



Dokuma Duruş İzinin Nedenleri, Mekanizmaları ve Giderme Yöntemleri: Üretim ve Kalite Perspektifi

Bilge BERHAN KASTACI *¹

¹ Namık Kemal Üniversitesi, Çerkezköy Meslek Yüksekokulu
Sorumlu Yazar (Corresponding author): bberkhan@nku.edu.tr

Özet

Dokuma duruş izi, tezgâhın planlı veya plansız duruşları sonrasında kumaş yüzeyinde ortaya çıkan ve çoğunlukla ton farkı veya mekanik deformasyon biçiminde gözlenen bir kalite kusurudur. Bu olgunun, üretim parametreleri, iplik özellikleri, çevresel koşullar ve operatör müdahale süresi gibi birçok değişkenin etkileşimiyle oluştuğu bilinmektedir. Duruş anında çözgü gerilim dengesinde meydana gelen ani değişimler, kumaşın dokusal bütünlüğünü bozarak hem estetik hem de yapısal açıdan kalıcı izlere yol açmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar, duruş izi davranışının yalnızca mekanik faktörlerle sınırlı olmadığını, haşıl kalitesi, terbiye koşulları, çözgü kondisyonlaması ve yeniden başlatma (restart) algoritmalarının da önemli etkiler yarattığını göstermektedir. Bu çalışmada, dokuma duruş izinin oluşum mekanizmaları çok yönlü biçimde ele alınmış; çözgü gerilimi, tezgâh kontrol sistemi, malzeme özellikleri ve çevresel faktörler arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Ayrıca, duruş izinin önlenmesine yönelik mekanik, proses temelli ve veri tabanlı modern yaklaşımlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen bilgiler, üretim verimliliği ve kalite kontrol süreçlerinin entegrasyonu açısından dokuma işletmelerine yol gösterici niteliktedir.

Derleme Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi: 14.10.2025
Kabul Tarihi: 18.12.2025

Anahtar Kelimeler

Dokuma Duruş İzi,
Çözgü Gerilimi,
Yeniden Başlatma
Kontrolü,
Kumaş Kalitesi,
Proses Optimizasyonu

Causes, Mechanisms and Solutions of Loom Stops: A Production and Quality Perspective

Abstract

The weaving stop mark is a quality defect that appears on the fabric surface following planned or unplanned loom stoppages, typically manifested as tonal variation or mechanical deformation. This phenomenon results from the interaction of multiple factors such as production parameters, yarn characteristics, environmental conditions, and operator intervention time. Sudden changes in warp tension equilibrium during stoppage disturb the structural integrity of the fabric, leading to permanent marks that affect both its aesthetic and mechanical properties. Previous studies have revealed that stop mark behavior is not solely dependent on mechanical factors but is also influenced by sizing quality, finishing conditions, warp conditioning, and restart algorithms. In this study, the mechanisms of weaving stop mark formation are examined from multiple perspectives, evaluating the interrelations among warp tension, loom control systems, material properties, and environmental conditions. Furthermore, mechanical, process-oriented, and data-driven approaches to prevent stop mark formation are compared. The findings provide valuable insights for integrating production efficiency and quality assurance in modern weaving operations.

Review Article

Article History

Received: 14.10.2025
Accepted: 18.12.2025

Keywords

Weaving Stop Mark,
Warp Tension,
Restart Control,
Fabric Quality,
Process Optimization

1. Giriş

Dokuma kumaş üretiminde duruş izi, tezgâhın planlı veya plansız biçimde durması sonucu çözgü sisteminde meydana gelen gerilim dengesizliğine bağlı olarak kumaş yüzeyinde oluşan kalıcı hatalar şeklinde tanımlanmaktadır. Genellikle ton farkı, parlaklık değişimi veya yerel deformasyon biçiminde gözlenen bu izler, kumaşın hem estetik görünümünü hem de yapısal bütünlüğünü olumsuz etkileyerek ürünün sınıfını ve satış değerini düşürmektedir (Şekil 1). Özellikle yüksek kaliteli gömleklik, döşemelik ve teknik kumaşlarda bu kusur, üretim randımanının yanı sıra A sınıfı kalite oranını da doğrudan azaltan kritik bir parametre hâline gelmiştir.



Şekil1. Dokuma kumaşlarda duruş izi hatası

Duruş izinin oluşum süreci, birbirine bağlı çok sayıda mekanik, malzeme, çevresel ve operasyonel faktörün etkileşimiyle ortaya çıkan karmaşık bir olaydır. Tezgâhın ani duruşu sırasında çözgü ipliklerinin bir kısmı gerilimini korurken bir kısmı gevşer; tezgâhın yeniden başlatılması (restart) aşamasında bu iplikler farklı uzama davranışları sergileyerek dokuma alanında lokal yoğunluk farklılıklarına yol açar. Bu durum, kumaş yüzeyinde bant benzeri görsel izlerin oluşmasına neden olur. Duruş izi şiddeti; duruş süresi, tezgâh tipi, haşıl kalitesi, iplik elastikiyeti, çözgü kondisyonlaması, nem-sıcaklık dengesi ve operatör müdahale süresi gibi birçok değişkenle yakından ilişkilidir.

Konuya yönelik ilk sistematik gözlemler, 19. yüzyılın sonlarında Redding (1896) ve Kermel (1911) tarafından mekanik tezgâhlarda yapılan çalışmalarla başlamıştır. Bu araştırmalar, duruş sonrası motor frenlemesinin çözgü iplikleri üzerinde farklı gerilim dağılımlarına neden olduğunu ve bunun kumaş yüzeyinde şerit biçimli ton farkları oluşturduğunu göstermiştir. Daha sonraki deneysel çalışmalar (örneğin Smith & Jones, 1974; Sönmez, 1998) duruş izi şiddetinin duruş süresiyle logaritmik olarak arttığını, ayrıca haşıl oranı yüksek çözgülerde elastik toparlanmanın daha zayıf gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, çözgü ipliklerinin elastik davranışı ve haşıl kalitesinin duruş izi oluşumundaki belirleyici rolünü açıkça vurgulamaktadır.

