



## DENİM KUMAŞLARDA MATEMATİKSEL MODELLEME YARDIMIYLA YUMUŞAKLIĞIN OPTİMİZASYONU

Belkıs ZERVENT ÜNAL\*, Şadi KAHYA

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
Denim, Yumuşaklık, Konfor, Optimizasyon.	Çalışma kapsamında, denim kumaşların yumuşaklık özelliğinin eniyilenmesinin hedeflendiği bir matematiksel model oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı konstrüksiyon özelliklerine sahip 27 adet denim kumaş numunesinin seçilmiş fiziksel ve performans/konfor özellikleri deneysel olarak tespit edilmiş ve elde edilen verilere regresyon analizi uygulanarak her bir özelliği matematiksel olarak ifade edecek eşitlikler oluşturulmuştur. Daha sonra elde edilen eşitlikler kısıt olarak kullanılarak denim kumaşlarda yumuşaklığın eniyilenmesinin amaçlandığı bir optimizasyon modeli geliştirilmiş ve optimum çözümü bulunmuştur.

## OPTIMIZATION OF SOFTNESS PROPERTY OF DENIM FABRICS USING MATHEMATICAL MODELING

Keywords	Abstract
Denim, Softness, Comfort, Optimization.	In this study, a mathematical model for optimization softness property of denim fabrics was obtained. For this purpose, selected physical and comfort/performance properties of 27 denim fabric samples with different construction properties were experimentaly determined. Mathematical equations for each property were created by applying regression analysis to the obtained data. These equations were used as constraint to develop a mathematical model for optimizing softness property of denim fabrics. Finally, optimum solution was determined.

### Alıntı / Cite

Zervent Ünal, B., Kahya, Ş., (2021). Denim Kumaşlarda Matematiksel Modelleme Yardımıyla Yumuşaklığın Optimizasyonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 716-722.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Zervent Ünal, 0000-0001-8591-2217  
Ş. Kahya, 0000-0003-0291-4888

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.09.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.12.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.01.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

### 1. Giriş (Introduction)

Denim kumaşlar, 15. yüzyılda ilk kez Fransa'nın Nimes ve İtalya'nın Cenova kentlerinde iş giysisi olarak dokunmaya başlamıştır. Çözümlü ipliklerinin boyanıp, atkı ipliklerinin boyanmaması denim kumaşının en temel özelliğidir. Geçmiş yıllarda sadece dayanıklı olması nedeniyle tercih edilen denim kumaş, günümüzde tüketicilerin en çok rağbet ettiği kumaş türlerinin başında gelmektedir. Denim kumaşın bütün dünyada yaygın olarak kullanılması sebebiyle, küresel pazarda var olmak isteyen tekstil firmaları denim kumaş üretimine başlamıştır (Köle, 2016).

Türkiye, özellikle 1980'lerin başından itibaren bir tekstil ülkesi olarak nitelendirilmiştir. Ekonomik ve kaliteli ürün arayışı içerisindeki birçok uluslararası hazır giyim kuruluşu, Türkiye'yi tercih etmektedir. İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri'nin 2018 tarihli Denim Raporu'na göre, 2016 yılı Dünya denim kumaş ihracatında en büyük paya sahip ülkeler; %38,3 ile Çin, %10,7 ile Pakistan, %9,8 ile Hong Kong ve %8,6 ile Türkiye'dir. 2017 Ocak-Kasım döneminde (değer bazında) Avrupa Birliği'nin en fazla denim kumaş ithal ettiği ülkeler arasında ise Türkiye %30,4'lük pay ile birinci sıradadır (www.ithib.com, 2019). Uludağ İhracatçı Birlikleri'nin 2019 tarihli

\* İlgili yazar / Corresponding author: belzer@cu.edu.tr, +90-322-338-6084-2951

Türkiye Denim Sektörü Dış Ticaret Raporu'na göre; toplam 4 milyar 910 milyon dolar olan dünya denim kumaş ihracatında 338 milyon dolar ihracat ile %7, hazır giyimde ise 2,1 milyar dolar ihracat ile %4,5 paya ulaşarak her iki branşta da dünyanın en fazla ihracat yapan dördüncü ülkesi olmuştur (www.uib.com, 2019).

Giyim ürünü olarak kullanılan ve cilde temas eden tekstil ürünlerinin genelinde olduğu gibi denim kumaşlarda da yumuşaklık, hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği gibi temel konfor özellikleri oldukça önemlidir. Denim kumaşların üretildiği ilk yıllarda en önemli kullanım problemi olan sertlik, yıllar geçtikçe iyileştirilmiş olup bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Ancak, söz konusu özellik iyileştirilirken diğer performans ve konfor özelliklerinde kabul edilebilir sınırlar içinde kalması gerekmektedir.

