

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Işık İsmail İLBAY**

**KOPOLİMER POLYESTER ESASLI YALANCI BÜKÜM TEKSTÜRE  
PROSESİNDE ÜRÜN TASARIMI VE OPTİMUM ÜRETİM ŞARTLARININ  
BELİRLENMESİ**

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2009**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOPOLİMER POLYESTER ESASLI YALANCI BÜKÜM  
TEKSTÜRE PROSESİNDE ÜRÜN TASARIMI VE OPTİMUM  
ÜRETİM ŞARTLARININ BELİRLENMESİ**

**Işık İsmail İLBAY**

**DOKTORA TEZİ**

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez 03 / 08 / 2009 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu  
İle Kabul Edilmiştir.**

İmza.....

İmza.....

İmza.....

Yrd.Doç.Dr.Nihat ÇELİK

Prof.Dr.Osman BABAARSLAN

Yrd.Doç.Dr.Ali KOKANGÜL

DANIŞMAN

ÜYE

ÜYE

İmza.....

İmza.....

Prof.Dr.Selahattin KAÇIRANLAR

Yrd.Doç.Dr.Hüseyin Gazi ÖRTLEK

ÜYE

ÜYE

Bu tez Enstitümüz Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No**

**Prof. Dr.Aziz ERTUNÇ**

**Enstitü Müdürü**

- **Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**ÖZ**  
**DOKTORA TEZİ**

**KOPOLİMER POLYESTER ESASLI YALANCI BÜKÜM TEKSTÜRE  
PROSESİNDE ÜRÜN TASARIMI VE OPTİMUM ÜRETİM ŞARTLARININ  
BELİRLENMESİ**

Işık İsmail İLBAY

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Nihat ÇELİK

**Yıl:** 2009, **Sayfa:** 76

**Jüri** : Yrd. Doç. Dr. Nihat ÇELİK

Prof.Dr. Osman BABAARSLAN

Yrd.Doç.Dr. Ali KOKANGÜL

Prof.Dr. Selahattin KAÇIRANLAR

Yrd.Doç.Dr. Hüseyin Gazi ÖRTLEK

Bu çalışmanın amacı; tekstüre prosesinde istatistiksel ve deneysel çalışmalar yapılarak, özel ürün piyasası için yüksek marjine sahip ticari olarak kabul edilebilir katyonik boyanabilir multikanallı tekstüre iplik tasarımını yapmaktır. Araştırmanın ana hedefi, tekstilde katma değeri yüksek ürün tasarımlarında Tepki Yüzeyi Metodolojisinin uygulanarak bilimsel ve optimal çözüme daha kısa sürede ulaşılmasını sağlamak ve gelecek çalışmalara ışık tutmaktır.

**Anahtar kelimeler:** Deney Tasarımı, Tepki Yüzeyi Metodolojisi, Polyester, Tekstüre, İplik.

## **ABSTRACT**

PhD THESIS

### **PRODUCT DESIGN AND DETERMINATION OF OPTIMUM PROCESS CONDITIONS ON COPOLYMER POLYESTER BASED FALSE TWIST TEXTURING PROCESS**

Işık İsmail İLBAY

DEPARTMENT OF TEXTILE ENGINEERING  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

**Supervisor** : Assist. Prof. Dr. Nihat ÇELİK

**Year:** 2009, **Pages:** 76

**Jury** : Assist.Prof.Dr. Nihat ÇELİK

Prof.Dr. Osman BABAARSLAN

Assist.Prof.Dr. Ali KOKANGÜL

Prof.Dr. Selahattin KAÇIRANLAR

Assist.Prof.Dr. Hüseyin Gazi ÖRTLEK

The goal of this work is to design and develop cationic dyeable multi channel textured yarn as speciality product via implementing statistical and experimental studies on texturing process to design a commercially acceptable product which will further give high margins. Main target of this research is to reach to the scientific and optimal solution in a shortest time on value added product design in textile industry and enlight to future developments with this approach via implementing Response Surface Methodology.

**Key Words:**Design of Experiment, Response Surface Methodology, Polyester, Texturing, Yarn.

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca bana göstermiş olduğu yardım ve desteklerinden dolayı Tekstil Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof.Dr.Tuğrul OĞULATA'ya öncelikle teşekkür ve minnetlerimi sunarım. Tez çalışmalarımın başlangıcı, devamı ve tamamlanmasında, her türlü yardım, yönlendirme ve hoşgörü bakımından büyük katkılarından dolayı danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr.Nihat ÇELİK'e, destek ve yardımlarından dolayı Sayın Prof.Dr.Osman BABAARSLAN ve Sayın Yrd.Doç.Dr.Ali KOKANGÜL'e, yaptığım çalışmalar boyunca mükemmel bir koordinasyon ve hassasiyetle bana yardımcı olan arkadaşım Advansa SASA AŞ ARGE Şefi Sayın Semiha ÖZTÜRK'e, her zaman yardımlarıyla yanımda olan arkadaşlarım Serin MAVRUZ ve Emel ÇİNÇİK'e, çalışmalar esnasındaki disiplinli ve titiz çabalarından dolayı Advansa AŞ ARGE personeline, tezimin son aşamalarındaki büyük gayretlerinden dolayı kuzenim Yusuf KUVVETLİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm doktora eğitimimde sonsuz destek ve yardımlarını esirgemeyen eşim N. Müge İLBAY, oğlum Uygur İltan İLBAY ve kızım Dora İLBAY'a minnetlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA NO

|                                                                     |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZ.....                                                             | I    |
| ABSTRACT.....                                                       | II   |
| TEŞEKKÜR.....                                                       | III  |
| İÇİNDEKİLER.....                                                    | IV   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                              | VI   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                | VIII |
| 1. GİRİŞ.....                                                       | 1    |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                                           | 4    |
| 3. BİRDEN FAZLA FAKTÖRLÜ DENEY TASARIMI.....                        | 7    |
| 3.1. Proses Karakterizasyonu Deneyi.....                            | 7    |
| 3.2. Optimizasyon Deneyi.....                                       | 8    |
| 3.3. Ürün Tasarımı Deneyi.....                                      | 8    |
| 4. TEPKİ YÜZEYİ METODOLOJİSİ.....                                   | 11   |
| 4.1. En Dik Çıkış Metodu.....                                       | 14   |
| 4.2. İkinci Dereceden Tepki Yüzeyi Analizi.....                     | 18   |
| 5. YALANCI BÜKÜM TEKSTÜRE PROSESİ.....                              | 24   |
| 5.1. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminin Tarihsel Gelişimi.....       | 24   |
| 5.2. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminin Prensibi.....                | 26   |
| 5.3. İğler (Yalancı Büküm Verme Üniteleri).....                     | 28   |
| 5.4. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminde Isıtma.....                  | 29   |
| 5.5. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminde Soğutma Sistemi.....         | 32   |
| 5.6. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminde Yağlama Sistemi.....         | 32   |
| 5.7. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminde Sarım (Take up) Sistemi..... | 33   |
| 5.8. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminde IMG Sistemi.....             | 34   |
| 5.9. Tekstüre İşleminde Kullanılan Ekipmanlar.....                  | 35   |
| 6. MATERYAL VE METOD.....                                           | 36   |
| 6.1. Materyal.....                                                  | 36   |
| 6.2. Metod.....                                                     | 37   |
| 6.3. Tepki Değerleri ve Test Metodları.....                         | 38   |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7. CALISMA BULGULARI VE DEGERLENDIRME.....                                                                       | 43 |
| 7.1. POY ve Tekstüre İplik Fiziksel Değerleri ve<br>İlk Şartlarda Yapılan Proses Şartları ve Test Sonuçları..... | 43 |
| 7.2. Tepki Optimizasyonu.....                                                                                    | 45 |
| 7.2.1. Parametreler.....                                                                                         | 45 |
| 7.2.2. Global Çözüm.....                                                                                         | 46 |
| 7.2.3. Tahmini Tepkiler.....                                                                                     | 46 |
| 7.2.4. Tekil ve Bileşik İstenilirlik.....                                                                        | 47 |
| 7.2.4.1. Tekil İstenilirlik.....                                                                                 | 47 |
| 7.2.4.2. Bileşik İstenilirlik.....                                                                               | 48 |
| 7.2.5. Optimizasyon Tepki Diyagramı.....                                                                         | 48 |
| 7.3. Yapılan Tepki Optimizasyonu ve Değerlendirme.....                                                           | 50 |
| 7.4. Yapılan Tepki Optimizasyonunun Matematiksel Modellemeleri.....                                              | 58 |
| 8. GELİŞTİRİLMİŞ ÜRÜNÜN ÖZELLİKLERİ.....                                                                         | 67 |
| 9. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....                                                                             | 70 |
| KAYNAKLAR.....                                                                                                   | 74 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                                    | 76 |

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1. Örneğe ait merkezi bileşik tasarım.....                                                                                                                          | 18 |
| Çizelge 4.2. Örneğe ait kuadratik model varyans analizi.....                                                                                                                  | 19 |
| Çizelge 4.3. Viskozite yanıtı için birinci dereceden modelin varyans analizi.....                                                                                             | 20 |
| Çizelge 6.1. DIN 53840 Tekstüre iplik kıvrım özellikleri test prensibi.....                                                                                                   | 39 |
| Çizelge 6.2. Deney tasarımına ait sabit ve değişken proses şartları.....                                                                                                      | 41 |
| Çizelge 6.3. POY Testleri ve test standartları.....                                                                                                                           | 41 |
| Çizelge 6.4. Merkezi Bileşik Tasarım ile Minitab’da yapılmış olan deney tasarımı.....                                                                                         | 42 |
| Çizelge 7.1. 133f47 altı kanallı katyonik ve homopolimer POY üretim şartları ve fiziksel değerleri.....                                                                       | 43 |
| Çizelge 7.2. Homopolimer POY tekstüre şartları.....                                                                                                                           | 43 |
| Çizelge 7.3. Homopolimer POY tekstüre şartlarına göre homopolimer tekstüre iplik ve en dik çıkış metodu sonrası muadil katyonik ipliğin fiziksel değerlerinin mukayesesi..... | 44 |
| Çizelge 7.4. Tasarım parametreleri.....                                                                                                                                       | 45 |
| Çizelge 7.5. Global çözümün proses parametreleri, faktörler.....                                                                                                              | 46 |
| Çizelge 7.6. Global çözümün proses parametreleri, tepkiler.....                                                                                                               | 47 |
| Çizelge 7.7. Global çözümün proses parametreleri, tekil ve bileşik istenilirlik.....                                                                                          | 48 |
| Çizelge 7.8. Deney tasarımına göre yapılan üretim faktörleri ve üründe ölçülen tepki değerleri.....                                                                           | 52 |
| Çizelge 7.9. Tepki Optimizasyonuna (Response Optimization) göre hedeflenen ilk tepki değerleri ve optimal çözümü (birinci optimizasyon).....                                  | 54 |
| Çizelge 7.10. Tepki Optimizasyonuna (Response Optimization) göre hedeflenen nihai tepki değerleri ve optimal çözümü (birinci optimizasyon).....                               | 54 |
| Çizelge 7.11. Tepki Optimizasyonuna (Response Optimization) göre hedeflenen nihai tepki değerlerinin optimizasyonu (ikinci                                                    |    |

|                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| optimizasyon).....                                                                                                                                                                                                                          | 56 |
| Çizelge 7.12. 78f47 altı kanal katyonik tekstüre ipliğin optimize edilen<br>proses şartları ve homopolimer proses şartları ile<br>mukayesesi.....                                                                                           | 56 |
| Çizelge 7.13. 78f47 altı kanal katyonik tekstüre ipliğin optimize edilen<br>proses şartlarına göre ve en dik çıkış metodu sonrası proses<br>şartları ve birinci ve ikinci optimizasyona göre tekstüre<br>fiziksel değerleri mukayesesi..... | 58 |
| Çizelge 7.14. Lineer yoğunluk birinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                | 60 |
| Çizelge 7.15. Lineer yoğunluk ikinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                 | 60 |
| Çizelge 7.16. Mukavemet birinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                      | 61 |
| Çizelge 7.17. Mukavemet ikinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                       | 61 |
| Çizelge 7.18. Kopma uzaması birinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                  | 62 |
| Çizelge 7.19. Kopma uzaması ikinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                   | 62 |
| Çizelge 7.20. Kaynama çekmesi birinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                | 63 |
| Çizelge 7.21. Kaynama çekmesi ikinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                 | 63 |
| Çizelge 7.22. Kıvrım kısalması birinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                               | 64 |
| Çizelge 7.23. Kıvrım kısalması ikinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                | 64 |
| Çizelge 7.24. Kıvrım modülü birinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                  | 65 |
| Çizelge 7.25. Kıvrım modülü ikinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                                   | 65 |
| Çizelge 7.26. Mekanik kıvrım kalıcılığı birinci regresyon analizi.....                                                                                                                                                                      | 66 |
| Çizelge 7.27. Mekanik kıvrım kalıcılığı ikinci regresyon analizi .....                                                                                                                                                                      | 66 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA NO

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Problem çözme metodu.....                                                                                 | 2  |
| Şekil 3.1. Akış lehim makinası.....                                                                                  | 8  |
| Şekil 3.2. Süre ve sıcaklığın fonksiyonu olarak verim çevre çizgileri bir optimizasyon deneyini tanımlamaktadır..... | 9  |
| Şekil 4.1. Sıcaklık ve besleme konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak verimin üç boyutlu tepki yüzeyi.....          | 12 |
| Şekil 4.2. Tepki yüzeyindeki çevresel çizgiler.....                                                                  | 13 |
| Şekil 4.3. İşlerlik alanı ve iki boyutta ilgilenilen alanlar.....                                                    | 14 |
| Şekil 4.4. Birinci dereceden tepki yüzeyi ve en dik çıkış yolu.....                                                  | 15 |
| Şekil 4.5. $2^2$ tasarımıyla beş merkez noktalı tasarım.....                                                         | 16 |
| Şekil 4.6. Birinci dereceden model için tepki yüzeyi çizgileri.....                                                  | 17 |
| Şekil 4.7. En dik çıkış metodunun uygulanması.....                                                                   | 17 |
| Şekil 4.8. Örneğe Ait Merkezi Bileşik Tasarım.....                                                                   | 19 |
| Şekil 4.9. Verim yanıtı için tepki yüzeyi çizgileri.....                                                             | 21 |
| Şekil 4.10. Viskozite yanıtı için tepki yüzeyi çizgileri.....                                                        | 22 |
| Şekil 4.11. Verim ve viskozite tepki yüzeylerinin bileşik hali.....                                                  | 22 |
| Şekil 4.12. $k=2$ ve $k=3$ faktörler için tasarımlar.....                                                            | 23 |
| Şekil 4.13. Döndürülebilir merkezi bileşik tasarım için sabit standart sapmanın diyagramı.....                       | 23 |
| Şekil 5.1. Yalancı büküm yönteminde proses adımları.....                                                             | 24 |
| Şekil 5.2. Yalancı büküm yönteminin gelişimi.....                                                                    | 25 |
| Şekil 5.3. Yalancı büküm yönteminin temel prensibi.....                                                              | 27 |
| Şekil 5.4. Yalancı büküm yönteminde besleme silindiri ve büküm elemanı arasında ısıtıcının yerleşimi.....            | 28 |
| Şekil 5.5. Çok diskli iğler.....                                                                                     | 29 |
| Şekil 5.6. Basit eğilme prensibi.....                                                                                | 30 |
| Şekil 5.7. Yalancı büküm tekstüre yönteminde yağlama sisteminin yeri.....                                            | 33 |
| Şekil 5.8. Barmag makinasında sarım sistemi.....                                                                     | 33 |
| Şekil 5.9. Dolama verme tekniği.....                                                                                 | 34 |

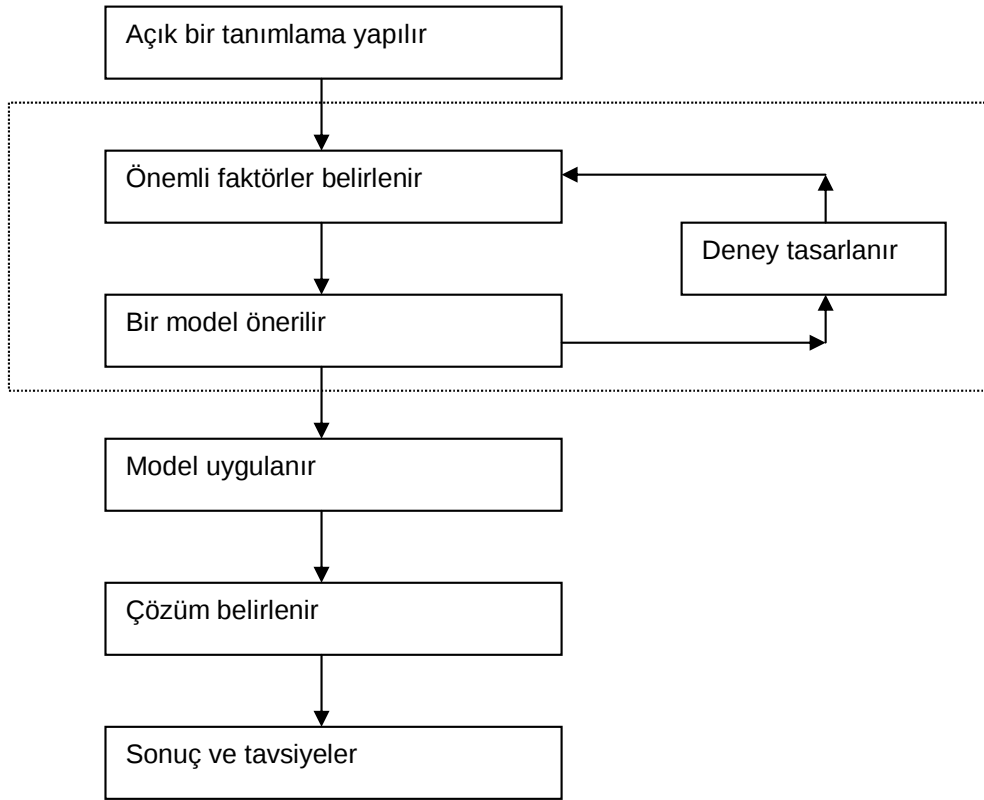
|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 6.1. Altı Kanallı POY İpliği.....                                                                                                                                             | 36 |
| Şekil 6.2. Denemelerin yapıldığı tekstüre makinası.....                                                                                                                             | 37 |
| Şekil 7.1. Optimizasyon tepkisi.....                                                                                                                                                | 49 |
| Şekil 7.2. Tepki Optimizasyonuna göre faktörlerin tepkilere etkisi ve<br>önerilen optimal proses şartları ile ilgili tahmini iplik<br>değerleri (birinci optimizasyon).....         | 55 |
| Şekil 7.3. Tepki Optimizasyonuna göre faktörlerin tepkilere etkisi ve<br>önerilen proses şartlarının optimizasyonu ile ilgili tahmini iplik<br>değerleri (ikinci optimizasyon)..... | 57 |
| Şekil 7.4. Regresyon eğrisi .....                                                                                                                                                   | 59 |
| Şekil 8.1. Homopolimer dispers boyalı ve kopolimer katyonik boyalı kumaşlar.....                                                                                                    | 67 |
| Şekil 8.2. Homopolimer dispers boyalı ve kopolimer katyonik<br>boyalı kumaşların haslık mukayesesi.....                                                                             | 68 |
| Şekil 8.3. Yuvarlak kesitli ve multi kanallı kumaşların nem emiş mukayesesi.....                                                                                                    | 69 |
| Şekil 8.4. Tekstüre sonrası altı kanallı iplik kesit resmi.....                                                                                                                     | 69 |

## 1. GİRİŞ

Bir mühendis, problemleri toplumun ihtiyaçları için bilimsel prensipler dahilinde etkin uygulamalarla çözen insandır. Mühendisler bunu müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde ya mevcut bir ürün veya prosesi inceleyerek ya da yeni bir ürün, proses tasarlayarak yaparlar. Mühendislik veya bilimsel metod bu problemleri formüle etmek ve çözmektir. Mühendislik metodolojisindeki basamaklar şu şekildedir; açık ve öz olarak problemin tanımını yapmak, bu problemi etkileyen veya çözümünde etkisi olabilecek faktörleri tanımlamak, çalışılan konu hakkında bilimsel veya mühendislik bilgilerine dayanarak problem için bir model tespit edilir, model hakkında kabuller ve kısıtlar belirtilir, uygun deneyler ve test için veriler toplanır, verilere dayanarak model detaylandırılır, problemin çözümünü geliştirmeye yardımcı olması için model çalıştırılır, problem için önerilen çözümün hem uygun hem de etkin olduğunu tespit etmek için uygun bir deney yürütülür, problem çözümü için sonuçlar veya tavsiyeler belirtilir.

Mühendislik metodolojisindeki basamaklar Şekil 1.1.'de gösterilmiştir. Mühendislik metodolojisinde problem ile çözümü etkileyebilecek faktörler arasında durumun modeli arasında modelin uygunluğunu ispatlayacak deneyleme arasında ve önerilen çözüm arasında çok güçlü bağıntılar vardır. Şekil 1.1.'deki iki ve dördüncü basamaklar ayrıca bir kutu içinde gösterilmiştir; bu da ilgili basamaklar arasında birkaç döngünün çözüm için gerekebileceğini belirtir. Sonrasında mühendislerin deneyleri nasıl etkin bir şekilde planlamaları gerektiğini, verileri toplamaları ve analiz etmelerini ve ilgili verilerin çalışmalar sonucunda modelle ilişkili olduğunu bilmeleri gereklidir.

İstatistik alanı; veri toplama, sunma, analiz etme, karar alma için verilerin kullanımı, problem çözümü, ürün ve proses tasarımı ile ilgilenir. Çünkü birçok mühendislik pratiği verilerle çalışmayı gerektirir ve tabiatıyla istatistik bilgisi her bir mühendis için son derece önemlidir. İstatistiksel teknikler, yeni ürün ve sistemlerin tasarımında, mevcut tasarımları geliştirmede ve üretim proseslerini geliştirmede yardımcı olabilir.



Şekil 1.1. Problem Çözme Metodu

İstatistiksel metodlar varyasyonu tanımlama ve anlamamıza yardımcı olması için kullanılırlar. Burada kastedilen; aynı sonucu üretmeyen bir sistem veya olayın başarılı gözlemidir. Hepimiz günlük yaşantımızda varyasyonlarla karşı karşıya geliriz ve istatistiksel düşünce bize bu varyasyonu kendi karar verme mekanizmamıza dahil etmemizin kullanışlı yolunu verebilir.

Tez kapsamında, kopolimer esaslı katyonik boyanabilir polyester POY ipliğinin yalancı büküm tekstüre prosesinde tekstüre edilerek, ticari olarak kullanılabilir ipliğin ürün tasarımı ve optimum proses şartının belirlenmesi hedeflenmiştir. Şu anda katyonik boyanabilir ince lineer yoğunluğa (78 dtex civarında) sahip multi kanallı ürün mevcut değildir. Polyester üretimi sırasında tereftalik asit yerine sülfizoftalik asit kullanılarak lif anyonik karakter kazanır. Modifikasyonla elde edilen bu liflere katyonik boyanabilir lifler denir. Bu lifler, anyonik yapısı nedeniyle katyonik boyarmaddelerle boyanabilir özelliktedir. Dispers ve katyonik boyarmaddelerle boyanabilen bu liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri,

dispers boyalarla boyanan homopolimer polyesterlere çok yakın oldukları için genellikle birlikte karıştırılır. Melanj efekti istenen döşemelik, dış giyim gibi yerlerde kullanılır. Katyonik boyarmaddelerle boyandığı için bahsi geçen materyal piyasada katyonik kumaş, katyonik iplik olarak bilinmektedir. Katyonik boyanabilir ipliklerle elde edilen kumaşlar; yumuşak tuşe, yüksek yıkama, kuru ve yaş sürtme haslıklarına ve parlak renk tonlarına sahiptirler. İplikteki multikanal kesit ise, yüzeyi genişletmekte ve nemi ciltten kumaşın dış yüzeyine çeken bir transfer sistemi oluşturmaktadır. Daha sonra da diğer tip kumaşlara göre daha hızlı kurumaktadır. Dolayısıyla tez kapsamında bahsi geçen materyal olarak 47 filamentli multi kanallı katyonik boyanabilir 78 dtex lineer yoğunlukta tekstüre ipliğin yalancı büküm tekstüre prosesinde ürün tasarımı ve optimum proses şartının tespiti yapılmıştır. Bunun için istatistiksel program olan Minitab ile deney tasarlanarak, Tepki Yüzeyi Metodolojisi'ne göre yürütülmüştür. Tepki Yüzeyi Metodolojisi kullanılmasının amacı ise; ön ısıtıcı sıcaklığı, disk dizilişi, D/Y oranı, çekim oranı, + besleme gibi en az beş faktörün olduğu fonksiyonun, ideal veya ticari olarak kabul edilebilir ürünün sahip olması gereken özelliklerine eğrisel bir etkisi olduğu, başka bir deyişle, lineer olmayan bir etkisinin olduğu ve tüm faktörlerin hepsinin birden etkisinin dikkate alınması gerektiği anlayışıyla bir tepki yüzeyi hedeflenmiştir.