Modern üretim sistemlerinde duruş izi problemi, mekanik çözümler ve elektronik kontrol mekanizmalarıyla azaltılmaya çalışılmıştır. Picanol ve Toyota (2005) teknik raporlarında, elektronik kontrollü “soft start” sistemlerinin duruş izi görünürlüğünü %70’e kadar düşürdüğü, servo motor tabanlı frenleme ve hızlanma algoritmalarının çözgü gerilimini stabilize ettiği rapor edilmiştir. Benzer biçimde Dornier (2009), geliştirdiği çözgü gerilim kompanzasyon sistemlerinin ani duruşlarda bile ΔT (tension variation) değerini 1,5 N’un

altına düşürebildiğini belirtmiştir. Bu gelişmeler, duruş izinin yalnızca fiziksel bir kusur değil, aynı zamanda mekatronik sistem tasarımı da kalite göstergesi olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Son yıllarda araştırmalar, duruş izi davranışını sensör tabanlı ölçüm, görüntü işleme ve veri analitiği teknikleriyle incelemeye yönelmiştir. Liu ve ark. (2018), yüksek çözünürlüklü kamera sistemleriyle duruş izlerinin parlaklık farklarını ΔL^* parametresiyle nicelleştirerek görsel hataların sınıflandırılmasına olanak tanımıştır. Acar ve Demir (2021) ise yapay sinir ağları (ANN) kullanarak duruş tipi (atki kopuşu, çözgü kopuşu, enerji kesintisi) ile iz yoğunluğu arasındaki ilişkiyi tahmin etmiş; sonuçta, üretim hattı verilerinden iz şiddetinin öngörülebileceğini göstermiştir. Bu yaklaşım, klasik kontrol parametrelerinin ötesine geçerek veri temelli kalite tahmin modellerinin geliştirilmesini sağlamıştır.

Ayrıca Kaur ve Singh (2022) tarafından geliştirilen Random Forest modeli, çözgü gerilimi, ortam nemi, tezgâh hızı ve operatör müdahale süresi gibi değişkenleri kullanarak duruş izi oluşma olasılığını %93 doğrulukla tahmin etmiştir. Bu tür yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar, duruş izi oluşmadan önce sistemin erken uyarı verebildiği akıllı dokuma uygulamalarının temelini oluşturmuştur.

Literatürdeki bu gelişmelere rağmen, duruş izi probleminin hâlen çok faktörlü ve tamamen çözümlenmemiş bir konu olduğu görülmektedir. Çoğu çalışma yalnızca belirli parametrelere odaklanmakta, çözgü gerilimi, iplik özellikleri, ortam koşulları ve yeniden başlatma algoritmalarının bir arada değerlendirildiği entegratif modeller oldukça sınırlı kalmaktadır. Bu durum, duruş izinin sadece mekanik bir arıza değil, üretim–kalite etkileşimini kapsayan sistemik bir problem olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

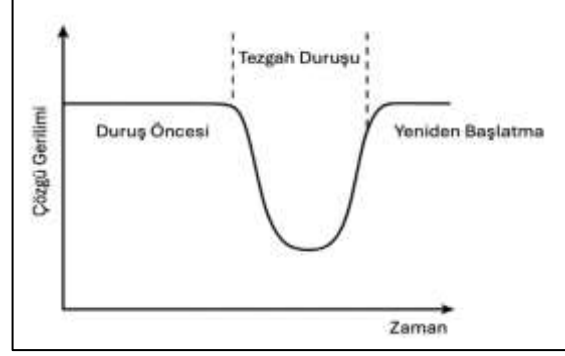
Bu bağlamda, bu çalışmada dokuma duruş izinin oluşum mekanizmaları, nedenleri ve giderme yöntemleri farklı açılardan değerlendirilmiştir. Çözgü gerilimi, iplik yapısı, tezgâh kontrolü, ortam koşulları ve operatör etkisi arasındaki ilişkiler hem klasik literatür hem de modern veri tabanlı yaklaşımlar ışığında incelenmiştir. Böylelikle, duruş izinin azaltılmasına yönelik mekanik, proses temelli ve yapay zekâ destekli stratejilerin üretim ve kalite yönetimi açısından bütüncül bir bakışla değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Duruş İzi Oluşum Mekanizmaları

Dokuma duruş izi, tek bir kaynaktan değil; üretim süreci boyunca birbirine bağlı mekanik, malzeme, çevresel ve operasyonel faktörlerin etkileşimiyle ortaya çıkan çok boyutlu bir fenomendir. Bu nedenle iz oluşum mekanizmalarının incelenmesi, yalnızca tezgâh duruş anına odaklanmak yerine, iplik hazırlığı, tezgâh kontrol sistemi ve yeniden başlatma davranışının bütüncül olarak değerlendirilmesini gerektirir.