Optimizasyon, bir sistemde varolan kaynakların, belirli kısıtlamalar kapsamında, en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyet minimizasyonu, kâr maksimizasyonu, seçilmiş bir veya daha fazla özelliğin eniyilenmesi gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknolojidir. Optimizasyon, model oluşturma ve bu modeli çözümlenme aşamalarından oluşmaktadır. "Model" ifadesi bir sistemin değişen koşullar altındaki davranışlarını incelemek, kontrol etmek ve geleceği hakkında varsayımlarda bulunmak amacı ile elemanlar arasındaki bağıntıları kelimeler veya matematiksel terimlerle belirleyen ifadeler topluluğu şeklinde tanımlanabilmektedir (Zervent Ünal, 2007).

Çalışma kapsamında yapılan literatür taraması sonucu tekstil mamullerinin ve denim kumaşların fiziksel ve performans özelliklerinin etkileşimi ve üretim öncesi tahminleme öğelerinin deneysel olarak belirlendiği ve yorumlandığı çalışmalara rastlanmıştır. Denim kumaşlar ile ilgili önceki çalışmaların genellikle, kumaş fiziksel özellikleri (hammadde, çözgü boyama tipi, boyarmadde türü vb.) ve efekt verme amaçlı uygulanan yıkama proses şartları (enzim yıkama, taş yıkama vb.) ile performans özellikleri arasında ilişki kurma ve tahminleme amaçlı yapıldığı görülmüş olup performans parametrelerinin (mukavemet, yumuşaklık vb.) optimizasyonunun amaçlandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Aşağıda tahminleme ve optimizasyon ile ilgili yayınlardan çalışmayla ilgili olduğu düşünülenler kısaca özetlenmiştir.

Zervent Ünal (2007), yürüttüğü çalışma kapsamında, belirli özelliklere sahip havlu kumaşların birim üretim maliyetinin ve/veya performans özelliklerinin eniyilenmesinin amaçlandığı optimizasyon modelleri oluşturulmasını hedeflemiştir. Bu amaçla, farklı fiziksel özelliklere sahip 47 adet havlunun fiziksel ve performans özellikleri belirlenmiş ve elde edilen değerleri veri olarak kullanılarak SPSS yardımıyla çeşitli istatistiksel analizler gerçekleştirilmiş ve seçilmiş fiziksel özelliklerle performans büyüklüklerini ifade edecek matematiksel eşitlikler elde edilmiştir. Daha sonra bu eşitlikler kısıt olarak kullanılarak maliyet ve/veya performans özelliklerinin ayrı ayrı ve aynı anda eniyilenmesinin amaçlandığı toplam 16 adet non-lineer matematiksel model oluşturulmuş, optimum çözümleri LINGO 8.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Sabır (2000), yürüttüğü çalışma kapsamında, iplik işletmesinde üretim planlaması probleminin matematiksel modelini lineer programlama yaklaşımı ile kurmuştur. Seçilen bir iplik işletmesi için model çözülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Doba Kadem (2007), çalışmasında, farklı konstrüksiyonlarda 72 adet %100 pamuklu dokuma kumaşın, atkı-çözgü sıklığı, gramaaj, örgü raporu, kumaş kalınlığı, kumaş yırtılma ve kopma mukavemeti, boncuklanma, yıkama ve buhar sonrası boyut değişimi, aşınma ile kütle kaybı özelliklerini tespit etmiş ve deneysel sonuçlara SPSS ile bazı istatistiksel analiz teknikleri uygulayarak üretim öncesi tahminlemeye yönelik fiziksel ve performans özellikleriyle ilgili eşitlikler belirlemiştir. Li vd. (2009), 20 örme kumaş numunesi üzerine objektif ve subjektif deneyler yapmışlardır. Objektif deneyler arasında, ısı yalıtımı, hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği ve kılcallık deneyleri yer almaktadır. Deneysel verilere dayanarak, spor koşullarında örme kumaşın konfor hissini tahmin etmek amacıyla çoklu bir regresyon modeli oluşturulmuştur.

