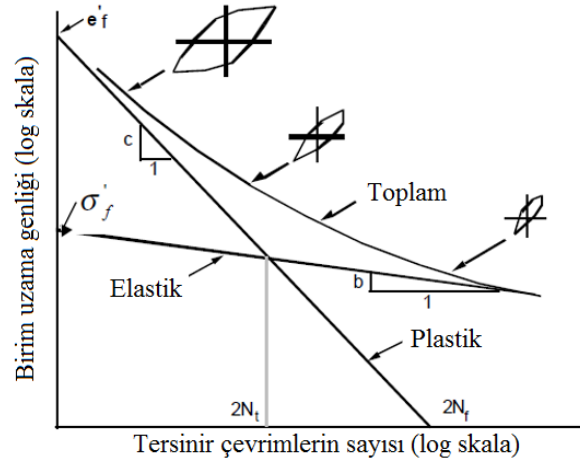
İlerki yıllarda, özellikle de Morrow [16, 17, 19, 21, 26] tarafından yapılan çalışmalarda, toplam birim uzama genliğinin elastik ve plastik birim uzama bileşenlerinin toplamına eşit olduğu gösterilmiştir. Şekil 2.22'deki grafik, toplam birim uzama –ömür eğrisini göstermektedir.

Matematiksel olarak, bu eğri Basquin ve Coffin-Manson eğrilerinin toplamını temsil etmektedir.

$$\varepsilon_t = \varepsilon_e + \varepsilon_p \quad (2.42)$$

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_f^l}{E} (2N_f)^b + \varepsilon_f^l (2N_f)^c \quad (2.43)$$

Bu işlemde belirli bir yorulma limiti olmadığı unutulmamalıdır. Bu yüzden $5 \cdot 10^7$ gibi bir değer, sürekli mukavemet değeri olarak alınabilir.



Şekil 2.22 : Toplam birim uzama-ömür eğrisi [16, 17, 19].

2.2.6 Çatlak ilerleme yaklaşımı

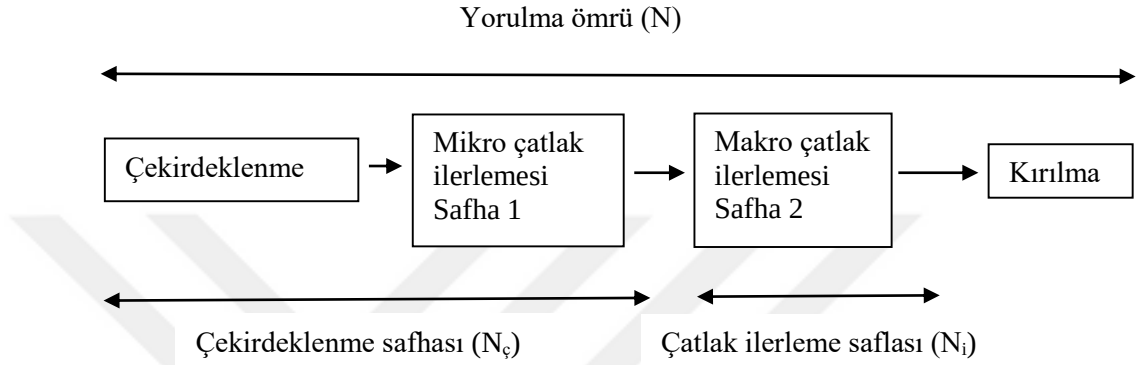
Bir yapısal parça, statik olarak belirlenen akma mukavemetinin altında tekrarlı bir çekme gerilmesi ile yüklenmesi durumunda, yorulma hasarına maruz kalabilir. Yorulma kırılmalarında çatlak, belirli bir tekrarlı yüklemekten sonra gerilme yığılmalarının olduğu noktadan başlar. Oluşan bu başlangıç çatlağı, tekrarlı yükleme devam ettikçe birinci asal gerilme doğrultusuna dik doğrultuda ilerler. İlerleyen bu çatlak, belirli bir uzunluğa ulaştığında, çatlak oluşmayan bölge artık bu gerilmeyi taşıyamaz hale gelir ve parça ani olarak kırılır [2, 3, 15, 34].

Yorulma hasarı genel olarak dört safhadan oluşur [2, 23, 35,]:

1. Yorulma çatlağının çekirdeklenmesi: Yerel ve tersinir olmayan plastik şekil değiştirmeler sonucu yüzeyde intrüzyonların (yüzey girintilerinin) oluşması.
2. Çatlağın yerel plastik deformasyon (kayma) bandına ilerlemesi: Çekirdeklenen çatlağın, yüksek kayma gerilmelerinin mevcut olduğu ve çekme doğrultusuyla 45° açı yapan kayma bandı içinde ilerlemesi. Buna safha 1 çatlak ilerlemesi adı da verilir.

3. Çatlağın maksimum asal gerilmesinin etki ettiği düzlemde ilerlemesi: Uzunluğu makro çatlak olarak kabul edilebilecek ölçüde olan çatlağın maksimum asal gerilmesine dik düzlemde ilerlemesi. Buna safha 2 çatlak ilerlemesi adı verilir.
4. Kırılma: Çatlak uzunluğunun kritik bir değere ulaşması sonucu, kalan kesidin kırılması. Bu kırılmaya zoraki kırılma denir.

Şekil 2.23 yorulma hasarının safhalarını göstermektedir.



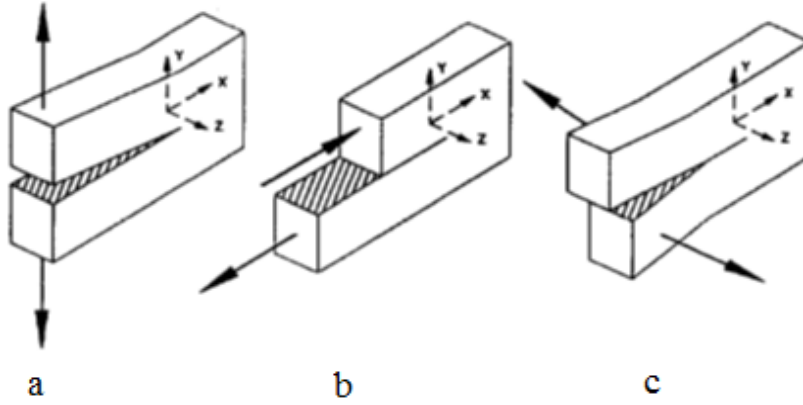
Şekil 2.23 : Yorulma hasarının safhaları [9].

Yorulma, hem çekirdeklenme hem de çatlak ilerlemesi safhalarında plastik deformasyon sonucu oluşur. Her safhaya karşılık gelen tekrar sayısı kolaylıkla saptanamaz. Kırılma, ömrün en son tekrarında oluşur ve hasarın bu safhası yorulmadan ziyade yarı-statik bir kırılmadır. Mikroskopik etütler, çatlak çekirdeklenmesinin yorulma ömrünün ilk başlarında oluştuğunu ortaya çıkarmıştır. Safha 1 çatlak ilerlemesinin hangi tekrar sayısından sonra başladığını saptamak mümkün değildir. Bu durumda hasarın ilk iki safhası birleştirilerek bir basitleştirme yapılabilir [35]:

$$N = N_{\text{ç}} + N_{\text{i}} \quad (2.44)$$

Burada, N yorulma ömrünü, $N_{\text{ç}}$ ilk iki safha için gereken tekrar sayısı olup ilk iki safhanın toplamı, çekirdeklenme safhası olarak kabul edilmiştir. N_{i} ise makro çatlak ilerlemesinde (safha 2) geçen tekrar sayısıdır.

Şekil 2.24 çatlağın ilerleyebileceği üç ana durumu göstermektedir. Birinci durum, yorulma kırılmalarında sık bir şekilde karşılaşılan ve en tehlikeli sayılan durumdur. Sık bir şekilde karşılaşılmamasının nedeni, çekme gerilmesi sırasında ilerleme eğrilerinin hızlı bir şekilde oluşmasıdır. Şekil 2.24 (a), tek eksenel yükleme durumunda ortaya çıkan çatlak ilerleyişini göstermektedir. Şekil 2.24 (b) kayma durumunu Şekil 2.24 (c) ise kayma durumundaki yırtılmayı vermektedir [2, 19, 31, 34].



Şekil 2.24 : Kırılma hasarında çatlakların ilerleme modları a- Açılma, b- İleri-geri açılma ve c- Yanal açılma [2, 19, 31, 34].

Yorulma çatlakları genellikle malzeme yüzeyinde oluşur. Bunun nedenleri şu şekilde sıralanabilir [2, 35]:

- Bazı yükleme hallerinde (eğilme, burulma), gerilmeler yüzeyde en büyük değeri alır.
- Yüzey pürüzlülüğü gerilme yığılmalarına neden olur.
- Yüzeyler dış ortamdan etkilenir (Örneğin çentik etkisi yapan korozyon çukuru oluşabilir.).
- Yüzeyde düzlem gerilme halinin olması nedeniyle burada plastik şekil değişimi daha kolaydır.

Çatlak yüzeyde birden fazla nokta çekirdeklenebilir. Gerilme genliği arttıkça, bunların sayıları artar. Ancak yorulma sınırına yakın gerilme değerlerinde tek bir çatlak çekirdeklenmesi olabilir.

Çekirdeklenme ve çatlak ilerlemesi safhalarının yorulma ömrü içindeki yüzdeleri çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Çatlak ilerleme safhasının yorulma ömrü içindeki yüzdesi N_i/N şu şekilde değişmektedir [21, 34, 35]

- Gerilme genliği arttıkça N_i/N artar.
- Aynı ömür için, malzemenin tokluğu arttıkça N_i/N artar. Buna göre tok malzemelerde çekirdeklenme kolay olup, çatlak ilerleme hızı (da/dN) düşüktür. Gevrek malzemelerde ise, çekirdeklenme daha zor olur çatlak ilerleme hızı yüksektir. Burada çatlak ilerleme hızı, bir tekrar başına çatlakın ilerleme miktarı olarak tanımlanmaktadır.

- N_i/N çentiğın mevcudiyeti ve çentiğın keskinleşmesi ile artar. Bu durumda keskin çentikler veya önceden mevcut olan çatlaklar halinde, N_c/N ihmal edilecek mertebede olup, yorulma ömrünün tümünün çatlak ilerlemesinde geçtiğı kabul edilebilir.

Malzemede başlangıçta makro çatlak sayılabilecek bir hata mevcut değilse, yorulma ömrünün tamamı neredeyse çekirdeklenme safhasında geçer. Bu safhada yorulma hasarı malzemenin çok küçük bir hacminde oluşur ve büyük ölçüde malzemeyi çevreleyen ortam şartlarına bağlıdır [34, 35].

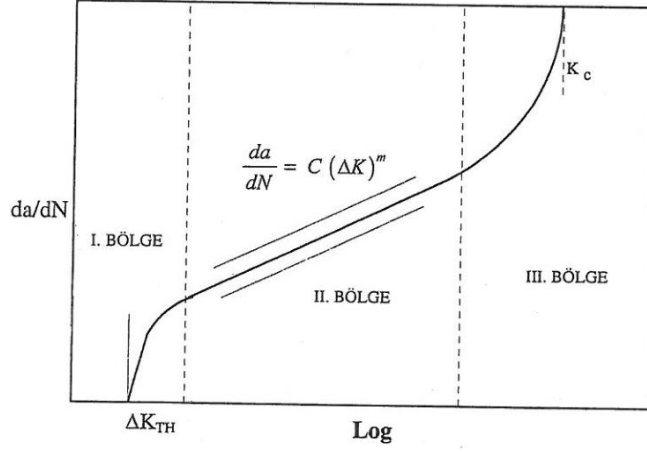
Kritik çatlak büyüklüğünün altındaki boylara sahip çatlaklar, yorulma zorlanması neticesinde ilerler. Bu konu üzerinde yapılan çalışmalar; çatlak ilerleme karakterinin, çevrimsel zorlama sırasında çatlak dibinde oluşan ve gerilme şiddet aralığı adı verilen bir parametre ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. ΔK ile gösterilen bu parametre yorulma zorlanması sırasında oluşan en büyük ve en küçük gerilme şiddeti faktörlerinin farkıdır.

$$\Delta K = K_{mak} - K_{min} \quad (2.45)$$

Bu parametre, çatlak ilerleme safhasında çatlak dibinde oluşan en büyük gerilme şiddeti faktöründen daha etkin rol oynamaktadır. Kırılma mekaniğinde çatlak ilerleme hızı da/dN , çatlağın her çevrim sırasındaki ilerleme hızını göstermektedir. Küçük ΔK değerlerinde ise çatlak ilerlememektedir. Çatlak ilerleme hızının, gerilme şiddet aralığı ile logaritmik skaladaki değişimi Şekil 2.25’de verilmiştir. Görüldüğü üzere grafikte üç değişik karakterde bölge vardır. Birinci bölgede eşik değerine kadar zorlanmalarda çatlak ilerlememektedir. İkinci bölge çatlağın kararlı bir şekilde ilerlediğini bölgedir ve en önemli kısmı oluşturmaktadır. Bu bölgedeki çatlak ilerleme davranışı Paris-Erdoğan bağıntısı adı verilen bir ifade ile

$$\frac{da}{dN} = A(\Delta K)^m \quad (2.46)$$

açıklanabilir. Burada A ve m malzeme sabitleridir. m aynı zamanda kararlı çatlak ilerlemesi bölgesindeki doğrunun eğimi olup metaller için yaklaşık 2 ile 4 arasında değerler almaktadır. Üçüncü bölge ise çatlağın kararsız bir şekilde hızla ilerleyerek kırılmaya neden olduğu bölgedir. Genellikle bu bölge tasarımlarda dikkate alınmamaktadır [2, 3, 34, 35].



Şekil 2.25 : Çatlak ilerleme hızının gerilme şiddet faktörü aralığı ile değişimi [3, 4, 21, 31, 35].

Çizelge 2.5, “da/dN-ΔK” eğrisini etkileyen faktörleri göstermektedir.

Çizelge 2.5 : “da/dN-ΔK” eğrisini etkileyen faktörler [9].

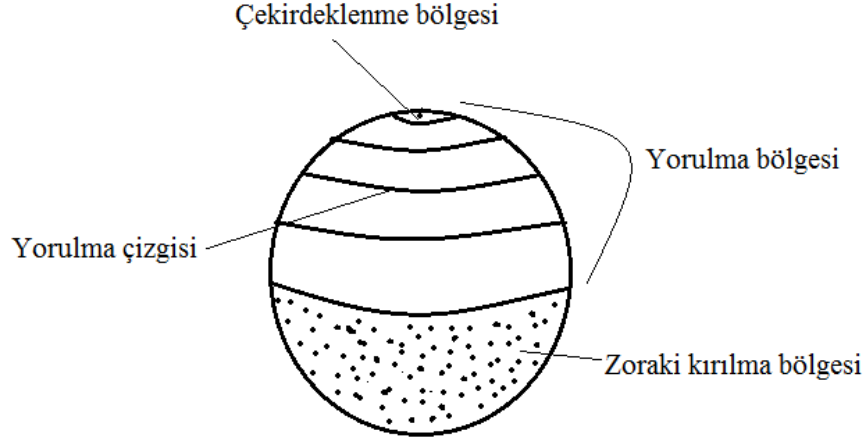
Faktör	I.Bölge	II.Bölge	III.Bölge
Mikroyapı	Çok	Az-Çok*	Çok
Gerilme oranı	Çok	Az	Çok
Ortam	Çok	Çok**	Az
Kalınlık	-	Az	Çok
Frekans	-	Az	-

** Bazı ortamlarda *Malzemeye bağlı olarak

2.2.6.1 Yorulma hasarında kırılma yüzeyinin görünümü

Yorularak hasara uğramış elemanların kırılma yüzeyleri yorulmaya has üç ayrı bölgeye sahiptir (bkz. Şekil 2.26):

1. Yorulma çatlağının çekirdeklendiği bölge
2. Yorulma çatlağının ilerlemesi sonucu oluşan bölge
3. Zoraki kırılma bölgesi



Şekil 2.26 : Yorulma yüzeyindeki bölgeler [2, 4, 15, 32, 34, 35].

Yorulma, genellikle iç yapıdaki mevcut kusurlar civarında oluşan yerel gerilme yığılmalarından kaynaklanmaktadır. İç yapıda bulunan çatlak, çentik, boşluk, sert parçacık ve ani kesit değişimleri civarındaki gerilmeler ortalama gerilmelerden daha büyüktür. Bu gerilmelerin etkisinde yerel plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Diğer taraftan, başlangıçta hiçbir bozukluk içermeyen yüzeyi parlatılmış uniform kesitli bir metalde elastik sınır altında da dislokasyonlar yerel olarak hareket ederek kayma bantları oluştururlar. Bu bantlar da yüzeyde çıkıntıların ve döküntülerin doğmasına neden olduğundan, gerilme yığılmalarına yol açarlar. Bütün bu durumlarda; tekrarlı zorlanmalar etkisinde oluşan ve tersinir olmayan plastik şekil değiştirme sonucu malzeme yerel olarak pekleşir, gevrekliği artar ve sonunda mikro çatlaklar oluşur [3, 15, 23]. Oluşan mikro çatlaklar önce kayma bantları boyunca ilerler. Bu ilerleme genellikle uygulanan gerilmenin yönü ile yaklaşık 45^0 'lık bir açı yapar ve bir veya iki tane boyunca bu şekilde gelişmesini sürdürür. Bundan sonra çatlak gerilme yönüne dik gelecek şekilde ilerlemeye başlar ve kararlı çatlak ilerleme safhasını oluşturur. Bu safhada ince yorulma çizgileri adı verilen ve sadece elektron mikroskopu ile görülebilen çizgiler oluşur. İnce yorulma çizgileri, her yük tekrarında çatlağın belirli bir miktar ilerlemesi sonucu oluşur. Yani bu çizgiler arasındaki uzaklık, çatlağın boyunda bir tekrar sonunda oluşan artmayı verir. Çatlak ilerledikçe çatlak ucundaki yerel gerilmeler daha da artıp çatlak ilerleme hızını (da/dN) artırır. Bu ise, her tekrarda çatlağın boyundaki uzama miktarını artırdığından, ince yorulma çizgileri arasındaki uzaklık çatlak boyu arttıkça artar [3, 4, 23, 35]. Çatlak ilerleyip geri kalan dolu kesit normal yükü taşıyamaz hale gelince ani kırılma meydana gelir. Oluşan çatlaktan dolayı kırılan yüzeyin görüntüsü sünek kırılma belirtisi olan lifli kırık yüzeyler şeklindedir [2-4, 15, 17, 18, 32, 35].

Zoraki kırılma bölgesinin büyüklüğü, uygulanan yükün büyüklüğü konusunda bilgi verir. Bu bölgenin büyük olması, kısa yorulma çatlak ilerlemesi sonucunda dahi parçada oluşan K_I gerilme şiddet faktörünün, kırılma tokluğu K_{IC} değerini aştığının bir göstergesidir. Bu ise gerilmenin büyük veya malzemenin kırılma tokluğunun küçük ya da her ikisinin de mevcut olduğu anlamına gelir. Hasar analizinde elektron mikroskopu kullanılarak yüzeyde bulunan yorulma çizgilerinin sayılması sonucu hasarın görüldüğü çevrim sayısı tahmin edilebilir. Ancak bu çizgilerin sayısının tam olarak belirlenmesi çoğu durumda zordur ve zaman alıcıdır. Yükleme boyunca kuvvetin değişmesi ve birim alana gelen gerilmenin zamana bağlı olarak değişmesi de bu tür bir analizi zorlaştıran başka bir faktördür. Ayrıca yorulma çizgilerinin ortaya çıkması için ne kadarlık bir zaman veya yorulma çevriminin geçmesi gerektiği ve bu aradaki malzeme ömrünün belirlenmesi de pek mümkün olmamaktadır [2, 34, 35].

2.2.7 Sonlu elemanlar analizine dayalı yorulma hesapları

Dış yüklere maruz kalan bir yapıda gerilme ve deformasyonların dağılımını bulmak gerekir. Sınırlı durumlarda gerilmeler ve deformasyonlar için “kapalı form” analitik çözüm elde etmek mümkündür. Örneğin, yapı düzlem gerilme veya düzlem deformasyon yüklemesine maruz kalmışsa ve izotropik doğrusal elastik bir malzemeden meydana geliyorsa, bir gerilme fonksiyonu bulmak olasıdır. Bununla birlikte çoğu durumlarda kapalı form çözümler mümkün değildir ve yapıdaki gerilmeler yaklaşık olarak bulunabilir. Katı mekaniğindeki problemlerde; sonlu farklar, sonlu elemanlar ve sınır integral eşitlik metodları gibi çeşitli nümerik yöntemler uygulanmaktadır. Fakat çatlaklı yapıların büyük çoğunluğunun analizinde sonlu elemanlar kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar analizi mühendislik yapılarının mukavemet ve davranışını hesaplamak için kullanılan bilgisayar tabanlı sayısal bir tekniktir. Deformasyon, gerilme, vibrasyon, burulma ve daha birçok olayı hesaplamak üzere kullanılabilir. Yükleme veya uygulanan yer değiştirme altında hem küçük hem de büyük ölçekli deformasyonu analiz etmek için uygundur [36-42].

Sonlu elemanlar metodunda yapı, eleman adı verilen birçok basit parçaya ayrılır. Bağımsız bir eleman davranışı, yapının tümüne göre göreceli olarak daha basit eşitlikler grubu ile açıklanabilir. Yapının tümünü oluşturmak için elemanların birleştirilmesi gibi, bağımsız elemanların davranışını açıklayan eşitlikler de tüm

yapının davranışını açıklamak için çok büyük bir eşitlikler grubu şeklinde birleşir. Bilgisayar, bu büyük eşitlikler grubunu çözebilir ve bu çözümden bağımsız elemanların davranışını çıkarır [36-42].

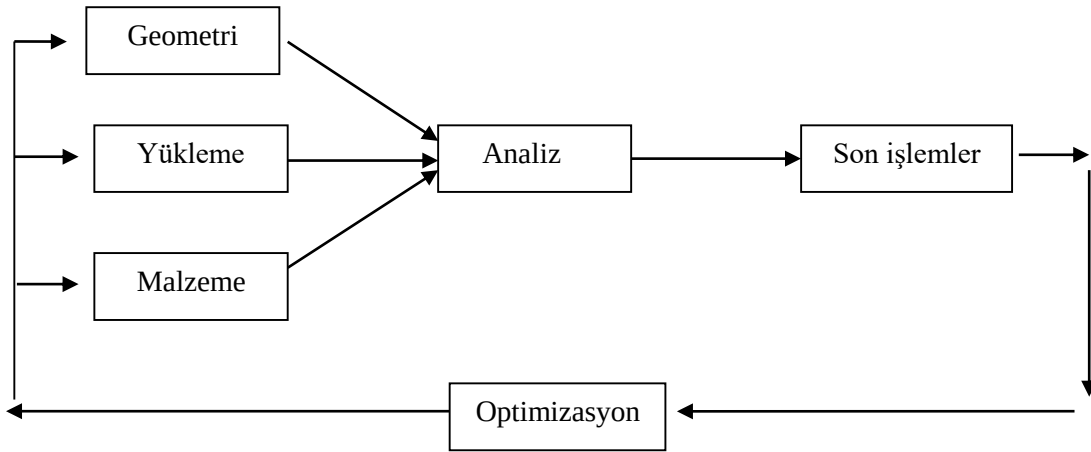
Yorulma genelde bir çatlağın başlangıcı ve kritik bir boyuta kadar ilerlemesiyle ilgilidir ve bu çatlak bazen parçanın iki veya daha fazla parçaya ayrılmasına yol açabilir. Yorulma hasar başlangıcı tam anlamıyla bölgeseldir ve sistem dinamiğine dayanır. Gerilme ya da uzama değişimi çatlağın başladığı bölge için kritik bir faktördür ve parçada bu parametrelerin genel dağılımı ikinci olarak ilgilenilen konudur. Bu da sonlu elemanlar yönteminin neden bu kadar önemli olduğunun göstergesidir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz yapan kişiler, modelleri üzerinde belli bir bölgeyi seçip bu bölge üzerinde yoğunlaşabilirler ve çeşitli dinamik etkileri sınırsızca deneyebilirler [19].

Sonlu elemanlara dayalı yorulma ömür hesaplamasının arkasında, yorulma ömrünü değiştiren üç temel etki vardır:

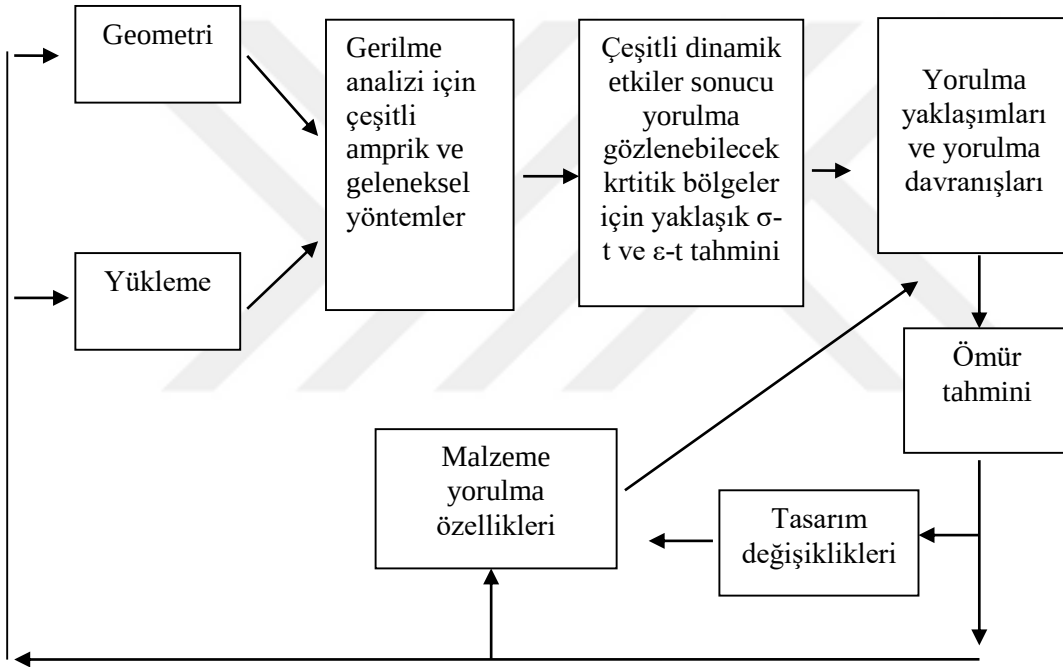
1. Modellemedeki küçük değişiklikler yorulma ömrü üzerinde büyük etkilere neden olabilir.
2. Uygulanan yük üzerindeki küçük değişiklikler büyük ömür değişimlerine neden olabilir.
3. Testlerde aynı yüklemeye maruz kalan parçalar büyük aralıklarda değişen yorulma ömür sonuçlarına sahip olabilirler [17].

Ayrıca, özellikle optimizasyon çalışmalarında A ve B mukayesesi yapılırken sonlu elemanlar yönteminden oldukça fazla yararlanır. Çünkü pratikte tüm tasarım değişkenlerini teste tabi tutmak hem zaman hem de ekonomik açıdan mümkün değildir. Oysa, sonlu elemanlar yöntemi ile bilgisayar ortamında sınırsız tasarım özgürlüğü bulunmaktadır [36-41].

Uzun yıllardan beri kullanılan yorulma analizlerinin mantığı Şekil 2.27'de verilmektedir. Burada geometri, malzeme ve yükleme olmak üzere üç tane girdi parametresi bulunmaktadır. Pratikte ise Şekil 2.28'de verilen diyagram daha çok kullanılır. Diğer bir deyişle; geometri ve yükleme, gerilme ve uzama değişimi yaratmak için beraber kullanılır. Malzeme özelliği ise ömür tahmini aşamasında kullanılır. Elastiklik modülü, elastik-plastik gerilme-uzama eğrileri gibi malzeme özelliklerine sadece ilk aşamada ihtiyaç vardır.

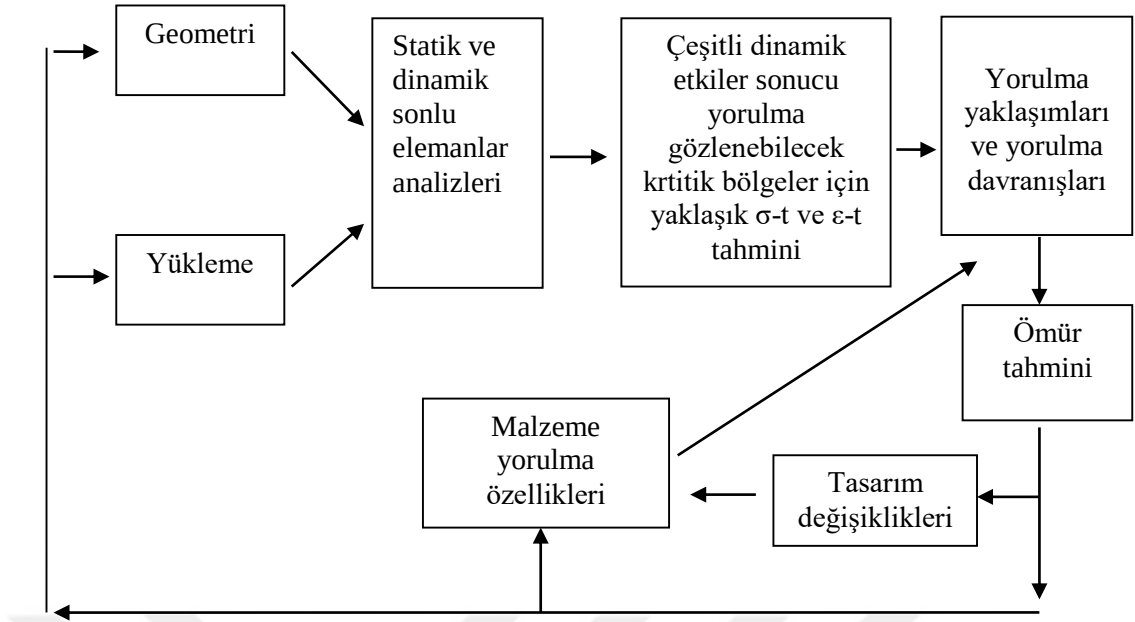


Şekil 2.27 : Yorulma analiz akışının geleneksel görünüşü [19].



Şekil 2.28 : Alternatif ömür tahmini hesabı [19].

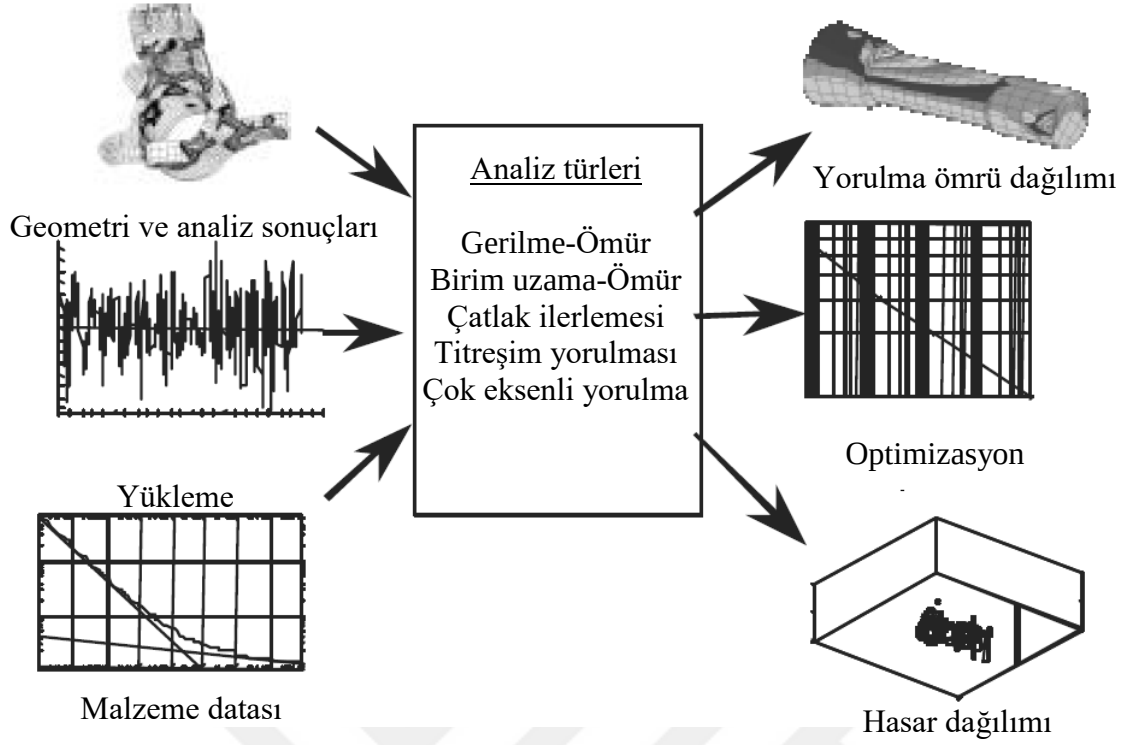
Geometri ve yükün uygulanması aşamasından sonra bir parçadaki bölgesel gerilme ve uzamanın hesabı çeşitli teknikler kullanılarak sorgulanır. Bu durum, bazen analitik bilgi bazen de basit amprik hesaplamalar gerektirir. Yük zaman içerisinde düzensizce değişiyorsa, genellikle yorulmaya sebep olacaktır. Sonlu elemanlar analizi kullanıldığında hem geometri hem de yükle ilgili parametrelerin daha sağlıklı kontrol edilmesi sağlanacak hem de dinamik faktörler üzerinde daha analitik bir değerlendirme yapılabilecektir. Şekil 2.29'da adı geçen akış verilmiştir.



Şekil 2.29 : Sonlu elemanlar analizleri ile ömür hesabı [19].

Yorulma hesabında parça geometrisi ve yük durumu da büyük rol oynamaktadır. Parça basit bir geometri ve yüklemeye sahipse, temel hesaplarla yorulma ömrü hesaplanabilir. Ancak, parça karmaşık bir geometriye ve yüklemeye sahipse bahsedildiği üzere testlerle sonuçların doğrulanması gerekir. Ancak test yapmak hem maliyetlidir hem de test yapabilmek için ortada üretilmiş parçanın olması gerekmektedir. Bu nedenle sonlu elemanlar yöntemi gerek tasarım aşamasında parçaların yorulma ömür tahminlerini yapabilmek gerekse yapılacak test sayısını minimuma indirmek bakımından oldukça yararlıdır. Böylece yapılmak istenen her türlü tasarım değişikliği sonlu elemanlar yöntemiyle denenebilir ve sadece belli kriterlere uygun olduğu düşünülen parçalar üretilerek, yorulma ömürleri test edilebilir.

Şekil 2.30 temel olarak yorulma analizinin aşamalarını göstermektedir. Soldaki üç şekil sonlu elemanlar sonuçlarını, uygulanan yükü ve malzeme bilgisini vermektedir. Sağdaki üç şekil ise yorulma sonuçlarını göstermektedir. Ortadaki kutucuğun içindekiler ise yorulma hesabında kullanılan yöntemleri ifade etmektedir.



Şekil 2.30 : Sonlu elemanlar yöntemiyle yorulma analizi akışı [19].

2.2.8 Yorulmaya etki eden faktörler

2.2.8.1 Parçanın mikro yapısı

Katı mekaniğinde malzemenin homojen, izotropik ve doğrusal elastik yapıda olduğu kabul edilir. Fakat malzemeler mikroskobik olarak incelendiğinde bu şekilde yapılar sahip olmadığı görülmektedir. Malzemenin yorulma dayanımının mikro yapısından oldukça etkilendiği bilinmektedir. Mikro yapı ise; kimyasal bileşim, gözeneklilik, sıcaklığa karşı davranış, anizotropik yapı, çekirdek boyutları, inklüzyon (safsızlık) yapısı, soğuk şekillendirme, katmanlı yapı, süreksizlik ve kusurlar gibi bir dizi parametre ile şekillenir. Malzemedeki ince taneli yapı, büyük taneli yapıya göre özellikle kayma bantlarında oluşan yerel gerinimleri azalttığı için yorulma dayanımını artırmaktadır. Malzemenin saflığının düşük olduğu bölgelerde yer alan gözenekli ve tabakalı kısımlarda, tekrarlı yüklemeler sonucunda mikro çatlaklar ortaya çıkar [3, 4, 16, 43, 44].

2.2.8.2 Parça boyutunun etkisi

Genellikle çelik parçanın büyüklüğü arttıkça yorulma dayanımı da düşer, çünkü parçanın yüzey alanının artması yüzey kusurlarının da bulunma olasılığını

arttırmaktadır. Ayrıca eğilme ve burulma zorlanmalarında kesit üzerinde üniform olmayan bir gerilim dağılımı meydana gelir, bu da parça büyüklüğüne bağlıdır [3, 4, 43, 44].

2.2.8.3 Yüzey durumunun etkisi

Çeliklerde görülen yorulma kırılmasının birçoğu yüzey düzgünsüzlüklerinden başlamaktadır. Bu nedenle, yorulma özelliği yüzeydeki çentik, girinti, çıkıntı, keskin köşe vb gibi tasarımdan kaynaklanan kusurlara karşı çok duyarlıdır. Yüzey ne denli düzgün olursa, yorulma dayanımı o denli yüksek olur. Parlatılmış yüzeyler pürüzlülere göre yorulma kırılmalarına karşı daha yüksek yorulma dayanımı gösterirler. Yüzeylerdeki çentik ve keskin köşelerin yorulma özelliklerini olumsuz yönde etkilemesinin nedeni, bunların yüksek çekme gerilimi yoğunluklu bölgeler oluşturmasıdır [3, 4, 21, 43, 44].

2.2.8.4 Yüzey işlemleri

Yorulma kırılması yüzeyden başlamaktadır. Bu yüzden yüzey temizliği çok önemlidir. Yüzey işlemleri ezme, dövme, sementasyon, nitrürleme gibi işlemlerden oluşur ve bunlar yorulma mukavemetini arttırmaktadır [4, 43, 44].

2.2.8.5 Metalurjik faktörlerin etkisi

Yorulma çatlaklarının başlamasında inklüzyonların tipi, şekli ve büyüklüklerinin rolü vardır. Yapılan çalışmalar, oksit inklüzyonların yorulma hızlandırıcısı yönünde etki ettiklerini ve bu tip inklüzyonların büyüklüklerinin artması ile yorulma çatlaklarının başlama ihtimalinin arttığını göstermiştir. Isıl işlemler, haddeleme ve ekstrüzyon gibi işlemler sonucunda metallerin tane boyut ve şekli değişmektedir. Tane boyutunun küçülmesi yorulma mukavemetini arttırmaktadır.

Kimyasal bileşimin yorulma mukavemetine etkisi ısıl işlem ve mikroyapının etkisinden azdır. Genellikle bütün ısıl işlemler yorulma mukavemetine etki ederler [3, 4, 21, 44].

2.2.8.6 Sıcaklık etkisi

Sıcaklık artışı ile birlikte; özellikle çelik malzemelerin akma ile kopma dayanımlarında ve elastisite modülünde düşüş gözlemlenmektedir. Bu yüzden malzemenin yorulma dayanımının da sıcaklık artışından etkilendiği düşünülebilir. Oda

sıcaklıklarının altına inildiğinde ise çentik etkisi çeliklerin yorulma davranışı üzerinde daha etkin hale gelmektedir ve bu etkinlik sıcaklık düştükçe artmaktadır. Oda sıcaklıklarının üzerine çıkıldığında; yorulma, yüksek sıcaklık yorulması adını alır ve genellikle sıcaklık arttıkça yorulma dayanımı düşer. Yorulma kırılması, tane içi kırılması türündendir [3, 4, 21, 43, 44].

2.2.8.7 Gerilme birikmesi

Kullanılan elemanda gerilme birikmesi varsa, yorulma kırılması bakımından tehlike artar. İçinde çatlak, köpük bulunan parçalarla, kesit değiştiren parçalara dikkat edilmelidir [4, 44].

2.2.8.8 Gerilme gradyanının etkisi

Gerilme gradyanı, parça kesitinde gerilmenin genel olarak değişimidir. Örneğin, gerilme gradyanı eğilme ve burulma zorlamalarında elastik şekil değişimi bölgesinde doğrusal olarak azalarak tarafsız ekseninde sıfır değerine ulaşır.

Çapları farklı olan iki parçanın yüzeyindeki gerilme aynı ise, çapı büyük olan parçada çok daha büyük bir hacim yüksek gerilme altında kalır. Yüksek düzeyde zorlanan malzeme hacminin artması ile malzeme kusurlarının bulunma olasılığı da artacağından, büyük çaplı parçalarda eğilme veya burulma yorulma dayanımları küçük çaplılara göre daha düşüktür [4, 43, 44].

2.2.8.9 Artık gerilmeler

Elastik sınır dışında (elastik sınırı aşmış) yüklenmiş ve boşaltılmış elemanlarda veya soğuk şekillendirilmiş parçaların içinde bir takım gerilmeler kalmaktadır. Bu gerilmelere artık gerilmeler denir. İçinde çekme şeklinde artık gerilme bulunan elemanların yorulma dayanımı düşerken basma artık gerilmeleri yorulma mukavemetini artırır [3, 4, 44].

2.2.8.10 Korozyon etkisi

Bir parça, bir kuvvet tekrarına zorlanırsa ve aynı zamanda oksitlenmeyi kolaylaştıran bir ortamda bulunursa mukavemetinde düşme olur. Bu azalan mukavemete, korozyon yorulması sınırları denir [43]. Ürün yüzeyinde bulunan korozyondan dolayı yorulma çatlaklarının başlaması beklenen bir durumdur. Özellikle yüzeyde oluşan korozyon çukurları, yorulma açısından tehlike oluşturmaktadır. Korozyonlu bir ortamda hem

çatlak başlangıcı hem de çatlak ilerleyişi ortamdan etkilenmektedir. Çatlak başladıktan sonra; ortam şartları çatlağın içerisini de etkileyerek, çatlağın uç noktasına ulaşabilir ve çatlak ilerleme hızını artırabilir. Korozyon oluşumu yükleme zamanlamasına (statik, dinamik vb.) ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Normal şartlar altında oldukça küçük gerilme genliklerinde çatlak başlangıcı beklenmezken, korozyon etkisi sonucu bu küçük genlik değerlerinde bile çatlak başlayabilmektedir [4, 16, 44].

2.3 Örme Elemanları

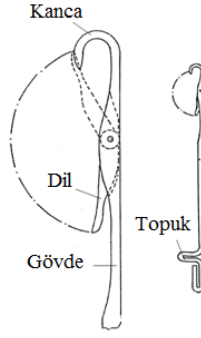
Yuvarlak örme makinalarında iplik sistemi sabit, iğneler hareketli prensiple çalışırlar. İğneler dairesel düzende dizilmişlerdir ve bu hat üzerine açılmış hareket kanalında hareket ederler. Örme; dairesel bir düzlemde oluşur ve bir kumaş tüp formatında oluşturulur.

Makine üzerinde örme işlemi yapan, hareketli ve hareketsiz kısımlar örücü makine elemanlarını oluşturmaktadır. Örücü makine elemanları şu kısımlardan oluşmaktadır [45]:

- a) Örme iğneleri,
- b) İğne yatakları,
- c) Kam mekanizmaları,
- d) İplik kılavuzu,
- e) Kumaş çekme ve sarma tertibatı,
- f) Kontrol ve güvenlik elemanları.

2.3.1 Örme iğneleri

Örme ilmeklerini oluşturmada kullanılan temel örme elemanı olan iğneler; ipliği şekillendiren, ilmek ve doku haline getiren, aynı zamanda desenlendirmenin yapılmasında büyük yararları olan ve doku sıkılığının ayarlanmasında doğrudan etkisi olan örücü elemanlardır. Şekil 2.31’de dilli iğne ve kısımları görülmektedir.



Şekil 2.31 : Yuvarlak örme makinasında iğne [46].

2.3.2 Platin

Konum olarak komşu iki iğne arasında bulunan platinler, özel profilli metal levhalardır. Şekil 2.32’de farklı profillere sahip platinler görülmektedir. Platinlerin örme işlemi esnasındaki görevleri:

- İlmek oluşumuna yardımcı olmak,
- İğnelerin hareketi esnasında kumaşın iğneler tarafından sürüklenmesini önlemek,
- İlmek düşürme esnasında kumaşı tutmaktır.



Şekil 2.32 : Farklı profil yapısına sahip platin örnekleri [47].

2.3.3 İğne yatakları

Yuvarlak örme makinelerindeki iğneler, iğne yatağındaki iğne kanallarına yerleşmiş olup, bu kanallar üzerinde bulunan hareketsiz kam parçaları tarafından ilmek hareketinin yapılabilmesi için tahrik almaktadırlar. Yuvarlak örme makinelerindeki iğne yataklarının numarası makinede kullanılacak iğnelerin numarasını, yani makine inceliğini belirlemektedir. İğneler arası mesafe fazla, yani iğne yatakları arasındaki mesafe geniş ise ilmekler daha büyük olacak ve elde edilen doku gevşek bir yapıya sahip olacaktır.

Yuvarlak örme makineleri tek veya çift plakalı olarak üretilirler. Tek plakalı yuvarlak örme makinelerinde sadece silindir iğne yatağı bulunurken, çift plakalı örme makinelerinde hem kapak hem de silindir iğneleri bulunmaktadır [45].

2.3.4 Kam mekanizmaları

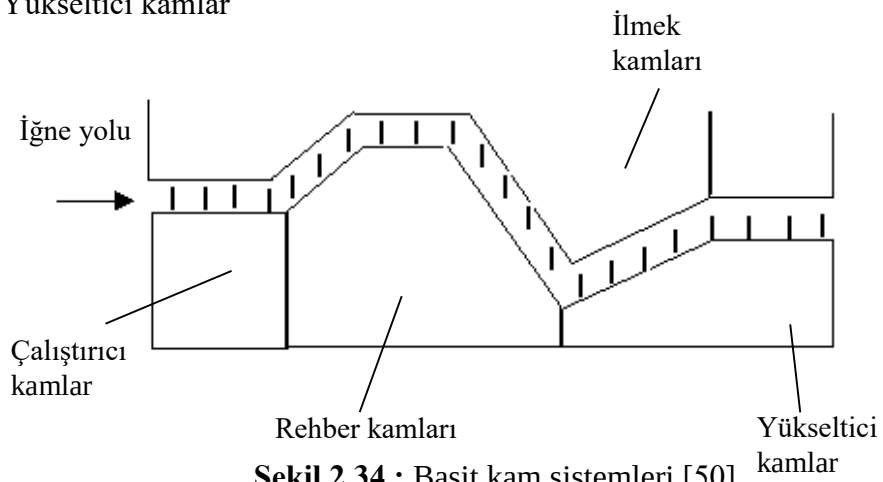
İğneye hareket verebilmek için üzerinde iğnelerin topuk kısımlarının hareket edebildiği kanallar bulunan metal parçalardır. Yuvarlak örme makinesinde üç farklı kam bulunmaktadır. Bunlar, ilmek kamı, askı kamı ve atlama kamıdır. Bu kamlar değiştirilerek elde edilmek istenen desen oluşturulur.



Şekil 2.33 : A- Yuvarlak örme makinasında iğne kam profili ve B- İğne ve platinlerin örme esnasındaki pozisyonu [48, 49].

Yuvarlak örme makinesindeki kam sistemleri aşağıdaki şekilde gruplandırılmaktadır (Şekil 2.34);

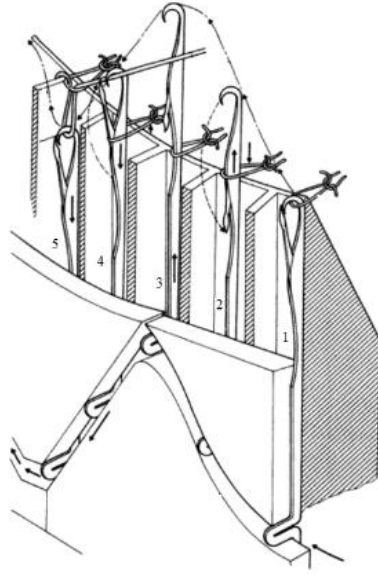
- İlmek kamları
- Rehber kamları
- Çalıştırıcı kamlar
- Yükseltici kamlar



Şekil 2.34 : Basit kam sistemleri [50].

İğne ilmek oluştururken, kamdan aldığı hareketle en üst noktaya çıkar ve yeni bir iplik alarak iğne gövdesine düşen eski ilmeğin içinden geçirerek yeni bir ilmek oluşturur. İlmeğin oluşturulması için beş temel hareket vardır (Şekil 2.35). Bunlar [45];

1. İğnenin ağzında bir ilmek bulunmaktadır.
2. Kamdan aldığı hareketle iğne yukarı doğru hareket etmeye başlar ve iğnenin ağzındaki ilmek kumaş çekimi ve iğne plakası tarafından sabit tutulduğu için iğne dilinin üzerinden geçerek dili açar.
3. İğne en üst noktaya ulaştığında ilmek iğnenin dil kısmından kurtulup gövde kısmına düşmüştür.
4. Mekik yeni bir ipliği iğnenin ağzına besler ve iğne kamdan aldığı hareketle aşağı doğru inmeye başlar.
5. İğnenin gövdesinde bulunan ilmek, iğnenin dil kısmının altına girerek dili kapatır ve yeni beslenen iplik iğnenin ağzında kapalı kalır. İğne hareketini tamamlayarak en alt noktaya ulaştığında dilin üzerindeki ilmek iğneden kurtulur ve iğnenin ağzındaki iplik bu ilmeğin içinden geçerek yeni ilmeği oluşturur.



Şekil 2.35 : Dilli iğnenin makinedeki örme hareketi [45].

2.3.4.1 Doğrusal kamlar

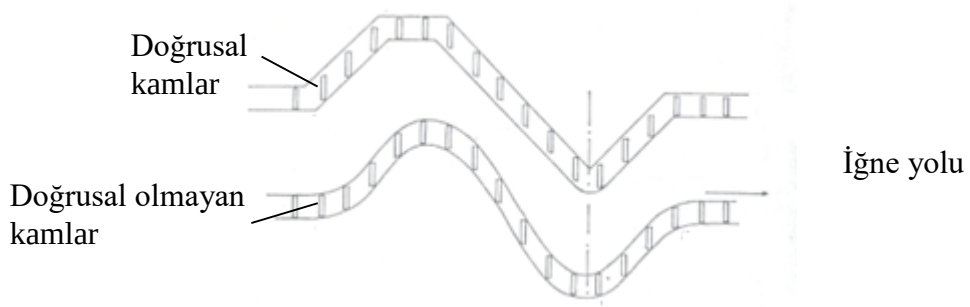
Örme kam sistemleri; örme kumaş üretim oranını, makine üzerindeki besleme sayısı ve makine çevresel hızına bağlı olarak kontrol etmektedir. Bu oran ne kadar yüksek miktarda olursa, üretim o kadar artmaktadır.

Kullanılan ilk kam sistemleri 45^0 'lik doğrusal kamlardan oluşmaktadır. Makine üzerindeki besleme sayısı, kam sistemlerinin uzunluğuna bağlı olduğundan, doğrusal kam sistemleri önemli bir avantaj sağlamaktadır. Öte yandan bu tip kamlar, iğnenin bir kamdan diğerine geçişi sırasında iğne topuğunda ani yön değişimi kaynaklı teorik olarak sonsuz bir ivmelenme ortaya çıkarmaktadır. Pratikte ise iğnenin şokları sönümleyen doğal bir rezilyansı olduğundan böyle bir ivmelenme görülmez [50].

Doğrusal kam sistemlerinde, kam açısının artırılması halinde iğne hasarının artma olasılığı ve iğne yön değişimi sırasında ortaya çıkan yüksek ivmelenme önemli kısıtlardır. Yuvarlak örme makinesinin doğrusal kamlarla çalışması esnasında ortaya çıkan bu problemleri en aza indirebilmek için doğrusal olmayan kam sistemlerine başvurulmuştur. Böylelikle gelecekteki kumaş üretimini artırmanın yollarından biri olarak görülen makine hızının artırılmasının, doğrusal olmayan kamların kullanımı ile sağlanacağı düşünülmüştür [51].

2.3.4.2 Doğrusal olmayan kamlar

İğne topuk ivmesinin tam kontrolüne imkan veren doğrusal olmayan kamlar, temel olarak düz eğriler ve dairesel yaylar içeren kam çeşidi olarak tanımlanmaktadır. Doğrusal olmayan bu kam profilleri, iğnenin sabit ve sürekli bir ivmeyle hareket etmesini sağlayarak; ivmenin dar bir aralıkta değişimine imkan vermektedir. [50]. Bu nedenle doğrusal olmayan kamın darbe kuvveti, açığa göre değişkenlik göstermektedir [52, 53]. Doğrusal olmayan bu kamlarda ideal ivme; çok yüksek olmayan ve maksimum noktası değişmeyen ivmedir. İğne ivmesinin sürekli ve düzgün olmasını sağlayacak şekilde tasarlanmış kam sistemleri; kam aşınmasını azalttığı gibi iğne ömrünü de uzatır. Şekil 2.36'da doğrusal ve doğrusal olmayan kamların genel görünüşü görülmektedir [50].



Şekil 2.36 : Yüksek hızlı doğrusal olmayan ve standart doğrusal kamların genel şekilleri [50].

İğnenin yatay hızı (dy/dt), ivmesi (d^2y/dt^2) ve darbeyi (d^3y/dt^3) sırasıyla denklem 2.47, 2.48 ve 2.49 ile ifade edilebilir:

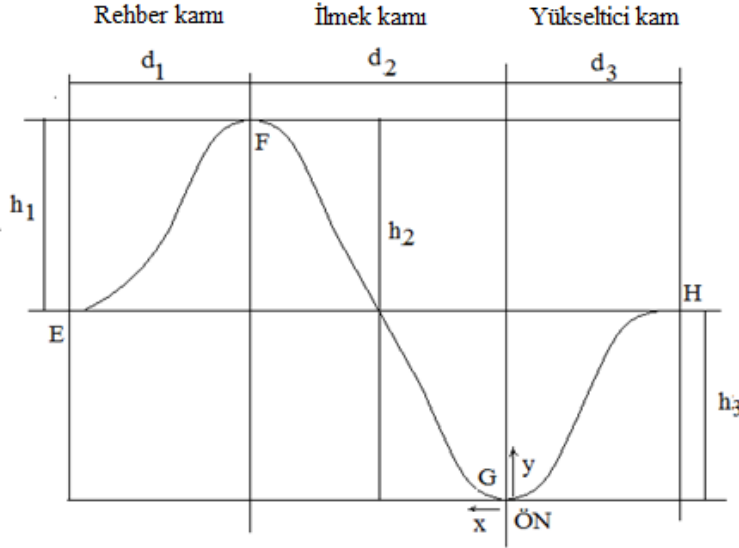
$$\text{Yatay hız} = \frac{dy}{dt} = \frac{dy}{dx} \times \frac{dx}{dt} = \vartheta \frac{dy}{dx} \quad (2.46)$$

Burada ϑ iğnenin sabit yatay hızıdır.

$$\text{Yatay ivme} = \frac{d^2y}{dt^2} = \vartheta^2 \frac{d^2y}{dx^2} \quad (2.47)$$

$$\text{Yatay çarpma} = \frac{d^3y}{dt^3} = \vartheta^3 \frac{d^3y}{dx^3} \quad (2.48)$$

Şekil 2.37’de doğrusal olmayan kamlarda yer değişim eğrisi görülmektedir. Burada EF rehber kamı, FG ilmek kamı ve GH yükseltici kamdır.



Şekil 2.37 : Doğrusal olmayan kamlarda yer değişim eğrisi [50].

Rehber kamı (EF)

Şekil 2.37’den E ve F noktalarının sınır koşulları:

$$E: x=d_1 \quad y=0 \quad y'=0 \quad y''=0 \quad y'''=0$$

$$F: x=0 \quad y=h_1 \quad y'=0 \quad y''=0 \quad y'''=0$$

Şekil 2.37’nin denklemi:

$$y = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + c_4x^4 + c_5x^5 \quad (2.49)$$

Sınır koşulları denklem 2.49'a uygulandığında rehber kamının yer değiştirme denklemi 2.50'dir.

$$\frac{y}{h_1} = 1 - \frac{10}{3} \left(\frac{x}{d_1} \right)^2 + 5 \left(\frac{x}{d_1} \right)^4 - \frac{8}{3} \left(\frac{x}{d_1} \right)^5 \dots \dots \quad (2.50)$$

İlmek kamı (FG)

Şekil 2.37'den F ve G noktalarının sınır koşulları:

$$F: x=d_2 \quad y=h_2 y'=0 \quad y''=Q \quad y'''=0$$

Q; ilmek aşırma noktasındaki yatay ivmedir $x=0$ olduğunda denklem 2.50'in 2. türevinden elde edilir.

$$G: x=0 \quad y=0 \quad y'=0 \quad y''=0 \quad y'''=0$$

Şekil 2.37'ün denklemi:

$$y = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + c_4 x^4 + c_5 x^5 + c_6 x^6 \quad (2.51)$$

Sınır koşulları denklem 2.51'e uygulandığında rehber kamının yer değiştirme denklemi 2.52'dir.

$$\begin{aligned} \frac{y}{h_2} = & \left(5 + \frac{Q}{2} \frac{d_2^2}{h_2} \right) \left(\frac{x}{d_2} \right)^2 - \frac{5}{2} \left(6 + Q \frac{d_2^2}{h_2} \right) \left(\frac{x}{d_2} \right)^4 + \left(16 + 3Q \frac{d_2^2}{h_2} \right) \left(\frac{x}{d_2} \right)^5 \\ & - \left(5 + Q \frac{d_2^2}{h_2} \right) \left(\frac{x}{d_2} \right)^6 \dots \dots \end{aligned} \quad (2.52)$$

Yükseltici kam (GH)

Şekil 2.37'den G ve H noktalarının sınır koşulları:

$$G: x=d_3 \quad y=0 \quad y'=0 \quad y''=R \quad y'''=0$$

R; ilmek oluşma noktasındaki yatay ivmedir $x=0$ olduğunda denklem 2.52'nin 2. türevinden elde edilir.

$$H: x=0 \quad y=h_3 y'=0 \quad y''=0 \quad y'''=0$$

Şekil 2.37'in denklemi:

$$y = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + c_4 x^4 + c_5 x^5 + c_6 x^6 \quad (2.53)$$

Sınır koşulları denklem 2.53'e uygulandığında rehber kamının yer değiştirme denklemi 2.54'dür.

$$\frac{y}{h_3} = 1 - \left(20 - 2R \frac{d_3^2}{h_3}\right) \left(\frac{x}{d_3}\right)^3 + \left(45 - \frac{11R}{2} \frac{d_3^2}{h_3}\right) \left(\frac{x}{d_3}\right)^4 - \left(36 - 5R \frac{d_3^2}{h_3}\right) \left(\frac{x}{d_3}\right)^5 + \left(10 - R \frac{d_3^2}{h_3}\right) \left(\frac{x}{d_3}\right)^6 \dots \dots \quad (2.54)$$

Doğrusal kamlar ile çalışıldığında, iğnenin sertliğine ve makinenin hızına bağlı olarak yükseltici kamda gerçekleşen iğnenin sıçrama miktarı değişir. Bu farklı sıçrama miktarları nedeniyle iplik geri beslenir ve dolayısıyla bir iğneden diğerine ilmek uzunluklarında da farklılıklar oluşur [50].

Doğrusal olmayan kam ile çalışıldığında, daha yüksek iplik gerginlik değerleri elde edilmektedir. Fakat bu değerler maksimuma ulaştığında bile kumaş kalitesinde hasara ile hataya ve makineyi çalıştırmak için gerekli olan enerjide bir değişmeye sebebiyet vermezler. Doğrusal olmayan kamlarda ilmek oluşturma bölgesindeki iğnenin yer değişimi, doğrusal olanlara göre daha azdır. Doğrusal olmayan kamlar ile çalışıldığında düzgün (uniform) ilmekler oluşturabilmek için maksimum iplik gerilmesi daha sola kaymıştır. İplik gerginliği artırıldığı zaman; doğrusal kamlarla çalışma durumundaki ilmek uzunluğu çok azalırken, doğrusal kamlar ile çalışma durumunda ise bu azalma o kadar fazla değildir. İki durum arasındaki fark; iplik gerginliğinin artması ile birlikte geri beslemenin doğrusal olmayan kamlarda daha fazla olması şeklinde açıklanmaktadır. Ayrıca tüm makine hızlarında, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan kamların farklı açıları ile çalışıldığında; ilmek oluşturma sırasında iplik gerginliğinin sabit olduğu ölçülmüştür [54].

Oldham ve arkadaşları [55], düzgün bir kam profiline sahip olup, hatasız üretim yapabilmek için gerekenleri şu şekilde sıralamışlardır:

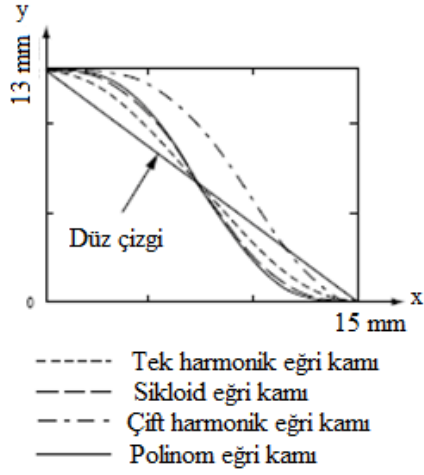
- İplik ve örme elemanları arasındaki temas sayısını azaltmak için ilmek oluşturma mesafesi kısa tutulmalıdır. Özellikle kesikli liflerden mamul ipliklerle çalışılırken, maksimum iplik gerginliği mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.
- Maksimum kam açısı çok büyük olmamalıdır. Aksi takdirde makine çalışmaya başladığı ilk anda iğne topukları kırılabilir. Kam açısı için 57^0 ila 62^0 arası en uygun olan derecelerdir.

- İğne dilinin açılıp kapama hızı çok yüksek olduğundan dolayı, hem iğne kancasında hem de dilinde hasarlar meydana geleceği için kam açıları mümkün mertebe istenilen aralıkta tutulmalıdır.
- Kam yapıları farklı ilmek oluşumlarına izin verebilmelidir.
- Tüm iğne-kam darbe büyüklükleri olabildiğince en aza indirilmelidir.
- Darbe kuvvetlerine neden olacağından dolayı iğne ivmelenmesinde ani değişiklikler engellenmelidir.
- Doğrusal olmayan kamlar, düz ve dairesel yay şeklindeki kamlardan daha uzun olmamalıdır.
- İğnenin yolu boyunca yaptığı sıçrama hareketi, mümkün olduğunca ilmek oluşum bölgesinde engellenmelidir. Aksi takdirde düzgün (uniform) olmayan yapıda ilmek oluşturulur.

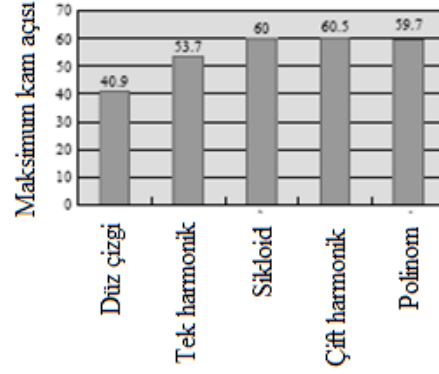
Bu beklentiler ışığında; polinom ve basit harmonik eğriye sahip kam profillerine nazaran, en uygun kam profilinin kompozit-sinus harmonik eğrisinin olduğunu belirtmişlerdir [55].

Song ve arkadaşları [52] ise yaptıkları çalışmada; bilgisayar destekli dizayn sistemi yardımıyla kam ile iğne arasında oluşan reaksiyon kuvvetlerini ve kam profillerinin ivme karakteristiklerini analiz edip karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında yer alan farklı kam profillerine ait yer değiştirme diyagramı ve kam açıları Şekil 2.38’de görülebilir. Şekil’den maksimum kam açısının, doğrusal kamlardaki karşılıklarından daha büyük olduğu görülebilir.

Kam dinamiğinin irdelendiği bir çalışmada, iğne hareket yönünü değiştirdiği zaman bir çarpma gerçekleştiği ve bunun sonucunda iğnede itici bir dalganın ortaya çıktığı belirtilmiş ve bunun da iğne ömrünün kısalmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan kam sistemi ile çarpma kuvvetinin oluştuğu noktalardaki açı kontrol edilerek iğne üzerinde meydana gelen ivme değişimlerinin azaltılabildiği gösterilmiştir. Bu şekilde iğnenin kırılma ihtimali ve üzerine gelen darbe kuvvet değerleri azalmış ve böylelikle örme makinesi yüksek hızlarda çalıştırılabilmektedir [52].