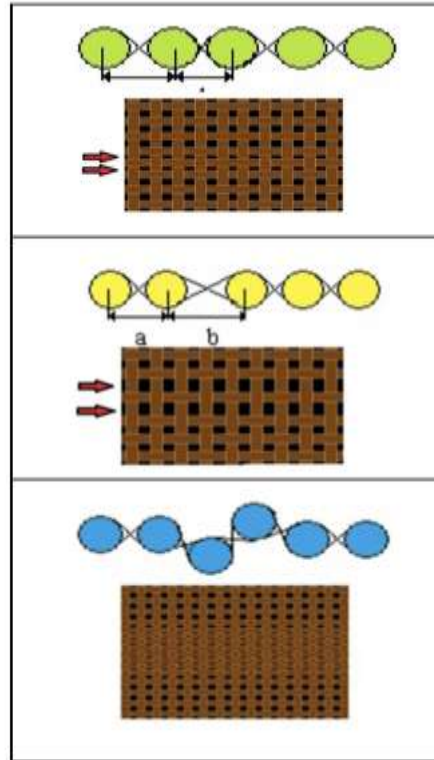
2.1. Mekanik faktörler

Duruş izinin en belirgin nedenlerinden biri, tezgâhın ani duruşu veya yeniden başlatma aşamasında çözgü geriliminde meydana gelen ani değişimlerdir. Tezgâh motoru durduğunda çözgü kütlesi moment etkisiyle gerilimini bir süre korur; ancak frenleme kuvveti iplikler arasında eşit dağılmadığında çözgü tabakasının bir kısmı gevşer, diğer kısmı ise aşırı gerilir. Bu dengesizlik, yeniden başlatma sırasında çözgü ipliklerinin farklı uzama davranışı göstermesine yol açar. Sonuçta, kumaş yüzeyinde atki yönünde (kumaş enine) bantlaşma/ton farkı biçiminde duruş izleri oluşur. Şekil 2 çözgü ipliklerinin duruş öncesi ve sonrası geriliminin zamana bağlı değişimini vermektedir. Bu gerilim farkı ile oluşan kumaştaki duruş izi görüntüleri de Şekil 3’ de verilmiştir.



Şekil 2. Duruş öncesi, tezgâh duruşu ve yeniden başlatma (restart) aşamalarında çözgü gerilimi değişimi

Duruş süresi uzadıkça ipliklerin iç gerilimi azalır ve çözgü tabakası kısmen rahatlar; bu da iz şiddetinin duruş süresiyle logaritmik biçimde artmasına neden olur (Smith and Jones, 1974). Ayrıca, farklı tezgâh tiplerinin (mekanik, hava jetli, rapier) frenleme sistemleri arasındaki farklar, duruş izinin biçimini ve yoğunluğunu değiştirmektedir. Modern tezgâhlarda kullanılan servo motor kontrollü “soft start” sistemleri, yeniden başlatma aşamasında ivmelenmeyi kademeli hâle getirerek çözgü gerilimi dalgalanmalarını %60–70 oranında azaltmaktadır (Toyota, 2005; Dornier, 2009).



Şekil 3. Duruş sonrası kumaşta atkı ipliklerinin farklı konumlanma tipleri: (üst) sık atkı aralığı, (orta) gevşek atkı aralığı, (alt) atkı ipliklerinin üst üste binmesiyle oluşan tepe (ridge) bölgesi (TextileLearner, 2023)

Çözgü gerilim kompanzatorleri ve elektronik fren kontrol sistemleri, özellikle atkı kopuşu sonrası kısa duruşlarda gerilim farklarını dengeleyerek iz oluşumunu büyük ölçüde

sınırlamaktadır. Ancak, ani enerji kesintisi veya çoklu kopuş gibi uzun duruşlarda, bu sistemlerin etkinliği kısmen azalmaktadır. Bu durum, mekanik kontrol sistemlerinin yalnızca kısa süreli duruşlarda yeterli olduğu, uzun duruşların ise proses temelli önlemler gerektirdiği sonucunu doğurmuştur.

2.2. Malzeme kaynaklı faktörler

İplik yapısı, duruş izi oluşumunda belirleyici rol oynayan parametrelerden biridir. Büküm yönü, büküm miktarı, iplik elastikiyeti, mukavemet ve sürtünme katsayısı, çözgü gerilimi değişimlerine verilen tepkiyi doğrudan etkiler. Büküm miktarı yüksek veya düşük olan iplikler, duruş sırasında farklı uzama oranlarına sahip olduğundan yeniden başlatma sonrası kumaşa yerel sıklık farkları oluşur.

Ayrıca, haşıl kompozisyonu ve kalitesi, ipliklerin gerilim altındaki davranışını önemli ölçüde etkiler. Haşıl çözeltisinde kullanılan PVA, nişasta, antistatik ve yumuşatıcı katkıları, ipliğin yüzey sürtünmesini ve esneme kapasitesini belirler. Düşük kaliteli haşıl, iplik yüzeyinde heterojen bir film tabakası oluşturarak çözgü boyunca farklı sürtünme değerleri yaratır; bu da duruş izi oluşumuna katkı sağlar.

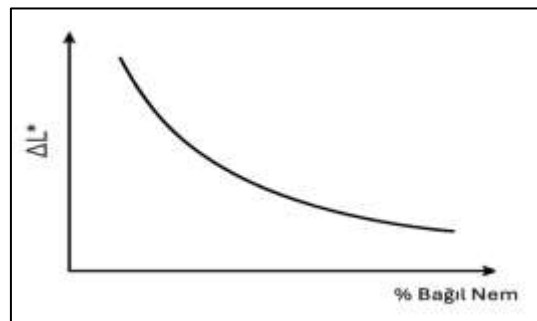
Haşıl kalitesi, dokuma sonrası terbiye koşulları ve çözgü kondisyonlaması, dokuma sırasında iplik sürtünme katsayısını ve gerilim dengesini doğrudan etkileyerek duruş izi oluşumuna katkı sağlar. Nitekim Sönmez (1998), haşıl oranı yüksek çözgülerde elastik toparlanmanın daha zayıf olduğunu ve bu durumun iz şiddetini artırdığını rapor etmiştir.

Buna ek olarak, farklı iplik tiplerinin (örneğin kompakt, sirospun, open-end) elastikiyet farkları da iz davranışını değiştirmektedir. Kompakt ipliklerin daha düşük tüylülük ve daha homojen yüzey yapısı, gerilim dengesini koruma eğilimini artırırken; open-end ipliklerde gevşeme eğilimi daha fazladır. Bu nedenle iplik yapısı ile duruş izi şiddeti arasında korelasyon olduğu kabul edilmektedir.