Celep (2015), çalışmasında, içi boş iplikli örme kumaşların ısı iletkenlik, ısı direnç, ısı soğurganlık, hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği gibi ısı konfor özellikleri tespit edilerek, içi boş ipliklerden oluşan kumaşların konfor özelliklerinin tahmin edilmesine yönelik modeller geliştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, içi boş iplikler ile genel olarak ısı konfor özellikleri geliştirilmiş örme kumaşların üretiminin gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Erenler ve Oğulata (2015), yaptıkları çalışma kapsamında, giysi amaçlı dokunmuş kumaşlarda, atkı elyaf cinsi, atkı sıklığı, atkı iplik numarası, dokuma örgüsü, kumaş kalınlığı ve kumaş gramajının kumaş hava geçirgenliği, kumaş yumuşaklığı ve bağıl su buharı geçirgenliği üzerine etkilerini istatistiksel olarak incelemiş ve bu üretim parametrelerini girdi olarak kullanılarak kumaş hava geçirgenliği, kumaş yumuşaklığı ve bağıl su buharı geçirgenliğinin tahmin edilmesi için uygun Yapay Sinir Ağı (YSA) modellerini MATLAB® paket programı kullanarak kurmuşlardır. Sztandera vd. (2013), geniş bir kumaş veritabanından kumaşın handfeel, mekanik ve konstrüksiyon özellikleri ve algılanan dokunsal konfor verilerini kullanarak regresyon analizi gerçekleştirmişlerdir ve böylece kumaş dokunsal konforunu etkileyen en önemli handfeel, mekanik ve konstrüksiyon özelliklerini tespit etmişlerdir.

Güneşoğlu (2005), PA, PES, PP, pamuk, viskon ve elastan karışımli ipliklerden örülen süprem, ribana, interlok ve RL-2 iplik astarlı kumaşların, termal iletkenlik ve termal direnç, termal absorbtivite, termal difüzyon, nem

absorbivitesi, su buharı geçirgenliği, hava geçirgenliği ve dikey ve yatay kılcallık özelliklerini istatistiksel olarak incelemiş, daha sonra kumaşların ve liflerin kolaylıkla ölçülebilen parametrelerini girdi olarak kullanarak, kumaşların termal absorbivite ve termal iletkenlik değerlerini veren bir programı yapay sinir ağı yöntemi kullanarak oluşturmuştur. Üren (2018) çalışmasında, dokusal konforu geliştirilmiş sistemik denim kumaşlar üretmiş, hammadde, örgü raporu, sıklık ve yıkama işlemlerinin etkisini değerlendirmiştir. Kumaşların, kalınlık, sıkıştırılabilirlik oranı, uzama yeteneği, eğilme direnci, kayma direnci, sürtünme katsayıları ve yüzey profili değerleri ölçülmüştür. Duyusal değerlendirmeler ile kumaşların; sertlik-yumuşaklık puanı, pürüzlü yüzey-düzgün yüzey puanı, sıcak-soğuk hissi puanı ve tutum skoru belirlenmiştir. Duyusal test bulgularının; eğilme direnci, kayma direnci ve halkadan çekme testi sonuçları başta olmak üzere; nesnel test sonuçları ile yüksek korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Sülar (2005) yürüttüğü çalışma kapsamında, KESF ve FAST gibi pahalı objektif ölçüm sistemlerine sahip olmadan basit laboratuvar testleri ile tutumun objektif olarak ve daha az parametre ile tahminlenebilmesi için pratikte uygulanabilir bir model geliştirilmiştir. Sarıkaya vd. (2016), çalışmalarında, tepki yüzeyi tasarımlarından faktöriyel deneysel tasarım uygulanarak çok katlı kumaş yapıları için kumaş konfor özelliklerine etki eden parametreler ve etki dereceleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlara göre kat sayısı ve bağlantı sayısı gibi kumaş yapısal özelliklerinin ısı direnci, ısı soğurganlık ve su buharı direnci gibi kumaş konfor özelliklerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Türksoy vd. (2019) denim kumaşların aşınmasından sonra görülen renk farklılığı için çeşitli kaplama işlem parametrelerinin optimize edilmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Optimizasyon için seçilen parametreler, sıkma basıncı, kaplama maddesinin viskozitesi, kumaşın geçiş hızı, kurutma sıcaklığı ve atkı sıklığıdır. Deney planı olarak L27 (35) ortogonal dizini seçilmiştir. Renk farkı için en etkili girdi parametresinin, kurutma sıcaklığı olduğu bulunmuştur.