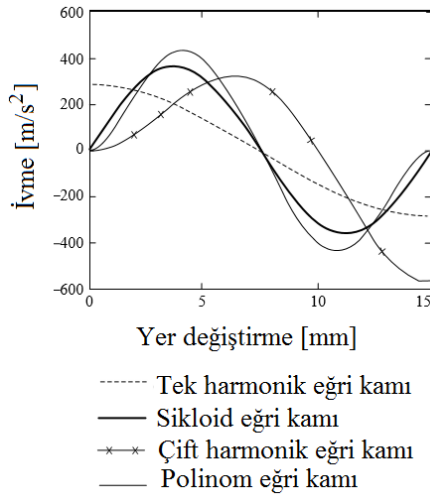
A



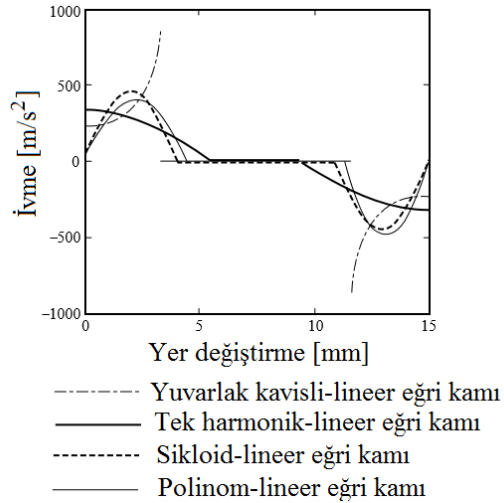
B

Şekil 2.38 : A) Farklı cam profillerine ait yer değiştirme diyagramı B) Maksimum kam açıları [52].

Aynı çalışmada, iki kam arasında geçiş noktasında keskin bir ivme değişimine olanak vermeyecek şekilde bir kam profilinin seçilmesi gerektiği de belirtilerek Şekil 2.39’da yer alan kam eğrileri analiz edilmiştir.



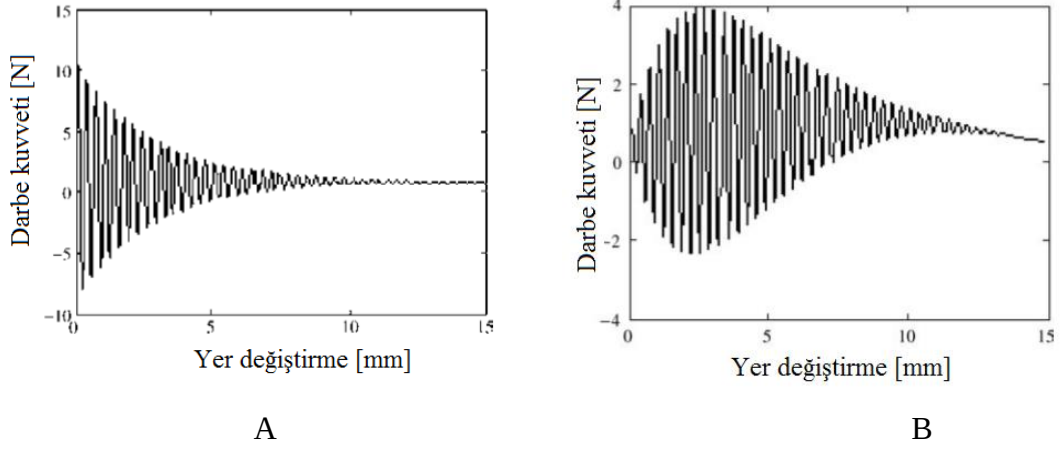
A



B

Şekil 2.39 : A) Tek eğri kamlarının B) Kompozit eğri kamlarının ivme diyagramları [53].

Bu çalışmaya ait diğer önemli bir bulgu, iğnenin kam eğrisinin düzgün olduğu durumda maksimum darbe kuvvetinin küçük bir değerde kalmış olmasıdır. Şekil 2.40’dan da görülebileceği gibi doğrusal kam profiline ait iğne darbe kuvvetinin tepe noktası, doğrusal olmayan kam profiline ait darbe kuvvetinin yaklaşık iki katıdır.



şekil 2.40 : A) Doğrusal kamın darbe kuvveti, B) Doğrusal olmayan kamın darbe kuvveti [52].

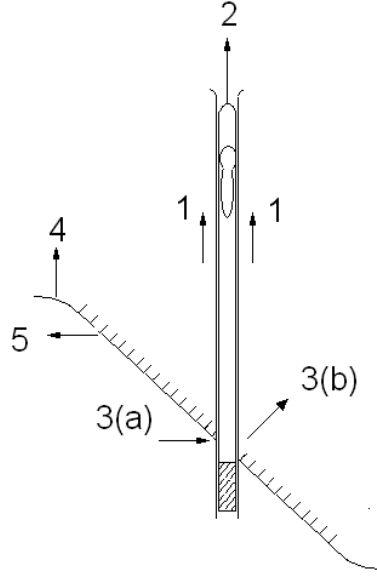
Sonuç olarak basit eğrilerle karşılaştırıldığında, kompozit eğrilerin üstünlüklerini aşağıdaki şekilde açıklamak mümkündür;

- Kompozit eğriler doğrusal olan bir kısma sahip oldukları için kompozit eğrilerin maksimum kam açısı basit eğrilerin kam açısından daha küçüktür.
- Kompozit eğrilerin tepki kuvvetlerinin değişimi daha küçüktür.
- Kompozit eğrilerin en yüksek darbe kuvveti, basit eğrilerin darbe kuvvetinden daha büyüktür; fakat doğrusal kamlarda bu değer daha küçük olmaktadır [52].

2.4 Makine Üzerinde İğneye Etki Eden Kuvvetler

Örme kumaş oluşumu sırasında iğneye çeşitli kuvvetler etki etmektedir. şekil 2.41’de görölen bu kuvvetler şu şekilde sınıflandırılmaktadır [56]:

- Direnç ve sönümlleme kuvveti
- İplikten gelen kuvvet
- Reaksiyon kuvveti
 - Kam-iğne topuğu arasında oluşan reaksiyon kuvveti
 - İğne-silindir kanalı arasında oluşan reaksiyon kuvveti
- Eylemsizlik kuvvetleri
- Darbe kuvveti
- Diğer kuvvetler



Şekil 2.41 : Kam sistemlerindeki kuvvetlerin sınıflandırması [56].

2.4.1 Darbe, reaksiyon, direnç ve sönüm kuvvetleri

Yuvarlak örme makinelerinde iğne silindir kanalında serbest bir şekilde hareket edemez. İğnenin hareketi, kanalların yağ, pislik veya lif artıklarıyla kirlendiği durumlarda kısıtlanmaktadır ve bu etkilerin sonucunda iğne üzerinde kısıtlayıcı kuvvetler meydana gelmektedir. Aynı zamanda iğnenin kam yolunda hareketi esnasında darbe ve reaksiyon kuvvetleri de ortaya çıkmaktadır.

2.4.1.1 İlmek kamları ile iğne arasında oluşan darbe ve reaksiyon kuvvetleri

Yapılan çalışmalarda, iğne kırılma mekanizmasının tamamen çözümlenmesine kadar yüksek makine hızında güvenli bir şekilde çalışmanın zor olduğu anlaşıldığından; öncelikle bu mekanizma analiz edilmeye çalışılmıştır. Petrow [57], kam ile örme elemanları arasında sadece kancanın eğiminin başlangıcına zarar verebilecek oranda bir gerilme dalgası göndermiş ve oluşabilecek darbe kuvvetini çalışmasında belirtmiştir. Yapmış olduğu temel teorik analize göre, iğneleri tekrar tasarlamış ve makinenin hızını güvenli bir şekilde arttırmıştır. Transdüser yardımı ile yaptığı deneyler sonucunda iğnenin, ilmek kamına ilk temas ettiği noktada bir darbe kuvveti oluştuğunu ve bu kuvvetin makine hızının arttırılmasıyla daha belirgin bir şekilde ortaya çıktığını göstermiştir.

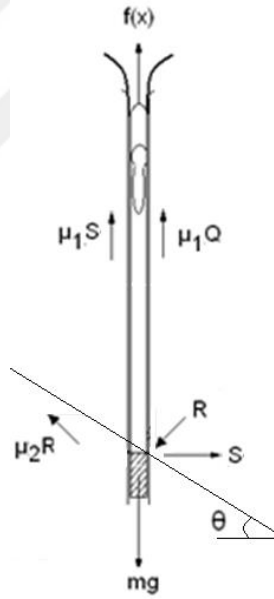
Knapton [51] çalışmasında ise iğne, kam ve silindir arasındaki normal kuvvet büyüklüğü değerinin kam açısına, iğne ile kam arasındaki sürtünme katsayısına ve iğne ile silindir duvarı arasındaki P_0 direncine bağlı olduğunu söylemiştir. Sisteme iplik

beslenildiğinde ise bu normal kuvvet büyüklüğünün arttığını ve bu büyüklüğün iplik gerginliğine bağlı olarak değiştiğini söylemiştir. İğneyi kanal içinde tutan yayın uyguladığı kuvvet Q (Bu yay, eski küçük yuvarlak örme makinalarında vardır)’a karşı hareket ettirmek için gerekli olan kuvvet, (iğnenin düşey hareketini engelleyen kuvvet) denklem 2.55 ile verilmiştir:

$$P_0 = \mu_1 Q - mg \quad (2.55)$$

Burada μ_1 silindir duvarı ile iğne arasındaki sürtünme kuvveti ve m ise iğne kütlesidir.

İğnenin sabit bir hızla ipliksiz olarak aşağı doğru hareketi sırasında üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 2.42’de görülmektedir. Burada R kam-iğne reaksiyon kuvveti, R_x yatay kam-iğne reaksiyon kuvveti, R_y düşey kam-iğne reaksiyon kuvveti, $\mu_2 R$ kam yolu boyunca iğneye etkiyen sürtünme kuvveti, S iğneyi kam yolunda aşağı veya yukarı hareket ettirecek yatay kuvvet ve $\mu_1 S$ ise silindir duvarı ile iğne arasındaki sürtünme kuvvetidir.



Şekil 2.42 : θ açısına sahip kam sisteminde sabit v hızı ile aşağı doğru hareket eden iğnenin maruz kaldığı kuvvetler [51].

Araştırmacılar, dinamik analiz sonucunda iğnenin aşağıya doğru hareketini ifade etmek üzere denklem 2.56 ve 2.57’yi elde etmişlerdir:

$$R = \frac{\mu_1 Q - mg}{\cos \theta (1 - \mu_1 \mu_2) - \sin \theta (\mu_1 + \mu_2)} \quad (2.56)$$

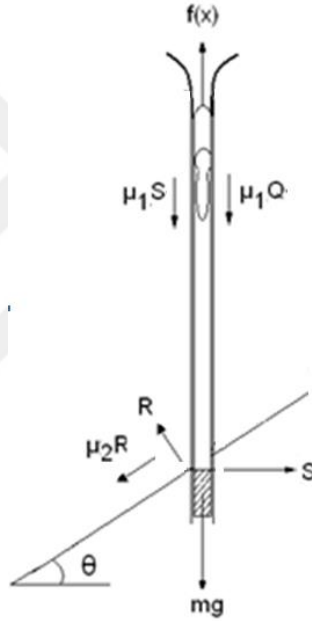
$$S = \frac{(\mu_1 Q - mg)(\sin \theta + \mu_2 \cos \theta)}{\cos \theta (1 - \mu_1 \mu_2) - \sin \theta (\mu_1 + \mu_2)} \quad (2.57)$$

Daha sonra $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ olarak kabul edilmiş ve mg iğne ağırlığı değerinin P_0 değeri yanında çok küçük olduğu kabul edilerek, denklem 2.56 ve 2.57, denklem 2.58 ve 2.59 şeklinde değiştirilmiştir:

$$R = \frac{P_0}{\cos \theta (1 - \mu^2) - 2 \sin \theta \mu} \quad (2.58)$$

$$S = \frac{P_0 (\sin \theta + \mu \cos \theta)}{\cos \theta (1 - \mu^2) - 2 \sin \theta \mu} \quad (2.59)$$

Aynı iğnenin yukarıya doğru hareketi için ise denklem 2.60 ve 2.61 elde edilmiştir.



Şekil 2.43 : θ açısına sahip kam sisteminde sabit v hızı ile yukarı doğru hareket eden iğnenin maruz kaldığı kuvvetler [51].

$$R = \frac{P_0 + mg}{\cos \theta (1 - \mu^2) - 2 \sin \theta \mu} \quad (2.60)$$

$$S = \frac{(P_0 + mg)(\sin \theta + \mu \cos \theta)}{\cos \theta (1 - \mu^2) - 2 \sin \theta \mu} \quad (2.61)$$

Yukarıdaki denklemler (2.58-2.61) iplik gerginliğinin dikkate alınmadığı koşullar için geçerlidir. İğne gövdesinde önceden oluşturulmuş ilmeklerden dolayı oluşan yanal kuvvetleri ihmal edip, iğne kancasında sabit olmayan ve iğnenin örme bölgesindeki pozisyonuna bağlı olarak değişen iplik gerginliğinin tarafından uygulanan $f(x)$ kuvveti dikkate alındığında ise denklem 2.62 ve 2.63 elde edilmiştir [51]:

$$R_k = \frac{P_0 + f(x)}{\cos \theta (1 - \mu^2) - 2 \sin \theta \mu} \quad (2.62)$$

$$S_k = \frac{((P_0 + f(x))(\sin \theta + \mu \cos \theta))}{\cos \theta (1 - \mu^2) - 2 \sin \theta \mu} \quad (2.63)$$

Burada R_k ve S_k iğne ilmek oluştururken üzerindeki normal kuvvetleri ifade eder. Görüldüğü üzere, 45^0 dereceye sahip doğrusal kamın R değeri, 60^0 dereceye sahip doğrusal kamın R değerinden her zaman küçük olmasına rağmen, R_k değeri ise daha büyüktür. Bunun nedeni ise kam açısı 45^0 'den 60^0 'ye çıktığı zaman iplik gerginliğinin azalmasıdır.

Ayrıca iğnenin hareket etmesi için gerekli olan tork, denklem 2.64 ile hesaplanmış ve 60^0 'lik doğrusal kama sahip olan sistemde iğneyi hareket ettirebilmek için gerekli olan torkun 45^0 'lik sisteme sahip olana göre % 10 daha az olduğu görülmüştür. Bu denklemde, T_k örme bölgesinden iğnenin batış mesafesi, p iğne boşluğu ve r ise silindir çapıdır.

$$T_k = \frac{2dr}{p \sin \theta} \left[\frac{\mu \sin^2 \theta (f(x) - P_0) + \sin \theta \cos \theta (P_0 + f(x) \mu^2) + \mu (f(x) + P_0)}{\cos \theta (1 - \mu^2) - 2 \sin \theta \mu} \right] \quad (2.64)$$

Wray ve Burns [58], Knapton'un [51] analizinin bazı durumları açıklamadığını belirtmişlerdir. Bunlar;

1. Makinada, silindirle kam arasındaki aralık artırılırsa kam kuvvetleri artar.
2. Silindirdeki iğneler yağlanırsa kam kuvvetleri artar.
3. İğnenin kendi kanalından çıkartılıp, bir başka iğne kanalına yerleştirilmesi ile kam kuvvetleri değişir.

Yukarıda anlatılan durumları açıklayabilecek denklem 2.65'i çıkarmışlardır. İğnenin ilmek kamına çarpması anında oluşan kuvvetler Şekil 2.44'de görülmektedir.

F: Sıvı sürtünme kuvveti

P: İğne hareketini engelleyen reaksiyon kuvveti

S: İğneyi kam yolunda aşağı veya yukarı hareket ettirecek yatay kuvvet

μ_1 : Duvar ile iğne arasındaki dinamik sürtünme katsayısı

$k_2\mu_2$: Kam ile iğne arasındaki statik sürtünme katsayısı

$$R_x = \frac{Sb}{a} = R\sin\theta + \mu_2 R\cos\theta \quad (2.65)$$

$$R_y = \mu_1 S + F + P + \mu_1 R_k + \mu_1 Q + f(x) - mg = R\cos\theta - \mu_2 R\sin\theta \quad (2.66)$$

$$S = R_x + R_k \quad (2.67)$$

$$\alpha = \frac{2a}{b} - 1 \quad (2.68)$$

$$R = \frac{F + P + \mu_1 Q + f(x) - mg}{\cos\theta(1 - \alpha\mu_1\mu_2) - \sin\theta(\alpha\mu_1 + \mu_2)} \quad (2.69)$$

$$F = A\rho \left(\frac{v\tan\theta}{d} \right) \quad (2.70)$$

Bu denklemlerde de bazı kabuller yapılmıştır. Bunlar [56]:

- Sıvı viskozitesi sabittir, fakat sıcaklığa bağlı olarak değişebilir.
- İğnenin toplam ıslak alanı sabittir. Fakat bu iğnenin ilmek oluşturma noktasından aşağı hareketinde doğru değildir.
- İğne silindir geometrisindeki yuvarlak köşelerin etkisi ihmal edilmiştir.

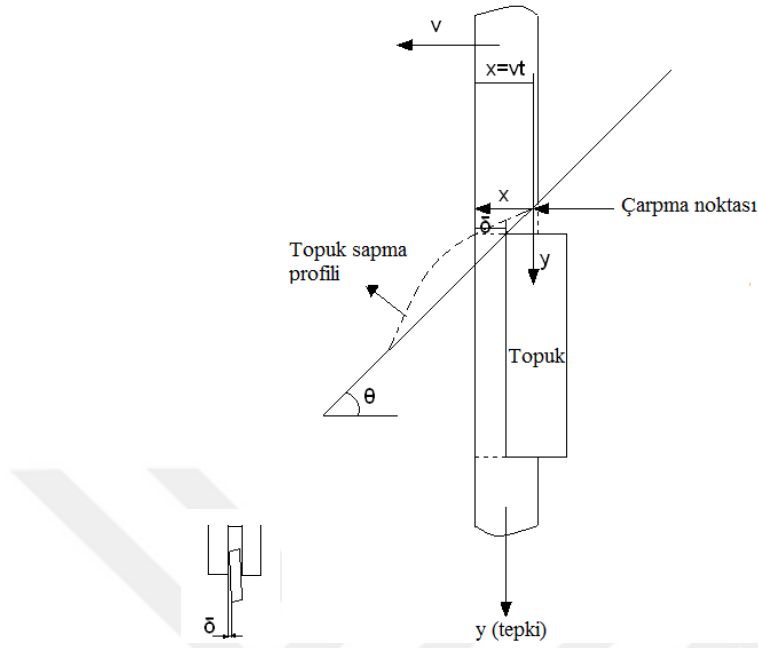
Wray ve Burns [57] kam ile iğne arasındaki darbe kuvvetlerini hesaplayabilmek için yaptıkları çalışmada, ilk başta iğne kam ile temas ettiği zaman iğne topuğu yön değiştirmiş ve kam-iğne reaksiyon kuvvetinin yatay bileşenin statik iğne kanalı direncini yendiği zamana kadar eğilmiş ve iğne aşağı doğru ivmelenmeye başlamıştır.

Şekil 2.45 iğne topuğunun düşey hareketine başlamadan hemen önceki hareketini göstermektedir. Topuk yer değiştirmesi ;

$$\delta = \vartheta t - y \cot \theta \quad (2.71)$$

olarak tanımlanmıştır. Topuğa etkiyen yatay kuvvetler ve sonucunda topukta meydana gelen deformasyon, teorik olarak tahmin edilebilecek seviyede olmamıştır. Silindir duvarı ile iğne gövdesi arasındaki açıklık, silindir duvarlarının rijitliği ve uygulanan kuvvet altında iğnelerin duvarlar ile ilişkide olup olmadığı gibi birçok parametre bunda etkili olmuştur. Bu yüzden Wray ve Burns [59]'ün yapmış olduğu deneysel çalışmada topuk deformasyonu, basit ve güvenilir bir şekilde güç değiştirici yardımıyla ölçülmüş ve iğne topuğunda meydana gelen şekil değiştirmenin, makine hızı ve kam açısına

bağlı olarak nasıl bir değişikliğe uğradığı Çizelge 2.6’ da gösterilen değerlerde elde edilmiştir.



Şekil 2.45 : Darbe sırasında iğnenin ilmek kamı üzerindeki hareketi [57].

Karakteristik eğriye, tanjant eğrileri çizdiklerinde, kam açısına göre K ve G faktörlerinin değerlerine ulaşmışlardır. Yukarıda açıklandığı gibi δ topuk dönmesi, R_x kuvveti R kuvvetinin yatay bileşeni iken K ve G sabitleri kam açısına bağlı sabitlerdir.

$$R_x = k(\delta - G) \quad (2.72)$$

Çizelge 2.6 : İğne eğilmelerinde kullanılan sabitler [59].

θ	K		G		Kabul edilebilir yük aralığı	
	(Ibf/inç)	(kN/m)	(inç $\times 10^{-4}$)	μm	(gr-kuvvet)	(N)
30	2600	455	5,36	13,6	235-1000	2,3-9,8
45	4070	712	8,85	21,2	450-1900	4,4- 18,6
60	5980	1047	11,36	28,8	1000 üzeri	9,8 üzeri

Formüllerle hesaplanan sonuçlar ve deney sonuçlar kıyaslandığında, makine hızı ve kam açısı arttıkça darbe kuvvetinin arttığı bulunmuştur [59]. Ayrıca makine hızının arttırılması ile birlikte iğnenin kam ile temas süresi azaldığı gibi, iğne sıçramasının hem sayı olarak hem de süre olarak arttığı gözlenmiştir [59, 60]. Diğer taraftan iğne

silindirik kanalında serbest olduğu durumlarda, sıçramanın daha erken başladığı, daha fazla ve uzun sıçramaların gerçekleştiği görülmüştür [60].

Wray ve Burns'ün [57] makine hızının artırılmasının iğnelerin kırılma oranına ne nasıl etkilediğine yönelik çalışmalarında ise; duvarlar arasında aşırı yağlama yapılmadığı takdirde, kam kuvvetlerinin makine hızıyla çok fazla değişmediği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte yüksek makine hızlarında yapılan gözlemler, makineye iplik beslenmemiş olsa dahi iğne ucunda kırılmaların oluştuğunu göstermiştir.

Yukarıda verilen çalışmalardan farklı olarak, doğrusal olmayan kamlar ile çalışıldığında ise Wray ve Burns [58] kamın eğrisel kısmındaki reaksiyon kuvvetini denklem 2.73 ile ifade etmişlerdir.

$$R = \frac{F + P + \mu_1 Q + f(x) - mg \pm mv^2 \frac{d^2 y}{dx^2}}{\cos \theta (1 - \alpha \mu_1 \mu_2) - \sin \theta (\alpha \mu_1 + \mu_2)} \quad (2.73)$$

Sondaki atalet terimi eğimli yüzeylerde vardır ve iğne ivmelenirken pozitif, yavaşlarken negatiftir. Bu terim doğrusal bölgede sıfır değerini alır.

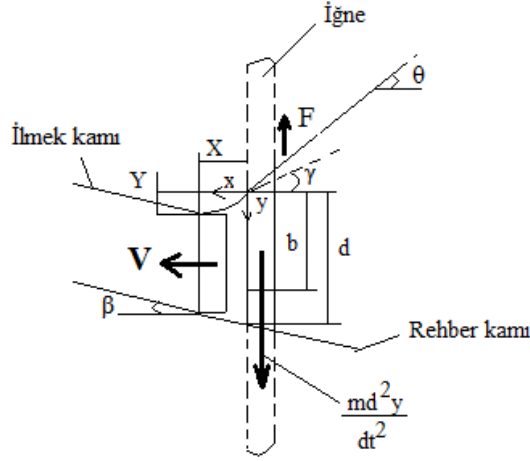
2.4.1.2 Rehber kamları ile iğne arasında oluşan darbe ve reaksiyon kuvvetleri

İki gövde arasında meydana gelen bir çarpışmada, kinetik enerji açığa çıkmakta ve oluşan bu enerjinin bir kısmı gövdeler arasında burulma enerjisine dönüşmektedir. Çarpışmadan hemen sonra, bu enerjinin bir kısmı yine kinetik enerjiye dönüşmekte ve kalan enerji yine cisimler arasında dalga ya da plastik deformasyon şeklinde artık enerji olarak açığa çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu enerjinin kontrolü için en önemli parametre, titreşimsel mod halinde gövdeye darbe oranı tarafından yapılan enerji depolanmasının kontrol edilmesidir. Bu oran denklem 2.74 ile hesaplanmıştır [61]

$$t_f/t_n = \text{Darbe periyodu süresi} / \text{Çarpan parçaların temel frekans süresi} \quad (2.74)$$

Bu oran küçüldükçe sıkışan enerji de artar.

Wray ve Burns [61]' un önceden yapmış oldukları bir çalışmada, çarpan parçanın temel frekans süresi yaklaşık 0,2 milisaniye ve iğnenin aşağıdan yukarı geçiş zamanı (darbe periyodu süresi) yaklaşık 17sn olduğu görülmüştür. Araştırmacılar, bu oranı bir hayli büyük bulmuş ve bu kadar büyük gerilme enerjisinin iğne boyunca titreşim biçiminde dağılmasının imkansız olduğu sonucuna varmışlardır. Rehber kamlarındaki çarpışmayı etkileyen temel fiziksel nicelikler Şekil 2.46 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.46 : Rehber kamına etki eden darbe kuvvetleri ve koordinatları [61].

x: İğne topuğunun yatay yönde O'dan uzaklığı,

y: İğne topuğunun düşey yönde O'dan uzaklığı,

$dx/dt = v$: Yatay hız (İğnelerin çevresel hızları)

dy/dt : Düşey hız

d^2x/dt^2 : Yatay ivme

d^2y/dt^2 : Düşey ivme

X: İğne topuğunun ilmek kamıyla temas bitiş noktasından, iğne topuğunun rehber kamı ile temas olduğu yere kadar olan yatay mesafe

Y: İğne topuğunun ilmek kamıyla temas bitiş noktasından, iğne topuğunun rehber kamı ile temas olduğu yere kadar olan düşey mesafe

X' : Rehber kamına darbe anında oluşan yatay iğne hızı

Y' : Rehber kamına darbe anında oluşan düşey iğne hızı

θ : İlmecek kamının açısı

γ : O noktasında ilmek kamı açısı

β : Rehber kam açısı

b: Topuk yüksekliği

d: İlmecek kamı üzerindeki O noktasından rehber kamının alt kısmı arasındaki düşey uzaklık

m: İğne kütlesi

F: İğne hareketine düşey yönde gelen toplam direnç kuvveti

T: İğnenin O noktasından rehber kamına gelene kadar geçen süre

Burada verilen teorik analizler, momentum ve enerjinin korunması ilkesine dayanarak iğne hızındaki net değişiklikler hakkında bilgiler elde edilmesini sağlamaktadır [61].

Şekil 2.46' dan,

$$d - (b + Y) = X \tan \beta \quad (2.75)$$

İğne ilmek kamını terk ettikten hemen sonra iğne üzerindeki kuvvet:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{-F}{m} \quad (2.76)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{-Ft}{m} + A \quad (2.77)$$

t=0 iken $dy/dt = v \tan \gamma$ olur ve bundan dolayı

$$\frac{dy}{dt} = \frac{-Ft}{m} + v \tan \gamma \quad (2.78)$$

Sonuç olarak,

$$y = \frac{-Ft^2}{m} + (v \tan \gamma)t + B \quad (2.79)$$

t=0 için y=0 olduğunda B=0 bulunur ve

$$X = vT \quad (2.80)$$

T

$$= \frac{\left(\frac{2m}{F}(\tan \gamma + \tan \beta)\right)v - \sqrt{\left(\left(\frac{2m}{F}(\tan \gamma + \tan \beta)\right)v\right)^2 - 4\left(\frac{2m}{F}(d - b)\right)}}{2} \quad (2.81)$$

$$Y = vT \tan \gamma - \frac{FT^2}{2m} \quad (2.82)$$

Denklem 5.26 ve 5.27'den:

$$X = \frac{v}{2} \left\{ \left(\frac{2m}{F}(\tan \gamma + \tan \beta)\right)v - \sqrt{\left(\left(\frac{2m}{F}(\tan \gamma + \tan \beta)\right)v\right)^2 - 4m} \right\} \quad (2.83)$$

Buna göre, rehber kamında çarpışmanın meydana geldiği nokta, makine hızına bağlı olarak değişir ve makine hızı artarken darbe kuvvetinin değerinin de artacağı söylenebilir [61, 62]. Ayrıca iğnenin kanalda maruz kaldığı kuvvetin artması, iğnenin ilmek kamını terk ederken yavaşlamasını artırır ve böylelikle iğnenin rehber kamına çarptığı andaki yatay hız değeri azalır [61]. İğnenin rehber kamına çarpması sonucunda meydana gelen darbe kuvveti, ilmek oluşturma işlemi sırasında meydana gelir ve iplik gerginliği arttığı zaman darbe kuvvetinin değeri azalır [62]. İmek kamının açısı arttıkça, rehber kamında meydana gelen darbe kuvvetinin arttığı gözlenmiştir. İmek kamlarının açısı daha dik, fakat makine hızı düşük olduğu durumlarda çarpmanın ilk olarak rehber kamında meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca, daha dik rehber kamları ile çalışıldığı zaman ortaya çıkan darbe kuvvetinin arttığı da görülmüştür. Özellikle yüksek makine hızları ile çalışıldığında, iğne topuğunda meydana gelen kırılmaların daha sık ortaya çıktığı görülmüştür [63].

2.4.1.3 İğne dili ile kam arasında oluşan darbe ve reaksiyon kuvvetleri

İğne kancasında meydana gelen maksimum “dil darbe” kuvveti, ilmek oluşturma bölgesinde meydana gelir. Eski ilmek iğne diline temas ettiği anda dil hemen kapanır ve kancaya çarpar. Buna rağmen, iğnedeki hasarlar büyük bir oranla kancada meydana gelir. Hatta bu hasarlar iplik beslemesi olmadığı durumlarda bile gerçekleşir. Bu noktadan hareketle, iğne kancasında meydana gelen hasarların en önemli nedeninin iğne topuğunun kama çarpması ile ortaya çıkan darbe kuvveti olduğu söylenebilir [64]. Yapılan araştırmalar sonucunda; iğnenin ilmek yaptığı pozisyonla, atlama ilmekleri yaptığı pozisyonlar arasında meydana gelen darbe kuvvetleri birbirinden farklıdır. Çünkü iğne ilmeği oluştururken, iğnenin kancasındaki ipliğin gerginliğinden dolayı kama ekstra bir kuvvet uygulanır [65].

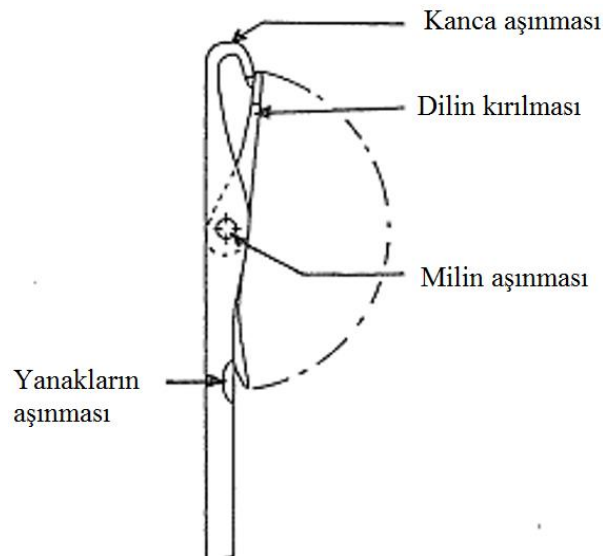
İğne ilmek kamında aşağıya doğru ilerlerken önceden oluşturulmuş ilmek ortalama $v_{tan\theta}$ hızı ile iğne gövdesinden yukarıya doğru hareket eder ve dilin hızla kapanmasına neden olur. Burada iki durum meydana gelir. İlk durumda temas, iğnenin yükseldiği sürede devam eder ve ipliğin iğne gövdesindeki pozisyonuna bağlı olarak dilin hareketi belirlenir. İkinci durumda; dil, iplik ile temasını bitirmek için gerekli olan kinetik enerjiyi kazanır.

Wray ve Burns [64, 66] iğnenin kanca ve topuğundaki muhtemel kırılma nedenlerini incelediğinde;

- Kırılma oranının kanca kalınlığına ve kanaldaki iğnenin sıklığına,
- Kancadaki kırılmanın direkt olarak rehber kamda ortaya çıkan darbe kuvvet değerine bağlı olduğu,
- Kanala sıkıca yerleşmiş olan iğnelerin topuğunun üst yarısında gerçekleşen kırılmaların daha çokilmek kamında ortaya çıkan reaksiyon kuvvetinden dolayı meydana gelirken; gevşek yerleştirilmiş iğnelerde ise topuğunun alt yarısında ve kancada meydana gelen kırılmaların rehber kamda ortaya çıkan reaksiyon kuvvetinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Araştırmacılar, kancadaki çarpma etkisini azaltmak için aşağıdaki iyileştirmeleri önermişlerdir [64]:

1. Yanak yüksekliğinin büyütülmesi,
2. Kanca için enerji absorblaması daha iyi olan bir malzeme kullanılması,
3. Dilin kapanması esnasındaki kam açısının düşürülmesi,
4. Kanca kütesinin azaltılması,
5. Dil uzunluğunun kısaltılması,
6. İğne kafasında iplik-metal sürtünmesinin daha az olacağı malzeme kullanılması,
7. Alternatif kanca dizaynıdır.

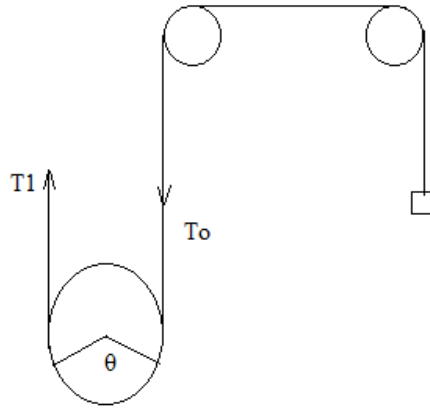


Şekil 2.47 : Kancada meydana gelen çarpma sonucunda iğnede meydana gelen muhtemel hasarlar [67].

2.4.2 İplik kuvvetleri

Örme işlemi sırasında iplikler çok çeşitli yüzey üzerinden geçerler ve ilmek oluşum bölgesinde, uygulanan kuvvetler ve yeni ilmek oluşumu sırasında ortaya çıkan iplik-metal sürtünmesinden dolayı bir iplik gerilimi ortaya çıkar [56]. Proseslerin karmaşıklığı ve iplik sürtünmesini etkileyen çok fazla değişkenin varlığı nedeniyle iplik gerginliği ve anılan değişkenler arasında bir korelasyon kurmak oldukça zordur. İpliklerin silindirik bir yüzey etrafından geçişi esnasındaki sürtünme davranışını açıklayan Capstan formülü ise Şekil 2.48’de tanımlanmaktadır. Burada, T_1 çıkış gerginliği olup; serbest uçtaki giriş gerginliği T_0 ’dan büyüktür. Bunun sebebi silindir ve iplik arasındaki sürtünmedir. Giriş ve çıkış gerginlikleri arasındaki ilişki denklem 2.84 ile verilebilir:

$$T_1 = T_0 e^{\mu\theta} \quad (2.84)$$



Şekil 2.48 : Silindir etrafında belirli bir açı ile sarılan tekstil malzemesinin geçişi.

θ açısı, ipliğin silindire ilk temas ettiği nokta ile silindiri terk ettiği nokta arasındaki açıdır. İplik giriş ve çıkış gerginlikler arasındaki bağıntıda en önemli parametre toplam açıdır. İki silindirli bir sistem için ise denklem 2.87 ile ifade edilir [10] :

$$T_1 = T_0 e^{\mu\theta_1} \quad (2.85)$$

$$T_2 = T_1 e^{\mu\theta_2} \quad (2.86)$$

$$T_2 = T_0 e^{\mu(\theta_1+\theta_2)} \quad (2.87)$$

İplik, metal örme elemanlarından geçip ilmek oluştururken, Amonton’un kuralına göre iplik gerginliği artar. Bu yüzden ipliğin örme bölgesine girdiği nokta ile çıktığı nokta

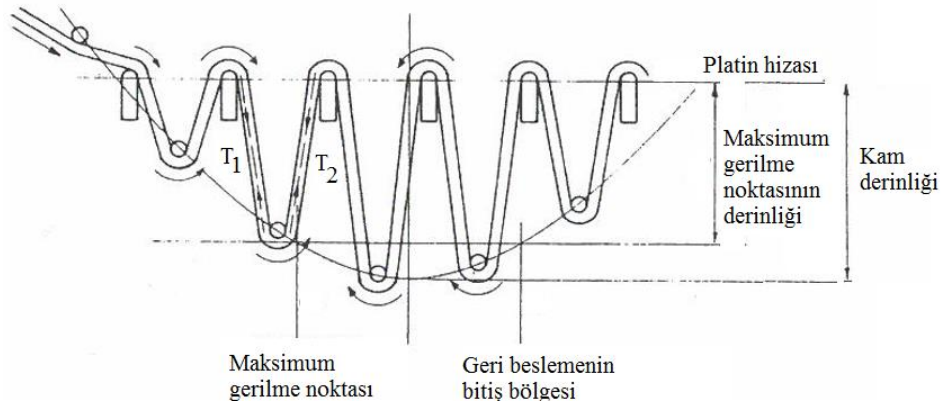
arasında gerginlik farkı ortaya çıkar. İplik sürtünme değeri bilindiği zaman örme bölgesinde farklı pozisyondaki iğnelerin üzerindeki iplik gerginliği denklem 2.88'ye göre hesaplanabilir [68]:

$$T_n = T_1 e^{(\sum \theta_n)} \quad (2.88)$$

Burada $\sum \theta_n$ değeri toplam iplik açısıdır. Belirli bir nokta sonra bu gerginlik artışı öyle bir noktaya gelir ki; örme noktasının iplik besleme tarafındaki herhangi bir iğne pozisyonunda, örme noktasının sağındaki iğnelerin yukarı çıkması ile bu tarafta yeni oluşmuş ilmeklerde bir gevşeme olduğundan iğnenin besleme tarafındaki iplik kolundaki gerginlik diğer taraftaki iplik gerginliğinden daha büyük veya eşit olur. Söz konusu bu iğne pozisyonunda, iğne besleme tarafından iplik çekemez hale gelir ve iğne ilmek oluşturabilmesi için gerekli olan ipliği bir önceki adımda ilmek oluşturulmuş iğneden çeker. Buna örme teknolojisinde geri besleme teorisi adı verilir [69,70]. Şekil 2.49'da ilmek oluşumu esnasında geri beslemeden kaynaklanan iplik akış yönü görülmektedir. İlmek oluşumu esnasında meydana gelen geri besleme olayından ötürü kumaştan iplik söküldüğü zaman ölçülen uzunluk her zaman teorik olarak hesaplanan değerden daha azdır [71]. Bu yüzden; geri besleme, iplik uzama özelliğini dikkate almadan teorik ve kumaştan sökülmüş iplik uzunluğu arasındaki fark olup; denklem....ile ifade edilir.

$$\%RB = \frac{l_t - l_u}{l_t} \times 100 \quad (2.89)$$

Giriş (besleme) tarafından, ileriye doğru iplik gerginlik artışı (T_1) ile geri besleme tarafındaki geriye doğru iplik gerginlik artışının (T_2) kesiştikleri noktada ise T_m maksimum gerginlik değeri ortaya çıkar.

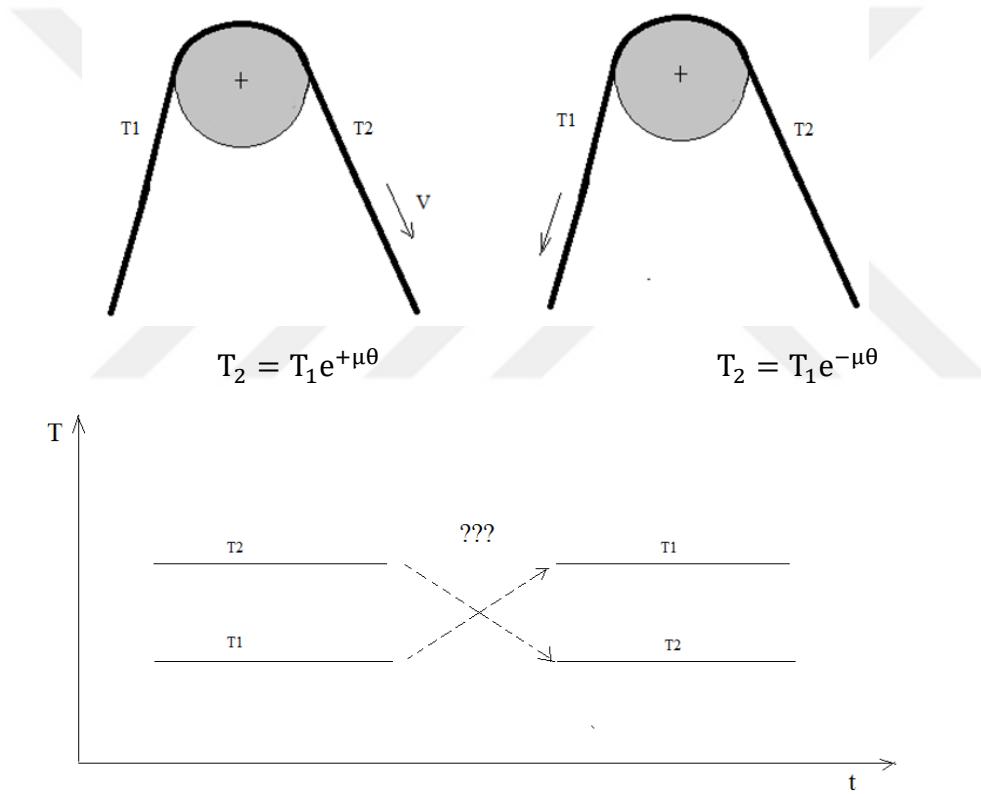


Şekil 2.49 : Geri besleme teorisinde iplik hareketi [71]

İplik, makinenin çalışma doğrultusunda ilerlerken geri beslemeden dolayı makinenin dönüş yönünün tersi yönünde akışı Şekil 2.50’de gösterilmektedir. Şekil 2.50’de verilen bu iki pozisyon arasındaki durum çok açık değildir ve dolayısıyla iğne kancasında ortaya çıkan iplik kuvveti de buna bağlı olarak değişmektedir.

Kancanın sol tarafındaki iplik uzunluğu L_1 , sağ tarafındaki ise L_2 olarak tanımlanmıştır. İplik bir taraftan diğer tarafa kaydığı için dinamik koşullar altında kuvvetler dengelenmiştir, fakat ne kadarlık kütle değişimi olduğunu belirlemek zordur. Bununla birlikte, toplam kütle denklem 2.90 ile ifade edilebilir:

$$m_1 + m_2 = L_1 * \frac{E}{T_1 + E} + L_2 * \frac{E}{T_2 + E} = \text{sabit} \quad (2.90)$$

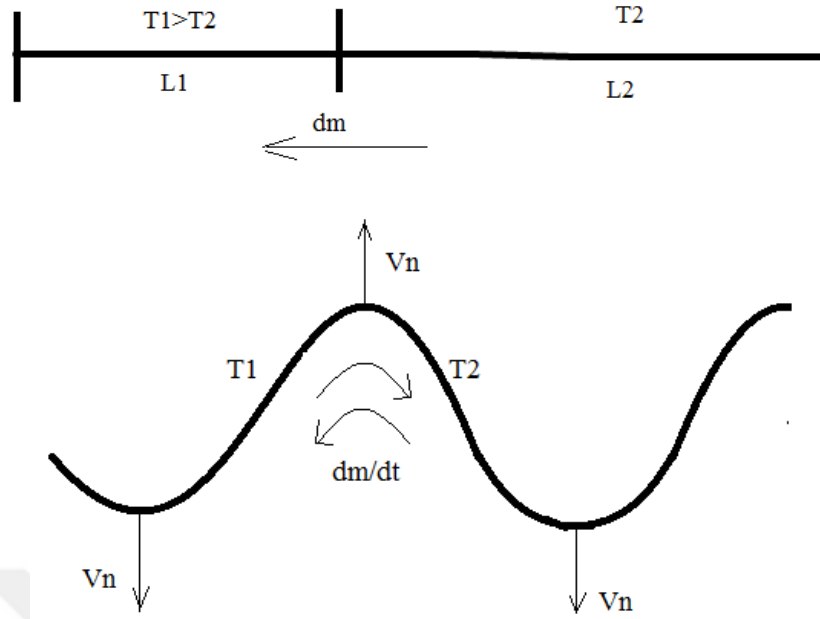


Şekil 2.50 : İplik ilmek oluşumunun tersi yönüne dönerken iplik gerginliği [72].

Şekil 2.51’de, şematik olarak ipliğin iğne kancasındaki hareketi görülmektedir.

İplik akışından önceki sol taraftaki iplik kütlesi m_1 :

$$m_1 = L_1 * \frac{E}{T_1 + E} \quad (2.91)$$



Şekil 2.51 : Kütle değişiminin şematik gösterimi [72].

Kuvvet dengesi sağlandıktan sonra, iğnenin her iki tarafında aynı iplik gerginliği meydana gelir. L_1 bölgesindeki $m_1 + \Delta m$ kütlesi:

$$m_1 + \Delta m = L_1 * \frac{E}{T + E} \quad (2.92)$$

İğne kancasından geçen iplik kütlesi Δm olmak üzere;

$$\Delta m = L_1 * \frac{E}{T + E} \frac{E}{T_1 + E} \quad (2.93)$$

$F, F_1, F_2 \gg E$ olduğundan

$$\Delta m = \frac{L_1}{E} (T_1 - T) \quad (2.94)$$

ve

$$\Delta m = \frac{L_2}{E} (T - T_2) \quad (2.95)$$

Bu iki denklemden (2.94 ve 2.95) iplik kütle ve gerginlik transferinin fiziksel limitleri hesaplanabilir [72].

$$T = \frac{L_1 T_1 + L_2 T_2}{L_1 + L_2} \quad (2.96)$$

$$\Delta m = \frac{L_1 * L_2}{L_1 + L_2} * \frac{T_1 - T_2}{E} \quad (2.97)$$

Knapton ve arkadaşlarının [68] yaptığı çalışmaya göre, % geri besleme iplik giriş gerginliğine bağlıdır ve kamın pozisyonundan çok az etkilenir. Bu yüzden iplik giriş gerginliğindeki herhangi bir dalgalanma veya değişim sonucunda bir iğneden diğer iğneye aktarılan iplik miktarının değişmesine neden olur ve böylece ilmek iplik uzunluğu da değişir. İplik giriş gerginliği küçükken geri besleme hızla artar. Çünkü geri beslemeye karşı güçlü bir ters kuvvet yoktur. İplik giriş gerginliği arttığı zaman ise iplik ve örme elemanları arasındaki baskı da artar. Baskının etkisi ile iplik yassılaştırmış bir şekilde iğne kancasında hareket eder. Bu durumda iplik ile iğnenin temas yüzeyinin artması beklenir [10]. Ayrıca yüksek iplik gerginliğinden dolayı bir noktadan sonra iğneden diğer iğneye aktaracak iplik kalmaz ve dolayısıyla iplik kopar. Yine ilmek kam ayarlarının artmasıyla geri besleme artar [68, 73, 74]. Diğer taraftan iplik sürtünmesindeki varyasyonlardan dolayı periyodik olarak ortaya çıkan iplik gerginlik değişiklikleri, ilmek boyutlarında değişikliğe neden olur. Sürtünme katsayıları farklı iki iplik kullanıldığında; kam ayarı ve iplik giriş gerginlikleri aynı olsa bile, ilmek iplik uzunlukları değişeceğinden kumaş kalitesi de değişir. İplik sürtünme katsayısı fazla olan kumaşın sıra sıklığı daha fazladır. Düşük gerginlik değerlerinde, büyük sürtünme katsayısına sahip ipliklerin ürettiği kumaşların ilmek iplik uzunlukları, düşük sürtünme katsayısına sahip olanlardan daha küçük olmasının nedeni, bu gerginlik değerlerinde ipliğin daha fazla sayıda metal yüzeyden geçmek yerine sadece bir iğneden iplik çekmesinin daha kolay olmasından dolayıdır [51, 68, 73]. İplik giriş gerginliği $T=2$ g olduğu zaman, vakslanmış ipliklerden örülmüş kumaşların ilmek iplik uzunlukları vakslanmamışlara göre %10 daha fazladır. Ancak iplik gerginliği arttıkça vakslanmamış ipliklerden üretilmiş kumaşların ilmek iplik uzunlukları diğerlerine göre ~%5 oranında artar [68]. Diğer taraftan kumaş çekim kuvveti değeri sıfır olduğunda bile geri besleme gerçekleşir [75].

Makine inceliği ile iplik giriş gerginliği arasındaki ilişkinin irdelendiği bir başka çalışmada, E18 ve E28 numaralı makinelerde dört farklı iplik besleme hızında çalışılmış ve iplik besleme açısının önemli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada aynı besleme hızında daha ince makine ile çalışıldığında, kalın makineye kıyasla daha büyük gerginlikler elde edilmiştir. Bunda, daha kalın olan makinenin iğnesi ile ipliğin temas alanının daha fazla olması önemli rol oynamıştır [76]. Çukul [10] çalışmasında,

iplik giriş gerginliği arttırıldığı zaman, kanca iç yüzeylerinde iplik yollarına ait izlerin de arttığını ve bu izlerin geniş bir bölgeye yayıldığını görmüştür. Buradan iplik giriş gerginliğindeki artışın iplik-iğne yüzey temas alanını artırdığı, dolayısıyla iğne aşınması üzerinde etkili olduğunu söylemiştir. Ayrıca iplik çıkış gerginliğinin; iplik giriş gerginliği, silindir çapı, iplik hızı, yağ miktarı ve viskozitesindeki artışa bağlı olarak arttığı; iplik bükümündeki artış ile azaldığını belirtmiştir.

Sonuç olarak, ilmek oluşumu esnasında ortaya çıkan iplik gerginliğinin çeşitli etkileri vardır. Bunlar [77]:

- İlmek oluşumu sırasındaki iplik gerginliği; iğne ilmek aşırma kenarından geçtiği andan ilmek oluşumunun tamamlanmasına kadar geçen sürede, iğne topuğu ile ilmek kamı arasındaki basınç kuvvetinin büyüklüğünü etkiler.
- İplik gerginliğinin, iğne üzerindeki (iğne gövdesi boyunca) hareketi nedeniyle iğne topuğu ile ilmek kamı arasındaki basınç kuvvetinin düşey bileşeni üzerinde büyük bir etkisi olurken, iğne topuğu ile ilmek kamı arasındaki basınç kuvvetinin yatay bileşeni üzerinde ise küçük bir etkisi vardır.
- İlmek oluşumu sırasında, iplik gerginliğinin artarak ilmek oluşumu sonunda maksimum değerine ulaşmasına rağmen; iğne topuğu ile ilmek kamı arasındaki basınç kuvvetinin yatay ve düşey bileşenleri azalır. İlmek oluşum noktasındaki iğnenin pozisyonuna karşılık gelen zamanda iplik gerginliğinin etkisiyle iğne topuğu ile ilmek kamı arasındaki basınç kuvvetinin yatay bileşeni sıfır iken, düşey bileşeni sıfırdan farklıdır.
- Farklı şekillerde ilmek kamları kullanıldığı zaman, aynı ilmek aşırma derinliğinde, iplik gerginliğinin iğne topuğu ile ilmek kamı arasındaki basınç kuvvetinin düşey bileşeni üzerinde farklı etkileri vardır.

2.4.3 Eylemsizlik (atalet) kuvvetleri

Herhangi bir uzvu ivmelenen bir mekanizma bu ivmelenmeye karşılık bir eylemsizlik kuvveti oluşturmaktadır. Sabit makine hızlarında iğne yatay yönde ivmelenmez, fakat kam profiline göre düşey yönde bir ivmelenmeye sahip olabilir. Eylemsizlik kuvvetleri, iğnenin bu düşey yöndeki ivmelenmesinden kaynaklanmaktadır. Burada eylemsizlik kuvvetine yol açan en büyük kuvvet iğnenin kendi ağırlığı tarafından oluşan kuvvettir ve yatay olarak iğnenin ivmelenmesi ile artar. Buna göre;

$$I_f = -mv^2 \frac{d^2y}{dx^2} \quad (2.98)$$

İğne aşağı inerken,

$$\tan \theta = -\frac{dy}{dx} \quad (2.99)$$

$$\sin \theta = \frac{-dy/dx}{\{1 + (dy/dx)^2\}^{1/2}} \quad (2.100)$$

$$\cos \theta = \frac{1}{\{1 + (dy/dx)^2\}^{1/2}} \quad (2.101)$$

İğne yukarı çıkarken,

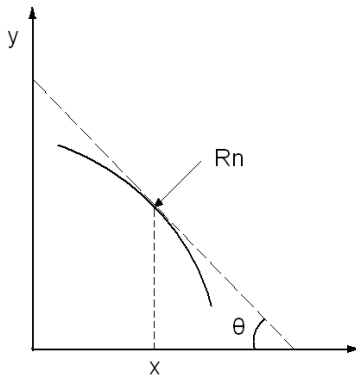
$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} \quad (2.102)$$

$$\sin \theta = \frac{dy/dx}{\{1 + (dy/dx)^2\}^{1/2}} \quad (2.103)$$

$$\cos \theta = \frac{1}{\{1 + (dy/dx)^2\}^{1/2}} \quad (2.104)$$

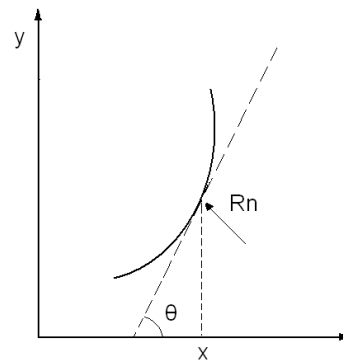
İğne aşağı inerken

$$\tan \theta = -\frac{dy}{dx}$$



İğne yukarı çıkarken

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx}$$



Şekil 2.52 : Doğrusal olmayan kam sistemlerinde tanımlamalar.

Eylemsizlik, ivme diğer bir deyişle iğnenin düşey hareketine ters yöndedir. Pozitif yön yukarı doğru, negatif yön aşağı doğru alınmıştır [56].

2.4.4 Diğer kuvvetler

2.4.4.1 İğne ağırlığının etkisi

İğne kütlesindeki değişikliklerin, ilmek kamı ile iğne arasındaki darbe kuvveti değerini ve darbe süresini etkilediği, kütle arttığı zaman maksimum reaksiyon kuvvetinin de arttığı görülmüştür [59].

Wray ve Burns [63], iğne ağırlığının rehber kamına olan etkisini araştırmak için farklı iğne ağırlıkları ile çalışmışlar ve elde ettikleri sonuçların ilmek kamı ile elde ettikleri sonuçlar ile benzer olduklarını görmüşlerdir. Buna göre, iğne kütlesi artırıldığında maksimum reaksiyon kuvvetinin de arttığı görülmüştür. Kütle yarıya indirildiğinde ise darbe kuvveti de yarıya inmiştir. Silindir kanalında iğne hareketini kısıtlayan kuvvet arttığı zaman, iğne kütlesinin darbe kuvvetine olan etkisi daha fazladır. Araştırmacılar bu durumu, sadece ivemede doğrusal bir azalma olmadığı, aynı zamanda iğne ağırlığının azalması ile birlikte çarpmanın meydana geldiği yerdeki minimum hızın da arttığı şeklinde açıklamışlardır.

2.4.4.2 Kam ile silindir arasındaki boşluğun etkisi

Silindir ile kam arasındaki mesafe artırıldığında, bu değişikliğin kam kuvvetlerine etkisi çok fazla olmamakla birlikte, darbe büyüklüğünde bir miktar azalma meydana geldiği görülmüştür [63].

2.4.4.3 İğne topuğunda yapılan modifikasyonların etkisi

İlme kamında ortaya çıkan kuvvet değeri üzerinde, topukta yapılan modifikasyonların kısmen de olsa bir etkisi olduğu gözlenmiştir [60]. Diğer taraftan, iğne topuğunda yapılan değişikliklerin, rehber kamında ne darbe kuvveti ne de sıçrama şeklinde bir etkisi gözlenmiştir. Bununla birlikte, makine hızına bağlı olarak, darbe kuvvetinde büyük değişiklikler görülmüştür [63]. Long [53] ise üç farklı iğne tipi ile yaptığı çalışmada iğne şekli, ağırlığı ve topuk yerinin, puls frekansının yanı sıra hem darbe kuvvetini hem de darbe kuvvetinin tepe noktasını etkilediğini bildirmiştir.

2.4.4.4 Yağlamanın etkisi

Wray ve Burns'un yaptıkları çalışma sonucunda yağlamanın ilk darbe değeri üzerinde etkisinin önemsiz olduğunu belirtmişken, iğnenin ilmek kamında sıçrama süresinin azalmasına neden olduğu görülmüştür [60]. Diğer taraftan, aşırı yağlamanın rehber

kamında meydana gelen darbe kuvvet değeri azalmasına neden olduğu, fakat çalışma çerçevesinde iğne yolunda iğne hareketinin maruz kalacağı toplam direncin artmasına neden olduğu görülmüştür [63].

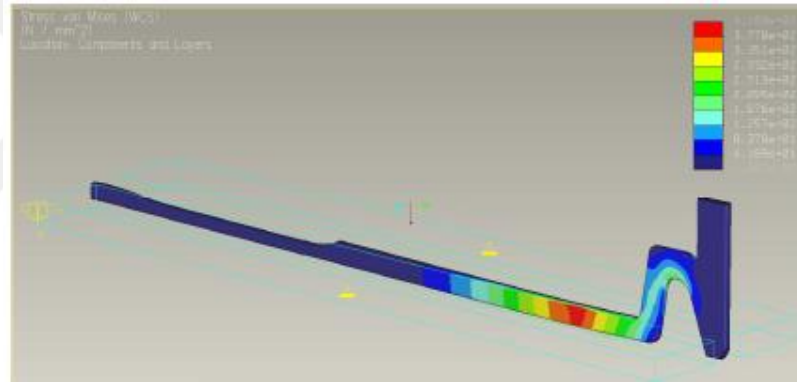
2.5 Sonlu Elemanlar Yönteminin Tekstil Uygulamaları

Sonlu elemanlar yöntemi günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan bir sayısal yöntemdir. Yöntem değişik mühendislik alanların içerisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir ve bunun en önemli sebeplerinden biri genel bir bilgisayar programının yalnız giriş verilerini değiştirerek herhangi bir özel problemin çözümü için kullanılabilmesidir. Yöntemin bu üstünlüğünden yola çıkarak araştırmacılar sonlu elemanlar yöntemini çeşitli tekstil uygulamalarında da kullanmışlardır. Uygulamanın ağırlıklı olarak tekstil kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının araştırılmasında yaygın olarak tercih edildiği görülmüştür [78-97]. Membran ve lamine kumaşların performansları yine sonlu elemanlar yöntemi tarafından test edilmiştir [98, 99]. Bu yapılardan farklı olarak giysilerin vücut üzerinde yaptığı çeşitli etkiler de bu yöntemin araştırma alanına girmiştir [100-102]. Kompozit yapıdan farklı olarak dokuma ve örme kumaşların çeşitli özellikleri yine bu yöntem ile araştırılmıştır [103-114]. Tüm bu çalışmalardan farklı olarak sonlu elemanlar yöntemi tekstil makineleri ve makine parçalarının çeşitli özelliklerinin araştırılmasında kullanımı son derece sınırlı kalmıştır [115-117].

Örme iğnesi ile kamın teması sırasında oluşan darbe kuvvetlerini hesaplayabilmek için Jeong ve Kim [118] dilli iğnenin dinamik modelini oluşturmuşlardır. Oluşturdukları katı model bir iğne, bir silindir ve kam grubundan meydana gelmektedir. Çarpışmadan dolayı ortaya çıkan kuvvet, kuvvet elemanı olarak düşünülmüştür. Adams programı yardımıyla, numerik olarak rehber ve ilmek kamları arasındaki iğne topuğunun hareket yolu, makine 25 dev/dak hız ile hareket ederken örneklendirilmiş ve aynı zamanda iğne topuğu ile kamın teması sonucunda ortaya çıkan yatay ve düşey kuvvetler de hesaplanmıştır. İğnenin sertliği ANSYS programı ile sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanmıştır. Fakat, modelleme esnasında kanca profil şeklinin karmaşık olmasından ötürü ağ yaratma problemi yaşanmış ve dolayısı ile iğnenin bu bölümü adı geçen çalışmada dikkate alınmamıştır. Buna göre; çarpışma belirli aralıklar ile gerçekleşmektedir ve ortaya çıkan kuvvet büyüklüklerinin de bu aralıklarda kaldığı görülmüştür. Diğer taraftan maksimum yatay kuvvetin ortaya çıktığı nokta ile

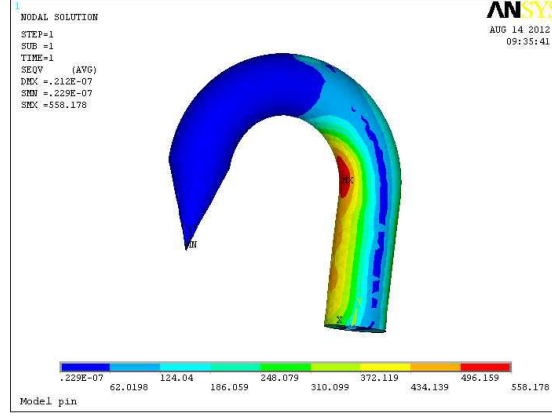
maksimum düşey kuvvetin ortaya çıktığı noktaların birbirinden farklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Örme iğneleri karmaşık çalışma ortamına maruz kaldıklarından, üretim sırasında iğne toleransı ve kanal genişliği gibi iğnenin ve kanalın yapısal parametreleri değiştiğinde, iğnedeki gerilimin nasıl değiştiğini görmek amacıyla Thai ve Beran [119] tarafından duyarlılık analizi ve optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada iğne üzerindeki gerilimin yanı sıra, iğne ile kanal arasında ortaya çıkan kontak probleminin temel alındığı bir sonlu elemanlar metodu tartışılmıştır. Ancak çalışma sırasında iğnenin kanca bölümü dikkate alınmamıştır. Sonuçlar iğnenin eğrilik yarıçapı değiştirildiğinde gerilimin arttığını göstermiştir. Aynı zamanda iğnenin yeni modeli ile çeşitli tasarımlar gerçekleştirilebildiği görülmüştür. Optimizasyon sonuçları ise iğne yapısındaki gerilimin % 5.2 oranında azaltıldığını ve bunun en iyi model olduğunu göstermiştir (Şekil 2.53).



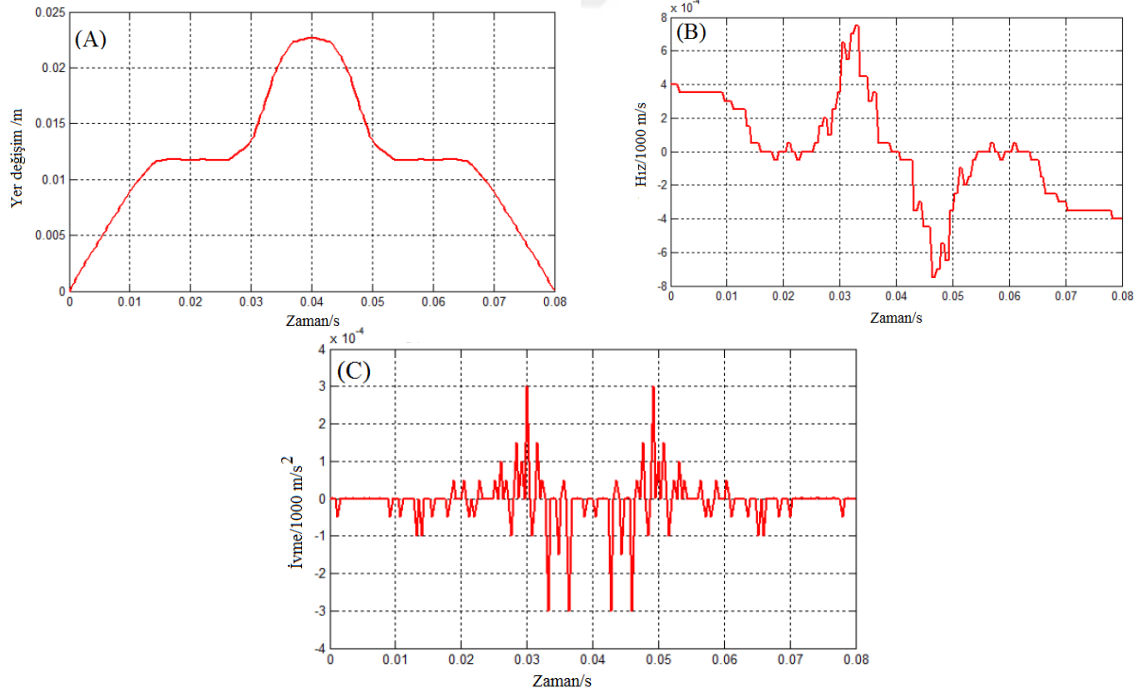
Şekil 2.53 : Optimizasyon sonrasında iğnedeki gerilim [119].