Tez kapsamında, ikinci bölümde deney tasarımları ve bilgisayar programları ile analizine dair önceki çalışmalar hakkında bilgi verilmiş, üçüncü bölümde birden fazla faktörlü deney tasarımları üzerinde durulmuş, dördüncü bölümde de yanıtın birkaç değişkenden etkilendiği ve amacın bu yanıtı optimize etmek olduğu problemlerin modellenmesi ve analizini sağlayan tepki yüzeyi metodolojisine değinilmiştir. Beşinci bölüm; hedef proses olan yalancı büküm tekstüre prosesini içermekte, altıncı ve yedinci bölümler ise, deneysel çalışmanın amacını, materyal-metod ve sonuçlar hakkında bilgi vermektedir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

**Hahn (1985)**, istatistiksel tecrübe gerektiren bazı durumlarda, istatistiksel tecrübenin bilgisayar sistemlerine aktararak deneyimsiz kullanıcılara sunulabileceğini, böylelikle bilgisayar destekli deney tasarımının bu konudaki eksikliğini giderebileceğini belirtmiştir.

Deney planlaması deney tasarımının en önemli adımıdır. Deney planlamasının bilimsel ve sistematik olarak yapılması deneyin başarısını doğrudan etkileyeceği için bu süreçte kullanıcının dikkatli olması ve bu sürecin adımlarını tam olarak yerine getirmesi gerekmektedir. **Coleman ve Montgomery (1993)**, endüstriyel deney planlaması prosesinin aşağıdaki adımlardan oluştuğunu belirtmiştir: problemin anlaşılması ve tam olarak ifade edilmesi, deney değişkenlerinin (faktörlerinin) ve bu faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi, deney tepki değişkeninin belirlenmesi, deney tasarımının seçilmesi, deneyin gerçekleştirilmesi, veri analizi ve deney sonuçlarının değerlendirilmesidir.

**Coleman ve Montgomery (1993)**, deney planlaması yapılmasına rağmen deneyi yapan kişinin bilgi ve tecrübesi arasındaki çelişkilerinden dolayı birçok endüstriyel deneyin planlandığı gibi gitmediğini belirtmiştir. Deneyi yapan kişinin bilgisizliğinin aşağıdaki sonuçları doğurabileceğini belirtmişlerdir: yanlış varsayımlar, uygun olmayan kontrol edilebilen faktör seviyeleri kombinasyonu, bilinen fiziksel kuralların değiştirilmesi veya göz ardı edilmesi, gereğinden büyük veya küçük deney tasarımının seçilmesi, deney tepki değişkeni değerinin yanlış ölçülmesi ve yanlış deney gözlemi sırası.

**Hahn (1993)**, deneylerin planlama aşamasında bilgisayar kullanılmasının önemini vurgulamıştır. Günümüzde, bilgisayarların standart tasarım geliştirmede başarılı olduğunu, fakat varolan yazılımların deney tasarımlarının bazı teknik özellikleri konusunda yetersiz olduğunu belirtmiştir.

**Nachtsheim (1987)**, bilgisayar destekli deney tasarımı için geliştirilen bilgisayar programlarını incelemiş ve bu programların gelişimlerinde kolay kullanımlarının önemli bir rol oynadığını belirtmiştir. Nachtsheim (1987), bu yazılımları üç gruba ayırmıştır; klasik tasarımların oluşturulması için kullanılanlar,

klasik ve optimal tasarımlar için kullanılanlar, tepki yüzeyi (Response Surface) deneysel optimizasyonu için kullanılanlar. Basit tasarımların tasarım ve analizlerinin istatistikçi olmayanlar için zaman alıcı ve zor olduğunu, pratik hayatta her zaman istatistikçilere başvurulamayacağını belirtmiştir.

**Snee (1985)**, deney tasarımında bilgisayar kullanımı konusunda çalışmış ve klasik tasarımların özel koşullardan dolayı kullanılamadığı durumlarda bilgisayarların önemini vurgulamıştır. Snee (1985), deney tasarımında bilgisayar kullanmanın avantajlarını şu şekilde sıralamıştır; kodlanmış deney tasarımları kitaplar yerine bilgisayar dosyalarında saklanacak, böylece tasarımcı literatürden tasarım araştırması yapmayacak. Bazı durumlarda tasarımın kullanıcı tarafından yaratılması bilgisayar tarafından yaratılmasına oranla daha uygundur ve deney tasarımının kalitesini artıracaktır. Çünkü bloklama yapıları, kısıtlar, kısmi deney tekrarları ve diğer teknik detaylar daha iyi değerlendirilebilecek, deney kodlaması bilgisayar tarafından gerçekleşeceğinden dolayı deneyin bu ilk adımlarında hata yapma ihtimali ortadan kalkacak.

**Snee (1985)**, ifade edilen fonksiyonlara sahip olan bilgisayar sistemlerinin az eğitim gerektireceğini ve kullanıcılara daha güvenli bir istatistiksel yaklaşım sunacağını belirtmiştir. Ayrıca, klasik tasarımların deney değişkenleri üzerindeki ekonomik ve fiziksel kısıtların sebep olduğu düzensiz deney alanlarından dolayı uygun olmadığı zamanlarda bilgisayar kullanımının önemini ve bilgisayarların sadece yardımcı birer araç olduğunu vurgulamıştır.

**Montgomery ve Runger (1999)**, Mühendisler için uygulamalı istatistik ve olasılık kitabında deneylerin tüm mühendislik ve bilimsel disiplinlerde gerçekleştirildiğini ve sistemlerle proseslerin nasıl çalıştıklarının önemli unsurlar olduğunu ifade etmişlerdir. Bir deney sonrasında tespit edilen çözüm ve önerilerin geçerliliğinin geniş bir anlamda deneyin nasıl oluşturulduğuna dayandığını, böylece bir deneyin tasarımının problemin nihai çözümünde ana rol oynadığı vurgulanmıştır. Deneysel tasarım, bir üretim prosesini geliştirmek isteyen mühendis ve bilim adamları için çok önemli bir araçtır. Yeni proses ve yeni ürün tasarımlarında geniş

bir uygulama alanı vardır. Deney tasarımlarının bazı uygulama alanlarının proses karakterizasyonu, optimizasyon ve ürün tasarımı olduğu belirtilmiştir.

**Montgomery (1997)**, tepki yüzeyi metodolojisi, veya RSM (Response Surface Methodology), ilgilenilen tepkinin birkaç değişken tarafından etkilendiği ve amacın bu tepkiyi optimize etmek olduğu problemlerin modellenmesi ve analizi için faydalı olan matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bir grubu olduğunu belirtmiştir.

**Myers ve Montgomery (2002)**, Tepki Yüzeyi Metodolojisinin prosesleri geliştirmek ve optimize etmek için istatistiksel ve matematiksel tekniklerin toplamı olduğunu ve ayrıca mevcut ürün tasarımlarında olduğu kadar tasarım, geliştirme ve formülasyonda çok önemli uygulama alanları olduğunu vurgulamışlardır.

**Demir (2006)**, tekstüre esnasında termoplastik ipliklerin yüksek sıcaklıkta mekanik zorlanmalara maruz kaldıklarını, tekstüre besleme ipliğinin yapısındaki makromoleküler değişikliğin değişim derecesi işlem parametrelerine bağlı olduğu kadar beslenen ipliğin özelliklerine de bağlı olduğunu ifade etmiştir. Tekstüre esnasında beslenen ipliğin kristallliği artarken, kristal ve amorf bölgelerin oryantasyonunun azaldığının gözlemlendiği belirtilmiştir. Isıtıcı sıcaklıklarının, D/Y oranının, işlem hızının ve besleme ipliğinin tekstüre prosesindeki etkileri üzerinde durmuştur. Bu parametreler de ana tekstüre proses faktörleri olarak deney tasarımında kullanılmıştır.

**Tavanai ve ark. (1997)**, çorap üretiminde kullanılan yalancı büküm tekstüre ipliklerde bükümün etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada tekstüre ipliğinin mekanik özelliklerini etkileyen ana proses parametreleri olan sıcaklık ve tekstüre hızının kısa ısıtıcı yüksek hızlı (SHHS, short heater high speed) yalancı büküm tekstüre prosesinde polyamid 6.6 ipliğe olan etkileri incelenmiştir. Bu proseste yüksek sıcaklıkta ve düşük sürede ısıtıcıda kalan ipliğin, iplik hattında stabil kalmasının önemi vurgulanarak diğer proses parametreleriyle birlikte incelenmiştir.

**Denton (1975)**, yalancı büküm tekstüre ipliğinin mekaniği ve geometrisi üzerinde yapmış olduğu çalışmada kıvrım özelliklerine sıcaklığın etkisini belirtmiştir. Sıcaklığın artmasının kıvrım kısalması değerini artıracığını ifade etmiştir.

### 3. BİRDEN FAZLA FAKTÖRLÜ DENEY TASARIMI

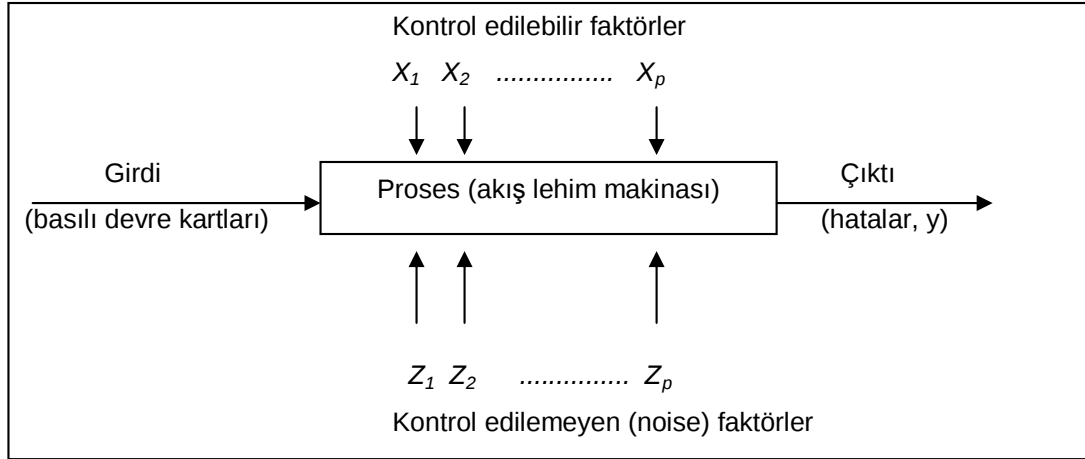
Bir deney sadece bir veya birkaç testten ibarettir. Deneyler tüm mühendislik ve bilimsel disiplinlerde gerçekleştirilir ve sistemlerle proseslerin nasıl çalıştıkları önemli unsurlardır. Bir deney sonrasında tespit edilen çözüm ve önerilerin geçerliliği geniş bir anlamda deneyin nasıl oluşturulduğuna dayanır. Böylece bir deneyin tasarımı problemin nihai çözümünde ana rol oynar. Bu tasarımda amaç iki veya daha fazla faktörün olduğu deneylerdir.

Deneysel tasarım, bir üretim prosesini geliştirmek isteyen mühendis ve bilim adamları için çok önemli bir araçtır. Yeni proses ve yeni ürün tasarımlarında geniş bir uygulama alanı vardır. Deney tasarımlarının bazı uygulama alanları aşağıda örneklerle ifade edilmiştir:

#### 3.1. Proses Karakterizasyonu Deneyi

Örneğin bir grup geliştirme mühendisi elektronik kartlara lehim yapan makinede hatalı sayısını (lehim bağlantı hataları) azaltmak için yeni tip akış lehim makinası üzerinde çalıştıkları kabul edilsin. Bu prosesin birçok değişkeni mevcuttur ve bu değişkenlerin hepsi aynı önemde değildir. Bu hususta tüm mühendislerin katıldığı, bilgi ve tecrübeye dayalı beyin fırtınası toplantısında aday değişkenler belirlenir. Belirlenen değişkenler; lehim sıcaklığı, ön ısıtma sıcaklığı, konveyör hızı, akış tipi, akış spesifik gravitesi, lehim dalga derinliği ve konveyör açısıdır. Belirlenen diğer faktörler ise yukardaki gibi kolayca kontrol edilemeyen faktörlerdir; basılı devre kartının kalınlığı, karttaki komponent tipleri, komponentlerin karttaki yerleşimi, işçilik, çevre faktörleri ve üretim oranıdır. Bu prosesin şeması Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bu durumda mühendis, akış lehim makinasının karakterizasyonu ile ilgilenmektedir. Hangi faktörlerin hatalı lehime sebebiyet vereceğini tespit etmek istemektedir. Bunları belirlemek için bir deney tasarım edilecek ve hangi faktörün ne şekilde etkilediği tespit edilecektir. Bu tip bir deneye bazen “görüntüleme deneyi”

de denilir. Böylelikle hangi faktörün ne derece hatalıya sebep verdiği tespit edilerek o faktör üzerine düzeltici işlemlere gidilerek proses performansının artırılması sağlanır.



Şekil 3.1. Akış Lehim Makinası (Montgomery ve Runger, 1999)

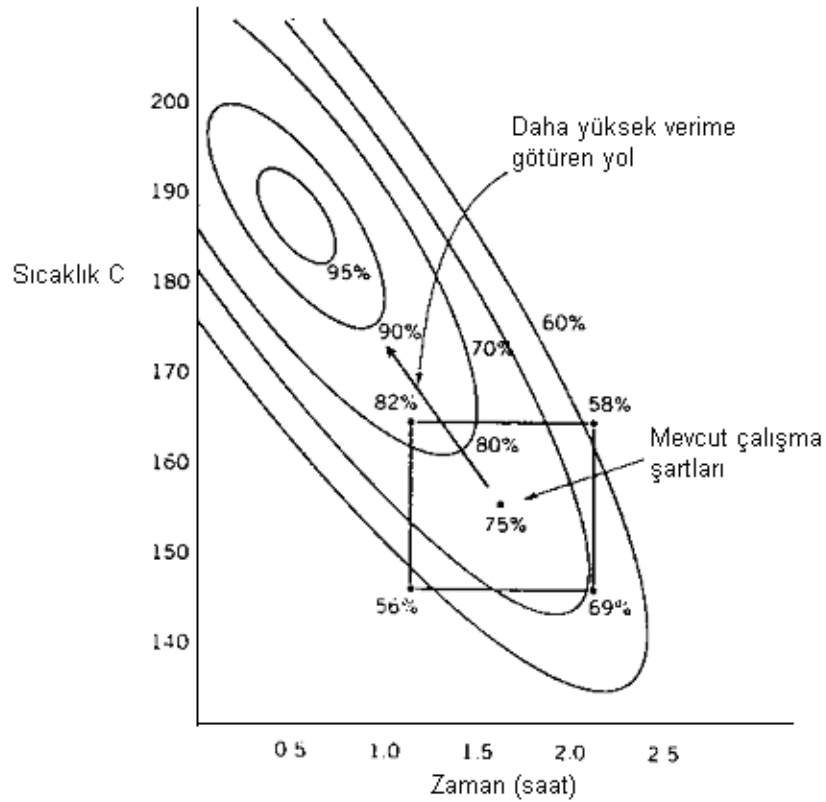
### 3.2. Optimizasyon Deneyi

Karakterizasyon deneyinde hangi faktörlerin sonucu etkilediği tespiti ile ilgilenilmiştir. Diğer bir yaklaşım ise, optimum çıktıyı sağlayacak bölgeyi tespit etmektir. Eğer çıktı maliyet ise, minimum maliyeti sağlayacak bölge tespit edilmelidir. Örneğin, bir kimyasal prosesin kalite verimi proses sıcaklığı ve reaksiyon süresi ile etkilendiği kabul edilsin. Şu anda da mevcut proses sıcaklığı  $155^{\circ}\text{C}$  ve 1,7 saat reaksiyon süresi olsun ve bu şartlarda verim %75 olarak tespit edilmiş olsun. Şekil 3.2’de gösterildiği üzere süre sıcaklık diyagramı mevcuttur. Buradaki kalite verimi çizgileri ve çevre çizgileri iki faktör faktöriyel deneyi ile tespit edilmiştir. Bu tasarımda her bir proses birbiriyle eşleşecek şekilde dört deney yapılmıştır. Sonuç itibarıyla sıcaklığın yükseltilerek reaksiyon süresinin düşürülmesi ile verimin artacağı görülmüştür. Ekstra birkaç denemeyle de maksimum verim tespit edilebilir.

### 3.3. Ürün Tasarımı Deneyi

Deneyisel tasarım, aynı zamanda yeni ürünlerin geliştirilmesinde kullanılır. Örneğin, bir grup mühendis araba kapı menteşesi tasarım ediyor olsun. Ürün

karakteristiği ise ürünün etkinliğini, tutunma özelliğini; daha doğrusu araç eğimli bir konumda park etmişken kapının kolayca kapanmasını önlemektir. Mekanizma, yaprak yay ve silindirden oluşmaktadır. Bu mekanizmanın performansını tespit etmek için; silindir hareket mesafesi, eksenden temele yay yüksekliği, eksenden yaya yatay mesafe, kuvvet altındaki yayın serbest yüksekliği ve ana yayın serbest yüksekliği incelenmelidir.



Şekil 3.2. Süre ve sıcaklığın fonksiyonu olarak verim çevre çizgileri bir optimizasyon deneyini tanımlamaktadır (Montgomery ve Runger, 1999).

Mühendisler bu faktörlerin değişik aralıklarda uygulanabileceği şekilde bir menteşe prototipi yaparlar. Prototip normal olarak çalıştıktan sonra değişik aralıklarda olacak şekilde deney tasarlanarak istenen tasarım geliştirilir. Bu üç kullanım alanının yanı sıra deneysel tasarım, mühendislikte belirtilen değişik alanlarda da kullanılabilir; proses ayarlama ve düzeltme, proses geliştirme ve optimizasyon, malzeme ölçme ve değerlendirme, alternatif tespiti, güvenilirlik ve ömür tespiti, performans testi, komponent tolerans testi bunlara örnek olarak verilebilir. Deneysel tasarım metodları ürün devriminde erken basamaklarda

problemin çözülmesini sağlar. Bu yaklaşım genel üretim maliyetini düşürür ve ürün, proses geliştirme sürecini azaltır (Montgomery ve Runger, 1999).

#### 4. TEPKİ YÜZEYİ METODOLOJİSİ

Tepki yüzeyi metodolojisi, veya RSM (Response Surface Methodology), ilgilenilen tepkinin birkaç değişken tarafından etkilendiği ve amacın bu tepkiyi optimize etmek olduğu problemlerin modellenmesi ve analizi için faydalı olan matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bir grubudur (Montgomery, 1997).

RSM’de tepki değişkeni adı verilen  $y$  bağımlı değişkeninin  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$  bağımsız değişkenlerinin bir fonksiyonu olduğu farz edilir.

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + e \quad [4.1]$$

$\epsilon$ , gözlenen hata,  $Y$  ise tepki değişkenidir. Bu terimin sıfır ortalama ve  $\sigma^2$  varyansı ile normal dağılıma sahip olduğu varsayılır. Beklenen tepki;

$$E(y) = h = E[f(x_1, x_2, \dots, x_k)] + E(e) \quad [4.2]$$

$E(e) = 0$  olduğundan tepki yüzeyi;

$$h = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \text{ olacaktır.} \quad [4.3]$$

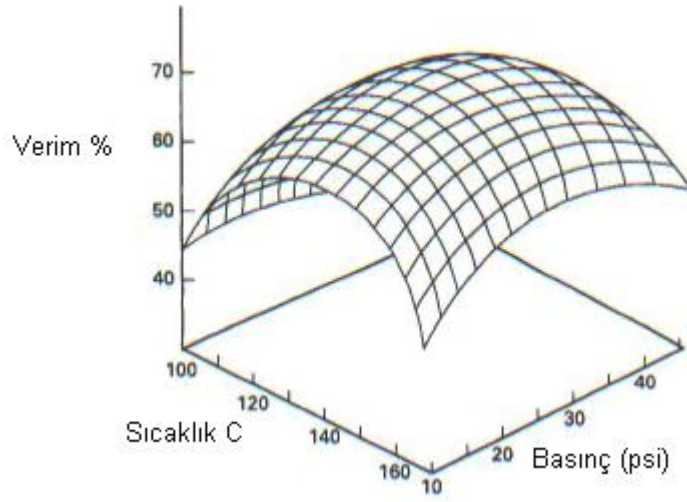
$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$  gerçek değişkenlerdir. Bu değişkenler, kodlama terimleri (veya düzen değişkenleri) ile ifade edilirse tepki yüzeyi;

$$h = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \text{ olacaktır.} \quad [4.4]$$

Tepki yüzeyini grafiksel olarak Şekil 4.1’de gösterebiliriz. Bu şekil,  $\eta$ ’ya karşı  $x_1$  ve  $x_2$  değişkenlerine göre çizilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken; tepki bir yüzey çizimi olarak üç boyutlu gösterilmiştir. Bu şekilde yüzeydeki çizgiler  $x_1$  ve  $x_2$  değişkenlerine göre çizilmiştir. Bu çevresel çizgiler  $x_1$  ve  $x_2$  kademelerinin üzerinde çalışılarak tepki yüzeyindeki şekil ve yükseklik değişiklikleri elde edilir.

Gerçek tepki fonksiyonunun biçimi bilinmediğinden tepki değişkeni ve bağımsız değişkenler arasındaki gerçek fonksiyonel ilişki için uygun bir yaklaşım bulunmalıdır. Tepki değişkeni, bağımsız değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu ile modellenirse, yaklaşım birinci dereceden bir modeldir;

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k + e \quad [4.5]$$



Şekil 4.1. Sıcaklık ve besleme konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak verimin üç boyutlu tepki yüzeyi (Montgomery ve Runger,1999)

Sistemde eğrilik olması durumunda ikinci dereceden bir model daha uygun bir model olabilir;

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + e \quad [4.6]$$

Bazı durumlarda ikiden daha yüksek dereceli modeller kullanılır. Polinom yaklaşımı için mantık Taylor genişleme serilerine dayandırılır. Birinci dereceden Taylor genişleme serilerinden genişletilmiş birinci dereceden model [4.7]'de verilmiştir;

$$f \cong f(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{k0}) + \left. \frac{\partial f}{\partial x_1} \right|_{x=x_0} + \left. \frac{\partial f}{\partial x_2} \right|_{x=x_0} + \dots + \left. \frac{\partial f}{\partial x_k} \right|_{x=x_0} \quad [4.7]$$

Bu denkleme ikinci dereceden terimler dahil edilerek ikinci dereceden yaklaşım modeline ulaşılır.

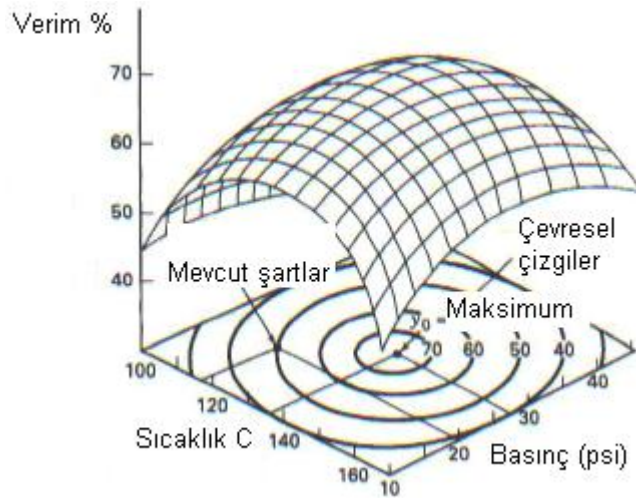
Çoğu durumda, ya birinci dereceden ya da ikinci dereceden model kullanılır ve parametreleri tahmin etmek için en küçük kareler yöntemine başvurulur.

Tepki yüzeyi metodolojisi ardışık bir yöntemdir. İlk önce ilgilenilen yanıtı etkileyen bağımsız değişkenler daha sonra da sürecin optimumdan uzak bir alanda işleyip işlemediği belirlenir. Eğer süreç optimumdan uzak bir alandaysa süreci optimuma doğru götürecek süreç değişkenlerine uygulanacak bir düzen grubu belirlenir. Bu durumda birinci dereceden model ve en dik çıkış metodu denilen

optimizasyon teknikleri uygun olacaktır. Süreç optimuma yakın olduğunda ise ikinci dereceden bir model kullanılacaktır. Uygun bir yaklaşım modeli belirlendikten sonra süreç için optimum şartları belirlemek için model analiz edilebilir (Kale, 2001).

Sıklıkla, tepki yüzeyinin optimumdan uzak bir noktasında, mesela Şekil 4.2’de gösterildiği gibi; burada çok az bir eğiklik mevcut olup, birinci dereceden bir model uygun olacaktır. Buradaki hedef ise, hızlı ve etkin bir şekilde optimum bölgesine gitmektir. Bir kere optimum bölgesine gelindiğinde ise, ikinci dereceden model gibi daha ayrıntılı bir modele varılır. Bu tip bir analiz gerçekleştirilebilir. Bu şekilde tepki yüzeyinin analizini bir tepeye çıkış olarak değerlendirebiliriz. Çünkü tepenin en yüksek noktası, maksimum yanıtı göstermektedir. Eğer gerçek optimum, minimum yanıtta gerçekleşseydi, bunu vadiye inmek olarak düşünebilecektik.