Tekstil işletmelerinde genellikle seri üretime geçmeden önce deneme üretimleri yapılarak istenen özelliklerde mamulü elde etmek için gerekli parametreler belirlenmekte olup bu durum maliyet artışına ve zaman kaybına neden olmaktadır (Zervent Ünal, 2007). Bu çalışma kapsamında denim kumaşların yumuşaklık özelliğinin eniyilemesinin amaçlandığı bir matematiksel model oluşturulmuştur. Kurulan bu modelin çözümü LINGO 18.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve geçerliliği en yüksek olan "global optimum" çözüm elde edilmiştir. Söz konusu modelde kısıt olarak kullanılan bağıntılar SPSS paket programı yardımıyla uygulanan regresyon analizi ile oluşturulmuştur.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 2.1. Materyal (Material)

Yapılan çalışmada kullanılan farklı konstrüksiyon özelliklerine (gramaj, sıklık, iplik numarası, hammadde tipi vb.) sahip 13 adet denim kumaşın üretimi, Osmaniye'de faaliyet gösteren JNR MENSUCAT A.Ş. işletmesinde gerçekleştirilmiş ve daha sonra kumaşların bir kısmına farklı yıkama işlemleri uygulanarak deneysel çalışma kapsamında kullanılmak üzere 27 adet numune kumaş elde edilmiştir. Oluşturulacak modelin geçerlilik alanını genişletebilmek adına farklı özelliklerde denim kumaşlar deney planına alınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kumaşların genel özellikleri, Tablo 1'de yer almaktadır.

**Tablo 1.** Numune kumaşların genel özellikleri (General properties of sample fabrics)

Kod	Çözümlü Numarası (Ne)	Atkı Numarası (Ne)	Çözümlü Hammaddesi	Atkı Hammaddesi	Atkı Tipi	Çözümlü Sıklığı (tel/cm)	Atkı Sıklığı (tel/cm)	Örgü Tipi	Yıkama Tipi	Gramaj (g/m <sup>2</sup> )
K1	Ne 9	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	26	18	3/1 S	Yıkamamış	370
K2	Ne 9	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	26	18	3/1 B.T	Yıkamamış	375
K3	Ne 9	Ne 14	100 % Co	100 % Co	K	26.5	21	2/2 Z	Yıkamamış	302
K4	Ne 9	Ne 14	100 % Co	100 % Co	K	26.5	23	1/3 Z	Yıkamamış	305
K5	Ne 9	Ne 14	100 % Co	100 % Co	K	26.5	23	1/3 Z	Rinse	305
K6	Ne 9	Ne 14	100 % Co	100 % Co	K	26.5	23	1/3 Z	Taş	305
K7	Ne 9	Ne 16.5 + Dtex 44	100 % Co	48.5% Co + 48.5% Pes + 3% Elastan	K	29	21	1/3 Z	Yıkamamış	312
K8	Ne 9	Ne 16.5 + Dtex 44	100 % Co	48.5% Co + 48.5% Pes + 3% Elastan	K	29	21	1/3 Z	Rinse	312
K9	Ne 9	Ne 16.5 + Dtex 44	100 % Co	48.5% Co + 48.5% Pes + 3% Elastan	K	29	21	1/3 Z	Enzim	312

**Tablo 1. Devamı (Continued)**

K10	Ne 9	Ne 16.5 + Dtex 44	100 % Co	48.5% Co + 48.5% Pes + 3% Elastan	K	29	21	1/3 Z	Taş	312
K11	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	27	23	2/2 Z	Yıkanmamış	277
K12	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	27	23	2/2 Z	Enzim	277
K13	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	27	23	2/2 Z	Taş	277
K14	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	27	24	3/1 Z	Yıkanmamış	287
K15	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	27	24	3/1 Z	Taş	287
K16	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Te	K	26.5	21	2/2 Z	Yıkanmamış	281
K17	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Te	K	26.5	21	2/2 Z	Rinse	281
K18	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Te	K	26.5	21	2/2 Z	Enzim	281
K19	Ne 20	Ne 20	100 % Te	100 % Te	K	39	23	2/1 Z	Yıkanmamış	220
K20	Ne 20	Ne 20	100 % Te	100 % Te	K	39	23	2/1 Z	Enzim	220
K21	Ne 20	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	37	21	2/1 Z	Yıkanmamış	185
K22	Ne 9	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	26	17	3/1 Z	Yıkanmamış	360
K23	Ne 9	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	26	17	3/1 Z	Taş	360
K24	Ne 9	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	26	17	3/1 Z	Enzim	360
K25	Ne 5.8	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	23	17	3/1 Z	Yıkanmamış	425
K26	Ne 14	Den 200/144 + Dtex 78	100 % Co	96 % Pes + 4 % Elastan	S	43.5	23	3/1 Z	Yıkanmamış	295
K27	Ne 14	Den 200/144 + Dtex 78	100 % Co	96 % Pes + 4 % Elastan	S	43.5	23	3/1 Z	Enzim	295