Hu ve arkadaşlarının [120] kimyasal bileşim ve mikro yapı mekanik özelliklerinin örme iğnesinin aşınmasını ne derecede etkilediklerini inceledikleri çalışmalarında, örme iğnelerini öncelikle profil test makinesinde aşındırmışlar, daha sonra aşınmanın en fazla gerçekleştiği kanca bölgesinde meydana gelen gerilmeyi sonlu elemanlar yöntemi ile modellemişlerdir. Buna göre mikro yapı içerisinde bulunan karbür miktarı ve iğnenin yapısal tasarımı iğne aşınmasını etkileyen ana nedenlerdir. Fakat çalışma sırasında iğnenin aşındırılması örme makinesinde gerçekleştirilmediği gibi modelleme de sadece iğne kancası için gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.54).



Şekil 2.54 : İğne kancasındaki gerilim [120].

Fang ve Fantian [121] düz örme triko makinesinde iğne itme çubuğu (jack) ile iğne arasında düşey yönde meydana gelen darbe kuvvetini araştırmak amacıyla mekanik bir model oluşturmuşlardır. İğnenin yer değişim, hız ve ivmesi ANSYS/LS-DYNA programı kullanılarak simüle edilmiştir. Ayrıca, aynı sistem üzerinde yüksek hızlı kamera ile ölçüm alarak deneysel olarak elde ettikleri bu verileri sonlu elemanlar yöntemi ile elde ettikleri simulasyon sonuçları ile karşılaştırarak modelin başarısını test etmişlerdir. Buna göre deneysel sonuçlar, ANSYS analizi sonuçlarını doğrulamıştır (Şekil 2.55).



Şekil 2.55 : ANSYS/LS-DYNA ile elde edilen analitik sonuçlar A- Yer değişim, B- Hız ve C- İvme [121].

Fang ve arkadaşları [122] başka bir çalışmalarında eldiven üretimi esnasında iğne ile kam arasında ortaya çıkan kuvvetleri hesaplamaya çalışmışlardır. Bu amaçla Solidworks programında oluşturdukları üç boyutlu modellerini, ANSYS/LS-DYNA sonlu elemanlar programı ile simüle ederek iğnenin yer değişim, hız ve ivmesini hesaplamaya çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlardan yola çıkarak, örme makine parçalarını optimize etmeye çalışmışlardır.

Örme iğnesi üzerine yapılan çalışmalardan başka, dikiş makinesi iğnelerinde dikim işlemi sırasında ortaya çıkan darbe kuvveti ve dikim prosesi sırasında ortaya çıkan ısı araştırmacılar tarafından sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir [123-125]. Sun [126] ve arkadaşları ise tufting işlemi esnasında iğnenin nonwoven kumaşa olan etkisini sonlu elemanlar yöntemi ile simule etmişlerdir.



3. MALZEME VE METOT

Yapılan doktora çalışmasında, yuvarlak örme makinesinin dinamik analizi yapılarak bu makinada çalışan iğnelere etki eden kuvvetler ve bu kuvvetler doğrultusunda iğne ömrünün hesaplanmasına yönelik bir çalışma kurgulanmıştır. Bu doğrultuda, çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci kısmı İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Örme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Burada hedeflenen amaç doğrultusunda özel olarak ürettirilen laboratuvar tipi tek beslemeli yuvarlak örme makinesinde çalışan iğnelere etki eden kuvvetler gerinim ölçer (strain gage) yardımıyla ölçülmüştür. Ayrıca, bu makinede sabit koşullar altında gerçek zamanlı üretim yapılarak iğnelerin yorulma süresi test edilmiştir. Gerinim ölçerden alınan veriler nCode yorulma programı yardımıyla değerlendirilmiş ve sanal hasar analizi yapılarak gerçek veriler ile programdan hesaplanan sonuçlar kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmanın haricinde, bu makine Solidworks paket programında 3-boyutlu olarak modellenmiş ve iğnelere etki eden kuvvetler Abaqus sonlu elemanlar programında belirlenmeye çalışılmıştır. Buradan elde edilen veriler ışığında, nCode programı ile iğnelerin ömürleri hesaplanarak deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın İkinci kısmı RWTH Aachen Üniversitesi ITA Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir. Burada endüstride kullanılan E 24 30" 90 beslemeli Beck Gmbh yuvarlak örme makinesinde, yüksek hızlı kamera ile gerçek zamanlı ölçümler alınarak iğne hareketi değerlendirilmiştir.

3.1 Laboratuvar Tipi Örme Makinası Üzerinde Çalışmalar

3.1.1 Makine özellikleri

Tek beslemeli yuvarlak örmesinde çalışan iğnelere etki eden kuvvetler ve bu kuvvetler nedeniyle aşınan iğnelerin yorulma ömrünün irdelendiği birinci bölümde; 56 iğneli 3.25" tek beslemeli laboratuvar tipi yuvarlak örme makinesi ile çalışılmıştır. Bu tip bir makine ile çalışılmasının temel nedeni, iğne ömrünü hesaplamak için gerekli olan hem iplik hem de enerji sarfiyatından tasarruf etmektir. Ayrıca, çalışmanın bu kısmında gerinim ölçer (strain gage) ile iğne üzerinden kuvvet analizi yapıldığından, makinenin

örme bölgesinde ilave düzenlemelere gidilmiştir. Şekil 3.1’de makinenin genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.1 : Makinenin genel görünüşü.

Üretim sırasında Şekil 3.2’de görülen Torringhton marka iğne kullanılmıştır. Çalışma kapsamında örme işlemi sırasında iğnenin pim bölgesine gerinim ölçer yapıştırılarak bu bölgede ortaya çıkan kuvvet değerleri hesaplanmıştır. Piyasada mevcut olan gerinim ölçerlerin en küçük ızgara boyutunun 0,3 mm olması ve gerinim ölçer yerleştirilirken, iğne üzerinde ilave yer gerekli olduğundan çalışma için anılan marka iğne seçilmiştir. Ayrıca, iğnenin pim bölgesine yerleştirilecek olan gerinim ölçerin bağlantı kablosunun sorunsuz bir şekilde örme kanalından uzaklaştırılabilmesi için iğne gövdesinin arka yüzeyine bir kanal açılması planlandığından ve bu iğne profilinin arka yüzeyinin düz olmasının da iğne seçimine önemli bir katkısı olmuştur. Şekil 3.2’de çalışma sırasında kullanılan iğne görülmektedir. Makine iğneler sabit, kamlar hareketli olacak şekilde tasarlanmıştır. Böylelikle iğneler sadece yukarı aşağı hareket edeceğinden, gerinim ölçer kablolarının birbirine karışması engellenmiştir.

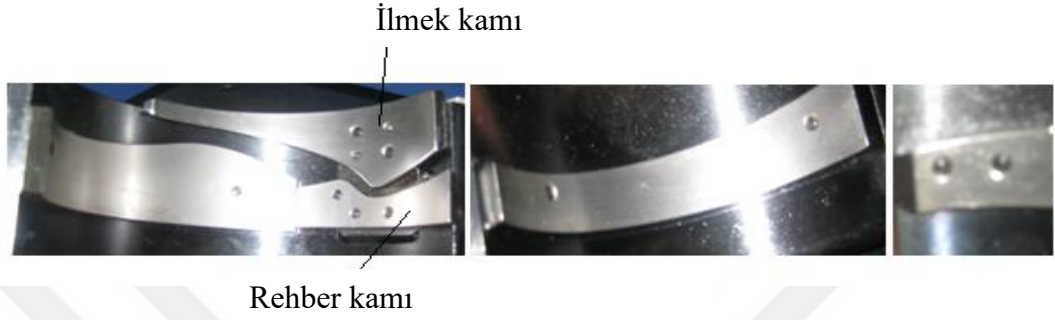


Şekil 3.2 : Çalışmada kullanılan iğne.

Sekiz iğnenin pim kısmına gerinim ölçer yapıştırıldığından, normal yuvarlak örme silindirlerinden farklı olarak, iğnelerin yerleştirildiği elli altı silindir kanalından sekiz tanesinin boyu aşağıya kadar açılmıştır.

Çalışma sırasında, Sinkers 0.58. MCPA 0040 NN (10 No Sanciagoma çorap makinesi platini) numaralı platin kullanılmıştır.

Tek sistemli yuvarlak örme makinesinin kam blokları Şekil 3.3’de görülmektedir.

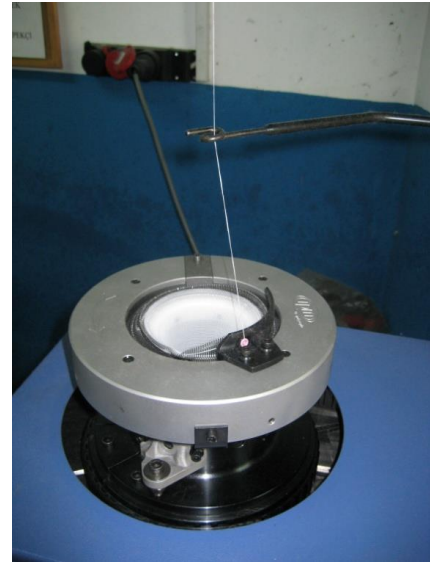


Şekil 3.3 : Örme kam sistemleri.

İplik sevki için Şekil 3.4A’da görülen LGL pozitif iplik besleme sistemi kullanılmıştır ve iplik gerginliği 4 cN olarak ayarlanmıştır. Böylelikle örme sırasında iplik gerginliğinin sabit olması sağlanmıştır. Şekil 3.4’ B’de ipliğin örme bölgesine beslenmesi görülmektedir.



A

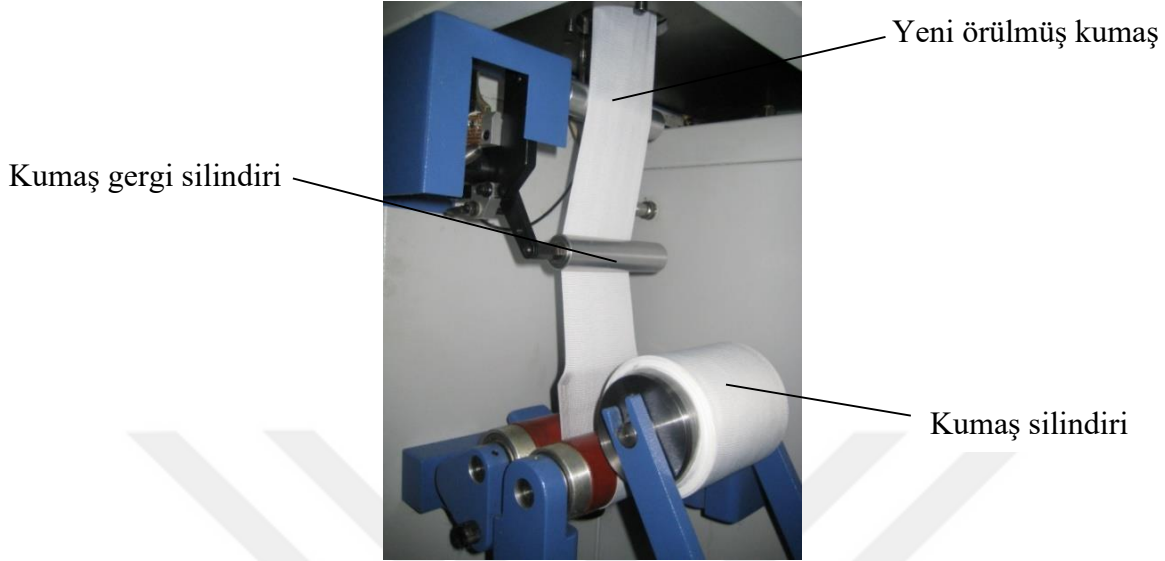


B

Şekil 3.4 : A- Besleme sistemi, B- İpliğin örme bölgesine beslenmesi.

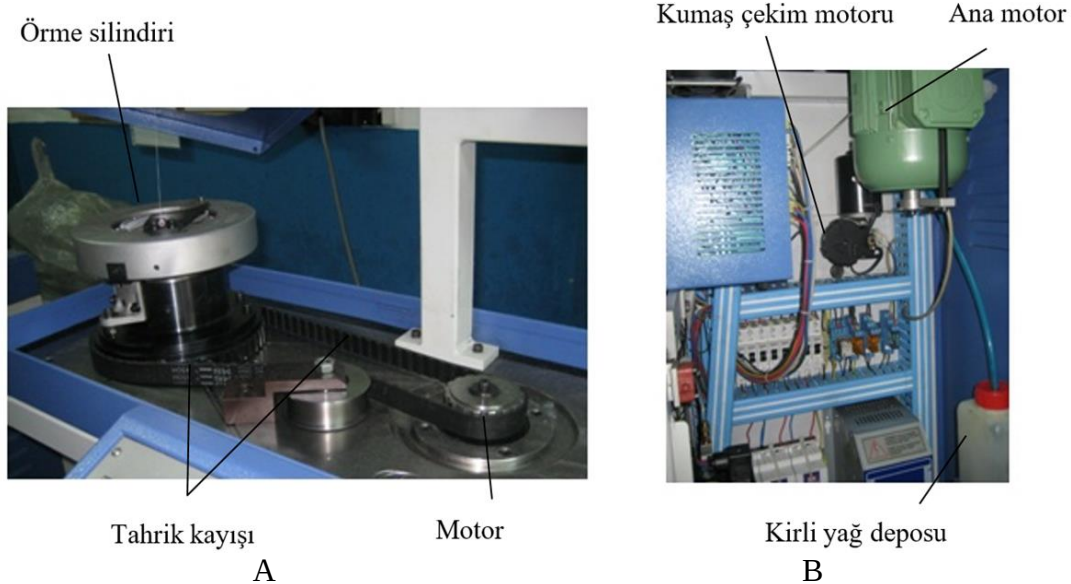
Makinede optik doku çekim sistemi mevcuttur (Şekil 3.5). Böylelikle örülen kumaşın örme bölgesinden kontrollü ve sabit bir şekilde kumaş silindirine sarılması sağlanmıştır. Ayrıca inventörlü hız kontrol sistemi vasıtasıyla kumaşın örülme

hızındaki değişikliğe bağlı olarak kumaş sarma hızı da otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Kumaş topunun hacmi belirli bir değere ulaştıktan sonra makine otomatik olarak durmaktadır.



Şekil 3.5 : Kumaş çekim sistemi.

Sistem ana motordan tahrik almaktadır ve kumaş çekim motoru ana motora bağlı olarak ayrı çalışmaktadır (Şekil 3.6). Elektrik sistemi ise parazitlere karşı özel yalıtımlı kablo ve cihazlardan oluşturulmuştur. Ayrıca makinede otomatik yağlama sistemi mevcuttur. Böylelikle sürtünmeden kaynaklanan aşınmalar en aza indirilmiştir.



Şekil 3.6 : A-Makine tahrik sistemi, B- Makine motoru.

İğne ömrünün hesaplanabilmesi için, çalışmaya başlamadan önce makine üzerine kullanılmamış iğneler yerleştirilmiş ve böylelikle makine ilk iğne kırılıncaya kadar

çalıştırılarak geçen süre belirlenebilmiştir. Çalışma kontrollü şartlar altında yapılmıştır ve tüm çalışma zamanı kaydedilmiştir. Çalışmanın başlangıcında makine hızı 100 dev/dak olarak ayarlanmıştır. İlk deneme çalışmaları ışığında, makine hızı önce 250 dev/dak'ya daha sonra ise yorulmanın frekanstan bağımsız olması nedeniyle 450 dev/dak'ya kadar çıkarılmıştır. Makinede ilk iğne kırılınca kadar normal çalışma koşullarında olduğu gibi üç detaylı makine bakımı yapılmıştır. Bu bakım işlemleri sırasında makinedeki iğneler, platinler, kam yolları ve silindir kanalları temizlenmiştir. Çizelge 3.1'de bakım zamanlarının ayrıntıları görülmektedir. Burada ikinci bakım zamanının birinciye yakın olmasının nedeni 6.337.595 devir sonrasında makinedeki on yedi platin topuğunun eşzamanlı olarak kırılmasıdır.

Çizelge 3.1 : Makine bakım zamanlarının detayları.

	Hız	Devir	Toplam devir	Dakika	Toplam dakika	Saat	Toplam saat
1. Bakım	100 dev/dak	1.935.372	5.009.201	19353,72	31649,04	322,56	527,48
	250 dev/dak	3.073.829		12295,32		204,92	
2. Bakım	250 dev/dak	1.328.394	6.337.595	5313,58	36962,62	88,56	616,04
3. Bakım	250 dev/dak	3.202.257	9.539.852	12809,03	49771,65	213,48	829,53

3.1.2 İplik ve iğne kalite parametreleri

3.1.2.1 İplik kalite parametreleri

Çalışma sırasında % 100 open-end telefli pamuk iplik kullanılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda iğne aşınmasında en fazla etkili olan iplik tipinin yapısındaki bitkisel artıklar ve mikro tozlardan dolayı open-end iplik olduğu belirtilmiştir [5-8]. Kullanılacak iplik miktarının ve makina çalışma süresinin en aza indirgenmek istenmesinden dolayı, iğneleri en kısa sürede en fazla aşındırabilecek tipte iplik seçimine özen gösterilmiştir. Çalışma sırasında kullanılan ipliğin numara, büküm, düzgünsüzlük ve mukavemet testleri sırasıyla TS 244, TS 247, TS 628 ve TS EN ISO 2062 standartlarına uygun olarak, İTÜ Tekstil ve Konfeksiyon Kalite Kontrol Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.2'de çalışma sırasında kullanılan ipliğin özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.2 : İplik özellikleri.

Numara (Ne)	4/1
Ne % CV	0,01
Büküm (tur/m)	400,4
Büküm faktörü (α_e)	5,09
Düzgünsüzlük (%)	12,6
İnce yer % 50 (adet/km)	0
Kalınyer % 50 (adet/km)	3,8
Neps % 200 (adet/km)	381,4
Kopma uzaması %	9,31
Kopma dayanımı rkm	9,28

3.1.2.2 İğne kalite parametreleri

Çalışma sırasında kullanılan iğnenin iç yapı özellikleri İTÜ Prof. Dr. Adnan Tekin Malzeme Bilimleri Uyg-Ar Merkezinde bulunan X-Ray Difraktometresi yardımıyla ölçülmüş ve malzemenin kübik yapıda, düşük alaşımlı çelik olduğu saptanmıştır. Şekil 3.7’de malzeme alaşım içerikleri ve yüzdeleri verilmiştir.

XL3t-32597

Reading No 3344
Mode ALLOY
Time 2009-10-21 10:22
Duration 120.63
Sequence Final
Alloy1 C-1/2 Mo : *2.15
Alloy2 No Match : *3.41
Flags
SAMPLE igne
HEAT
LOT
BATCH
MISC
NOTE

	%	±	Error
Sb	< LOD	:	0.028
Sn	< LOD	:	0.018
Pd	< LOD	:	0.008
Aq	< LOD	:	0.150
Ru	< LOD	:	0.004
Mo	0.388	±	0.007
Nb	< LOD	:	0.002
Zr	0.092	±	0.004
Bi	< LOD	:	0.002
Pb	< LOD	:	0.016
Se	< LOD	:	0.003
W	< LOD	:	0.052
Zn	0.020	±	0.008
Cu	0.047	±	0.017
Ni	0.111	±	0.030
Co	< LOD	:	0.141
Fe	98.567	±	0.094
Mn	0.348	±	0.027
Cr	0.172	±	0.014
V	0.091	±	0.016
Ti	< LOD	:	0.040
Al	< LOD	:	80.000

Şekil 3.7 : Malzeme alaşım elementleri ve yüzdeleri.

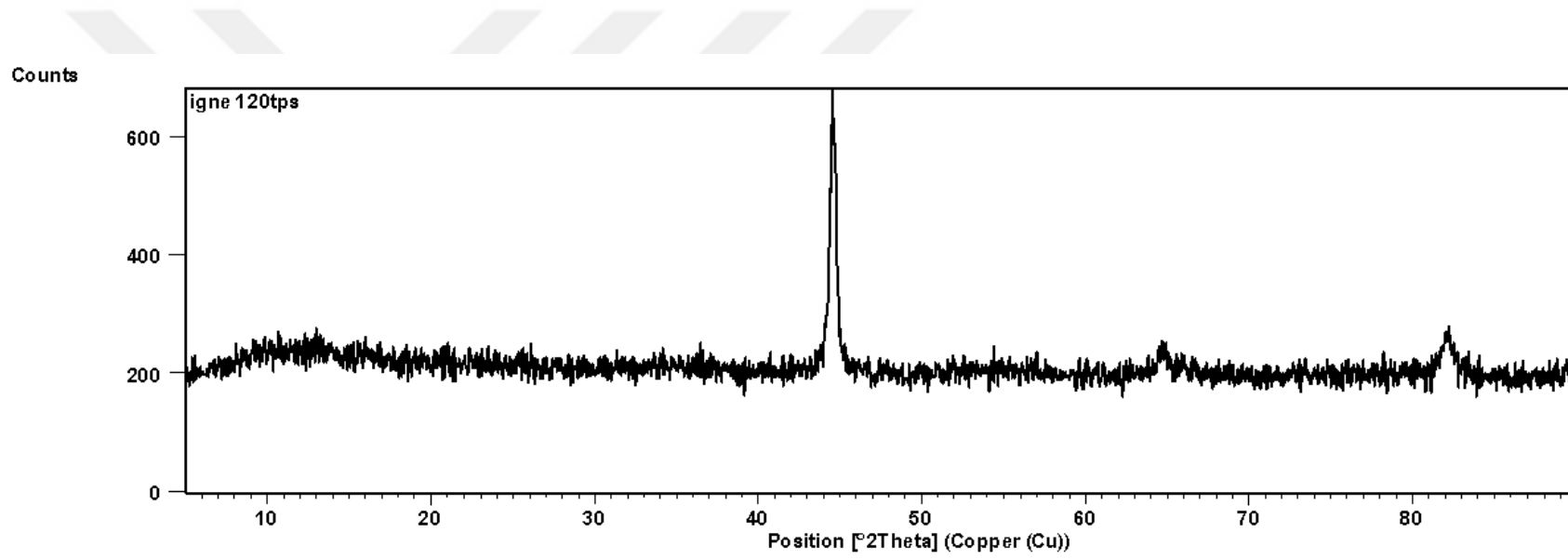
Şekil 3.8’de malzemenin ölçüm sırasında yaptığı piklere göre içeriğinde bulunan malzemelerin faz durumları görülmektedir.

İTÜ Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi (MEM-TEK)’de iğnenin kesit alanından EDX analizi yapılmıştır. Buna göre iğne malzemesinin iç bölge ve dış bölgesine ait analiz sonuçları Çizelge 3.3’de görüldüğü şekilde elde edilmiştir.

Çizelge 3.3 : İğne numunesine ait EDX analiz sonuçları.

	İç kesit	Kaplama
Fe	85,98	95,40
C	3,38	2,09
O	1,89	2,29
Si	0,75	0,00
Mo	2,27	0,00
Na	2,16	0,00
Mn	0,87	0,00
Cl	0,85	0,00
Cr	0,52	0,06
K	0,50	0,00
Ti	0,45	0,04
Zn	0,15	0,00
Cu	0,11	0,00
Ni	0,11	0,00

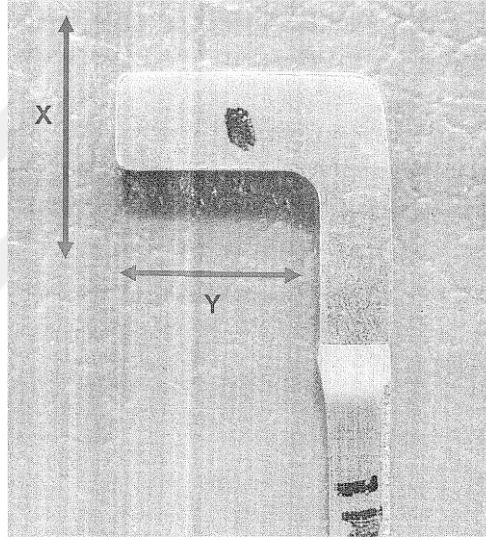
İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği’nde karbon-sülfür oranına bakılmış ve bu oranın C=%0,7795 ve S=%0,0028 olduğu görülmüştür



Peak List			
03-065-7528; Fe19 Mn; Iron Manganese; Cubic			
03-065-7296; Fe9.7 Mo0.3; Iron Molybdenum; Cubic			
03-065-4607; Cr0.03 Fe0.97; Chromium Iron; Cubic			
03-065-7753; Fe10.8 Ni; Iron Nickel; Cubic			
03-065-7509; Fe9 V; Iron Vanadium; Cubic			

Şekil 3.8 : Malzeme faz durumu.

Yorulma ömrüne etki eden bir parametre olan artık gerilme, Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de ölçülmüştür. Ölçümler Psi-tip XrD cihazında gerçekleştirilmiştir. 211-kristal düzleminden Cr-K alfa radyasyonu ile kırınım verisi toplanmıştır. Kolimatör çapı 1,5 mm'dir. İkincil ışın demeti bölgesinde (detektör bölgesinde) Vanadyum filtre kullanılmıştır. PLA düzeltmeleri uygulanan ölçüm verisi üzerine parabol ve ağırlıklı ortalama (COG) metotları uygulanarak maksimum pozisyonlar bulunmuştur. Psi eksenini 0^0 ila $\pm 45^0$ arasında 5 adımda değiştirilmiştir. Şekil 3.9'da görülen koordinat eksenini Phi 0^0 (X), 90^0 (Y) açıları alınarak ölçüm noktasındaki kalıntı (artık) gerilme değerleri elde edilmiştir. Ölçümler, iğneler arasındaki standardı sağlayabilmek için iğnelerin topuk kısmında önceden belirlenen bir noktaya göre yapılmıştır.



Şekil 3.9 : Ölçüm yönleri.

Ölçümler yapılırken elastik sabiti 210 GPa ve Poisson oranı 0,3 olarak alınmıştır. Ölçüm toleransı ise ± 30 MPa'dır. Burada iğneler şu şekilde kodlanmıştır:

1-4: Hiç işlem görmemiş iğne

5-8: İğne milinin arka yüzeyine kanal açılmış iğne

Çizelge 3.4-3.5'de yapılan ölçüm sonuçları sırasıyla sunulmuştur.

Sonuçlar incelendiğinde, numunelerin artık gerilme değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($t=0,348$). Böylelikle gerinim ölçer kablolarının çalışma sırasında herhangi bir zarar görmesini engellemek için iğne üzerine açılan kanalların iğneye ekstra yüke neden olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.4 : İşlem görmemiş numuneye ait artık gerilme sonuçları.

Parça No	X[MPa]	Y[MPa]
1	-700	-710
2	-650	-700
3	-670	-700
4	-680	-700

Çizelge 3.5 : İğne milinin arka yüzeyine kanal açılmış iğneye ait artık gerilme sonuçları.

Parça No	X[MPa]	Y[MPa]
5	-680	-680
6	-730	-730
7	-700	-720
8	-680	-670

İğne numunesinin pürüzlülük testleri İTÜ Makine Fakültesi Malzeme Laboratuvarı'nda yapılmıştır. İğne kancasının eğimli yüzeyinin gerekli olan deney alanını sağlayamamasından dolayı, ölçümler sadece iğne topuğuna uygulanabilmektedir. Ayrıca topuğun her iki yanal yüzeyinden ölçüm alınarak, bu yüzeyler arasında bir fark olup olmadığı irdelenmiştir.

Yüzey yapısındaki tekrarlanan pürüzlülükler aşağıda belirtilen parametreler ile ifade edilir:

Profil sapmalarının aritmetik ortalaması R_a : Bir numune uzunluğunda tanımlanır. Profil yüksekliklerinin ortalamasıdır. R_a en çok kullanılan parametredir. Yüzey hakkında genel bir fikir verir. Ancak, çok farklı yapıdaki iki yüzey aynı R_a değerine sahip olabilir. N profil sayısı, M her profildeki noktaların sayısı, $z(x_m, y_n)$ noktasındaki yükseklik olmak üzere

$$R_a = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |z(x_m, y_n)| \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanır.

Profil sapmalarının kareleri ortalamasının karekökü R_q : Bir numune uzunluğunda tanımlanır. R_q genellikle R_a 'dan yaklaşık %25 daha büyüktür. R_a değeri aynı olan iki yüzeyin R_q değerleri farklı olabilir. R_q parametresi ortalama sapmanın bir ölçüsüdür. Bir sinüs dalgasında $R_a = R_q / 1.11$ formülü geçerlidir.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} z^2(x_m, y_n)} \quad (3.2)$$

Max profil tepesi yüksekliği R_p : Bir numune uzunluğu içinde profilin en yüksek noktasının yüksekliğidir (x eksenine düşey uzaklığı).

Max profil yüksekliği R_z : Bir numune uzunluğu içindeki en yüksek ve en derin noktalar arasındaki yükseklik farkıdır.

Buna göre topuk bölgesine ait pürüzlülük sonuçları Çizelge 3.6’de görölmektedir.

Çizelge 3.6 : Topuk bölgesine ait pürüzlülük sonuçları.

	Sol yanal yüzey	Sağ yanal yüzey
Ra	0,20	0,53
Ry	1,82	4,04
Rz	1,47	3,05
Rq	0,25	0,62

Çizelge 3.6’dan da görölebileceği üzere iğne topuğunun iki yüzeyinin pürüzlülük değeri birbirinden farklıdır.

İTÜ Makine Faköltesi Malzeme ve İmalat Laboratuvarı’nda iğneye çekme testleri yapılmış ve buradan elde edilen veriler üzerinden S-N eğrisi (malzeme yorulma eğrisi, bkz. Bölüm 2.2.4.2) ampirik olarak elde edilmeye çalışılmıştır. Deney sonucunda çekme dayanımı (S_{ut}) 1050 MPa ve akma dayanımı (S_y) 550 MPa ölçölürken sertlik 300 HV olarak elde edilmiştir. Bu bilgiler ışığında, denklem 2.10, 2.11, 2.13, 2.18, 2.19, 2.23, 2.24, 2.27 ve 2.28 kullanılırken, güvenilirlik %90 ve z değeri 1.0 E6 seçilmiştir. İğne işlenmiş olduğundan dolayı yüzey faktörleri de bu bilgi doğrultusunda seçilmiştir. Sonuç olarak;

$$S(N) = 2636.3286 N^{-0.174916} \quad 10^3 \leq N \leq 10^6$$

$$S(N) = S_e = 235.2348078$$

olarak hesaplanmıştır.

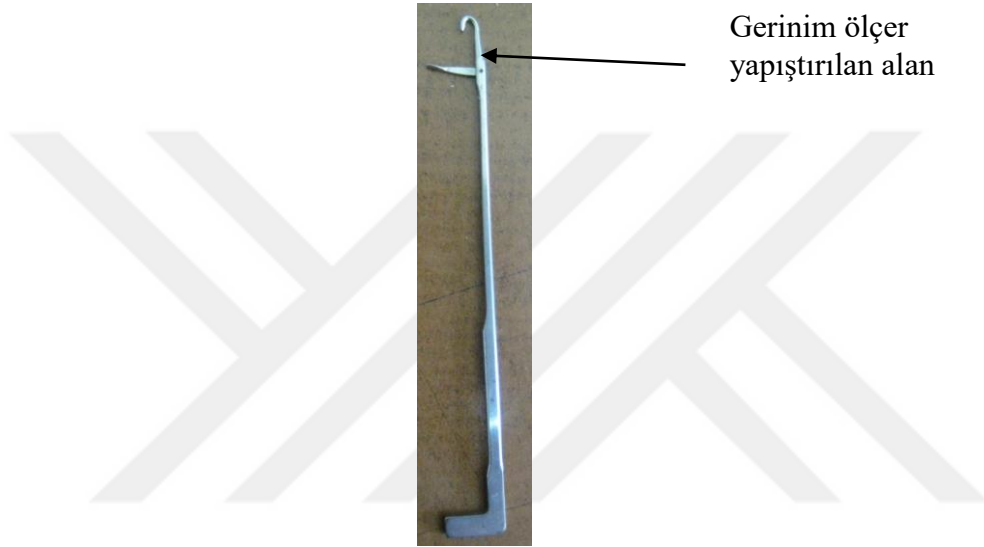
Ampirik olarak elde edilen S-N diyagramı nCode programında kullanılmak üzere iğne malzemesi olarak atanmıştır. Ayrıca, çalışmada kullanılan kam ve silindirin

uluslararası malzeme kodları ve içerikleri ise sırasıyla DIN 1.2379- X153CrMoV12 ve DIN 1.7225-42CrMo4'dür.

3.1.3 Metot

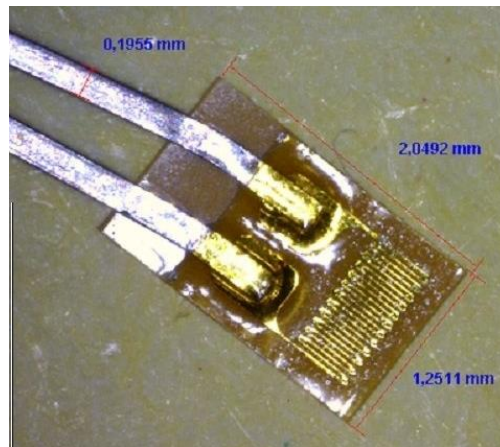
3.1.3.1 Gerinim ölçer ölçüm düzeneği

İğnenin en fazla yüke maruz kalan pim kısmına gerinim ölçer yapıştırılarak meydana gelen birim uzama değişimleri ölçülmüştür. Şekil 3.10'da gerinim ölçer yapıştırılan bölge görülmektedir.



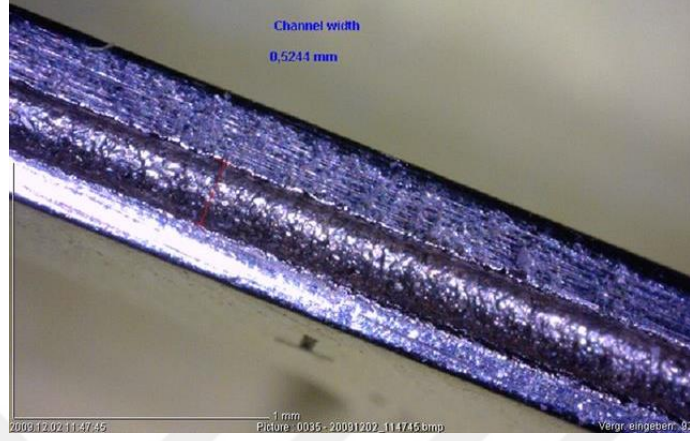
Şekil 3.10 : İğnede gerinim ölçer yapıştırılan alanlar.

Çalışma sırasında HBM LY11-0.3/120 Y serisi doğrusal, tek ölçüm ızgaralı 120 Ω dirençli gerinim ölçer kullanılmıştır. Gerinim ölçerin ölçüm ızgarası boyu 0,3 mm'dir. Şekil 3.11'de çalışmada kullanılan gerinim ölçer görülmektedir.



Şekil 3.11 : Gerinim ölçerin yakından görünümü.

Makine çalışırken gerinim ölçer kablolarının da rahat hareket edip iğnenin aşağı yukarı hareketi sırasında kablonun silindirik duvarına sıkışıp kopmasının önüne geçmek için, iğne gövdesinin arka yüzeyine dalma elektro erozyonu ile kanal açılmıştır. Şekil 3.12’de iğne gövdesine açılan kanal yakından görülebilir.

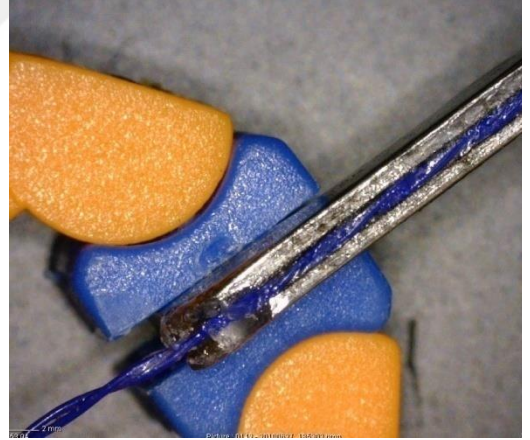


Şekil 3.12 : İğne gövdesine açılan kanal.

İğne gövdesinin arka yüzeyine açılan kanala teflon gerinim ölçer kablosu rahatlıkla yerleştirilmiştir (Şekil 3.13).



A



B

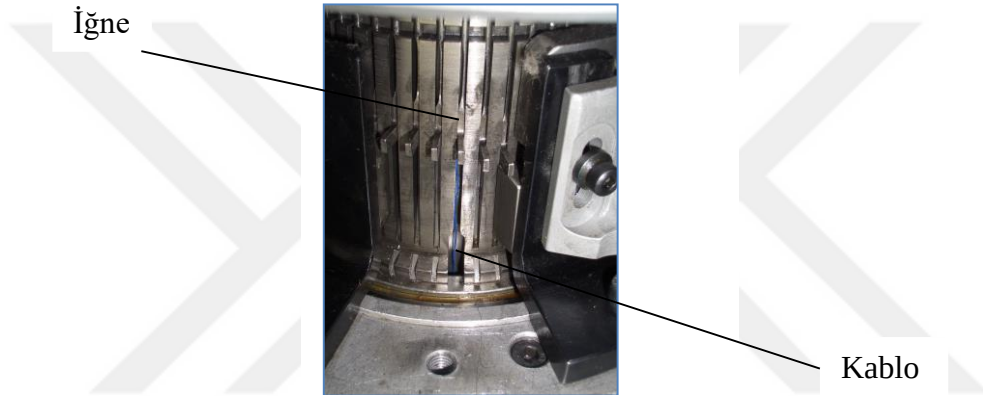
Şekil 3.13 : A-İğne gövdesine açılan kanala yerleştirilmiş teflon kablo ve B-Teflon kablonun iğne gövdesinden çıkış pozisyonu.

Kanal açma işlemi sonrasında iğnenin pim kısmına yerleştirilen gerinim ölçerin görünümü Şekil 3.14’de verilmiştir.



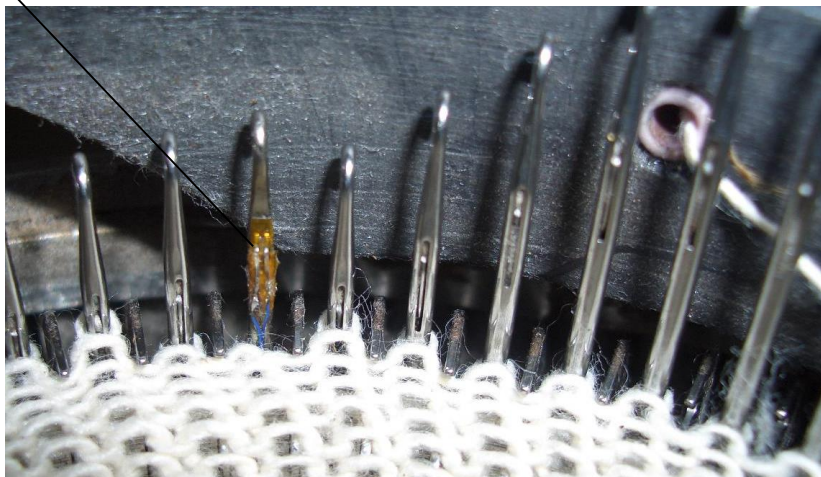
Şekil 3.14 : İğnenin pim bölgesine gerinim ölçer yapıştırılması.

Üzerinde gerinim ölçer bulunan iğneler dikkatli bir şekilde, önceden belirlenen ve özel olarak boyutları iyileştirilen kanallara (Şekil 3.15) yerleştirilmiştir.



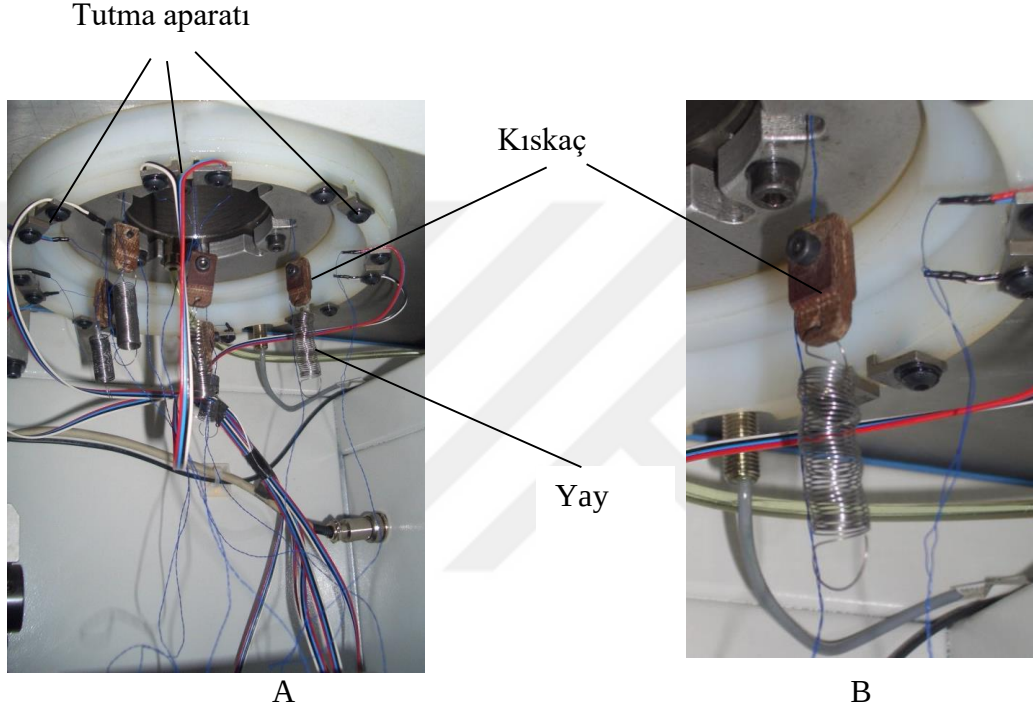
Şekil 3.15 : İğnenin silindir kanaldaki konumu.

Gerinim ölçer



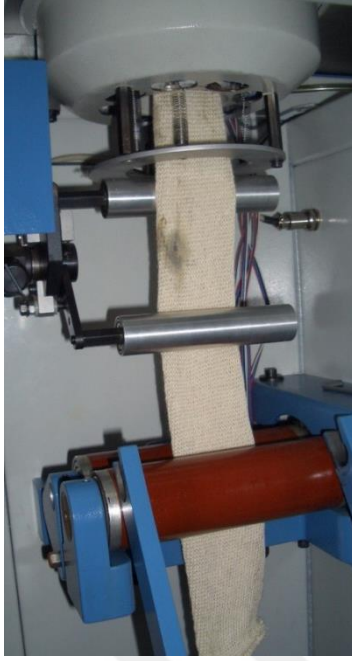
Şekil 3.16 : Pim bölgesine gerinim ölçer yapıştırılan iğnenin makinedeki pozisyonu.

Deney koşullarını etkileyen bir diğer durum ise gerinim ölçerler ile veri toplama sistemi arasında sinyalleri taşıyan kablolardır. Gerinim ölçerden ölçüm alıp amplifikatörde yorumlayabilmek için gerinim ölçer kablосуna ek kablo yapıp konektöre bağlanmıştır. Kısıtlı alana sahip iğnelerin yukarı aşağı hareketi ve bu sırada kamin dönmesi sebebiyle, gerinim ölçer kablolarının hatasız olarak sistemden uzaklaştırılmasında problem yaşandığından Şekil 3.17’de görülen yay ve kısıkaç mekanizması ile gerinim ölçer kabloları örme sisteminden uzaklaştırılmıştır.

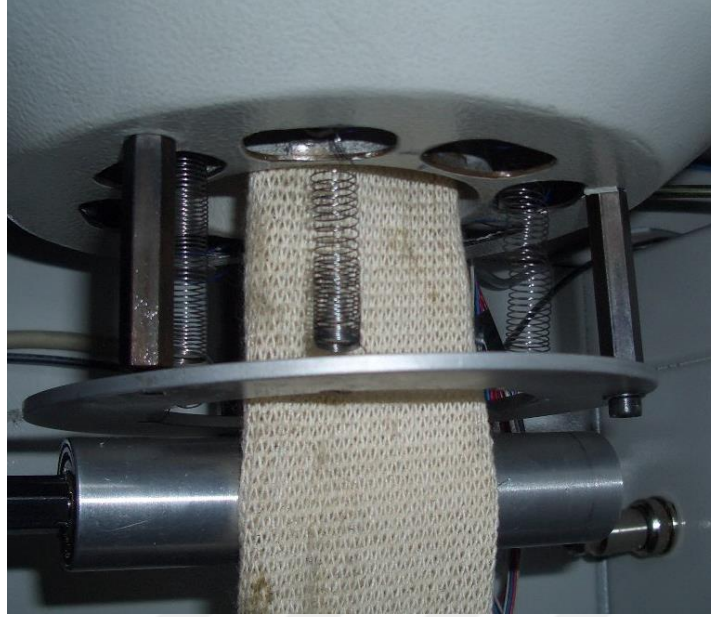


Şekil 3.17 : A-Makinenin çekim bölgesindeki ek kablo ve gerinim ölçer kablосunun yerleşimi ve B- Gerinim ölçer kablolarının makineden düzgün bir şekilde uzaklaştırılmasına yardımcı olan ekstra aparatlar.

Bir uçları gerinim ölçer kablосuna takılı olan yayların diğer uçları sistemin daha kararlı olmasını sağlayacak sabit bir diske bağlanmıştır. Aynı zamanda iğneden çıkan tüm kablolar; etraftan etkilenmelerini ve karışmalarını engelleyecek bir çelik kapak ile muhafaza altına alınmışlardır (Şekil 3.18).



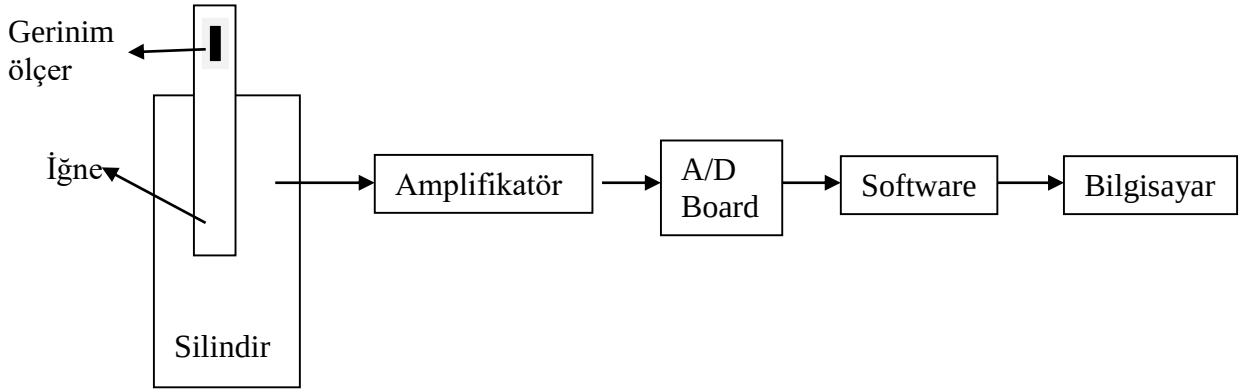
A



B

Şekil 3.18 : Gerinim ölçer kablolarının gerginlik sistemi ve koruyucu kapak görüntüsü.

Gerinim ölçerden gelen veriler amplifikatörde büyütülüp, konvertörde dijital değere çevrilerek bilgisayarda okunmuştur (Şekil 3.19). Bu işlem sırasında Catman yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 3.19 : Deney tertibatının sinyal akış şeması

3.1.3.2 SEM stereoskopi

Örme iğnelerinde ortaya çıkan aşınmayı değerlendirmek üzere detaylı fokus özelliğiyle yüksek çözünürlüğe sahip yüzey görüntülerinin elde edilmesine imkân veren taramalı elektron mikroskopundan (SEM) faydalanılmıştır.

Çalışmada, aşınma ile iğnenin yüzey topoloji özelliklerinin değişimini karşılaştırmalı olarak inceleyebilmek için kullanılmamış iğnelerden de görüntüler alınmıştır. Ayrıca, iğne aşınmasının zamana bağlı değişimini izleyebilmek üzere, SEM görüntülerinin alınma sıklığı Çizelge 3.7’de verilmiştir. Her bir durum için seçilmiş dört farklı iğne, görüntüleri alınmak üzere makineden alınmış ve yerine yenileri yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.7 : SEM görüntü çekim zamanlarının ayrıntıları.

	Toplam çalışma saati	Toplam devir
Kullanılmamış iğne	0	0
1. Bakım	527,48	5.009.201
2. Bakım	616,04	6.337.595
Kırık iğne	982,51	13.492.242

Bir iğne üzerinden SEM görüntü alma bölgeleri (yüzeyleri) şöyle sıralanabilir:

- Sol-Sağ topuk yüzeyi
- Topuk üst yüzeyi
- Sol-Sağ kanca yüzeyi
- Kanca iç yüzeyi
- Sağ pim yüzeyi

SEM çekimleri 10-20 kV hızlanma voltajı (EHT), 10x-3000x büyütme aralığında TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü’nde yapılmıştır.

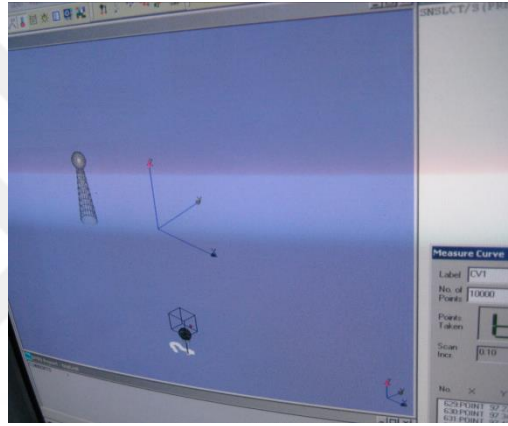
3.1.3.3 İğnenin 3-Boyutlu olarak çizilmesi, sonlu elemanlar yardımı ile modellenmesi ve yorulma ömrünün tayini

Model geometrilerin elde edilmesi

Çalışmada kullanılan iğnenin 3-boyutlu modeli, gerçek model üzerinden koordinat belirleme makinesi ile alınmıştır. Bu makine, manyetik levhasının üzerine konan parçanın yüzeyini takip ederek yüzey profilin bilgisayar ortamına aktarılmasına olanak sağlar (Şekil 3.20). Makinenin profil ucundaki sensorlar aracılığıyla parça geometrilerine ilişkin üç boyutlu fonksiyonel eğri üzerindeki noktalar algılanarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 3.21). Elde edilen noktalardan uygun olanlar 3-boyutlu çizim programları aracılığıyla birleştirilerek model elde edilmiştir.

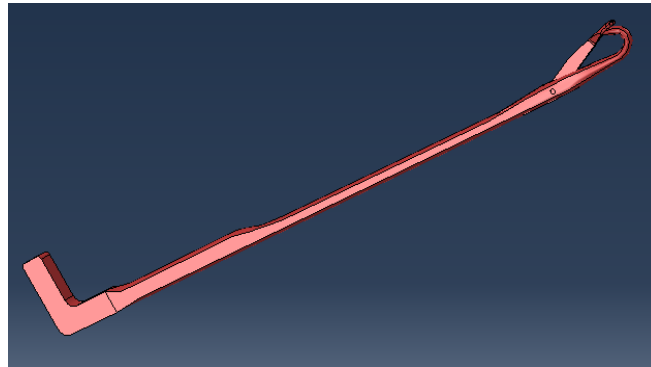


Şekil 3.20 : Koordinat belirleme makinesi.



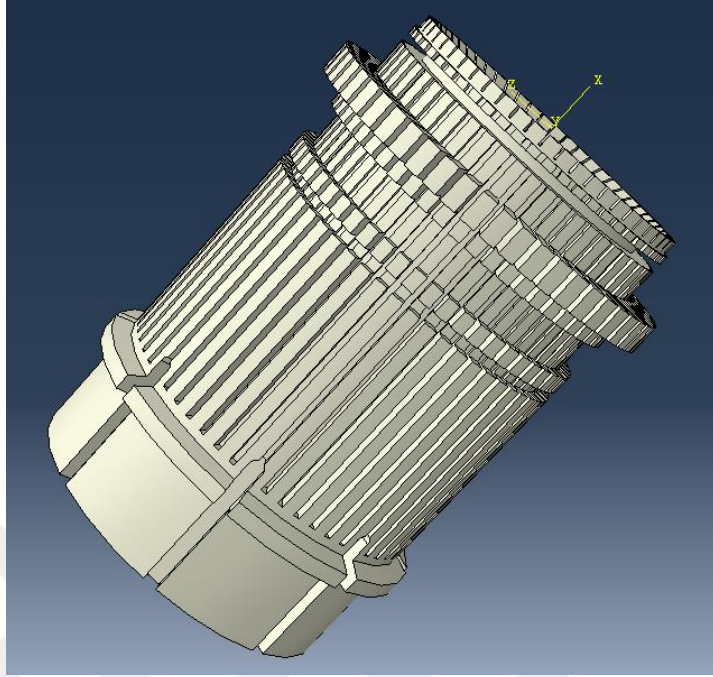
Şekil 3.21 : Yüzey profilin bilgisayar ortamına aktarılması.

Bu işlemler yapılırken iğne kancasının konik profili ve iğne dilinin kaşığa benzeyen profilinden dolayı tarama ve çizim sırasında çok ciddi problemler yaşanmıştır. Bu yüzden, anılan bölgelere ait yüzey ölçümleri koordinat belirleme makinesi ile birkaç kez taranmış ve 3-boyutlu modelin bilgisayar programında uzun süren denemelerden sonra gerçek şekline ulaşılabilmektedir (Şekil 3.22).

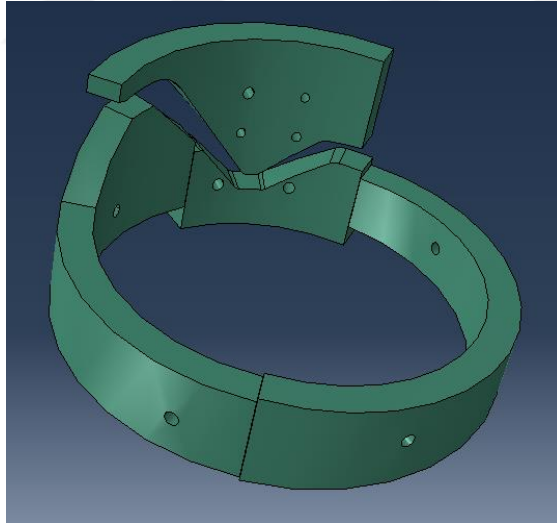


Şekil 3.22 : İğne görüntüsü.

Örme sisteminde yer alan silindir ve kam bloklarının 3-boyutlu modelleri ise Solidworks programı kullanılarak çizilmiştir (Şekil 3.23, 3.24) [127].

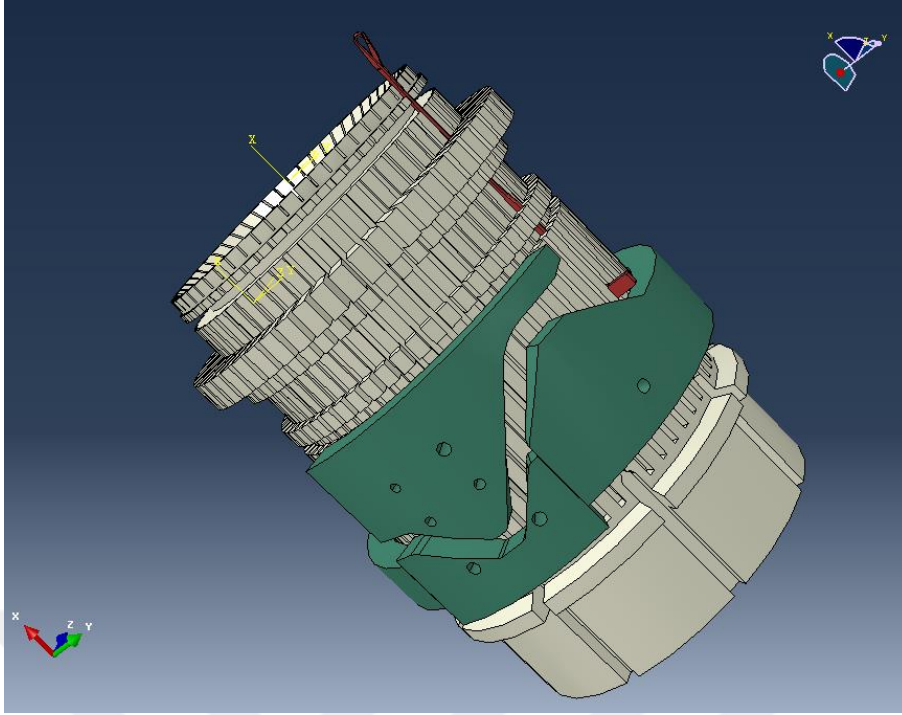


Şekil 3.23 : Silindir görüntüsü.



Şekil 3.24 : Kam sistemi görüntüsü.

Modelin montaj görüntüsü ise Şekil 3.25’de yer almaktadır.



Şekil 3.25 : Örme sisteminin 3-boyutlu montaj görüntüsü.

Modelin sonlu elemanlar yöntemine uyarlanması

Bu aşamada, Abaqus/CAE paket programı ile sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Abaqus/CAE programı statik, dinamik, ısı transferi ve bunların etkileşimli (interaktif) çözümlmeleri için geliştirilmiş, geniş ve gelişmiş eleman, malzeme ve temas modelleme kabiliyetine sahip güçlü ve güvenilir bir sonlu elemanlar çözücüsüdür. Doğrudan ve dolaylı yollardan geometrileri okuyabilmekte ve sadeleştirebilmektedir. Abaqus/CAE' nin sahip olduğu mafsallı eleman kütüphanesi ve çözüm yöntemiyle, mekanizmaların kinematik ve dinamik analizlerini, hem rijit hem de esnek olarak modelleyip gerilme çözümlmeleri yapılabilmektedir [128]. Bu özelliğin kapalı “implicit” ve açık “explicit” sonlu elemanlar modelleri ile birlikte kullanılmasıyla, her bir uzuv üzerindeki gerilme dağılımının hesaplanması, model dinamiğinin sanal modellenmesi ve dayanıklılık analizlerinin tek bir yazılım ve tek bir model ile diğer yazılımlara göre daha gerçekçi yapılabilmesi mümkün olmaktadır [36, 42].

Abaqus/CAE' nin sonlu elemanlar analizi yapan diğer programlardan en önemli farkı, güvenilir “explicit” analize imkân sağlamasıdır. Ayrıca, burada tercih edilmesine neden olan diğer özellikleri ise şu şekilde sıralanabilir:

- Başka çizim programlarında oluşturulmuş modellerin problemsiz olarak aktarımının gerçekleştirilebilmesi,

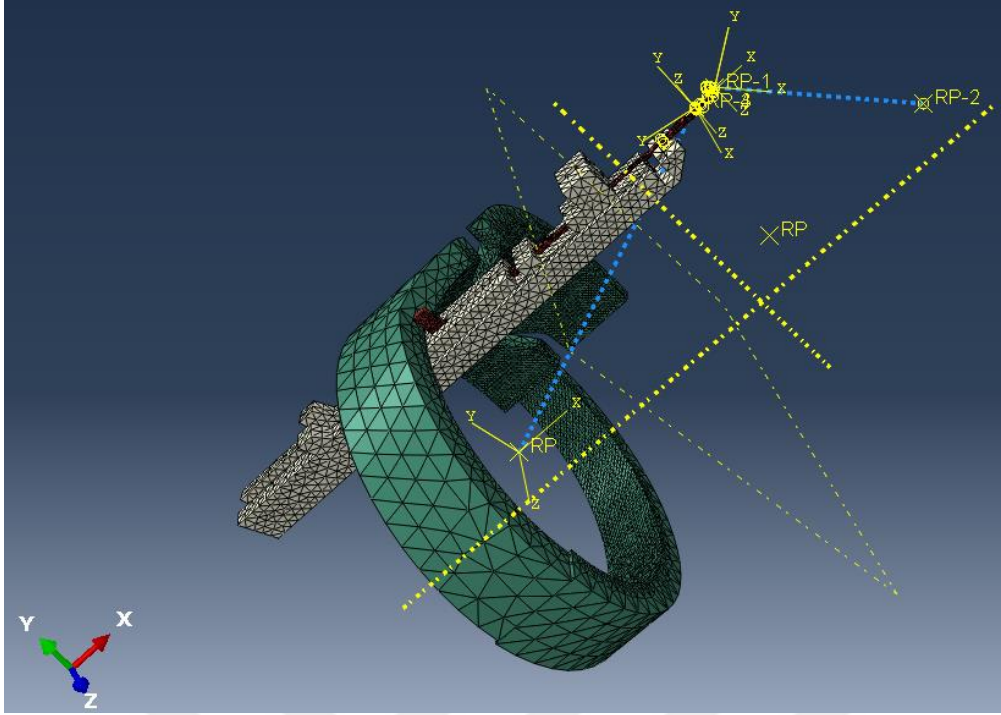
- Geniş ve gelişmiş eleman kütüphanesi sayesinde, ağ (mesh) atanması sırasında elemanlara en uygun eleman tipi seçilmesine imkân sağlaması,
- İşlem hızının diğer programlara oranla daha hızlı gerçekleşmesi,
- Tek bir analizde birçok sonuç elde edilebilmesidir.

Mevcut sistemde özellikle iğne üzerindeki gerilme incelendiği için Abaqus/CAE içinde iğne “deformable” model olarak tanımlanırken, kam ve silindir parçaları “discrete rigid” model olarak tanımlanmıştır. Böylelikle, kam ve silindir parçaları için malzeme özelliklerinin atanmasına gerek kalmamıştır. İğneye etkiyen kuvvetlerin belli bir çalışma süresi sonunda hasara neden olması beklendiği için iğne malzemesi elastik olarak seçilmiş ve buna ait elastiklik modülü yanında “Poisson” oranı ile yoğunluk değerleri programa tanımlanmıştır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8 : Modele tanımlanan iğne malzeme özellikleri.

Elastik (Young) modülü	210 Gpa
Poisson oranı	0,3
Yoğunluk	$7,8 \times 10^{-9}$ ton/mm ³

Analiz sonucunu etkileyen ve sonlu elemanlar metodunda temel olarak ele alınan modül, ağ modülüdür. Seçilen eleman tipine ve boyutuna göre bütün veriler doğru tanımlanmış olsa bile, ağ boyut ve tipine bağlı olarak analiz sonuçları değişebilmektedir. Ağ boyutu küçüldükçe, bir parçayı oluşturan daha çok sayıdaki elemanın analizi yapılacağından, işlem süresi uzun sürse de, doğru sonuçların elde edilmesi mümkün olur [128]. Modelde asıl incelenmesi hedeflenen parçanın iğne olmasının yanı sıra iğne geometrisinin karmaşık yapısından dolayı, bu elemanın ağ boyutu kam ile silindir parçasına göre daha küçük seçilmiş, eleman tipi olarak 2. derece C3D10M “quadratic tetrahedron” atanmıştır. Böylelikle 58952 adet eleman elde edilmiştir. Silindir ve kam parçaları için ise C3D4 "4-node linear tetrahedron" eleman tipi seçilmiş ve buna göre 29814 adet kam ve 9025 adet silindir elemanı elde edilmiştir (Şekil 3.26).

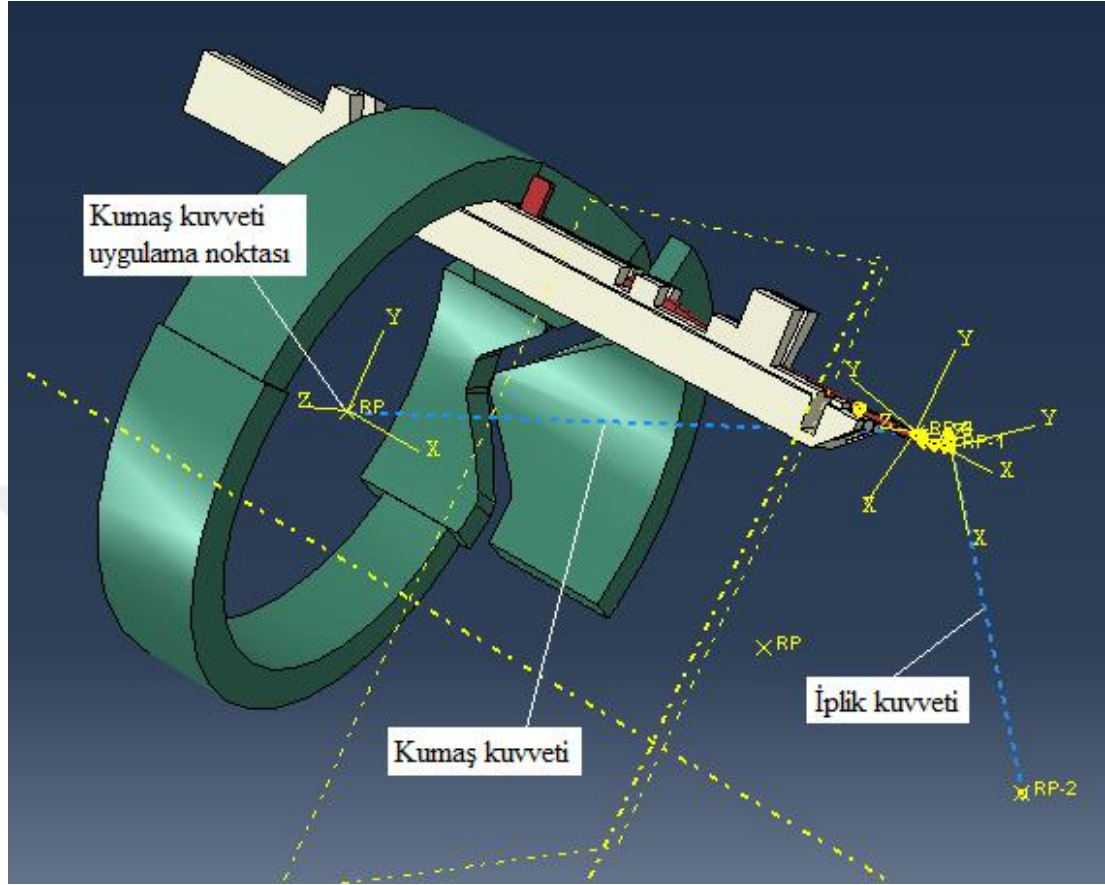


Şekil 3.26 : Modelin genel çözüm ağı görüntüsü.