2.3. Çevresel Faktörler

Duruş izi oluşumuna katkı sağlayan bir diğer etken, ortam sıcaklığı ve bağıl nemdir. Dokuma salonundaki düşük nem oranı, çözgü ipliklerinin yüzey sürtünmesini artırır; bu durum hem iplik kopuş sıklığını hem de duruş izinin belirginliğini yükseltir (Teli & Valia, 2019). Yüksek nem ise ipliklerin uzama kabiliyetini artırarak çözgü geriliminin kısmen dengelenmesini sağlar (Acar, 2015). Bu nedenle sabit iklimlendirme koşulları (RH %60–65, 20–25 °C) duruş izi riskini azaltan önemli bir parametredir (ASTM D1776-20, 2020).

Ortam nemi yalnızca iplik gerilimini değil, aynı zamanda kumaş yüzeyindeki optik farklılıkları da etkiler. Bu fark, renk ölçümünde kullanılan CIE $L^*a^*b^*$ sistemindeki ΔL^* parametresiyle ifade edilir ve yüzeyin açıklık–koyuluk farkını gösterir. Bağıl nem arttıkça ΔL^* değeri azalmakta, yani duruş izi görünürlüğü azalmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Ortam bağıl nemi (RH%) ile kumaş yüzey parlaklık farkı (ΔL^*) arasındaki ilişki

Ayrıca, uzun süreli üretimlerde tezgâhın bulunduğu bölgedeki sıcaklık dalgalanmaları, metal aksam ve iplik uzama farklarını etkileyerek gerilim dengesinde periyodik salınımlar yaratabilir (Teli and Valia, 2019; ASTM D1776-20, 2020). Bu nedenle modern işletmelerde çevresel veriler, otomatik nem–sıcaklık kontrol sistemleri ile sürekli izlenmekte ve dokuma parametreleri buna göre ayarlanmaktadır (Acar, 2015).

2.4. Operasyonel faktörler

Operatör müdahale süresi, duruş izinin görünürlük derecesini doğrudan etkileyen insana bağlı bir değişkendir. Duruş sonrası tezgâhın yeniden çalıştırılması için geçen süre uzadıkça, çözgü ipliklerinin elastik geri dönüşü azalır ve iz şiddeti artar (Redding, 1896; Smith and Jones, 1974). Bu durum, özellikle manuel yeniden başlatma yapılan klasik tezgâhlarda daha belirgindir (Sönmez, 1998). Ayrıca, operatörün yeniden başlatma öncesinde çözgü gerginliğini elle düzeltmesi veya atkı ipliğini elle yerleştirmesi gibi müdahaleler, tezgâhlar arasında kalite farklarına neden olabilir. Eğitimli operatörlerin doğru müdahale zamanlaması, duruş izi oluşum sıklığını önemli ölçüde azaltmaktadır (Acar, 2015). Bu nedenle, işletmelerde operatör performansının izlenmesi ve duruş kayıtlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi (örneğin λ – μ oranı, duruş başına ortalama süre) kalite yönetiminde önemli bir göstergedir (Montgomery, 2012; Acar and Demir, 2021).

Yeni nesil işletmelerde, duruş ve yeniden başlatma davranışlarını analiz eden veri toplama sistemleri (Loom Data Monitoring Systems), operatör müdahale sürelerini kayıt altına alarak üretim planlaması ve bakım stratejilerine veri sağlamaktadır (Picanol, 2005; Kaur and Singh, 2022). Böylece, insan kaynaklı hatalar sistematik biçimde analiz edilip öngörücü bakım ve eğitim programlarıyla giderilebilmektedir (Acar, 2015; Dornier, 2009).

3. Duruş İzinin Tespiti ve Analiz Yöntemleri

Dokuma duruş izinin belirlenmesi, yalnızca görsel bir değerlendirme süreci değil; aynı zamanda kumaşın yapısal, optik ve mekanik özelliklerindeki farklılıkların analitik olarak incelenmesini gerektirir. Bu nedenle duruş izi tespitinde kullanılan yöntemler, gözle muayene tekniklerinden görüntü işleme tabanlı sistemlere kadar uzanan geniş bir yelpazede sınıflandırılabilir. Son yıllarda, özellikle kalite kontrolün otomasyonla bütünleşmesi sayesinde, duruş izi tespitinde nicel ölçüm yöntemlerinin önemi artmıştır.

3.1. Görsel ve optik değerlendirme yöntemleri

Duruş izinin ilk ve en yaygın tespit yöntemi, kumaş yüzeyinde oluşan renk ve parlaklık farklarının görsel kontrolüdür. Üretim sonrası muayene masalarında yapılan bu kontrol, genellikle 1000–2000 lux aydınlatma koşullarında gerçekleştirilir. Ancak, operatörün göz yorgunluğu, ışık yönü ve kumaşın rengi gibi değişkenler sonucu, görsel değerlendirmelerde öznel hatalar oluşabilmektedir.

Bu nedenle, modern sistemlerde görsel kontrolün yerine optik spektrofotometrik ölçümler kullanılmaktadır. Duruş izi bölgeleri ile normal kumaş yüzeyi arasındaki renk farkı, CIE Lab renk uzayında ΔE^* parametresiyle nicelleştirilir. ΔE değeri genellikle 0,8–1,0’in üzerinde olduğunda insan gözü tarafından fark edilir kabul edilir. Liu ve ark. (2018), yüksek çözünürlüklü kamera sistemleri kullanarak duruş izi bölgelerinde ΔL^* farkının 3,5’in üzerinde olması hâlinde izlerin görsel olarak belirginleştiğini göstermiştir. (CIE, 2004; HunterLab, 2010) Ayrıca, yansıma oranı (reflectance) ve yüzey parlaklığı ölçümleri, iz bölgelerindeki yüzey topografyasındaki değişimi belirlemekte kullanılır. Özellikle çözgü yönündeki mikroskobik seviye deformasyonlar, ışığın yansıma açısını değiştirerek optik parlaklık farkı yaratır. Bu fark, glossmetre veya reflektometre cihazlarıyla ölçülerek sayısal olarak ifade edilir.