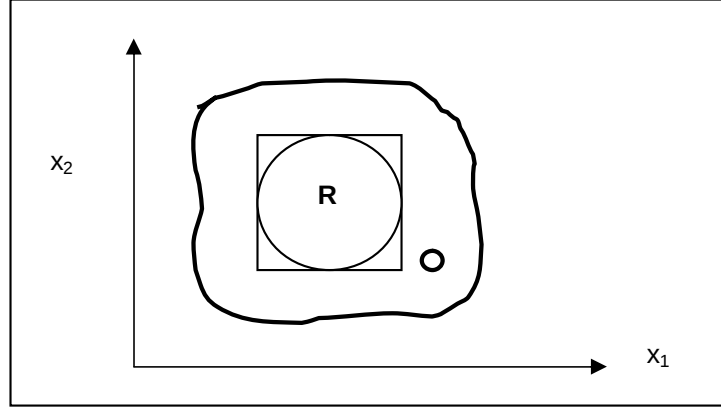
RSM’nin nihai hedefi, sistemin optimum çalışma şartlarını veya istenilen şartları tespit etmektir. RSM’de optimum kelimesi çok itinayla kullanılır. Çünkü tepe tırmanma durumunda RSM, sadece bölgesel optimuma ulaşmayı garanti etmektedir.



Şekil 4.2. Tepki yüzeyindeki çevresel çizgiler (Montgomery ve Runger,1999)

Ardışık deney süreci genellikle bağımsız değişkenlerin alanı içinde yapılır. Bu alana işlerlik alanı  $O(x)$  denir. Bazı uygulamalar için işlerlik alanının tümü incelenmek istenebilir fakat bu genellikle nadir bir durumdur. Bunun yerine işlerlik

alanı içinde sınırlı bir deneme alanı  $R(x)$  (ilgilenilen alan) belirlenir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi bu ya kübik ya da küresel bir alandır.



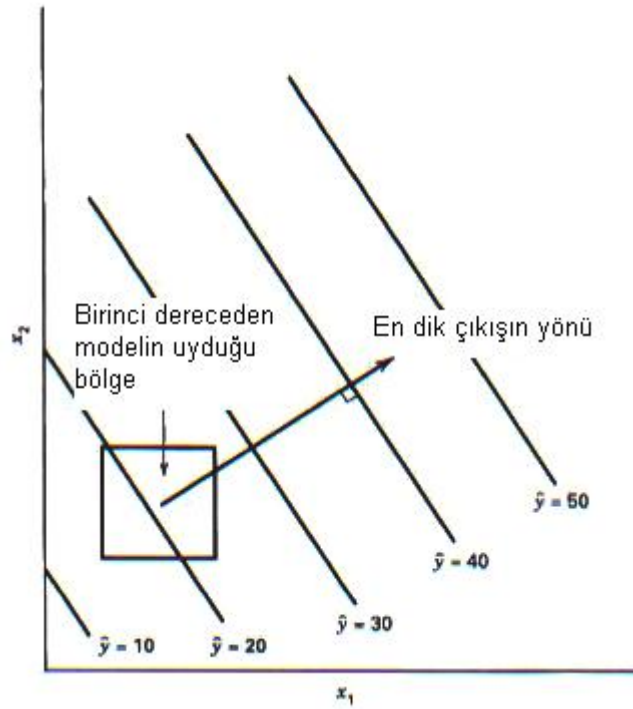
Şekil 4.3. İşlerlik alanı ve iki boyutta ilgilenilen alanlar (Kale, 2001)

#### 4.1. En Dik Çıkış Metodu

Sıklıkla, başlangıç optimum çalışma şartları tahmini gerçek optimum bölgesinden uzakta olacaktır. Böyle durumlarda hedef, genel optimum bölgesine doğru hızlıca hareket etmektir. Burada amaçlanan basit ve ekonomik olarak etkin bir deney kullanmaktır. Optimum bölgesinden uzak olunan durumlarda birinci dereceden modelin uygun olduğu kabullenmesi yapılarak  $x$ 'in küçük bir bölgede gerçek yüzeye taşınması sağlanır. En dik çıkış metodu, yanıtta maksimum artışın olduğu yöne doğru ardışık olarak yol boyunca hareket edilen bir prosedürdür. Tabiatıyla, eğer minimizasyon istenirse bu durumda en dik iniş metodu söz konusu olur. Birinci dereceden model uygun olarak;

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i \quad [4.8]$$

birinci derece tepki yüzeyi, Şekil 4.4'teki birbirine paralel  $y$  çizgileridir. En dik çıkışın yönü  $y$ 'nin en hızlı arttığı yöndür. Bu yön tepki yüzeyi çizgilerine diktir. Genellikle en dik çıkış yönü ilgili hedeften merkezine doğru ve tepki yüzeyi çizgilerine normal olarak alınır. Dolayısıyla yol boyunca olan kademeler regresyon katsayısına ( $\beta_i$ ) orantılıdır. Deneyleyici, proses bilgisi ve diğer pratik tecrübelerle göre gerçek kademe ölçülerini belirler.



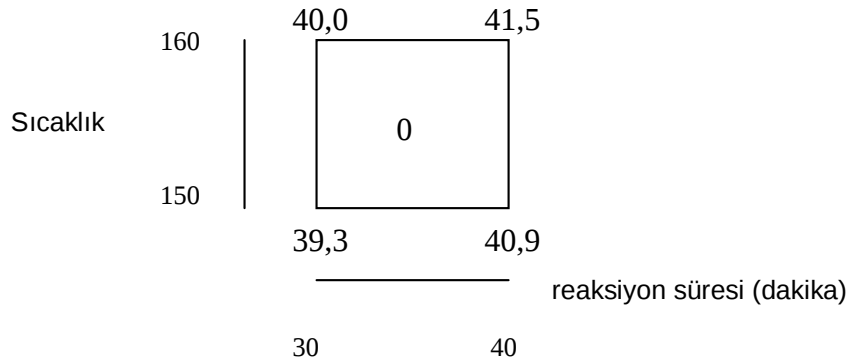
Şekil 4.4. Birinci dereceden tepki yüzeyi ve en dik çıkış yolu (Montgomery ve Runger,1999)

Deneylere yanıtta bir artış olmayıncaya kadar en dik çıkış yolu boyunca devam edilir. Sonrasında yeni bir birinci dereceden model uyabilir, yeni bir en dik çıkış yönü belirlenebilir. Prosesin optimum yakınında olduğu fark edilinceye kadar deneylere devam edilir.

Bir örnek verilecek olunursa; iki faktörlü bir kimya prosesinde deneyi düşünelim. Birinci faktör reaksiyon süresi ( $x_1$ ) ve ikinci faktör sıcaklığın ( $x_2$ ) malzeme dönüşüm veya kalite verimine etkisi ( $Y$ ) incelenecek olursa ve mühendis her iki faktörün de önemli olduğunu bulur ve birbirleri arasında bir kimyasal etkileşim olmadığını biliyor ve tepki yüzeyinde bir de eğrilik yok ise, birinci dereceden model uygulayabilir;

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + ..... + b_2x_2 + e \quad [4.9]$$

Bu modeli  $2^2$  tasarımıyla beş merkez noktalı bir deney sonrasında; reaksiyon zamanı 30-40 dakika, sıcaklıklar 150-160°C olacak şekilde elde edilen değerler Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Şekil 4.5.  $2^2$  tasarımıyla beş merkez noktalı tasarım

$$[(40,0-39,3)+(41,5-40,9)]/2=0,65 \quad [4.10]$$

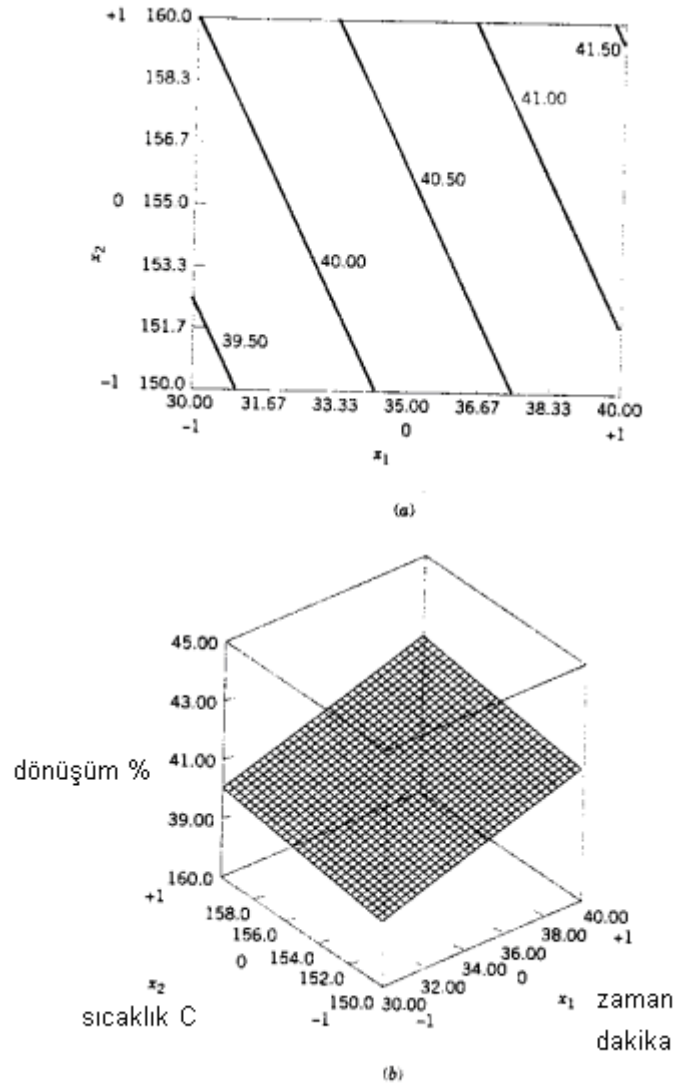
$$[(40,9-39,3)+(41,5-40,0)]/2=1,55 \quad [4.11]$$

Eşitlik [4.10] ve [4.11]'den, zamanın tahmini etkisi 1,55 ve sıcaklığın tahmini etkisi 0,65 ve regresyon sabitleri  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  bahsi geçen etki tahminlerinin yarısı olmasından dolayı, uygun birinci dereceden model;

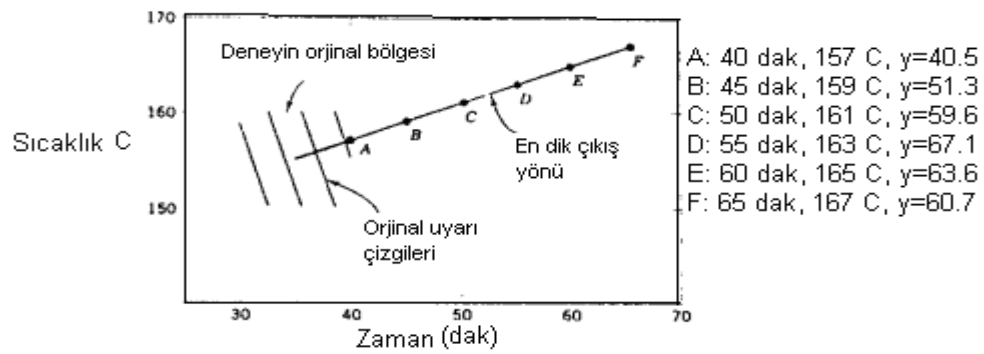
$$Y=40,44+0,775x_1 + 0,325x_2 \quad [4.12]$$

olacaktır. Şekil 4.6.(a) ve (b), bu modelin çevre çizgilerini ve üç boyutlu yüzey çizgilerini göstermektedir. Şekil 4.6 ayrıca kodlu  $x_1$  ve  $x_2$  değişkenleri (alçak ve yüksek değerleri almış olan faktörler) ile orjinal değişkenler arasındaki ilişkiyi de göstermektedir. Uygun modeldeki çizgileri inceleyecek olursak, tasarım merkezinden ( $x_1=0$ ,  $x_2=0$ ) en dik çıkış yolunu izlersek,  $x_1$  yönünde 0,775 birim,  $x_2$  yönünde 0,325 birim gitmemiz gerekir. Böylece en dik çıkış yolu  $x_1=0$ ,  $x_2=0$  noktasını geçerek 0,325/0,775 eğimine sahip olur. Mühendis, beş dakikalık reaksiyon zamanını temel adım olarak aldığı taktirde, beş dakikalık reaksiyon süresi kodlu değişken  $x_1$ 'de  $\Delta x_1=1$ 'e eşittir. Bu durumda  $(0,325/0,775)\Delta x_1=0,42$  olur. Kodlu değişkenin  $\Delta x_2=0,42$ 'lik bir değişiminde  $x_2$  yaklaşık  $2^\circ\text{C}$ 'lik bir orjinal değişken sıcaklığına sahiptir. Dolayısıyla mühendis, en dik çıkış metodunda 5 dakikalık reaksiyon zamanıyla  $2^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklık artışına göre verimi gözleyecektir.

Şekil 4.7, bu dik çıkışları ve verimleri göstermektedir. A-D noktalarında verim sabit olarak artmaktadır. Fakat D'nin ötesinde verim düşmektedir. Böylelikle en dik çıkış 55 dakika ve  $163^\circ\text{C}$ 'de %67 verimle sona ermektedir.



Şekil 4.6. Birinci dereceden model için tepki yüzeyi çizgileri (Montgomery ve Runger,1999)



Şekil 4.7. En dik çıkış metodunun uygulanması

#### 4.2. İkinci Dereceden Tepki Yüzeyi Analizi

Optimuma göreceli olarak yaklaşıldığında; gerçek tepki yüzeyindeki eğimden dolayı [4.6] eşitliği olan ikinci dereceden modeli uygulanacaktır. Dolayısıyla uyan model;

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + e \quad [4.6]$$

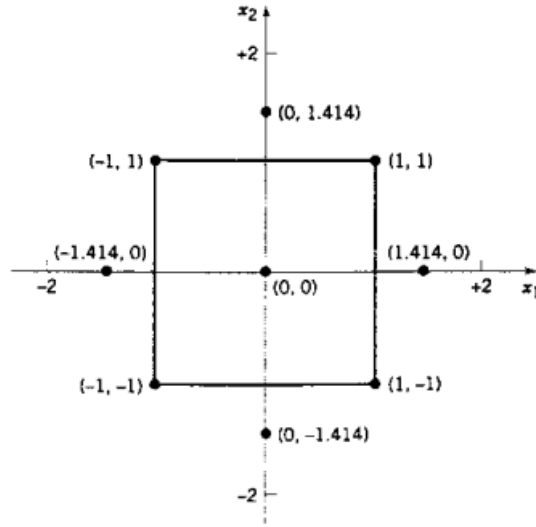
şeklinde olacaktır. En dik çıkış metodundaki örnek baz alınır; 55 dakika reaksiyon süresi ve 163°C sıcaklıkta sıfır noktasına gelinmişti. Bu noktada, ikinci derece model uygulanmaya karar verilir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.8, 2<sup>2</sup> tasarıma göre 55 dakika merkezli ve 165°C sıcaklıktaki beş merkez noktalı, eksenel test diye adlandırılan ve eksen koordinatları boyunca yapılan dört testten ibaret bir deneysel tasarımı göstermektedir. Bu tasarıma “Merkezi Bileşik Tasarım (CCD, Central Composite Design)” adı verilmektedir ve ikinci dereceden tepki yüzeyi uygulamasına en çok uyan ve en yaygın tasarım şeklidir. Konu bir örnek deneyi açıklanacak olursa; deneyde iki tepki değişkenleri ölçülmüştür. Bunlar yüzde dönüşüm (verim) ve viskozitedir. Bu verim yanıtı için en küçük kareler kuadratik modeli;

$$Y = 69,1 + 1,633x_1 + 1,083x_2 - 0,969x_1^2 - 1,219x_2^2 + 0,225x_1x_2 \quad [4.13]$$

olacaktır. Bu modelin varyans analizi (ANOVA) Çizelge 4.2.’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Örneğe Ait Merkezi Bileşik Tasarım (Montgomery ve Runger,1999)

| Gözlem Sayısı | Zaman (Dk) | Sıcaklık (dereceF) | Kodlu değişkenler |                | Dönüşüm % | Vizkosite (Mpa-Sec) |
|---------------|------------|--------------------|-------------------|----------------|-----------|---------------------|
|               |            |                    | x <sub>1</sub>    | x <sub>2</sub> | Tepki 1   | Tepki 2             |
| 1             | 50         | 160                | -1                | -1             | 65,3      | 35                  |
| 2             | 60         | 160                | 1                 | -1             | 68,2      | 39                  |
| 3             | 50         | 170                | -1                | 1              | 66,0      | 36                  |
| 4             | 60         | 170                | 1                 | 1              | 69,8      | 43                  |
| 5             | 48         | 165                | -1,414            | 0              | 64,5      | 30                  |
| 6             | 62         | 165                | 1,414             | 0              | 69,0      | 44                  |
| 7             | 55         | 158                | 0                 | -1,414         | 64,0      | 31                  |
| 8             | 55         | 172                | 0                 | 1,414          | 68,5      | 45                  |
| 9             | 55         | 165                | 0                 | 0              | 68,9      | 37                  |
| 10            | 55         | 165                | 0                 | 0              | 69,7      | 34                  |
| 11            | 55         | 165                | 0                 | 0              | 68,5      | 35                  |
| 12            | 55         | 165                | 0                 | 0              | 69,4      | 36                  |
| 13            | 55         | 165                | 0                 | 0              | 69,0      | 37                  |



Şekil 4.8. Örneğe Ait Merkezi Bileşik Tasarım (Montgomery ve Runger,1999)

Çizelge 4.2. Örneğe Ait Kuadratik model Varyans Analizi, Verim Yanıtı (Montgomery ve Runger,1999)

| varyasyon kaynağı | karelerin toplamı | serbestlik derecesi | ortalama karesi   | fo    | p-değeri |
|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------|----------|
| model             | 45,89             | 5                   | 9,178             | 14,93 | 0,0013   |
| rezidü            | 4,3               | 7                   | 0,615             |       |          |
| toplam            | 50,19             | 12                  |                   |       |          |
| bağımsız değişken | tahmini sabit     | standart hata       | f için h0 sabit=0 |       | p-değeri |
| sabit             | 69,1              | 0,351               | 197,1             |       |          |
| x1                | 1,633             | 0,277               | 5,891             |       | 0,0006   |
| x2                | 1,083             | 0,277               | 3,907             |       | 0,0058   |
| x21               | -0,969            | 0,297               | -3,259            |       | 0,0139   |
| x22               | -1,219            | 0,297               | -4,1              |       | 0,0046   |
| x1x2              | 0,225             | 0,392               | 0,574             |       | 0,5839   |

Şekil 4.9, bu model için tepki yüzeyi çizgilerini ve üç boyutlu yüzey çizgilerini göstermektedir. Bu çizimlerin değerlendirilmesiyle maksimum verim olan %70 değerinin 60 dakika reaksiyon süresi ve 167°C sıcaklıkta olduğu tespit edilmiş olur. Viskozite yanıtı birinci dereceden modele göre belirlenir;

$$Y = 37,08 + 3,85x_1 + 3,10x_2 \quad [4.14]$$

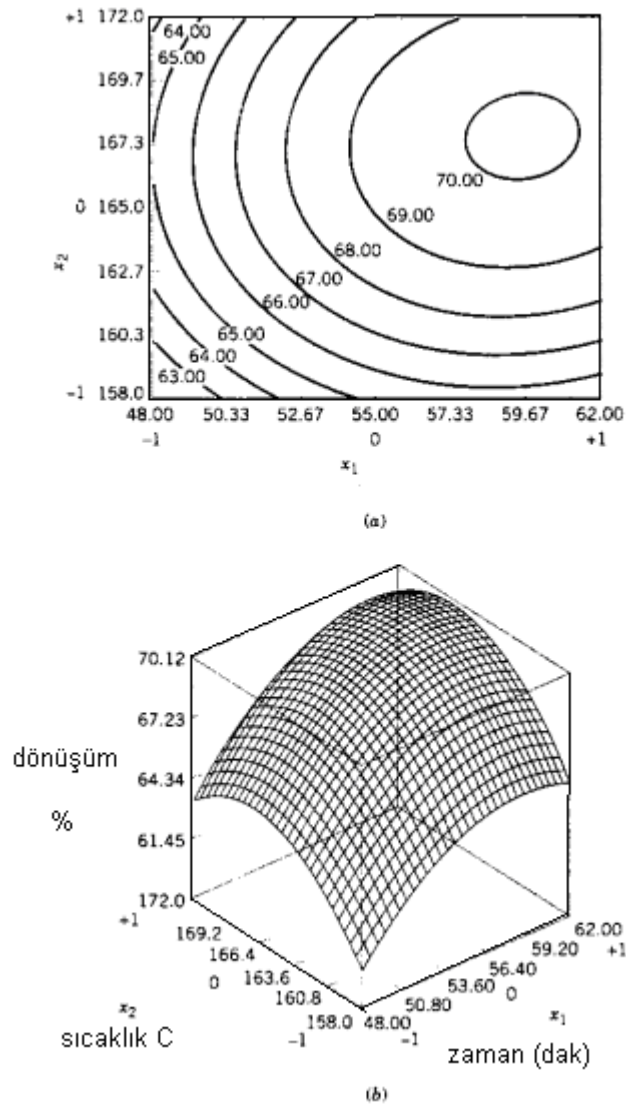
Çizelge 4.3, bu modelin varyans analizini özetlemektedir. Tepki yüzeyi grafiksel olarak Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Viskozite arttığında hem sıcaklık hem de reaksiyon süresinin arttığı görülmektedir. Birçok tepki yüzeyi problemde, iki yanıtla ilgili olarak hedeflere istinaden uyumsuzluğa düşülebilmektedir. Burada hedef, verimi maksimize etmektir, ancak kabul edilebilir viskozite değeri  $42 \geq y \geq 38$  arasındadır. Sadece birkaç bağımsız değişkenin olduğu durumlarda, problemi çözmek için en kolay yol tepki yüzeylerini hesaplayarak optimumu bulmaktır. Şekil 4.11, her iki yanıtın bileşik halini göstermektedir.  $y_1 = \%69$  dönüşüm oranında ve  $y_1 = 38$  ve  $y_2 = 42$  çizgileri de gösterilmiştir. Çizimdeki gölgeli alanlar, sıcaklık ve zamanın yetersiz sonuç verdiği bölgeleri göstermektedir. Böylece grafik, zaman ve sıcaklığın değişik kombinasyonlarının tatmin edici sonuçlar vereceğini göstermektedir. Verilmiş olan örnek, “Merkezi Bileşik Tasarım”ın ikinci dereceden tepki yüzeyi modeline uygulamasını göstermektedir. Bu tasarımlar pratikte birkaç testin gerekli olmasından dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Genelde  $k$  faktörlü merkezi bileşik tasarım,  $2^k$  faktöriyel testini gerektirir [ $2^k$  eksenel testleri ve en az bir merkez noktalı (3 veya 5 merkez noktalılar tipik olarak kullanılır)].  $k=2$  ve  $k=3$  faktörler için tasarımlar Şekil.4-12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Viskozite yanıtı için birinci dereceden modelin varyans analizi (Montgomery ve Runger,1999)

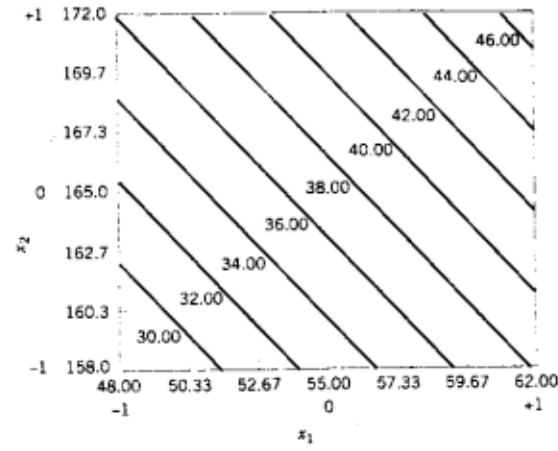
| varyasyon kaynağı | karelerin toplamı | serbestlik derecesi | ortalama karesi      | $fo$  | p-değeri |
|-------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------|----------|
| model             | 195,4             | 2                   | 97,72                | 15,89 | 0,0008   |
| rezidü            | 61,5              | 10                  | 6,15                 |       |          |
| toplam            | 256,9             | 12                  |                      |       |          |
| bağımsız değişken | tahmini sabit     | standart hata       | f için $h_0$ sabit=0 |       | p-değeri |
| sabit             | 37,08             | 1                   | 0,69                 | 53,91 |          |
| x1                | 3,85              | 1                   | 0,88                 | 4,391 | 0,0014   |
| x2                | 3,1               | 1                   | 0,88                 | 3,536 | 0,0054   |

Merkezi bileşik tasarım Şekil 4.12’deki eksenel  $\alpha$  mesafesi kadar uygun bir seçimle döndürülebilir. Eğer tasarım döndürülebilir ise, tahmin edilen yanıtın (Y)

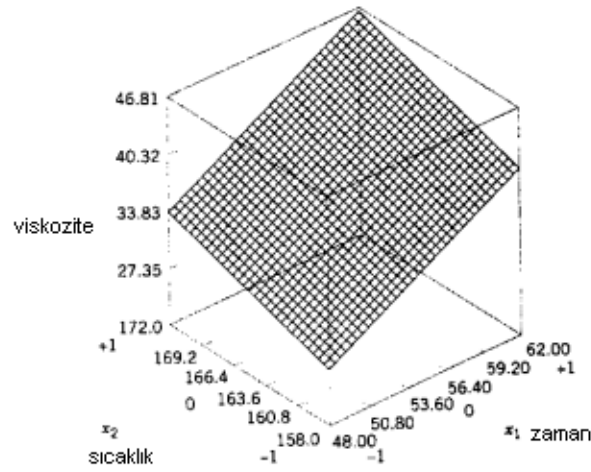
standart sapması, tasarımda merkezden aynı uzaklıkta olması nedeniyle tüm noktalarda sabit olacaktır. Döndürülebilirlik için,  $\alpha=F^{1/4}$  seçilir, F ise tasarımdaki faktoriyel kısımlardır (genelde  $F=2^k$ ).  $k=2$  faktörlü olduğu durumda, örnekte gösterildiği gibi  $\alpha=(2^2)^{1/4}=1,414$  olacaktır. Şekil 4.13, verim yanıtı için kullanılan kuadratik modeldeki tahmini standart sapmanın yüzey ve çizgi diyagramlarını göstermektedir. Dikkat edilecek olursa, çizgiler aynı merkezli daireler olup, bu bize verimin tüm noktalar için aynı hassasiyette tahmin edildiğini göstermektedir. Çünkü noktaların merkezden uzaklıkları eşittir. Tabiatıyla tasarım merkezinden uzaklıklar tahminin azaldığını gösterir.