3-boyutlu model üzerinde birbiri ile temas halinde olan yüzeyler tanımlanmıştır. Sürtünme katsayısı ve sürtünmeden kaynaklanan kuvvetler birçok parametreye bağlı olduğu için ve sürtünme katsayısını tayin etmede yaşanan zorluklardan dolayı günümüze kadar yapılan iğne ve kam dinamiği çalışmalarına referans olan 0,135 metal-metal sürtünme katsayısı değeri bu çalışmada da kullanılmıştır [118, 129]. Gerçek modele yakınsamak için kama, silindir etrafında dairesel hareketi yapacak şekilde sınır koşulları tanımlanırken, iğneyi temsil eden parçanın serbestlik derecelerine bir kısıtlama ve sınır şartı konulmamıştır. Bu şekilde iğnenin silindir ve kamdan gelen tepki kuvvetlerine maruz kalması sağlanmıştır. Kamın dairesel dönme hareketi, kam eğri merkezinde tanımlanan bir nokta üzerinden verilmiştir. Silindiri temsil eden parçanın altı serbestlik derecesi de kısıtlanarak sabitlenmiştir. İplik ve kumaş kuvvet değerleri gerçeği yansıtacak şekilde modelde tanımlanırken, iğnenin ağırlık ve atalet kuvvetleri de bu modelde dikkate alınmıştır (Şekil 3.27) [128].

İğneye etki eden kuvvetler kam profilinin her noktasında zamana bağlı olarak değişmektedir; zira iğne kam profili üzerinde hareketli bir eleman olup, kam açısı her adımda değişmektedir. Bu şekilde sürtünme ve reaksiyon kuvvetleri her anda farklı büyüklüğe ve yöne sahip olmaktadır. Statik analizle dinamik analizi ayıran husus, atalet kuvvetlerinin tanımlanmasında ortaya çıkan farklılıktır. Statik analizde, atalet

kuvvetleri sadece deformasyonun olduğu yerde oluşurken, dinamik analiz hem hareketten hem de yapının deformasyonundan doğan atalet kuvvetlerini içerir [36-41].



Şekil 3.27 : İplik ve kumaş kuvvetinin modelde tanımlanması.

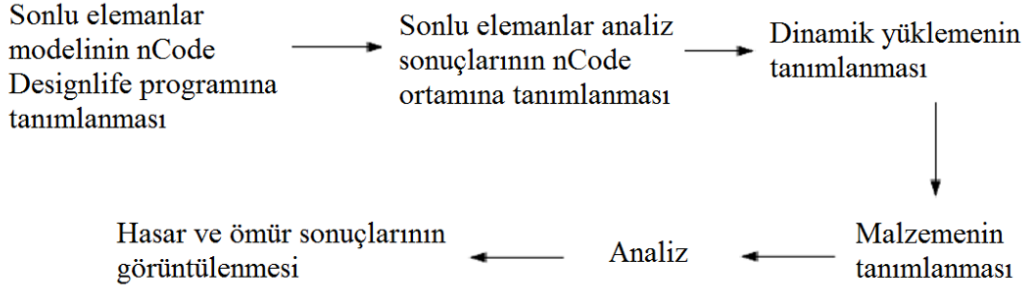
Bu nedenle model doğrusal olmayan dinamik analiz modeli olarak belirlenmiştir. Oluşan anlık darbe kuvvetleri sonucunda iğnenin hangi bölgelerinde maksimum gerilmelerin ortaya çıktığı çalışma açısından önem taşır. Kritik zaman adımı değerini yükseltmek için kütle ölçeklemesi yöntemi kullanılmış, böylece kritik zaman adımı yükseltilirken toplam analiz çözüm süresi düşürülmüştür.

Mevcut modelde, küçük zaman adımlarıyla çalışılması daha sağlıklı sonuçların elde edilmesini sağlar. Fakat, doğrusal olmayan problemler her adımda birden fazla tekrarlama gerektirir, bu da çözülmesi gereken denklem sayısını artırır [36-41]. Ayrıca yapılan analizde temasın ve süreksizliklerin olduğu adımlar da bulunmaktadır. Bu yüzden büyük boyutlarda denklem içeren doğrusal olmayan problemler için “explicit” metod çözüm yöntemi olarak uygun görülmüştür. Analizler, Intel® Xeon® CPU E5-2650 v2 @2.60 GHz hızında, 32 çekirdekli işlemciye sahip, 256 GB RAM içeren bir bilgisayarda paralel çözümlemeyle yapılmıştır.

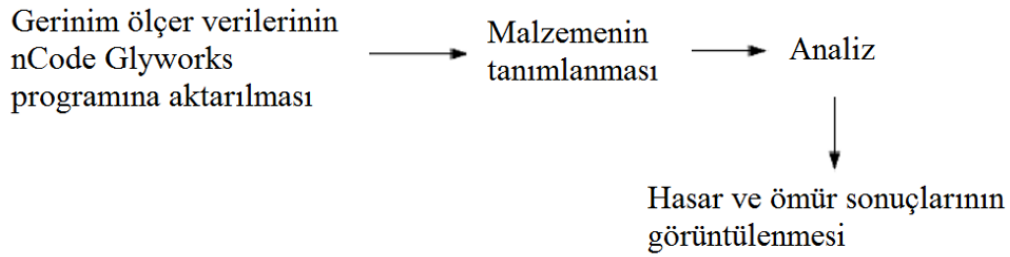
Sanal yorulma testi

Sanal yorulma analizleri için HBM firması tarafından geliştirilen nCode yazılımı kullanılmıştır. nCode programı ile iki şekilde yorulma analizi yapılabilmektedir [130, 131]. Bunlar;

1. Sonlu elemanlar modelinden yola çıkarak yorulma analizi



2. Gerinim ölçer sonuçlarından yola çıkarak yorulma analizi

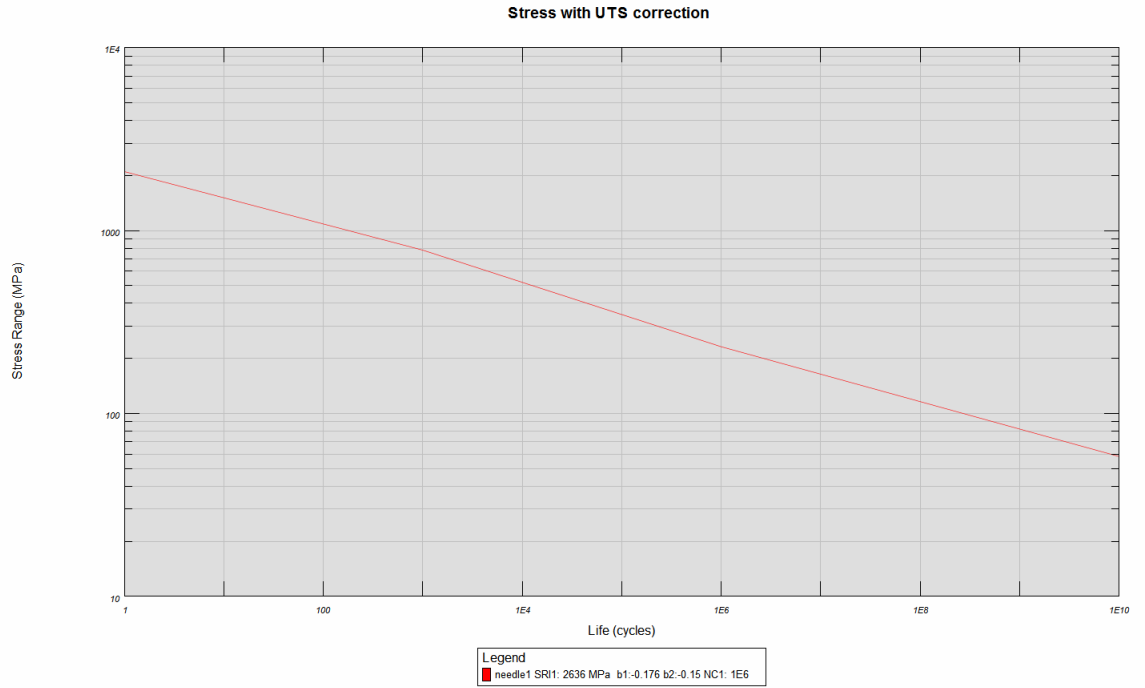


Çalışma esnasında, hem gerinim ölçerden alınan veri hem de sonlu elemanlar modelinin çıktıları doğrultusunda ömür hesabı yapılmıştır. Bu noktada, iğnenin uluslararası malzeme kodu gizli bilgi kapsamında olduğundan gerekli S-N eğrisi Bölüm 3.1.2.2’de anlatıldığı şekilde hesaplanmıştır. Böylelikle nCode yazılımının “S-N Mean Stress Curve” veri özelliği ile yeni bir malzeme veri tabanına tanımlanmış ve programa tanımlanan değerler Çizelge 3.9’de gösterilmiştir.

Matematiksel olarak, S-N eğrisi çizilirken b_2 değerinin hesaplanması yapılamamaktadır. Öte yandan, deneysel çalışma esnasında iğne numunelerinin bir milyon çevrimden daha fazla çevrime dayandığı görüldüğünden, iğne malzemesinin sonsuz ömür olarak hesaplanmaması için bir b_2 değerinin ataması gerekmiştir. Bu amaçla, nCode programının malzeme kütüphanesinde yer alan ve iğne malzemesinin akma ve çekme dayanım değerlerine en yakın değere sahip metalin b_2 değeri olarak seçilmiştir. Verilen açıklamalar ve Çizelge 3.9’deki bilgiler ışığında programın oluşturduğu S-N eğrisi Şekil 3.28’de görülmektedir.

Çizelge 3.9 : nCode yazılımında iğne malzemesine girdi olarak kullanılan S-N eğrisi parametreleri.

	Malzeme tipi	İğne
YS	Akma dayanımı (MPa)	550
UTS	Çekme dayanımı (MPa)	1050
E	Elastisite modülü (MPa)	2.1 E5
SRI1	Gerilme aralığı kesişim noktası	2636
b1	Birinci yorulma dayanımı bileşeni	-0.176
Nc1	Yorulma geçiş noktası (çevrim)	1E6
b2	İkinci yorulma dayanımı bileşeni	-0.15
Nfc	Yorulma kırılması (çevrim)	1E30



Şekil 3.28 : nCode yazılımında girdi olarak kullanılan S-N eğrisi.

3.2 Sanayii Tipi Yuvarlak Örmek Makinası Üzerinde Çalışmalar

3.2.1 İğne hareketinin incelenmesi

Yuvarlak örmek makinesinde, örmek işlemini gerçekleştiren iğnenin gerçek zamanlı hareketini inceleyebilmek amacıyla E24 30” 90 beslemeli Beck GmbH sanayii tipi yuvarlak örmek makinesi çalışma sırasında kullanılmıştır. Çalışma esnasında pozitif iplik besleme sistemi kullanılmıştır ve besleme sayısı çalışma boyunca yirmi dört ile sınırlandırılmıştır. Çalışmanın her aşaması için sağlıklı veri kaydı yapabilmek amacıyla, makine yaklaşık olarak yarım saat 15 dev/dak sabit hızda çalıştırılarak, ısınması sağlanmıştır.

Çalışmada;

- Makine hızı
- Lif tipi
- İplik gerginliği
- Elastan ve elastan gerginliği

parametrelerinin iğne hareketi üzerine etkisi ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Bu amaçla Çizelge 3.10’da detaylı olarak görülen değişkenler doğrultusunda bir deneysel tasarım programı kurgulanmıştır. Böylelikle, her bir durumun birbirinden farklı kırk sekiz kombinasyonu üzerinden ölçüm alınarak her bir parametrenin iğne hareketi üzerine etkisi ayrıntılı olarak değerlendirilebilmiştir. Çalışma sırasında kumaş çekim kuvveti sabit tutulmuştur.

Çalışma için iplik seçiminde örme kumaş üretiminde sıklıkla kullanılan % 100 ring pamuk ipliğinin yanı sıra, iplik yapısının etkisini de irdeleyebilmek amacıyla, Enstitü’nün kendi tesislerinde üretilen ve yine piyasada da yaygın olarak kullanılan % 100 tekstüre polyester seçilmiştir. Üretimde kullanılan elastan ipliği ise 33 dtex’dir. Çizelge 3.11’da kullanılan iplikler ve fiziksel özellikleri özetlenmiştir.

Çizelge 3.10 : Üretimde kullanılan ipliklerin fiziksel özellikleri.

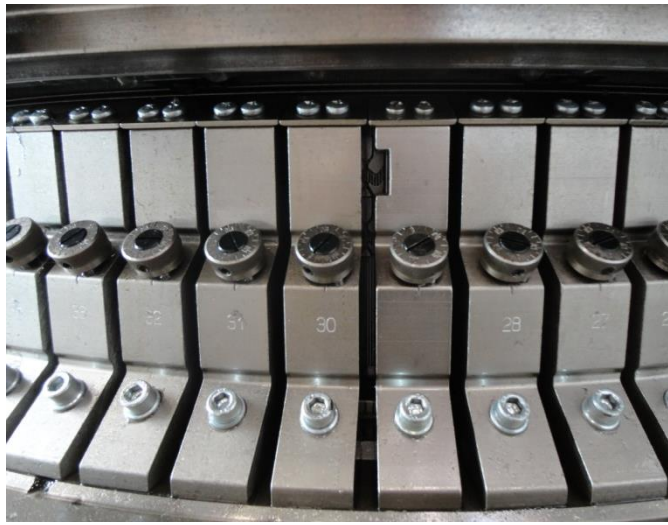
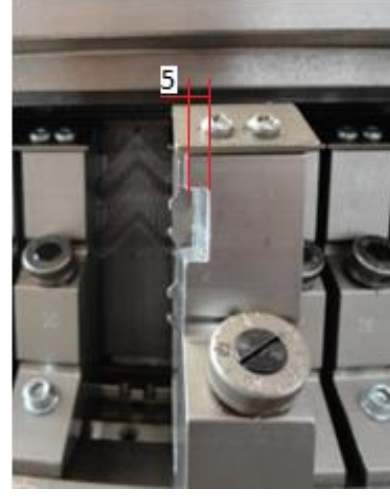
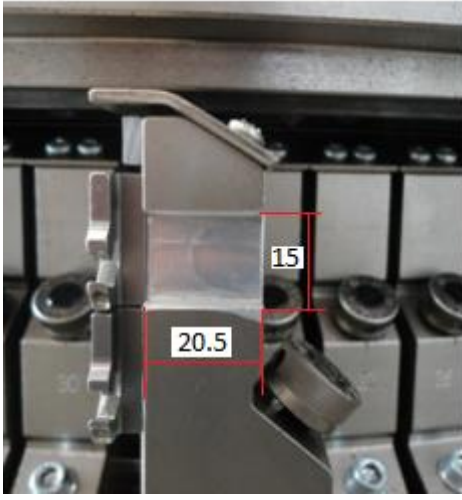
İplik Özellikleri	Pamuk	Polyester
İplik numarası	Ne 50/1	110 dtex
Kopma uzaması	6, 33%	21,13%
Kopma gerilmesi	211,24 cN	431,18 cN

Normal çalışma koşullarında, iki kam arasındaki mesafenin çok yakın olmasından dolayı iğne hareketinin, özellikleilmek aşırı aşamasında, anlamlı kaydı mümkün değildir. Bu nedenle, bir kam silindiri üzerinde, kama herhangi bir zarar vermeyecek şekilde 5x20,5x15 cm ölçülerinde CNC ile bir kanal açılmıştır. Yeni kam sisteminin, makine üzerindeki görüntüsü Şekil 3.29’da verilmiştir.

Çizelge 3.10’da verilen deneysel tasarım sistematigi çerçevesinde, iğne hareketini gerçek zamanlı olarak inceleyebilmek için Olympus i-SPEED 3, yüksek hızlı kamera kullanılmıştır. İstenilen görüntü kalitesi ve alanını sağlayabilmek için çeşitli denemeler sonrasında kamera 20.000 frame olarak ayarlanmış [132] ve çekim sırasında en önemli parametrelerden biri olan aydınlatmayı efektif bir şekilde sağlamak üzere, ışık Şekil 3.30’deki gibi makine üzerine konumlandırılmıştır. Şekil 3.31’da ise kameranın veri kaydı sırasındaki pozisyonu görülmektedir.

Çizelge 3.11 : Deneysel çalışma detayları.

	İplik kuvveti (cN)	Elastan kuvveti (cN)	Makine hızı (dev/dak)
1. durum	3	0	15
2. durum	3	3	15
3. durum	3	6	15
4. durum	3	9	15
5. durum	6	0	15
6. durum	6	3	15
7. durum	6	6	15
8. durum	6	9	15
9. durum	9	0	15
10. durum	9	3	15
11. durum	9	6	15
12. durum	9	9	15
13. durum	3	0	20
14. durum	3	3	20
15. durum	3	6	20
16. durum	3	9	20
17. durum	6	0	20
18. durum	6	3	20
19. durum	6	6	20
20. durum	6	9	20
21. durum	9	0	20
22. durum	9	3	20
23. durum	9	6	20
24. durum	9	9	20



Şekil 3.29 : Modifiye kam sisteminin detaylı görüntüsü.



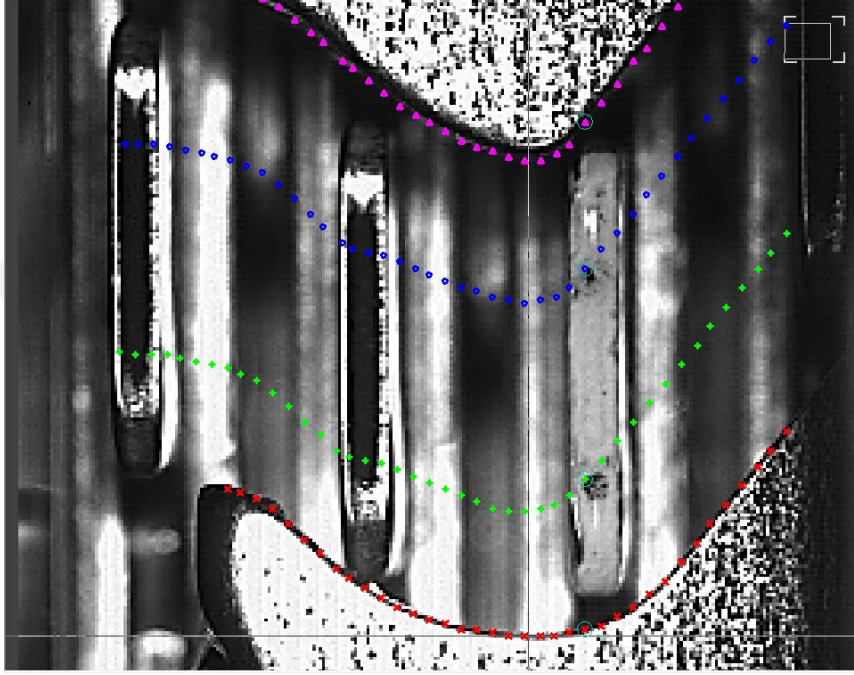
Şekil 3.30 : Işığın makine üzerindeki konumu.



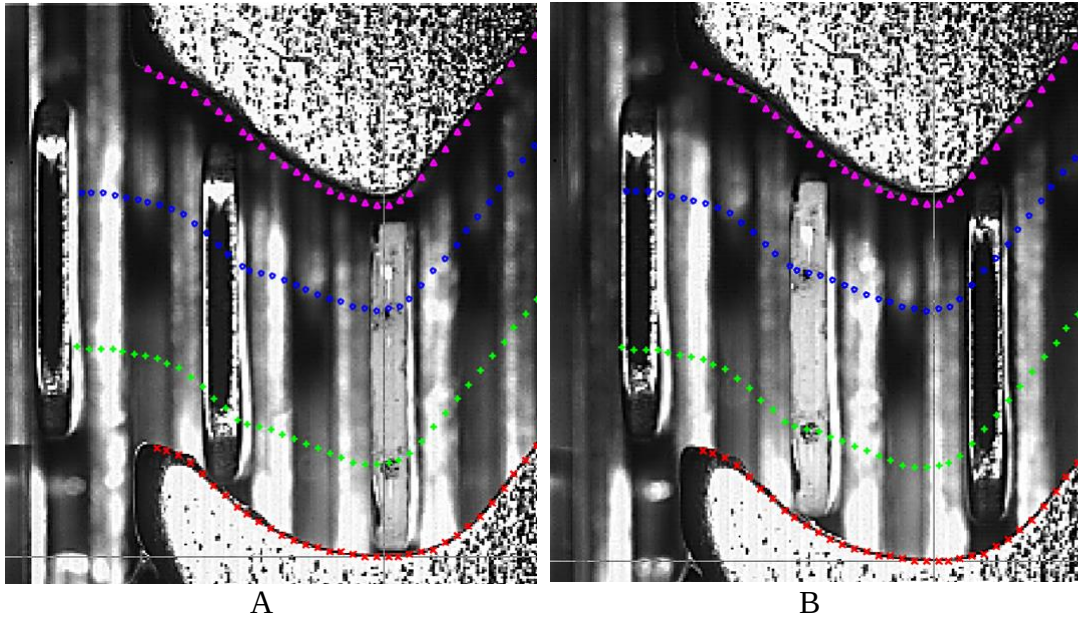
Şekil 3.31 : Veri kaydı sırasında kameranın konumu.

Yüksek çözünürlüklü kamera ile maksimum derecede hassas ve kaliteli ölçüm alınmaya çalışıldıysa da, ön çekimlerin değerlendirilmesi sırasında topuğun uç noktalarının kavisli olması nedeniyle çok net görüntü elde edilemediği tespit edilmiştir. Bu sorunu bertaraf etmek üzere, iğne topuğunun uç noktalarının doğru takip edilebilmesi için bir iğnenin topuğu makine yağına dayanıklı beyaz boya ile boyanmıştır. Daha sonra topuğun alt ve üst noktalarının takibini kolaylaştırmak için bu noktalara yakın iki noktadan siyah kalem ile işaretleme yapılmıştır. İşaretleme sonrası görüntülerin izlenebilir olduğu görülmüştür. Kamera ile çekilen görüntüler, kameranın özel programı ile değerlendirilmiştir. İşaretlenen noktaların uç noktalara

olan uzaklığı, kamera yazılımının sunduğu fonksiyonlar kullanılarak ölçülmüştür. Değerlendirme işlemi sırasında iğne topuğunun her iki uç noktası ile topuğun yörüngesini takip ettiği alt ve üst kam profilleri her beş pikselde bir işaretlenmiştir. Verilerin değerlendirilme şekline ait bir görüntü Şekil 3.32’de verilmiştir. Şekil 3.33A’da iğnenin kama ilk temas ettiği nokta gösterirken Şekil 3.34B’de ikinci temas noktası örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.32 : Kamera görüntüsünün değerlendirilmesi.



Şekil 3.33 : A- İğnenin kama ilk temas ettiği nokta ve B- İğnenin kama ikinci temas ettiği nokta .

Program üzerinden ilgi noktaları belirledikten sonra dosya Microsoft Excel'e aktarılarak koordinat değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen koordinat değerlerine göre yatay ve düşey hız denklemleri 3.3 ve 3.4'ye göre hesaplanmıştır.

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (3.3)$$

$$v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (3.4)$$

İğnenin ivmesi ise denklem 3.5'e göre hesaplanmıştır.

$$a = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} \quad (3.5)$$

Elde edilen veriler SPSS 18 programı ve ANOVA ile t-testi yöntemleri yardımıyla istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.



4. SEM GÖRÜNTÜ SONUÇLARI

4.1 Pim Yüzey SEM Görüntü Sonuçları

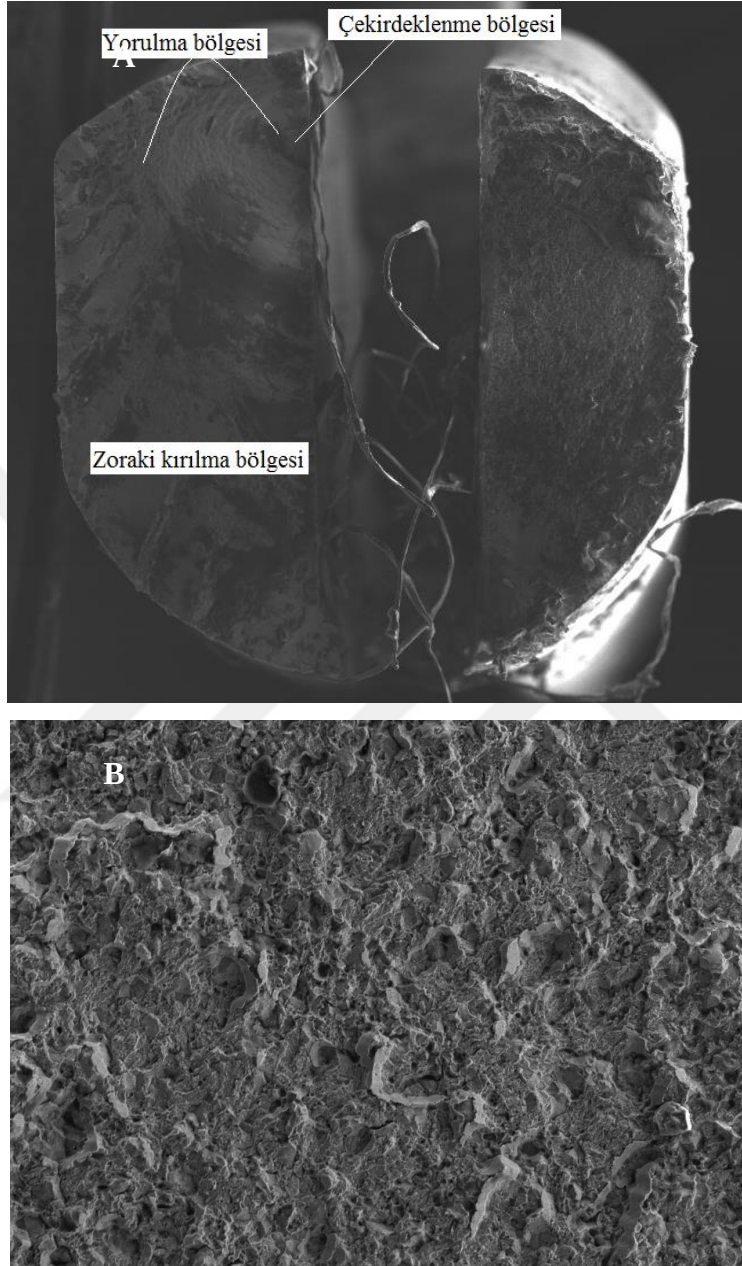
Çevrimsel yükleme sırasında, en yüksek gerilime sahip alanda plastik deformasyon meydana gelir. Bu plastik deformasyon, çatlak oluşumu ile başlar. Çevrimsel yükleme devam ettikçe, çatlak boyu uzar ve belirli bir çevrim sonucunda malzemenin hasarına neden olur [23, 28]. Bu çalışmada, 10.042.072 tekrar sayısı sonunda bir iğne pim bölgesinden kırılarak hasara uğramıştır. Bunu takip eden zaman içerisinde, 10.242.072 tekrar sonrasında 2 iğne birden yine pim bölgesinin benzer yerinden kırılmıştır. Çizelge 4.1’de ayrıntılı olarak görülebileceği üzere belirtilen devirlerde iğne pim bölgelerinden kırılmıştır. Kırılmanın benzer yerden gerçekleşmesi, bu durumun tesadüfi olmadığını göstermiştir. Şekil 4.1A’de tipik bir kırılma örneği görülmektedir.

Çizelge 4.1 : İğnelerin kırılma zamanları.

Toplam tekrar	Toplam saat	
10.042.072	854,72	1 iğne kırıldı
10.242.072	862,13	2 iğne kırıldı
10.442.072	869,54	2 iğne kırıldı
10.942.072	888,06	2 iğne kırıldı
11.295.706	901,15	1 iğne kırıldı

Yorulma hasarı üç değişik safhadan oluşur: 1- Yorulma çatlağının oluşumu, 2- Çatlak ilerlemesi ve 3- Zoraki kırılma bölgesi. Şekil 4.1A’da pim kesitinden kırılmış iğnenin bu bölgeleri görülebilir. Yorulma kırılması, genellikle iç yapıda veya yüzeyde bulunan çok küçük bir kusurda gerilme yığılması oluşması ve bunun sonucu akma dayanımının yerel olarak aşılması ile ortaya çıkar [15]. Bu çalışmada, malzeme yüzeyinde çatlak oluşumu başlayarak iğnenin kırılmasına neden olmuştur (Şekil 4.1A). Ayrıca kullanılmamış iğnelerin pim yüzeyinin farklı büyütmedeki SEM görüntüleri incelendiğinde, yüzeyde farklı bölge ve büyüklüklerde lekeler, pürüzler ve çukurların yer aldığı görülmüştür. Bu durumun da çatlak oluşumuna yardımcı olduğu söylenebilir. Çatlak oluşuktan sonra çatlak ilerlemesi, gerilme yönüne dik gelecek dairesel şekilde gerçekleşir ve son çatlak cephesine ulaştığında malzemenin kalan

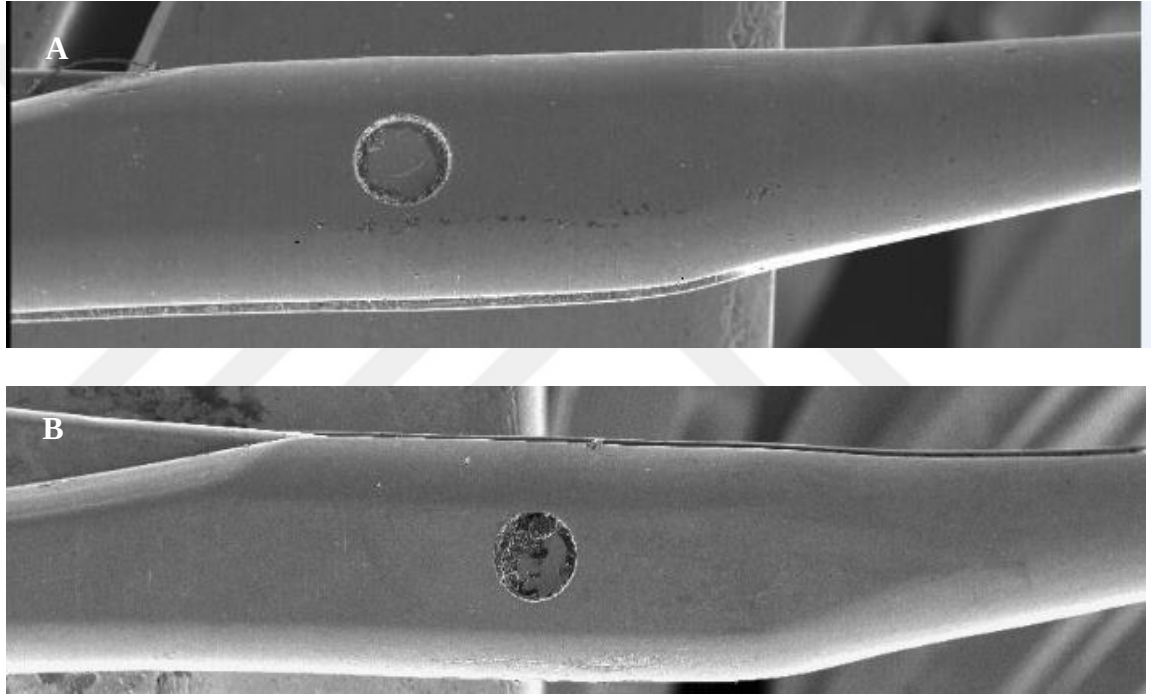
kesiti zorlamayı taşıyamadığından ani ve zorunlu olarak kırılır. Bu bölge lifli kırık yüzey şeklindeki sünek kırılma şeklinde gerçekleşir [3, 28]. Şekil 4.1B’de iğnenin ani olarak kırılan bölgesinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.1 : A-10x-İğne piminin kırılmış kesit görüntüsü B- 1000x-Ani kırılma sonrasında zoraki kırılma bölgesinin görünümü.

13.492.242 tekrar sonrasında hala kırılmamış olan iğnelerin pim bölgesine ait SEM görüntüleri incelendiğinde ise, kullanılmamış iğnenin pim yüzeyinden farklı olarak daha düz bir kesite dönüştüğü belirlenmiştir. İlmeğe aşırma pozisyonunda oluşturulan ilmeğin, iğnenin bu bölgesine zımparalama etkisi göstererek kesiti değiştirdiği değerlendirilmiştir. Şekil 4.2’de pim kesitinin zamanla değişimi görülmektedir.

Meydana gelen bu aşınmanın, kullanılan open-end ipliğinin yapısında bulunan bitkisel artık ve mikro tozların etkisi ile hızlandığı düşünülmektedir. Toz ve yağın içinde bulunan oksit ve silikat parçacıkları gibi iğnenin çeliğinden daha sert maddelerin iplik yüzeyinde taşındığı durumlarda iğne yüzeyini çizmekte ve bunun kaçınılmaz sonucu olarak iğne malzemesinde zımparalama etkisi yaparak aşındırmaktadırlar. Ortaya çıkan bu sonuç; “en büyük aşınmanın ilmeğin kancadan iğne gövdesine düşerken kanca mili ve gövdesindeki aşınmanın hızlanmasına neden olur” literatür bulgusuyla da uyumludur [12]. Ayrıca çalışma sırasında kullanılan iplik telefli ipliklidir. Önceden yapılan çalışmalara ait bulgular, temiz open-end ipliklerine göre, telefli open end ipliklerin altı kat daha fazla aşındırıcı etkisinin olduğu şeklindedir [5].

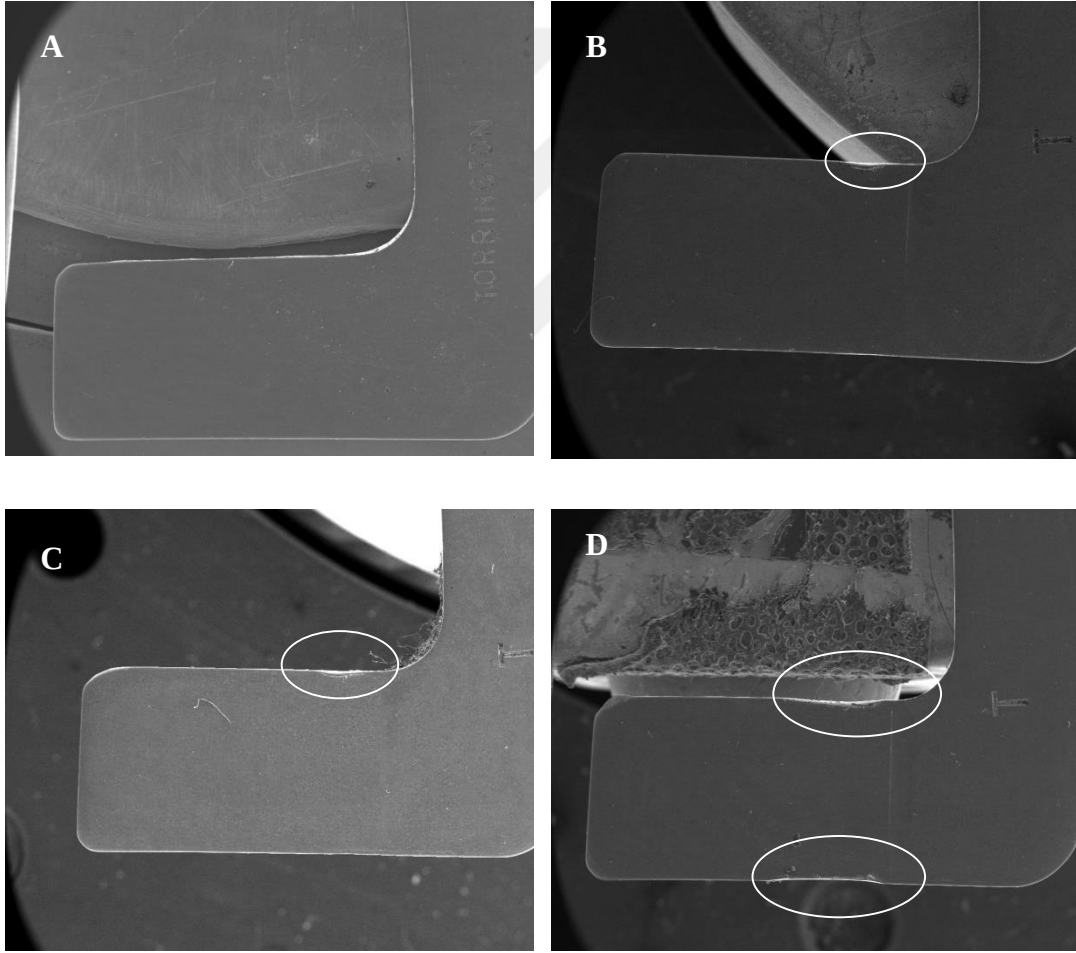


Şekil 4.2 : A- 12x-0 tekrar pim yanal yüzey ve B-10x-13.492.242 tekrar sonrasında pim yanal yüzey.

4.2 Topuk Sol Yüzeyinin SEM Görüntü Sonuçları

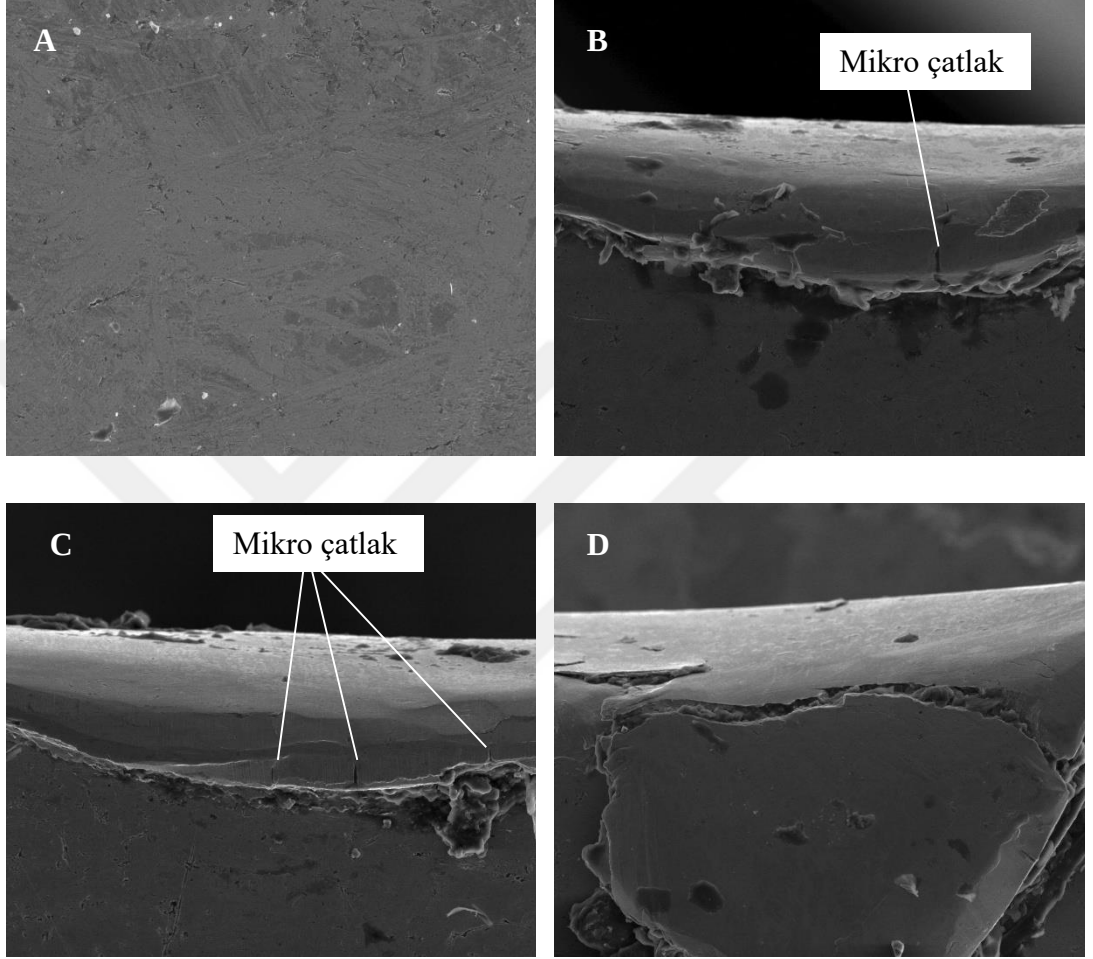
Kullanılmamış iğnelerin sol topuk yüzeyleri farklı büyütme ölçeklerinde incelendiğinde yüzeyde farklı bölge ve büyüklüklerde lekeler, pürüzler ve çukurların yer aldığı görülmüştür. Şekil 4.3A, 4.4A ve Şekil 4.5A’de sol topuk yüzeyinin farklı büyüklüklerdeki SEM görüntüleri görülebilir. Farklı iğnelerin bu bölgedeki kristal yapıları incelendiğinde ise, benzer bir topografik karakteristiğe sahip oldukları görülmüştür. Farklı iğnelerin yüzeylerindeki benzerliklerin malzeme yapısının bir

sonucu olduğu söylenebilir. Böylelikle kullanılmamış iğneler referans alındığında, iğne yüzeylerinin başlangıçta pürüzsüz olmayıp farklı dağılımlara sahip leke, pürüz ve çukurların bulunduğu söylenebilir. Makine çalıştırılarak iğnenin oluşturduğu ilmek sayısı arttıkça, iğne topuğunda deformasyon meydana geldiği görülmüştür. Bu deformasyonun özellikle devir sayısının artmasıyla daha belirginleştiği görülmüştür. Oluşan aşınmanın özellikle iğne topuğunun kam ile temas halinde olduğu bölgede gerçekleştiği görülmüştür. Diğer taraftan 6.337.595 tekrar oluşturuluncaya kadar ortaya çıkan aşınmanın sadece iğne topuğunun üst kısmında gerçekleştiği görülürken (Şekil 4.3B-C), 13.492.242 tekrar sayısı sonunda ortaya çıkan aşınmanın topuğun hem üst hem de alt yüzeyinde gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 4.3D).

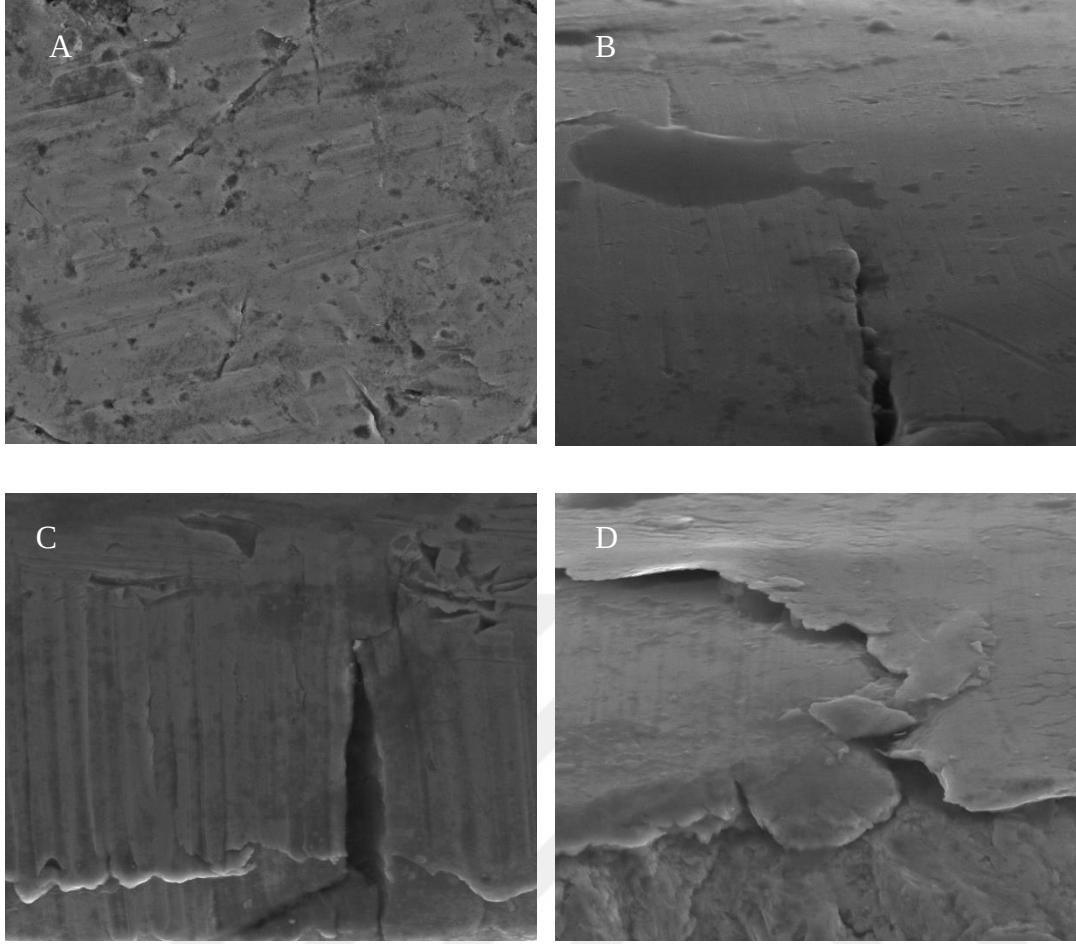


Şekil 4.3 : İğne topuğunun sol yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 10X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar.

5.009.201 tekrar sayısı sonunda mikro çatlak oluşumlarının başladığının (Şekil 4.4-5B), 6.337.595 tekrar sonunda ise hem çatlak sayısının hem de uzunluğunun arttığı görülmüştür (Şekil 4.4-5C). 13.492.242 tekrar sayısı sonunda ise yüzeyden parça kopma noktasına gelinmiştir (Şekil 4.4D).



Şekil 4.4 : İğne topuğunun sol yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 250X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar.

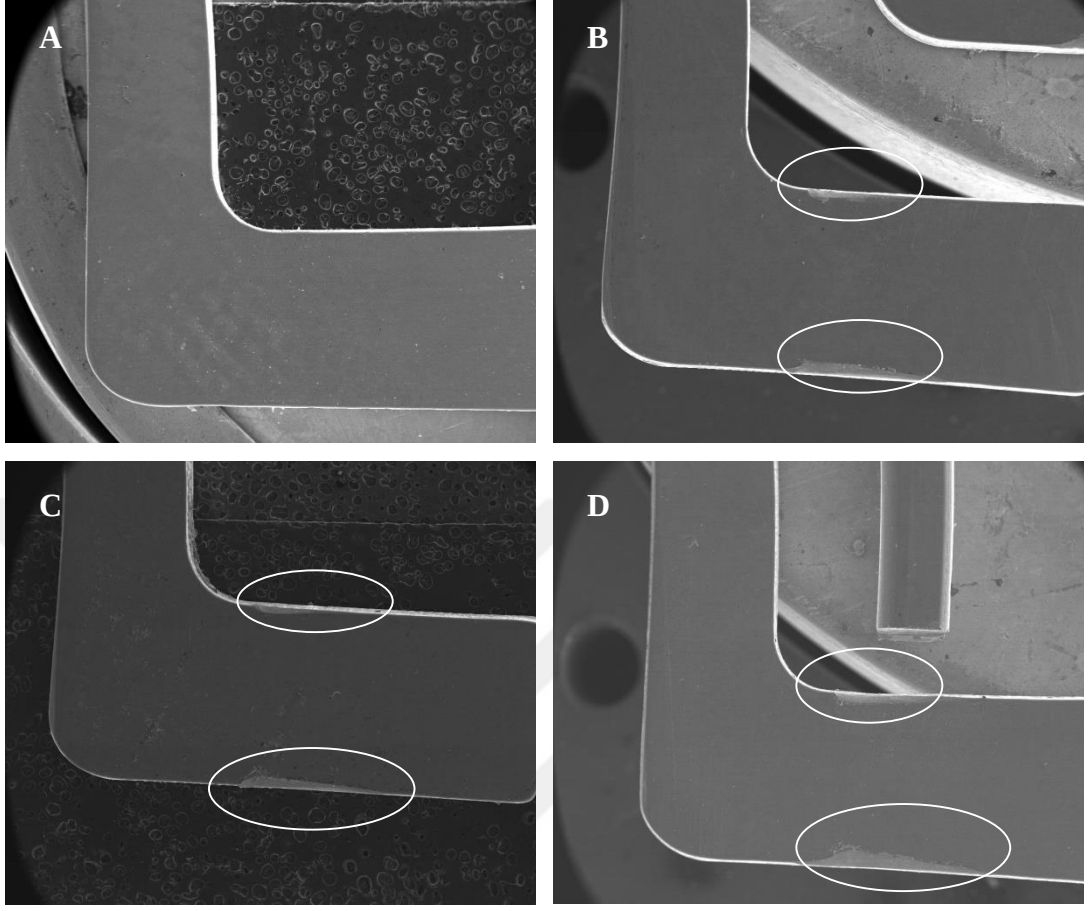


Şekil 4.5 : İğne topuğunun sol yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 3000X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar.

4.3 Topuk Sağ Yüzeyinin SEM Görüntü Sonuçları

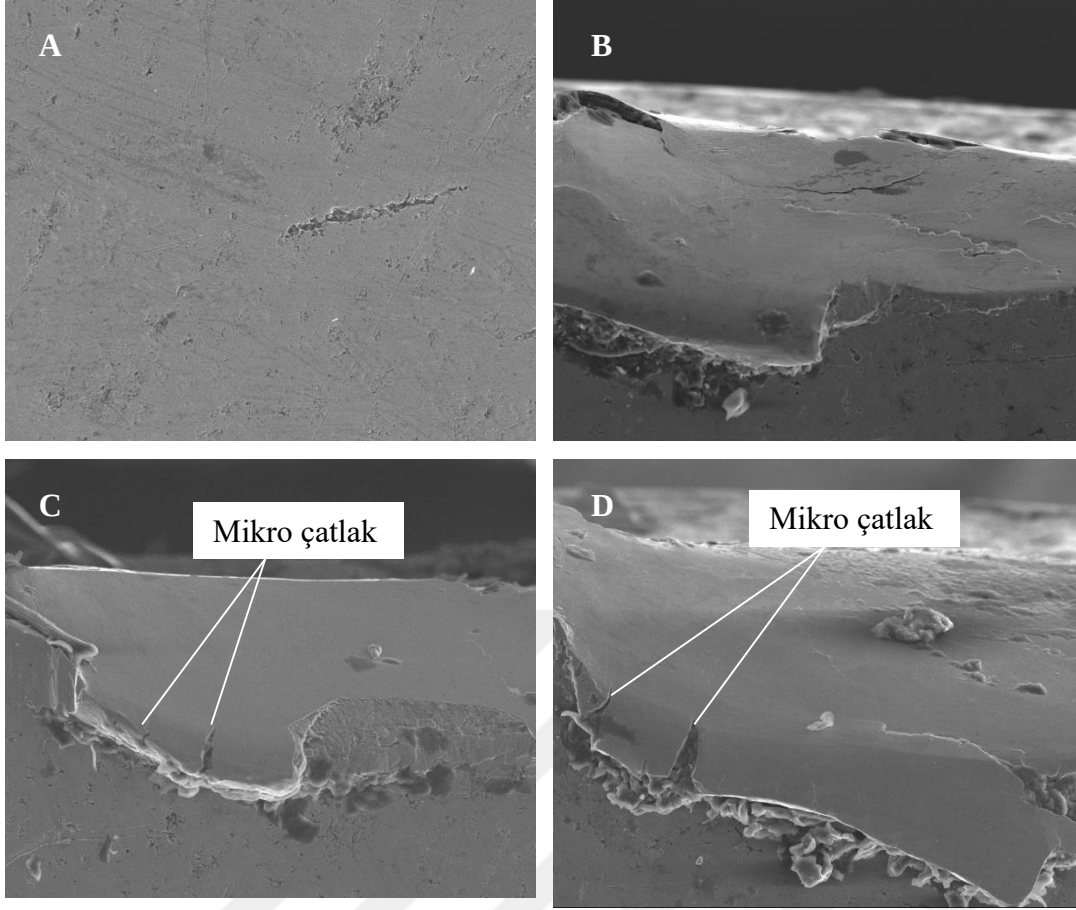
Kullanılmamış iğnelerin topuk sağ yüzeylerinin farklı boyuttaki SEM görüntüleri incelendiğinde, topuk sol yüzeyinde olduğu gibi çeşitli dağılımlara sahip pürüz, çukur ve izlere rastlanılmıştır. Şekil 4.6-8A'da bu yapısal görüntüler görülebilir. Kullanılmamış iğneler birbirleri ile kıyaslandığında, her birindeki dağılım farklılık göstermektedir. Bu da malzemenin iç yapısal özelliğinden dolayıdır. İğnenin kam yolunu takip edip oluşturduğu ilmek sayısı arttıkça, kam ile temas halinde bulunduğu yüzeylerde aşınma meydana geldiği ve bu aşınmanın üretilen ilmek sayısı arttıkça daha da belirginleştiği görülmüştür. Ayrıca aşınan alan da genişlemiştir (Şekil 4.6 B-C-D). Topuk sol yüzeyinden farklı olarak, sağ yüzeyde tekrarın 5.009.201 sayısına ulaştığı zaman alınan SEM görüntülerine göre, iğnenin kam ile temas halinde bulunduğu hem

üst hem de alt yüzeyi aşınmıştır. Özellikle alt kısımda meydana gelen aşınma üst kısma göre daha da belirgindir.

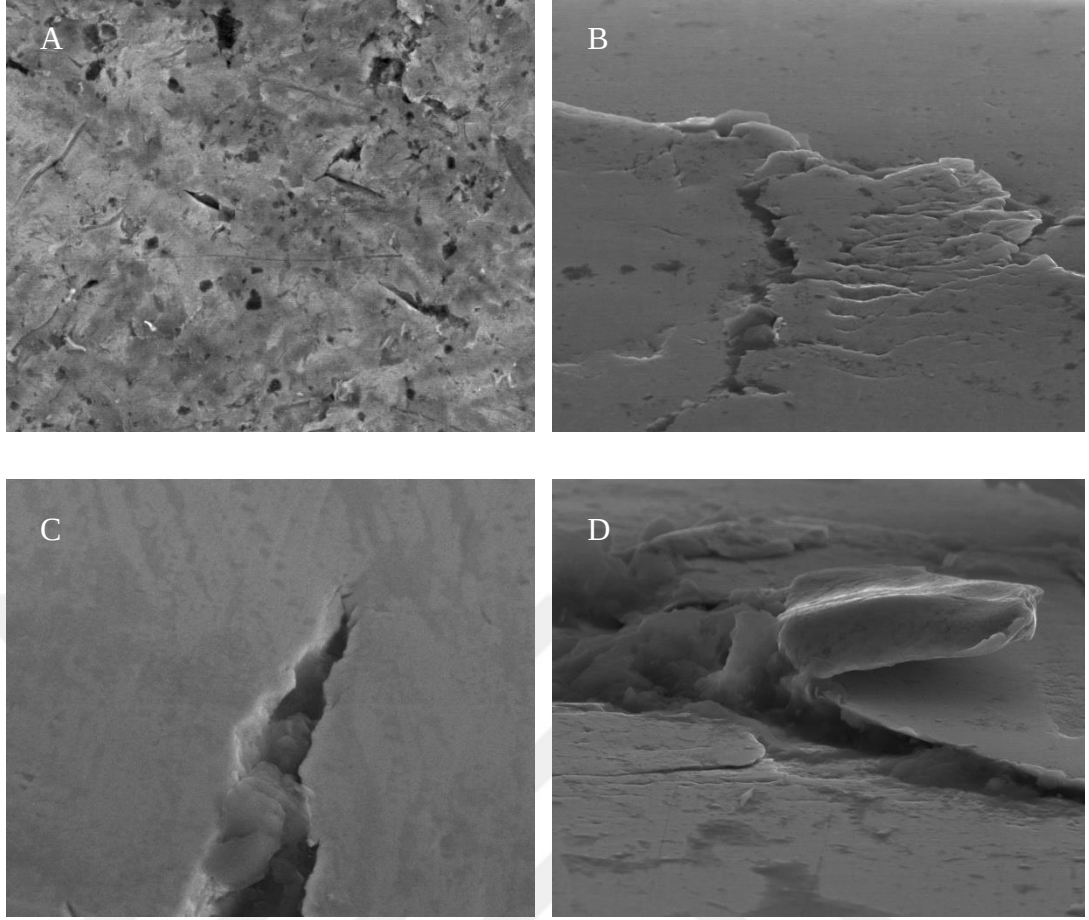


Şekil 4.6 : İğne topuğunun sağ yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 10X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar.

Öte yandan, 250x ve 3000x SEM görüntüleri incelendiğinde ise topuğun kam ile temas halinde olduğu yüzeyler sol yüzeyden farklı olarak ezilme şeklindedir. Ortaya çıkan mikro çatlakların sayı ve uzunluğunun üretilen ilmek sayısı arttıkça arttığı görülmüştür. Hatta oluşturulan 13.492.242 tekrar sayısı sonunda iğne topuğundan parça kopuşları başlamıştır (bkz. Şekil 4.8D).



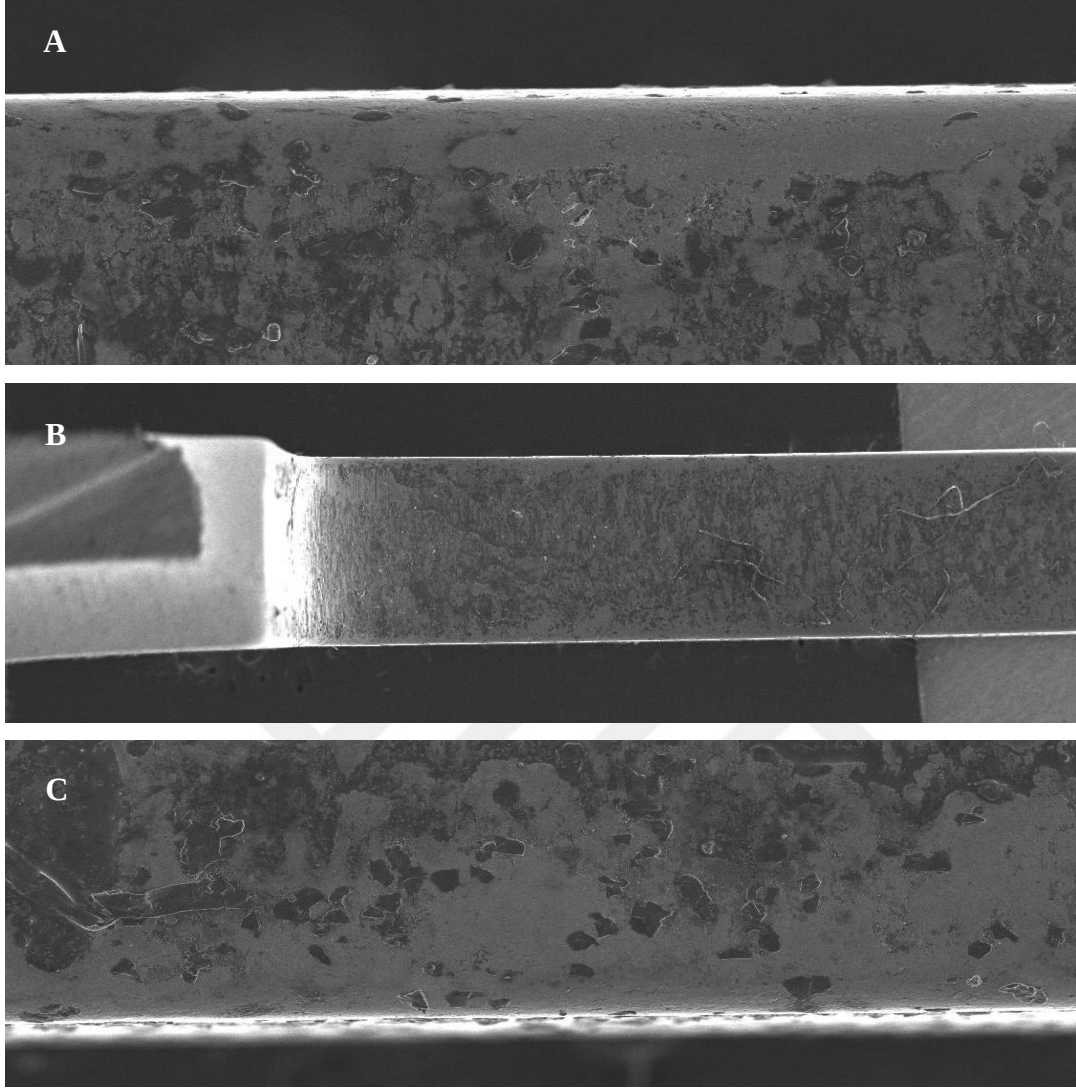
Şekil 4.7 : İğne topuğunun sağ yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 250X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar.



Şekil 4.8 : İğne topuğunun sağ yanal görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 3000X için A-0 tekrar, B- 5.009.201 tekrar, C- 6.337.595 tekrar ve D- 13.492.242 tekrar.

4.4 Topuk Üst Yüzey SEM Görüntü Sonuçları

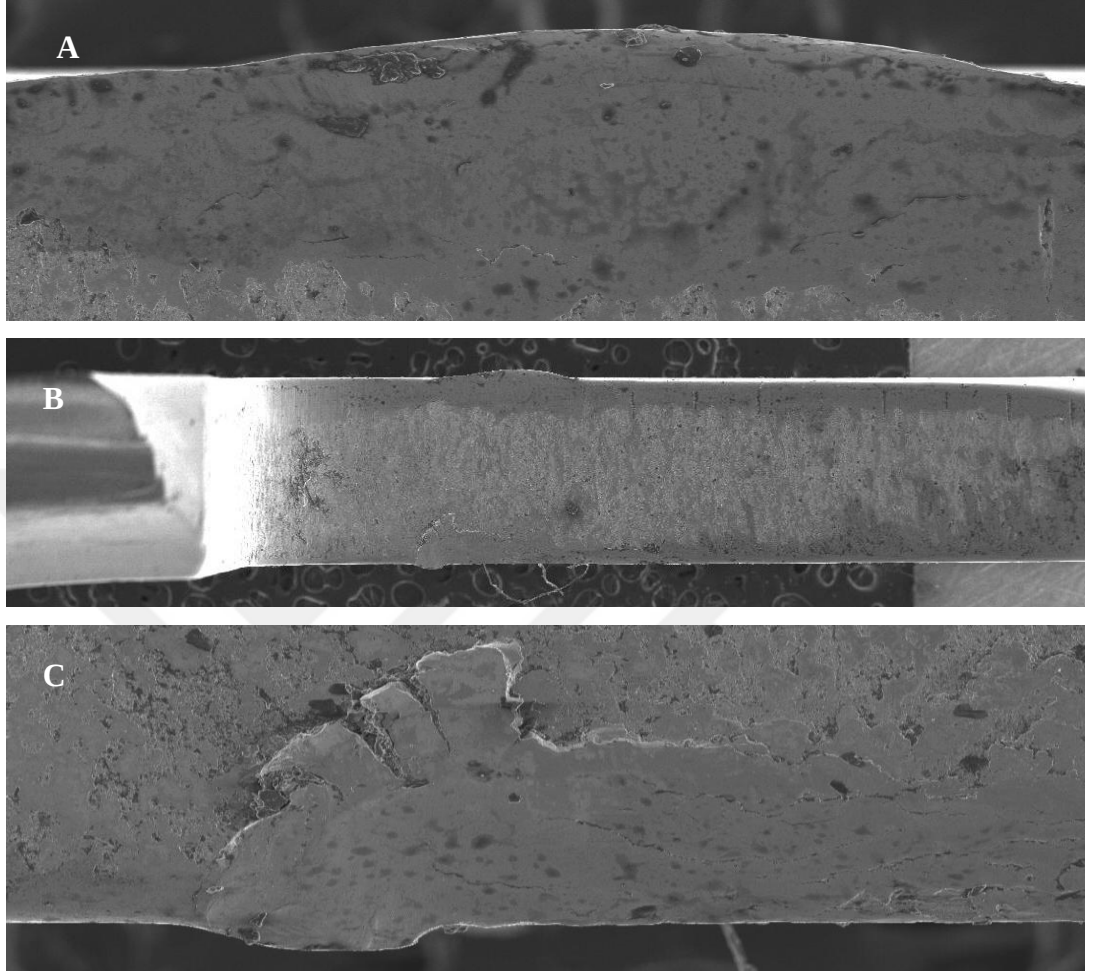
Kullanılmamış iğnelerin topuk üst düzeylerine ait SEM görüntüleri incelendiği zaman yüzeylerindeki iz ve lekelerin boyutları ve dağılımları Şekil 4.9’da görülmektedir. Yüzeyde farklı bölge ve büyüklüklerde lekeler, pütürler ve çukurlar yer almaktadır. Topuk sağ ve sol yüzeylerinin görüntüleri birbirine benzerdir ve topuk üst bölgesinde herhangi bir düzensizlik görülmemektedir.