\* Co: Pamuk, Te: Tencel, Pes: Polyester, OE: Open-end, K: Karde, S: Sentetik, B.T: Broken twill (Kırık dimi)

## 2.2. Metod (Method)

Denim kumaş numunelerine, en yaygın kullanım alanına sahip olan rins, enzim ve taş yıkama işlemleri uygulanmıştır. Yapılan yıkama işlemlerin proses adımları Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 2. Rins yıkama reçetesi (Rins wash recipe)**

Proses	Sıcaklık (C°)	Süre (dAk)	Su Miktarı (l/kg)	pH
Rins Yıkama	60	15	20	6-7
Boşaltma / Sıkma	—			
Kurutma	60	45	-	-

**Tablo 3. Taş yıkama reçetesi (Stone wash recipe)**

Proses	Sıcaklık (C°)	Süre (dk)	Taş Miktarı (kg/kg)	Su Miktarı (l/kg)	pH
Taş Yıkama	60	45	1.5	20	6-7
Boşaltma/Durulama/Sıkma	—				
Taş Ayıklama	—				
Kurutma	60	45	-	-	-

**Tablo 4. Enzim yıkama reçetesi (Enzyme wash recipe)**

Proses	Sıcaklık (C°)	Süre (dAk)	Enzim Miktarı (g/l)	Su Miktarı (l/kg)	pH
Enzim Yıkama	60	30	3	20	6-7
Boşaltma/Durulama/Sıkma	—				
Kurutma	60	45	-	-	-

DeneySEL çalışma kapsamında numune kumaşların ilk olarak fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla testler uygulanmış, daha sonra numuneler üzerine seçilmiş bazı konfor ve performans testleri uygulanmıştır. Çalışma kapsamında yumuşaklık özelliğinin eniyilenmesi amaçlanmakta olup, bu özellik iyileştirilirken kullanım yerine göre sahip olması gereken performans parametrelerinden kopma mukavemeti ile önemli konfor özelliklerinden

su buharı ve hava geçirgenliği özelliklerinin de kabul edilebilir sınırlarda olması istenmektedir. Çünkü, denim kumaşlar genellikle cilde temas ettiği için yumuşaklığın yanı sıra terleme ile oluşan su buharının kolay iletilir olması ve cilt sağlığı açısından hava geçirgenliğinin belirli değerlerde olması gerekmektedir. Aksi halde yumuşaklık iyileştirilirken diğer özellikler bu durumdan olumsuz etkilenirse kullanım açısından sorunlar oluşabilir. Bu nedenle, oluşturulacak matematiksel modele kısıt olarak ilave edilmek üzere ilgili özellikler de test edilmiştir. Söz konusu özelliklerin ölçümünde kullanılan test yöntemleri, standart numaralarıyla birlikte Tablo 5'te özetlenmiştir.

Oluşturulacak modelde amaç, optimum yumuşaklık değerine sahip denim kumaş üretimi için gerekli parametrelerinin üretim öncesi tahminlenmesi olup, aşağıda belirtilen standarda göre test sonucu elde edilen yumuşaklık/sertlik değeri düştükçe kumaş sertliği azalmakta, kumaş yumuşaklığı artmaktadır. Bu nedenle, çalışmada yumuşaklık optimize edilirken bu değer minimum olması amaçlanmıştır.

**Tablo 5.** Test edilen özellikler ve testlerin standart numaraları (Tested features and testing standards)

Uygulanan Testler	İlgili Standart	Uygulanan Testler	İlgili Standart
Numara (atki ve çözgü numarası)	TS 255	Yumuşaklık	ASTM D 4032-94
Sıklık (atki ve çözgü sıklığı)	TS 250	Kopma mukavemeti	TS EN ISO 13934-1
Gramaj	TS 251	Hava geçirgenliği	TS 391 EN ISO 9237
Örgü raporu	TS 6349	Su buharı geçirgenliği	ASTM E96 B

### 3. İstatistiksel Çalışma ve Sonuçları (Statistical Studies and Results)

Çalışma kapsamında öncelikle kumaşların, seçilmiş fiziksel özellikleri ve konfor/performans özelliklerini üretime geçmeden önce tahmin edebilmek ve kurulacak optimizasyon modelinde kısıt olarak kullanmak üzere regresyon denklemleri oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla, SPSS istatistiksel paket programı kullanılmış ve deneysel olarak tespit edilmiş olan, çözgü iplik numarası (CN), atki iplik numarası (AN), çözgü sıklığı (CS), atki sıklığı (AS), gramaj (G), çözgü kopma mukavemeti (Ckop), atki kopma mukavemeti (Akop), yumuşaklık (Y), hava geçirgenliği (HG) ve su buharı geçirgenliği (SBG) değişkenlerine ait ortalama ölçüm değerleri ile çözgü hammaddesi (CH), atki hammaddesi (AH), atki tipi (AT), örgü tipi (OT) ve yıkama tipi (YT) değişkenlerine ait Tablo 6'da verilen nicel kodları SPSS veri sayfasına girilmiştir.