Şekil 4.9. Verim yanıtı için tepki yüzeyi çizgileri (Montgomery ve Runger,1999)

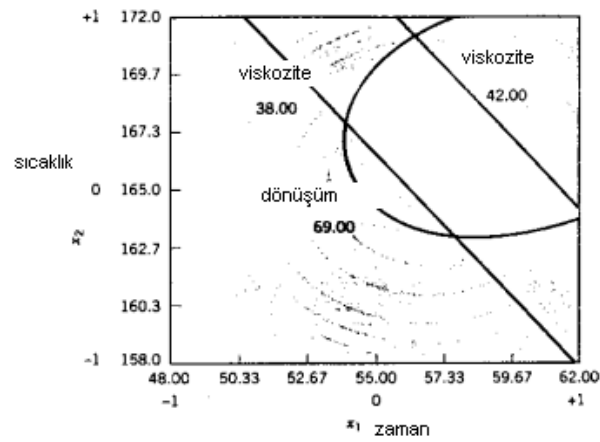


(a)

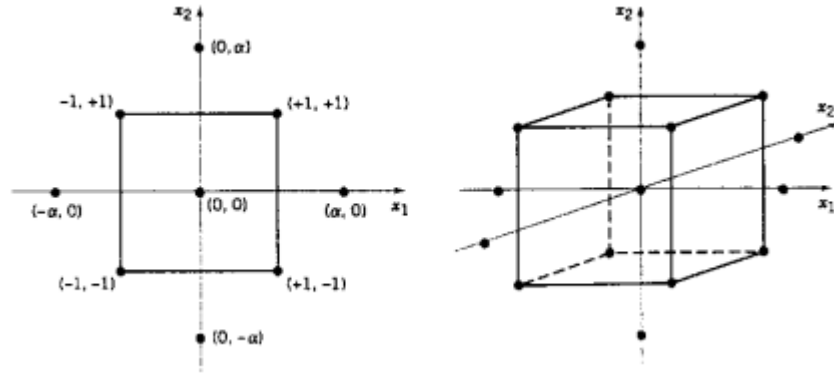


(b)

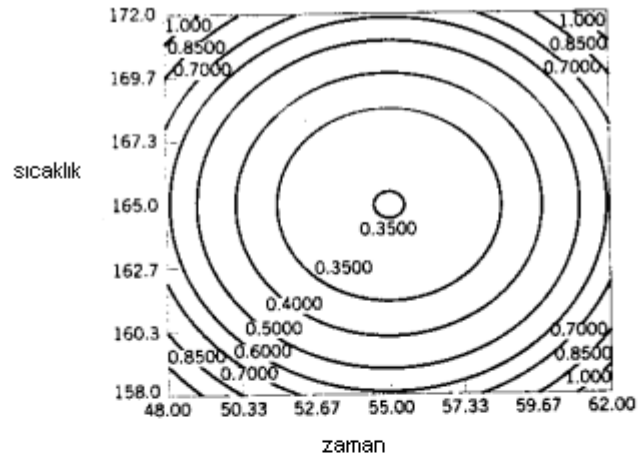
Şekil 4.10. Viskozite yanıtı için tepki yüzeyi çizgileri (Montgomery ve Runger,1999)



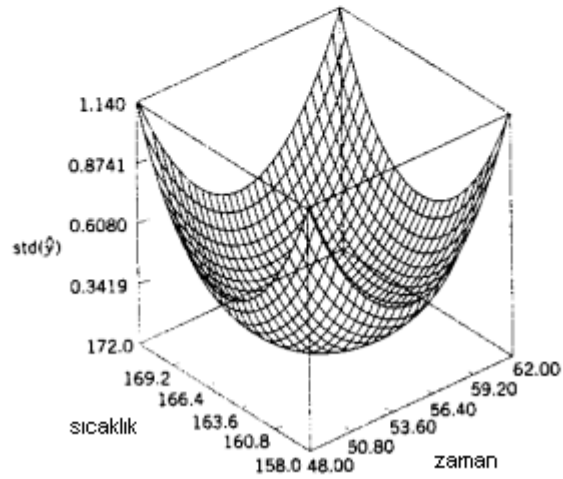
Şekil 4.11. Verim ve viskozite tepki yüzeylerinin bileşik hali (Montgomery ve Runger,1999)



Şekil 4.12.  $k=2$  ve  $k=3$  faktörler için tasarımlar (Montgomery ve Runger,1999)



(a)



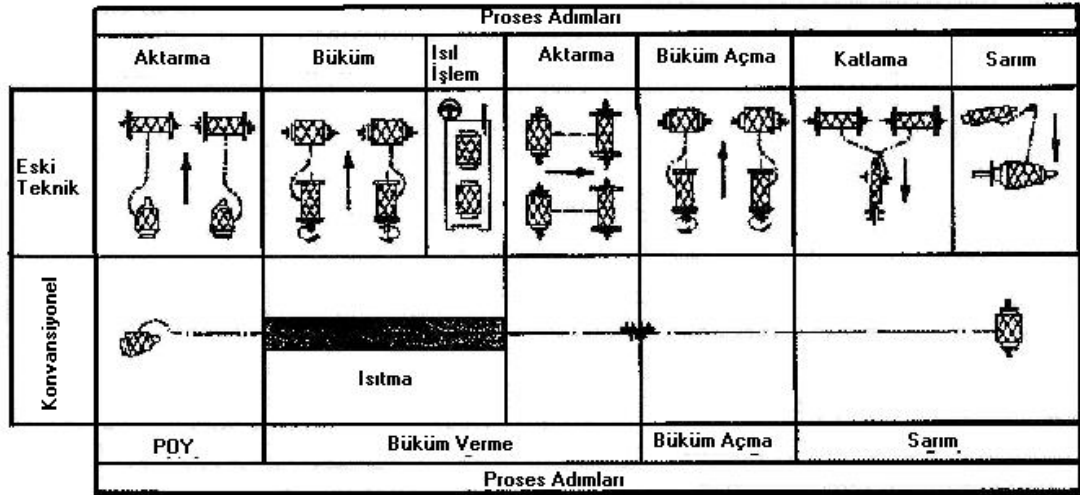
(b)

Şekil 4.13. Döndürülebilir merkezi bileşik tasarım için sabit standart sapmanın diyagramı (Montgomery ve Runger,1999)

## 5. YALANCI BÜKÜM TEKSTÜRE PROSESİ

### 5.1. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminin Tarihsel Gelişimi

Filament ipliklerin tekstil ürününe dönüştürülmesi esnasında en önemli işlemlerden birisi tekstüredir. Tekstüre işlemi, kısmi oryante olmuş düz filament ipliklerin termoplastik özelliklerinden yararlanarak kıvrıkcıklı bir iplik haline dönüştürülmesidir. Bu sayede tekstüre iplik, düz iplik ile mukayese edildiğinde, elyaftan eğrilmiş ipliklere benzer yumuşak bir tuşeye, daha yüksek bir ısı tutma kabiliyetine ve daha yüksek bir esnekliğe sahip olur (Wulfhorst, B.,2003). Şekil 5.1’den görüldüğü üzere yalancı büküm tekniğinin ilk zamanlarında istenilen tekstüre efektinin elde edilmesinde yedi adım vardır. Bunlar, bobinleme, büküm, ısı verme, sağma, büküm açma, katlama ve sarım. Bunlar tekniğin ilk gelişim yıllarında birbirinden farklı makinalarda yapılmaktaydı. Teknolojinin gelişmesi ve yeni makinaların imal edilmesi ile yalnızca 4 aşamalı bir işlem haline gelmiştir. Bunlar ise, büküm verme, ısıtma, soğutma, büküm açma ve sarım olarak sıralanabilmektedir (Demir, A., Behery, H., M.,1997).



Şekil 5.1. Yalancı büküm yönteminde proses adımları (Demir, A., Behery, H.M.,1997)

Eski teknikte filamentlerin mekanik deformasyonu lineer yoğunluğuna bağlı olarak oldukça yüksek büküm (metre başına büküm) verilmesi ile sağlanmaktadır. Bu yüksek bükümlü iplik sonra basınçlı buharla otoklavda ısıtılmaktadır. Burada

ısının her tarafa eşit yayılması büyük önem taşımaktadır. Isıtma işlemi sırasında makromoleküller arasındaki kuvvetler azalacaktır ve makromoleküller bükümlü yapıya adapte olacaktır. İşlem görmüş bobinler kurutulmakta ve uzun süre dinlenmeye bırakılmakta ve son olarak iplik sıfır büküme bükülmektedir (Piller, B.,1973).

Şekil 5.2'de yalancı büküm tekstüre yönteminin yıllar boyu süregelen gelişimi görülmektedir.

|          | A             | B             | C                      | D                       | E                  |
|----------|---------------|---------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| Üretme   |               |               |                        |                         |                    |
| Çekme    |               |               |                        |                         |                    |
| Tekstüre |               |               |                        |                         |                    |
|          | Konvansiyonel | Konvansiyonel | Kademeli Çekimli Teks. | Kademesiz Çekimli Teks. | Üretim Çekme Teks. |

Şekil 5.2. Yalancı büküm yönteminin gelişimi (Demir, A., Behery, H. M.,1997)

Şekil 5.2'den görüldüğü üzere bölüm A işlemin ilk halidir ve ayrı bir tekstüre tekniği olarak değerlendirilmelidir. Poy'un üretim sırasında çekilmesi tekniği gelişir gelişmez hemen bölüm B' de görülen tekniğe geçilmiştir (FOY'dan tekstüreye). Proses teknolojisindeki ilerlemeler bölüm C, D ve E 'yi beraberinde getirmiştir. Tabi ki E en ideal olanıdır. Modern tekstüre makinalarının hemen hemen tamamı C, D ve E 'ye göre üretim yapmaktadırlar. Bu gelişmeler sonucunda bazı ek şartlar oluşmuştur. Bunlar; tekstüre prosesi sırasında POY'un çekimi, tekstüre ipliğinin ısı

davranışı, hacimliliğinin artması ve kaynama çekme değerinin düşmesinin sağlanması, tekstüre ipliğe IMG (intermingling veya dolama) verilerek filament kohezyonunun arttırılması ve ileriki aşamalarda büküm, haşıl vb. ve daha sonraki aşamalarda sorun çıkmasının engellenmesi, kolay kullanım ve maksimum esneklik sağlanması için bilgisayar kontrollü makinaların kullanılması. Bilgisayarların kullanılması ile durmuş veya hatalı pozisyonların operatör uyarılarak yeniden çalıştırılması ve makinanın genel duruş ve kayıplarının azaltılmasını sağlayacaktır.

Çekim ve tekstüre işlemini birleştiren çekimli tekstüre tekniği, yalancı büküm tekstüre endüstrisinin mevcut standardıdır. Bununla birlikte bu tezde önce yalancı büküm tekniği özetlenmiş ve sonra çekimli tekstüre tekniği anlatılmıştır.

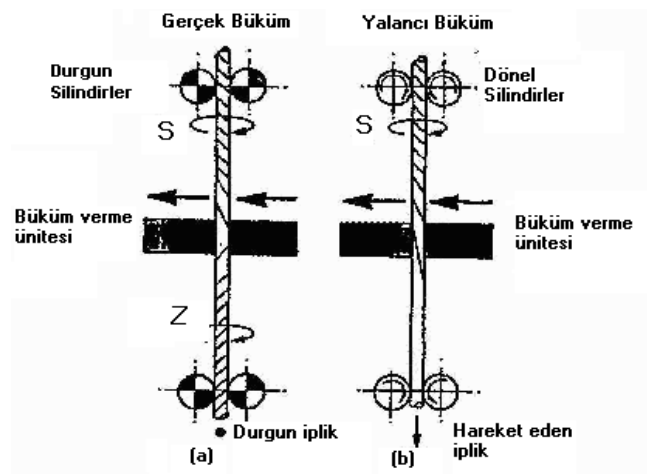
Çok adımlı yalancı büküm prosesinde üretim hızı 1-2 m/dak idi. 1950'lerin ortasında sürekli yalancı büküm tekstüre prosesinin hızı içciklerin (içten sürtünmeli yalancı büküm friksiyon elemanı) ortaya çıkış ile aşağı yukarı 40 m/dak' ya ulaşmıştır. 1970'li yılların başında hız neredeyse 300 m/dak civarındaydı ve bu proses teknolojik limitlerine ulaşmıştı. 1970'li yılların ortalarında friksiyon tekstüre tekniğinin ortaya konması ile bir diğer önemli gelişme başlamış oldu. 1975 yılında 600 m/dak'lık ticari üretim hızı olarak kabul gördü (Denton M., J., 1971). Şu andaki mevcut hızlar, kaynak ipliğin doğrusal yoğunluğu ve tipine bağlı olarak 1600 m/dak civarındadır. Doğrusal yoğunluk limitleri özellikle son kullanıma bağlı olarak 20 ve 300 dtex (ipliğin doğrusal yoğunluğu) arasındadır ve pazarın % 90'dan fazlası yalancı büküm proses tekniği ile imal edilmiş ürünleri tercih etmektedir (Demir, A., Behery, H., M.,1997).

Geliştirilmiş ve hatta tamamen veya kısmen otomatik takım alma sistemleri artık günümüzde tekstüre makinaları için sıradanlaşmışlardır ve yüksek hızlı makineler için gereklilik halini almıştır.

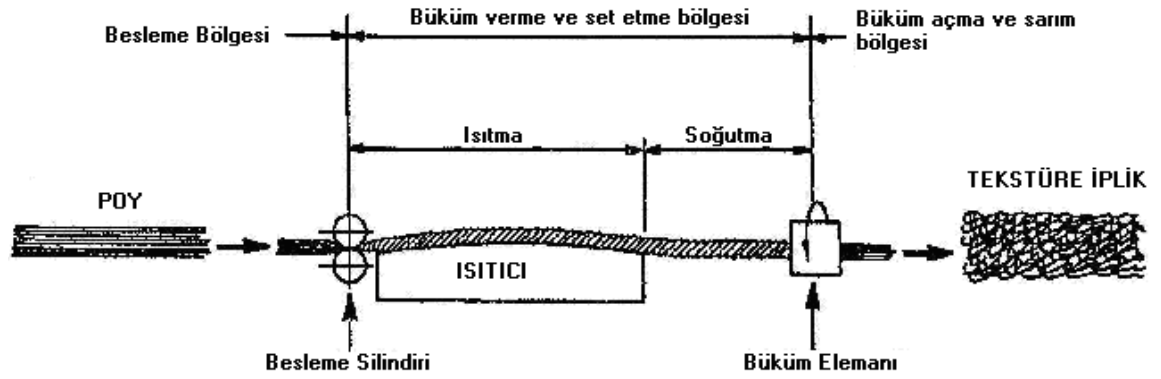
## 5.2. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminin Prensibi

Yalancı büküm tekstüre yönteminde dört işlem vardır. Bunlar, büküm verme, ısıtma ve bükümün geri alınması ve gerekiyorsa katlamadır. Tekniğin esas noktası şekilden görülmektedir. Şekil 5.3'den görüldüğü üzere multifilament iplik her iki

kenarından tutulmuş ve uygun bir yalancı büküm aleti merkezi olarak ipliğe büküm vermektedir. Büküm elemanının her iki yanındaki büküm miktarları eşittir. İplik bir tarafta S yönünde büküm; diğer tarafta Z yönünde büküm kazanmıştır. Bununla birlikte ipliğin iki yarım parçadan ibaret olduğunu düşünürsek verilen bükümün gerçek olduğunu düşünürüz. Fakat iplik bir bütün olduğundan cebirsel toplam bize verilen tüm bükümün sıfır olduğunu söylemektedir. Büküm elemanı sürekli dönerse ve iplik de ileriye doğru hareketlenir ise ipliğin yalancı büküm elemanına gelmeden önce kazandığı büküm yalancı büküm elemanını geçtikten sonra ortadan kaybolacaktır. Yalancı büküm elemanı sürekli döndükçe ve iplik ileriye doğru hareket ettikçe ipliğin sarıma giden tarafında bükümün yitmesi meydana gelecektir. Sistem dengeye geldiğinde ipliğin üzerinde, yalancı büküm elemanından geçtikten sonra hiç büküm kalmaz. Nihai efekt bükümün besleme tarafında verilmesi ve bükümün açıldığı yerin ise sarıma giden tarafta olması ile elde edilmektedir. Efektin kalıcılığının sağlanması için bir ısıtıcıya gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle Şekil 5.4'ten de görüldüğü üzere, ısıtıcı, ipliğin bükümlü halini set edebilmek için yalancı büküm elemanı ile besleme silindiri arasında yer almaktadır. Eğer iplik yalancı büküm elemanına ulaşmadan önce soğutuluyorsa paralel filamentler kıvrılmaya yönelmekte ve kendi üzerlerine kıvrılmaktadırlar. Filamentlerin bu davranışı beslenen iplikte olmayan “bulk” (hacimlilik) elde edilmesini sağlamaktadır .



Şekil 5.3. Yalancı büküm yönteminin temel prensibi (Demir, A., Behery, H.M.,1997)



Şekil 5.4. Yalancı büküm yönteminde besleme silindiri ve büküm elemanı arasında ısıtıcının yerleşimi (Demir, A., Behery, H. M.,1997)

### 5.3. İğler (Yalancı büküm verme üniteleri)

Şekil 5.5'te Barmag makinasına ait bir büküm ünitesinin resmi gösterilmektedir. Şekil 5.5'ten görüleceği üzere bu üniteler bir eşkenar üçgen biçiminde yerleştirilmiş ve üst üste dizilmiş dişlerden oluşmaktadır. İstenilen büküm oryantasyonu ve ipliğin ileriye doğru hareketinin sağlanması için sürtünme disk yüzeyindeki iplik açısı dikkatlice kontrol edilmektedir. Her disk bitişik dişler üzerindeki ipliği kontrol eden bir kılavuz gibi çalışır ve bu kontrolün dışında ilk ve son diskler üzerinde bazen, ipliğin üzerlerinde oryantasyona ihtiyaçları olmayacağından bir hareket yüzeyi değil, bir kılavuz olarak işlev gören ek dişli diskler takılmaktadır. Çok diskli ünitenin en büyük avantajlarından birisi, burçlu sistemlere göre sürtünme elemanlarının çok katlılığının daha kolay sağlanabilmesidir ve daha da iyisi toplam sarım açısı geniş olarak ayarlanabilmektedir. İlk bakışta dişli oranı oldukça yüksek görünmektedir. Fakat iplik yüzeyi ve disk arasındaki kayma göz önüne alındığında uygun olduğu söylenebilmektedir (Demir, A., Behery, H., M.,1997).



Şekil 5.5. Çok diskli iğler (Barmag Texturing Machine Catalogue, 1986)

Disklerin üst üste yerleşimlerinin değişimi giriş açısının değişmesini sağlamaktadır ve disk sayısının değişmesi de sarım açısını değiştirmektedir. Bunların hepsi büküm ünitesinde büküm ve tansiyonun kontrol edilmesini sağlamaktadır.

Bir büküm ünitesinde disk sayısı farklı biçimlerde gösterilmektedir. Bunun için bir örnek aşağıda verilmektedir.

a.b.c  $\longrightarrow$  1.6.1, 1/5/1 Seramik, 1/9/1 Poliüretan(PU), 1.5.1 PU

a = İplik girişindeki kılavuz disk (malzeme olarak genellikle kromdan imaldir)

b = Sürtünme disk sayısı

c = Büküm ünitesi çıkışındaki disk (malzeme olarak genellikle kromdan imaldir)

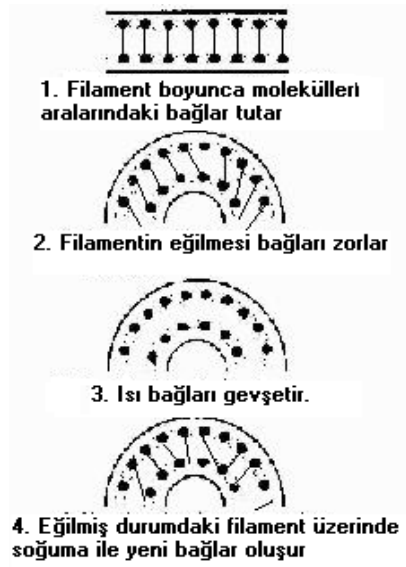
#### 5.4. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminde Isıtma

Tüm katılar molekülleri arasındaki çeşitli bağlarla birbirlerine tutturulmuşlardır. Bu bağlar bazı durumlarda ısıyla zayıflatılabilmektedir. Örneğin buz ve bazı metaller uygun sıcaklığa (erime noktası) ulaştıkları zaman bileşik ansızın katıdan sıvıya dönüşmeye başlamaktadır. Tekstilde kullanılan sentetik polimerlerin uzun zincirli moleküler yapıya sahip olmalarından dolayı çok geniş sıcaklık aralıkları moleküllerin arasındaki bağları kırmak için gerekmektedir. Bu durum sıcaklığın artması ile bu materyallerin yumuşamasının nedenidir. Örneğin polyester aşağı yukarı 90°C ( camsı geçiş sıcaklığı ) rijit yapısını kaybetmeye başlayacaktır. Yumuşayacak ve 200°C civarındaki sıcaklığa geldiğinde plastikleşecek

ve 250°C' de tamamen eriyik haline dönüşecektir (Demir, A., Behery, H., M.,1997).

Bir termoplastik lif içerisindeki ara moleküler bağlar, lif üzerine uygulanan bükülme, gerilme veya eğilmenin etkisi ile oluşan gerilmeler tarafından deforme olabilmektedir. Örneğin bir filamentin basit eğilme prosesi Şekil 5.6'da gösterilmektedir.

Eğilmiş filament içerisindeki bağ deformasyonları bir direnç yaratmakta ve filament serbest bırakıldığında biçim yeniden eski haline dönmektedir. Eğer eğilmiş filament bu biçimde tutulur ve ısıtılırsa, gerilmiş bağların büyük bölümü kırılacak, stres azalacaktır ve ipliğin soğutulması ile yeni pozisyonda yeniden yapılacaktır; böylece eğilmiş durumdaki iplik sabitlenmiş olacaktır. Bu proses ısı ile set etme işlemi olarak bilinmektedir. Yani ısı yoluyla deforme edilmiş durum kalıcı hale getirilmektedir.



Şekil 5.6. Basit eğilme prensibi (Demir, A., Behery, H., M.,1997)

Isı ile set etme işlemi tekstüre prosesinin en kati aşamasıdır. Bu proses sırasında iplik yumuşama noktasına ısıtılmaktadır ve filamentlerin içerisindeki stres bozulmayı desteklemekte ve iplik rölatif yüksek tansiyonda büküm açılmasından önce soğutulmaktadır. Isının ayarlanması, tekstüre prosesinde en önemli aşamalardan birisidir. Bu proses sırasında iplik yumuşama noktasına ısıtılmaktadır.

***Isı Transferi, Isıtma Sistemleri ve Isıtıcılar:***

Hareketli bir ipliği ısıtmak kolay değildir. Bu nedenle tekstüre iplik üretiminde en önemli kriter iplik sıcaklığıdır ve bu değer iplik hızı ile ısıtıcı sıcaklığına bağlıdır. İmalat hızlarının artmasına bağlı olarak ısıtıcılar daha uzun olarak imal edilmeye başlanmıştır. Isıtıcılar genellikle 2 m. uzunluğundadır. Isıtıcı sıcaklığındaki ufak bir değişim iplik özelliklerine, özellikle boya almasına büyük oranda etki etmektedir. Bu da maalesef ki, kumaş aşaması bitip boyanana kadar açığa çıkmamaktadır. Bu tip sorunların ortadan kalkması için  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  sıcaklık değişimini kontrol edebilen elektronik sıcaklık kontrol sistemleri kullanılmaktadır (Demir, A., Behery, H., M.,1997).