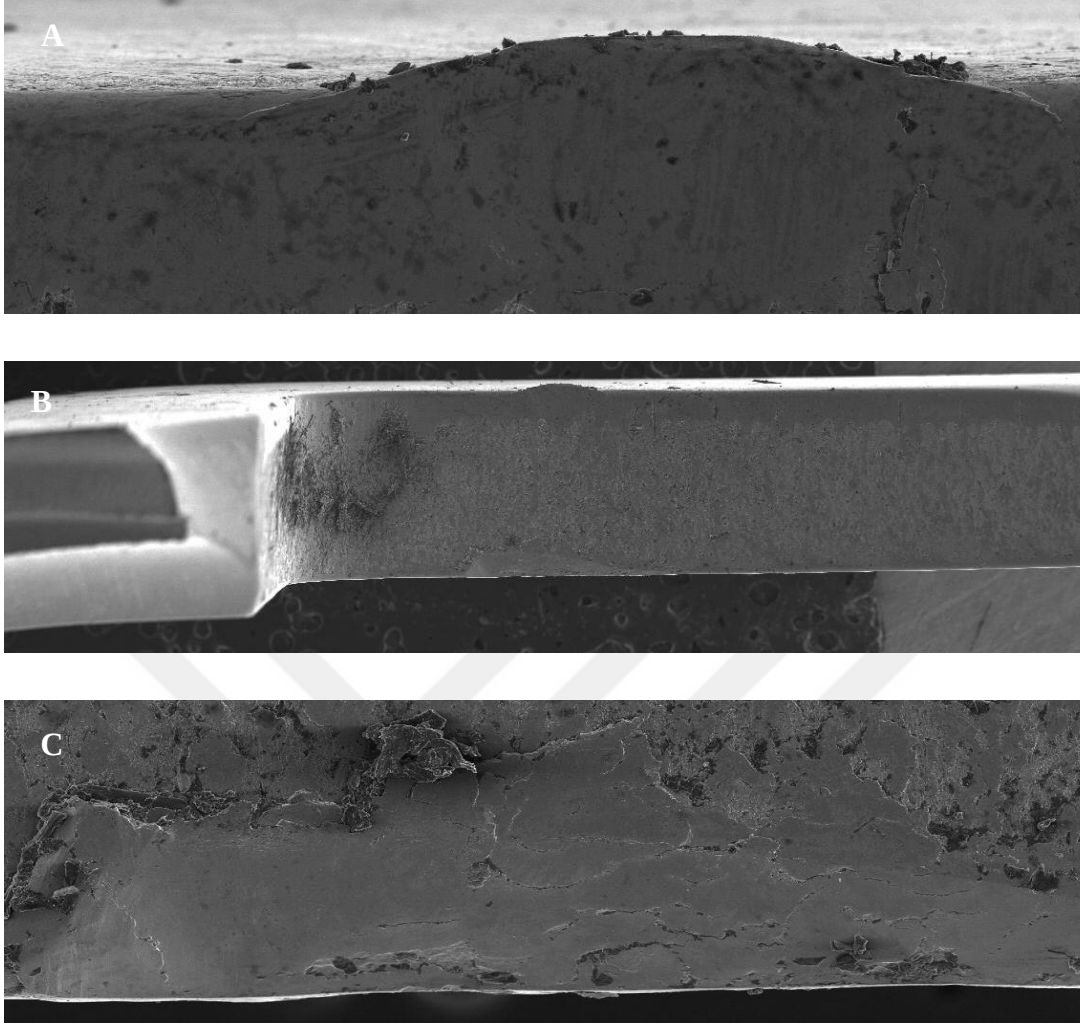
Şekil 4.9 : Kullanılmamış iğne topuğunun üst yüzey görüntüsü: A- Sol yanal yüzey 100x, B- Genel görünüş 10x ve C-Sağ yanal yüzey 100x.

Şekil 4.10-12 ayrıntılı olarak incelendiğinde, makinenin yaptığı tekrar sayısı arttıkça iğne topuğunun kam ile temas halinde bulunduğu üst yüzeyde deformasyon meydana geldiği görülmüştür. Bu deformasyonun özellikle üretilen tekrar sayısının artması ile birlikte daha da belirgin hale geldiği görülmüştür. Ancak şekiller ayrıntılı olarak incelendiğinde topuğun sol ve sağ yanal yüzeylerinde meydana gelen aşınmanın farklı olduğu görülmüştür. Makinenin dönüş yönü tarafında konumlanan sağ yüzeyde ezilme meydana gelirken, sol yüzeyde dışarı doğru kayma eğilimi şeklindedir. Bu sonuç Candan ve Atasü'nün [14] makine yönünün iğnenin farklı yüzeylerindeki aşınma miktarını etkilediği sonucuyla benzerdir. Krasovskii ve arkadaşlarının [133] yaptığı

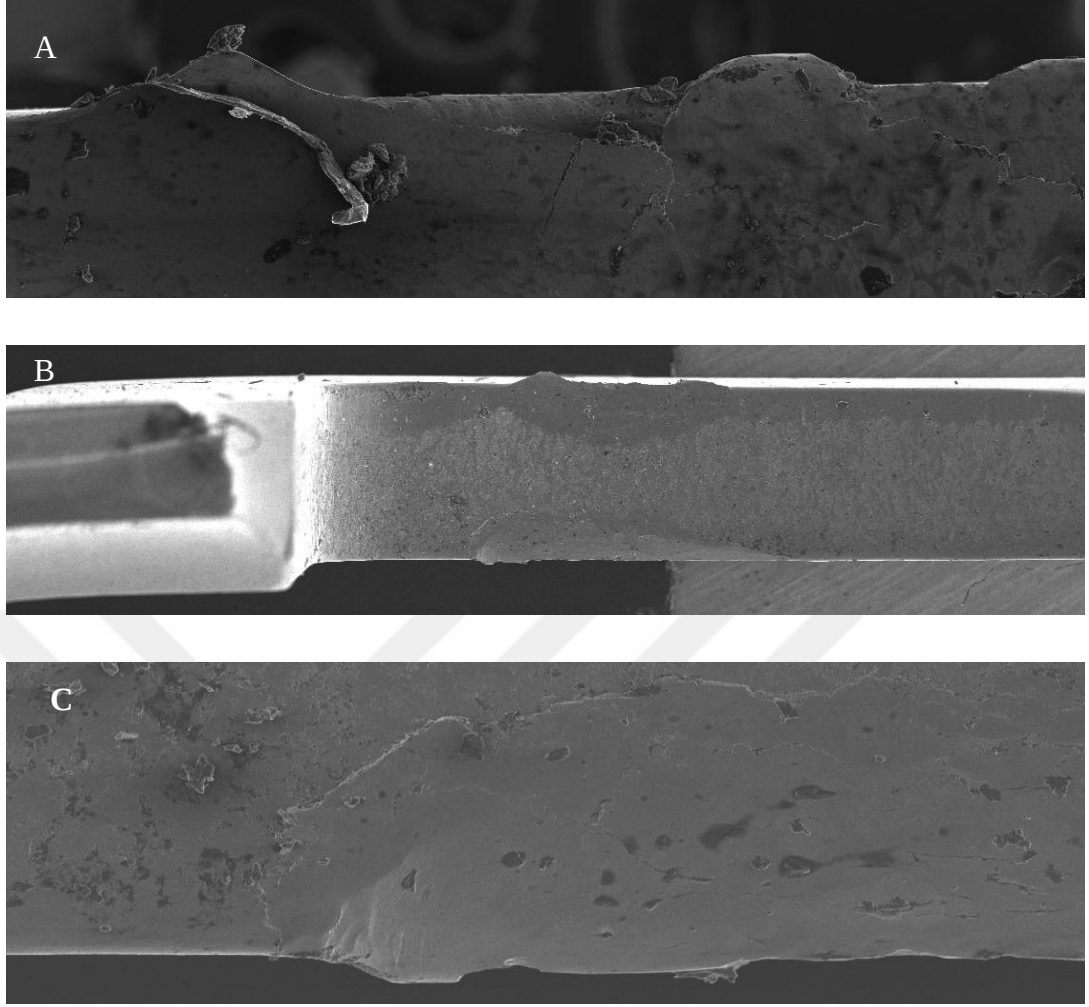
Çalışma sonuçlarına göre de topuktaki kırılmaların tekrarlı quasiatatik veya tek seferik büyük bir darbe sonucunda oluştuğu görülmüştür.



şekil 4.10 : 5.009.201 tekrar sayısı sonrasında iğne topuğunun st yüzey grntş: A- Sol yanal yüzey 100x, B- Genel görünüş 10x ve C-Sağ yanal yüzey 100x.



Şekil 4.11 : 6.337.595 tekrar sayısı sonrasında iğne topuğunun üst yüzey görüntüsü: A- Sol yanal yüzey 100x, B- Genel görünüş 10x ve C-Sağ yanal yüzey 100x.

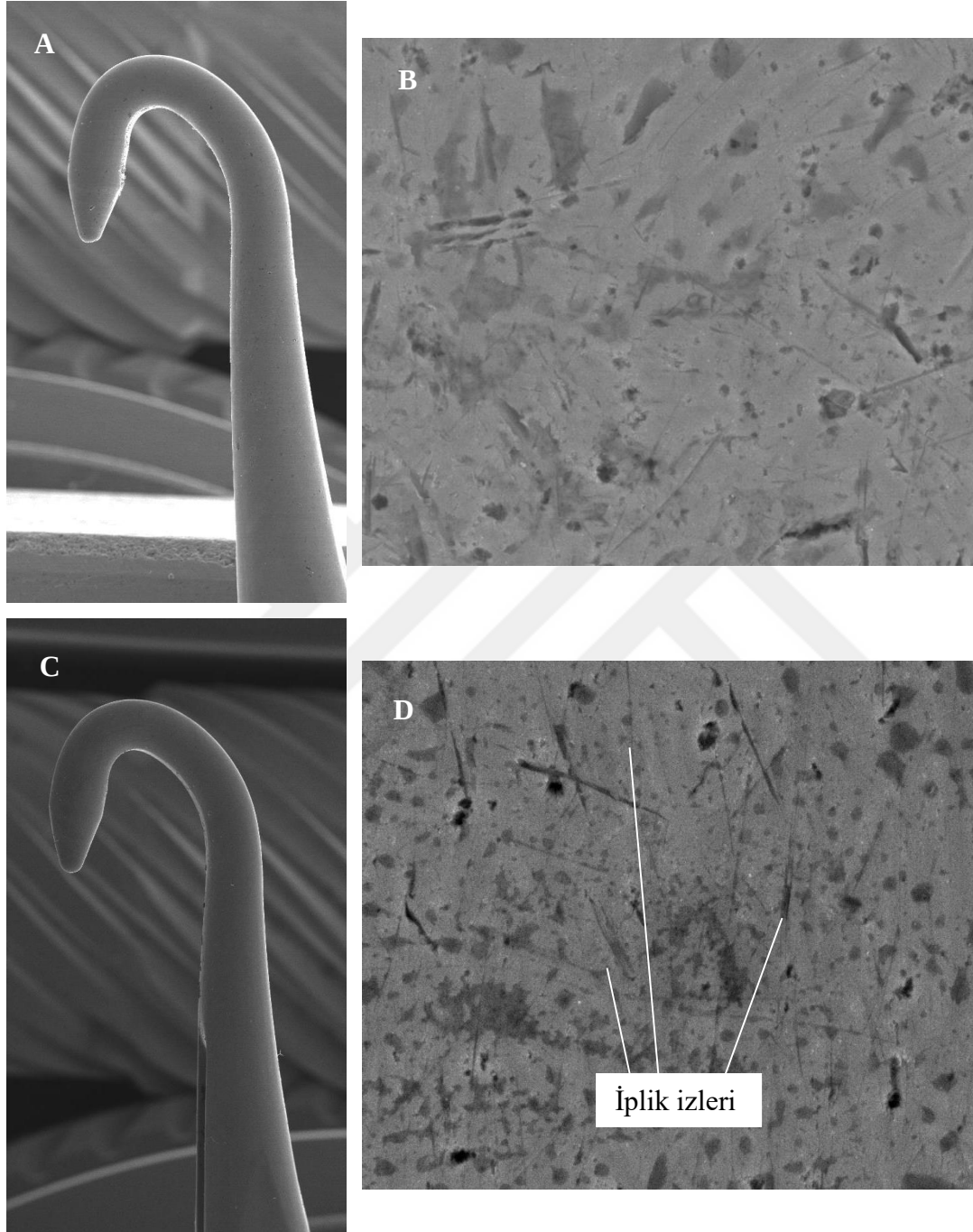


Şekil 4.12 : 13.492.242 tekrar sayısı sonrasında iğne topuğunun üst yüzey görüntüsü: A- Sol yanal yüzey 100x, B- Genel görünüş 10x ve C-Sağ yanal yüzey 100x.

4.5 Kanca Sol ve Sağ Yanal Yüzeylerinin SEM Görüntü Sonuçları

Kullanılmamış iğnelerin kanca bölgesinin sol ve sağ yüzeylerine ait SEM görüntüleri incelendiği zaman yüzeylerinde bulunan iz ve lekelerin dağılımı görülebilmektedir. Farklı boyut ve büyüklüklerde pütürler ve çukurlar yer almaktadır. Kancanın sağ ve sol görüntü yüzeyleri birbirine çok benzemektedir. Şekil 4.13B’de sol yanal yüzeye ait bu izler görülebilir. Farklı iğneler birbirleri ile kıyaslandığı zaman, bu izlerin dağılımı ve büyüklüğü değişebilmektedir. Görüntüler mümkün mertebe ipliğin kanca ile temas halinde bulunduğu noktadan alınmaya çalışılmıştır. 13.492.242 tekrar sayısı sonunda iğne kancasının nasıl bir değişikliğe uğradığı araştırıldığında, beklenen şekilde bir değişim gözlenmemiştir. Şekil 4.14B’de iğne kancasının sol yanal yüzeyine ait 3000x büyütmede rastgele ve çok derin olmayan iplik izlerine rastlanmıştır. Benzer izler sağ

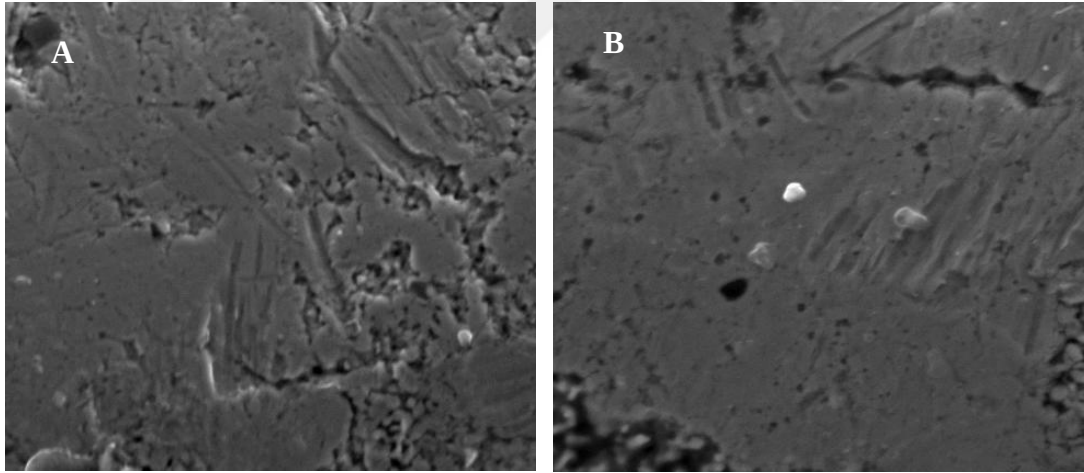
yüzeyde de mevcuttur. Ancak bu devir sonrasında iğne kancasının profilinde dikkate değer bir değişiklik gözlenmemiştir. Şekil 4.14A'da 13.492.242 tekrar sayısı sonunda elde edilen kanca profil görüntüsü verilmiştir.



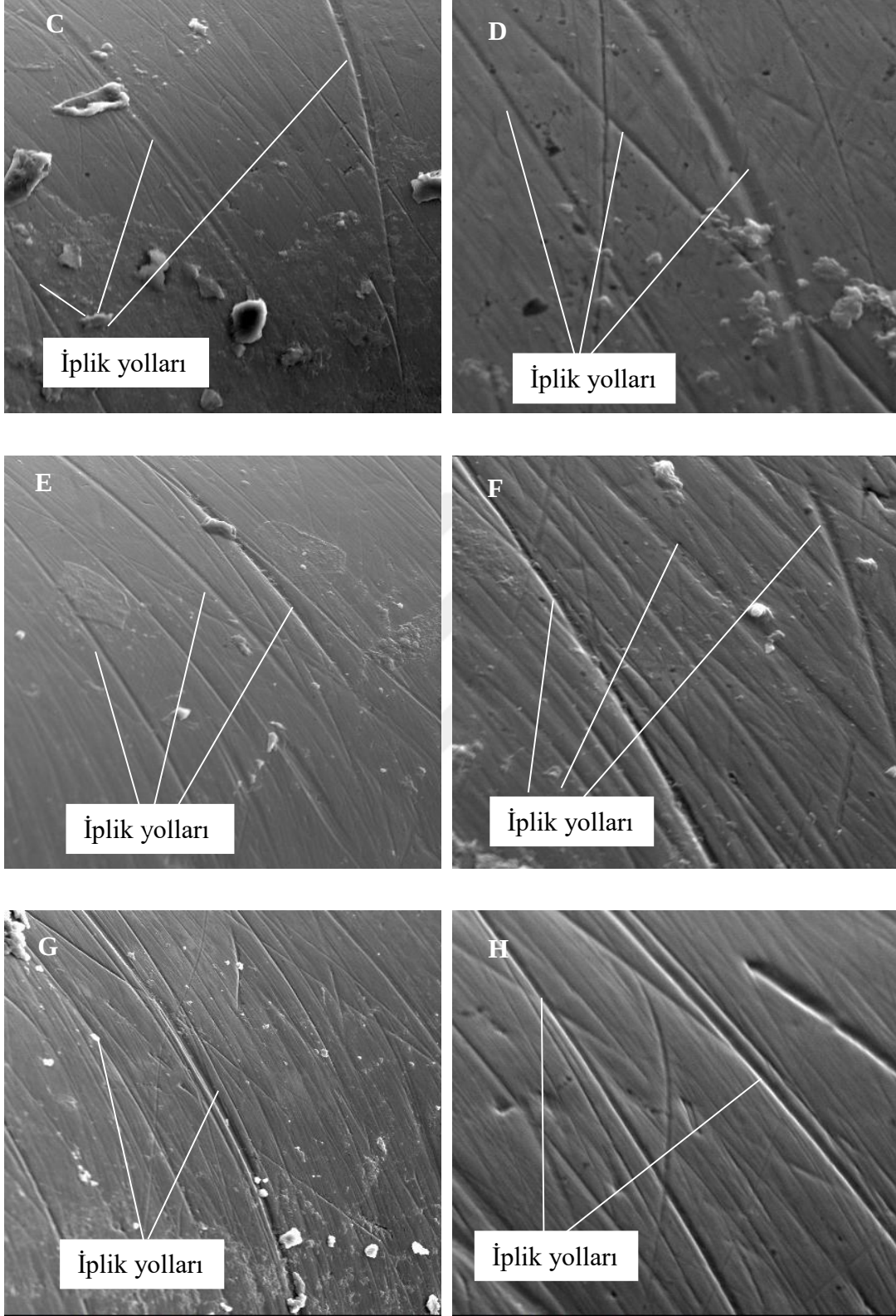
Şekil 4.13 : İğne kancasının sol yanal yüzey görüntüsü: A- 0 tekrar 10X, B-0 tekrar 3000X, C-13.492.242 tekrar 10X ve D-13.492.242 tekrar 3000X.

4.6 Kanca İç Yüzey SEM Görüntü Sonuçları

Kullanılmamış iğnelerin iç yüzeylerine ait farklı büyütmedeki SEM görüntüleri incelendiği zaman diğer yüzeylerde olduğu gibi çeşitli iz ve çukurlar görülmüştür. Ayrıca kanca iç yapısında herhangi derin bir ize rastlanmamıştır. Şekil 4.14A ve B’de bu izler görülebilir. Kullanılmış iğnelerin kanca iç yüzeyleri incelendiğinde ise kullanılmamış iğne yüzeyinde var olmayan çizgisel oluşumların oluştuğu görülmüştür. Bu izlerin ipliğin yeni bir ilmek oluştururken kanca içinde iplik-metal sürtünmesi sonucunda meydana getirdiği iplik yolları olarak değerlendirilebilir. 5.009.201 tekrar sonunda çekilen SEM görüntüsünde iplik yolları belirginleşmeye başlamıştır. Şekil 4.14C ve D’de belirtilen devir sonunda oluşan iplik yolları görülebilir. İğnenin oluşturduğu ilmek sayısı arttıkça, kanca ile iplik arasındaki temas sayısı arttığından dolayı oluşan iplik yollarının sayısı, genişliği ve derinliğinin arttığı görülmüştür. Şekil 4.14E ve F’de 6.337.595 tekrar sayısı sonrasında oluşan iplik yolları görülürken, Şekil 4.14 G ve H’de ise 13.492.242 tekrar sonra iyice belirginleşen iplik yollarının 500x ve 3000x SEM görüntüleri görülebilir.



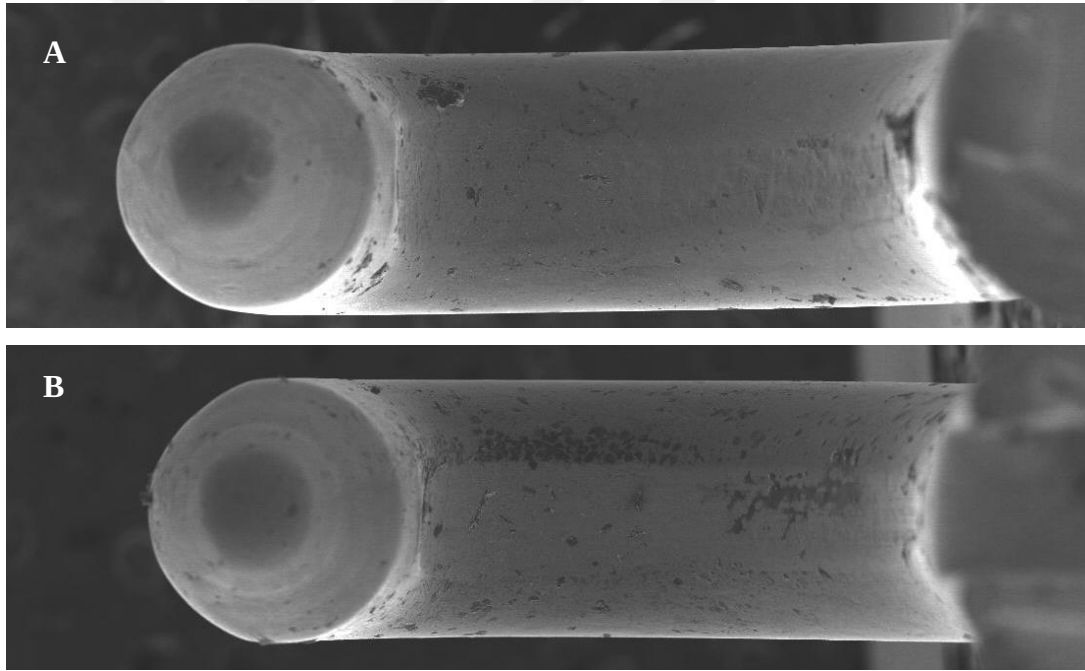
Şekil 4.14 : İğne kancasının iç yüzey görüntüsünün örme işlemi ile değişimi: A-0 tekrar 500X, B-0 tekrar 3000X, C- 5.009.201 tekrar 500X, D- 5.009.201 tekrar 3000X, E- 6.337.595 tekrar 500X, F- 6.337.595 tekrar 3000X, G- 13.492.242 tekrar 500X ve H- 13.492.242 tekrar 3000X.



Şekil 4.14 (devam) : İğne kancasının iç yüzey görüntüsünün örme işlemi ile değişimi: A-0 tekrar 500X, B-0 tekrar 3000X, C- 5.009.201 tekrar 500X, D- 5.009.201 tekrar 3000X, E- 6.337.595 tekrar 500X, F- 6.337.595 tekrar 3000X, G- 13.492.242 tekrar 500X ve H- 13.492.242 tekrar 3000X.

Open-end ipliklerin yüzeyinde, diğer ipliklere göre daha fazla toz bulundurma eğilimi vardır. İplik yapısında bulunan bu mikro tozlar, ipliği daha da aşındırıcı hale getirirler ve iğnenin aşınmasını hızlandırırlar. Ayrıca open end iplik yapısını oluşturan sarmal lifler, iplik kanca ile temas ettiği zaman enlemesine bir sürtünme oluşturarak iğne kancasının aşınmasını hızlandırırlar [5, 7].

Üsteki sonuçlardan bağımsız olarak iğne kancasının iç yüzeyinin genel olarak örme işleminden nasıl etkilendiği irdelendiğinde, örülen ilmek sayısı arttıkça, kanca yüzeyinin yuvarlak yapısının gitgide aşınarak dikdörtgen bir şekle dönüştüğü görülmüştür. Bu değişim Şekil 4.15’de görülebilir. Böyle bir sonucun ortaya çıkmasında, yüksek oranda yabancı madde ve toz bulunduran open-end ipliğinin ilmek oluştururken, kanca iç yüzeyini zımparalayarak geçmesi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ortaya çıkan zımparalama etkisini, open-end ipliği oluşturan sarmal liflerin aşınmayı artırdığı düşünülmektedir.



Şekil 4.15 : İğne kancasının iç yüzey görüntüsünün örme işlemi ile değişimi 30X için A-0 tekrar ve B- 13.492.242 tekrar.



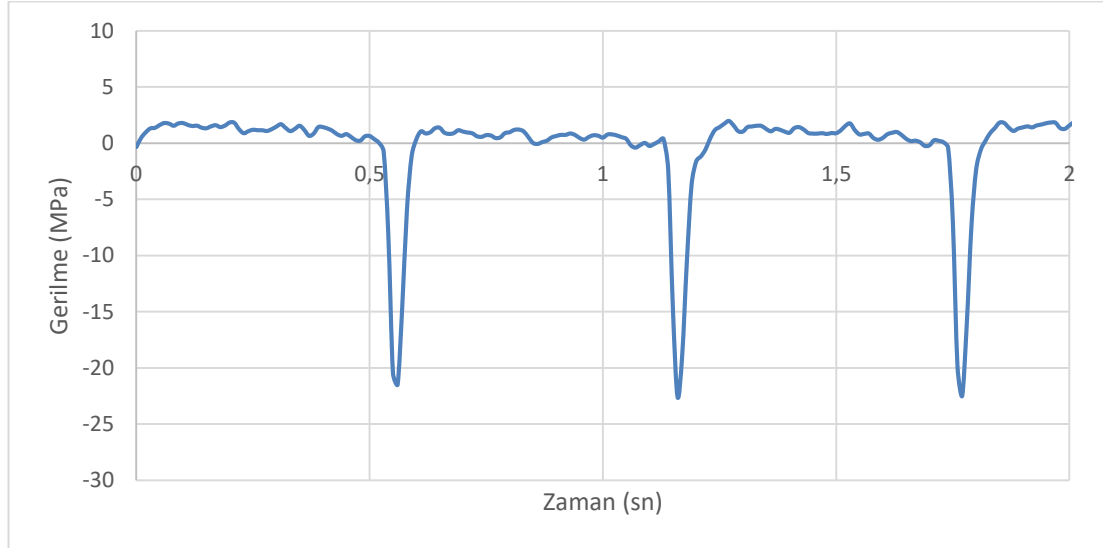
5. GERİNİM ÖLÇER SONUÇLARI ÜZERİNDEN YORULMA TAHMİNİ

5.1 Gerinim Ölçer Sonuçları

Bölüm 3.1’de detaylı olarak açıklanan sistemden, 100 dev/dak makine hızında ve 100 Hz’de gerinim ölçer (strain gage) ile iğnenin pim kısmından tekrarlı ölçümler alınmıştır. Buna göre iğnelerin normal çalışma şartları altında, zamana karşı birim şekil değişimi değerleri Catman yazılımı ile bilgisayara kaydedilmiştir. Elde edilen bu veriler, daha sonra denklem 5.1 ile gerilme-zaman verisine dönüştürülmüştür.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (5.1)$$

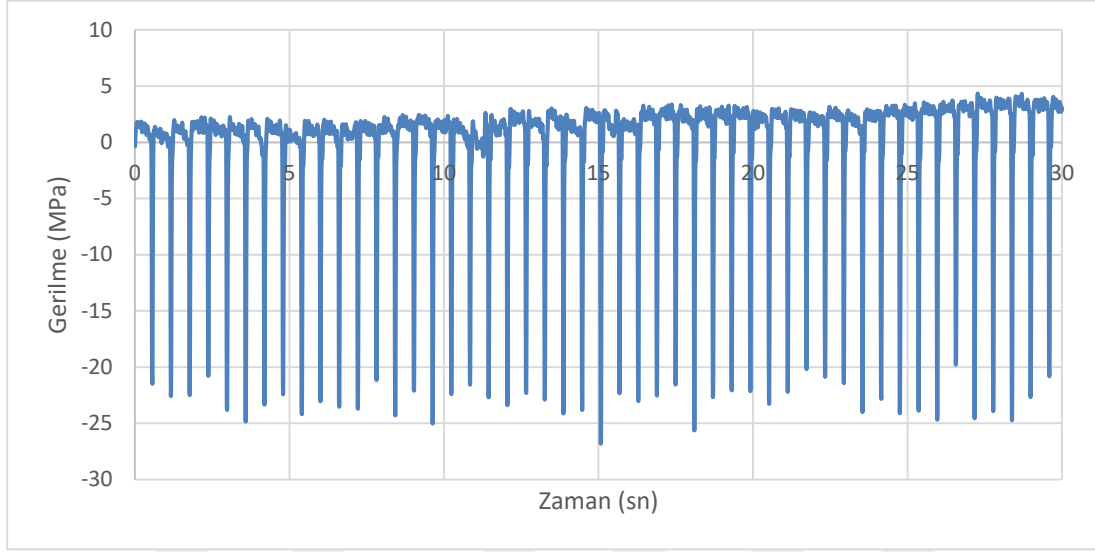
İğnenin pim bölgesinden ölçüm esnasında anlamlı 10.121 veri toplanmıştır. Bu da bir iğnenin yaklaşık 168 turuna karşılık gelmektedir. Elde edilen değerlerin 5 ile -27 MPa arasında salınım yaptığı görülmüştür. Şekil 5.1’de iğnenin pim bölgesine ait 2 saniyelik gerilme veri grafiği görülmektedir. Burada x eksenini zamanı, y eksenini gerilme (MPa) değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.1 : İğnenin pim bölgesine ait 2 saniyelik gerilme veri grafiği.

Şekil 5.2’de ise 30 saniyelik gerilme veri grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, hemen hemen sabit olan yatay çizgi etrafında küçük titreşimler ve büyük pikler (ani

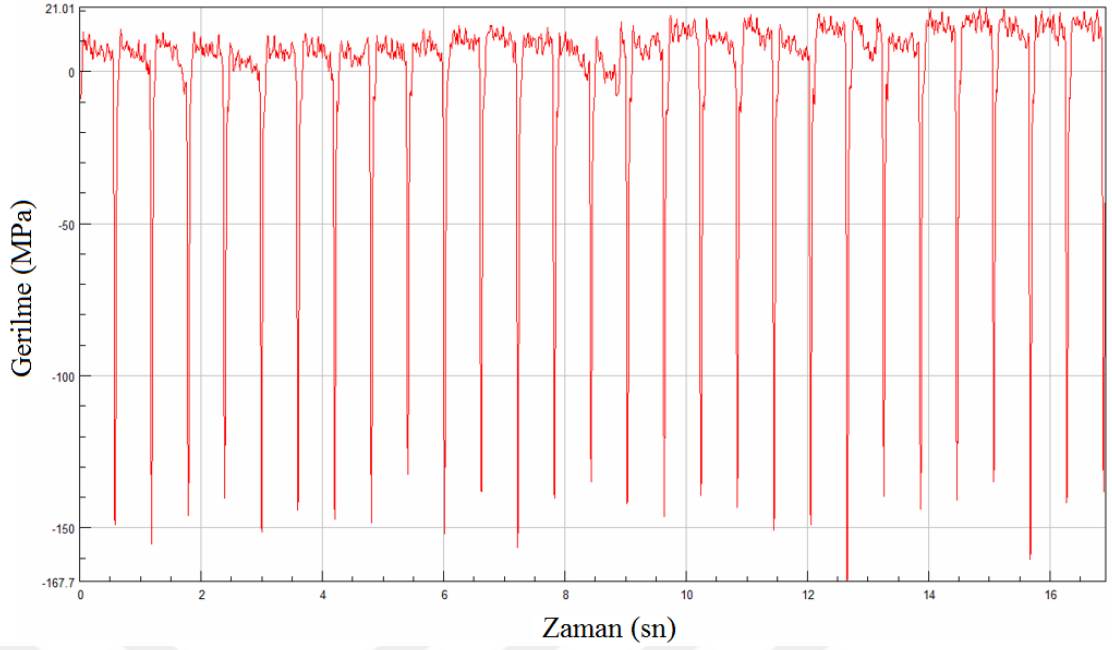
sapmalar) görülmektedir. Elde edilen büyük piklerin iğnenin ilmek aşırma pozisyonunda ortaya çıktığı anlaşılmıştır.



Şekil 5.2 : İğnenin pim bölgesine ait gerilme veri grafiği.

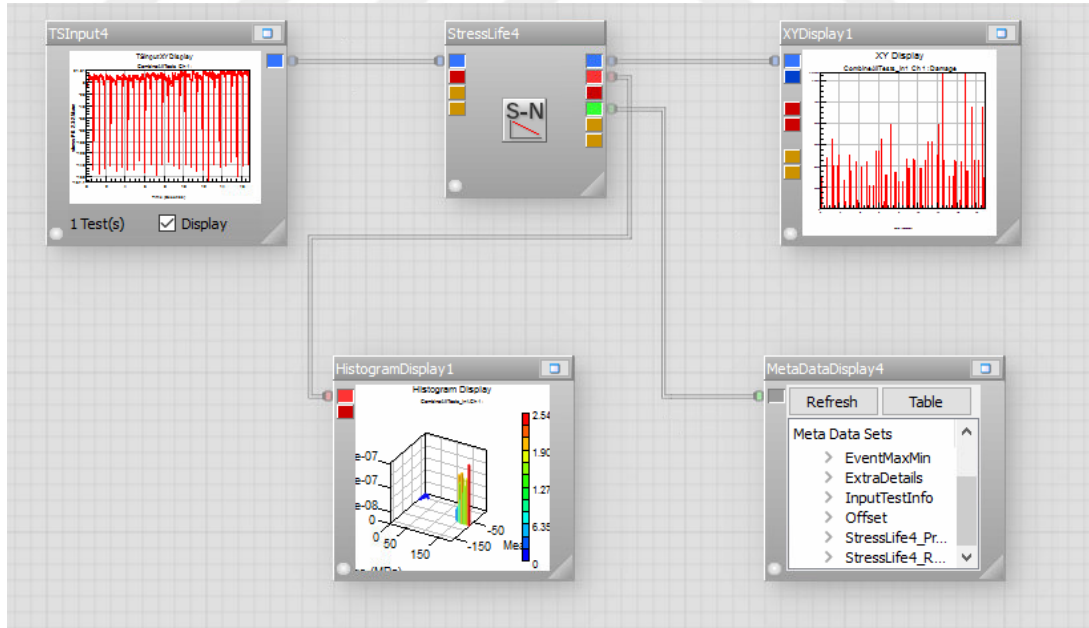
5.2 nCode Yorulma Sonuçları

Bölüm 4.1’de ayrıntılı bir şekilde anlatıldığı üzere iğne, 10.042.072. sıra sonunda pim bölgesinden kırılarak hasara uğramıştır. İğne profilinin karmaşık ve eğrisel yüzeye sahip olmasının yanı sıra iğne dilinin de bu noktada iğne gövdesine yerleştirilmiş olması, ilk hasara uğrayan bu yüzeyden gerinim ölçer ile veri alınmasını engellemiştir. Dolayısıyla, bu noktaya mümkün olan en yakın yüzeye gerinim ölçer yerleştirilmiştir. Öte yandan, iğne ömrünün hesaplanabilmesi için iğnenin hasara uğradığı yüzeyin gerilme değerlerine ihtiyaç vardır. Bu nedenle, sonlu elemanlar programı ile oluşturulan gerçek sistem modeli kullanılarak mukayeseli kırılma yüzeyi gerilme değerleri elde edilmiş ve yaklaşık altı katlık bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, model üzerinde her iki bölge arasındaki gerilme farklılıkları oranı gerinim ölçer sonuçlarına yansıtılmış ve böylelikle kırılan alanın gerilme değerleri ampirik olarak hesaplanabilmiştir. Elde edilen bu yeni veri seti nCode Glyphworks programına tanımlanmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.3 : nCode programına tanımlanan gerilme verisi (MPa).

Belirtilen veriler, akış şeması Şekil 5.3’de görüldüğü şekilde değerlendirilmiştir. Burada iğne, kam ve silindir malzeme verileri Bölüm 3.1.3.3’de açıklandığı şekilde sisteme tanıtılmıştır.

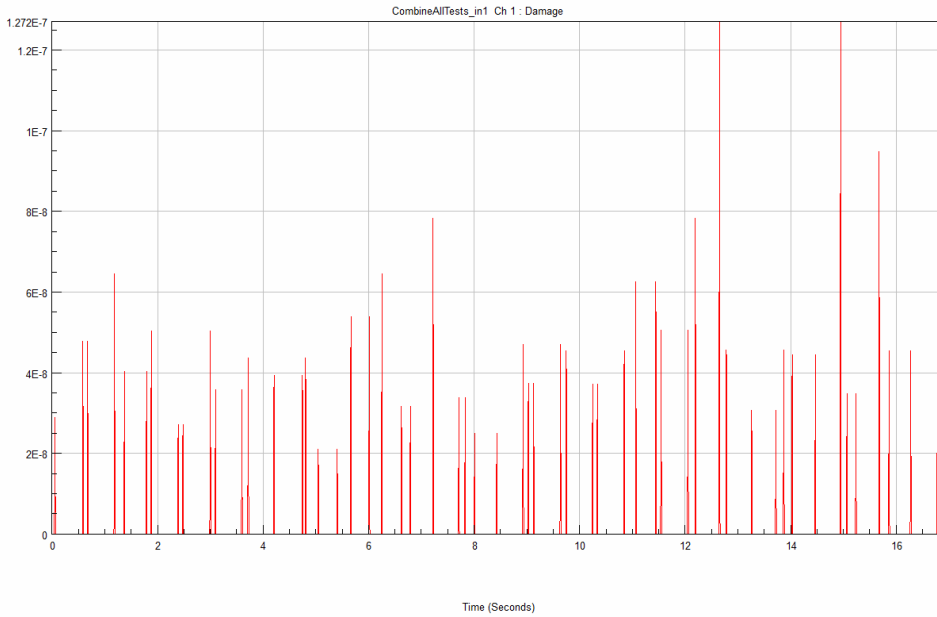


Şekil 5.4 : nCode programının blok diyagramları.

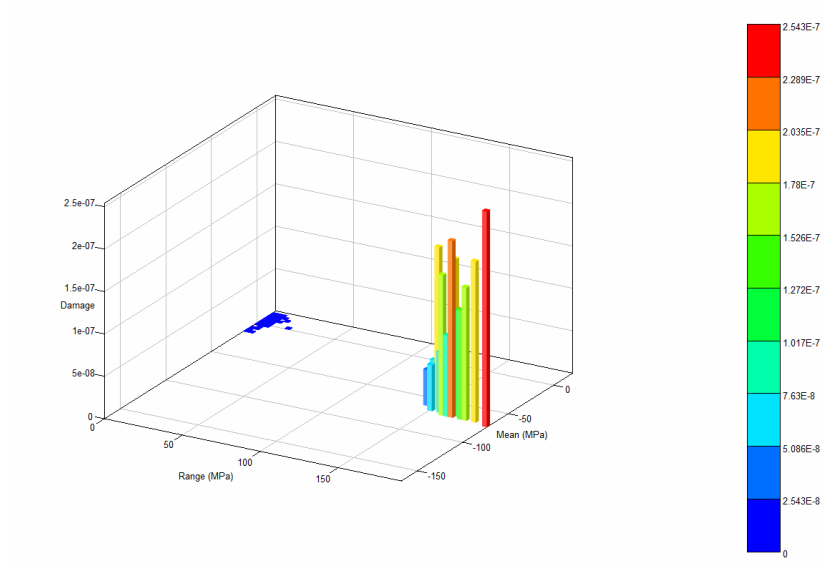
Yapılan nCode yorulma analizine göre sistem $3,776 \cdot 10^5$ çevrime dayanabilmektedir ve programa beslenen veri sayısı 29’dur (Şekil 5.3). Dolayısı ile gerinim ölçer sonuçlarından yola çıkarak elde edilen sonuç, iğnenin 10.950.400 çevrim sonucunda yorulularak hasara uğrayacağı şeklindedir. İğne malzemesinin gerçek değerleri üretici

tarafından gizlilik kapsamında verilmemiştir. Bu nedenle programa tanımlanan iğne malzeme değerleri çekme sonucunda elde edilen değerler üzerinden Bölüm 3.1.2.2’de açıklandığı gibi ampirik olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, deneysel ölçüm sonucunda elde edilen ömür ile gerinim ölçer yardımıyla alınan ölçüm doğrultusunda nCode programından elde edilen sonuçlar arasında % 9,04’lük bir fark bulunmaktadır. Bu sapma değerinde, ölçüm sırasında sistemde mevcut gürültü ve çevre etkileride etkili olmuştur. Literatürdeki ömür tayinindeki doğruluk oranları dikkate alındığında bu sonuç çok başarılıdır.

Zamana ve gerilmeye bağlı hasar veri grafikleri (Şekil 5.4 ve 5.5) incelendiğinde meydana gelen hasarda, düşük gerilme değerlerinin sayıca fazla olmasına rağmen önemli etkisinin olmadığı, diğer taraftan sayıca çok daha az olan ve ilmek aşırma pozisyonunda ortaya çıkan yüksek gerilmelerin ise daha etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 5.5 : Zamana bağlı hasar veri grafiği.



Şekil 5.6 : Gerilmeye bağlı hasar veri grafiği.

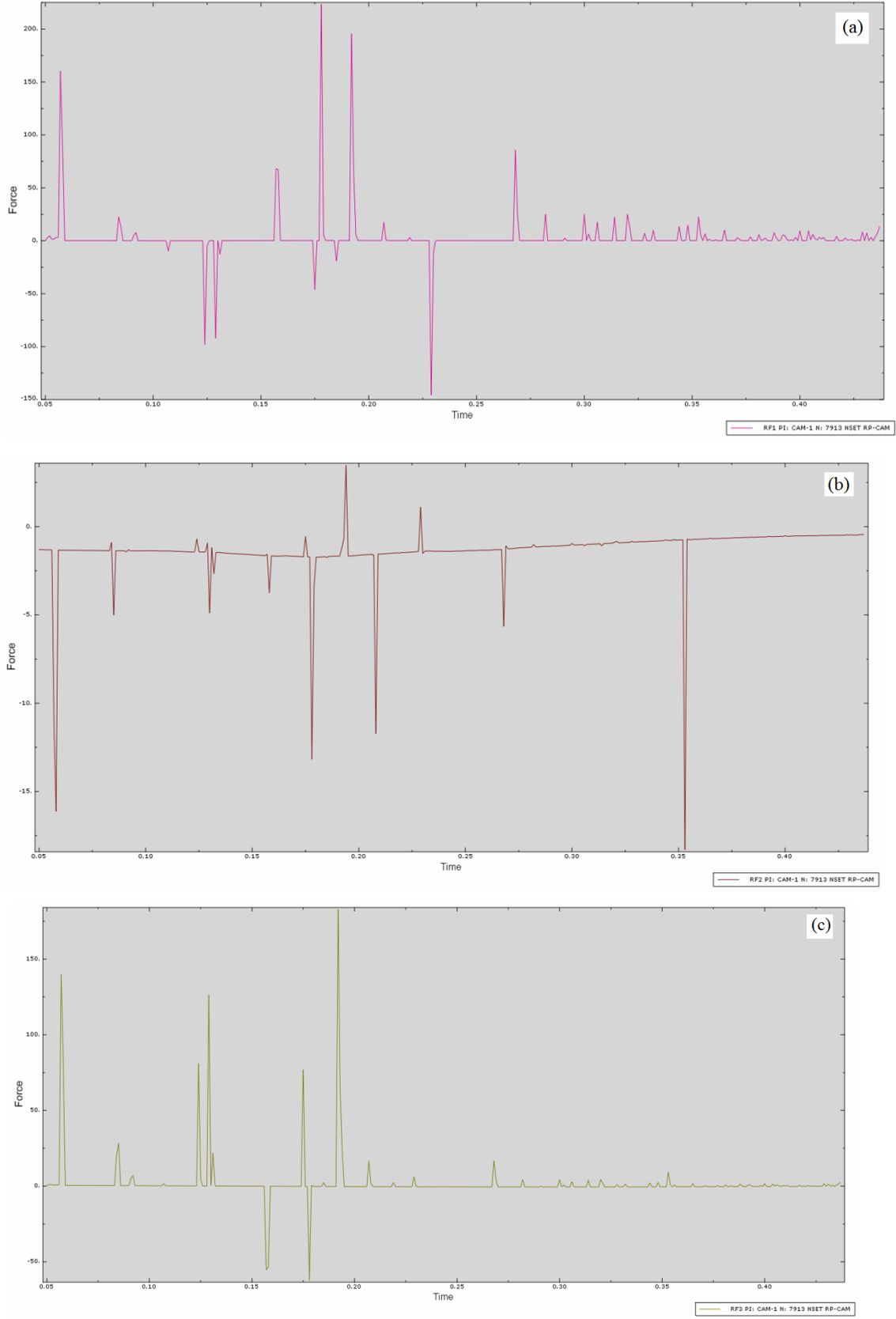


6. SONLU ELEMENLAR MODELİ ÜZERİNDEN YORULMA TAHMİNİ

6.1 Sonlu Elemanlar Modeli Sonuçları

Günümüzde sonlu elemanlar yöntemi, deneysel çalışmaların yüksek maliyet, sınırlı tekrarlanabilirlik gibi bilinen dezavantajları dolayısıyla önemli bir araç haline gelmiştir. Büyük ve karmaşık modellerin sonlu elemanlar analizleri için gerekli tasarım aşamalarının tamamlanması her ne kadar yorucu bir süreç olsa da, deneysel çalışmalarla tutarlı sonuçlar veren bir sonlu elemanlar modelinin tasarım ve ürün geliştirme aşamalarında, alternatif veri girişlerine kolaylıkla cevap verecek esneklikte olması ve çok daha düşük maliyetler ile tekrarlanabilirliği bu yöntemin önemini arttırmaktadır [134]. Bu noktadan yola çıkarak, yuvarlak örme makinelerinde kullanılan iğnelere kumaş üretimi esnasında etkileyen kuvvetler, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Oluşturulan dinamik/explicit sonlu elemanlar modeli Bölüm 3.1.3.3’de ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

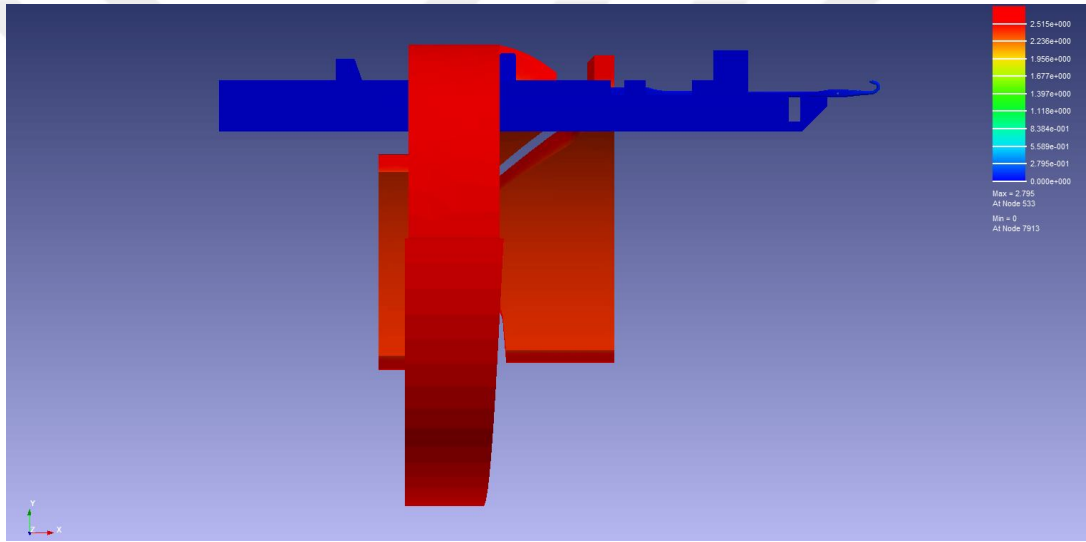
Şekil 6.1’de 100 dev/dak makine hızı 3 cN iplik kuvveti ve 2,5 N kumaş kuvveti koşullarındaki iğne ile kam arasındaki reaksiyon kuvveti ilişkisi görülmektedir. Buna göre, kamın silindir etrafında dönüşü sırasında iğne, kam profilini takip etmiş ve dönüş hızının da etkisi ile çeşitli aralıklarla sıçrama hareketi gerçekleştirmiştir. İğnenin kam ile tekrar temasa geçtiği noktalarda yüksek reaksiyon kuvvetleri meydana gelmiştir. Ortaya çıkan kuvvetlerin özellikle düşey yönde daha anlamlı ve yüksek değerler olduğu görülmüştür.



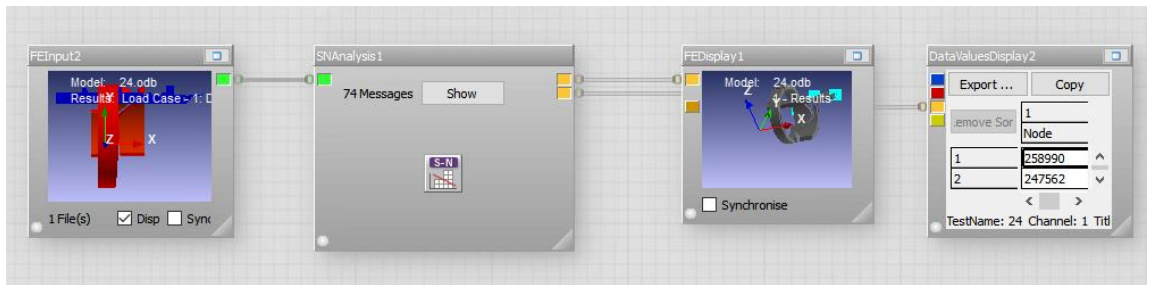
Şekil 6.1 : İğne ile kam arasında ortaya çıkan reaksiyon kuvvetleri: a-x yönünde, b-y yönünde ve c-z yönünde.

6.2 nCode Yorulma Sonuçları

Sonlu elemanlar analizlerinden çıkan sonuçların ve ön tahminlerin doğruluğu gittikçe önem kazanmakla beraber ürünün rekabet edecek seviyeye gelmesinde de pay sahibidir. Ayrıca sonlu eleman analizlerinin, yorulma ve dayanıklılık testleri için kullanılması da gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır [16]. Bu noktadan yola çıkarak, Bölüm 6.1’de elde edilen sonlu elemanlar model sonuçları nCode Designlife yorulma programına aktarılarak sanal yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonlu elemanlar modeli (Şekil 6.2), akış şeması Şekil 6.3’de görüldüğü şekilde değerlendirilmiştir. Burada iğne, kam ve silindir malzeme verileri Bölüm 3.1.3.3’de belirtildiği şekilde sisteme tanıtılmıştır.

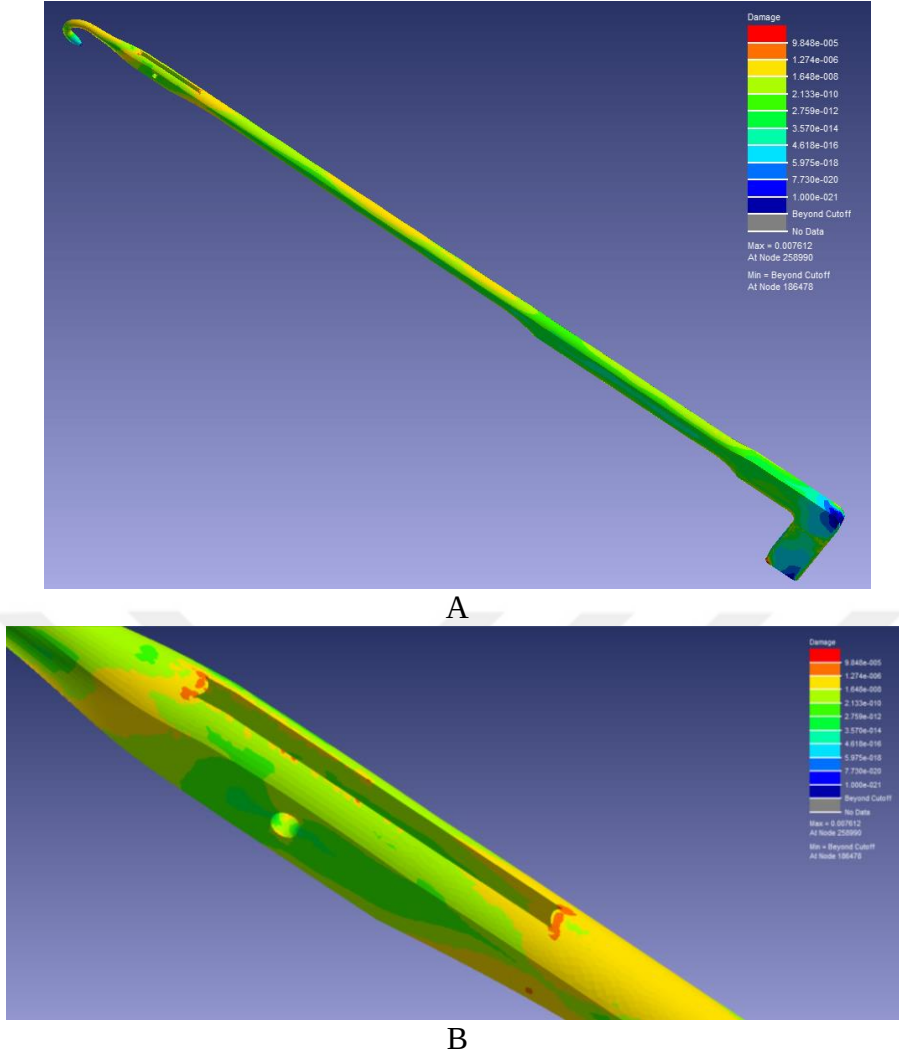


Şekil 6.2 : nCode programına sonlu elemanlar modelinin tanıtılması.



Şekil 6.3 : nCode yazılımı blok diyagramları

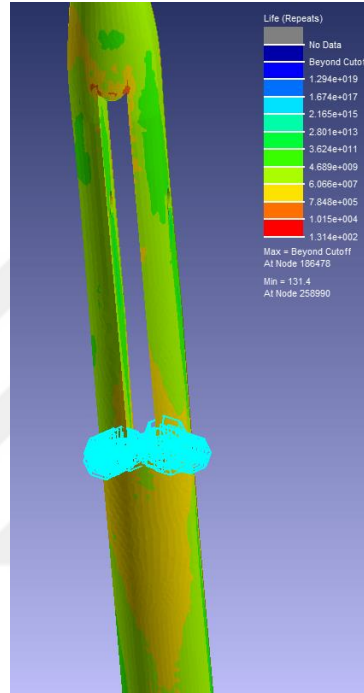
Gerçek zamanlı deney düzeneğinden elde edilen sonuçlara göre, iğnenin 10.950.400 tekrar sayısı sonrasında yorulmuş pim bölgesinden kırıldığı sonucu elde edilmiştir. nCode ile yapılan sanal yorulma sonuçlarına göre de iğnede meydana gelen en büyük hasarın pim kısmında meydana geldiği görülmüştür (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 : A-İğnede meydana gelen hasar ve B-Kırılmanın gerçekleştiği bölgenin yakından görünümü.

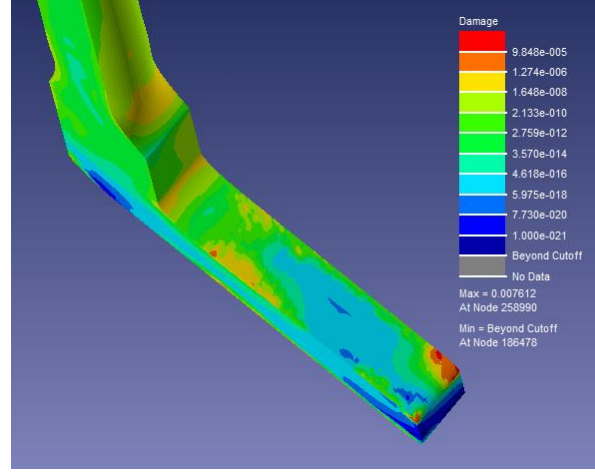
Elde edilen bu veriler ışığında, bahsi geçen kırılma bölgesinin yorulma ömrünün ne olduğu araştırılmıştır. Bu doğrultuda, deneysel çalışma sonucunda kırılan ve sanal analiz sonucunda en fazla hasara uğrayan bölgeden ömür verileri toplanmıştır (Şekil 6.5). Buna göre, sonlu elemanlar yöntemi analizi sonucunda nCode programında yapılan sanal yorulma analize göre iğnenin 11.464.940 tekrar sayısı yorulma ömrüne sahip olduğu bulunmuştur. Yapılan deneysel çalışmaya göre iğne 10.950.400 tekrar sayısı yorulma ömrüne sahip olduğu tespit edilmişti (Bölüm 4.1). Buna göre her iki analizden elde edilen sonuçlar aynı olmamakla birlikte benzerlik gösterdiği ve aralarında % 14,17’lik bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Literatürdeki yorulma ömrü konusundaki sonuçlar (ortalama % 20 mertebesinde) dikkate alındığında, elde edilen bu sonuç çok başarılıdır. Yorulma ve yapısal analiz sonuçların doğruluğu, çalışmada kullanılan bilgilerin doğruluğu ile direkt olarak ilgilidir. Sağlıklı sonuçlar elde

edilebilmesi için malzeme özelliklerinin ve yükleme koşullarının mümkün mertebe modele doğru tanıtılması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan iğneye ait malzeme bilgilerinin Bölüm 3.1.2.2 ve 3.1.3.3’de ayrıntılı olarak açıklandığı üzere ampirik olarak hesaplanmış olması, ayrıca mevcut yuvarlak örme makinesi teknolojisinde, kumaş çekim kuvvetinin doğrudan ölçülememesi nedeniyle literatürde verilen yaklaşık değerler esas alınarak çalışmada kullanılmasının [66] ortaya çıkan bu farkta etkisi olduğu düşünülmektedir.

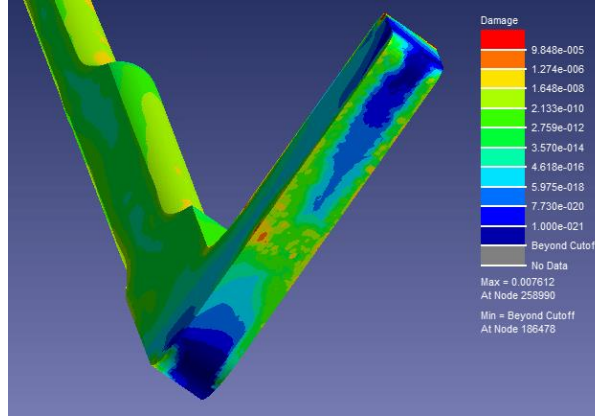


Şekil 6.5 : Kırılma yüzeyinden ömür tayini.

Son olarak, Bölüm 4.4’de yer alan iğne topuk profilinin üst yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde, çevrim sayısı arttıkça iğne topuğunun kam ile temas halinde bulunduğu üst yüzey profilinde deformasyon meydana geldiği ve bu deformasyonun özellikle tekrar sayısının artması ile birlikte daha da belirginleştiği tespit edilmişti. Şekil 6.6’da yer alan nCode programında yapılan sanal yorulma sonucunda iğne topuk üst ve alt profil yüzeylerine ait hasar oranları incelendiğinde, elde edilen hasar görüntülerinin, SEM görüntüleri ile benzer olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu durum gerçekleştirilen analizlerin doğruluğunu teyit etmektedir.



A



B

Şekil 6.6 : A-Topuk üst yüzey hasar profili ve B- Topuk alt yüzey hasar profili.

DeneySEL çalışma ve sonlu elemanlar modeli sonuçlarının benzerliğinden yola çıkarak, sonlu elemanlar analizi yardımıyla farklı üretim şartları için optimizasyon çalışmalarının gerçekleştirilebileceği söylenebilir. Böylelikle, düşük maliyet ve kısa zaman aralıklarında, olası iğne hasarları sonucunda oluşabilecek sorunların önüne geçilebilir.

7. ÇEŞİTLİ MAKİNE VE İPLİK PARAMETRELERİNİN İĞNE HAREKETİNE ETKİSİ

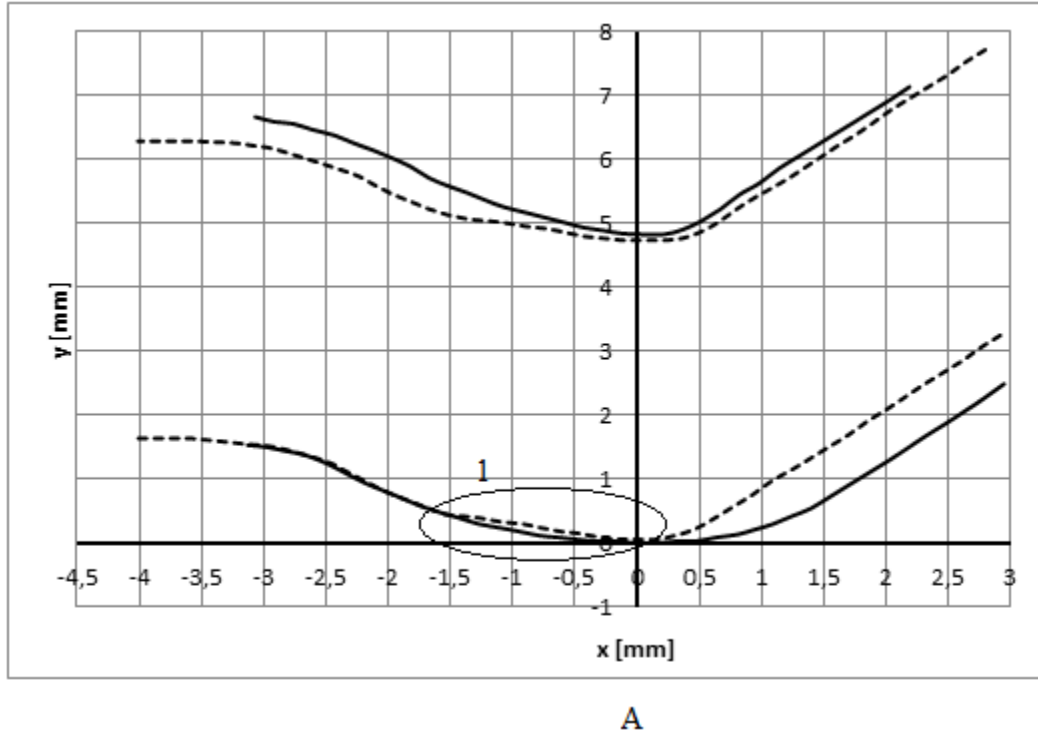
Çalışmanın bu bölümünde iğnenin gerçek zamanlı hareketinin, sanayi tipi makinesinde incelenmesiyle elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Çalışmanın bu kısmı RWTH Aachen Üniversitesi ITA Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında, E24 incelikte 30" çapta 90 beslemeli Beck Gmbh yuvarlak örme makinesi ile çalışılmış ve iğne hareketinden veri toplayabilmek için OLYMPUS i-SPEED 3 yüksek hızlı kamera ile ölçüm alınmıştır. Üretim prosesinde iğne dinamiğine iplik ve lif tipinin nasıl etkilediğini araştırmak için %100 ring pamuk ve %100 tekstüre polyester iplik ile çalışılmıştır. Aynı zamanda; makine hızı, iplik gerginliği ve elastanın da iğne hareketine etkilerini araştırmak amacıyla, bu parametrelerin Çizelge 3.10'da ayrıntılı şekilde görülen kırk sekiz farklı kombinasyonunun sonuçları irdelenmiştir.