3.2. Mekanik ve fiziksel analiz yöntemleri

Duruş izinin yapısal etkilerini değerlendirmek amacıyla çeşitli mekanik test yöntemleri kullanılmaktadır. Bu testler, duruş izi bölgesi ile normal kumaş yüzeyinin karşılaştırılması esasına dayanır.

- FAST (Fabric Assurance by Simple Testing) sisteminde yapılan FAST-1 (kalınlık), FAST-2 (eğilme sertliği) ve FAST-3 (gerilim altında uzama) testleri, duruş izi bölgesinde lif ve iplik deformasyonlarını ortaya koymakta etkilidir. Duruş izi bölgesinde genellikle eğilme sertliği ve kalınlık değerleri artış göstermekte, bu da kumaşın tuşe ve drape (dökümlülük) özelliklerinde fark yaratmaktadır. (Kawabata, 1980; FAST Handbook, 2002)

- KES-F (Kawabata Evaluation System for Fabrics) testlerinde ise yüzey sürtünmesi (MIU) ve gerilme enerjisi (WT) parametreleri incelenir. Duruş izi bölgesinde bu değerlerin artışı, ipliklerin uzama davranışında kalıcı deformasyona işaret eder. (Kawabata, 1980; FAST Handbook, 2002)

- Çekme dayanımı (ISO 13934) ve yırtılma dayanımı (ISO 13937) testleri, iz bölgesinde mikro düzeyde lif kopmalarını gösterebilir. Bu testler, duruş izinin yalnızca görsel değişim değil, aynı zamanda mekanik bir zayıflama oluşturduğunu kanıtlar niteliktedir.

Bazı araştırmacılar, duruş izi bölgesinde atkı sıklığı ve çözgü sıklığı değerlerinin değişimini ölçmek için optik sayım sistemleri (Pick Density Analyzer) kullanmış; iz bölgesinde sıklık artışının genellikle %3–5 arasında olduğunu bildirmiştir. Bu fark, dokuma sırasında iplik uzama farklarından kaynaklanır ve kumaşın yüzey geometrisinde mikroskobik bir bozulmaya yol açar.

3.3. Sensör tabanlı gerilim izleme sistemleri

Duruş izi mekanizmasının anlaşılmasında en önemli parametrelerden biri çözgü gerilim değişimidir. Bu nedenle modern tezgâhlarda load cell veya piezoelektrik sensörler aracılığıyla çözgü gerilimi anlık olarak izlenmektedir.

Bu sistemler, duruş ve yeniden başlatma anında gerilim dalgalanmalarını kaydederek, duruş izi oluşma potansiyelini önceden tahmin etmeye olanak tanır. Örneğin Picanol (2005) tarafından geliştirilen “Tension Equalizer” (Gerilim Eşitleyici) modülü, çözgü gerilimini milisaniye düzeyinde izleyerek yeniden başlatma sırasında oluşan dengesizlikleri minimize etmektedir. (Toyota, 2005; Picanol, 2005)

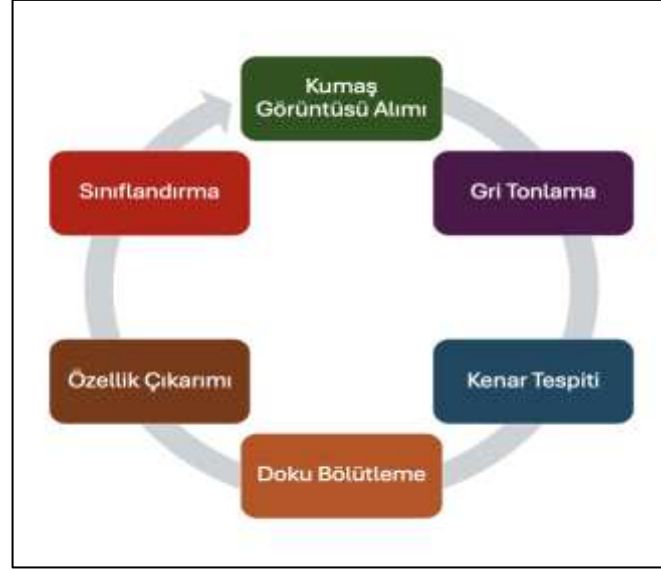
Ayrıca, Liu ve ark. (2020) duruş anında kaydedilen gerilim verilerini kullanarak gerilim farkı-zaman ($\Delta T-t$) eğrileri oluşturmuş ve gerilim değişiminin 2,0 N eşikini aştığı durumda iz oluşumunun kaçınılmaz hâle geldiğini belirtmiştir. Bu bulgu, duruş izi analizinde gerilim eşik değerlerinin belirlenmesinin önemini vurgulamaktadır.

Sensör tabanlı sistemlerin avantajı, yalnızca iz tespiti değil, aynı zamanda proaktif kontrol imkânı sunmasıdır. Gerilim sensörlerinden elde edilen veriler, tezgâh kontrol yazılımlarına aktarılır ve sistem, belirli bir eşik aşıldığında otomatik yeniden başlatma yavaşlatması veya kompanzasyon moduna geçiş sağlayabilir. Bu sayede duruş izi oluşumu henüz kumaş yüzeyine yansımadan önlenir.

3.4. Görüntü işleme ve yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar

Son dönemde, dokuma yüzey hatalarının otomatik tanımlanmasında görüntü işleme teknikleri ve yapay zekâ algoritmaları kullanılmaktadır. Duruş izleri, düzenli bir yönelime sahip oldukları için klasik kumaş hatalarına (atkı atlama, çift atma, iplik kopuşu vb.) kıyasla daha kolay sınıflandırılabilir.