Isıtıcı bölgenin bir önemli noktası da ısının optimizasyonudur. Çok yüksek sıcaklıklarda filamentler birbirlerine yapışabilirler; çok düşük sıcaklıklarda ise kalıcı olmayan kıvrım efekti oluşmaktadır. Bu iki durum da iplik hacimliliğini etkiler. Diğer önemli bir husus ise ısıtıcı iplik hattı boyunca iplik gerginliğinin sabit olmasıdır. Gerginlik giriş sevk silindirleri ile ayarlanabilmektedir. Giriş silindir hızının artırılması gerginliği düşürmektedir ve üretilen ipliğin daha sık kıvrımlara sahip olmasına neden olmaktadır.

Yalancı büküm tekstüre tekniğinde, üç ısı transfer yönteminden biri veya kombinasyonu olan çeşitli tipte ısıtıcılar kullanılmaktadır. Bunlar, kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon olarak sıralanabilmektedir. Kondüksiyon tipi ısıtıcılar, yalancı büküm tekniği için en popüler ısıtıcılardır. Bununla birlikte yüksek sıcaklık ısıtıcıları olarak bilinen konveksiyon tipi ısıtıcıların önemi son yıllarda artmaya başlamıştır (Demir, A., Behery, H., M.,1997). Denemelerin yapıldığı Barmag makinasındaki ısıtıcılar son yıllarda önemi ve kullanımı giderek artan konveksiyon ve kondüksiyon tipli ısıtıcıların kombinasyonudur. Birinci ısıtıcı kondüksiyon ısıtma sistemi ile çalışırken; ikinci ısıtıcı ise konveksiyon ve kondüksiyon sisteminin karışımıdır. Isıtıcı sistemi de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  farkında sıcaklık kontrolünü sağlayan ısı kontrol cihazları ile donatılmıştır.

Tekstüre işleminde kullanılan bir ısıtıcı sistemi aşağıdaki hususları sağlamalıdır; güvenilirlik, farklı tekstüre hızlarında yeterli ısıtma kapasitesi, ısı harcamasından

bağımsız sabit yüzey ısısı, ısıtıcılar arasında maksimum sıcaklık düzgünlüğü, basit ve etkili ısı kontrolü ile ekonomiklik.

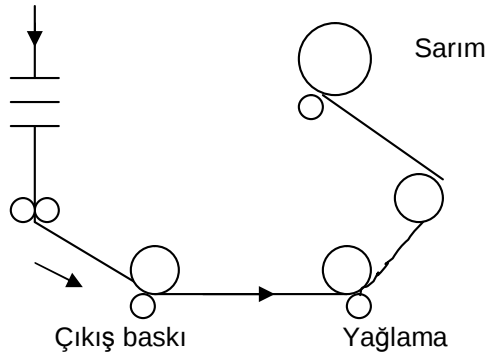
### 5.5. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminde Soğutma Sistemi

Tekstüre işleminde, ısıtıcı ile yalancı büküm elemanı arasında bir soğutma plakasının bulunması oldukça önemlidir. Düşük hızlı makinalarda, ipliği doğal olarak soğutmak mümkündür. Fakat yüksek hızlı makinalarda soğutma işlemi oldukça önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

Birinci olasılık, iplikten ısıyı alabilecek bir soğutma bloğu kullanmaktır. Soğutma havası veya gazı kullanımı mümkündür. Soğutma işleminde esas amaç, iplik ısınısını hızlı bir biçimde 100° C' nin altına düşürmektir (Demir, A., Behery, H., M.,1997).

### 5.6. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminde Yağlama Sistemi

Yağ genellikle, çıkış baskı silindiri ile sarım silindiri arasında verilmektedir. Şekil 5.7'de görüldüğü üzere yağ verme işleminde esas prensip, ipliğin sarılmadan önce en son anda yağın aplike edilmesidir. Gelişmiş sistemlerde yağlama içerisinde filtreleme elemanları bulunmaktadır ve yağ sürekli temizlenerek sirküle edilmektedir. Barmağ makinasında yağlama silindiri çıkış baskı silindirinin hemen önündedir. Aplike edilecek yağ miktarı silindirin devri ayarlanarak değiştirilebilmektedir. Sisteme yağ büyük yağ tanklarından beslenmektedir. Planlı bakımlarda silindirlerin temizlenmesi büyük önem taşımaktadır. Tekstüre makinalarının hızlarının artması, yalancı büküm tekniğinde yağlama sistemlerinde üç temel sorun ortaya çıkmıştır (Demir, A., Behery, H., M.,1997). Bunlar; *iplik yağının sıçraması* : Yağlayıcı madde operatör gözüne sıçrayarak sağlık problemlerine neden olabilmektedir, *az miktarda yağ alma* : Özellikle yüksek doğrusal yoğunluğa sahip ipliklerde üretim hızının artması ile birlikte yağın az alınması sorunu ortaya çıkabilmektedir, *yağ silindiri öncesi + besleme* : Bu durum ipliğin yağlayıcı silindir ve kılavuzlardan geçerken ipliğin daha fazla sürüklenmesine neden olacaktır. Bu genellikle ipliğin besleme silindirine sarımı ve ipliğin kopuşuna neden olmaktadır.

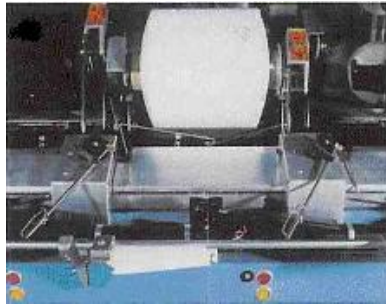


Şekil 5.7. Yalancı büküm tekstüre yönteminde yağlama sisteminin yeri

### 5.7. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminde Sarım (Take-up) Sistemi

İplik hızının artması ile birlikte daha güçlü sarım elemanları geliştirilmiştir. Daha önemlisi, örme ve dokuma gibi sonraki proseslerde rahat ve sorunsuz çalışabilen stabil bobinler tercih edilmektedir. Modern endüstride, daha büyük miktarlarda sarım yapabilen ve otomatik bobin değiştiricilerin bulunması önemli bir gereklilik durumunu almıştır.

Sarımın önemi çok büyüktür. Örneğin sarım tansiyonu, kenar ve kuşak oluşması, ipliğin fiziksel ihtiyaçları gibi. Bu nedenle sistemin çalışan aksamalarının tasarımı yapılırken, travers mekanizması, bobinde kenar ve kuşak oluşumunu önleyici sistemler makine imalatçıları için en öncelikli konular olmaktadır. Barmag makinasında sarım sistemi elektronik olarak kontrol edilmektedir. Travers sayısı makinaya panelden girilmekte ve travers motoru girilen değere göre çektiği enerji miktarını artırıp azaltarak travers sayısını ayarlamaktadır. Kuşak ve kenar oluşumunu engelleyen mekanizmalarda da yine elektronik olarak kontrol edilmektedir. Şekil 5.8’de Barmag makinasının sarım sistemi gösterilmektedir.

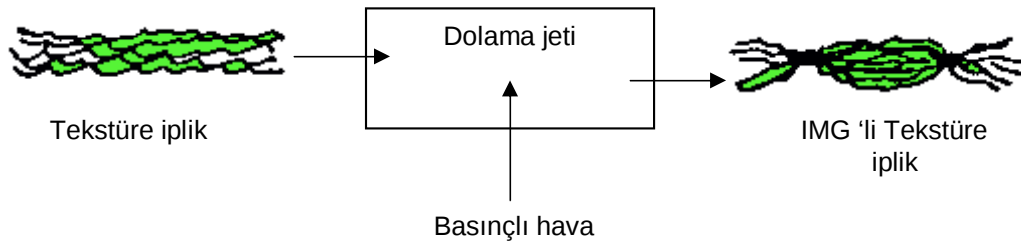


Şekil 5.8. Barmag makinasında sarım sistemi (Barmag Texturing Machine Catalogue, 1986)

### 5.8. Yalancı Büküm Tekstüre Yönteminde Intermingling (Dolama) Sistemi

Lifler arası sürtünme stapel liflerde lif demetlerini bir arada tutan önemli bir faktördür. İpliğin çeşitli yerlerdeki kullanımları sırasındaki birbirlerini tutmaları lifler arası sürtünme ile sağlanmaktadır ve bu durum bu tip ipliklerin kullanıldığı proseslerde çok gereklidir.

Multifilament ipliklerde ise filamentlerin paralel düzenlenişi nedeni ile bu kohezyon yoktur. Bu nedenle sarım işlemi sırasında ve daha sonraki aşamalarda (sağılması, dokunması, örülmesi vb.) büyük zorluklar çıkartmaktadır. Özellikle sağılma sırasında düzensiz tansiyonlar oluşabilmektedir. Oluşan bu tansiyon yükselmeleri filamentlerin kopmasına neden olabilecek yüksekliğe gelebilmektedirler. Bunun yanı sıra örme makinasının ince çenelerinden ipliğin rahat geçememesi ve filament kopuşlarının oluşması, aynı biçimde çözgüde çekilmiş tekstüre ipliklerin atkı atılmasına engel olması da mümkün olabilmektedir (Demir, A., Behery, H., M.,1997).



Şekil 5.9. Dolama verme tekniği (Demir, A., Behery, H., M.,1997)

İpliğe kalıcı bir kohezyon kazandırmak dolama işleminin temel amacıdır. Temel uygulama alanı tekstüre iplikçiliğidir. Intermingling (dolama) yöntemi, tekstüre ipliklerde sıkı ve açık bölgeler oluşturmaktadır. Bu durum ipliğin stretch (gerilebilme) özelliklerine etki etmektedir. Açık bölgeler, sıkı bölgelerden daha hacimlidirler. İntermingling, sarım ve sağıımı da mükemmel biçimde iyileştirmektedir.

### 5.9. Tekstüre İşleminde Kullanılan Yardımcı Ekipmanlar

Barmag makinasında kullanılan diğer ekipmanlar aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir.

*Sürekli Puntolama (CI IMG, Continuous Intermingling)* : Besleme silindiri öncesinde POY ipliğe verilen dolama sistemidir. Böylelikle, multifilament besleme ipliğinin daha kompakt olarak ısıtıcıya girmesi sağlanmış olur.

*Cağlıklar* : Tekstüre edilecek kısmi oryantasyonlu ipliklerin (POY) takıldığı cağlıklar makinanın yanına, arka tarafına veya makine üzerine ikinci kat olarak monte edilmiş olabilmektedirler.

*Emici Tabancalar* : İpliğin tekstüre makinasında iplik hattından geçirilebilmesi için emiş tabancalarının kullanılması gerekmektedir.

*Sevk ve Baskı Silindirleri*: İpliğin sevk edilmesini ve baskı işlemini sağlayan apronlu silindir elemanlarıdır

*Büküm Verici Örtüleri* : Gürültünün azaltılması ve büküm veren başlıkların örtülmesi için kullanılan elemanlardır.

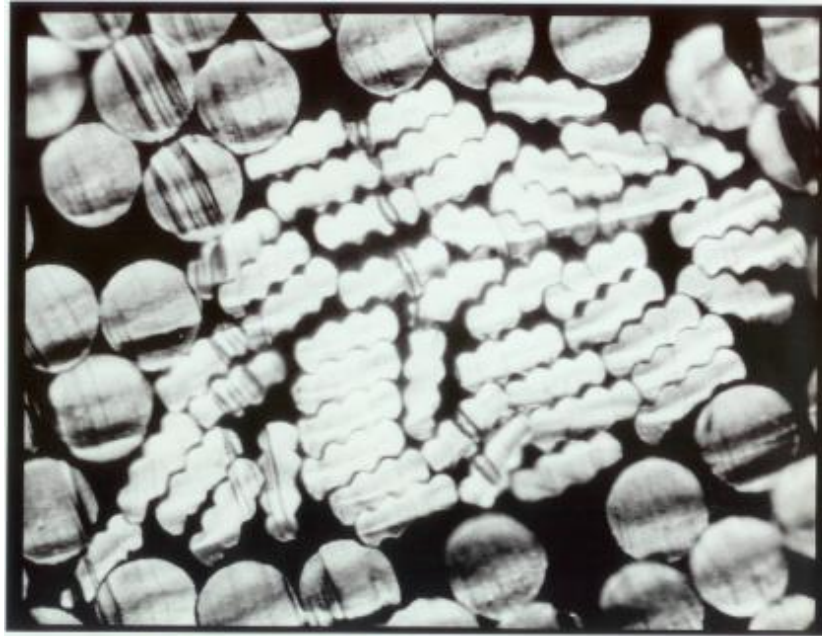
*Düğüm Tabancası* : Transferli çalışmalarda POY' un rezerve sarımları birleştirmek amacı ile kullanılan elemanlardır.

*İplik Yoklayıcıları* : Tekstüre işlemi sırasında iplik kopuşunu izleyen elemanlardır. İplik yoklayıcıları tekstüre işlemi sırasında iplik koptuğu anda iplik akışını kesmektedirler. Bu işlem cağlık çıkışına yerleştirilmiş makaslar yardımı ile yapılmaktadır.

## 6. MATERYAL VE METOD

### 6.1. Materyal

Tez kapsamında ham madde olarak kopolimer esaslı olan katyonik boyanabilir polyester POY (Partially Oriented Yarn, Kısmi Yönlendirilmiş İplik) kullanılmış olup, tepki ise tekstüre iplik (DTY, Draw Textured Yarn, Tekstüre İplik). Kullanılan POY ipliğinin kesiti, Şekil 6.1’de gösterildiği gibi nem transferini yuvarlak kesitlere göre daha yüksek yüzey alanı nedeniyle daha iyi sağlayan multi kanallıdır. Dolayısıyla giriş bölümünde de ifade edildiği üzere ince iplik kategorisindeki 78 dtex nihai lineer yoğunluktaki, 47 filament sayısına sahip, altı kanal kesitli, katyonik boyanabilir ve ticari olarak üretimi gerçekleştirilememiş tekstüre iplik ürün tasarımı ve optimum proses şartı oluşturma çalışmaları yapılmıştır. Tekstüre makinası olarak Barmag FK-6 1000 test tekstüre makinası kullanılmıştır. Bahsi geçen makina Şekil 6.2’de gösterilen SHHS (Short Heater High Speed) tipi yalancı büküm tekstüre prensibine sahiptir.



Şekil 6.1. Altı Kanallı POY İpliği

### 6.2. Metod

Çalışmada besleme ipliği olarak 133f47 (133 desiteks, 47 filament) katyonik boyanabilir altı kanallı POY ipliği kullanılmıştır. Nihai tekstüre iplik nominal değeri 78f47'dir (78 desiteks, 47 filament). Tekstüre prosesinde deneye ait faktörler; iplik hızı, çekim oranı, D/Y oranı, disk diziliş konfigürasyonu, ısıtıcı sıcaklıkları ve sürekli puntalama basınçları (CI IMG, Continuous Intermingling, sürekli puntolama) olmak üzere altı adettir.



Şekil 6.2. Denemelerin yapıldığı tekstüre makinası

Tepki değerleri şu şekildedir; desitex olarak ipliğin lineer yoğunluğu, mukavemet, uzama değerleri, kaynama cekmesi (S%, shrinkage) ile birlikte kıvrım değerleri olan kıvrım kısalması (CC%, crimp contraction), kıvrım modülü (CM%, crimp modulus), kıvrım kalıcılığı (CS%, crimp stability) değerleri ölçülmüştür.

Deney tasarımı, Tepki Yüzeyi Metodolojisinde Merkezi Bileşik Tasarım (Central Composite Design) ile yapılmıştır. Bu tasarım yapılırken istatistiksel program olan Minitab kullanılmıştır. Tasarım 54 deneyden ibaret olup, Çizelge 6.3'de Minitab deney planı gösterilmiştir.

Toplam altı adet faktör ve bu faktörlerin üç kademesi olduğu dikkate alınacak olursa tüm kademelerin test edilmesi istendiği takdirde  $3^6=729$  deney yapılması gerekmektedir. Yediyüzyirmidokuz deney yapılması, bilhassa işletme şartlarında deney organizasyonu bakımından oldukça zordur. Bu durumda proses optimizasyonu ve ürün geliştirmede deneyler çok daha alt düzeylere indirilerek faktörlerin tepkilere etkisi reel olarak tespit edilememekte ve bu da araştırma geliştirme çalışmalarını ya yetersiz düzeye çekmekte ya da başarıya ulaşmayı zorlaştırmakta veya imkansızlaştırmaktadır. Tepki yüzeyi metodolojisine göre Minitab istatistik programı vasıtasıyla düzenlenmiş olan bu ürün geliştirme çalışmasında toplam 54 deney yapılmıştır. Her bir deney iki adet POY ve tepkileri olan tekstüre bobinleri ile yapılmış olup aşağıda izah edilmiş olan testlere tabi tutulmuşlardır. Test sonuçlarındaki normal dışı değerlerin testleri tekrarlanmıştır.

### 6.3. Tepki Değerleri ve Test Metodları

İplik lineer yoğunluğu olarak desiteks (dtex) birimi kullanılacak olup ipliğin 10.000 metresinin gram olarak kütlesini ifade etmektedir. Ölçümler ise BS EN ISO 2060,1995 metoduna göre çıkırık ve hassas terazi ile yapılmıştır.

Mekanik özellikler, mukavemet ve kopma uzaması, doğrudan kullanılan besleme ipliğinin özellikleri ile alakalıdır. Dolayısıyla tekstürecilerin bu konu hakkında yapabilecekleri pek bir şey yoktur. Farklı kullanım alanları için, farklı mukavemet ve kopma uzaması değerleri öngörülmektedir. Pratikte tekstil giyim amaçlı kullanılacak tekstüre ipliğin minimum 1,5 cN/dtex mukavemet, % 20 kopma uzamasına sahip olması gerekmektedir. Önerilenden daha düşük mukavemet, filament kopmalarına sebep olacağı gibi, yüksek uzama değeri de hatalara yol açabilir. Örneğin; dokuma kumaşlarda sıkışmış ve parlak uçların oluşması; ipliğin çözgü hazırlama, dokuma veya atkı sağımı esnasında gerginlik değişimine maruz kaldığının göstergesidir. Tekstüre ipliklerin mekanik özellikleri herhangi bir mukavemet testi ölçen cihaz ile belirlenebilir. Yapılan deneyde kullanılacak olan test cihazı Uster Tensorapid 3, test metodu ise BS EN ISO 2062, 1995'dir.

Bir tekstüre ipliğin kalitesi, kumaş kalitesine büyük oranda tesir eden, kıvrım özellikleri ile belirlenir. Kıvrım özelliklerinin ölçülmesinde Alman Standardı DIN 53840, 1983 kullanılmıştır. Bu standart; kıvrım kısılması, kıvrım modülü ve mekanik kıvrım kalıcılığını belirlemek için uygulanacak metodları tarif eder. DIN 53840'a göre çile halindeki ve belli bir incelikteki (2,5 dtex) tekstüre filament ipliğin kıvrımı; iplik 0,001 cN/dtex'lik ön gerilme altında iken 10 dakika boyunca sıcak hava (polyester ve poliamid için 120°C) ile işlem görmesi sonucunda oluşur. 24 saatlik bir kondisyonlamadan sonra, 10 saniye süreli yüksek bir (0,2 cN/dtex) kuvvete maruz bırakılan ipliğin düzleşmiş uzunluğu  $l_g$  ile olarak ölçülür. Belli bir toparlanma süresinden sonra (10 dakika) kıvrımın etkisinden dolayı filament ipliğin kısalmış boyu  $l_z$  çok küçük bir ön gerilme altında ölçülür. Daha sonra, belli bir kuvvet (0,01 cN/dtex) ipliğe uygulanır ve bu kuvvetin uygulanmasından 10 saniye sonra iplik uzunluğu  $l_f$  ölçülür. Bu ölçü tekstüre ipliğin uzama davranışını karakterize etmek için kullanılır. Mekanik kıvrım kalıcılığını belirlemek için, numune iplik çilesi geçici olarak (10 saniye) çok yüksek bir kuvvete (1 cN/dtex) maruz bırakılır. Kısalmış uzunluk  $l_b$ , 0,001 cN/dtex'lik bir yükün altında 10 dakika bekledikten sonra ölçülür. (Çizelge 6.1)

Çizelge 6.1. DIN 53840 Tekstüre iplik kıvrım özellikleri test prensibi

|                  |           |           |           |           |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Gerginlik cN/tex | 2         | 0,01      | 0,1       | 0,01      |
| Yükleme süresi   | 10 saniye | 10 dakika | 10 saniye | 20 dakika |
| Çile uzunluğu    | $l_g$     | $l_z$     | $l_f$     | $l_b$     |

Kıvrımlı yapının oluşmasından dolayı, tekstüre filament iplikte meydana gelen boy kısalması Kıvrım Kısalması E% veya CC% olarak adlandırılır. Bu değer düzleştirilmiş iplik uzunluğu ile kısalmış boy arasındaki farkın, düzleştirilmiş iplik uzunluğuna oranı şeklinde ifade edilebilir.

$$E = \left( \frac{l_g - l_z}{l_g} \times 100 \right) \% \quad [6.1]$$

Tez kapsamında yapılmış olan deneysel çalışmada kullanılan test cihazı olan Textechno Texturemat M cihazı kıvrım kısılmasını otomatik olarak ölçen aparatlar

içermektedir. Bu aparatlar, tekstüre iplik çilelerinin toparlanma gücünü önceden belirlenmiş yükleme koşulları arasında otomatik olarak ölçer. Bu sistem, elle yapılan standart kısalma testlerinin basitçe otomatikleştirilmesidir. Kıvrım kalıcılığı da bu test cihazıyla ölçülür.

Kıvrım modülü K% veya CM%; tekstüre ipliğin uzama özelliğini kıvrım elastikiyeti sınırları içerisinde karakterize eder. Kıvrım modülü K, gerilmiş iplik uzunluğu  $l_g$  ile belli bir çekme kuvveti altındaki ipliğin uzunluğu  $l_f$  arasındaki fark ile ipliğin gerilmiş uzunluğu  $l_g$  oranına eşittir.

$$K = \left( \frac{l_g - l_f}{l_g} \times 100 \right) \% \quad [6.2]$$

Mekanik kıvrım kalıcılığı B% veya CS%; tekstüre filament ipliğin tanımlanmış bir çekme zorlanması altındaki kıvrım kısalmasını ifade eder. Mekanik kıvrım kalıcılığı değerini belirlemek için, numune geçici olarak yüksek bir kuvvete maruz bırakılır. Sonra kıvrımdan dolayı kısalan filament ipliğin uzunluğu  $l_b$  olarak ölçülür. Mekanik kıvrım kalıcılığı B% değeri;  $l_b$  değeri esas alınarak hesaplanan kıvrım kısalması değerinin normal kıvrım kısalması E% değerine oranı olarak hesaplanır (Demir, 2006).

$$B = \left( \frac{l_g - l_b}{l_g - l_z} \times 100 \right) \% \quad [6.3]$$

Tekstüre iplik çile kaynama çekmesi (shrinkage) ölçümünün değişik metodları mevcuttur. Tez kapsamındaki test metodu ise şu şekildedir; yük altında çıkrığa sarılmış olan iplik çilesinin  $L_0$  uzunluğu ölçülür. Çile ardından sabit sıcaklık ve belirli bir peryotta sıcak hava veya sıcak suya tabi tutularak aynı yük altında  $L_1$  uzunluğu ölçülür. Bu iki uzunluğun fark yüzdesi iplik kaynama çekmesi S% (shrinkage) olarak ifade edilir (Hearle ve Hollick, 2001).

$$S = \left( \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100 \right) \% \quad [6.4]$$

Çizelge 6.2. Deney tasarımına ait sabit ve değişken proses şartları

| Değiştirilen proses şartları (faktörler) | Sabit proses şartları (faktörler) |
|------------------------------------------|-----------------------------------|
| Üretim hızı                              | IMG Basıncı                       |
| Çekim oranı                              | TU Programı                       |
| D/Y                                      | Koniklik açısı                    |
| Disk dizilişi                            | Büküm                             |
| Isıtıcı sıcaklıkları                     | Disk tipi                         |
| CI IMG basıncı                           | Yağ silindir hızı                 |
|                                          | Büküm kırıcı                      |

Çizelge 6.4, merkezi bileşik tasarım ile Minitab'da yapılmış olan deney tasarımını göstermektedir. Bu çizelgedeki tüm proses şartları üç kademededen ibarettir. Üretim hızı 400 / 500 ve 600 m/dak, çekim oranı 1,4 / 1,5 ve 1,6, D/Y oranı 1,7 / 1,8 ve 1,9, CI IMG basıncı ise kapalı (0 bar) / 0,8 ve 1,6 bar'dır. Isıtıcı sıcaklıklarında ise sadece birinci üst ısıtıcı sıcaklığı tabloda gösterilmiş, mevcut proses şartları referans alınarak ikinci üst ısıtıcı sıcaklığı birinci ısıtıcı sıcaklığından 5°C düşüktür. Böylelikle ısıtıcı sıcaklıkları birinci ve ikinci üst ısıtıcı sıcaklıkları olmak üzere, 190-185°C / 200-195°C ve 210-205°C olarak set edilmiştir. Disk dizilişi de Bölüm 5.3'te detaylı ifade edildiği üzere 1-4-1 / 1-5-1 ve 1-6-1 olarak düzenlenmiş ancak tabloda ve istatistiksel analizlerde 4 / 5 ve 6 olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. POY Testleri ve test standartları

| POY Test Adı                  | Test Standardı       |
|-------------------------------|----------------------|
| Lineer yoğunluk, dtex         | BS EN ISO 2060, 1995 |
| Mukavemet, cN/dtex - Uzama, % | BS EN ISO 2062, 1995 |
| Çekme gerilimi, cN            | ASTM D 5344-99, 2005 |