7.1 İplik Gerginliği ve Makine Hızının Etkisi

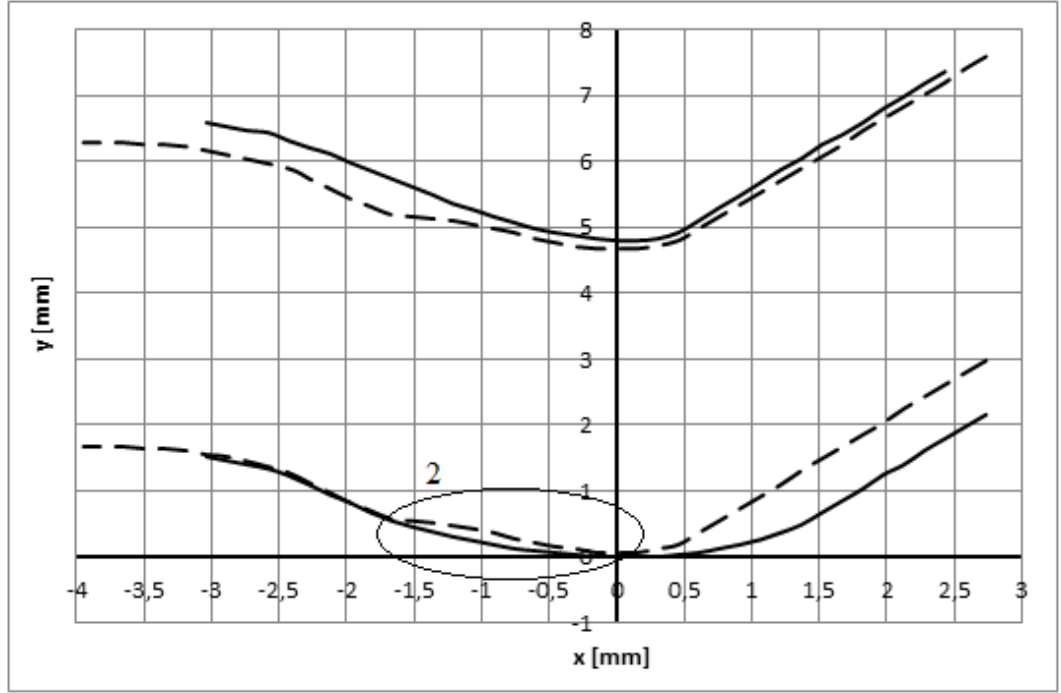
7.1.1 % 100 Pamuk

%100 pamuk ring ipliği ile 15 dev/dak makine hızında çalışıldığı zaman, iplik gerginliğinin artırılmasının iğne hareketini önemli oranda değiştirdiği görülmüştür. İplik gerginliğinin artırılması ile birlikte iğnenin hem kat ettiği mesafe hem de yükseklik artmıştır. Bu etki özellikle 3cN ile 9 cN iplik gerginliğine sahip iğnelerin hareketleri karşılaştırıldığı zaman daha belirgin bir hal almıştır. 3 cN ile 6 cN iplik gerginliğine sahip iğnelerin hareketleri arasında bir fark gözlenirken, 6 cN ile 9 cN iplik gerginliğine sahip iğnelerin hareket eğrileri aralarında ise önemli bir farkın olmadığı görülmüştür. Örneğin, 3 cN iplik gerginliğinde iğne x eksenini doğrultusunda 1,5 mm ve y eksenini doğrultusunda 0,4 mm yer değiştirirken, 9 cN iplik gerginliğinde çalışıldığı zaman hareketinin anılan eksenler doğrultusunda sırasıyla 1,65 mm ve 0,6 mm olarak değiştiği gözlenmiştir (Şekil 7.1 A1 ve B2). İplik gerginliğinin artırılmasıyla, iğne kancasında iğne hareketine zıt yönde etki eden iplik kuvveti artmakta ve bunun sonucunda da iğne daha fazla yer değiştirme göstermektedir. İplik gerginliğinin iğne hareketine etkisi istatistiksel olarak araştırıldığında; ANOVA

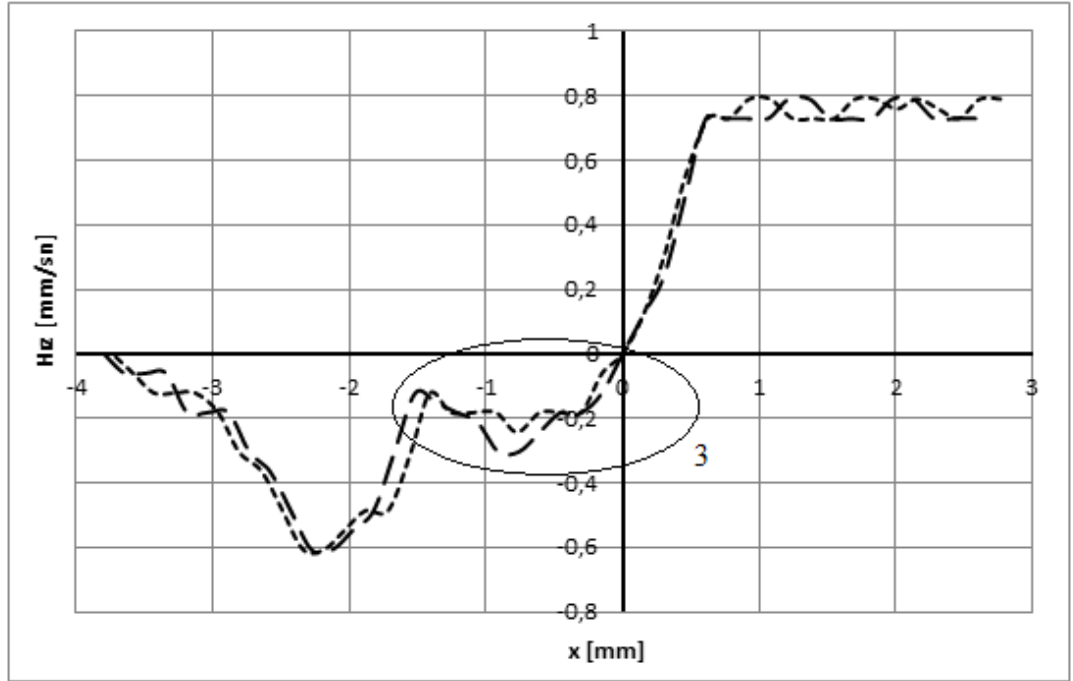
sonuçlarına göre % 95 güven aralığında, her iki eksen doğrultusunda iğne yer değiştirmesinin anlamlı olarak farklı olduğu görülmüştür (x: $F=325,000$ $p=0,000$; y: $F=400,000$ $p=0,000$). Farklı gerginliğe sahip iğnelerin, geri besleme bölgesindeki hızları karşılaştırıldığında; daha fazla yer değiştiren, yüksek gerginliğe sahip iplikle çalışan iğnenin bu bölgedeki hızının, daha az yer değiştiren düşük gerginliğe sahip iplikle çalışan iğneye göre daha fazla olma eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 7.1 C3). Knapton ve Munden [51] yüksek iplik gerginlik değerlerinde, neredeyse ilmek iplik uzunluğunun yarısının diğer iğneye aktarıldığını söylemişlerdir. Knapton [68] iplik gerginliği ve geri besleme arasındaki ilişkiyi araştırdığı çalışmasında ise düşük iplik gerginliklerinde çalışıldığında, örme bölgesindeki iğnenin sadece yanındaki bir iğneden iplik çekerken; yüksek gerginliklerde çalışıldığında iğnenin her iki komşusundan da iplik çektiği sonucuna varmıştır. İplik gerginliğinin artırılması ile birlikte iğnenin geri besleme bölgesindeki hızı ile ilgili elde edilen bu sonuçlar literatür bulguları ile uyum göstermektedir [51, 68].



Şekil 7.1 : 15 dev/dak hızda % 100 pamuk ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.



B



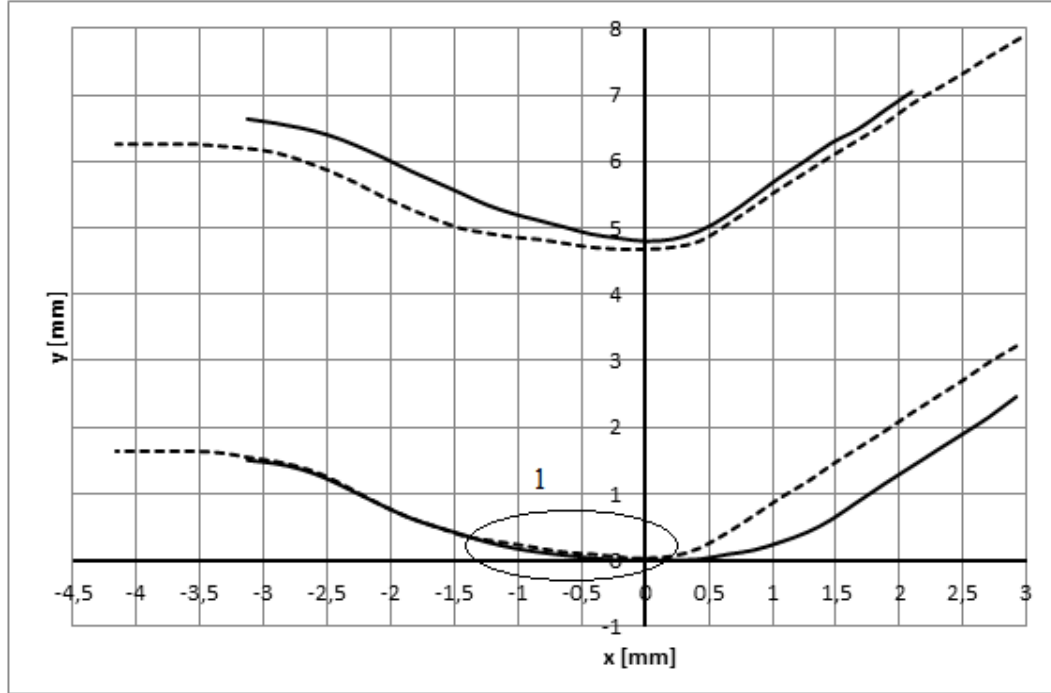
C

————— İlmek kamı ————— Rehber kamı
 - - - - - 15 dev/dak 3 cN Pamuk - . - . - 15 dev/dak 9 cN Pamuk

Şekil 7.1 (devam) : 15 dev/dak hızda % 100 pamuk ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.

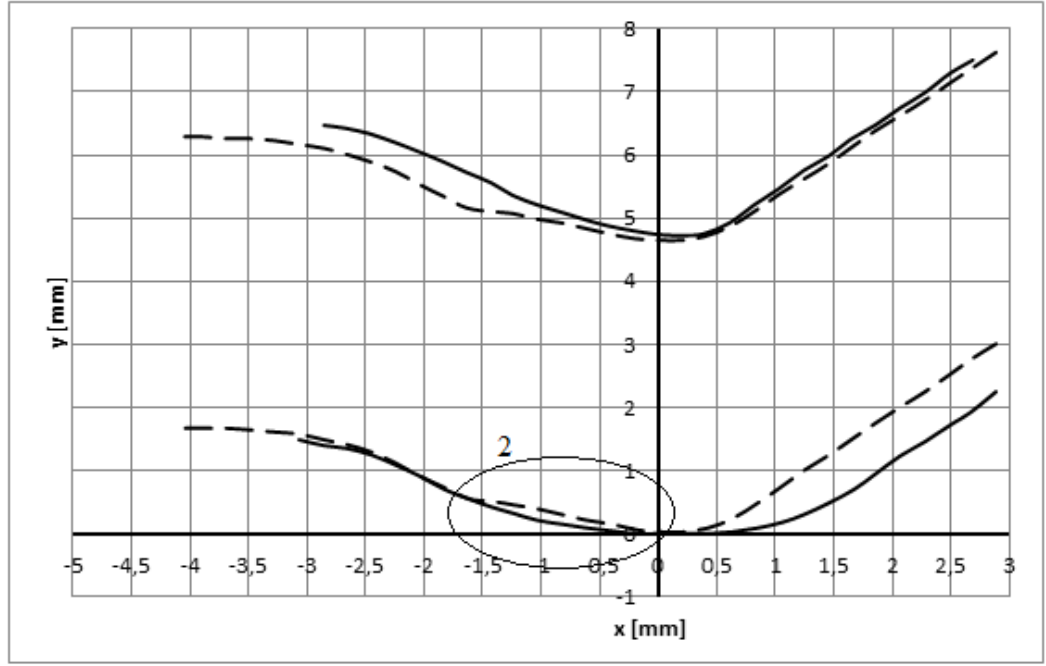
20 dev/dak makine hızında çalışıldığında, 15 dev/dak'da elde edilen sonuçlara benzer şekilde iğnenin x ve y eksenleri doğrultusunda yer değiştirme mesafelerinin arttığı

gözlenmiştir. Bu artış, özellikle 3 cN ile 9 cN iplik gerginliği değerlerine sahip iğnelerin hareket diyagramları karşılaştırıldığında daha anlamlıdır. 3 cN iplik gerginliğine sahip iğne x eksenı boyunca 1,3 mm ve y eksenı boyunca 0,3 mm yer değıştirirken; 9 cN iplik gerginliğine sahip olan iğne, kam ile ilk temasından sonra x ve y eksenleri doğrultusunda sırasıyla 1,5 mm ve 0,5 mm mesafelerinde kamla ikinci kez temas etmiştir (Şekil 7.2 A1 ve B2). Ayrıca 20 dev/dak makine hızı için istatistiksel olarak iplik gerginliğinin iğne hareketine etkisi irdelendiğinde, ANOVA sonuçları iplik gerginliğinin, iğne hareket miktarını (yer değıştirme) anlamlı olarak etkilediğı sonucunu göstermiştir (x: $F=400,000$ $p=0,000$; y: $F=400,000$ $p=0,000$). Son olarak, daha az yer değıştiren 3 cN gerginliğe sahip iplik ile çalışan iğnenin geri besleme bölgesindeki hızının, 9 cN gerginliğe sahip iplik ile çalışan iğneye göre daha yavaş olduğı da gözlenmiştir (Şekil 7.2 C3).

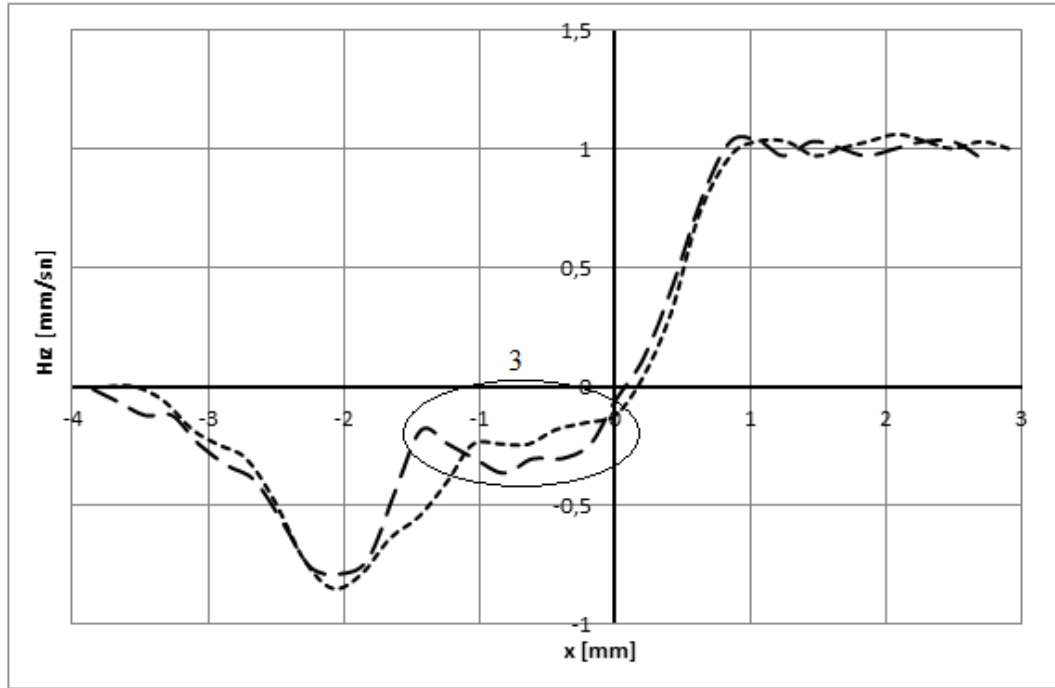


A

Şekil 7.2 : 20 dev/dak hızda % 100 pamuk ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.



B



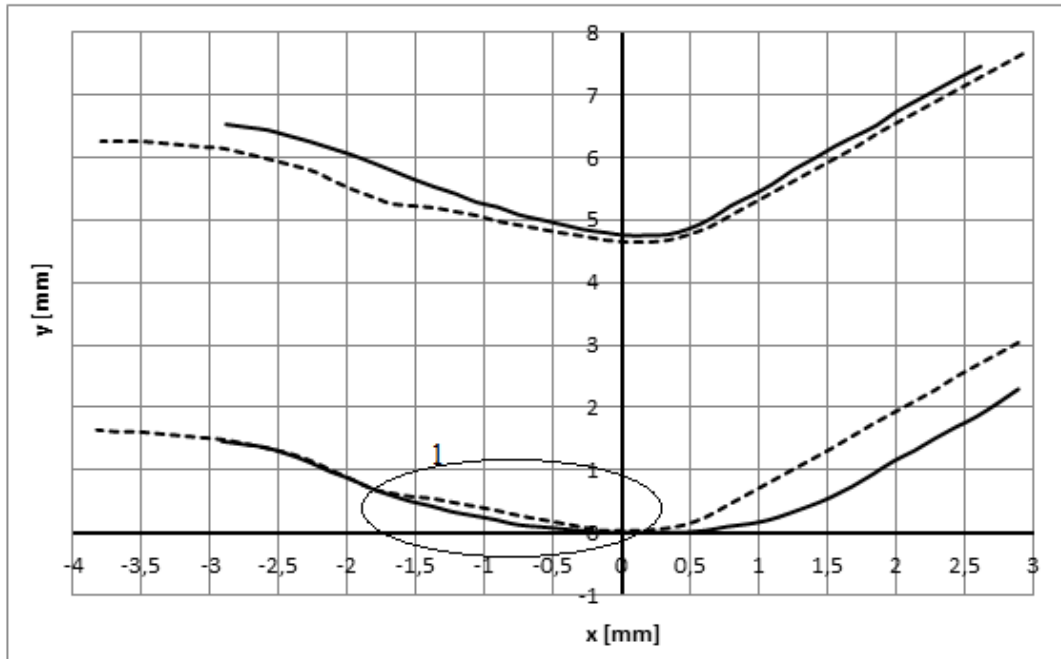
C

— İlmek kamı — Rehber kamı
 ----- 20 dev/dak 3 cN Pamuk - - 20 dev/dak 9 cN Pamuk

Şekil 7.2 (devam) : 20 dev/dak hızda % 100 pamuk ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.

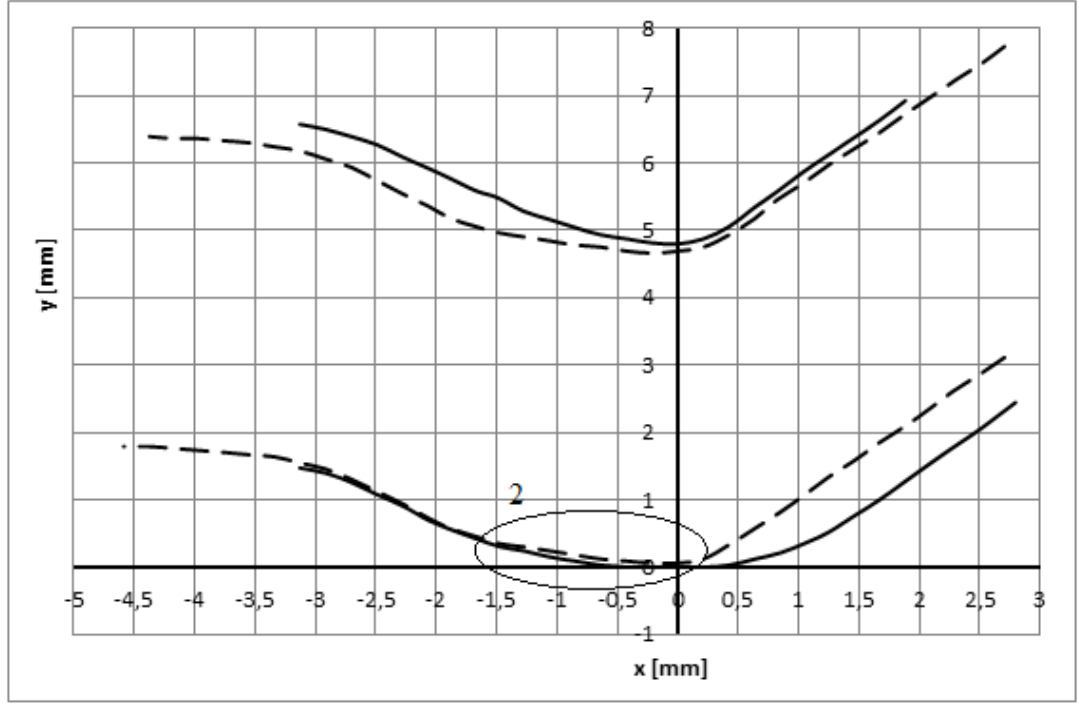
%100 pamuk ring iplik ile kumaş üretimi esnasında makine hızının iğne hareketine etkisi incelendiğinde, hızın 15 dev/dak'dan 20 dev/dak'ya artırılması ile birlikte iğnenin kam yolunu daha fazla takip etme eğiliminde olduğu görülmüştür. 15 dev/dak

makine hızında 6 cN iplik gerginliği ile çalışıldığı zaman, iğne x eksenini doğrultusunda 1,7 mm ve y eksenini doğrultusunda 0,6 mm mesafelerine sıçrarken, makine hızı 20 dev/dak'ya artırıldığında bu sıçramanın azalarak sırasıyla 1,5 mm ve 0,3 mm'ye düştüğü görülmüştür (Şekil 7.3 A1 ve B2). Ayrıca, beklenmedik şekilde yüksek makine hızında (20 dev/dak), yer değiştirme miktarları daha az olduğundan, iğnenin geri besleme bölgesinde daha düşük bir hıza sahip olduğu da gözlenmiştir (Şekil 7.3 C3). Makine hızındaki artış, iğnenin kama temas etmesi ile ortaya çıkan darbe kuvvetinin artmasına neden olmaktadır [63]. Buna göre, 20 dev/dak hızla çalışmada, iğne ilmek kamını takip etmeyi bırakıp yükseltme kamına ilk kez temas ettiği zaman, 15 dev/dak hıza sahip olan iğneye göre daha büyük bir darbe kuvveti oluşturur. Ortaya çıkan darbenin etkisi ile anılan hızda iğneler, 15 dev/dak hızla çalışan makinedeki iğnelere göre %50 daha fazla ters ivmelenmektedir (Şekil 7.3 D4). Daha sonra, ortaya çıkan darbe kuvvetinin etkisi ile iğneler kam ile temaslarını kaybetmekte ve Şekil 7.3 A1 ve B2'den de görüleceği üzere belirli mesafeler sonrasında ikinci kez kama temas etmektedirler. 20 dev/dak'da iğneler ilk darbeye daha yüksek ivmeye sahip olmalarına karşın daha az yer değiştirme gösterdiklerinden, ikinci temasın gerçekleştiği anda ivmeleri yaklaşık olarak 15 dev/dak makine hızında çalışan iğnelerin ivmeleri ile (Şekil 7.3 D4) aynı olmaktadır.

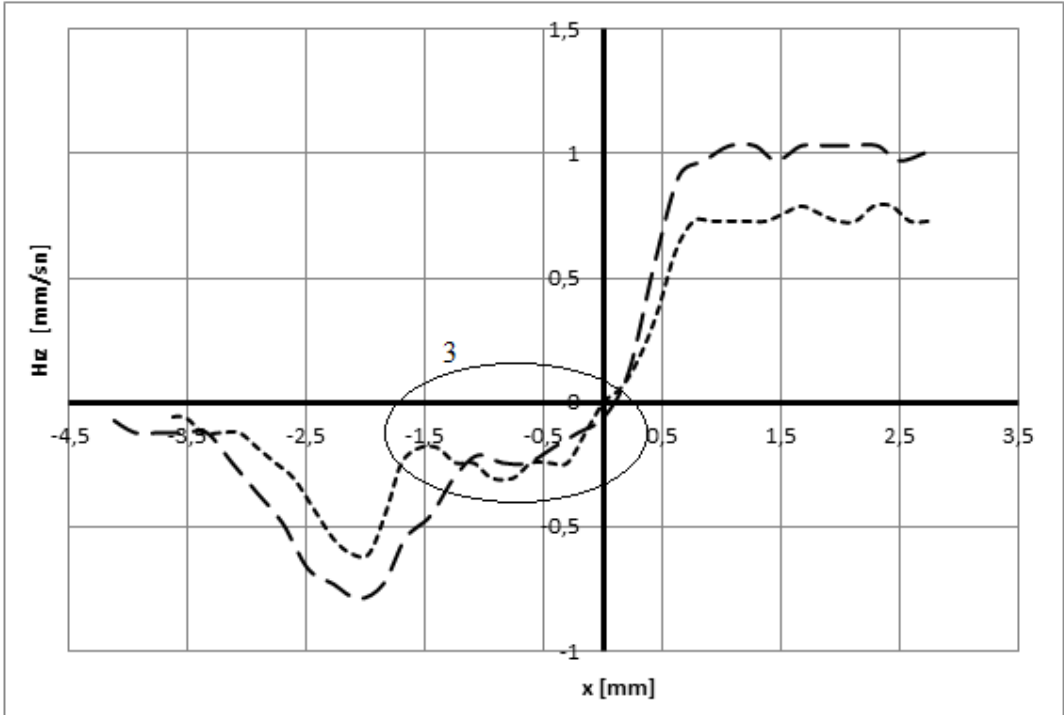


A

Şekil 7.3 : Makine hızının iğne hareketine etkisi.

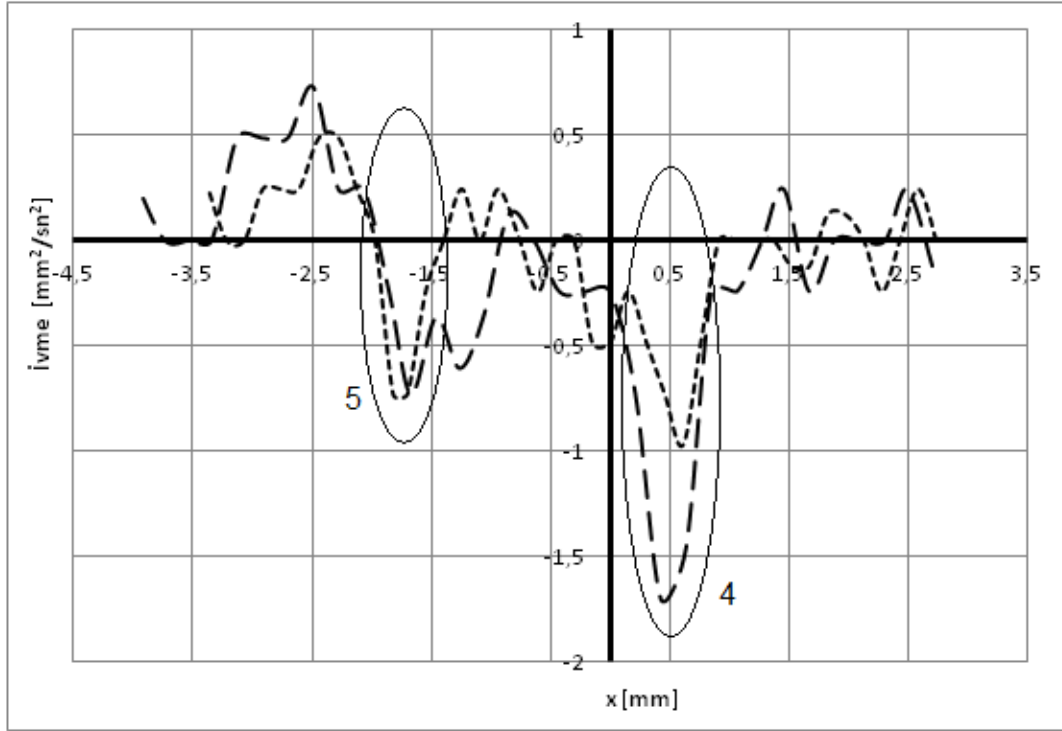


B



C

Şekil 7.3 (devam) : Makine hızının iğne hareketine etkisi.



D

—— İlmeç kamı —— Rehber kamı
----- 15 dev/dak 6 cN Pamuk - - - 20 dev/dak 6 cN Pamuk

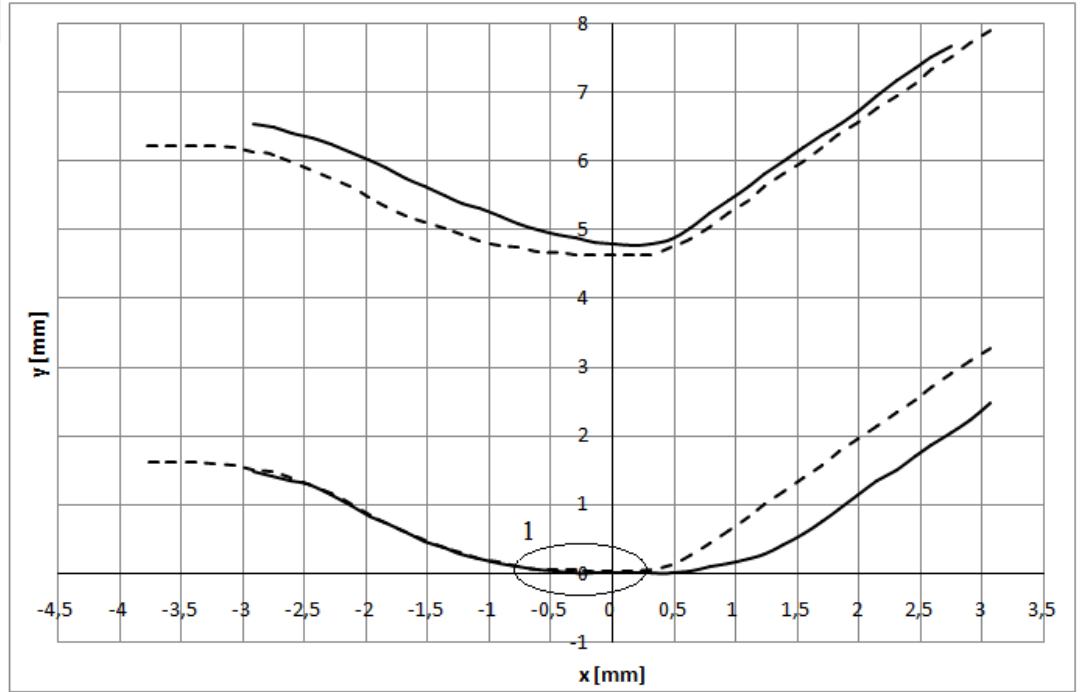
Şekil 7.3 (devam) : Makine hızının iğne hareketine etkisi.

Ayrıca eşleştirilmiş örneklem t-testi, % 100 pamuk ring ipliği ile çalışması durumunda, iğne hareket miktarının hem x hem de y eksenleri doğrultusunda makine hızından etkilenecek farklılaştığını % 95 güven aralığında göstermiştir (x: t=22,000 p= 0,000; y: t=5,000 p=0,001).

7.1.2 % 100 Tekstüre polyester

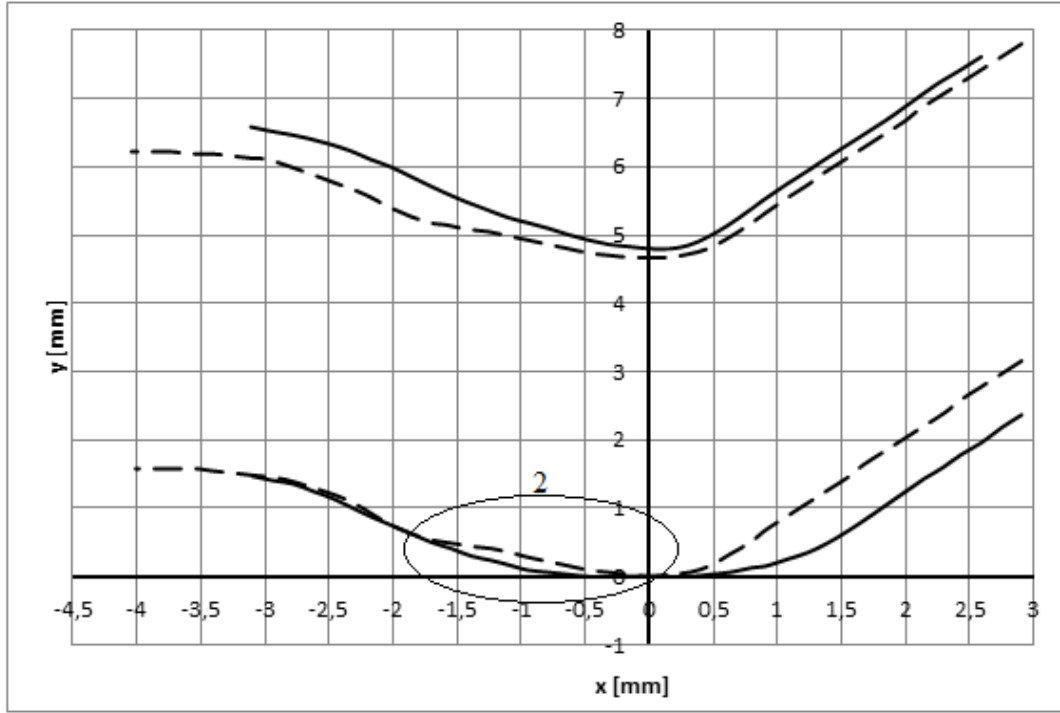
Düşük iplik gerginliğinde (3cN gibi) ve 15 dev/dak makine hızında, % 100 tekstüre polyester iplik ile üretim yapıldığında, iğnenin kam profilini takip ettiği ve yer değiştirmenin (sıçrama) görülmediği belirlenmiştir (Şekil 7.4 A1). Tekstüre polyester ipliğin iplik uzama değeri pamuk ipliğe göre oldukça yüksektir (Çizelge 3.5). Düşük iplik gerginliklerinde iğnenin kam yolunu takip etmesi, ipliğin yüksek uzama özelliği göstermesi nedeniyle iğneye ters yönde uyguladığı kuvvetin ihmal edilebilir derecede düşük olmasından kaynaklanabilir. İplik gerginliği 3 cN’den 6 cN’e çıkarıldığında zaman, iğnenin hareket davranışının değiştiği, diğer bir deyişle iğnenin kam profilini sürekli takip yerine sıçrama yaptığı gözlenmiştir. İplik gerginliği 9 cN’e çıkarıldığında ise iğnenin yaptığı sıçramanın artarak x eksenini doğrultusunda 1,8 mm ve y eksenini

doğrultusunda 0,6 mm mesafelerine ulaştığı görülmüştür (Şekil 7.4 B2). Koo'nun [76] kanca yüzey parametreleri ile iplik gerginliği arasındaki ilişkiyi incelediği çalışmada, iğne kancası ile iplik arasındaki sürtünmenin iplik gerginliği değerinin artmasıyla arttığını belirtilmiştir. Bu çalışmada tekstüre polyester ipliğin yüksek uzama göstermesine karşın, iplik gerginliği arttırıldıkça iğnelerin yer değiştirme mesafelerinde belirgin bir artışa neden olmasında (sıçrama mesafelerinde artış) yüzeyler arasındaki sürtünmenin de etkili olduğu düşünülmektedir. İplik gerginliği arttırıldığında, kancanın iç yüzeyinde etkili iplik kuvveti de artmaktadır. Buna bağlı olarak, geri besleme noktasında iğnenin komşu iğnelerden iplik çekmesi zorlaşacağından, iğnenin bu bölgede kamlı temasının kesilerek daha yüksek hızla yer değiştirme göstermiş olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 7.4 C3).

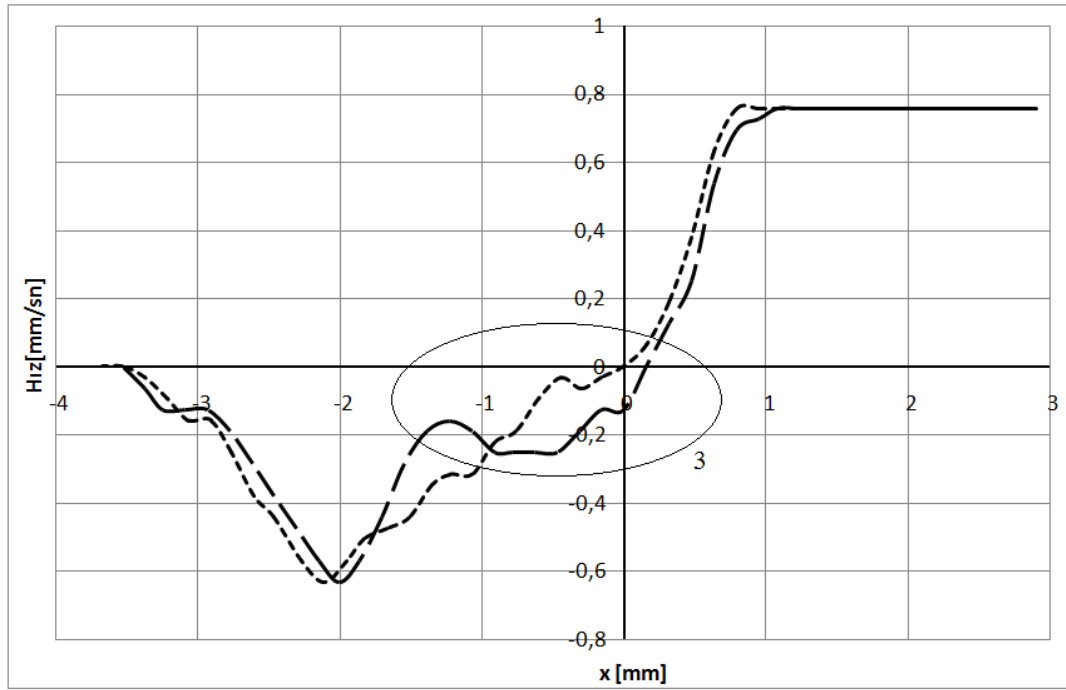


A

Şekil 7.4 : 15 dev/dak hızda % 100 PET ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.



B



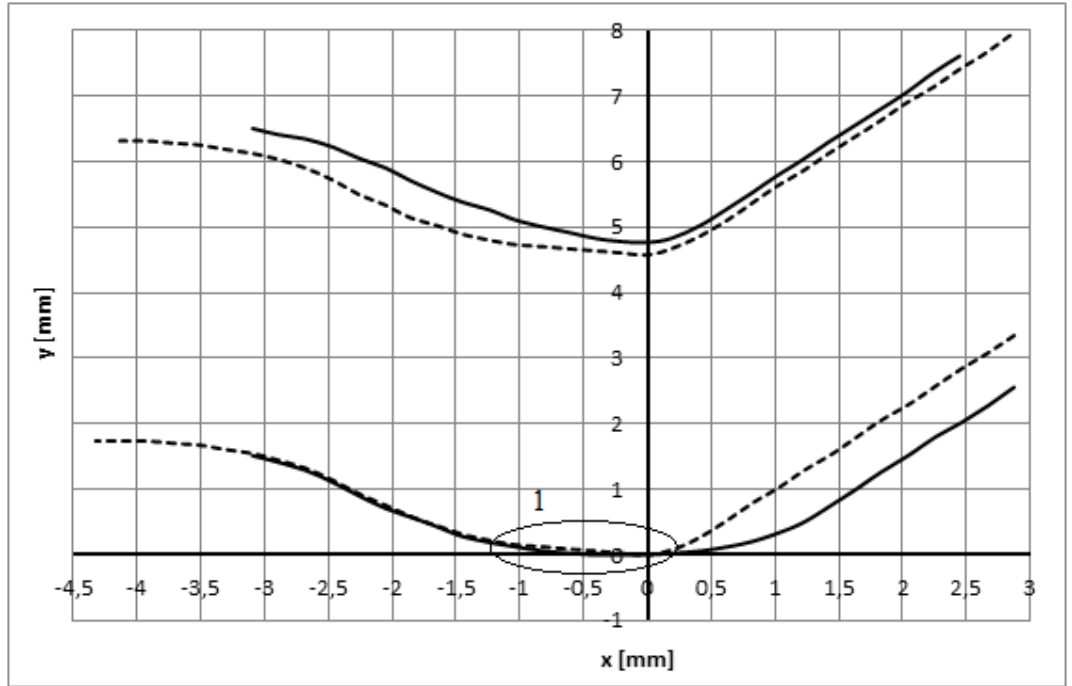
C

— İlmeğe kamı — Rehber kamı
 - - - - - 15 dev/dak 3 cN PET - - - - - 15 dev/dak 9 cN PET

Şekil 7.4 (devam) : 15 dev/dak hızda % 100 PET ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.

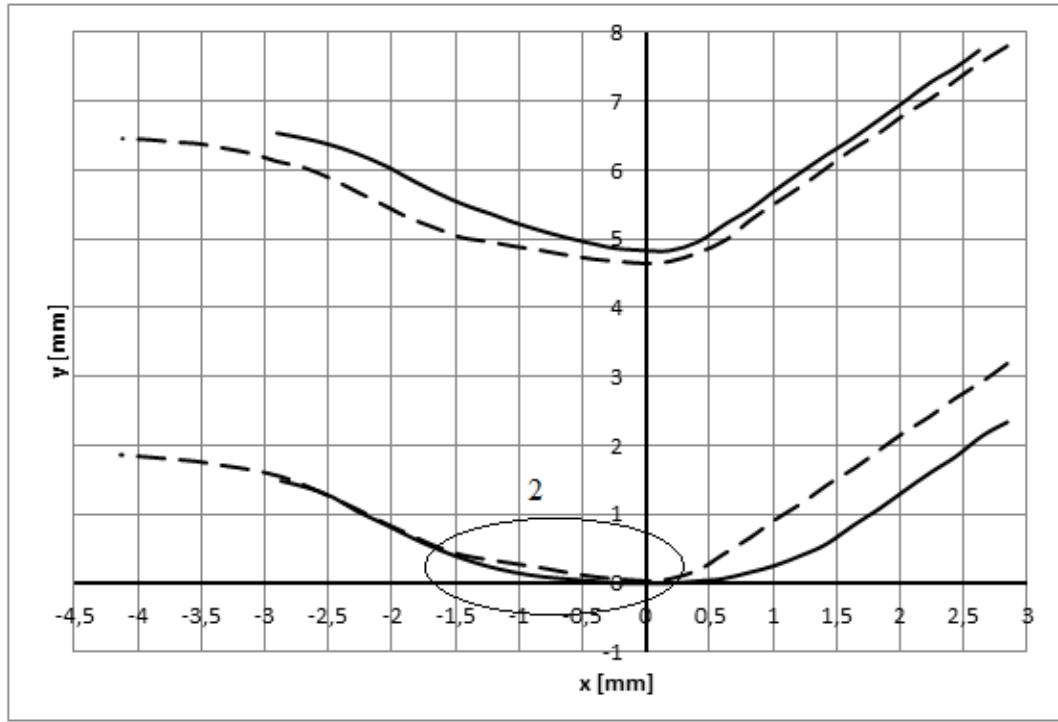
İstatistiksel değerlendirme sonucunda, iplik gerginliğinin 15 dev/dak makine hızı için iğne hareketini her iki doğrultuda da anlamlı olarak etkilediği ANOVA yöntemiyle de tespit edilmiştir (x: $F=13075,000$ $p=0,000$; y: $t=2275,000$ $p=0,000$).

20 dev/dak makine hızı ile çalışma halinde elde edilen sonuçların 15 dev/dak makine hızı için elde edilenlere benzer olduğu görülmüştür. Makine hızının artırılmasına rağmen; düşük iplik gerginliğinde (3 cN) tekstüre polyester ipliğin yüksek uzama özelliğinden dolayı iğnenin kam profilini takip etme eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 7.5 A1). İplik gerginliği artırıldığında ise gerek yüksek makine hızının etkisi gerekse yüksek iplik gerginliği sonucunda ortaya çıkan iplik kuvvetinin etkisi ile iğnenin kam profili ile temasının kesilerek sıçrama eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Bu durum, özellikle 3 cN iplik gerginlik değerinden 6 cN iplik gerginlik değerine çıkıldığında daha belirgin olmaktadır. Örneğin, 6 cN iplik gerginliği ile çalışıldığında, iğne x eksenı doğrultusunda 1,6 mm ve y eksenı doğrultusunda 0,5 mm'lik yer değişim değeri vermiştir. Öte yandan, iplik gerginliği 6 cN'dan 9 cN çıkarıldığında ise ilgili iğne hareket miktarları arasında önemli bir fark gözlenmeyerek x eksenı doğrultusunda 1,6 mm ve y ekseninde ise 0,4 mm mesafelerine sıçrama gerçekleşmiştir (Şekil 7.5 B2). İplik gerginliğinin iğne hızına etkisi irdelendiğinde, daha az sıçrayan iğnenin geri besleme bölgesindeki hızının daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 7.5 C3).

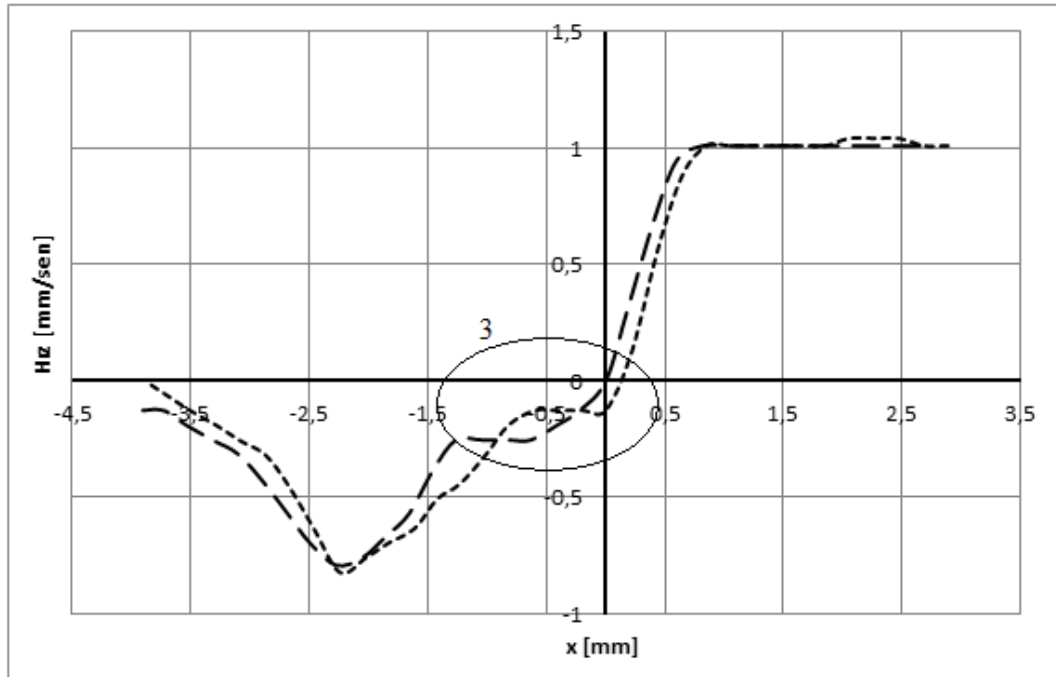


A

Şekil 7.5 : 20 dev/dak hızda % 100 PET ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.



B



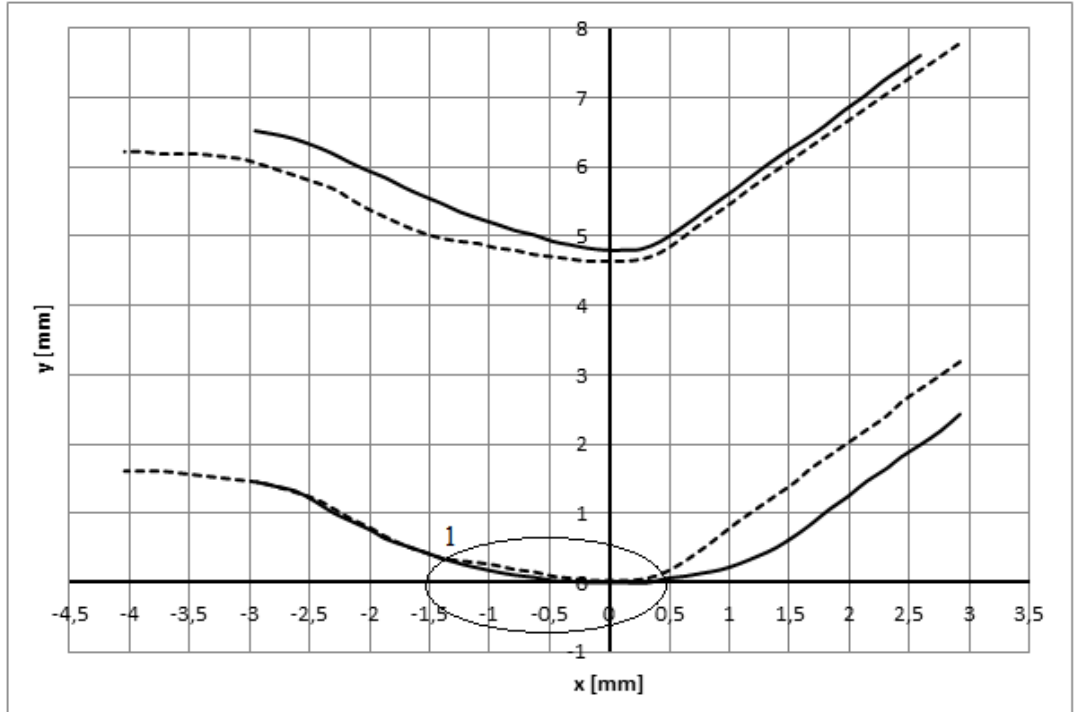
C

— İlmeç kamı — Rehber kamı
 20 dev/dak 3 cN PET - - 20 dev/dak 9 cN PET

Şekil 7.5 (devam) : 20 dev/dak hızda % 100 PET ile çalışıldığında iplik gerginliğinin etkisi.

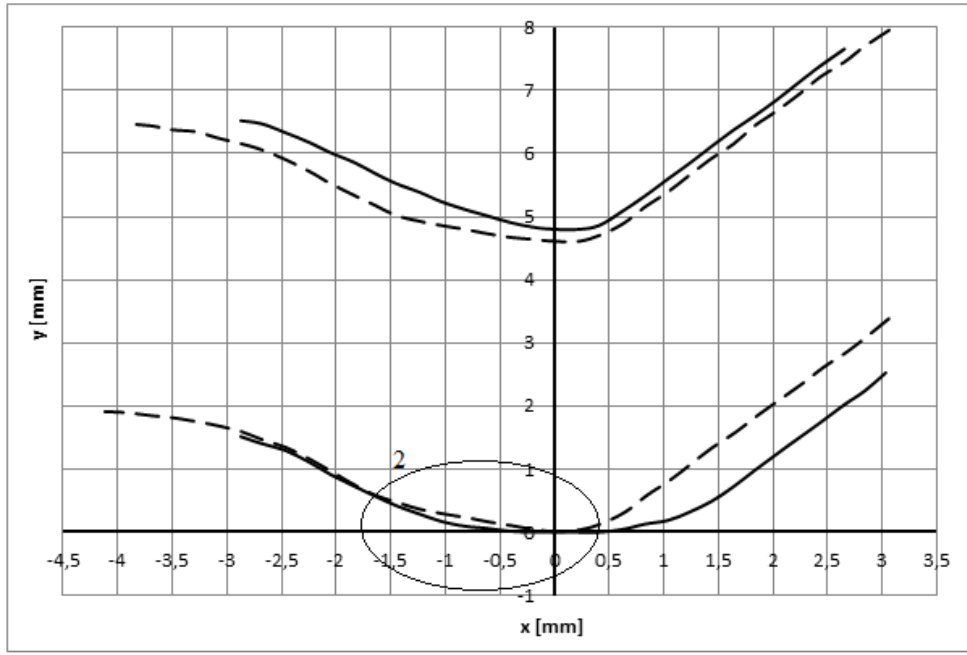
20 dev/dak makine hızında farklı iplik gerginliklerinin iğne hareketini önemli ölçüde etkilediği ANOVA yöntemiyle de istatistiksel olarak belirlenmiştir. Bu test sonuçlarına göre iğnenin kat ettiği yol hem x hem de y eksenleri doğrultusunda anlamlıdır (x: $F=3100,00$ $p=0,000$; y: $F=1300,00$ $p=0,000$).

Literatürde yapılan çalışmalar, makine hızının artması ile birlikte iğnenin kam yolunu takip etme süresinin azaldığı yönündedir [65-67, 73, 74]. Fakat beklenmedik şekilde, bu çalışmada yüksek makine hızı için yüksek iplik gerginliklerinde iğnenin kam profilini daha uzun süreli takip ettiği gözlenmiştir. 20 dev/dak makine hızında çalışma halinde iğnenin geri besleme noktasındaki hızının, 15 dev/dak makine hızında ortaya çıkan hıza göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.6 C3). Yüksek makine hızında iğnelerin kam ile ilk temasları sırasında ortaya çıkan darbe kuvveti, düşük makine hızlarında meydana gelen kuvvete göre daha yüksek olduğundan; iğnelerin daha fazla ivmelenerek daha yüksek miktarlarda yer değiştirme (sıçrama) göstermesi beklenen bir durum olup, bu husus çalışmada gözlenmiştir (Şekil 7.6 D4). Öte yandan, Şekil 7.6 D5 farklı makine hızlarında ortaya çıkan iğne hareket miktarlarına karşı gelen ve buna bağlı olarak iğnenin kam ile ikinci kez temasına ait ivmelenme eğilimini göstermektedir.

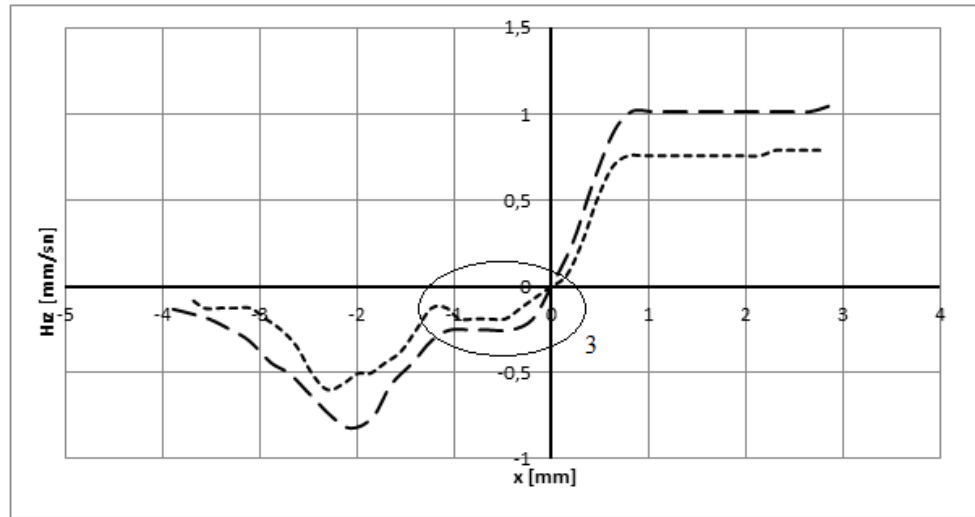


A

Şekil 7.6 : Makine hızının iğne hareketine etkisi.

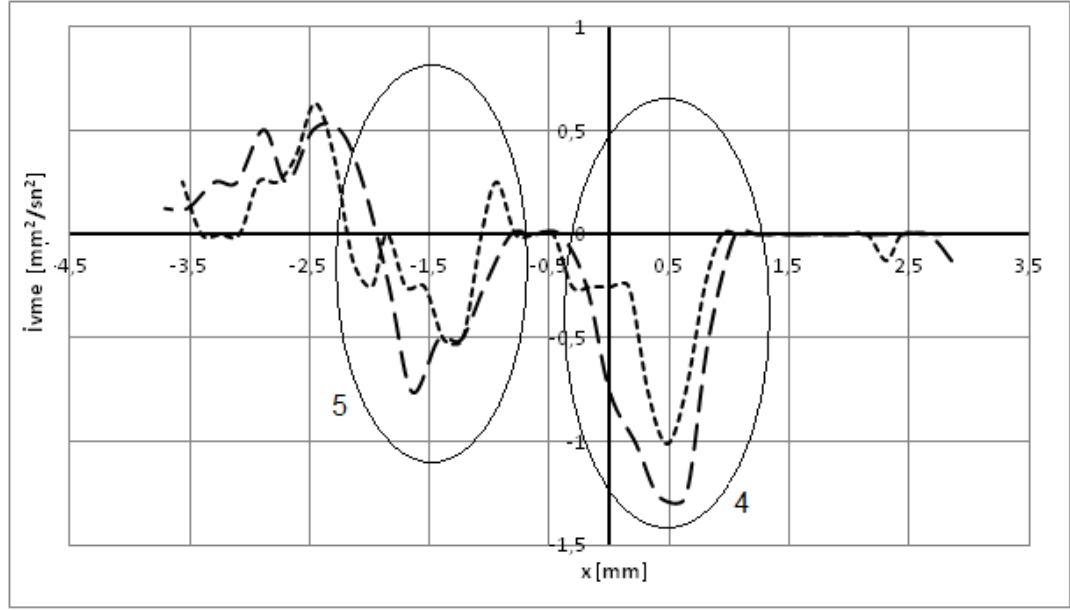


B



C

Şekil 7.6 (devam) : Makine hızının iğne hareketine etkisi.



D

—— İlmek kamı
—— Rehber kamı

----- 15 dev/dak 6 cN PET
— — 20 dev/dak 6 cN PET

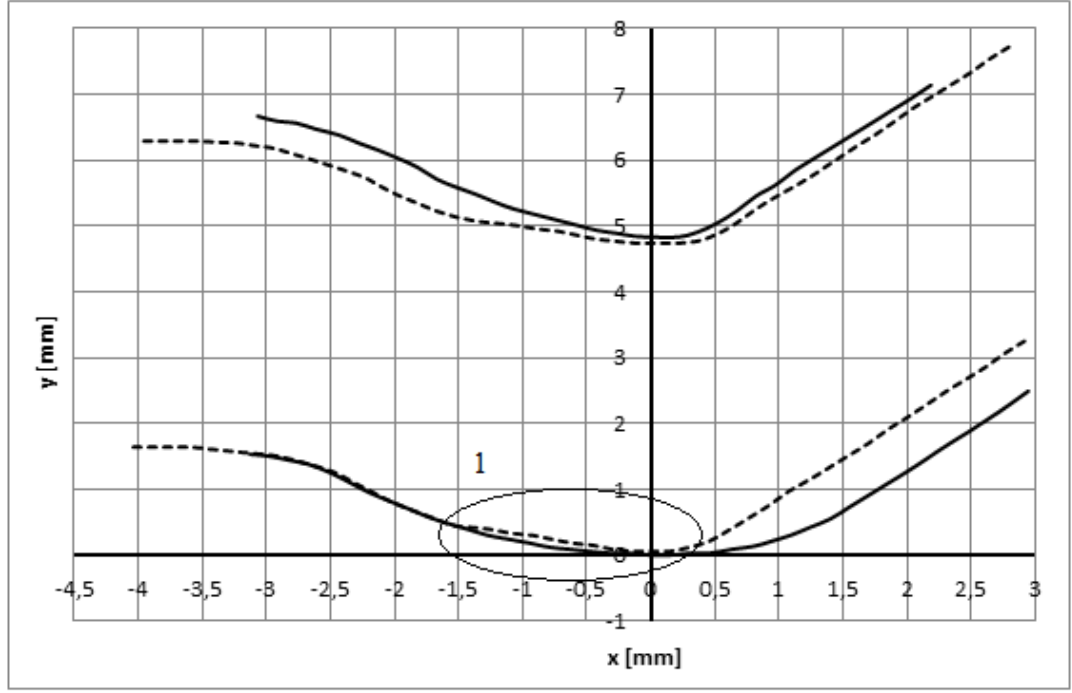
Şekil 7.6 (devam) : Makine hızının iğne hareketine etkisi.

Bununla beraber, makine hızındaki değişimin iğnelerin yer değiştirme eğilimlerine etkisi eşleştirilmiş örneklem t-testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemiştir (x: $t=-1,270$ $p=0,240$; y: $t=-0,286$ $p=0,782$).

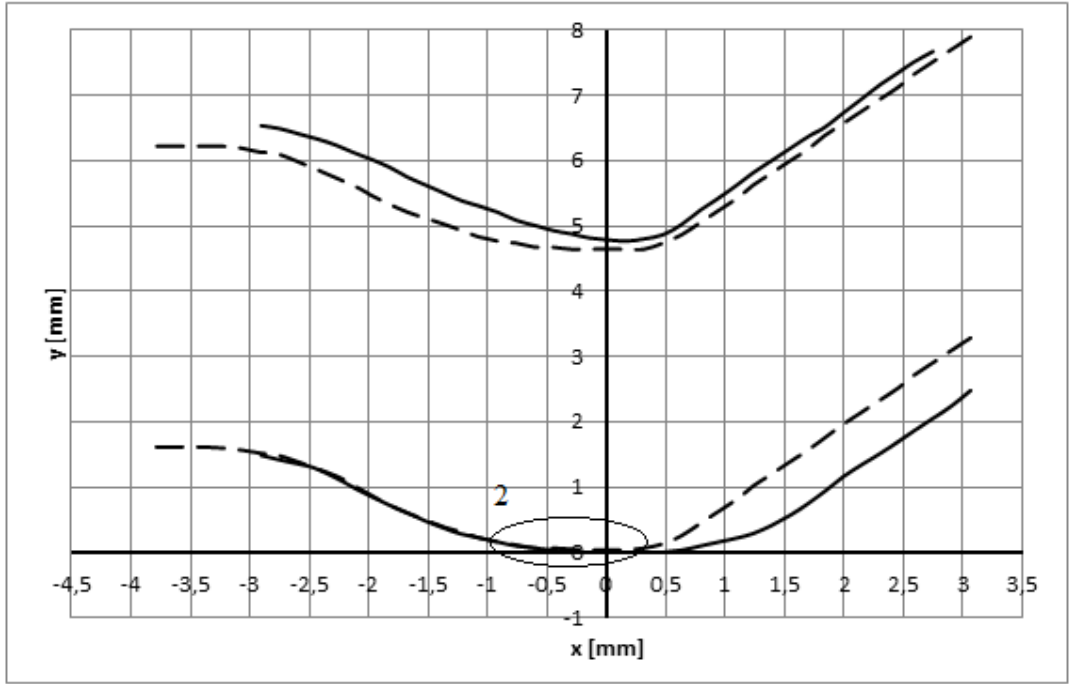
7.1.3 % 100 Pamuk ve % 100 tekstüre polyester sonuçlarının karşılaştırılması

Çalışma kapsamında pamuk ring ve tekstüre polyester iplikler, malzeme ve iplik tipinin birlikte iğne hareketine etkisini gözlemleyebilmek amacıyla kullanılmıştır. 15 dev/dak makine hızı ve 3 cN iplik gerginliği ile çalışıldığında; pamuk ring ipliği ile üretim yapan iğne x eksenine doğrultusunda 1,5 mm ve y eksenine doğrultusunda 0,4 mm'lik bir yer değiştirme gösterirken, tekstüre polyester ipliğiyle çalışan iğnenin genelde kam profili ile temasını kesmeden hareketini tamamladığı gözlenmiştir (Şekil 7.7 A1 ve B2). İplik uzama özelliği, örme işlemi sırasında iplik gerginliğini etkileyen parametrelerden biridir. Uzama yüzdesi yüksek olan iplikler, örme işlemi sırasında iğne kancasında ortaya çıkan kuvvetlerin daha düşük olmasına neden olmaktadır. Öte yandan, iplik-metal arasındaki sürtünme de en az ipliğin uzama özelliği kadar önemlidir [51]. Örme işlemi sırasında, iplik iğne kancasında hareket ederken, bobin üstünden sağılırken veya ilmek oluşturulurken iplik sürtünme katsayısı önemlidir [135]. Pamuk ipliğinin yüzeyi tekstüre polyester ipliğe kıyasla daha pürüzlüdür ve

tekstüre iplikler, tekstüre olmamış ipliklere oranla örme işlemi sırasında daha iyi hareket ederler. Ayrıca tekstüre işlemi sürtünmeyi etkileyen bir parametredir [135] ve sentetik iplikler tekstüre işleminden dolayı yüksek oranda doğrusal olmayan özelliğe sahiptirler [136]. Bu çalışma sırasında kullanılan tekstüre polyester ipliğin kopma uzamasının değeri yaklaşık olarak pamuk ring ipliğinin üç katıdır (bkz. Çizelge 3.5). Uzaması yüksek olan iplikler kam yolunu takip etmeye daha meyillidirler. Bu durumun nedeni kanca içinin yanı sıra iplik gerginliği nedeniyle ipliğin her iki kolunda ortaya çıkan iplik kuvvetinin daha az olmasıdır. Bu husus, özellikle düşük iplik gerginliği ve makine hızı değerlerinde, pamuklu kumaş üreten iğnelerin tekstüre polyester ile çalışan iğnelere kıyasla neden daha fazla yer değiştirme gösterdiğini açıklamaktadır. Ayrıca bu durumun ortaya çıkmasında; iplik yüzey sürtünmelerinin önemli rol oynadığı düşünülmektedir. Pamuk ring ipliğinin yüzeyi, tekstüre polyester ipliğinin yüzeyinden çok daha pürüzlü olma eğilimindedir ve bu hususu pamuk ipliği ile üretim yapan iğnenin ilmek oluştururken komşu iğnelerden iplik çekmesini daha zor hale getirebilir. Dolayısıyla, pamuk ipliği ile çalışan iğnenin geri besleme bölgesindeki hızının, tekstüre polyester iplik ören iğneye göre çok daha yüksek olması beklenir ki, çalışma sonunda elde edilen sonuçlar bu değerlendirmeyi onaylar nitelikte olmuştur (Şekil 7.7 C3). Son olarak, eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçları, 15 dev/dak makine hızında pamuk ve tekstüre polyester ipliklerinden kumaş ören iğnelerin yer değiştirme davranışlarının hem x hem de y eksenleri yönünde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir (%95 güven aralığı x: $t=2,403$ $p=0,043$; y: $t=3,965$ $p=0,004$).