Liu ve ark. (2018), gri tonlu görüntüler üzerinde edge detection (kenar tespiti) ve texture segmentation (doku bölütleme) yöntemlerini kullanarak duruş izi bölgelerini %95 doğrulukla ayırt etmiştir. Daha sonra bu veriler, yapay sinir ağı (ANN) ve Destek Vektör Makineleri (SVM) modellerine beslenerek hata türlerinin sınıflandırılması sağlanmıştır (Acar and Demir, 2021). Şekil 5'te duruş izinin algılanmasında kullanılan görüntü işleme adımları görülmektedir.



Şekil 5. Duruş izi tespitinde kullanılan görüntü işleme adımlarının döngüsel akış diyagramı

Acar ve Demir (2021) ise üretim verilerini kullanarak duruş tipi–iz yoğunluğu korelasyonu oluşturmuş ve iz oluşma olasılığını öngörmek için çok katmanlı bir ANN modeli geliştirmiştir. Kaur ve Singh (2022)’nin Random Forest tabanlı sistemi, duruş izi oluşumunu %93 doğrulukla tahmin ederek üretim hattını önceden uyararak bir yapay zekâ altyapısı geliştirmiştir. (Kaur and Singh, 2022)

Bu çalışmalar, duruş izi analizinde geleceğin yönünü göstermektedir: veri temelli, kendi kendini öğrenen ve erken uyarı üretebilen sistemler. Böylece dokuma prosesinde hata oluşmadan önce müdahale edilerek hem kalite hem de randıman artırılabilir.

4. Duruş izinin giderilmesi ve önlenmesi yöntemleri

Duruş izi problemi, dokuma sürecinde yalnızca estetik bir kalite sorunu değil, aynı zamanda üretim verimliliği ve ekonomik kayıplar açısından da kritik bir konudur. Bu nedenle, duruş izinin giderilmesi ve önlenmesine yönelik yöntemler; mekanik sistem geliştirmeleri, proses optimizasyonu, operatör temelli uygulamalar ve veri tabanlı yapay zekâ yaklaşımları şeklinde dört ana başlıkta ele alınmaktadır. Amaç, duruş sonrası oluşan gerilim dengesizliğini en aza indirmek, iplik deformasyonunu kontrol altına almak ve yeniden başlatma sürecini kontrollü hâle getirerek kumaş yüzeyinde iz oluşumunu engellemektir.

4.1. Mekanik ve kontrol tabanlı çözümler

Duruş izinin fiziksel temeli, duruş ve yeniden başlatma anında çözgü gerilimindeki ani değişimlere dayandığından, öncelikli çözüm alanı mekanik kontrol sistemlerinin iyileştirilmesidir.

Modern dokuma tezgâhlarında kullanılan servo motor kontrollü “soft start–soft stop” mekanizmaları, tezgâhın hızını ve ivmelenmesini kademeli olarak değiştirerek çözgü

ipliklerinin eş zamanlı gerilimini sağlar. Toyota (2005) ve Picanol (2005) tarafından geliştirilen sistemlerde, duruş anındaki frenleme kuvveti elektronik olarak dengelenmekte; yeniden başlatma sırasında hız artışı milisaniye düzeyinde kontrol edilerek gerilim sıçramaları önlenmektedir.

Ayrıca çözgü gerilim kompanzatörleri (warp tension compensator) ve otomatik frenleme sistemleri, duruş süresi boyunca çözgü kütlesinin ağırlığından kaynaklanan gerilim değişimini düzenleyerek iz riskini azaltır. Dornier (2009) tarafından rapor edilen çalışmalarda, kompanzatörlü sistemlerde ΔT (tansiyon varyasyonu) değerinin 1,5 N'un altına düşürülmesiyle iz oluşumunun gözle görülür biçimde azaldığı bildirilmiştir.

Bazı üreticiler, özellikle yüksek hızlı tezgâhlarda aktif yeniden başlatma kontrol modülleri (Active Restart Control – ARC) kullanarak, tezgâhın durduğu andaki çözgü açısı ve atkı konumuna göre yeniden başlatma ivmesini otomatik olarak ayarlamaktadır. Bu sistemler, duruş izinin yalnızca azaltılmasını değil, önceden önlenmesini mümkün kılmaktadır.

4.2. Proses temelli optimizasyon yaklaşımları

Duruş izinin önlenmesinde yalnızca tezgâh kontrolü yeterli değildir; iplik hazırlık, haşıl kalitesi, ortam koşulları ve dokuma sonrası terbiye işlemleri de doğrudan etkilidir. (Teli and Valia, 2019)

Haşıl kalitesi, iplik yüzey sürtünmesi ve elastikiyet üzerinde belirleyici bir etkidir. Homojen haşıl filmi oluşturmayan reçeteler, iplik boyunca farklı sürtünme bölgeleri yaratır ve yeniden başlatma sırasında iplik uzamasını düzensizleştirir. Bu nedenle haşıl kompozisyonunun standardizasyonu, duruş izi önleme çalışmalarında temel bir adımdır. (Teli and Valia, 2019)

Benzer biçimde, çözgü kondisyonlaması (nemlendirme, sıcaklık dengesi) ipliklerin gerilim altındaki davranışını doğrudan etkiler. Ortam neminin %60–65, sıcaklığın ise 20–25 °C aralığında tutulması, çözgü ipliklerinin uzama davranışını homojenleştirir. Haşıl kalitesi, terbiye koşulları ve çözgü kondisyonlaması birlikte ele alındığında, iplik sürtünme katsayısının kontrol altına alınması ve dolayısıyla duruş izi oluşumunun minimize edilmesi sağlanabilir. (Teli and Valia, 2019)

Ayrıca, atkı ipliği giriş zamanlamasının optimize edilmesi, yeniden başlatma sırasında atkı yoğunluğunda oluşan yerel artışların önüne geçer. Bu amaçla, modern tezgâhlarda elektronik atkı zamanlama sensörleri kullanılmakta ve yeniden başlatma sırasında atkı atımının faz farkı $\pm 0,5^\circ$ sınırında tutulmaktadır.