Çizelge 6.4. Merkezi Bileşik Tasarım ile Minitab’da yapılmış olan deney tasarımı

| Deneme | Hız (m/dak) | Çekim Oranı | D/Y | Üst ısıtıcı °C | Disk dizilişi | CI IMG bar |
|--------|-------------|-------------|-----|----------------|---------------|------------|
| 1      | 600         | 1,6         | 1,7 | 210            | 6             | 0          |
| 2      | 600         | 1,4         | 1,7 | 210            | 6             | 1,6        |
| 3      | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 4      | 600         | 1,4         | 1,9 | 190            | 6             | 1,6        |
| 5      | 400         | 1,6         | 1,9 | 190            | 6             | 1,6        |
| 6      | 400         | 1,4         | 1,7 | 210            | 6             | 0          |
| 7      | 600         | 1,4         | 1,7 | 190            | 4             | 1,6        |
| 8      | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 9      | 600         | 1,6         | 1,9 | 190            | 6             | 0          |
| 10     | 400         | 1,6         | 1,7 | 190            | 4             | 1,6        |
| 11     | 400         | 1,4         | 1,9 | 210            | 4             | 0          |
| 12     | 400         | 1,6         | 1,7 | 210            | 6             | 1,6        |
| 13     | 600         | 1,4         | 1,9 | 210            | 4             | 1,6        |
| 14     | 600         | 1,6         | 1,7 | 190            | 4             | 0          |
| 15     | 400         | 1,6         | 1,9 | 210            | 4             | 1,6        |
| 16     | 400         | 1,4         | 1,7 | 190            | 4             | 0          |
| 17     | 600         | 1,6         | 1,9 | 210            | 4             | 0          |
| 18     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 19     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 20     | 400         | 1,4         | 1,9 | 190            | 6             | 0          |
| 21     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 4             | 0,8        |
| 22     | 500         | 1,6         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 23     | 500         | 1,5         | 1,7 | 200            | 5             | 0,8        |
| 24     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 25     | 500         | 1,5         | 1,9 | 200            | 5             | 0,8        |
| 26     | 500         | 1,4         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 27     | 500         | 1,5         | 1,8 | 210            | 5             | 0,8        |
| 28     | 600         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 29     | 500         | 1,5         | 1,8 | 190            | 5             | 0,8        |
| 30     | 400         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 31     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 6             | 0,8        |
| 32     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0          |
| 33     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 34     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 1,6        |
| 35     | 400         | 1,6         | 1,9 | 190            | 4             | 0          |
| 36     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 37     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 38     | 600         | 1,4         | 1,9 | 210            | 6             | 0          |
| 39     | 600         | 1,4         | 1,7 | 210            | 4             | 0          |
| 40     | 400         | 1,6         | 1,7 | 190            | 6             | 0          |
| 41     | 600         | 1,6         | 1,7 | 210            | 4             | 1,6        |
| 42     | 400         | 1,4         | 1,9 | 210            | 6             | 1,6        |
| 43     | 400         | 1,6         | 1,9 | 210            | 6             | 0          |
| 44     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 45     | 400         | 1,4         | 1,7 | 210            | 4             | 1,6        |
| 46     | 500         | 1,5         | 1,8 | 200            | 5             | 0,8        |
| 47     | 600         | 1,4         | 1,9 | 190            | 4             | 0          |
| 48     | 400         | 1,4         | 1,9 | 190            | 4             | 1,6        |
| 49     | 600         | 1,6         | 1,9 | 210            | 6             | 1,6        |
| 50     | 600         | 1,4         | 1,7 | 190            | 6             | 0          |
| 51     | 400         | 1,4         | 1,7 | 190            | 6             | 1,6        |
| 52     | 600         | 1,6         | 1,9 | 190            | 4             | 1,6        |
| 53     | 600         | 1,6         | 1,7 | 190            | 6             | 1,6        |
| 54     | 400         | 1,6         | 1,7 | 210            | 4             | 0          |

## 7. ÇALIŞMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

## 7.1. POY ve Tekstüre İplik Fiziksel Değerleri ve İlk Şartlarda Yapılan Proses Şartları ve Test Sonuçları

Çizelge 7.1.'de deneyde kullanılan 133f47 altı kanallı katyonik POY ipliğinin ve muadil homopolimer ipliğin fiziksel test sonuçları mevcuttur. POY testlerinde, lineer yoğunluk (dtex) BS EN ISO 2060, 1995; mukavemet-uzama BS EN ISO 2062, 1995; çekme gerilimi testi ise ASTM D 5344-99, 2005'e göre yapılmıştır. Bu çizelgede katyonik altı kanallı POY ipliğinin mukavemet ve uzama değerinin homopolimere göre çok düşük olduğu ve normal şartlarda tekstüresinde mukavemetinin kabul edilemeyecek derecede düşük olacağına işaret etmektedir.

Çizelge 7.1. 133f47 altı kanallı katyonik ve homopolimer POY üretim şartları ve fiziksel değerleri

| Proses şartları        | 133f47 altı kanal homopolimer | 133f47 altı kanal katyonik |
|------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Dozaj pompa hızı, rpm  | 8.61                          | 7.25                       |
| Blok sıcaklığı, °C     | 300                           | 294                        |
| Üretim hızı, m/dak     | 2765                          | 2890                       |
| Quench basıncı, inç-su | 0.2                           | 0.2                        |

| POY fiziksel parametreleri | 133f47 altı kanal homopolimer | 133f47 altı kanal katyonik |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Lineer yoğunluk, dtex      | 133                           | 133,9                      |
| Mukavemet cN/dtex          | 2,1                           | 1,42                       |
| Uzama %                    | 130                           | 120,7                      |
| Çekme gerilimi cN          | 66                            | 66,50                      |

Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3, 133f47 altı kanallı homopolimer POY'un nominal tekstüre değerlerini ve bu şartların modifiye edilmesi ile oluşturulan muadil katyonik POY'un tekstüre değerleri görülmektedir.

Çizelge 7.2. Homopolimer POY tekstüre şartları

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| Üretim hızı                   | 500 m/dak             |
| Çekim oranı                   | 1,63                  |
| D/Y                           | 1,80                  |
| Disk dizilişi                 | 1-4-1                 |
| Üst Isıtıcılar<br>Alt ısıtıcı | 315 / 295 °C<br>150°C |
| CI IMG<br>CI IMG Basıncı      | -<br>-                |
| IMG Basıncı                   | 1,4 bar               |
| TU Programı                   | 14                    |
| Büküm                         | S                     |
| Disk tipi                     | Poliüretan            |

Çizelge 7.3 incelendiğinde nominal homopolimer şarlarına göre muadil katyonik POY'un tekstüresinin çok düşük mukavemet ve uzama değerlerinden dolayı ticari olarak kullanılamayacağı kesin olarak söylenebilir. Çünkü 6.3'de ifade edildiği üzere ticari şartlarda asgari olarak mukavemeti 1,5 cN/dtex ve %20 uzamadan çok düşük olup, 1,20 cN/dtex mukavemet ve %14 uzama değerlerine sahiptir. Bu tez çalışmasında da amaç, ilgili katyonik ürünün tepki yüzeyi metodolojisine göre deney tasarımının yapılarak tepki optimizasyonu ile optimum proses şartlarını ve iplik fiziksel değerlerini sağlamak ve ticari hale getirmektir.

Çizelge 7.3. Homopolimer POY tekstüre şartlarına göre homopolimer tekstüre iplik ve en dik çıkış metodu sonrası muadil katyonik ipliğin fiziksel değerlerinin mukayesesi

| Fiziksel değerler        | Homopolimer tekstüre iplik | Katyonik tekstüre iplik* |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Desiteks</b>          | 88,00                      | 100,80                   |
| <b>Mukavemet cN/dtex</b> | 3,92                       | 1,20                     |
| <b>Uzama %</b>           | 30,44                      | 14,00                    |
| <b>CC %</b>              | 14,62                      | 7,98                     |
| <b>CM %</b>              | 8,40                       | 4,31                     |
| <b>CS %</b>              | 76,54                      | 37,32                    |
| <b>S %</b>               | 3,00                       | 3,42                     |

\* 500 m/dak hız, 1,40 çekim, 250°C sıcaklık.

Önceden ifade edildiği üzere en dik çıkış (veya iniş) metoduna göre önce sıcaklıklar kademeli olarak 315°C'lerden 250°C'lere düşülmüştür. Çünkü 315°C sıcaklıklarda POYun düşük mukavemeti ve uzaması nedeniyle uç bağlanması mümkün olmamıştır. 250°C sıcaklıkta 1,40 çekim oranında Çizelge 6.6'dan da görüleceği üzere iplik lineer yoğunluğu yüksek gelmiş (100,8 dtex) ve desiteksin düşürülmesi için çekim artırılmıştır. Yüksek çekimde de (1,63) mukavemet çok daha düşük gelmiştir (mukavemet 0,78 cN/dtex, uzama %6,99). Bu sonuçlara göre deney tasarımında sıcaklıkların 200°C civarında, çekimin 1,40 ile 1,60 aralığında ve 400-600 m/dak üretim hızlarında, 4,5 ve 6 dizilişli disk konfigürasyonlarında, 1,70-1,90

D/Y aralıklarında ve iplik filamentlerinin bir arada homojen olarak tutunmasını sağlayarak filament kopuşlarını önleyen CI IMG (continuous intermingling- sürekli puntolama) jetinin kullanılmasına karar verilmiştir.

## 7.2. Tepki Optimizasyonu

Tek bir tepki veya tepkiler grubunu optimize edecek faktör ayarlarını oluşturmak için Minitab'ın tepki optimizasyonu kullanılır. Tepki optimizasyonu, genellikle, istenilen özelliklere sahip bir ürün üretmek için gereken çalışma koşullarının belirlenmesine ihtiyaç duyulan durumlarda ürün geliştirme çalışmalarında faydalıdır. Mesela bir ürünün elastikiyet ve mukavemet gibi bazı özelliklerini optimize edecek ayarları belirlemeye ihtiyaç duyulabilir.

### 7.2.1. Parametreler

Minitab, oturum penceresinde, her bir tepki için tasarım parametrelerini gösterir. Bu sonuçlar kontrol edilmeli ve gösterilen tasarım parametrelerinin doğruluğu sağlanmalıdır. Seçilen “amaç, alt, hedef, üst ve ağırlık” her bir tepki için istenilirlik fonksiyonunu tanımlar.

Aşağıdaki örnekte, tepki değişkenleri elastikiyet ve patlama mukavemeti değeridir. Tasarım parametreleri ise aşağıdaki gibidir;

Çizelge 7.4. Tasarım parametreleri (Minitab)

| Parametreler       | Amaç      | En düşük | Hedef | En yüksek | Ağırlık | önem |
|--------------------|-----------|----------|-------|-----------|---------|------|
| Elastikiyet        | Hedef     | 80       | 100   | 150       | 1       | 2    |
| Patlama mukavemeti | Maksimize | 900      | 1000  | 1000      | 1       | 1    |

- Elastikiyet için amaç; hedefte tutmaktır. Dolayısıyla 80 altı veya 150 üstü değerler kabul edilemez.
- Patlama mukavemeti değeri için amaç maksimize etmektir. Bu da 1000 ve üstü değerlerin mükemmel olarak kabul edileceği, 900'ün altı olan değerlerin red edileceği demektir.

Tepkiler için önem değerlerinin eşit olmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı elastikiyeti kabul edilebilir bir aralıkta tutarken, patlama mukavemetini

artırmaktır. Elastikiyetin önemi 1, patlama mukavemetininki ise 2'dir. Bu nedenle patlama rezistansı, bileşik istenilirlik üzerinde daha büyük etkiye sahiptir.

### 7.2.2. Global Çözüm

Optimizasyon prosedürü, optimal faktör ayarlarının araştırılmasına başlamak için bazı başlangıç noktaları seçer. Araştırma için iki tür çözüm vardır;

**Lokal Çözüm:** Her bir başlangıç noktası için bir lokal çözüm vardır. Bu çözümler, bir başlangıç noktasından başlayarak bulunan en iyi faktör ayarlarının kombinasyonudur.

**Global Çözüm:** Tüm lokal çözümlerin en iyisi olan sadece tek bir global çözüm vardır. Global çözüm, istenilen tepkileri gerçekleştiren faktör ayarlarının en iyi kombinasyonudur.

Minitab, sadece global çözümü getirir. Aşağıdaki çıktıda koyu renkte gösterilen sıcaklık, iyileştirme süresi (curing time) ve yoğunluk değerleri, global çözüm olarak proses parametrelerini göstermektedir.

Çizelge 7.5. Global çözümün proses parametreleri, faktörler (Minitab)

|                                |   |                      |           |
|--------------------------------|---|----------------------|-----------|
| <b>Sıcaklık</b>                | = | <b>467,045</b>       |           |
| <b>İşlem Süresi</b>            | = | <b>23,182</b>        |           |
| <b>Yoğunluk</b>                | = | <b>9,318</b>         |           |
| Tahmin edilen tepkiler         |   |                      |           |
| Elastikiyet                    | = | 93,205 ,istenilirlik | = 0,66024 |
| Patlama mukavemeti             | = | 995,52 ,istenilirlik | = 0,95520 |
| Bileşik istenilirlik = 0,84456 |   |                      |           |

### 7.2.3. Tahmini Tepkiler

Minitab, tahmini tepkileri, global çözüm faktör seviyelerini kullanarak hesaplar. Uygun modellere göre bu faktör ayarlarını kullanarak üretilen ürünler, tahmini tepki değerlerine sahip olabileceği anlamına gelir. Aşağıdaki çıktıda koyu olan elastikiyet ve patlama mukavemeti (puncture resistance) değerleri, global çözümde verilen faktörlere göre üretimdeki tepki değerlerinin nasıl olabileceğini göstermektedir.

Çizelge 7.6. Global çözümün proses parametreleri, tepkiler (Minitab)

|                                |   |               |               |           |
|--------------------------------|---|---------------|---------------|-----------|
| Sıcaklık                       | = | 467,045       |               |           |
| İşlem Süresi                   | = | 23,182        |               |           |
| Yoğunluk                       | = | 9,318         |               |           |
| <b>Tahmin edilen tepkiler</b>  |   |               |               |           |
| <b>Elastikiyet</b>             | = | <b>93,205</b> | ,istenilirlik | = 0,66024 |
| <b>Patlama mukavemeti</b>      | = | <b>995,52</b> | ,istenilirlik | = 0,95520 |
| Bileşik istenilirlik = 0,84456 |   |               |               |           |

#### 7.2.4. Tekil ve Bileşik İstenilirlik

Minitab, her tahmini etki için tekil istenilirliği hesaplar. Daha sonra, tekil istenilirlik (individual desirability) değerleri bileşik istenilirlik (composite desirability) altında birleştirilir. İstenilirlik değerleri, tahmini tepkilerin hedeflere ne kadar yaklaşıldığının anlaşılmasına yardımcı olur. İstenilebilirlik 0'dan 1'e kadar olan aralıkta bulunur.

##### 7.2.4.1. Tekil İstenilirlik

Tahmini tepkiler; hedef değerlerine yaklaştıkça istenilirlik 1 değerine yaklaşacaktır. Aşağıdaki tepkideki tekil istenilirlik değerleri şu şekilde ifade edilebilir; elastikiyet 0,66024 ile vasat bir istenilirlik değerine sahiptir. Çünkü 93,205 değerindeki tahmini tepki, hedef 100 ve alt limit 80 aralığının yaklaşık 2/3'lük kısmına tekabül etmektedir. Deney elastikiyeti optimize etmekte patlama rezistansını etmekten daha az başarılı olmuştur. 100'e yakın bir elastikiyet sadece daha düşük patlama rezistansı elde etme pahasına gerçekleştirilebilir. Elastikiyetin öneminin 1 olmasına karşın patlama rezistansının 2 olduğu hatırlanacak olursa, muhtemelen patlama rezistansının global çözümde neden daha yüksek bir tekil istenilirliği olduğunu açıklar. Patlama rezistansı 0,95520 değerindeki yüksek bir istenilirlik skoruna sahiptir. Çünkü 995 olan tahmini tepki, hedef değer olan 1000'e çok yakındır. Patlama rezistansı için amaç maksimize etmek olduğuna göre, bu yüzden yüksek değerler daha çok istenmektedir.

Çizelge 7.7. Global çözümün proses parametreleri, tekil ve bileşik istenilirlik

(Minitab)

|                                       |   |               |                                |
|---------------------------------------|---|---------------|--------------------------------|
| Sıcaklık                              | = | 467,045       |                                |
| İşlem Süresi                          | = | 23,182        |                                |
| Yoğunluk                              | = | 9,318         |                                |
| <b>Tahmin edilen tepkiler</b>         |   |               |                                |
| <b>Elastikiyet</b>                    | = | <b>93,205</b> | <b>,istenilirlik = 0,66024</b> |
| <b>Patlama mukavemeti</b>             | = | <b>995,52</b> | <b>,istenilirlik = 0,95520</b> |
| <b>Bileşik istenilirlik = 0,84456</b> |   |               |                                |

## 7.2.4.2. Bileşik İstenilirlik

Bileşik istenilirlik, tekil istenilirlik değerlerini bir genel değerde birleştirir ve tepkilerin göreceli önemini yansıtır. İstenilirlik yükseldikçe 1 değerine yaklaşır. Minitab, geçerli olarak tepkilere eşit önem yerleştirir ve her birine 1 önem değerini verir. Eğer bazı tepkilerin diğerlerine nazaran bileşik istenilirlik üzerinde daha fazla etkisi olunması istenirse, önem değerleri değiştirilebilir. Çizelge 7.7’de 0,844560 olan bileşik istenilirlik patlama rezistansına elastikiyete nazaran daha önem değeri verilmiştir.

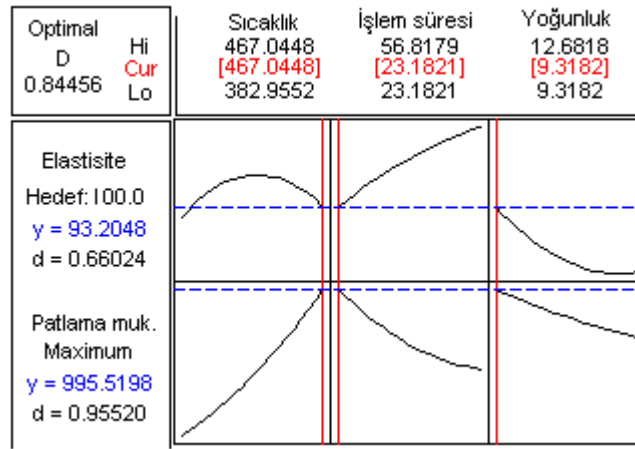
## 7.2.5. Optimizasyon Tepki Diyagramı

Optimizasyon diyagramı faktörlerin tahmini tepkileri nasıl etkilediğini gösterir ve faktör ayarlarını interaktif olarak değiştirme olanağı verir.

- Grafik üzerindeki her sütun bir faktöre tekabül eder.
- Grafikteki her satır bir tepki değerine tekabül eder.
- Grafikteki her hücre, diğer tüm faktörler sabit kaldığında bir tepki değişkeninin nasıl bir faktörün fonksiyonu gibi değiştiğini gösterir.
- Bir sütunun başlangıcında gösterilen rakamlar, önerilen faktör seviyesi ayarlarını (kırmızı renkte gösterilen) ve dizayndaki yüksek ve düşük faktör ayarlarını gösterir. Mesela, Şekil 7.1’deki önerilen faktör ayarları; sıcaklık: 467,0448, iyileştirme zamanı: 23,181 ve yoğunluk: 9,3182’dir.
- Her satırın solunda Minitab tepki için amacı, önerilen faktör ayarlarında tahmini tepkiyi (y) ve tekil istenilirlik skorunu gösterir. Şekil 7.1’deki

örnekte amaç hedef elastikiyet tahmini değeri 93,2048 ve tekil istenilirliği 0,66024'tür.

- Bileşik istenilirlik (D) grafiğın sol üst köşesinde gösterilir. Örnekte bileşik istenilirlik 0,84456'dır.
- Bileşik istenilirliğin (D) üzerindeki etiket önerilen ayarları ifade etmekte olup, faktör ayarlarının interaktif olarak değiştirilmesi durumunda değişir. Optimizasyon diyagramı yaratıldığında etiket optimal olur. Faktör ayarları değiştirildiğinde etiket yeni olarak değişir. Yeni bir optimal ayar bulunduğu anda etiket optimal olarak değişir. Eğer önerilen değerler kaydedilirse, etiket kaydedilen ayarlar listesindeki pozisyonu gösteren bir numaraya dönüşür.
- Grafikteki dikey kırmızı çizgiler önerilen faktör ayarlarını gösterir.
- Yatay mavi çizgiler önerilen tepki değerlerini gösterir.



Şekil 7.1. Optimizasyon tepkisi

Şekil 7.1.'deki örnek incelenecek olursa;

- Sıcaklık: Sıcaklığı düşürmek, elastikiyeti hedef değeri olan 100'e yaklaştırır. Ama patlama rezistansını azaltır. Patlama rezistansının önemi (2), elastikiyetten daha yüksek olduğu için, genel istenilirlik açısından patlama rezistansını maksimize etmek daha yararlıdır. Patlama rezistansını

bu dizayndaki limitler içinde geliştirmek mümkün değildir. Bu da gösteriyor ki, daha yüksek sıcaklıklarla deney yapmak faydalı olacaktır.

- İyileştirme zamanı: İyileştirme zamanını artırmak, elastikiyeti hedef değer olan 100'e yaklaştırıyor ancak patlama rezistansını düşürüyor. Patlama rezistansının önemi, elastikiyetten yüksek olduğu için, optimizasyon ayarları elastikiyeti hedefine mümkün olduğunca tutarken patlama rezistansını maksimize eder. Diyagrama göre patlama rezistansını bu dizayndaki limitler içinde geliştirmek mümkün değildir. Bu gösteriyor ki daha iyileştirme zamanları ile deney yapmak avantajlı olabilecektir.
- Yoğunluk: Yoğunluğu artırmak, elastikiyeti hedef değerinden uzaklaştırırken patlama rezistansını düşürür ki her ikisi de istenmeyen koşullardır. Eğer diyagramlar daha düşük yoğunluklara ekstrapole edilirse hem elastikiyet hem de patlama rezistansı aynı anda artar. Bu gösteriyor ki, daha düşük yoğunlukta deney yapmak faydalı olacaktır. (Minitab help menu).

### 7.3. Yapılan Tepki Optimizasyonu ve Değerlendirme

Çizelge 7.8'deki 54 deneyin test sonuçlarına göre, Çizelge 7.9'daki tepki değerleri hedeflenerek tepki optimizasyonu yapılmıştır. Tüm tepkilerin istenilen hedefte olması amaçlanmıştır. Hedeflenen değerlerin ticari olarak kabul edilir sınırlar içinde olması göz önünde tutulmuştur. Mukavemet ve uzama değerlerinde maksimumun hedeflenmesinin tasarımda çözümsüzlüğe sebebiyet verme ihtimalinden dolayı hedefteki değerler tercih edilmiştir. Mukavemet, uzama ve lineer yoğunluk tepkilerinin önem sırası birinci dereceden, diğer tepkiler ise ikinci dereceden önemli kabul edilmiştir. Yapılan birinci optimizasyon sonucu Çizelge 7.10'dan görüleceği üzere 0,77 kompozit istenilirliğe ulaşılmıştır.