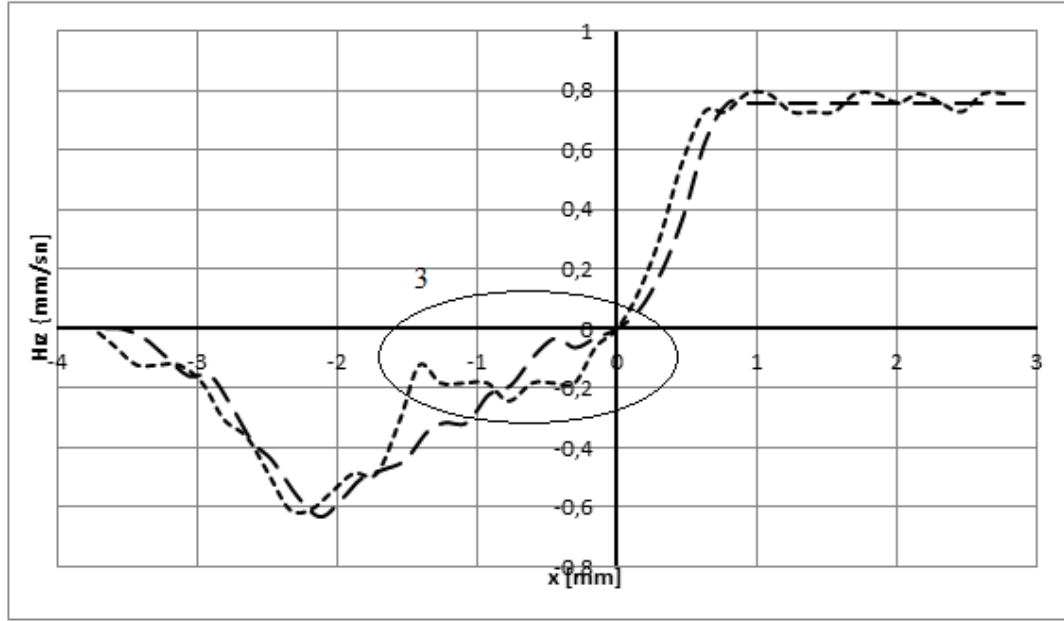


A



B

Şekil 7.7 : Malzeme ve iplik tipinin iğne hareketine etkisi

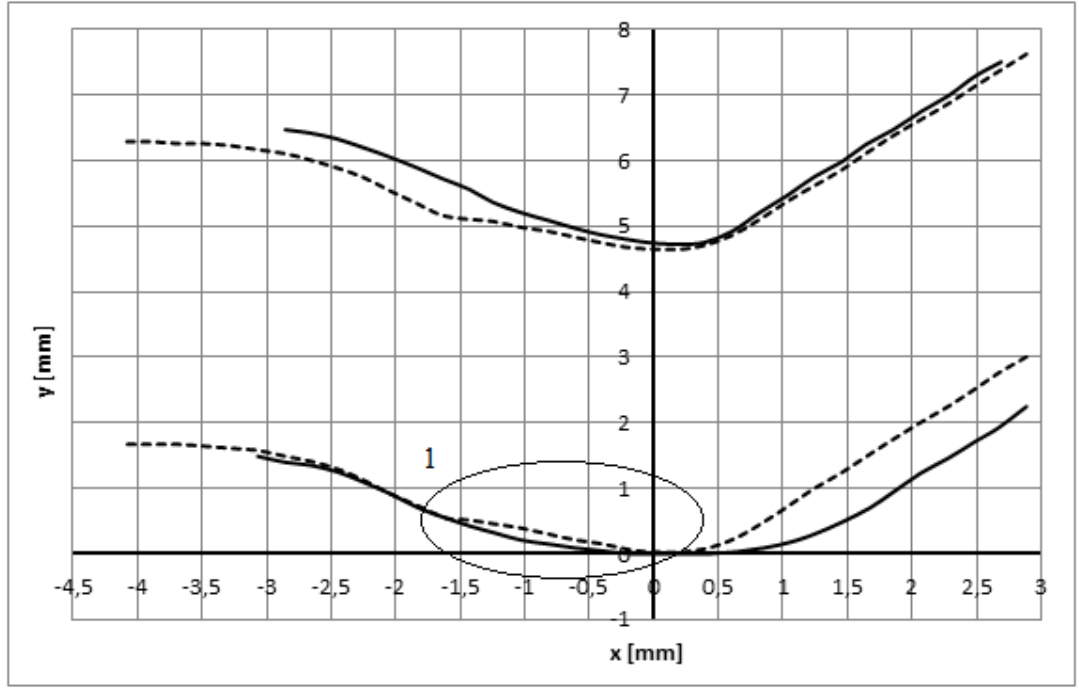


C

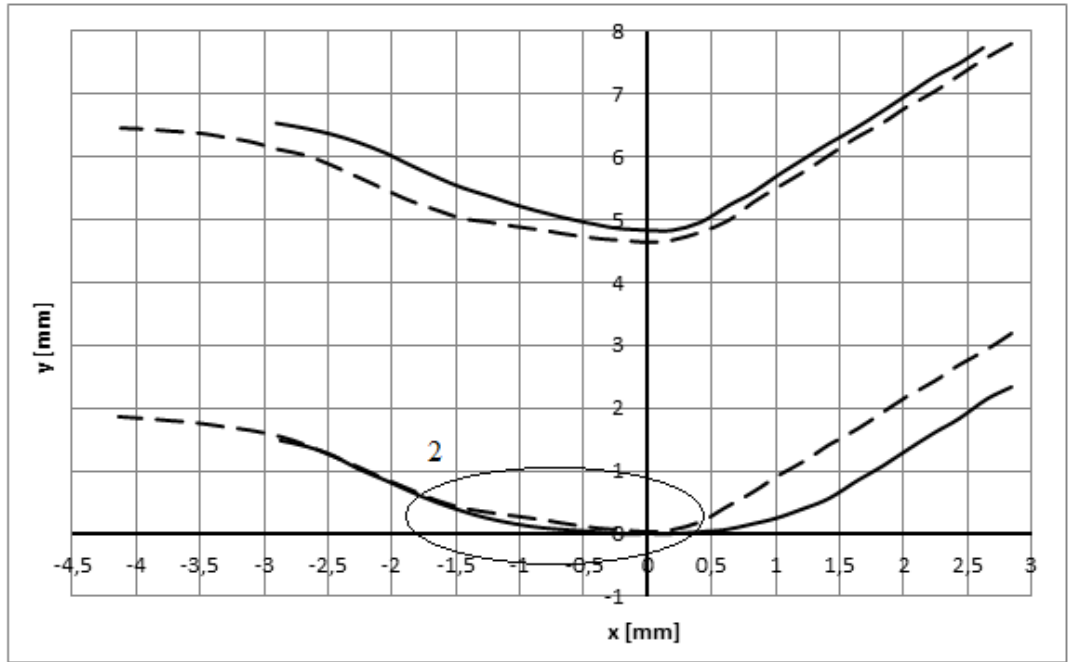
———— İlmeğe kamı	———— Rehber kamı
..... 15 dev/dak 3 cN Pamuk	- . - . 15 dev/dak 3 cN PET

Şekil 7.7 (devam) : Malzeme ve iplik tipinin iğne hareketine etkisi.

Düşük iplik gerginliği ve düşük makine hızlarında elde edilen sonuçlardan farklı olarak; makine hızının (20 dev/dak) ve iplik gerginliğinin (9 cN) artırılması durumunda, iğne hareketinde değişme görülmüştür. İplik yapısından bağımsız olarak iğnelerin x ekseni doğrultusunda hareket miktarları (sıçrama mesafeleri) değişmezken, y ekseni doğrultusunda meydana gelen yer değiştirmenin kullanılan iplikten etkilendiği ve pamukla çalışan iğnenin anılan doğrultuda kat ettiği mesafenin daha fazla olduğu gözlenmiştir (Şekil 7.8 A1 ve B2). Bu noktada, yüksek makine hızı ve yüksek iplik gerginliğinin birlikte etkisinin, iğnenin kam ile ilk temasında daha büyük darbe kuvveti ortaya çıkarmış olabileceği ve bu kuvvetin tekstüre polyester ile çalışma halinde anılan ipliğin yüksek uzama değerlerini bertaraf eder nitelikte olduğu değerlendirilmiştir.

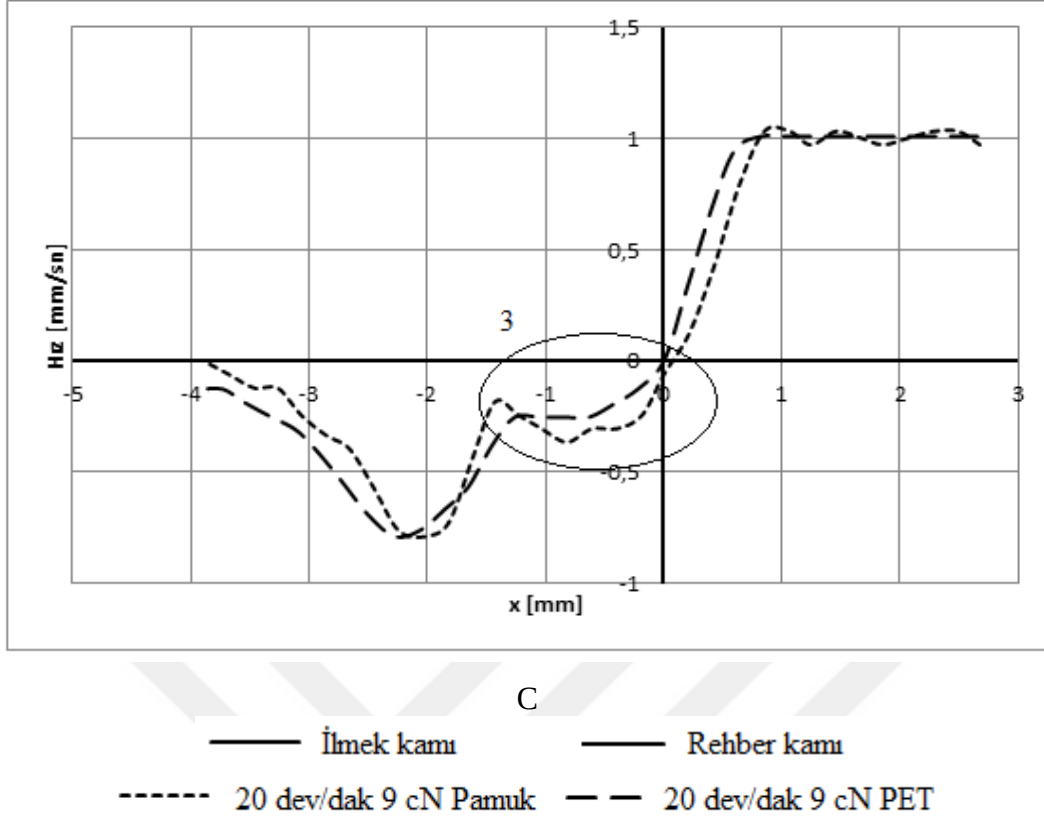


A



B

Şekil 7.8 : Malzeme ve iplik tipinin iğne hareketine etkisi.



Şekil 7.8 (devam) : Malzeme ve iplik tipinin iğne hareketine etkisi.

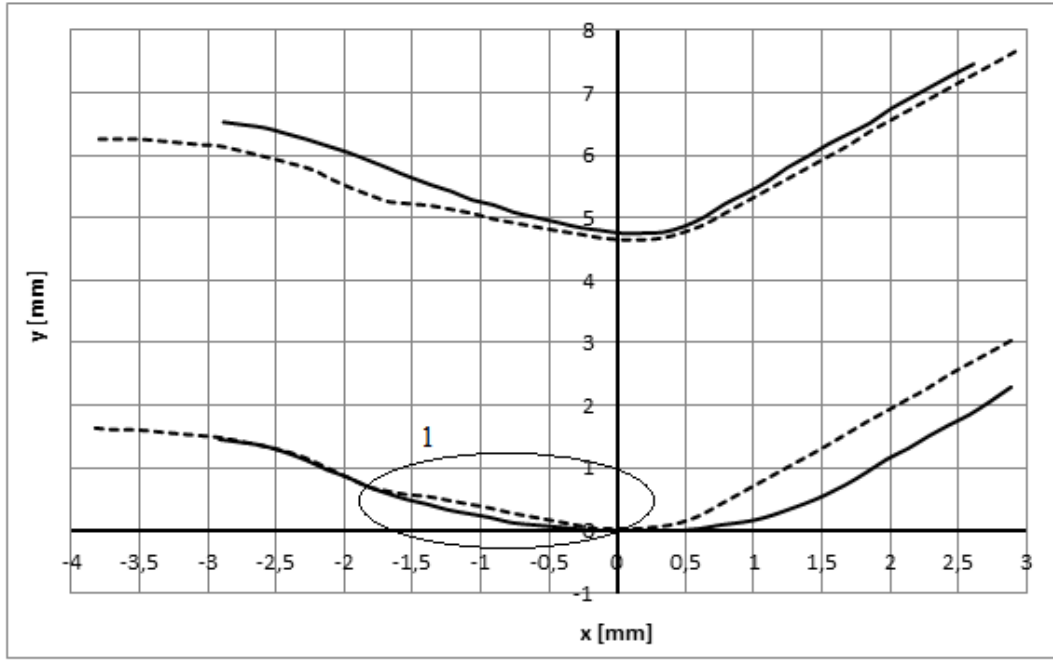
Yüksek makine hızı ve iplik gerginliği için yapılan eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçları, iplik tipinin iğne hareket miktarları arasında (hem x hem y eksenleri doğrultularında) anlamlı bir fark ortaya çıkarmadığını göstermiştir (% 95 güven aralığı x: $t=1,109$ $p=0,299$; y: $t=0,555$ $p=0,594$).

7.2 İplik Gerginliği ve Makine Hızının Elastanlı Çalışma Hali için Etkisi

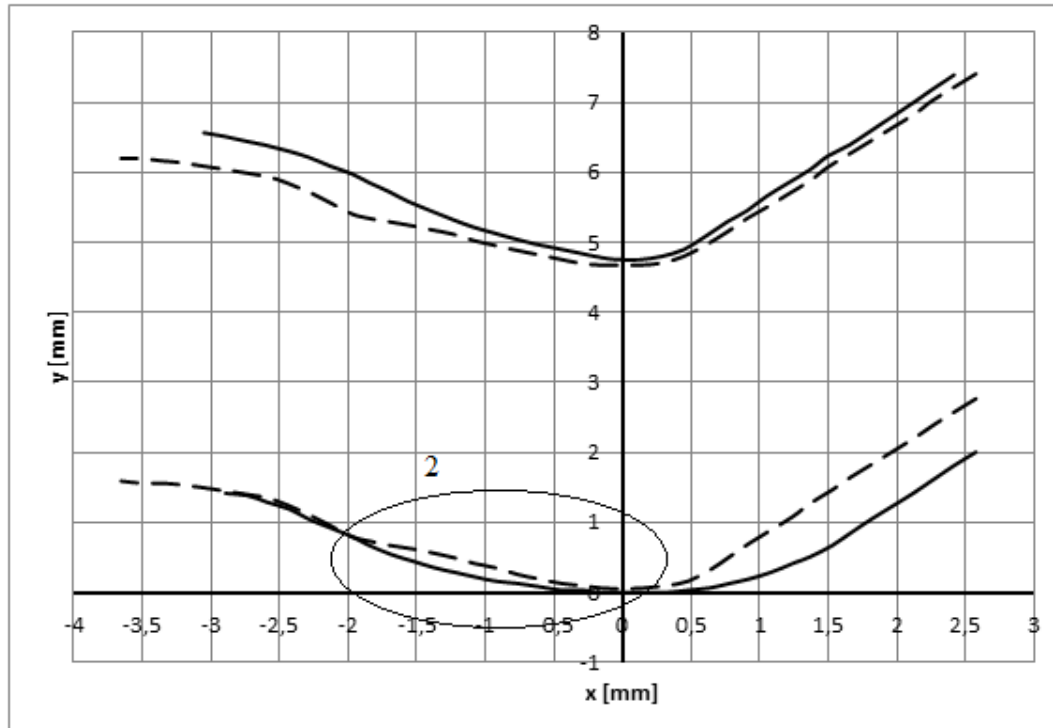
7.2.1 Pamuk-elastan

Örme sanayinde yoğunlukla kullanılan elastan ipliği, pamuklu kumaş üretimine vanize tekniği ile dahil edilip, 15 dev/dak makine hızında üretim gerçekleştirildiğinde, iğnenin rehber kama darbesiyle ortaya çıkan darbe kuvvetinin etkisi ile sıçrama göstererek, yükseltme kamıyla temas ettiği noktanın hem x hem de y eksenleri doğrultularında önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Öyleki, 15 dev/dak makine hızında 6 cN iplik gerginliğinde % 100 pamuk ipliği ile üretim yapıldığında iğne x eksenı doğrultusunda 1,7 mm ve y eksenı doğrultusunda 0,6 mm'lik bir yer değiştirme ile yükseltme kamıyla temas ederken, 6 cN pamuk ve 9 cN elastan iplik gerginliğiyle çalışıldığında, iğnenin kam ile temas ettiği nokta sırasıyla 1,9 mm ve 0,8 mm olarak

değişmiştir (Şekil 7.9 A1 ve B2). Bilindiği gibi, ipliğin maruz kaldığı yüklere olan direnci, ipliğin viskoelastik özelliklerine bağlıdır [137]. Her ne kadar elastanın kopma uzama değeri çok yüksek olsa da, pamuk ve elastan iplikleri birlikte kullanıldığında, malzemenin ortalama elastik modülü daha yüksek olma eğiliminde olduğundan, örme işlemi sırasında anılan ipliklerin yüklere karşı daha fazla bir direnç gösterdiği ve bu durumun iğnenin yer değiştirme miktarında daha büyük bir artış olarak sonuçlandığı değerlendirilmiştir [137]. Ayrıca bağımsız örneklem t-testi sonuçlarına göre elastanın üretime dahil edilmesinin, iğne hareketini önemli ölçüde etkilediği, elastanlı ve elastansız gruplara ait iğne hareket miktarları arasındaki farkın anlamlı olduğu görülmüştür (% 95 güven aralığı x: $t = -2,657$ $p=0,012$ y: $t = -3,803$ $p=0,001$). 15 dev/dak makine hızında elde edilen diğer veriler irdelendiğinde pamuk-elastan ile birlikte çalışan iğnenin, % 100 pamuk ring ipliği ile üretim yapan iğneye nazaran geri besleme bölgesindeki hızının daha fazla olduğu gözlenmiştir (Şekil 7.9 C3). Pamuk-elastan iplikleri ile üretim yapan iğnede daha fazla bir ön gerilme olduğundan, örme noktasında daha fazla geri besleme gerçekleşmiştir. Ghosh and Banerjee [Gho90] iplik gerginliğinin geri beslemeyi çok fazla etkilediğini ve yüksek iplik gerginliklerinin daha fazla geri beslemenin ortaya çıkmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Son olarak 15 dev/dak makine hızı için, pamuk ring iplik gerginliği sabit tutulmak suretiyle elastan iplik gerginliğindeki değişimin iğne hareketine etkisi de araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar elastan ipliğinin üretime katılmasının iğne hareketini doğrudan ve önemli bir şekilde etkilediğini, ancak elastan iplik gerginlik değerinin (3, 6 ve 9 cN değerleri için) harekete önemli bir katkısı olmadığını göstermiştir. Bu durum çalışılan elastan gerginlik aralığının, elastanın yüksek uzama kapasitesi nedeniyle olası bir etkiyi yansıtabilecek genişlikte olmamasından kaynaklanmış olabilir.

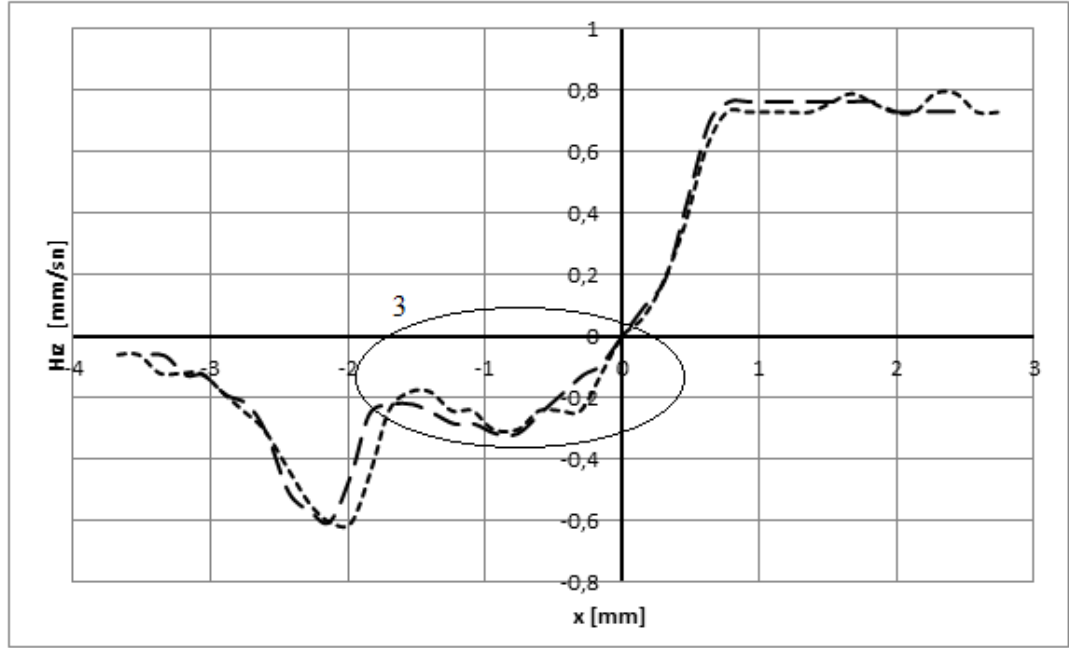


A



B

Şekil 7.9 : 15 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.



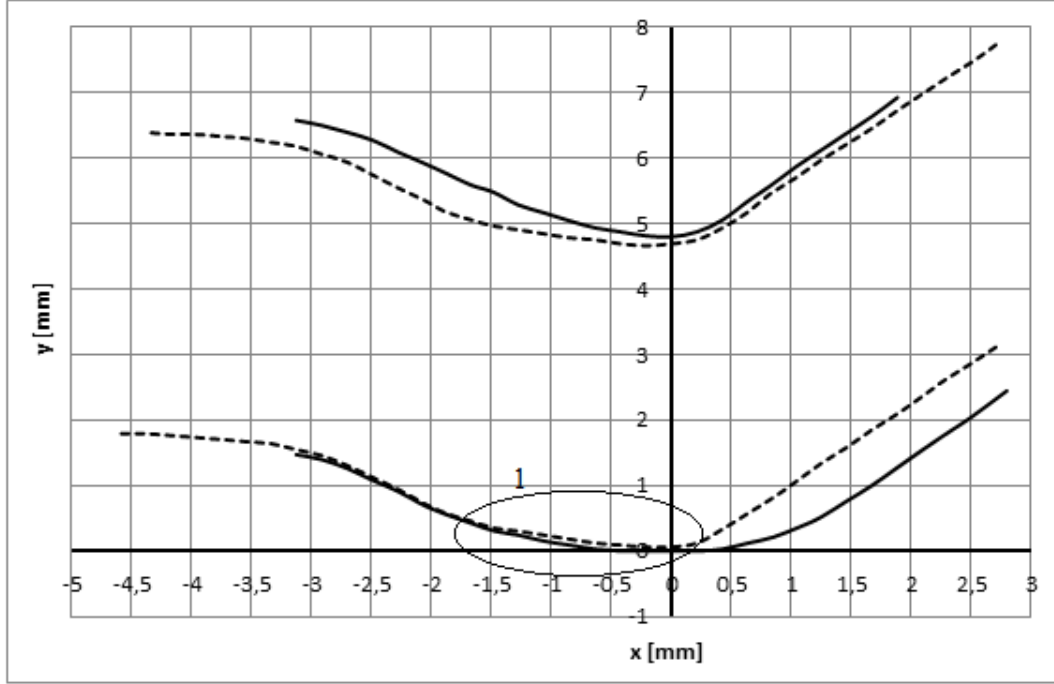
C

———— İlmecek kamı ——— Rehber kamı
 ----- 15 dev/dak 6 cN Pamuk - - - 15 dev/dak 6 cN Pamuk 9 cN Elastan

Şekil 7.9 (devam) : 15 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.

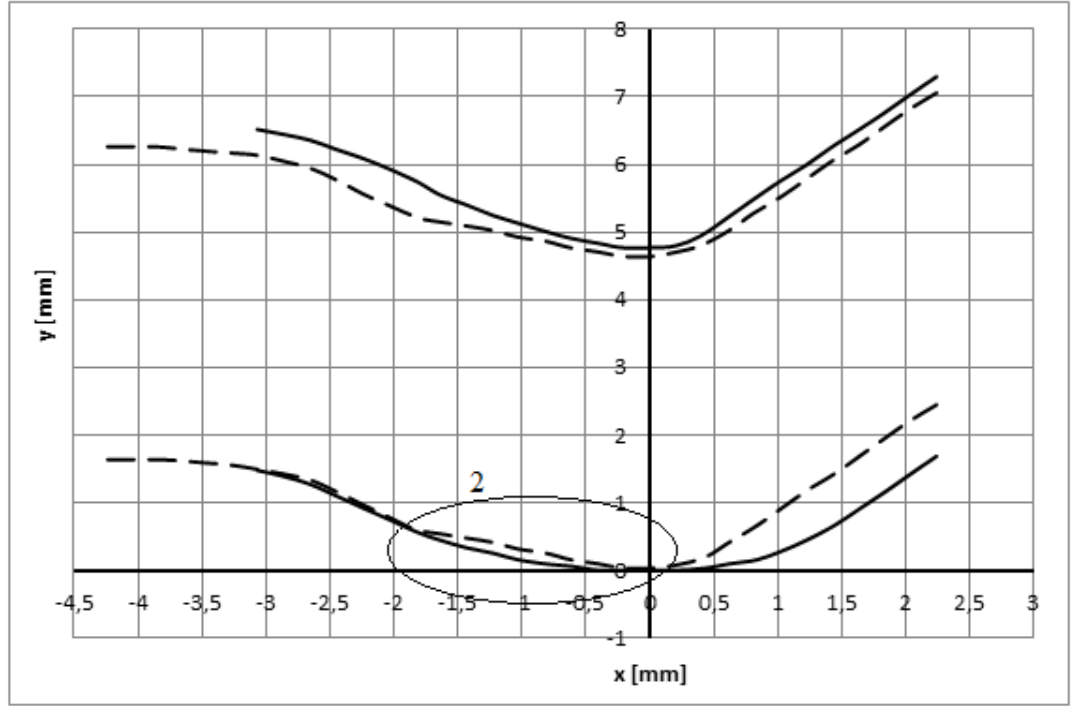
Düşük makine hızında çalışmaya benzer şekilde, 20 dev/dak için elastan ipliğinin ring pamukla birlikte kullanılması halinde, iğnedeki yer değişiminin her iki eksen doğrultusunda fark edilir oranda arttığı görülmüştür. Örneğin, 6 cN gerginlik değerinde, % 100 pamuk ipliği ile üretim yapan iğne x eksenı doğrultusunda 1,5 mm ve y eksenı doğrultusunda 0,3 mm'lik bir yer değiştirme gösterirken; pamuk iplik gerginliğini sabit tutmak suretiyle, 3 cN giriş gerginliğinde elastanın üretime dahil edilmesi halinde, aynı iğnenin anılan eksenler doğrultusunda sırasıyla 1,8 mm ve 0,6 mm'lik yer değiştirme (sıçrama) gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 7.10 A1 ve B2). Bu durum elastanın yüksek kopma uzaması değerine rağmen, kanca içinde iğne hareketine ters yönde bulunan iplik kuvvetinin değerini artırdığına işaret etmektedir. Diğer yandan, 15 dev/dak makine hızında olduğu gibi, 20 dev/dak'lık makine hızı için de elastan gerginliğindeki değişimin iğne hareketine anlamlı bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Bu bağlamda yapılan eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçları, 20 dev/dak makine hızında pamuk ve elastan ipliklerinin birlikte kullanılması halinde, iğne hareket miktarlarındaki değişimin hem x hem de y eksenleri yönünde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir (x: $t = -5,586$ $p = 0,000$ y: $t = -5,617$ $p = 0,000$). Ayrıca elastanın üretime katılmasıyla iğnenin hız değişimi irdelendiğinde; elastansız

Üretimde olduğu gibi, daha az yer değiştiren (sıçrayan) iğnenin hızının, geri besleme noktasında daha düşük olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle, elastanın örgüye dahil edilmesi halinde, iğneler geri besleme pozisyonunda daha yüksek bir hıza sahip olmaktadırlar (şekil 7.10 C3). Bu durum ise Knapton [68] çalışmasında da belirttiği gibi yüksek iplik gerginliklerde iğnenin her iki komşusundan da iplik çekeceğinden, elastan ipliğin üretime katılması ile iplik kuvvetinin artması ve ilmek oluşturan iğneye komşu iğneden daha fazla iplik sağılacağından dolaydır.

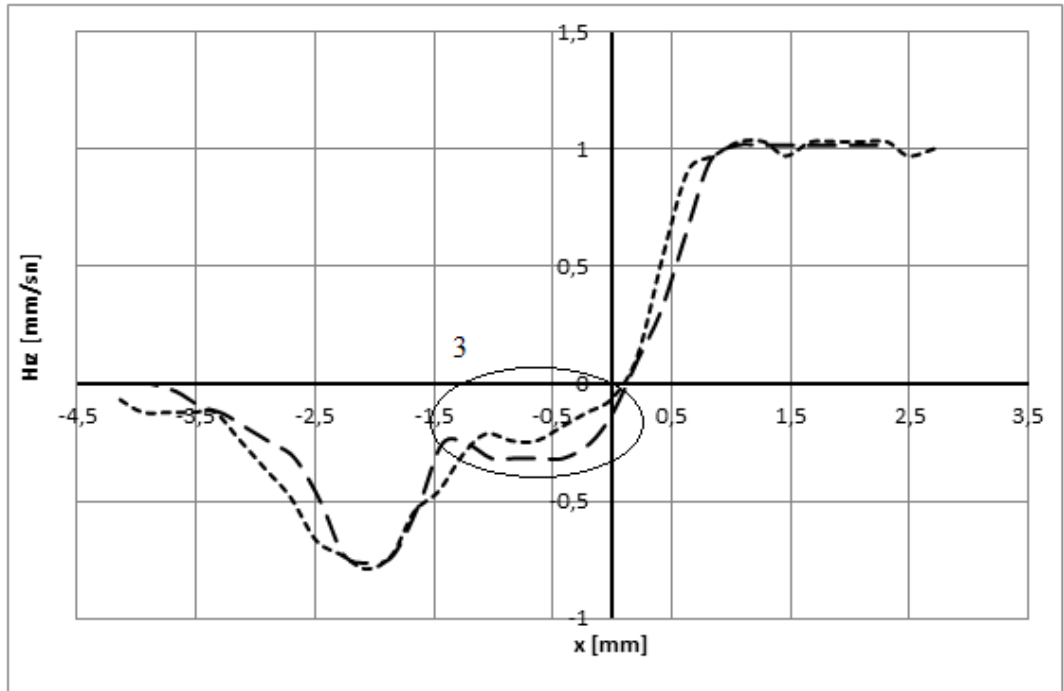


A

şekil 7.10 : 20 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.



B



C

— İlmek kamı — Rehber kamı
 - - - - - 20 dev/dak 6 cN Pamuk - - - - - 20 dev/dak 6 cN Pamuk 3 cN Elastan

Şekil 7.10 (devam) : 20 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.

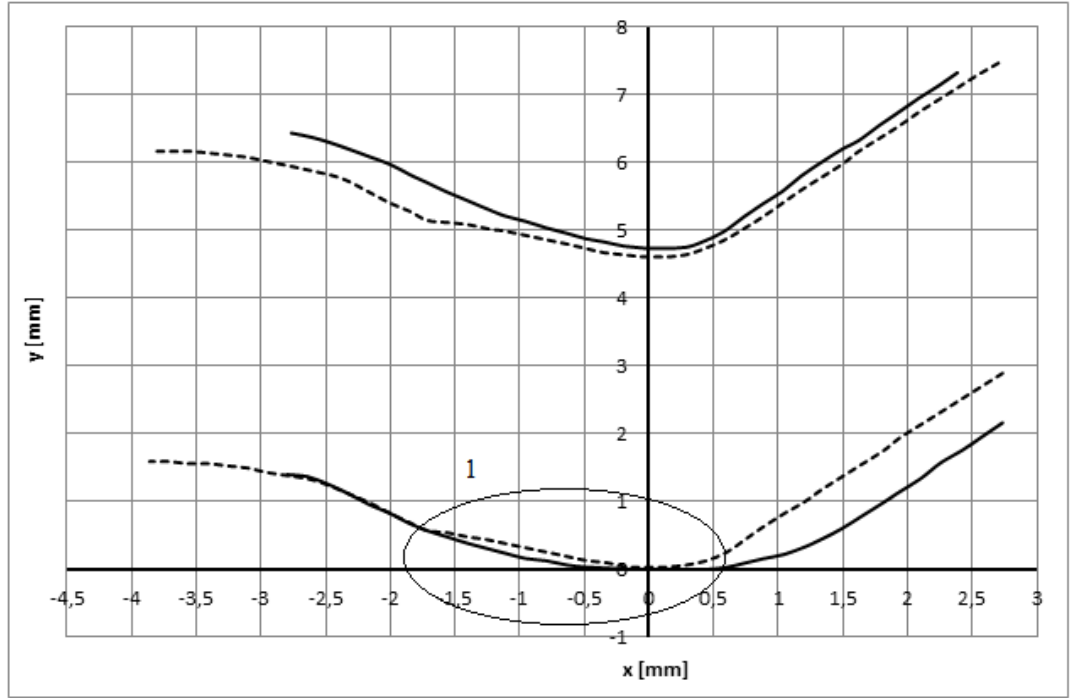
Son olarak, makine hızından bağımsız olarak elastan iplik gerginliğinin sabit tutulup (ör. 6 cN); pamuk ring ipliğinin gerginliği artırıldığında, iğne yer değiştirme

mesafelerinin hem x hem de y eksenleri doğrultusunda arttığı görülmüştür. Elastansız çalışma haline benzer şekilde, iğne yer değiştirme miktarlarındaki artışın, özellikle pamuk iplik gerginliğinin 3 cN'den 9 cN'e çıktığı durumlarda daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Bu noktadan hareketle, pamuk-elastan karışımı kumaş üretiminde, ana iplik gerginliğinin iğne hareketini belirlemede daha baskın bir parametre olduğu değerlendirilmiştir.

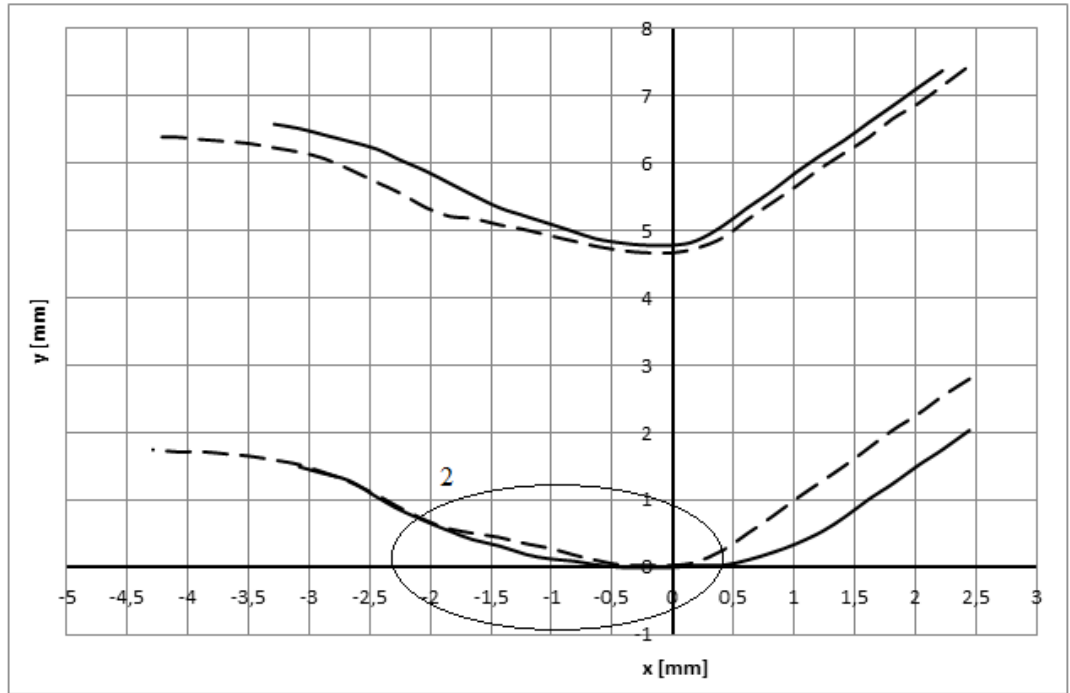
Aynı iplik gerginlik değeri için farklı iki makine hızında elde edilen iğne yer değışme miktarları karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, % 100 pamuk ring iplik ile elde edilen üretim sonuçlarından farklı olarak 20 dev/dak hıza sahip iğne y eksenı yönünde 15 dev/dak hızda çalışan makinedeki iğneyle aynı miktarda yer değıştirme gösterirken, x eksenı doğrultusunda hareket miktarında artış belirlenmiştir. Örneğın, 3 cN pamuk-9 cN elastan iplik gerginlikleri ile üretim yapıldığı takdirde; 15 dev/dak makine hızı ile çalışan iğnenin x eksenı doğrultusunda 1,7 mm ve y ekseninde 0,6 mm mesafelerde yükseltme kamı ile temas ettiğı görülürken, 20 dev/dak hızda çalışan makinede iğnenin x ve y eksenleri doğrultusunda sırasıyla 1,9 mm ve 0,6 mm'lik mesafeler kaydettiğı görülmüştür (Şekil 7.11 A1 ve B2). Literatür bulguları, makine hızının artırılması ile birlikte ortaya çıkan darbe kuvvetinin artacağını, iğnenin kam ile temas süresinin azalacağını ve de iğne yer değıştirme mesafelerinin hem süre hem de sayı olarak artacağını göstermiştir [65, 66, 73, 74]. Pamuk-elastan iplikleriyle yapılan çalışma sonuçları bu bulgularla paralellik göstermiştir. Bununla birlikte, eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçları, pamuk-elastan karışımı kumaş üretiminde makine hızının artırılması ile birlikte iğnenin her eksen doğrultusundaki yer değışiminin anlamlı olarak değışmediğine işaret etmektedir (%95 güven aralığı x: $t=-1,490$ $p=0,148$; y: $t=1,199$ $p=0,241$).

Ayrıca, makine hızının artırılmasına bağılı olarak değışen iğne sıçrama mesafesinin, iğnenin geri besleme bölgesindeki hız davranışını da etkilediğı gözlenmiştir (Şekil 7.11 C3). İğne, ilmek kam profilini izlemeyi bırakarak mevcut hızı ile rehber kamına temas eder. Bu temas noktasında ortaya çıkan darbe ve tepki kuvvetlerinin etkisi ile iğnenin kam ile teması kesilir. Bu noktada, 20 dev/dak makine hızına sahip iğne, sahip olduğı hızın da etkisiyle kama daha büyük bir hızla temas eder ve büyük bir kuvvet ortaya çıkar. Bu da iğnenin ters yönde ivmelenmesine neden olur (Şekil 7.11 D4). Ortaya çıkan bu darbe kuvvetinin etkisiyle 20 dev/dak makine hızından çalışan iğnenin daha fazla yer değıştirdiğı ve yapısında bulunan mevcut hızın da etkisi ile kama ikinci

kez temas ettiği noktada ortaya çıkan kuvvetin, 15 dev/dak makine hızında çalışan iğneye göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (şekil 7.11 D5).

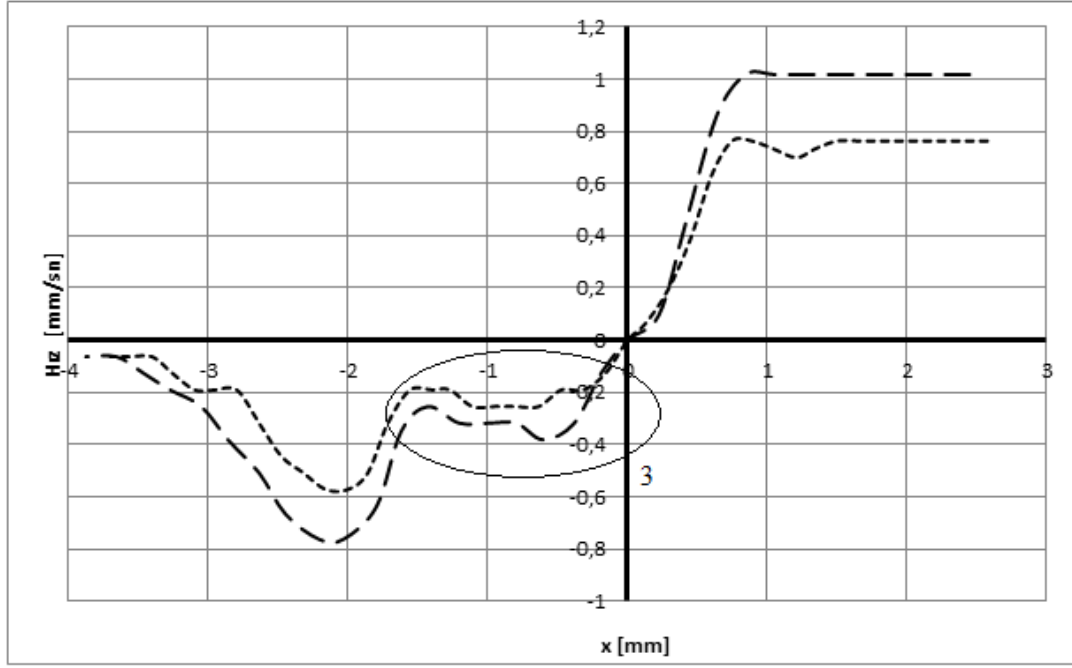


A

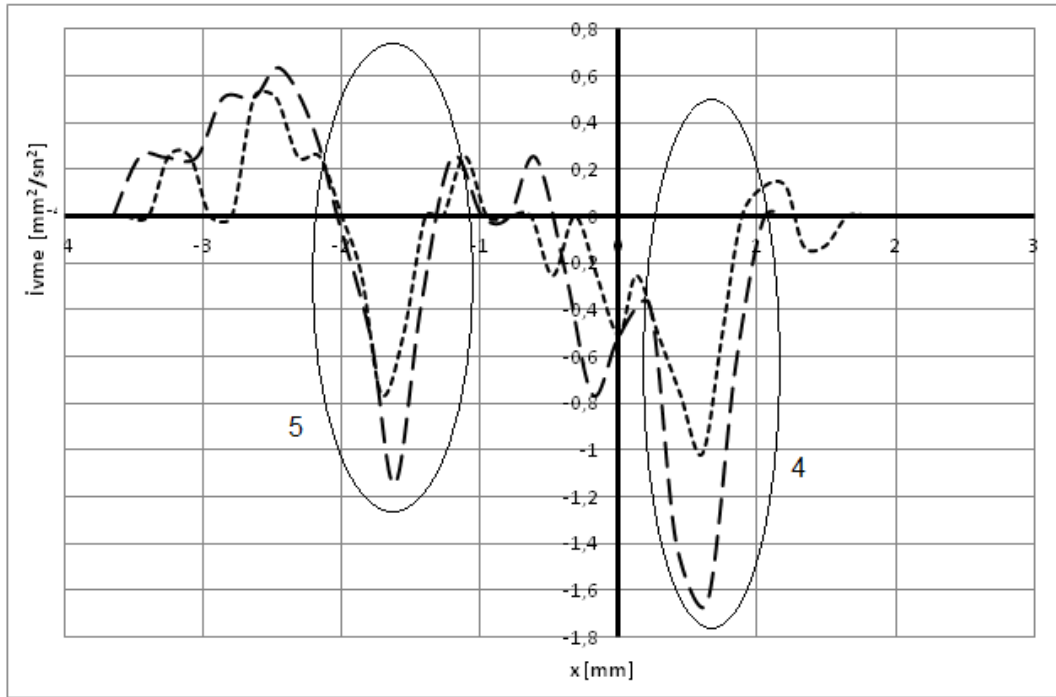


B

şekil 7.11 : Makine hızının iğne hareketine etkisi.



C



D

— İlmeç kamı — Rehber kamı
 ----- 15 dev/dak 3 cN Pamuk 9 cN Elastan - - - 20 dev/dak 3 cN Pamuk 9 cN Elastan

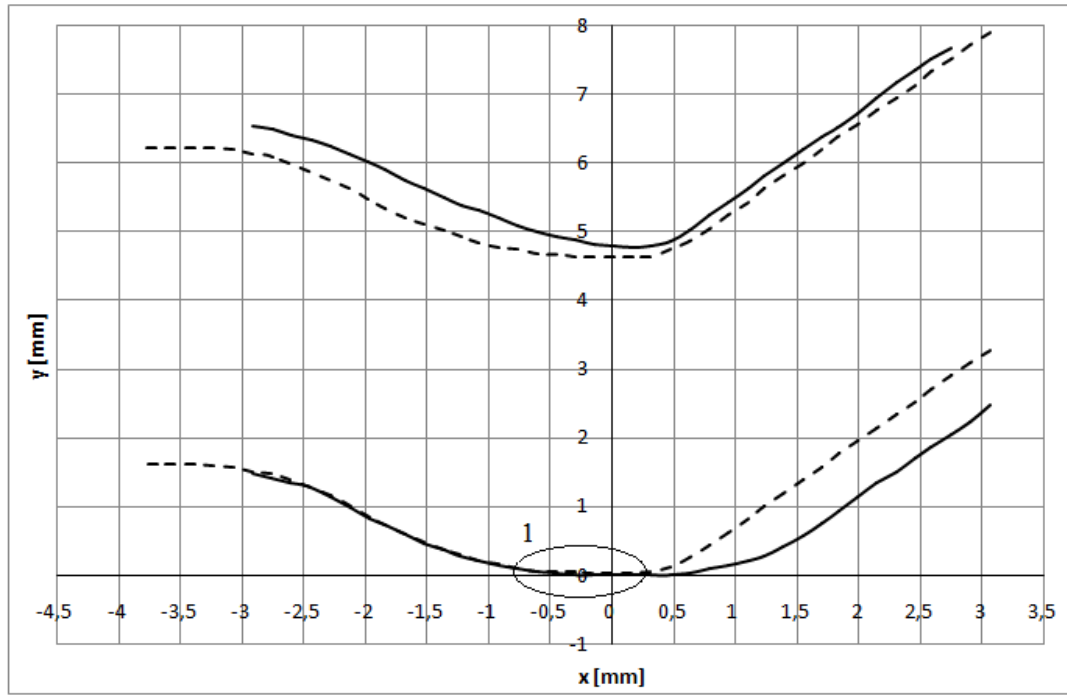
Şekil 7.11 (devam) : Makine hızının iğne hareketine etkisi.

Son olarak, çalışılan her iki makine hızı içinde elastan gerginliğindeki değişimin istatistiksel olarak iğne hareketine anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

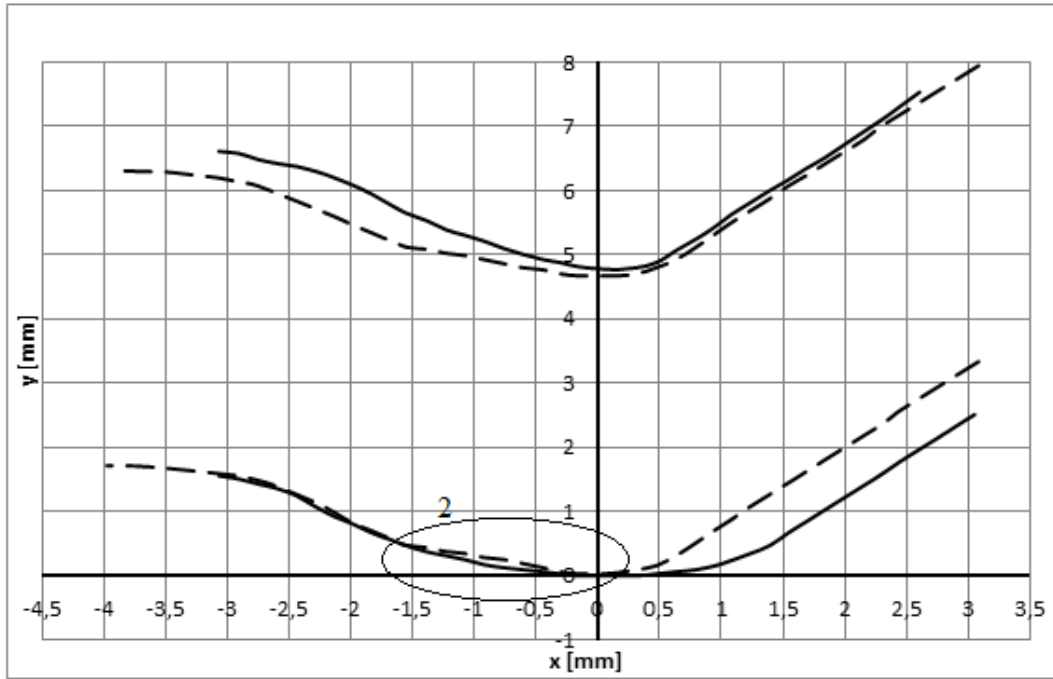
7.2.2 Tekstüre polyester-elastan

15 dev/dak makine hızında, % 100 tekstüre polyester ile üretim yapan iğnelerin hareketi tekstüre polyester-elastan üretimi yapan iğneler ile kıyaslandığında, elastan ipliğinin üretime katılmasıyla birlikte iğnenin kam profilini takip etmeyi azalttığı gözlenmiştir. Bu durumun ise, tekstüre polyester iplik gerginliği düşük olduğunda (ör. 3 cN) daha aşıkardığı belirlenmiştir. Örneğin, 3 cN gerginliğinde % 100 tekstüre polyester iplik ile kumaş ören iğne ile 3 cN tekstüre polyester-9 cN elastan iplik gerginliğiyle üretim yapan iğnelerin hareket eğrileri incelendiğinde, elastansız üretim yapan iğnenin neredeyse tüm kam profilini takip ederken, diğer iğnenin x eksenini doğrultusunda 1,4 mm ve y eksenini doğrultusunda 0,3 mm mesafelerinde bir yer değiştirmede bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 7.12 A1 ve B2). Bağımsız örneklem t-testi sonuçları da bu bulguyu istatistiksel olarak desteklemektedir. Buna göre düşük gerginlik ve 15 dev/dak makine hızında çalışan elastanlı ve elastansız kumaş üreten iğnelerin hareket davranışları arasında anlamlı bir fark mevcuttur (% 95 güven aralığı x: $t=-12,134$ $p=0,000$; y: $t=-5,400$ $p=0,001$). Diğer yandan, tekstüre polyester iplik gerginliği arttırıldığında (ör. 9 cN) elastanın üretime dahil edilmesiyle, iğne hareketinin çok değişmediği görülmüştür. İstatistiksel olarak da bu iki grubun arasında anlamlı bir fark mevcut değildir (% 95 güven aralığı x: $t=-0,884$ $p=0,386$ y: $t=-0,844$ $p=0,408$). Tekstüre polyester-elastan iplikleri ile kumaş üretiminde hem tekstüre polyester ipliğinin hem de elastan ipliğinin kopma uzama değerleri çok yüksektir (bakınız Çizelge 3.5). Dolayısıyla ipliklerin uzama değerleri kanca içinde bulunan iplik kuvvetine negatif yönde bir etki yapar. Böylelikle 15 dev/dak gibi düşük bir makine hızında çalışılmasının da etkisiyle, elastanın üretime dahil edilmesinin, tekstüre polyester kumaş üretiminde iğne hareketine çok da önemli bir etkisi olmadığı değerlendirilmiştir.

Diğer taraftan tekstüre polyester iplik gerginliğinin sabit tutulması ve elastan ipliğinin gerginlik değerlerinin değiştirilmesinin pamuk-elastan çalışma sonuçlarına benzer şekilde iğne hareketine önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür.

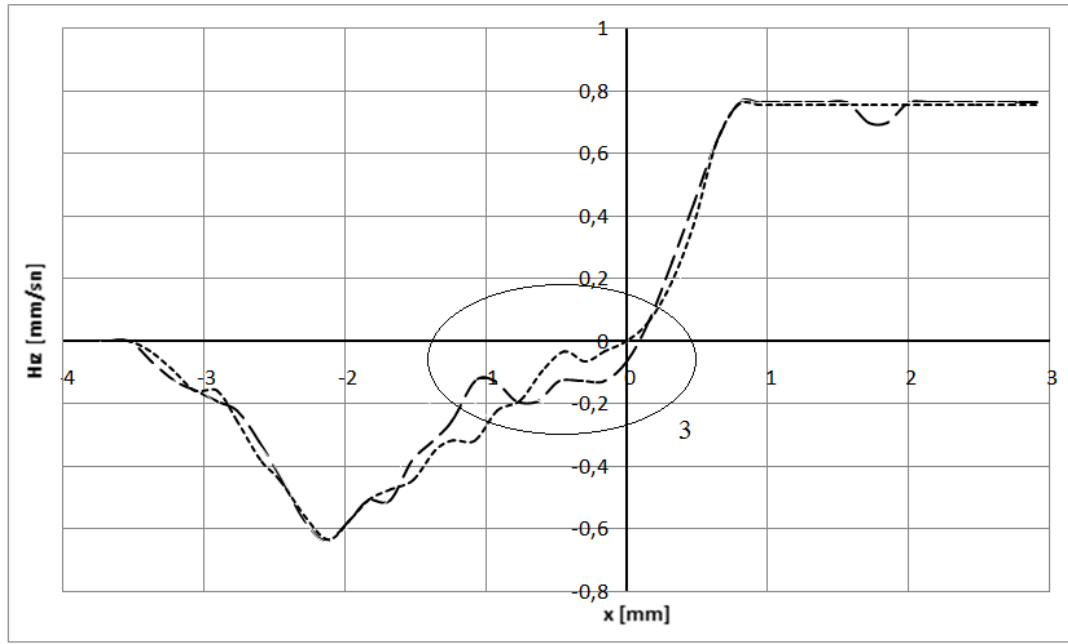


A



B

Şekil 7.12 : 15 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.



C

—— İlmek kamı
—— Rehber kamı

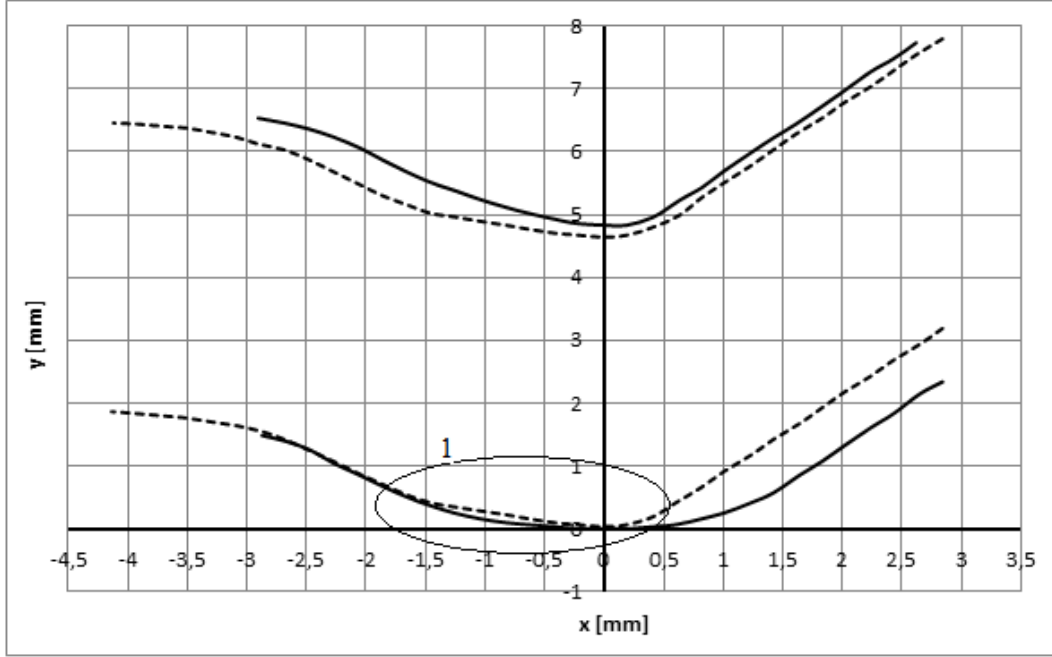
----- 15 dev/dak 3 cN PET
— · — 15 dev/dak 3 cN PET 9 cN Elastan

Şekil 7.12 (devam) : 15 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.

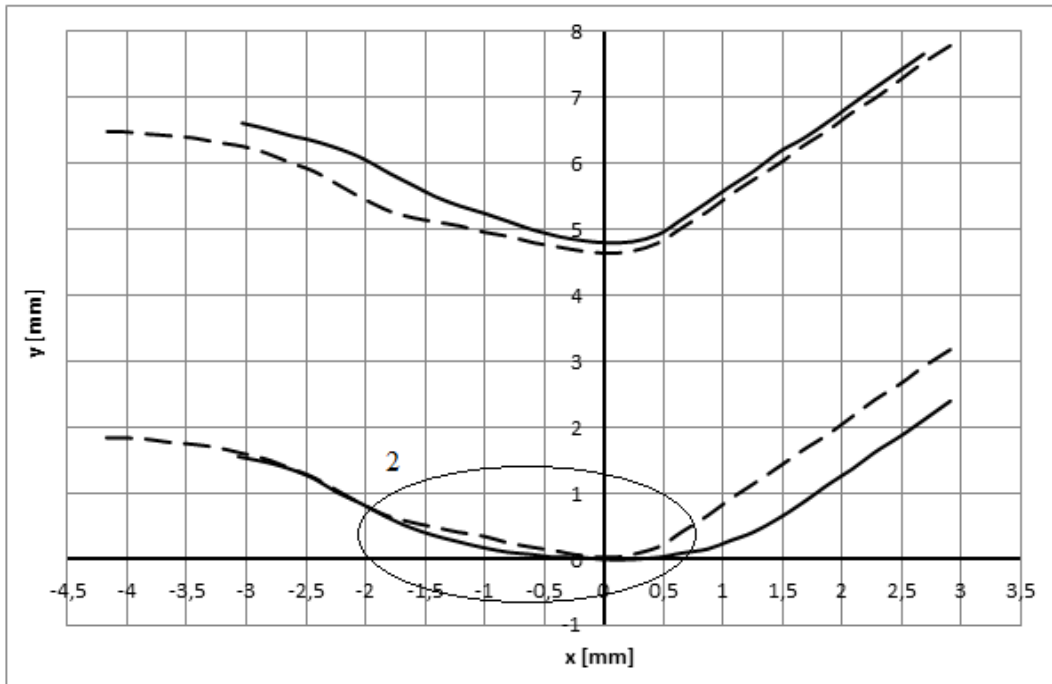
Son olarak, 15 dev/dak makine hızında, elastan ipliği üretime dahil edildiğinde, iğne hem x hem de y eksenleri doğrultusunda daha fazla yer değiştirme eğilimi gösterdiğinden, bu iğnenin geri besleme bölgesindeki hızı, elastansız üretim yapan iğneye göre daha fazla olmuştur (Şekil 7.12 C3).

20 dev/dak makine hızı ile çalışıldığında, 15 dev/dak sonuçlarından farklı olarak, tekstüre polyester ipliğinin gerginliğinden bağımsız olarak (ör. 3, 6 ve 9 cN) iğne yer değiştirme mesafelerinin arttığı görülmüştür. Bu artışın, özellikle tekstüre polyester iplik gerginliğinin yüksek olduğu durumlarda daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Örneğin 9 cN iplik gerginliğe sahip % 100 tekstüre polyester iplik ile ören iğne x eksenini doğrultusunda 1,6 mm ve y eksenini doğrultusunda 0,4 mm yer değiştirme gösterirken, 9 cN tekstüre polyester-9 cN elastan iplik gerginlikleri ile üretim yapan iğne x ve y eksenleri doğrultusunda sırasıyla 1,8 mm ve 0,6 mm mesafelerde kamlarla temas etmiştir (Şekil 7.13 A1 ve B2). Ayrıca, bağımsız örneklem t-testi sonuçlarına göre de 20 dev/dak makine hızında % 100 tekstüre polyester ile tekstüre polyester-elastan ile üretim yapan iğnelerin x eksenini doğrultusundaki hareketleri birbirinden % 95 güven aralığında farklı iken ($x: t = -2,121$ $p=0,041$), y eksenini doğrultusundaki hareketleri arasında ise anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($y: t = -1,315$ $p=0,197$).

Diğer taraftan elastan-polyester karışımı kumaş ören iğneler yani üretim sırasında daha fazla sıçramaya eğilimli olan iğneler, geri besleme bölgesinde daha hızlıdır (Şekil 7.13 C3).

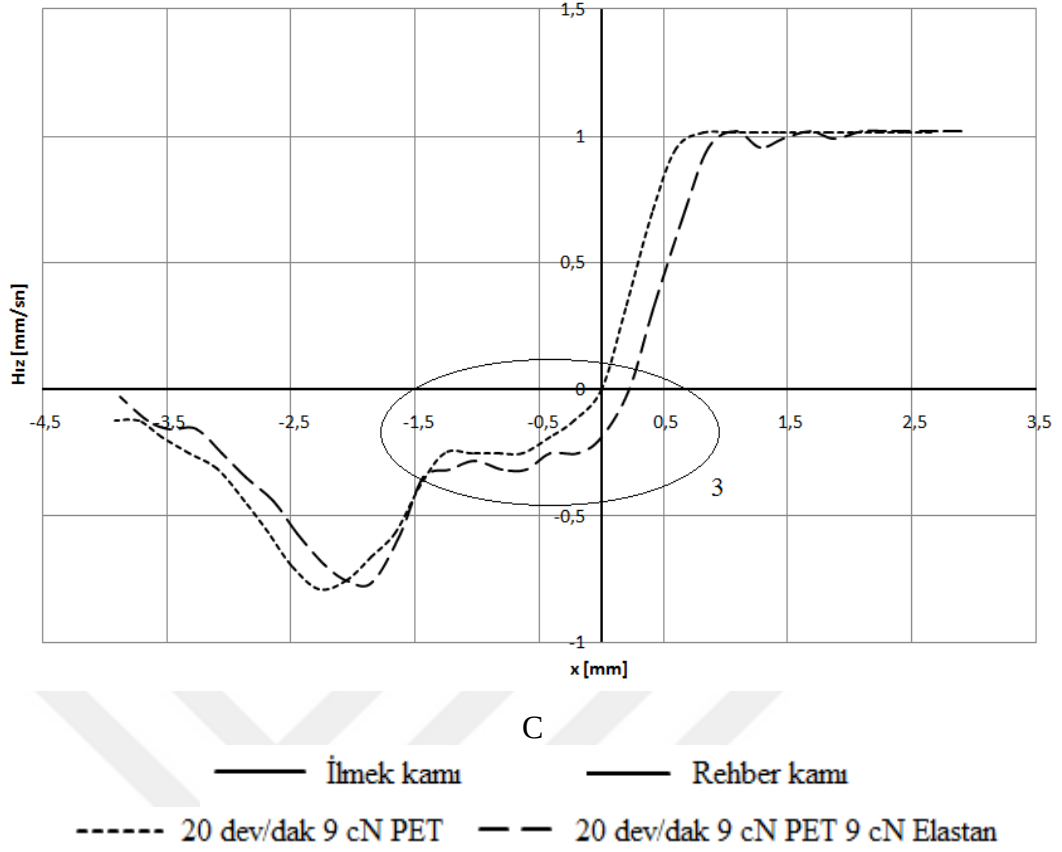


A



B

Şekil 7.13 : 20 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.