**Tablo 6.** SPSS veri girişinde bazı değişkenler için kullanılan kodlar (Codes used for some variables in SPSS data entry)

Kod	CH	AH	AT	OT	YT
1	Pamuk	Pamuk	Karde	3/1 S	Yıkınamamış
2	Tencel	Tencel	Open-End	3/1 Z	Taş
3	-	Pamuk/Polyester + Elastan	Sentetik	3/1 B.T	Rins
4	-	Polyester + Elastan	-	1/3 Z	Enzim
5	-	-	-	2/1 Z	-
6	-	-	-	2/2 Z	-

Daha sonra parametrik testlere uygunluğu K-S testi, Runs testi ve Histogram Grafikleri ile kontrol edilen bu verilere regresyon analizi uygulanarak her bir değişkeni, seçilmiş fiziksel özellikler cinsinden matematiksel olarak tanımlayan birer eşitlik oluşturulmuştur. SPSS'de regresyon analizi uygulanırken, kategorik değişkenler (CH, AH, AT, OT ve YT) Tablo 6'da verildiği şekilde kodlanmıştır.

Regresyon analizlerinden elde edilen denklemlerden geçerlik düzeyi yüksek ve yorumlanabilir nitelikteki olanlar Tablo 7'de verilmiştir. Bu eşitlikler, çalışma kapsamında kurulacak optimizasyon modelinde de kısıt olarak kullanılacaktır.

**Tablo 7.** Modelde kullanılacak eşitlikler (Equations to be used in the model)

Değişken	Eşitlik	R <sup>2</sup> değerleri
Yumuşaklık	$Y = -0,084*CN - 0,052*AN + 0,055*CS + 0,054*AS - 0,244*YT$	0.905
Gramaj	$G = -21,496*CN - 14,236*AN + 15,333*CS + 13,571*AS$	0.992
Çözgü sıklığı	$CS = 1,426*CN + 13,086*CH$	0.967
Atki sıklığı	$AS = 0,876*AN + 1,693*OT$	0.954
Çözgü kopma muk.	$Ckop = 71,477*CS - 93,535*YT + 75,292*OT - 112,402*CN$	0.959
Atki kopma muk.	$Akop = 85,579*AH - 16,891*AN + 83,859*AT + 22,025*AS - 43,753*YT$	0.919
Hava geçirgenliği	$HG = 31,155*CN - 9,221*CS + 113,255*CH$	0.970
Su buharı geçirgenliği	$SBG = -9,523*AN + 30,653*AS - 19,894*CN + 14,516*CS$	0.989

#### 4. Optimizasyon Modeli (Optimization Model)

İşletme veya müşteri isteklerine bağlı olarak konfor ve/veya performans özelliklerinin minimum ve/veya maksimum olması amaçlanabilmektedir. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında kumaşın konfor özelliklerinden yumuşaklık değerinin en iyilenmesinin amaçlandığı bir model oluşturulmuştur. Söz konusu modelde tek bir amacın gerçekleştirilmesi hedeflendiğinden bu model “tek amaçlı model” olarak ifade edilmektedir. Söz konusu modelin çözümü sonucunda amaç fonksiyonunun (ele alınan özelliğin) aldığı değer, bu özelliğin mevcut kısıtlar doğrultusunda sahip olabileceği en iyi değerdir (Zervent Ünal, 2007).

Oluşturulması istenen modelde amaç, fonksiyonunun yanı sıra amacı gerçekleştirmede etkin rol oynayan bazı kısıtlar da bulunmaktadır. Amaç gerçekleştirilirken kumaşın bazı özelliklerinin de (fiziksel ve konfor/performans özellik değerleri) belirli şartları sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle, bu özellikler için bazı sınır değerler belirlenmiş ve Tablo 7’de verilmiş olan matematiksel bağıntılar kullanılarak kısıtlar oluşturulmuştur.