Dokuma sonrası terbiye aşamasında uygulanan ısı fikse, sanfor veya kurutma prosesleri de duruş izi görünürlüğünü değiştirebilir. Uygun gerilim altında yapılan termomekanik işlemler, iz bölgesindeki lif deformasyonlarını kısmen düzeltebilir. Ancak yüksek sıcaklıkta yapılan agresif kurutmalar, iz farkını belirginleştirebilir. Bu nedenle finishing aşaması, iz giderme açısından dengeleyici değil, destekleyici bir rol üstlenmektedir.

4.3. Operasyonel ve eğitimsel önlemler

Duruş izinin görünürlüğü, büyük ölçüde operatör müdahale süresi ve yeniden başlatma prosedürüne uyum ile ilişkilidir. Duruş sonrası tezgâhın yeniden çalıştırılmasında geçen süre uzadıkça, çözgü ipliklerinin iç gerilimi azalır ve iz belirginleşir. Bu nedenle, standart yeniden başlatma protokolleri geliştirilerek tüm operatörlerin aynı prosedürü uygulaması sağlanmalıdır.

Operatör eğitimleri kapsamında; duruş sonrası çözgü kontrolü, iplik gerginliği dengesi ve atkı pozisyonu denetimi gibi temel adımlar öğretilmeli, manuel müdahale hataları en aza

indirilmelidir. Duruş süresi kayıtlarının analizi, işletmelerin operatör bazlı performansını ölçerek süreç iyileştirmelerine veri sağlar.

Ayrıca, duruş izi eğilimlerini izlemek için istatistiksel proses kontrolü (İPK) tekniklerinden yararlanılabilir. Duruş sıklığı (λ), müdahale süresi (μ) ve iz şiddeti parametreleri kullanılarak oluşturulan kontrol grafiklerinde sapma noktaları belirlenebilir. Bu sayede, duruş izi probleminin yalnızca kalite değil, aynı zamanda verimlilik göstergesi olarak da izlenmesi mümkün olur.

4.4. Veri tabanlı ve yapay zekâ destekli sistemler

Endüstri 4.0 uygulamalarıyla birlikte dokuma prosesinde veri temelli kalite kontrol anlayışı yaygınlaşmıştır. Gerilim sensörleri, hız ölçerler, ortam sensörleri ve görüntü işleme kameralarından gelen veriler, yapay zekâ algoritmalarıyla bütünleştirilerek erken uyarı sistemleri oluşturulmaktadır.

Acar ve Demir (2021), dokuma tezgâhlarından elde edilen çözgü gerilimi, tezgâh hızı ve duruş süresi verilerini kullanarak yapay sinir ağı (ANN) modeliyle duruş tipi ve iz şiddetini tahmin etmiştir. Kaur ve Singh (2022) ise Random Forest algoritmasıyla duruş izi oluşum olasılığını %93 doğrulukla öngörmüştür. Bu çalışmalar, yapay zekâ destekli sistemlerin yalnızca iz tespiti değil, aynı zamanda proaktif önleme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. (Acar and Demir, 2021; Kaur and Singh, 2022)

Yeni nesil dokuma hatlarında bu veriler, tezgâh kontrol yazılımına entegre edilerek gerilim eşikleri aşıldığında otomatik hız azaltma veya yeniden başlatma geciktirme fonksiyonlarını devreye sokmaktadır. Böylece sistem, duruş izi oluşmadan önce kendini koruma moduna alarak üretim kalitesini sürdürmektedir.

Veri analitiği, yalnızca anlık kontrol değil, aynı zamanda öngörücü bakım (predictive maintenance) yaklaşımına da olanak sağlar. Duruş izine neden olan gerilim sapsmaları, tekrarlayan frekansta görüldüğünde sistem bunu olası ekipman hatası olarak algılayabilir ve bakım ekibini uyarabilir. Böylelikle dokuma süreci yalnızca kalite açısından değil, süreklilik ve bakım verimliliği açısından da optimize edilir.

5. Sonuç

Dokuma duruş izi, yalnızca üretim sürecinde ortaya çıkan görsel bir kusur değil; aynı zamanda çözgü gerilimi, iplik özellikleri, ortam koşulları ve operatör davranışı arasındaki karmaşık etkileşimlerin sonucu olan çok boyutlu bir olgudur. Yapılan çalışmalar, duruş izinin mekanik, malzeme, çevresel ve operasyonel faktörlerin ortak etkisiyle geliştiğini; bu etkileşim doğru biçimde yönetilmediğinde iz oluşumunun kaçınılmaz hâle geldiğini göstermektedir.

Mekanik sistemlerdeki gelişmeler, özellikle servo motor kontrollü “soft start–soft stop” mekanizmaları, çözgü gerilim kompanzatorleri ve aktif yeniden başlatma kontrol sistemleri, duruş sonrası gerilim dengesizliğini önemli ölçüde azaltmıştır. Ancak bu teknolojik ilerlemeler, sorunu tamamen ortadan kaldırmakta yeterli olamamıştır; zira duruş izinin yapısal temeli yalnızca makine kaynaklı değildir. İplik yapısı, haşıl kompozisyonu, çözgü kondisyonlaması ve ortam nem dengesi gibi proses parametreleri de iz şiddetini doğrudan etkileyen unsurlardır. Bu nedenle duruş iziyle mücadelede mekanik sistemlerin yanı sıra proses temelli optimizasyon stratejileri de eşzamanlı olarak uygulanmalıdır.