Şekil 7.2, tepki optimizasyonuna göre faktörlerin tepkilere etkisi ve önerilen optimal proses şartları ile ilgili tahmini ipelik değerlerini göstermektedir. Bu grafikler, tüm faktörlerin tepkilere göre ne şekilde değiştiğini, yapılan deneyin kompozit ve her bir tepkiye göre münferit istenilirliklerinin değerlerini de ihtiva etmektedir. Şekil 7.2

incelendiği takdirde optimal çözümün ticari olarak kabul edilir ürün değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Şekil 7.3'te görüleceği üzere bu çözüm üzerinde tekrar bir detay çalışması yapıldığı takdirde, üretim hızının birinci öncelik sırasına sahip desiteks, mukavemet ve uzama değerleri üzerinde optimum çözümde olduğu görülmektedir, ancak önerilen 597 m/dak'lık hız 600'e çıkarılarak birinci dereceden öneme sahip tepkilerin tekil istenilirlik değerlerinde bir iyileştirme yapılmıştır. Çünkü desiteks olabilecek en alt seviyededir, mukavemet ve uzama değerleri de çözümün maksimum değerlerindedir. Bu durum D/Y oranında ve disk dizilişinde de aynıdır. Ancak çekim oranında mukavemet ve uzamayı artırmaya yönelik bir çekim oranı düşürülmesi iplik lineer yoğunluğunun artmasına sebep olacaktır. Bu durum da istenen iplik inceliğinin daha da artması anlamına gelmektedir. Isıtıcı sıcaklıklarının ise 198°C'ye düşürüldüğü takdirde mukavemet ve uzama değerlerinde bir artış olacaktır. Sürekli puntolamanın artırılmasının mukavemet ve uzamanın da artmasını sağlayacağı da yine tepkilerden tespit edilebilmektedir. Bu vesileyle sürekli puntolama değeri de maksimum değere getirilmiştir. Böylelikle mukavemet tekil istenilirliği 0,33'ten 0,53'e çıkacaktır. Uzama değerinde de 0,48'lik bir tekil istenilirlikten 0,95'lere çıkan bir iyileştirme söz konusu olacaktır. Dolayısıyla ilk optimizasyondaki 0,77'lik bir kompozit (bileşik) istenilirlik değeri 0,78'e çıkarılmıştır (Çizelge 7.11). Çizelge 7.12, 133f47 altı kanal katyonik POY'un optimize edilen proses şartları ve homopolimer proses şartları ile mukayesesi göstermekte olup; sıcaklıklarda, çekimde, D/Y oranında, disk dizilişinde, IMG ve CI IMG basınçlarında farklı bir proses ortaya çıkarılmıştır. Çizelge 7.13 ise ilk şartlardaki, tasarımın optimizasyona göre tahmin ettiği ve optimize edilen (birinci ve ikinci optimizasyonlar) tekstüre iplik fiziksel değerlerini mukayeseli olarak göstermektedir. Birinci ve ikinci optimizasyon relatif hata yüzdeleri incelenecek olursa, her ikisinde de sistemin tahmin ettiği optimizasyon değeri ile gerçekleşen değer arasındaki hata yüzdesi lineer yoğunlukta sıfıra yakındır. Bu da lineer yoğunluk optimizasyon tahmininde mükemmel bir hassasiyeti göstermektedir. Mukavemet değeri ise birinci optimizasyonda % 9.25 iken ikincisinde % 2.76 olup, uzama değerlerinde de her iki optimizasyonda % 6 civarında olup tahmin ve gerçekleşen değer farkı ihmal edilecek seviyede düşük olup, sonuçlar başarılıdır. Kıvrım ve kaynama çekmesi değerlerindeki relatif hata değerleri % 4,90 ile % 5,61 arasında değişmekte olup

Çizelge 7.8. Deney tasarımına göre yapılan üretim faktörleri ve üründe ölçülen tepki değerleri

| DENEY NO | HIZ m/dak | CEKIM ORANI % | D/Y | UST ISITICI °C | DISK DİZİLİŞİ | CI IMG BASINCI bar | DTEX | CC%  | CM%  | CS%   | KAYNAMA ÇEKMESİ % | MUKAVEMET cN/dtex | UZAMA % |
|----------|-----------|---------------|-----|----------------|---------------|--------------------|------|------|------|-------|-------------------|-------------------|---------|
| 1        | 600       | 1,6           | 1,7 | 210            | 6             | 0                  | 91,0 | 6,12 | 2,90 | 39,35 | 4,49              | 1,60              | 14,74   |
| 2        | 600       | 1,4           | 1,7 | 210            | 6             | 1,6                | 96,9 | 4,45 | 1,24 | 33,89 | 5,28              | 1,75              | 31,27   |
| 3        | 500       | 1,5           | 1,8 | 200            | 5             | 0,8                | 93,8 | 4,45 | 3,44 | 77,91 | 4,40              | 1,68              | 18,08   |
| 4        | 600       | 1,4           | 1,9 | 190            | 6             | 1,6                | 96,8 | 4,88 | 0,60 | 32,50 | 5,71              | 1,79              | 29,54   |
| 5        | 400       | 1,6           | 1,9 | 190            | 6             | 1,6                | 91,7 | 9,26 | 4,75 | 67,52 | 3,84              | 1,45              | 16,20   |
| 6        | 400       | 1,4           | 1,7 | 210            | 6             | 0                  | 97,5 | 7,34 | 4,38 | 44,35 | 3,30              | 1,43              | 16,30   |
| 7        | 600       | 1,4           | 1,7 | 190            | 4             | 1,6                | 96,7 | 6,03 | 3,87 | 44,70 | 4,51              | 1,83              | 33,69   |
| 8        | 500       | 1,5           | 1,8 | 200            | 5             | 0,8                | 93,8 | 8,61 | 4,99 | 55,80 | 4,74              | 1,63              | 17,02   |
| 9        | 600       | 1,6           | 1,9 | 190            | 6             | 0                  | 90,5 | 6,14 | 1,74 | 17,21 | 5,46              | 1,59              | 15,70   |
| 10       | 400       | 1,6           | 1,7 | 190            | 4             | 1,6                | 91,3 | 6,84 | 4,20 | 38,32 | 4,03              | 1,61              | 14,24   |
| 11       | 400       | 1,4           | 1,9 | 210            | 4             | 0                  | 97,6 | 7,99 | 3,53 | 2,75  | 3,89              | 1,46              | 15,69   |
| 12       | 400       | 1,6           | 1,7 | 210            | 6             | 1,6                | 91,2 | 6,05 | 2,25 | 21,37 | 5,51              | 1,46              | 12,99   |
| 13       | 600       | 1,4           | 1,9 | 210            | 4             | 1,6                | 97,2 | 6,00 | 3,29 | 47,81 | 4,03              | 1,87              | 30,84   |
| 14       | 600       | 1,6           | 1,7 | 190            | 4             | 0                  | 90,6 | 5,71 | 1,18 | 18,02 | 5,15              | 1,82              | 17,88   |
| 15       | 400       | 1,6           | 1,9 | 210            | 4             | 1,6                | 92,1 | 7,61 | 4,34 | 54,04 | 4,21              | 1,36              | 11,77   |
| 16       | 400       | 1,4           | 1,7 | 190            | 4             | 0                  | 97,4 | 5,92 | 2,90 | 27,05 | 4,47              | 1,69              | 21,61   |
| 17       | 600       | 1,6           | 1,9 | 210            | 4             | 0                  | 91,3 | 4,25 | 2,97 | 41,49 | 4,48              | 1,70              | 16,07   |
| 18       | 500       | 1,5           | 1,8 | 200            | 5             | 0,8                | 94,2 | 9,98 | 6,81 | 65,16 | 3,56              | 1,58              | 17,21   |
| 19       | 500       | 1,5           | 1,8 | 200            | 5             | 0,8                | 94,2 | 5,09 | 1,57 | 20,39 | 5,13              | 1,57              | 16,88   |
| 20       | 400       | 1,4           | 1,9 | 190            | 6             | 0                  | 97,2 | 6,03 | 2,32 | 28,52 | 4,63              | 1,58              | 21,44   |
| 21       | 500       | 1,5           | 1,8 | 200            | 4             | 0,8                | 94,0 | 5,10 | 1,82 | 35,87 | 5,00              | 1,67              | 17,15   |
| 22       | 500       | 1,6           | 1,8 | 200            | 5             | 0,8                | 91,2 | 5,60 | 3,05 | 47,58 | 4,36              | 1,56              | 14,55   |
| 23       | 500       | 1,5           | 1,7 | 200            | 5             | 0,8                | 93,9 | 5,33 | 2,13 | 34,05 | 4,45              | 1,62              | 16,88   |
| 24       | 500       | 1,5           | 1,8 | 200            | 5             | 0,8                | 94,2 | 6,59 | 2,01 | 33,16 | 4,41              | 1,63              | 17,48   |
| 25       | 500       | 1,5           | 1,9 | 200            | 5             | 0,8                | 94,7 | 6,21 | 3,46 | 49,28 | 4,16              | 1,62              | 17,51   |

Çizelge 7.8.(Devamı) Deney tasarımına göre yapılan üretim faktörleri ve üründe ölçülen tepki değerleri

|    |     |     |     |     |   |     |      |      |       |        |      |      |       |
|----|-----|-----|-----|-----|---|-----|------|------|-------|--------|------|------|-------|
| 26 | 500 | 1,4 | 1,8 | 200 | 5 | 0,8 | 97,1 | 5,12 | 1,78  | 27,09  | 3,88 | 1,72 | 23,17 |
| 27 | 500 | 1,5 | 1,8 | 210 | 5 | 0,8 | 94,1 | 6,31 | 3,34  | 39,05  | 4,59 | 1,54 | 15,91 |
| 28 | 600 | 1,5 | 1,8 | 200 | 5 | 0,8 | 93,7 | 7,35 | 3,48  | 35,28  | 3,79 | 1,83 | 22,98 |
| 29 | 500 | 1,5 | 1,8 | 190 | 5 | 0,8 | 93,6 | 5,03 | 1,71  | 28,96  | 3,09 | 1,67 | 18,42 |
| 30 | 400 | 1,5 | 1,8 | 200 | 5 | 0,8 | 94,6 | 6,65 | 3,47  | 43,62  | 6,45 | 1,54 | 16,00 |
| 31 | 500 | 1,5 | 1,8 | 200 | 6 | 0,8 | 94,4 | 6,71 | 3,72  | 37,39  | 3,93 | 1,56 | 17,08 |
| 32 | 500 | 1,5 | 1,8 | 200 | 5 | 0   | 94,3 | 6,07 | 2,83  | 38,80  | 4,37 | 1,68 | 17,62 |
| 33 | 500 | 1,5 | 1,8 | 200 | 5 | 0,8 | 94,3 | 5,83 | 2,90  | 37,46  | 4,43 | 1,68 | 18,08 |
| 34 | 500 | 1,5 | 1,8 | 200 | 5 | 1,6 | 94,6 | 5,92 | 2,75  | 38,02  | 4,43 | 1,72 | 17,55 |
| 35 | 400 | 1,6 | 1,9 | 190 | 4 | 0   | 91,2 | 5,09 | 1,90  | 37,59  | 5,15 | 1,58 | 13,97 |
| 36 | 500 | 1,5 | 1,8 | 200 | 5 | 0,8 | 93,6 | 6,03 | 2,67  | 38,58  | 4,49 | 1,65 | 17,22 |
| 37 | 500 | 1,5 | 1,8 | 200 | 5 | 0,8 | 94,4 | 6,13 | 2,92  | 37,99  | 4,46 | 1,56 | 16,06 |
| 38 | 600 | 1,4 | 1,9 | 210 | 6 | 0   | 96,9 | 5,13 | 1,88  | 35,67  | 5,10 | 1,79 | 25,86 |
| 39 | 600 | 1,4 | 1,7 | 210 | 4 | 0   | 97,4 | 4,70 | 1,08  | 27,34  | 5,62 | 1,70 | 25,51 |
| 40 | 400 | 1,6 | 1,7 | 190 | 6 | 0   | 91,2 | 6,17 | 3,09  | 41,66  | 4,22 | 1,50 | 14,10 |
| 41 | 600 | 1,6 | 1,7 | 210 | 4 | 1,6 | 91,2 | 5,79 | 2,33  | 42,07  | 5,69 | 1,65 | 15,29 |
| 42 | 400 | 1,4 | 1,9 | 210 | 6 | 1,6 | 97,6 | 8,82 | 5,57  | 50,71  | 3,48 | 1,65 | 21,66 |
| 43 | 400 | 1,6 | 1,9 | 210 | 6 | 0   | 91,5 | 8,32 | 5,03  | 54,18  | 3,60 | 1,41 | 15,58 |
| 44 | 500 | 1,5 | 1,8 | 200 | 5 | 0,8 | 94,3 | 5,96 | 2,56  | 36,90  | 4,47 | 1,60 | 16,89 |
| 45 | 400 | 1,4 | 1,7 | 210 | 4 | 1,6 | 97,4 | 7,37 | 3,65  | 50,35  | 4,54 | 1,49 | 16,37 |
| 46 | 500 | 1,5 | 1,8 | 200 | 5 | 0,8 | 94,2 | 6,08 | 2,88  | 37,92  | 4,45 | 1,64 | 17,19 |
| 47 | 600 | 1,4 | 1,9 | 190 | 4 | 0   | 96,5 | 3,04 | -0,12 | -13,09 | 6,91 | 1,83 | 30,47 |
| 48 | 400 | 1,4 | 1,9 | 190 | 4 | 1,6 | 97,9 | 4,56 | 1,24  | 27,69  | 4,77 | 1,68 | 22,27 |
| 49 | 600 | 1,6 | 1,9 | 210 | 6 | 1,6 | 91,5 | 7,52 | 4,39  | 43,21  | 4,61 | 1,59 | 17,02 |
| 50 | 600 | 1,4 | 1,7 | 190 | 6 | 0   | 96,6 | 3,30 | 0,13  | 4,42   | 5,92 | 1,78 | 29,52 |
| 51 | 400 | 1,4 | 1,7 | 190 | 6 | 1,6 | 97,8 | 5,61 | 2,40  | 34,59  | 3,71 | 1,66 | 20,51 |
| 52 | 600 | 1,6 | 1,9 | 190 | 4 | 1,6 | 90,6 | 3,84 | 0,74  | 8,66   | 6,13 | 1,91 | 20,46 |
| 53 | 600 | 1,6 | 1,7 | 190 | 6 | 1,6 | 90,4 | 4,70 | 1,26  | 21,31  | 5,11 | 1,74 | 17,10 |
| 54 | 400 | 1,6 | 1,7 | 210 | 4 | 0   | 91,6 | 7,55 | 4,19  | 55,26  | 4,88 | 1,38 | 10,55 |

tahmin ve gerçekleşen arasındaki varyasyon yüksektir. Bu husus, bölüm 7.4'te de değinildiği üzere kıvrım ve kaynama çekmesi tepkilerinin faktörlere göre lineer regresyon ilişkilerinin de düşük olduğu sonucu ile örtüşmektedir. Sonuç olarak, optimizasyona göre tahmin edilen değerler ile optimize edilen şartlara göre elde edilen ipliğin fiziksel değerleri çok ufak farklılıklara karşın aynıdır. Bununla birlikte ilk şartlara göre iplik değerleri çok iyi olup, hedeflenen ticari şartlara sahiptir.

Çizelge 7.9. Tepki Optimizasyonuna (Response Optimization) göre hedeflenen ilk tepki değerleri ve optimal çözümü (birinci optimizasyon)

|                        | Amaç  | En düşük | Hedef | En yüksek | Önem sırası |
|------------------------|-------|----------|-------|-----------|-------------|
| Lineer yoğunluk, dtex  | Hedef | 90.0     | 95.0  | 100.0     | 1           |
| Kıvrım kısalması, CC%  | Hedef | 5.0      | 6.0   | 7.0       | 2           |
| Kıvrım modülü, CM%     | Hedef | 3.0      | 3.5   | 4.0       | 2           |
| Kıvrım kalıcılığı, CS% | Hedef | 35.0     | 38.0  | 41.0      | 2           |
| Shrinkage, S%          | Hedef | 4.0      | 4.5   | 5.0       | 2           |
| Mukavemet, cN/dtex     | Hedef | 1.6      | 2.0   | 2.4       | 1           |
| Uzama, %               | Hedef | 18.0     | 23.0  | 28.0      | 1           |

Çizelge 7.10. Tepki Optimizasyonuna (Response Optimization) göre hedeflenen nihai tepki değerleri ve optimal çözümü (birinci optimizasyon)

|                   | Amaç  | En düşük | Hedef | En yüksek | Önem sırası |
|-------------------|-------|----------|-------|-----------|-------------|
| DTEX              | Hedef | 90,0     | 95,0  | 100,0     | 1           |
| CC%               | Hedef | 5,0      | 6,0   | 7,0       | 2           |
| CM%               | Hedef | 3,0      | 3,5   | 4,0       | 2           |
| CS%               | Hedef | 35,0     | 38,0  | 41,0      | 2           |
| SHRINKAGE %       | Hedef | 4,0      | 4,5   | 5,0       | 2           |
| MUKAVEMET cN/dtex | Hedef | 1,6      | 2,0   | 2,4       | 1           |
| UZAMA %           | Hedef | 18,0     | 23,0  | 28,0      | 1           |

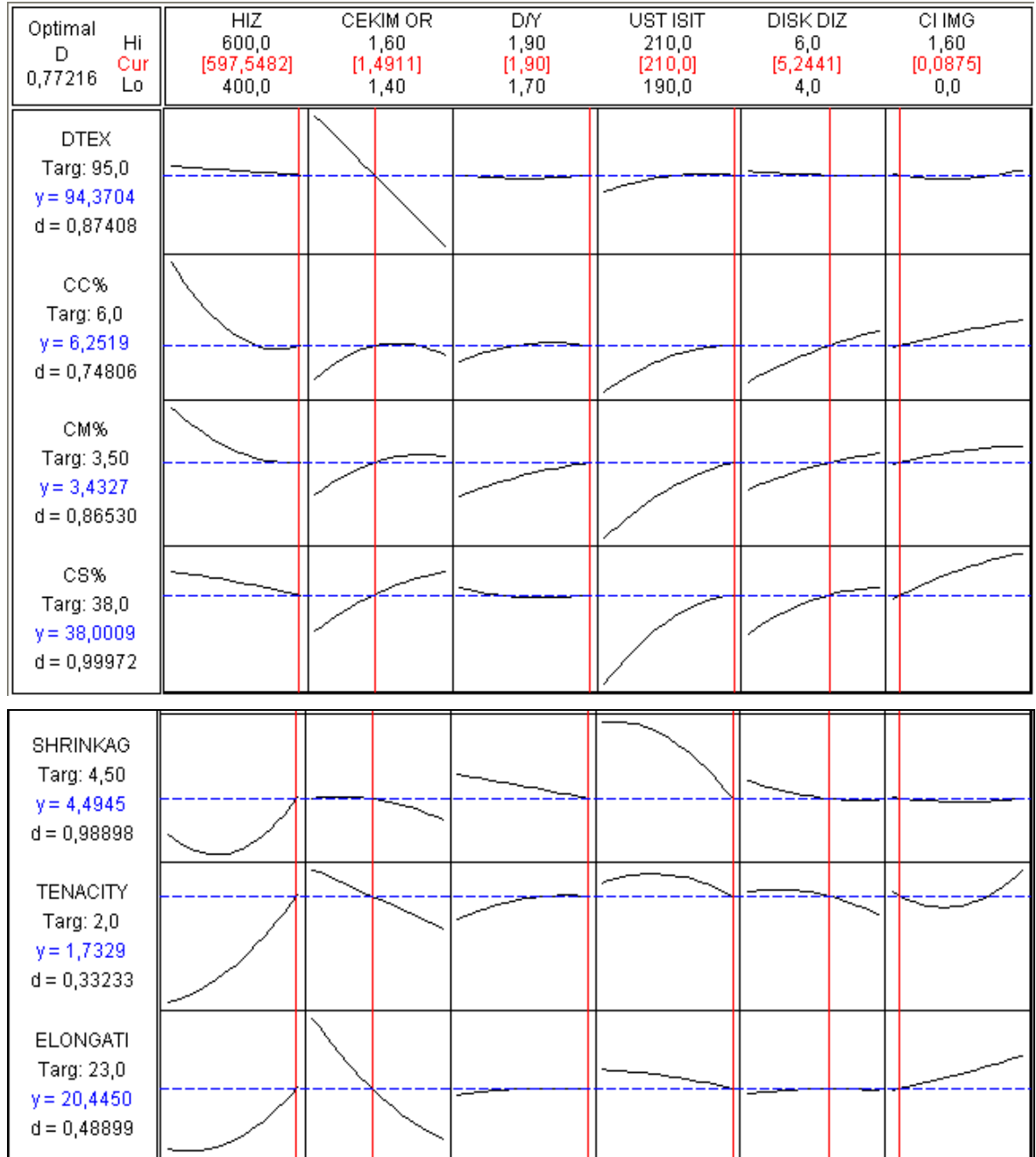
#### Lokal çözüm

HIZ = 597,548  
 CEKIM ORANI = 1,491  
 D/Y = 1,900  
 UST ISITICI = 210,000  
 DISK DIZILIS = 5,244  
 CI IMG = 0,087

#### Tahmini tepkiler

DTEX = 94,3704; istenilirlik = 0,87408  
 CC% = 6,2519; istenilirlik = 0,74806  
 CM% = 3,4327; istenilirlik = 0,86530  
 CS% = 38,0009; istenilirlik = 0,99972  
 SHRINKAGE % = 4,4945; istenilirlik = 0,98898  
 MUKAVEMET cN/= 1,7329; istenilirlik = 0,33233  
 UZAMA % = 20,4450; istenilirlik = 0,48899

**Kompozit (bileşik) istenilirlik = 0,77216**



Şekil 7.2. Tepki Optimizasyonuna göre faktörlerin tepkilere etkisi ve önerilen optimal proses şartları ile ilgili tahmini iplik değerleri (birinci optimizasyon)

Çizelge 7.11. Tepki Optimizasyonuna (Response Optimization) göre hedeflenen nihai tepki değerlerinin optimizasyonu (ikinci optimizasyon)

|               | Amaç  | En düşük | Hedef | En yüksek | Önem sırası |
|---------------|-------|----------|-------|-----------|-------------|
| DTEX          | Hedef | 90,0     | 95    | 100,0     | 1           |
| CC%           | Hedef | 6,0      | 7     | 8,0       | 2           |
| CM%           | Hedef | 2,0      | 3     | 4,0       | 2           |
| CS%           | Hedef | 40,0     | 45    | 50,0      | 2           |
| SHRINKAGE %   | Hedef | 5,0      | 6     | 7,0       | 2           |
| MUKAVEMET cN/ | Hedef | 1,6      | 2     | 2,4       | 1           |
| UZAMA %       | Hedef | 18,0     | 23    | 28,0      | 1           |

#### Global Çözüm

HIZ = 600,000  
 ÇEKİM ORANI = 1,511  
 D/Y = 1,900  
 ÜST ISITICI = 197,728  
 DISK DİZİLİSİ = 5,528  
 CI IMG = 1,600

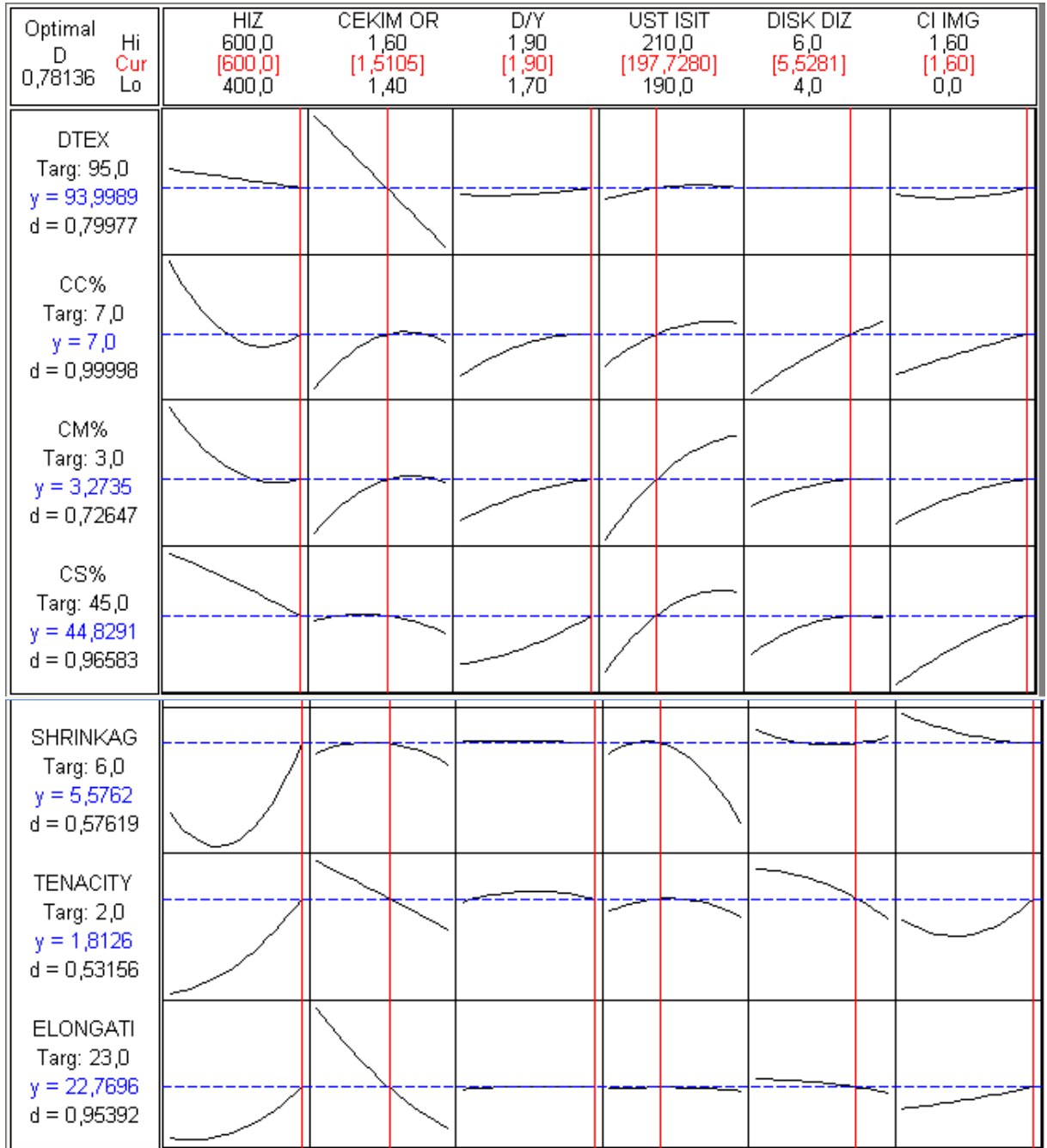
#### Tahmini tepkiler

DTEX = 93,9989; istenilirlik = 0,79977  
 CC% = 7,0000; istenilirlik = 0,99998  
 CM% = 3,2735; istenilirlik = 0,72647  
 CS% = 44,8291; istenilirlik = 0,96583  
 SHRINKAGE % = 5,5762; istenilirlik = 0,57619  
 MUKAVEMET cN/ = 1,8126; istenilirlik = 0,53156  
 UZAMA % = 22,7696; istenilirlik = 0,95392