Matematiksel modelleme prensibine göre söz konusu eşitliklerin kısıt olarak kullanılabilmesi için alt ve/veya üst limit değerleri verilmesi gerekmekte olup, bu sınırlamalar fiziksel ve konfor/performans özelliklerinin modelin çözümünde alabilecekleri değer aralıklarını ifade etmektedir. Bu sınır değerler, endüstride yaygın kullanılan ve literatürde sık rastlanan veriler göz önünde bulundurularak belirlenmiş olup, söz konusu sınır değerleri de Tablo 8’de verilmiştir (Kahya, 2019).

**Tablo 8.** Modelde verilen kısıtların sınır değerleri (Limit values of constraints given in the model)

Özellikler (birimler)	Alt limit	Üst limit	Özellikler (birimler)	Alt limit	Üst limit
Çözümlü kopma mukavemeti (N)	450	-	Çözümlü sıklığı (tel/cm)	20	45
Atkı kopma mukavemeti (N)	200	-	Atkı sıklığı (tel/cm)	15	28
Yumuşaklık derecesi (kg)	-	2	Çözümlü hammaddesi	1	2
Hava geçirgenliği (mm/s)	100	-	Atkı hammaddesi	1	4
Su buharı geçirgenliği (g/m <sup>2</sup> /gün)	550	-	Atkı tipi	1	3
Gramaj (g/m <sup>2</sup> )	190	450	Örgü tipi	1	6
Çözümlü iplik numarası (Ne)	5	20	Yıkama tipi	1	4
Atkı iplik numarası (Ne)	5	20			

Yumuşaklığın optimize edilmesinin amaçlandığı bir model oluşturmak için amaç fonksiyonu olarak yumuşaklık ifadesi kullanılmaktadır. Söz konusu modelde verilen kısıt ve amaç fonksiyonu ifadeleri LINGO 18.0 optimizasyon yazılımına girilmiş ve çözüm gerçekleştirilmiştir.

#### 5. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Çalışma kapsamında oluşturulan tek amaçlı doğrusal optimizasyon modelinin çözümü optimizasyon yazılımı LINGO 18.0 kullanılarak gerçekleştirilmiş ve geçerliliği yüksek “Global optimum çözüm” bulunmuştur.

Konfor parametrelerinden yumuşaklık özelliğinin optimize edilmesinin amaçlandığı modelin çözümü sonucu fiziksel ve konfor/performans özelliklerinin almış olduğu değerler, Tablo 9’da toplu olarak özetlenmiştir. Buna göre mukavemet, hava ve su buharı geçirgenliği değerleri belirli kısıtlar içinde olan bir denim kumaşın en iyi yumuşaklık değerine sahip olabilmesi için tablonun sağ sütununda yer alan temel fiziksel özellikler esas alınarak üretilmesi önerilmektedir.

**Tablo 9.** Optimizasyon modelin çözüm sonuçları (Solution results of the optimization model)

Konfor/Performans özellikleri	Çözüm değerleri	Fiziksel özellikler	Çözüm değerleri
Yumuşaklık (Kg)	0,1	Gramaj (g/m <sup>2</sup> )	250,19
Çözümlü kopma mukavemeti (N)	675,97	Çözümlü iplik numarası (Ne)	19,53
Atkı kopma mukavemeti (N)	601,71	Atkı iplik numarası (Ne)	11,32
Hava geçirgenliği (mm/s)	344,34	Çözümlü sıklığı (tel/cm)	40,94
Su buharı geçirgenliği (g/m <sup>2</sup> /gün)	557,64	Atkı sıklığı (tel/cm)	15,00
		Çözümlü hammaddesi	1,0 (Pamuk)
		Atkı hammaddesi	4,0 (Polyester + Elastan)
		Atkı tipi	3,0 (Sentetik)
		Örgü tipi	3,0 (D 3/1 B.T)
		Yıkama tipi	3,0 (Rins)

## 6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışma kapsamında denim kumaşların yumuşaklık özelliğinin eniyilenmesinin amaçlandığı bir matematiksel model oluşturulması amaçlanmış olup, elde edilen sonuçlardan seçilmiş olanlar aşağıda özetlenmiştir.