Öte yandan, duruş izinin görünürlüğü ve sıklığı, büyük ölçüde operatör müdahale süresi ve uygulama standardı ile ilişkilidir. Duruş sonrası tezgâhın yeniden devreye alınmasında geçen sürenin uzaması, çözgü ipliklerinin iç gerilimini azaltarak iz şiddetini artırır. Bu nedenle işletmelerde standart yeniden başlatma protokollerinin uygulanması, düzenli

eğitimlerle desteklenmiş operatör farkındalığı ve performans izlemesi büyük önem taşımaktadır.

Son yıllarda dokuma işletmelerinde duruş izi tespitine yönelik yöntemler, klasik görsel muayeneden optik sensör, görüntü işleme ve yapay zekâ tabanlı sistemlere doğru evrilmiştir. Spektrofotometrik ölçümlerle belirlenen ΔE ve ΔL^* farkları, kumaş yüzeyindeki mikroskobik değişimleri nicel biçimde gösterebilmekte; sensör tabanlı sistemler ise çözgü gerilimindeki dalgalanmaları anlık olarak izleyebilmektedir. Bu gelişmeler, hatanın yalnızca tespiti değil, oluşmadan önce öngörülmesi için de yeni olanaklar sunmaktadır.

Yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar (ANN, SVM, Random Forest vb.), duruş tipi, gerilim, nem, tezgâh hızı ve müdahale süresi gibi çoklu değişkenleri işleyerek duruş izi olasılığını yüksek doğrulukla tahmin edebilmektedir. Bu modellerin dokuma makinelerine entegre edilmesiyle, sistem kritik eşikler aşıldığında otomatik hız azaltma veya yeniden başlatma geciktirme fonksiyonlarını devreye sokarak duruş izini daha oluşmadan önleyebilmektedir.

Sonuç olarak, duruş izinin giderilmesi tek bir çözüm alanına indirgenemeyecek kadar karmaşık bir süreçtir. Mekanik kontrol sistemleri ani gerilim değişimlerini sınırlarken, proses temelli yaklaşımlar iplik davranışını dengeler; operatör eğitimi insan faktörünü standartlaştırır. Tüm bu bileşenlerin üzerinde, veri temelli süreç izleme ve yapay zekâ destekli analitik yaklaşımlar, iz oluşumunu hem öngörebilen hem de önleyebilen yeni bir kalite yönetimi paradigmasını temsil etmektedir.

Gelecekte dokuma işletmelerinde duruş iziyle mücadele, akıllı tezgâh sistemleri, gerçek zamanlı veri izleme, öğrenen algoritmalar ve koşul kontrollü üretim stratejileri ile bütünleşik bir yapı kazanacaktır. Böylece hem kalite kontrol süreçleri hızlanacak hem üretim kayıpları minimize edilerek sürdürülebilir bir verimlilik modeli oluşturulacaktır.

Kaynakça

- Acar, F., 2015. Dokuma teknolojisinde proses kontrolü ve kalite yönetimi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 25(3): 301–309.
- Acar, F., Demir, M., 2021. Prediction of weaving stop marks using artificial neural networks. *Textile Research Journal*, 91(15): 1654–1668.
- ASTM International, 2011. ASTM E430-11: Standard test methods for measurement of gloss of high-gloss surfaces by abridged goniophotometry. ASTM International.
- ASTM International, 2020. ASTM D1776-20: Practice for conditioning and testing textiles. ASTM International.
- CIE, 2004. Colorimetry: CIE Publication No.15:2004. Commission Internationale de l'Eclairage.
- Dornier, 2009. Tension compensation systems in modern weaving machines. Dornier Technical Report.
- FAST Handbook, 2002. Fabric assurance by simple testing (FAST) manual. CSIRO Textile & Fibre Technology.
- HunterLab, 2010. Understanding ΔE : Color difference metrics. Hunter Associates Laboratory Inc.
- Kaur, R., Singh, S., 2022. Data-driven prediction of weaving stop marks using Random Forest approach. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 47(2): 120–128.
- Kawabata, S., 1980. The standardization and analysis of hand evaluation. Textile Machinery Society of Japan.

- Kelmel, A., 1911. On loom stop marks and warp tension variations. *Textile Manufacturer*, 37(9): 125–131.
- Liu, Y., Chen, W., Li, Z., 2020. Warp tension fluctuation analysis in loom stoppages. *Journal of Textile Engineering*, 66(4): 455–463.
- Liu, Y., Zhang, H., Chen, W., 2018. Optical evaluation of stop mark defects on woven fabrics. *AUTEX Research Journal*, 18(6): 622–630.
- Montgomery, D.C., 2012. Introduction to statistical quality control (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Picanol, 2005. Tension Equalizer Module: Improving restart quality. Picanol Technical Paper.
- Redding, J., 1896. Observations on warp tension and stop marks. *Textile Recorder*, 14(3): 87–93.
- Smith, R., Jones, P., 1974. Influence of stoppage duration on fabric appearance. *Textile Research Journal*, 44(7): 502–510.
- Sönmez, F., 1998. Dokuma kumaşlarda duruş izinin oluşumu ve hasıl oranı etkisi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 8(2): 115–121.
- Teli, M.D., Valia, S.P., 2019. Weaving preparatory processes and their optimization. Woodhead Publishing.
- Textile Learner, 2023. Stop marks, starting marks and setting shed in weaving. (<https://textilelearner.net/stop-marks-starting-marks-and-setting-shed-in-weaving/>), (Erişim Tarihi: 09.11.2025).
- Toyota, 2005. Soft start control systems in air-jet looms. Toyota Industries Technical Note.
- Zhang, H., Li, P., Sun, J., 2021. Machine vision-based detection of weaving defects. *Fibers and Polymers*, 21(5): 1025–1033.