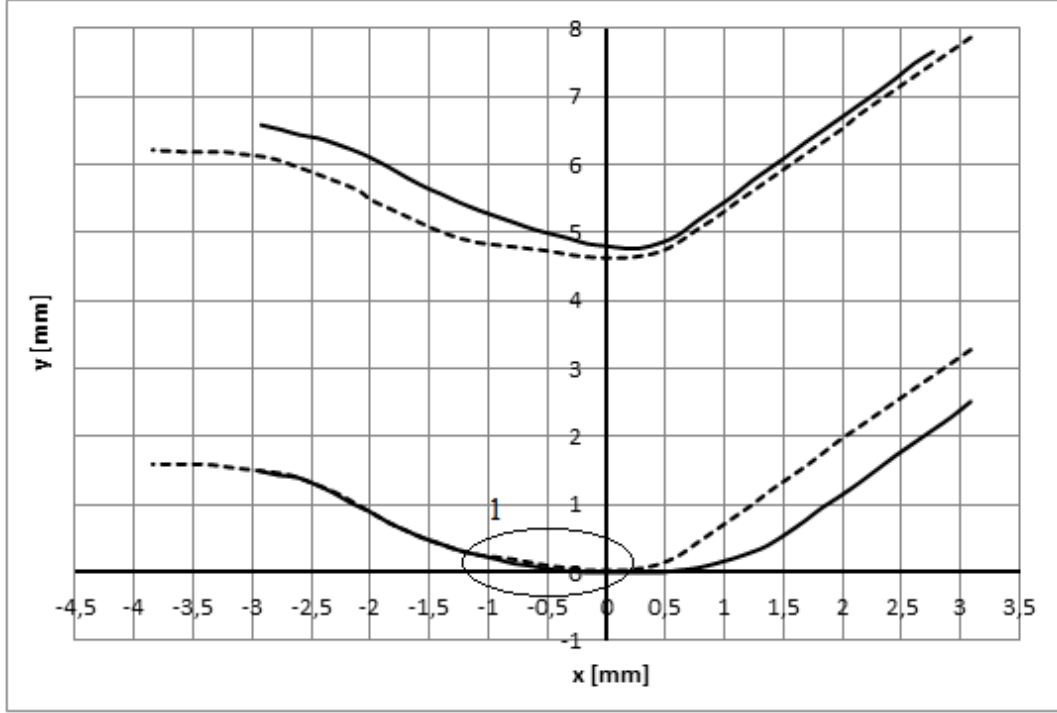


Şekil 7.13 (devam) : 20 dev/dak hızda elastanın iğne hareketine etkisi.

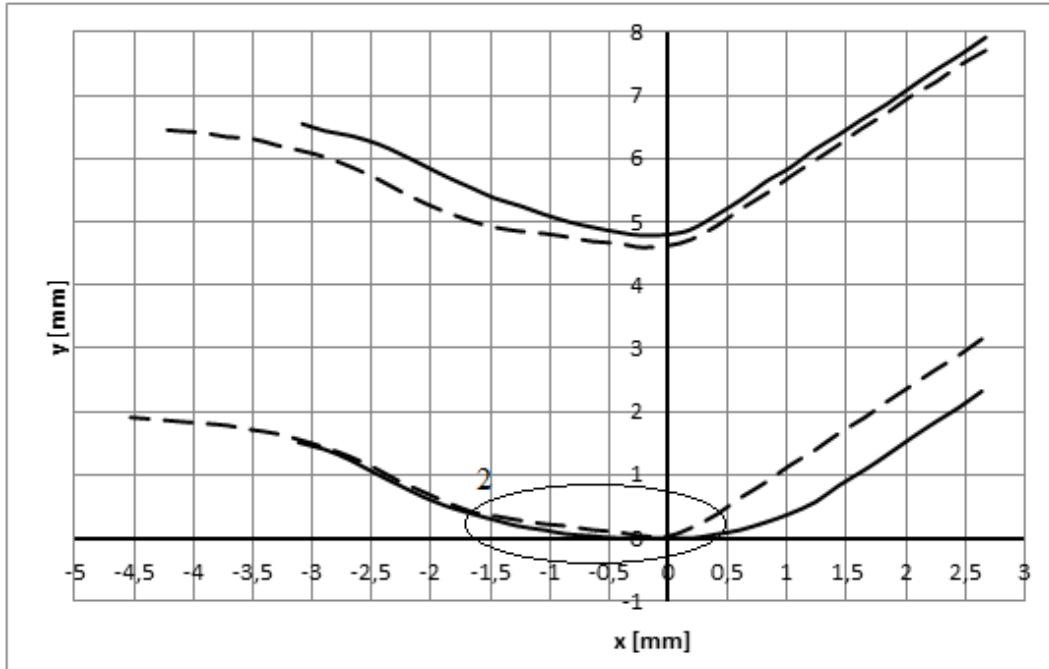
Ayrıca, 20 dev/dak makine hızı ile çalışıldığında değişen elastan iplik gerginlik değerleri için iğne hareket miktarlarında anlamlı bir değişim gözlenmezken; elastan iplik gerginliği sabit tutulup (ör. 3, 6 ve 9 cN), tekstüre polyester ipliğin gerginliği artırıldığında, elastansız üretimde olduğu gibi tekstüre polyester ipliğin gerginliğinin artırılması ile iğnenin her iki koordinat eksenini doğrultusunda daha fazla yer değiştirmeye eğilimli olduğu görülmüştür. En düşük ve en yüksek iplik gerginlik değerlerindeki iğne yer değiştirme mesafeleri arasındaki farkın çok daha aşikar olduğu da belirlenmiştir.

Farklı makine hızları için bulgular toplu olarak değerlendirildiğinde tekstüre polyester iplik gerginliği düşük olduğunda, makine hızının arttırılmasının iğne yer değiştirme miktarını (her iki ekseninde) arttırdığı gözlenmiştir. Şöyle ki, 15 dev/dak makine hızında 3 cN tekstüre polyester-3 cN elastan ile üretim yapıldığı takdirde iğne x ekseninde boyunca 1,0 mm ve y ekseninde ise 0,1 mm mesafede yükseltme kamı ile tekrar temas etmesine karşın; aynı iplik gerginliklerinde, 20 dev/dak makine hızı ile çalışıldığında ise bu değerler sırasıyla 1,5 mm ve 0,3 mm olarak değişmiştir (Şekil 7.14 A1 ve B2). Tekstüre polyester ipliğin gerginliği artırıldığı zaman ise makine hızındaki değişime

bağlı olarak ortaya çıkan iğne hareket miktarları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Eşleştirilmiş t-testi sonuçlarına göre de aynı iplik gerginliklerine sahip tekstüre polyester-elastan iplik ile ören iğnelerin hareket davranışına makine hızının bir etkisi olmadığı görülmüştür (x: $t=1,674$ $p=0,106$; y: $t=0,721$ $p=0,477$).

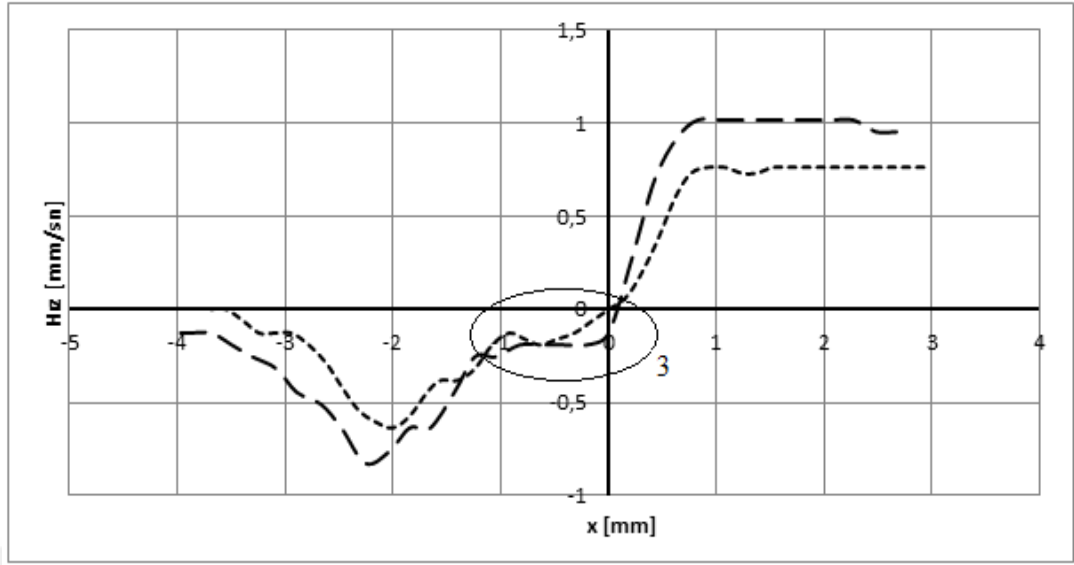


A

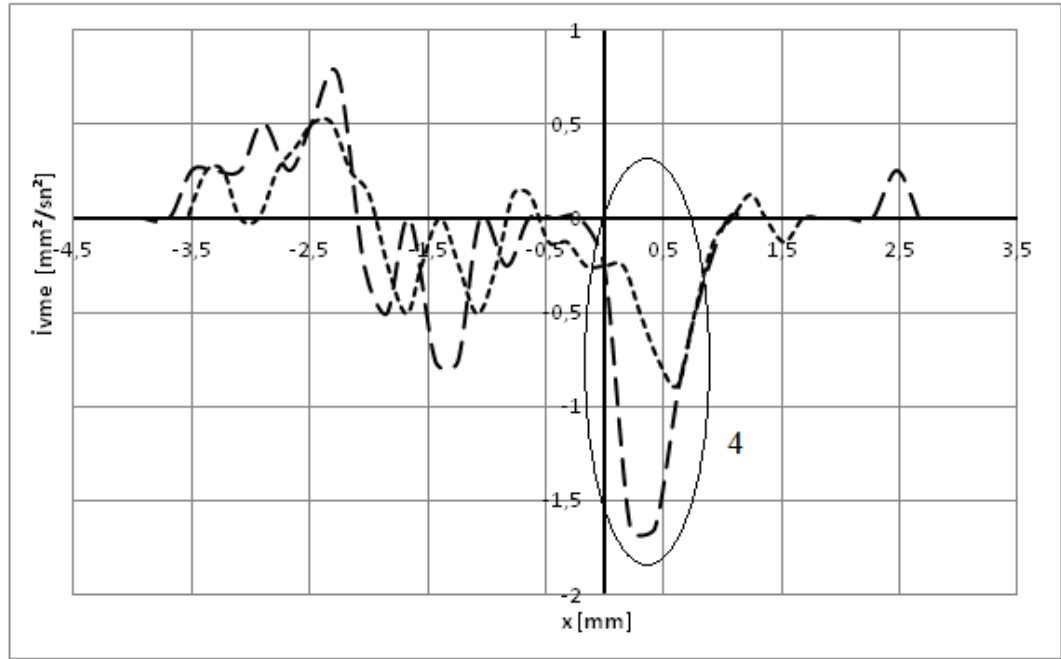


B

Şekil 7.14 : Makine hızının iğne hareketine etkisi.



C



D

———— İlmeç kamı

———— Rehber kamı

----- 15 dev/dak 3 cN PET 3 cN Elastan - - - 20 dev/dak 3 cN PET 3 cN Elastan

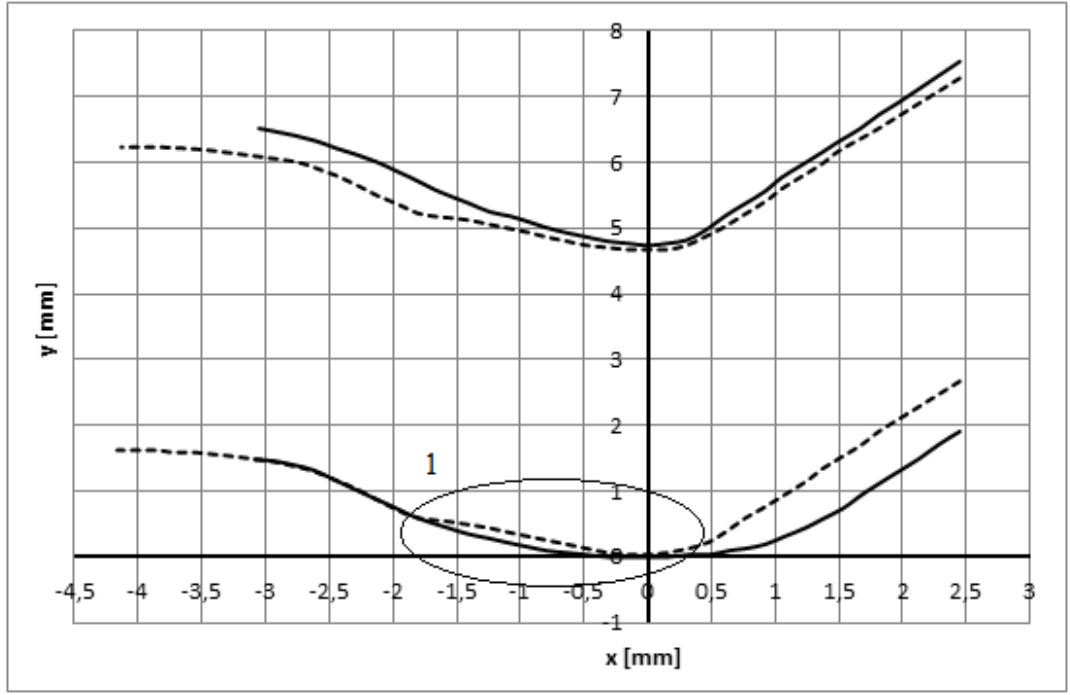
Şekil 7.14 (devam) : Makine hızının iğne hareketine etkisi.

Makine hızındaki değişime bağlı olarak iğnelerin geri besleme bölgesindeki hız değişimleri irdelendiğinde, 20 dev/dak makine hızında, iğnelerin hızının anılan bölgede beklenildiği üzere daha fazla olduğu gözlenmiştir (Şekil 7.14 C3). Ayrıca, bu iğnelerin ivme karakteristikleri incelendiğine rehber kamına ilk kez temas ettikleri

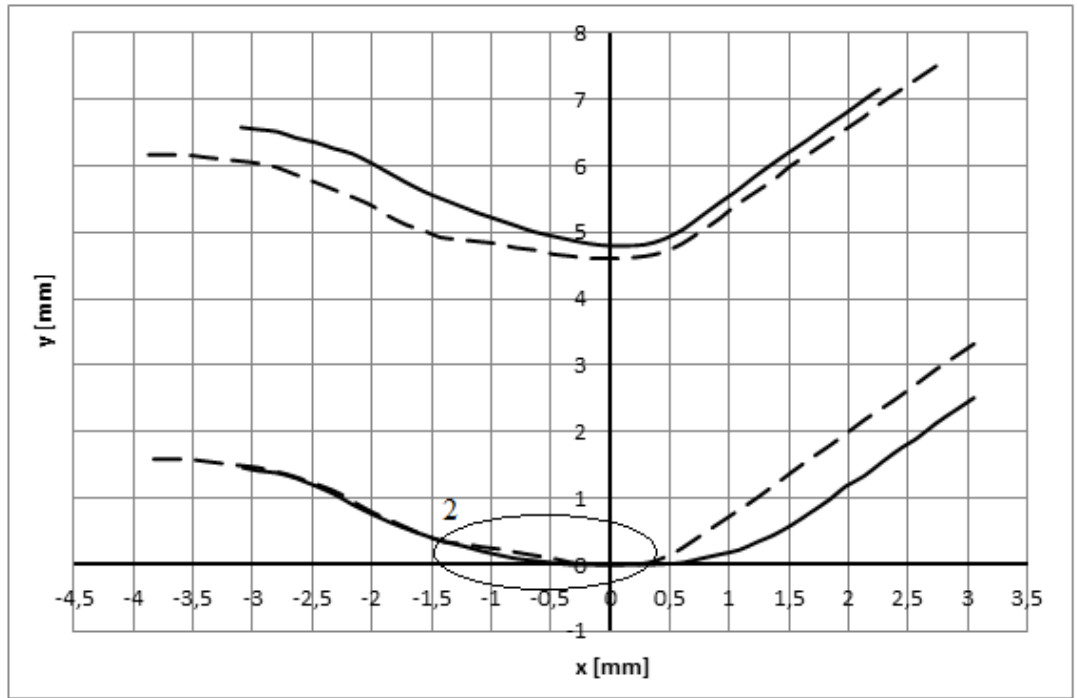
noktada, 15 dev/dak makine hızında üretim yapan iğnelere göre daha fazla bir darbe kuvveti oluşturdıkları değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, hızı yüksek iğnelerin kam ile ilk temas noktasında meydana gelen darbe kuvvetinin etkisiyle ters yöndeki ivmelenmesi, diğerlerinden yaklaşık % 50 oranında daha fazladır. Hızı nispeten düşük iğneler ise neredeyse kam profilini tamamen takip ettiklerinden dolayı kama temas ettikleri noktada yüksek bir darbe kuvveti oluşturmadıklarından ikinci bir ivmelenme gerçekleşmemiştir. Yüksek hızlı iğneler ise ikinci kez kama temas ettiği noktada tekrar bir ivmelenme göstermiştir (Şekil 7.14 D4).

7.2.3 Pamuk-elastan ve tekstüre polyester-elastan sonuçlarının karşılaştırılması

Düşük iplik gerginliği ve makine hızında; tekstüre polyester ipliğini ören iğnenin, pamuk ipliği ile çalışan iğne kadar elastanın üretime dahil edilmesinden etkilenmediği gözlenmiştir. 15 dev/dak makine hızında, 3 cN pamuk- 6 cN elastan ile üretim yapan iğnenin x eksenı boyunca 1,7 mm ve y eksenı boyunca 0,6 mm mesafelerde yer değıştirdiğı görölürken, aynı makine hızı ve elastan gerginliğinde 3 cN tekstüre polyester ile üretim yapan iğnenin x ve y eksenleri doğrultusunda sırayla 1,3 mm ve 0,3 mm mesafelerde kam ile temasını kestiğı belirlenmiştir (Şekil 7.15 A1 ve B2). Bu sonucun, iğneyi yukarı doğru çeken iplik kuvvetinin düşük iplik gerginliklerinde, tekstüre polyester ipliğın yüksek uzama özelliğinin de etkisiyle, çok etkili olmamasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçları da düşük iplik gerginliği ve 15 dev/dak makine hızında iğnelerin x ve y koordinatları boyunca yaptığı yer değıştirmeler arasında anlamlı bir fark olduğunu ortaya koymuştur (% 95 güven aralığı x: $t=9,827$ $p=0,000$; y: $t=11,000$ $p=0,000$). Kam yüzeyini daha fazla takip etmeye meyilli olan tekstüre polyester-elastan iplik ile üretim yapan iğnenin geri besleme bölgesindeki hızı daha yavaştır (Şekil 7.15 C3).

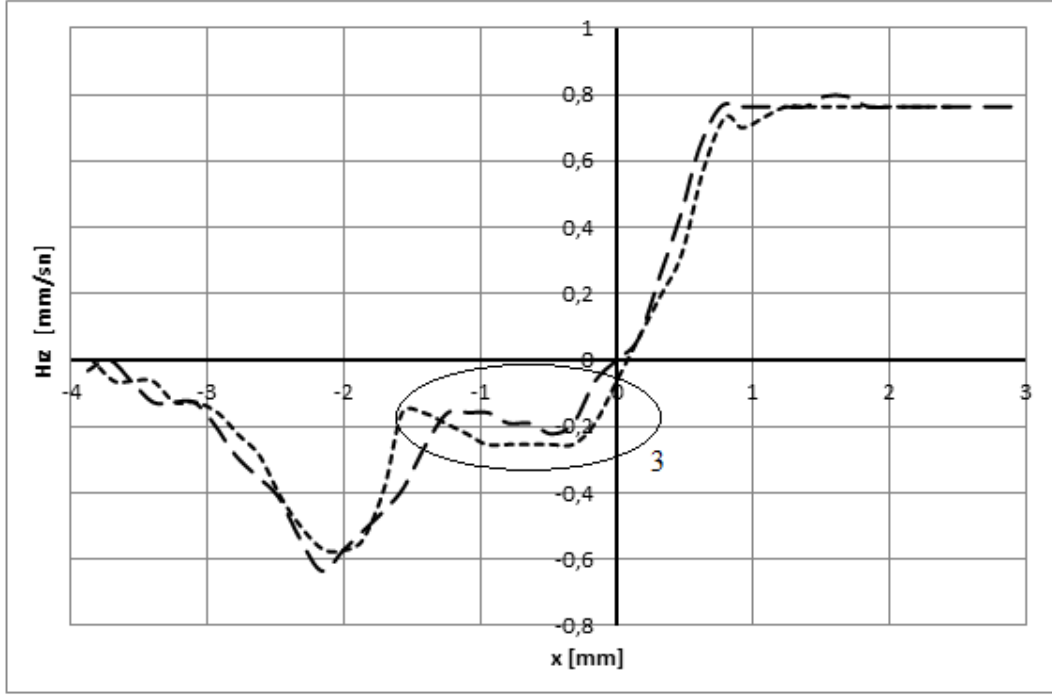


A



B

Şekil 7.15 : Malzeme ve iplik tipinin iğne hareketine etkisi.



C

————— İlmek kamı ————— Rehber kamı
 - - - - - 15 dev/dak 3 cN Pamuk 6 cN Elastan - . - . - 15 dev/dak 3 cN PET 6 cN Elastan

Şekil 7.15 (devam) : Malzeme ve iplik tipinin iğne hareketine etkisi.

Hem makine hızı artırılıp hem de ana ipliğin (pamuk veya tekstüre polyester) gerginliği artırıldığında ise, elastansız üretimde olduğu gibi, iğnelerin hareket eğrileri benzer bir davranış sergilemişlerdir. Öyle ki, iplik ve lif tipinden bağımsız olarak, iğnelerin anılan üretim şartlarında daha fazla yer değiştirme eğilimi göstermişlerdir. Diğer yandan, tekstüre polyester ipliğinin yüksek kopma uzaması özelliğine sahip olması ve pamuk ipliklere göre yüzey yapısının nispeten daha düzgün olması nedeniyle iğne kancasına etki eden iplik kuvvetinin etkisinin de daha az olacağı ve bu nedenle iğneler x eksenini doğrultusunda aynı miktarda yer değiştirirken, pamuk-elastan ile çalışan iğnelerin y eksenini doğrultusunda daha fazla yer değiştirmesinin beklendiği değerlendirilmiştir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yuvarlak örme makinelerinde kullanılan iğnelere etki eden kuvvetler ve kuvvetler sonucunda yorulma ömrünün belirlenmesine yönelik olarak kurgulanan bu çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci kısmı İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Örme Laboratuvarı'nda, ikinci kısmı RWTH Aachen Üniversitesi ITA Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında; iğne kanalları çalışma kurgusuna uygun şekilde modifiye edilen, laboratuvar tipi, tek beslemeli ell, altı iğneli 3.25" yuvarlak örme makinesi kullanılmıştır. Ne 4/1 %100 open-end telefli pamuk ipliği ile kontrollü ve sabit örme şartları altında kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında üç defa detaylı makine temizlik ve bakımı yapılmış, 10.042.072 devir sonrasında iğnenin pim bölgesinden kırıldığı tespit edilmiştir. Test doğruluğunun sağlanması açısından ilk iğnenin kırılmasından sonra kumaş üretimine devam edilmiş ve meydana gelen hasarın tesadüfi olmadığı tespit edilmiştir. Bunu takiben, iğne kırılmasının yaşandığı yüzeye en yakın profile HBM LY11-0.3/120 Y serisi doğrusal, tek ölçüm ızgaralı, 120 Ω dirençli, ölçüm ızgarası boyut 0,3 mm olan gerinim ölçer yerleştirilmiş ve 100 dev/dak makine hızı ve 100 Hz' de kumaş üretimi esnasında iğnede meydana gelen birim uzama değişimi ölçülmüştür. Elde edilen veriler Catman yazılımı ile bilgisayara aktarılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, verilerin 5 ile -27 MPa arasında salınım yaptığı görülürken, küçük titreşimlerin belirli periyotlarda büyük pikler ile bölündüğü tespit edilmiştir. Ortaya çıkan bu büyük piklerin, iğnenin ilmek aşırta pozisyonunda meydana geldiği değerlendirilmiştir.

Çalışmanın devamında Spider yazılımı ile elde edilen gerinim uzama değerleri nCode Glypworks yorulma programına aktarılarak, çalışma sırasında kullanılan iğnenin sanal yorulma analizi yapılmıştır. Yapılan bu yorulma analizine göre, iğnenin 10.950.400 tekrar sayısı sonunda yorularak kırılacağı ortaya çıkmıştır. Elde edilen bu sonucun, deneysel çalışma sonucunda ortaya çıkan toplam ömürden %9,04 daha farklı olduğu görülmüştür. Ortaya çıkan bu farkta, iğne malzemesinin S-N grafiğinin ampirik olarak hesaplanmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Zamana ve gerilmeye bağlı hasar

veri grafikleri ise yüksek gerilme değerlerinin sayıca az olmasına rağmen meydana gelen hasarda etkili olduğunu göstermiştir.

Üretim esnasında iğne yüzey profilinin çalışma şartlarından ne şekilde etkilendiği, çalışmanın diğer bir araştırma konusu olmuştur. Bu amaçla, üretim esnasında üç farklı çevrim zamanında rastgele seçilen iğnelerin; kanca iç -yanal yüzeyleri, pim bölgesi ve topuğun yanal- üst yüzeyleri olmak üzere yedi farklı bölgesinden 10x, 250x, 1000x ve 3000x farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü'nde çekilerek irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre iğnenin oluşturduğu ilmek sayısı arttıkça, iğne topuğunda meydana gelen deformasyonun arttığı görülmüş, kanca iç yüzeyindeki iplik izlerinin de derinleştiği tespit edilmiştir.

Yorulma analizlerini yüksek doğrulukla gerçekleştirebilmek için gerilme yığılmasına maruz kalan parçanın sonlu elemanlar modelleri ile doğrulanması gerekir. Bu yüzden, çalışma sırasında kullanılan iğnelerden elde edilen deneysel sonuçların karşılaştırmalı olarak doğrulanması amacıyla sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Bu aşamada, gerçek model üzerinden koordinat belirleme makinesi ile kullanılan iğnenin 3-boyutlu modeli alınmış; kam ve silindir parçalarının 3-boyutlu modelleri ise Solidworks programında çizilmiştir. Montajı gerçekleştirilen sistemin sonlu elemanlar modeli Abaqus yazılımı kullanılarak, iğnenin yerçekimi ve kamın dönüş hızına bağlı olarak gerçeği yansıtacak şekilde oluşturulmuştur. Yapılan dinamik/explicit analiz sonucunda elde edilen gerilme değerleri, nCode Designlife programına beslenerek iğnenin sanal yorulma analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma neticesinde sonuçlar arasında % 14,17 bir fark elde edilirken; en fazla hasara maruz kalan yüzeyin, iğnenin deneysel çalışma ile tespit edilen hasar yüzeyinde olacağı belirlenmiştir. Buna göre deney ve sanal yorulma analizi sonuçları birbirini doğrulayacak yakınlıktadır. Yapılan bu çalışma ile yuvarlak örme makinalarında kullanılan iğnelerin yorulma ömürlerinin sonlu elemanlar ve sanal yorulma analizleri çözümlenebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla yuvarlak örme makinesi iğnesinin dinamik analizinin yapılabileceği ve bu analiz sonuçlarının mevcut ve/veya gelecekteki iğne/kam tasarımlarının geliştirme/iyileştirme çalışmalarında kullanılabileceği de değerlendirilmiştir.

Sanayi tipi E 24 30" 90 beslemeli Beck Gmbh yuvarlak örme makinesinde gerçekleştirilen çalışmanın ikinci kısmında, kumaş üretimi sırasında iğne hareketi yüksek çözünürlüklü OLYMPUS i-SPEED-3 yüksek hızlı kamera ile çekilen

görüntüler yardımıyla analiz edilmiştir. İğne hareket eğrileri iki farklı iplik tipi (%100 ring pamuk ve tekstüre polyester), üç farklı iplik gerginlik değeri (3, 6 ve 9 cN) ve iki farklı makine hızı (15 ve 20 dev/dak) için çıkarılarak analiz edilmiştir. Buna ilave olarak, elastan ipliğinin ve gerginliğinin iğne hareketine etkisi de çalışmanın araştırma konusu olmuştur. Yapılan çalışmaya göre şu sonuçlar elde edilmiştir:

- İplik gerginliğinin artırılması ile birlikte; iğne hem x, hem y yönünde daha uzun mesafeye sıçramaktadır.
- Elastanın üretime dahil edilmesiyle, iğnenin sıçrama mesafesi artmaktadır. Fakat elastan gerginliği değerinin iğne hareketine etkisi istatistiksel olarak önemli değildir.
- Düşük iplik gerginliği ve makine hızlarında, % 100 pamuk ipliği ile üretim yapan iğne, %100 tekstüre polyester ile üretim yapan iğneye kıyasla daha fazla sıçramaktadır. Ancak, yüksek iplik gerginliği ve makine hızlarında her iki iplik tipi benzer mesafelere (x ve y eksenleri doğrultusunda) sıçramaktadırlar.
- Makine hızının artırılması ile birlikte iğne sıçrama miktarı artmaktadır.

Bu tespitler doğrultusunda daha uzun ömürlü bir iğne için şu önerilerde bulunulmuştur:

- Çok yüksek iplik gerginliklerinde çalışılması kanca iç yüzeyindeki gerginliği artırdığından, çok yüksek iplik gerginlik değerlerinde çalışılmamalıdır.
- Sürtünme değeri daha düşük iplikler ile çalışılması tercih edilmelidir.
- Makine hızının artırılması kam yolu içinde iğne sıçramasını da artırdığından, yorulmayı hızlandıran reaksiyon ve darbe kuvvetleri de buna bağlı olarak artmaktadır.

Elde edilen bu sonuçlardan yola çıkarak ileriki çalışmalar için altta belirtilen hususlar önerilmektedir:

- Uygulanacak yüzey işlemlerinin iğne ömrüne etkisi incelenebilir.
- Değişik iğne malzemelerinin ve üretim proseslerinin iğne ömrüne etkileri irdelenebilir.
- Oluşturulan sonlu elemanlar modeli kullanılarak, farklı iğne konstrüksiyonları için ömür tahminlemesi yapılabilir.
- Örme makinesi dinamiği bu çalışmada incelendiği ve deneysel verilerle teyit edildiği için makine parametrelerinde ve üretim ile ilgili parametrelerde

yapılacak değişikliklerin mekanik hasar ve makine parçalarının dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenebilir.

- Laboratuvar tipi yuvarlak örme makinesi için oluşturulan sonlu elemanlar modeli esas alınarak, sanayi tipi yuvarlak örme makinesi için de sonlu elemanlar modeli geliştirilebilir.
- İğne hareket eğrileri analizine; lif tipi, iplik numarası, kumaş çekimi ve kumaş yapısı değişkenleri de eklenerek optimizasyon çalışmaları genişletilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Url-1**<<http://www.groz-beckert.com>>, erişim tarihi 15.09.2016.
- [2] **Yayla, P.** (2007). *Kırılma Mekaniği*. İstanbul: Çağlayan kitapevi. ISBN 978-975-436-070-7.
- [3] **Demirkol, M.** (2010). *Malzemelerin mekanik davranışı ders notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [4] **Zahavi, E. ve Torbilo, V.** (1996). *Fatigue design life expectancy of machine parts*. Florida: CRC Press LLC. ISBN 0-8493-8970-4.
- [5] **Little T., Smith, G. ve Ward S.** (1986). Latch needle wear with open end cotton yarn, *ATI*, 9, 1-3.
- [6] **Seidel, A. ve Bühler, G.** (1990). Abrasive knitting element wear caused by filament and staple fiber yarns. *ITB Fabric Forming*, 4 (57), 33-46.
- [7] **Thavamani, A.** (2003). *Interaction of yarn with metallic surfaces* (Yüksek lisans tezi). North Carolina State University, College of Textiles, Raleigh.
- [8] **Akaydın, M.** (2002). İğneler üzerinde örme ipliklerinden kaynaklanan aşınmanın nedenleri ve örme kumaş kalitesi üzerine etkileri. *Tekstil&Teknik, Mart*, 154-158.
- [9] **Sevim, İ.** (1997). *Çeliklerin abrasif aşınmasında aşındırıcı tane büyüklüğünün aşınma direncine etkisi* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Cukul D.** (2007). *Yuvarlak örme makinalarında iğne aşınma davranışını etkileyen üretim ve iplik parametreleri* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] **Bayer, R. G.** (2002). *Wear analysis for engineers*. New York: HNM Publishing. ISBN 0-9664286-5-X.
- [12] **Ward, S. G.** (1986). *OE Yarn properties responsible for accelerated wear of latch needles* (Yüksek lisans tezi). North Carolina State University, College of Textiles, Raleigh.
- [13] **Jones, J.** (2001). *Abrasion characteristics of ring-spun and open-end yarns* (Yüksek lisans tezi). North Carolina State University, College of Textiles, Raleigh.
- [14] **Atasu, A. ve Candan, C.** (2000). Parameters influencing latch needle wear. *Knitting, Mart*, 39-40.
- [15] **Aran, A.** (2008). *Malzeme bilgisi ders notları*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [16] **Küçükay, Y. B.** (2009). *Bir ticari taşıtın gövde-şasi bağlantı bölgesindeki mukavemetinin artırılmasına yönelik bir uygulama* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [17] **Dinçer, S.** (2005). *Punta kaynaklarının yorulma ömrü hesaplarında kullanılan sonlu eleman modellerinin karşılaştırılması* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **Tauscher, H.** (1983). *Çelik ve dökme demirlerin yorulma dayanımı*, (Güleç, Ş. ve Aran, A.Çev.) MBEAE Matbaası, Gebze.
- [19] **Bishop, NWM. ve Sherratt, F.** (2000). *Finite Element Based Calculations*, NAFEMS.
- [20] **Stephens, R.I., Fatemi, A., Stephens R.R., ve Fuchs, H. O.** (2001). *Metal fatigue in engineering*. New York: A Wiley-Interscience Publication, ISBN 0-471-51059-9.
- [21] **Collins, J. A** (1993). *Failure of materials in mechanical design : Analysis, prediction*, New York: Wiley
- [22] **Norton, R.L.** (1998). *Machine design: An integrated approach*. New Jersey: Prentice Hall.
- [23] **Schijve, J.** (2001). *Fatigue of structures and materials*. Dordrecht: Kluwer Academic Publication. ISBN 0-7923-7013-9.
- [24] **Norman, E. D.** (2004). Mean stress effects in stress-life and strainlife fatigue. *Society of Automotive Engineers*, 25, 54-65.
- [25] **Budynas, R. ve Nesbitt, J.K.** (2008). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. Boston: McGraw Hill.
- [26] **Klebanov, B.M., Barlam, D. M. ve Nystrom, F. E.** (2008). *Machine elements life and design*. Florida: CRC Press LLC. ISBN 0-8493-9563-1.
- [27] **Jadon, V. K. ve Verma, S.** (2010). *Analysis and design of machine elements*. New Delhi: I.K International Publishing House Pvt.Ltd. ISBN 978-93-80026-47-3.
- [28] **Lee, Y. L., Pan, J., Hathaway, R. ve Barkey, M.** (2005). *Fatigue testing and analysis: Theory and practice*. Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- [29] **Schijve, J.** (2001). *Fatigue of structures and materials*. Dordrecht: Kluwer Academic Publication. ISBN 0-7923-7013-9.
- [30] **Dirlik, T.** (1985). *Application of computers in fatigue analysis* (Doktora tezi). University of Warwick, Department of Engineering, Coventry.
- [31] **Zahavi, E.ve Barlam, D.** (2000). *Nonlinear problems in machine design*. Florida: CRC Press LLC. ISBN 0-8493-2037-1.
- [32] **Farahmand, B., Bockrath, G. ve Glassco, J.** (1997). *Fatigue and fracture mechanics of high risk parts: Application of LEFM & FMDM theory*. New York: Chapman & Hall.
- [33] **Dowling, N. E.** (1998). *Mechanical behavior of materials: Engineering methods for deformation, fracture and fatigue*. New York: Prentice Hall.
- [34] **Anderson, T. L.** (2014). *Kırılma mekaniği esaslar ve uygulamalar* (Eryürek, B., Akınay, E. Çev.) Orhan Yavuz Teknik Eğitim Vakfı İktisadi İşletmesi, İstanbul ISBN 978-605-61001-2-3.

- [35] **Eryürek, B.** (1993). *Hasar Analizi*. İstanbul: Birsen Yayınevi. ISBN 0-87170-007-7.
- [36] **Belytschko, T., Liu, W.K., Moran, B. ve Elkhodary, K.I.** (2014). *Nonlinear Finite elements for continua and structures*. West Sussex: John Wiley&Sons ISBN 978-1-118-63270-3-X.
- [37] **Bathe, K. J.** (1996). *Finite element procedure*. New Jersey: Prentice-Hall International ISBN 0-13-349679-X.
- [38] **Adams, V. ve Askenazi, A.** (1999). *Building better products with Finite Element Analysis*. Santa Fe: OnWord press ISBN 156690-160.
- [39] **Huebner, K.H., Dewhirst, D.L., Smith, D. E. ve Byrom, T. G.** (2001). *The finite element method for engineers*. New York: A Wiley-Interscience Publication ISBN 0-471-37078-9.
- [40] **Mohr, G.A.** (1992). *Finite elements for solids, fluids and optimization*. New York: Oxford University Press. ISBN: 0-19-856369-8.
- [41] **Knight, C. E.** (1993). *The finite element method in mechanical design*. Boston: PWS-KENT Publishing ISBN 0-534-93187-1.
- [42] **Url-2** <<http://www.a-ztech.com.tr/abqcae.html>>, erişim tarihi 15.09.2016.
- [43] **Suresh, S.** (1998). *Fatigue of materials*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 0-521-57046-8.
- [44] **Talay, E.** (2006). *Nokta kaynak konstrüksiyonlarının bilgisayar destekli yorulma ömür hesaplamaları ve deneysel yöntemlerle doğrulanması*, (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [45] **Spencer, D.J.** , 1989. *Knitting Technology*, Pergamon Press, Oxford.
- [46] **Url-3**
<<http://www.textilefabric.yolasite.com/resources/knitting%20fundamentals.pdf>> , erişim tarihi 15.08.2016.
- [47] **Url-4** < http://www.schickbin.com.br/eng/images/platinas_amp.jpg> , erişim tarihi 15.08.2016.
- [48] **Url-5** < www.aliexpress.com>, erişim tarihi 15.08.2016.
- [49] **Url-6**
<http://www.megap.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Tek%20Plaka%20Yuvarlak%20%C3%96rne%20Makinelerinde%20%C3%9Cretim%203.pdf> , erişim tarihi 15.08.2016.
- [50] **Black, D.H. ve Munden, D.L.** (1970) Increasing the rates of fabric production of weft-knitting machinery Part I: The design and performance of high-speed knitting cams. *Journal of The Textile Institute*, 61, 13-324.
- [51] **Knapton, J.F.** (1966). The dynamics of weft knitting: A mathematical analysis, *Textile Research Journal*, August, 706-714.
- [52] **Song, G., Li, Y. ve Wu, J.** (2004). A study on the optimum design of non-linear cam profiles in weft –knitting machines, *Journal of Textile Institute*, 95, 171-182.

- [53] **Long, H.R.** (2000). The effect of the shape and parameters of the knitting needle on cam-to-needle impact forces. *Journal of Textile Institute*, 91, 259-267.
- [54] **Black, D. H. ve Munden, D.L.** (1970) Increasing the rates of fabric production of weft-knitting machinery Part II: An analysis of high- speed knitting-cam systems. *Journal of The Textile Institute*, 61, 325- 339.
- [55] **Oldham, K., Burns, N. D. ve Simms, G. J.** (1985). Non-Linear cams for weft-knitting machines, *Journal of the Textile Institute*, 1 (4), 30-37.
- [56] **MacCarthy, B. L., Sharp, J. M. ve Burns, N. D.** (1992). An analysis of the mechanical forces in latch needle cam systems. *Proc. Instn.Mech. Engrs*, 206, 129-137.
- [57] **Wray, G. R. ve Burns, N. D.** (1976). Cam to needle impact forces in weft-knitting Part I: The theory of stitch–cam impact. *Journal of Textile Institute*, 6, 189-194.
- [58] **Wray, G. R. ve Burns, N. D.** (1976). Dynamic forces in weft knitting Part I: A comparison of measured non-knitting cam forces with mathematical predicted values. *Journal of Textile Institute*, 6, 149-155.
- [59] **Wray, G. R. ve Burns, N. D.** (1976). Cam to needle impact forces in weft-knitting Part III: Some measurements of stitch-cam impact. *Journal of Textile Institute*, 6, 199-205.
- [60] **Wray, G. R. ve Burns, N. D.** (1976). Cam to needle impact forces in weft-knitting Part IV: Further measurements of stitch cam impact. *Journal of Textile Institute*, 6, 206-209.
- [61] **Wray, G. R. ve Burns, N. D.** (1978). Cam to needle impact forces in weft-knitting Part V: Guard-cam impact. *Journal of Textile Institute*, 8, 229-234.
- [62] **Wray, G. R. ve Burns, N. D.** (1978). Cam to needle impact forces in weft-knitting Part VII: The influence of yarn tension and machine speed on guard-cam impact. *Journal of Textile Institute*, 8, 238-243.
- [63] **Wray, G. R. ve Burns, N. D.** (1978). Cam to needle impact forces in weft-knitting Part VIII: The effect of some knitting parameters on guard- cam impact. *Journal of Textile Institute*, 8, 244-249.
- [64] **Wray, G. R.ve Burns, N. D.** (1978). Cam to needle impact forces in weft-knitting Part IX: Needle to latch impact. *Journal of Textile Institute*, 10, 301-308.
- [65] **Wray, G. R. ve Burns, N. D.** (1976). Dynamic forces in weft knitting Part II: The effects of the cam-cylinder clearance and the presence of yarn on cam forces. *Journal of Textile Institute*, 6, 149-155.
- [66] **Wray, G. R. ve Burns, N. D.** (1976). Transducers for the precision measurement of weft-knitting process Part III: The experimental measurement of cam and yarn forces. *Journal of Textile Institute*, 5, 156-161.
- [67] **Wray, G. R. ve Burns, N. D.** (1978). Cam to needle impact forces in weft-knitting Part X: The characteristics of latch-needle breakages. *Journal of Textile Institute*, 10, 309-314.

- [68] **Knapton J. J. F. ve Munden D. L.** (1966). A study of mechanism loop formation Part 2: The effect of input tension and cam setting on loop formation. *Textile Research Journal*, 36(12), 1072-1080.
- [69] **Kurbak, A.** (1986). Atkı örme makinalarındaki kilit kamlarının dizaynına etki eden faktörler. II. *Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu*, Türkiye, Gaziantep: 22-24 Eylül.
- [70] **Knapton J. J.F.** (1968). The dynamics of weft knitting further theoretical and mechanical analyses. *Textile Research Journal*, September, 914-924.
- [71] **Lau, T.W.Y., Knapton, J.J.F.** (1978). The design and dynamics of non-linear cams for use in high speed weft knitting machines Part 3: The analysis of knitting-yarn tensions with non-linear cams and positive feed. *Journal of Textile Institute*, 6, 176-179.
- [72] **Pusch, T., Wünsch, I. ve Offerman, P.** (2000). Dynamics of yarn tension on knitting machines. *Autex Research Journal*, 1(2), 54-52.
- [73] **Ghosh, S. ve Banerjee, P.K.** (1990). Mechanics of the single jersey weft knitting process. *Textile Research Journal*, 60 (4), 203-211.
- [74] **Banerjee, P.K. ve Ghosh, S.** (1990). A model of the single-jersey loop formation process. *The Journal of Textile Institute*, 90 (2), 187-208.
- [75] **Peat, D. ve Spicer E. R.** (1974). Yarn movement and tension during loop formation in circular knitting. *The Journal of The Textile Institute*, 65 (7), 388-393.
- [76] **Koo, Y. S.** (2004). Yarn tension variation on the needle during the knitting process. *Textile Research Journal*, 74(4), 314-317.
- [77] **Budulan C., Ursache, M. ve Blaga, M.** (2001). İlmek oluşumu sırasında iğne kuvvetleri üzerinde etkili olan iplik gerginliği ile ilgili araştırmalar. 9. *Uluslararası İzmir Tekstil&Hazırgiyim Sempozyumu*, Türkiye, İzmir: 26-29 Ekim.
- [78] **Carvelli V., Corazza, C. ve Poggi, C.** (2008). Mechanical modelling of monofilament technical textiles. *Computational Materials Science*, 42, 679-691.
- [79] **Shady, E. H.** (2005). *Stress mapping of textile composite materials and its application in interfacial shear behavior* (Doktora tezi). Auburn University, Alabama.
- [80] **Clifford,S., Jansson N., Yu, W., Michaud, V. ve Manson J.-A.** (2006). Thermoviscoelastic anisotropic analysis of process induced residual stresses and dimensional stability in real polymer matrix composite components. *Composites: Part A*, 37, 538-545.
- [81] **Endruweit, A. ve Long, A.C.** (2006). Influence of stochastic variations in the fibre spacing on the permeability of bi-directional textile fabrics. *Composites: Part A*, 37, 679-694
- [82] **Yu, X., Cartwright, B., McGuckin, D., Ye,L. ve Mai Y.-W.** (2006). Intra-ply shear locking in finite element analyses of woven fabric forming processes. *Composites: Part A*, 37, 790-803.

- [83] **Zhao, Q.** (2003). *Mechanical behavior of triaxial woven fabric (TWF) composites* (Doktora tezi). Concordia University, Department of Mechanical& Industrial Engineering, Montreal.
- [84] **Miao, Y.** (2005). *Mechanics of textile composites: From geometry to mechanical properties* (Doktora tezi). Kansas State University, Kansas.
- [85] **Tang, X., Whitcomb, J.D. Li, Y. ve Sue, H.-J.** (2005) Micromechanics modeling of moisture diffusion in woven composites. *Composites Science and Technology*, 65, 817–826.
- [86] **Carbajal, L. A., Diehl, T., Lamontia, M. A. ve Deakyne, C. K.** (2004). Modeling techniques for simulating lightweight woven fabric barriers protecting body simulants subjected to a non-penetrating impact threat. *2004 ABAQUS Users' Conference*, Boston, USA: 25-27 Mayıs.
- [87] **Tsai, K.-H., Hwan, C.-L., Chen, W.-L., ve Chiu, C.-H.** (2008). A parallelogram spring model for predicting the effective elastic properties of 2D braided composites, *Composite Structures*, 83, 273–283.
- [88] **Wang, Y. ve Sun, X.** (2001). Digital-element simulation of textile processes, *Composites Science and Technology*, 61, 311-319.
- [89] **Tang, Z.X. ve Postle, R.** (2002). Mechanics of three-dimensional braided structures for composite materials- Part 3: Nonlinear finite element deformation analysis. *Composite Structures*, 55, 307-317.
- [90] **Tang, X., Whitcomb, J.D., Kelkar, A.D. ve Tate, J.** (2006). Progressive failure analysis of 2.2 braided composites exhibiting multiscale heterogeneity. *Composites Science and Technology*, 66 (14), 2580–2590.
- [91] **Fan, J., Wang, L-L., Cheng, Q., Zhu, N., Liu, Y.** (2015). Thermal analysis of biomimic woven fabric based on finite element method. *J Therm Anal Calorim* 121:737–742 DOI 10.1007/s10973-015-4614-0
- [92] **Zhang, C., Li, N., Wang, W., Binienda, W.K. ve Fang, H.** (2015). Progressive damage simulation of triaxially braided composite using a 3D meso-scale finite element model. *Composite Structures*, 125, 104-116.
- [93] **Yu, H., Heider, D. ve Advani, S.** (2015). Comparison of two finite element homogenization prediction approaches for through thickness thermal conductivity of particle embedded textile composites. *Composite Structures*, 133, 719-726.
- [94] **Cui, Z., Bhattacharyya, D. ve Moltschaniwskyj, G.** (2005). Experimental and numerical study of buckling response of composite shells compressed transversely between rigid platens. *Composites: Part B*, 36, 478–486
- [95] **Duhovic, M. ve Bhattacharyya, D.** (2006). Simulating the deformation mechanisms of knitted fabric composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37 (11), 1897–1915
- [96] **Wang, Z. ve Hu, H.** (2015). A finite element analysis of an auxetic warp-knitted spacer fabric structure. *Textile Research Journal*, 85(4), 404–415
- [97] **Soltanzadeh Z, Shaikhzadeh, N.S., Haghpanahi, M., ve Mohajeri-Tehrani, M.R.** (2016). Prediction of compression properties of single jersey weft-knitted fabric by finite element analysis based on the hyperfoam

material model. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 24, 2 (116), 82-88.

- [98] **Gil, A.J. ve Bonet, J.** (2006). Finite element analysis of prestressed structural membranes. *Finite Elements in Analysis and Design*, 42, 683 – 697.
- [99] **Hochard, C., Payan, J. ve Bordreuil, C.** (2006). A. progressive first ply failure model for woven ply CFRP laminates under static and fatigue loads. *International Journal of Fatigue*, 28 (10), 1270–1276.
- [100] **Etzmuß, O., Keckeisen M. ve Straßer W.**(2003) A Fast Finite Element Solution for Cloth Modelling. *11th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*. Canmore: 8-10 Ekim
- [101] **Yuchai, S., Zhongha, C. ve Xunwei, F.** (2006). Study of heat transfer through layers of textile using finite element method. *International Forum on Textile Science and Engineering for Doctoral Candidates*. Shanghai, Çin: Kasım.
- [102] **Cirio, G. Lopez-Moreno, J. ve Otaduy, A.M.** (2015). Efficient simulation of knitted cloth using persistent contacts. SCA '15 Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH/ Eurographics Symposium on Computer Animation. New York, USA.
- [103] **King M.J., Jearanaisilawong, P. ve Socrate, S.** (2005). A continuum constitutive model for the mechanical behavior of woven fabrics. *International Journal of Solids and Structures*, 42, 3867–3896.
- [104] **Diehl, T., Dixon, R.D., Lamontia, M.A. ve Hanks, J. A.** (2003). The development and use of a robust modeling approach for predicting structural performance of woven fabrics using ABAQUS. *2003 ABAQUS Users' Conference*. Münih, Almanya: 4 - 6 Haziran.
- [105] **Lua J.** (2007). Thermal–mechanical cell model for unbalanced plain weave woven fabric composites. *Composites: Part A*, 38, 1019–1037.
- [106] **Yeoman M.S., Reddy B.D., Bowles H.C., Bezuidenhout, D., Zilla, P. ve Franz, T.** (2010). A constitutive model for the warp-weft coupled non-linear behavior of knitted textiles with potential use in tissue regenerative implants. *Biomaterials*, 31(32), :8484-93.
- [107] **Tercan, M. ve Aktaş M.** (2009). Buckling behavior of 1x1 rib knitting laminated plates with cutouts. *Composite Structures*, 89, 245–252.
- [108] **Lomov, S.V., Moesen, M., Stalmans, R., Trzcinski, G., Humbeeck, J.V. ve Verpoest, I.** (2011). Finite element modelling of SMA textiles: Superelastic behaviour. *The Journal of the Textile Institute*, 102 (3), 232–247.
- [109] **Takano, N., Uetsuji, Y., Kashiwagi Y. ve Zako, M.** (1999). Hierarchical modelling of textile composite materials and structures by the homogenization method *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.*, 7, 207–231.
- [110] **Vassiliadis, S. G.** (2007). Mechanical simulation of the plain weft knitted fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 19(2), 109-130.

- [111] **Lomov, S.V., Mikolanda, T., Kosek, M. ve Verpoest I.** (2007). Model of internal geometry of textile fabrics: Data structure and virtual reality implementation. *Journal of The Textile Institute*, 98 (1), 1–13.
- [112] **Pieklak K., Siczek K. ve Mikolajczyk Z.** (2010). Modeling of selected properties of spatial a-jour knitted structures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 18 (3), 61-64.
- [113] **Li, C-Y.ve Zhang, X. T.** (2009). Numerical simulation of knitted fabric material with multiscale finite element method. *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Baoding, Çin: 12-15 Temmuz.
- [114] **Toghchi M. J. ve Ajeli S.** (2013). Investigation into the geometrical loop effect on tensile behavior of single bar warp-knitted fabric using finite element method. *Journal of Textiles and Polymers*, 1(1), 31-35.
- [115] **Danielczyk P. ve Stadnicki J.** (2012). Optimization of the structural form of the carding machine main cylinder. *Textile Research Journal*, 82 (18), 1897–1905
- [116] **Desai, C.K., Vakharia, D.P. ve Channiwala, S.A.** (2003). Investigations on failure of cylindrical jet dying machine. *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering (ICME2003)*. Dhaka, Bangladesh 26- 28 Aralık.
- [117] **Mizutani K., Kato K., Fujii T. ve Yili, G.** (2004). Vibration control for an overhung roller in textile machine considering the stiffness of control device stand. *Journal of Sound and Vibration*, 269, 765–780
- [118] **Jeong, K. Y. ve Kim Y-B.** (2003) Dynamic modelling of the latch needle cam system of weft knitting machines. *Proc. Instn Mech. Engrs Part C: J. Mechanical Engineering Science*, 217, 219-227.
- [119] **Thai, H.L.H. ve Beran, J.** (2010). Sensitivity analysis and optimization the needle of knitting machine by stress constraint. *7th International Conference-TEXSCI 2010*. Liberec, Çek Cumhuriyeti: 6-8 Eylül.
- [120] **Hu, F., Xuduo Z. X., Song, Z. ve Sun P.** (2013). An investigation of the wear resistance of knitting machinery needle. *Advanced Materials Research*, 627, 411-416.
- [121] **Fang Y. ve Fantian X.** (2012). Dynamic research of knitting element for computerized flat knitting machine based on ANSYS/LS-DYNA. *Advanced Materials Research*, 472-475,488-493.
- [122] **Fang, Y. Liu, J. B., Wang, G. Q. ve Xia, F. T.** (2014). Modeling and simulation of computerized glove machines's knitting element based on Solidworks. *Advanced Materials Research*, 945-949, 66-72.
- [123] **Khadamalhosseini N., Isfahani M. N, Latifi, M. ve Shaikhzadeh S. N.** Modeling of impact damage of sewing machine needle on woven fabric by finite element method. *Journal of Textiles and Polymers*, 1 (1), 19-23
- [124] **Mallet, E. ve Du, R.** (1999). Finite element analysis of sewing process. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 11 (1), 19-36.

- [125] **Li, Q., Liasi, E., Simon, D. ve Du, R.** (2001). A study on the needle heating in heavy industrial sewing Part 2: Finite element analysis and experimental verification. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 13 (5), 351-367
- [126] **Sun Y., Gao X., Meng, Z., Xu, Y. ve Ma, X.** (2013). Finite element analysis of penetration force for needle during tufting process. *The Journal of the Textile Institute*, 104 (7), 745–754.
- [127] Solidworks kullanıcı klavuzu (2014)
- [128] Abaqus tutorials (2014)
- [129] **Knapton, J.J.F. ve Lau, W.Y.** (1978). The design and dynamics of non-linear cams for use in high speed weft knitting machines Part I: The theoretical dynamics of non-linear cams. *Journal of Textile Institute*, 6, 161-168.
- [130] **HBM** (2016). DesignLife worked examples
- [131] **HBM** (2016). GlyphWorks worked examples
- [132] Olympus i-speed 3 kullanıcı klavuzu (2012)
- [133] **Krasovskii, A.Y., Kramarenko, I.V. ve Gaidamaka, V.G.** (1983). Character and causes of in-service needle failure in knitting machines. *Strength of Materials*, 15 (7), 969–972.
- [134] **Baykasoğlu, C., Aruk, F., Sünbülöğlu, E., Bozdağ, E., Toprak, T. ve Muğan, A.** (2010). Yolcu Treni Vagonu Çarpışma Analizi. 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*. Balıkesir: 11-12 Kasım, 505-513
- [135] **Zurek, W., Tyc, E., Piasecki, M. ve Frydrych, I.** (1989). Frictional restrains during the knitting process. *Textile Research Journal*, June, 329-336.
- [136] **Matthes, A., Pusch, T. ve Cherif, C.** (2012). Numerical simulation of yarn tensile force for dynamic yarn supply systems of textile machines. *Journal of Textile Institute* 103, 70-79.
- [137] **Fatkic, E., Gersak, J. ve Ujevic, D.** (2011). Influence of knitting parameters on the mechanical properties of plain jersey weft knitted fabrics. *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 19, 87-91.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Sena Duru
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.01.1982 Erzurum
E-posta : cimilli@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2007, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mezuniyet yılı, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2005-.....: İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesinde araştırma görevlisi.
- 2012-2013: RTWH Aachen Üniversitesi, ITA Enstitüsü'nde misafir araştırmacı

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR VE SUNUMLAR

- **Duru Cimilli, S.,** Candan, C. Muğan, A. 2015. Effect of Yarn, Machine and Knitting Process Parameters on Dynamics of Circular Knitting Needle, *Textile Research Journal*, 85(6) 568–589.
- **Duru Cimilli, S.,** Candan, C. ve Muğan, A. 2015. Evaluation of Needle Wear With Open End Cotton Yarn, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 25(2), 160-165.
- **Duru Cimilli, S.,** Candan, C. Stress and Strain Analyses of Circular Knitting Needles By Using Finite Element Method, *47th IFKT Congress*, 25 – 26 Eylül 2014 İzmir, Türkiye.
- **Duru Cimilli, S.,** Candan, C., Mugan A. The Influnece of Yarn Input Tension, Take Down Force and Machine Speed on Stress Evaluation of Knitting Needle. *16th Autex Textile Conference*, 8-10 Haziran 2016 Ljubljana-Slovenya.

- **Duru Cimilli, S.,** Candan, C. Dynamic Analysis of Needle Used at Circular Knitting Machines, *International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles*, 3-6 Ekim 2010, Dubrovnik- Hırvatistan.
- **Duru Cimilli S.** 2012. Örme İğnelerinin Aşınmasına Neden Olan Faktörler, *Tekstil&Teknik*, Mart, 28(326), 126-132.
- **Duru Cimilli S.** 2011. İplik Giriş Gerginliğinin ve İplik Sürtünmesinin İlmek İplik Uzunluğuna Etkileri, *Tekstil&Teknik*, Eylül, 27(320), 158-163.

DİĞER YAYINLAR VE SUNUMLAR

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

- **Duru Cimilli S.,** Candan C. 2016. Wicking and drying behaviors of knitted fabrics produced with different poliamide yarns, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 26(3), 280-286.
- **Duru Cimilli S.,** Candan C., Nergis B.N. 2015. A Multicriteria Decision Approach on Physical Properties of Socks Made from Different Fiber Types. *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering*, August S1:009. doi:10.4172/2329-9568.S1-009
- **Duru Cimilli S.,** Candan C. 2013. Effect of Repeated Laundering on Wicking and Drying Properties of Fabrics of Seamless Garments, *Textile Research Journal*, 83(6) 591-605.
- **Duru Cimilli S.,** Deniz E., Uygun F.B.N. 2012. Candan C. Determination of Natural Convective Heat Transfer Coefficient for Plain Knitted Fabric via Finite Volume Analysis, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 20, No. 1 (90), 42-46.
- **Cimilli S.,** Uygun F.B.N., Candan C., Ozdemir, M. 2010. A Comparative Study of Some Comfort Related Properties of Socks From Different Fiber Types, *Textile Research Journal*, 80(10), 948-957.
- Beceren Y., Candan C., **Cimilli S.,** Ülger K. 2010. Properties of Plain Knits from Siro-Spun Viscose/Elastane Yarns, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 18, No. 1 (78), 41-46.
- **Cimilli S.,** Uygun F.B.N., Candan C. 2008. Modeling of Heat Transfer Behavior Of Cotton Plain Knitted Fabric Using Finite Element Method, *Textile Research Journal*, 78(1), 53-59.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

- İridag, Y. B., Nergis, U. B., Candan, C. **Duru Cimilli. S.** Comfort Properties of Socks from Dri-Release Fibers, *16 th AUTEX World Textile Conference*, 8-10 Haziran 2016 Ljubljana, Slovenia.
- **Duru Cimilli, S.,** Candan, C. Beceren Y. A Multicriteria Decision Approach on Physical Properties of Socks Made from Different Fiber Types, *47. IFKT Congress*, 25-26 Eylül 2014, İzmir, Türkiye.
- **Duru Cimilli, S.,** Candan, C. Beceren Y., A Multicriteria Decision Approach on Properties of Plain Knits from Siro-Spun Viscose/Spandex Yarns, *14 th AUTEX World Textile Conference*, 26-28 Mayıs 2014, Bursa, Türkiye.

- **Duru Cimilli S.**, Candan C., Taşçınar S., Gozubuyuk P. Seamless Garment Design for Outwear, *41. TRS Textile Research Symposium*, 12-14 Eylül 2012, Guimarães, Portekiz.
- **Duru Cimilli S.**, Candan C., Nergis, F.B. A Multicriteria Decision Approach on Comfort Properties of Socks Made From Different Fiber Types, *10. Joint International Conference Clothtech*, 20-21 Eylül 2012, Varşova, Polonya.
- Öztürk K.M., **Duru Cimilli S.** Uygun N. B., Candan C. Acoustic Performance of Some Cellulosic Fibers in The Form of Plain Jersey Fabric With Chipboard Backing, *12 th Autex World Textile Conference*, 13-15 Haziran 2012, Zadar, Hırvatistan.
- Deniz E., **Duru Cimilli S.** Numerical Investigation of Convective Heat Transfer for Knitted Fabric, *10th World Textile Conference*, 21-23 Haziran 2010, Vilnius, Litvanya.
- **Duru Cimilli S.**, Uygun F.B.N., Candan C. An Experimental Investigation on Some Physical Properties of Socks from Some New Regenerated Fibers, *The Fiber Society Spring 2010 International Conference on Fibrous Materials*, 12-14 Mayıs 2010, Bursa, Türkiye.
- **Cimilli S.**, Candan C. Neural Network and Its Usage in Textile, *4th International Textile, Clothing & Design Conference*, 5-8 Ekim 2008, Dubrovnic, Hırvatistan.
- **Cimilli S.**, Candan C. Fuzzy Logic and Its Usage in Textile, *4th International Textile, Clothing & Design Conference*, 5-8 Ekim 2008, Dubrovnic, Hırvatistan.
- Beceren Y., **Cimilli S.**, Candan C. Transfer Wetting Properties of Terry Socks from New Fiber, *1. Centexbel Conference*, 21-23 Mayıs 2008, Brugges, Belçika.

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

- Candan, C., **Cimilli S.** 2011. Çoraplarda Boya Terbiye İşlemine Genel Bakış, *Tekstil&Teknik*, Ocak, 27(312), 94-102.
- Kara, A., Hatipoğlu, Ş., Nergis, B., **Cimilli, S.**, Candan, C. 2010. Yuvarlak Örmek Makinelerinde Kullanılan İğnelerin Dinamik Analizi, *Tekstil&Teknik*, Mart, 26 (302), 100-110.
- Candan, C., **Cimilli, S.**, Avcı, H. 2008. Konfor Özellikleri İyileştirilmiş Lifler ve Çorap Üretiminde Kullanımı, *Tekstil&Teknik*, Haziran, 24(281),150-154.
- **Cimilli, S.** 2008. Tekstilde Isı Transferi ve Bunları Etkileyen Parametreler, *Örme İhtisas*, Mart/Nisan Sayı: 28, 30-38.
- Candan, C., **Cimilli, S.**, Taşçınar, S., Gözübüyük, P. 2008. Dikişsiz Örme Üretimine Genel Bakış, *Tekstil&Teknik*, Şubat, 24(277), 74-80.
- **Cimilli, S.** 2007. Kumaşların Konfor Özellikleri ve Bunları Etkileyen Parametreler, *Tekstil&Teknik*, Mayıs, 23(268)194-200.
- **Cimilli, S.** 2007. Örme Kumaşlarda Islanma ve Kılcal Islanma, *Tekstil&Teknik*, Nisan, 23(267), 94-102.