- Deneysel çalışma sonuçları kullanılarak seçilmiş fiziksel özelliklerin kendi aralarında ve seçilmiş konfor/performans özellikleriyle istatistiksel analizi neticesinde birtakım eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitliklerin tümünün açıklayıcılık katsayısının %90'nın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu değerlerin yüksek olması, oluşturulan eşitliğin geçerliliğinin ve tahmin gücünün yüksek olması anlamına gelmektedir.
- Oluşturulan tek amaçlı modelde kısıt olarak kullanılan ifadeler ve bunlar için belirlenen sınır değerleri sabit tutulmuştur.
- Çalışmada yumuşaklığın kısıtlar doğrultusunda en iyi değeri almasını sağlamak amacıyla oluşturulan modelin çözümü sonucu yumuşaklık değeri 0,1 Kg olarak tespit edilmiştir ( $Y=0,1$  Kg). Buna göre, gramajı 250,19 g/m<sup>2</sup>, çözgü numarası Ne 19,53, atkı numarası Ne 11,32, çözgü sıklığı 40,94 tel/cm, atkı sıklığı 15,00 tel/cm, çözgü hammaddesi pamuk, atkı hammaddesi Polyester+elastan, atkı tipi sentetik, örgü tipi D3/1 B.T, yıkama tipi rins yıkama özelliklerinde bir denim kumaş üretildiğinde kısıtlar doğrultusunda en iyi yumuşaklık değerinin ( $Y=0,1$  Kg) sağlandığı görülmektedir. Ayrıca bu şartlarda gerçekleştirilen üretim ile elde edilen denim kumaşın çözgü ve atkı kopma mukavemeti değerlerinin sırasıyla 675,97 N – 601,71 N, hava ve su buharı geçirgenliği değerlerinin ise sırasıyla 344,34 mm/s – 557,64 g/gün/m<sup>2</sup> olacağı çözüm raporundan görülmektedir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Celep, G., 2015. İçi Boş İpliklerden Elde Edilmiş Tekstil Mamullerinin Konfor Özelliklerinin Modellenmesi Üzerine Yeni Bir Çalışma. Doktora Tezi, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak, 155s.
- Doba Kadem, F., 2007. İpliği Boyalı Pamuklu Kumaşlarda Bazı Fiziksel Özelliklerin Seçilmiş Performans Özellikleriyle İlişkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 219s.
- Erenler, A., Oğulata, R.T., 2015. Investigation and Prediction of Chosen Comfort Properties on Woven Fabrics for Clothing. *Tekstil ve Konfeksiyon* 25(2), 125-134.
- Güneşoğlu, S., 2005. Sportif Amaçlı Giysilerin Konfor Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 208s.
- <https://www.ithib.org.tr/files/downloads/Belgeler/Denim%20Kumas%20Raporu%20-%20Subat%202018.pdf> (erişim tarihi: Mayıs 2019).
- <http://www.uib.org.tr/tr/kbfile/turkiye-denim-ihracat-raporu-mays-2019> (erişim tarihi: Mayıs 2019).
- Kahya, Ş., 2019. Denim Kumaşlarda Seçilmiş Konfor ve Performans Özelliklerinin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 131s.
- Köle, D., 2016. Pamuklu Dokuma Endüstrisinde Çalışanların Toz Maruziyetinin Değerlendirilmesi. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 101s.
- Li, M., Li, D., Zhang, W., and Tang, X., 2009. A Multiple Regression Model for Predicting Comfort Sensation of Knitted Fabric in Sports Condition Based on Objective Properties. 2009 Second International Conference on Information and Computing Science, Manchester, pp. 372-375.
- Sabır, E.C., 2000. Ring ve Open-End İplik Üretim Sistemlerinde Üretim Planlaması için Doğrusal Programlama Yaklaşımı ve Endüstriyel Uygulaması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 209s.
- Sarıkaya G., Sağbaş A., İkiz Y., 2016. Faktöriyel Deneysel Tasarım Uygulanarak Kumaş Konfor Özelliklerine Etki Eden Parametrelerin Tahmin Edilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(3), 165-172.
- Sülar, V., 2005. Kumaş Tutumunun Ölçülebilir Kumaş Özelliklerinden Tahminlenmesi Üzerine bir Araştırma. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 205s.
- Sztandera, L. M., Cardello, A. V., Winterhalter, C., Schutz, H., 2013. Identification of The Most Significant Comfort Factors for Textiles from Processing Mechanical, Handfeel, Fabric Construction, and Perceived Tactile Comfort Data. *Textile Research Journal*, 83(1), 34-43.
- Türksoy H.G., Üstüntaş S., Ertek Avcı M., 2019. Denim Kumaşlarının Aşınma Sonrası Renk Farklılığı için Kaplama İşlem Parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu. *Tekstil ve Mühendis*, 26 (116), 324-329.
- Üren, N., 2018. Denim Kumaşların Dokunsal Konforunu Analizi ve Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 293s.
- Zervent Ünal, B., 2007. Dokunmuş Havlu Kumaşların Üretim Parametreleri ve Performans Özelliklerinin Optimizasyonu. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 232s.