**Kompozit istenilirlik = 0,78136**

Çizelge 7.12. 78f47 altı kanal katyonik tekstüre ipliğin optimize edilen proses şartları ve homopolimer proses şartları ile mukayesesi

| Proses şartları               | Nominal şartlar<br>(ilk üretim şartları) | Optimize edilmiş şartlar<br>(birinci optimizasyon) | Optimize edilmiş şartların<br>ikinci optimizasyonu |
|-------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Üretim hızı                   | 500 m/dak                                | 597 m/dak                                          | 600 m/dak                                          |
| Çekim oranı                   | 1,63                                     | 1,49                                               | 1,51                                               |
| D/Y                           | 1,80                                     | 1,90                                               | 1,90                                               |
| Disk dizilişi                 | 1-4-1                                    | 1-5-1                                              | 1-5-1                                              |
| Üst Isıtıcılar<br>Alt ısıtıcı | 315 / 295 °C<br>150°C                    | 210 / 205 °C<br>150°C                              | 197 / 192 °C<br>150°C                              |
| CI IMG<br>CI IMG Basıncı      | -<br>-                                   | AÇIK<br>0,08                                       | AÇIK<br>1,60                                       |
| IMG Basıncı                   | 1,4 bar                                  | 0,6 bar                                            | 0,6 bar                                            |
| TU Programı                   | 14                                       | 14                                                 | 14                                                 |
| Koniklik açısı                | 80°                                      | 85°                                                | 85°                                                |
| Büküm                         | S                                        | S                                                  | S                                                  |
| Disk tipi                     | Poliüretan                               | Poliüretan                                         | Poliüretan                                         |



Şekil 7.3. Tepki Optimizasyonuna göre faktörlerin tepkilere etkisi ve önerilen proses şartlarının optimizasyonu ile ilgili tahmini iplik değerleri (ikinci optimizasyon)

Çizelge 7.13. 78f47 altı kanal katyonik tekstüre ipliğin optimize edilen proses şartlarına göre ve en dik çıkış metodu sonrası proses şartları ve birinci ve ikinci optimizasyona göre tekstüre fiziksel değerleri mukayesesi

| Fiziksel değerler | En dik çıkış metodu sonrası değerler | Deney tasarımının tahmin ettiği değerler (Birinci optimizasyon) | Birinci optimizasyona göre gerçekleşen değerler | Birinci optimizasyon Gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki relatif hata % |
|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Desiteks          | 100,80                               | 94,37                                                           | 94,80                                           | -0,46                                                                           |
| Mukavemet cN/dtex | 1,20                                 | 1,73                                                            | 1,57                                            | 9,25                                                                            |
| Uzama %           | 14,00                                | 20,45                                                           | 19,12                                           | 6,50                                                                            |
| CC %              | 7,98                                 | 6,25                                                            | 5,28                                            | 15,52                                                                           |
| CM %              | 4,31                                 | 3,43                                                            | 2,20                                            | 35,86                                                                           |
| CS %              | 37,32                                | 38,00                                                           | 16,45                                           | 56,71                                                                           |
| S %               | 3,42                                 | 4,49                                                            | 4,27                                            | 4,90                                                                            |

| Fiziksel değerler | Deney tasarımının tahmin ettiği değerler (İkinci optimizasyon) | İkinci optimizasyona göre gerçekleşen değerler | İkinci optimizasyon Gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki relatif hata % |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Desiteks          | 93,99                                                          | 94,95                                          | -1,02                                                                          |
| Mukavemet cN/dtex | 1,81                                                           | 1,76                                           | 2,76                                                                           |
| Uzama %           | 22,76                                                          | 21,38                                          | 6,06                                                                           |
| CC %              | 7                                                              | 5,1                                            | 27,14                                                                          |
| CM %              | 3,27                                                           | 1,72                                           | 47,40                                                                          |
| CS %              | 44,83                                                          | 26,99                                          | 39,79                                                                          |
| S %               | 5,58                                                           | 4,37                                           | 21,68                                                                          |

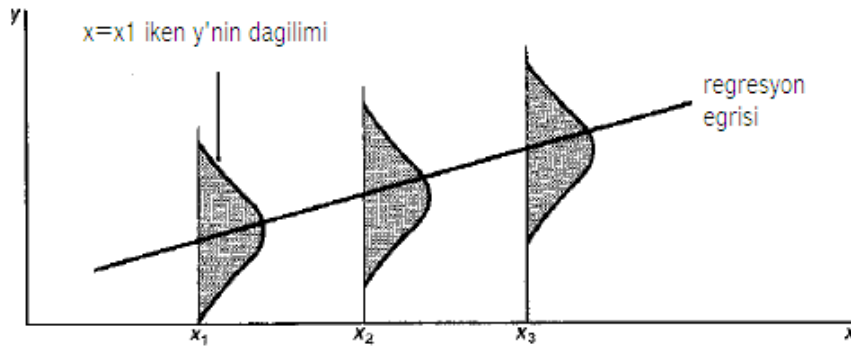
#### 7.4. Yapılan Tepki Optimizasyonunun Matematiksel Modellemeleri

Birçok problemde iki veya daha çok değişkenler birbiriyle ilişkilidir ve bu ilişkinin doğasını keşfetmek gereklidir. Regresyon analizi, iki veya daha çok değişkenin birbiriyle olan ilişkisini modellemek ve araştırmak için kullanılan bir istatistiksel tekniktir. Bu teknik aynı zamanda proses optimizasyonunda da kullanılmaktadır. Eğer kontrollü değişken x noktasında, birtakım y bağımlı değişkeni ölçümleri yapıldığı taktirde sonuçlar bir dağılım meydana getirecektir. Dağılımların ortalama değerlerini birleştiren eğriye ise x ve y'nin regresyon eğrisi denmektedir. Bu örnek Şekil 7.4'te verilmiştir. Bir değişkenin tahmin edilmesinde diğer değişkenlerin kullanılmasıyla en uygun eşitliği verecek olan denklemin bulunmasına regresyon problemi denir (Chatfield, 1979).

Regresyon analizlerinde birçok analiz, birden çok regresyon değişkeninin gerektirdiği durumlara sahiptir. Çoklu lineer regresyon modeli aşağıdaki ilişkiyle tarif edilir;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon \quad [7.1]$$

Y; tepkiyi,  $x_1$  ve  $x_2$  değişkenleri,  $\varepsilon$  hatayı ifade eder. Bu eşitlik, iki regresyon değişkenli çoklu lineer regresyon modelini tanımlar.  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  ise sabit ve katsayılardır. Tepki yüzeyi metodolojisine göre yapılmış olan deney tasarımı neticesinde elde edilmiş olan tepkilerin faktörlere göre matematiksel modellemesini yapabilmek için çoklu (multiple) lineer regresyon kullanılmıştır. Yapılmış olan analizde desiteks (lineer yoğunluk), mukavemet, kopma uzaması, kaynama çekmesi, kıvrım kısalması, kıvrım modülü ve mekanik kıvrım kalıcılığı faktörlerine göre regresyon analizleri verilmiştir.



Şekil 7.4. Regresyon eğrisi (Chatfield, 1979)

- **Regresyon analizi : Desiteks (Lineer Yoğunluk)**

İplik lineer yoğunluğu olan desiteks'e göre yapılan regresyon analizinde, eşitlikteki faktörler tarafından % varyasyonu gösteren % 98,9 R-sq değeriyle, faktörlerin etkisinin yüksek olduğu bir regresyon eşitliği sağlanmıştır. Ancak, P değerleri incelendiğinde, D/Y, CI IMG ve disk dizilişinin % 95 güvenlik aralığında yapılan regresyonuna göre 0,05 değerinden yüksek olması nedeniyle bu faktörlerin desiteks tepkisine olan etkisi ihmal edilecektir.

$$\begin{aligned} DTEX = & 136 - 0,00324 \text{ HIZ} - 30,1 \text{ CEKIM ORANI} + 0,794 \text{ D/Y} \\ & + 0,0176 \text{ UST ISITICI} - 0,0382 \text{ DISK DİZİLİŞİ} \\ & + 0,0956 \text{ CI IMG} \end{aligned} \quad [7.2]$$

Çizelge 7.14. Lineer yoğunluk birinci regresyon analizi

| Predictor                                   | Coef       | SE Coef   | T      | P     |
|---------------------------------------------|------------|-----------|--------|-------|
| Constant                                    | 136,126    | 1,401     | 97,18  | 0,000 |
| HIZ                                         | -0,0032353 | 0,0004428 | -7,31  | 0,000 |
| CEKIM ORANI                                 | -30,1176   | 0,4428    | -68,01 | 0,000 |
| D/Y                                         | 0,7941     | 0,4428    | 1,79   | 0,079 |
| UST ISITICI                                 | 0,017647   | 0,0004428 | 3,99   | 0,000 |
| DISK DİZİLİŞİ                               | -0,03824   | 0,04428   | -0,86  | 0,392 |
| CI IMG                                      | 0,09559    | 0,05535   | 1,73   | 0,091 |
| S = 0,258202 R-Sq = 99,0% R-Sq(adj) = 98,9% |            |           |        |       |

D/Y, çekim oranı ve disk dizilişi faktörlerinin hariç tutulması ardından yapılan ikinci regresyon analizinde, R-sq değeri % 98,8 bulunmuş ve P değerleri incelendiğinde tüm faktörler 0,05 değerinden düşük olup; hepsinin bulunmuş olan ikinci regresyon eşitliğine yüksek ihtimalde etkisinin bulunduğu ifade edilebilir. Buna göre desiteks faktörlerin etkisini ihtiva eden nihai eşitlik [7.3]'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} DTEX = & 137 + 0,0176 \text{ UST ISITICI} - 30,1 \text{ CEKIM ORANI} \\ & - 0,00324 \text{ HIZ} \end{aligned} \quad [7.3]$$

Çizelge 7.15. Lineer yoğunluk ikinci regresyon analizi

| Predictor                                   | Coef       | SE Coef   | T      | P     |
|---------------------------------------------|------------|-----------|--------|-------|
| Constant                                    | 137,441    | 1,173     | 117,15 | 0,000 |
| UST ISITICI                                 | 0,017647   | 0,0004599 | 3,84   | 0,000 |
| CEKIM ORANI                                 | -30,1176   | 0,4599    | -65,48 | 0,000 |
| HIZ                                         | -0,0032353 | 0,0004599 | -7,03  | 0,000 |
| S = 0,268192 R-Sq = 98,9% R-Sq(adj) = 98,8% |            |           |        |       |

- Regresyon analizi: Mukavemet**

İplik mukavemetine göre yapılan regresyon analizinde, eşitlikteki faktörler tarafından % varyasyonu gösteren % 77,9 R(sq) değeriyle, faktörlerin etkisinin nispeten yüksek olduğu bir regresyon eşitliği sağlanmıştır. Ancak, P değerleri incelendiğinde, D/Y ve disk dizilişinin % 95 güvenlik aralığında yapılan regresyonuna göre 0,05 değerinden yüksek olması nedeniyle bu faktörlerin desiteks tepkisine olan etkisi ihmal edilecektir.

$$\begin{aligned} \text{MUKAVEMET} = & 3,00 + 0,00113 \text{ HIZ} - 0,526 \text{ CEKIM ORANI} \\ & + 0,044 \text{ D/Y} - 0,00553 \text{ UST ISITICI} \\ & - 0,0265 \text{ DISK DİZİLİŞİ} + 0,0254 \text{ CI IMG} \end{aligned} \quad [7.4]$$

D/Y ve disk dizilişi faktörlerinin hariç tutulması ardından yapılan ikinci regresyon analizinde, R-sq değeri 75,6 bulunmuş ve P değerleri incelendiğinde tüm faktörler 0,05 değerinden düşük olup (sadece CI dolama değeri 0,012 birim kadar yüksek); hepsinin bulunmuş olan ikinci regresyon eşitliğine yüksek ihtimalde etkisinin bulunduğu ifade edilebilir. Buna göre mukavemete faktörlerin etkisini ihtiva eden nihai eşitlik [7.5]'de verilmiştir.

Çizelge 7.16. Mukavemet birinci regresyon analizi

| Predictor                                          | Coef      | SE Coef   | T     | P     |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|-------|-------|
| Constant                                           | 2,9983    | 0,3202    | 9,36  | 0,000 |
| HIZ                                                | 0,0011294 | 0,0001012 | 11,16 | 0,000 |
| CEKIM ORANI                                        | -0,5265   | 0,1012    | -5,20 | 0,000 |
| D/Y                                                | 0,0441    | 0,1012    | 0,44  | 0,665 |
| UST ISITICI                                        | -0,005529 | 0,001012  | -5,46 | 0,000 |
| DISK DİZİLİŞİ                                      | -0,02647  | 0,01012   | -2,61 | 0,012 |
| CI IMG                                             | 0,02537   | 0,01265   | 2,00  | 0,051 |
| S = 0,0590302    R-Sq = 80,4%    R-Sq(adj) = 77,9% |           |           |       |       |

$$\begin{aligned} \text{MUKAVEMET } \text{cN/dtex} = & 2,95 + 0,00113 \text{ HIZ} - 0,526 \text{ CEKIM ORANI} \\ & - 0,00553 \text{ UST ISITICI} + 0,0254 \text{ CI IMG} \end{aligned} \quad [7.5]$$

Çizelge 7.17. Mukavemet ikinci regresyon analizi

| Predictor                                          | Coef      | SE Coef   | T     | P     |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|-------|-------|
| Constant                                           | 2,9454    | 0,2714    | 10,85 | 0,000 |
| HIZ                                                | 0,0011294 | 0,0001063 | 10,62 | 0,000 |
| CEKIM ORANI                                        | -0,5265   | 0,1063    | -4,95 | 0,000 |
| UST ISITICI                                        | -0,005529 | 0,001063  | -5,20 | 0,000 |
| CI IMG                                             | 0,02537   | 0,01329   | 1,91  | 0,062 |
| S = 0,0619842    R-Sq = 77,4%    R-Sq(adj) = 75,6% |           |           |       |       |

- Regresyon analizi: Uzama**

İplik kopma uzamasına göre yapılan regresyon analizinde, eşitlikteki faktörler tarafından % varyasyonu gösteren % 79,7 R-sq değeriyle, faktörlerin etkisinin nispeten yüksek olduğu bir regresyon eşitliği sağlanmıştır. Ancak, P değerleri incelendiğinde, CI IMG (sürekli dolama), D/Y ve disk dizilişinin % 95 güvenlik

aralığında yapılan regresyonuna göre 0,05 değerinden yüksek olması nedeniyle bu faktörlerin kopma uzaması tepkisine olan etkisi ihmal edilecektir.

$$\begin{aligned} \text{UZAMA \%} &= 89,2 + 0,0331 \text{ HIZ} - 46,3 \text{ CEKIM ORANI} + 3,97 \text{ D/Y} \\ &- 0,129 \text{ UST ISITICI} + 0,082 \text{ DISK DİZİLİŞİ} \\ &+ 0,962 \text{ CI IMG} \end{aligned} \quad [7.6]$$

Çizelge 7.18. Kopma uzaması birinci regresyon analizi

| Predictor                                  | Coef     | SE Coef  | T      | P     |
|--------------------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| Constant                                   | 89,25    | 12,77    | 6,99   | 0,000 |
| HIZ                                        | 0,033144 | 0,004038 | 8,21   | 0,000 |
| CEKIM ORANI                                | -46,326  | 4,038    | -11,47 | 0,000 |
| D/Y                                        | 3,971    | 4,038    | 0,98   | 0,330 |
| UST ISITICI                                | -0,12853 | 0,04038  | -3,18  | 0,003 |
| DISK DİZİLİŞİ                              | 0,0818   | 0,4038   | 0,20   | 0,840 |
| CI IMG                                     | 0,9618   | 0,5048   | 1,91   | 0,063 |
| S = 2,35455 R-Sq = 82,0% R-Sq(adj) = 79,7% |          |          |        |       |

CI IMG, D/Y ve disk dizilişi faktörlerinin hariç tutulması ardından yapılan ikinci regresyon analizinde, R-sq değeri % 79 bulunmuş ve P değerleri incelendiğinde tüm faktörler 0,05 değerinden düşük olup; hepsinin bulunmuş olan ikinci regresyon eşitliğine yüksek ihtimalde etkisinin bulunduğu ifade edilebilir. Buna göre kopma uzamasına faktörlerin etkisini ihtiva eden nihai eşitlik [7.7]'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{UZAMA \%} &= 97,6 + 0,0331 \text{ HIZ} - 46,3 \text{ CEKIM ORANI} \\ &- 0,129 \text{ UST ISITICI} \end{aligned} \quad [7.7]$$

Çizelge 7.19. Kopma uzaması ikinci regresyon analizi

| Predictor                                  | Coef     | SE Coef  | T      | P     |
|--------------------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| Constant                                   | 97,57    | 10,47    | 9,32   | 0,000 |
| HIZ                                        | 0,033144 | 0,004104 | 8,08   | 0,000 |
| CEKIM ORANI                                | -46,326  | 4,104    | -11,29 | 0,000 |
| UST ISITICI                                | -0,12853 | 0,04104  | -3,13  | 0,003 |
| S = 2,39282 R-Sq = 80,2% R-Sq(adj) = 79,0% |          |          |        |       |

- Regresyon analizi: Kaynama Çekmesi**

İplik kaynama çekmesine göre yapılan regresyon analizinde, eşitlikteki faktörler tarafından % varyasyonu gösteren % 12,3 R-sq değeriyle, faktörlerin etkisinin oldukça düşük olduğu bir regresyon eşitliği sağlanmıştır.

Ancak, P değerleri incelendiğinde, sadece hız faktörünün % 95 güvenlik aralığında yapılan regresyonuna göre 0,05 değerinden düşük olması nedeniyle sadece bu faktörün kaynama çekmesi tepkisine olan etkisi dahil edilecektir.

$$\begin{aligned} K. CEKMESE \% &= 6,65 + 0,00391 HIZ + 0,34 CEKIM ORANI \\ &- 0,21 D/Y - 0,0162 UST ISITICI \\ &- 0,164 DISK DİZİLİŞİ - 0,075 CI IMG \end{aligned} \quad [7.8]$$

Çizelge 7.20. Kaynama çekmesi birinci regresyon analizi

| Predictor                                   | Coef     | SE Coef  | T     | P     |
|---------------------------------------------|----------|----------|-------|-------|
| Constant                                    | 6,647    | 3,968    | 1,68  | 0,101 |
| HIZ                                         | 0,003915 | 0,001254 | 3,12  | 0,003 |
| CEKIM ORANI                                 | 0,344    | 1,254    | 0,27  | 0,785 |
| D/Y                                         | -0,212   | 1,254    | -0,17 | 0,867 |
| UST ISITICI                                 | -0,01621 | 0,01254  | -1,29 | 0,203 |
| DISK DİZİLİŞİ                               | -0,1635  | 0,1254   | -1,30 | 0,199 |
| CI IMG                                      | -0,0754  | 0,1568   | -0,48 | 0,633 |
| S = 0,731363 R-Sq = 22,2% R-Sq(adj) = 12,3% |          |          |       |       |

Sadece hız faktörünün dahil edilmesinin ardından yapılan ikinci regresyon analizinde, R-sq değeri % 14,5 bulunmuş ve P değerleri incelendiğinde hız faktörü 0,05 değerinden düşük olup; bu faktörün bulunmuş olan ikinci regresyon eşitliğine düşük ihtimalde etkisinin bulunduğu tekrardan ifade edilebilir. Buna göre kaynama çekmesine faktörlerin etkisini ihtiva eden nihai eşitlik [7.9]'da verilmiştir.

$$KAYNAMA CEKMESE \% = 2,66 + 0,00391 HIZ \quad [7.9]$$

Çizelge 7.21. Kaynama çekmesi ikinci regresyon analizi

| Predictor                                   | Coef     | SE Coef  | T    | P     |
|---------------------------------------------|----------|----------|------|-------|
| Constant                                    | 2,6625   | 0,6270   | 4,25 | 0,000 |
| HIZ                                         | 0,003915 | 0,001239 | 3,16 | 0,003 |
| S = 0,722193 R-Sq = 16,1% R-Sq(adj) = 14,5% |          |          |      |       |

- Regresyon analizi : CC %, Kıvrım Kısılması**

İplik kıvrım kısalmasına göre yapılan regresyon analizinde, eşitlikteki faktörler tarafından % varyasyonu gösteren % 31,7 R-sq değeriyle, faktörlerin etkisinin düşük olduğu bir regresyon eşitliği sağlanmıştır. Ancak, P değerleri incelendiğinde, CI IMG (sürekli dolama), D/Y, çekim oranı ve disk dizilişinin % 95

güvenlik aralığında yapılan regresyonuna göre 0,05 değerinden yüksek olması nedeniyle bu faktörlerin kıvrım kısılması tepkisine olan etkisi ihmal edilecektir.

$$\begin{aligned} \text{CC\%} = & - 10,1 - 0,00830 \text{ HIZ} + 3,02 \text{ ÇEKİM ORANI} + 1,68 \text{ D/Y} \\ & + 0,0564 \text{ UST ISITICI} + 0,269 \text{ DISK DİZİLİŞİ} \\ & + 0,235 \text{ CI IMG} \end{aligned} \quad [7.10]$$

Çizelge 7.22. Kıvrım kısılması birinci regresyon analizi

| Predictor                                        | Coef      | SE Coef  | T     | P     |
|--------------------------------------------------|-----------|----------|-------|-------|
| Constant                                         | -10,134   | 6,352    | -1,60 | 0,117 |
| HIZ                                              | -0,008303 | 0,002008 | -4,13 | 0,000 |
| ÇEKİM ORANI                                      | 3,021     | 2,008    | 1,50  | 0,139 |
| D/Y                                              | 1,679     | 2,008    | 0,84  | 0,407 |
| UST ISITICI                                      | 0,05638   | 0,02008  | 2,81  | 0,007 |
| DISK DİZİLİŞİ                                    | 0,2694    | 0,2008   | 1,34  | 0,186 |
| CI IMG                                           | 0,2346    | 0,2510   | 0,93  | 0,355 |
| S = 1,17095    R-Sq = 39,4%    R-Sq(adj) = 31,7% |           |          |       |       |

CI IMG, D/Y, çekim oranı ve disk dizilişi faktörlerinin hariç tutulması ardından yapılan ikinci regresyon analizinde, R-sq değeri %29,5 bulunmuş ve P değerleri incelendiğinde tüm faktörler 0,05 değerinden düşük olup; hepsinin bulunmuş olan ikinci regresyon eşitliğine düşük ihtimalde etkisinin bulunduğu ifade edilebilir. Buna göre kıvrım kısılmasına faktörlerin etkisini ihtiva eden nihai eşitlik [7.11]'de verilmiştir.

$$\text{CC\%} = - 1,05 - 0,00830 \text{ HIZ} + 0,0564 \text{ UST ISITICI} \quad [7.11]$$

Çizelge 7.23. Kıvrım kısılması ikinci regresyon analizi

| Predictor                                        | Coef      | SE Coef  | T     | P     |
|--------------------------------------------------|-----------|----------|-------|-------|
| Constant                                         | -1,046    | 4,209    | -0,25 | 0,805 |
| HIZ                                              | -0,008303 | 0,002040 | -4,07 | 0,000 |
| UST ISITICI                                      | 0,05638   | 0,02040  | 2,76  | 0,008 |
| S = 1,18957    R-Sq = 32,2%    R-Sq(adj) = 29,5% |           |          |       |       |

- **Regresyon analizi : CM%, Kıvrım Modülü**

İplik kıvrım modülüne göre yapılan regresyon analizinde, eşitlikteki faktörler tarafından % varyasyonu gösteren % 32,8 R-sq değeriyle, faktörlerin etkisinin düşük olduğu bir regresyon eşitliği sağlanmıştır. Ancak, P değerleri incelendiğinde, CI IMG

(sürekli dolama), D/Y, çekim oranı ve disk dizilişinin % 95 güvenlik aralığında yapılan regresyonuna göre 0,05 değerinden yüksek olması nedeniyle bu faktörlerin kıvrım modülü tepkisine olan etkisi ihmal edilecektir.

$$\begin{aligned} \text{CM\%} = & - 14,4 - 0,00772 \text{ HIZ} + 3,11 \text{ CEKIM ORANI} + 1,31 \text{ D/Y} \\ & + 0,0660 \text{ UST ISITICI} + 0,134 \text{ DISK DİZİLİŞİ} \\ & + 0,255 \text{ CI IMG} \end{aligned} \quad [7.12]$$

Çizelge 7.24. Kıvrım modülü birinci regresyon analizi

| Predictor                                  | Coef      | SE Coef  | T     | P     |
|--------------------------------------------|-----------|----------|-------|-------|
| Constant                                   | -14,431   | 6,155    | -2,34 | 0,023 |
| HIZ                                        | -0,007721 | 0,001946 | -3,97 | 0,000 |
| CEKIM ORANI                                | 3,109     | 1,946    | 1,60  | 0,117 |
| D/Y                                        | 1,309     | 1,946    | 0,67  | 0,504 |
| UST ISITICI                                | 0,06603   | 0,01946  | 3,39  | 0,001 |
| DISK DİZİLİŞİ                              | 0,1335    | 0,1946   | 0,69  | 0,496 |
| CI IMG                                     | 0,2551    | 0,2432   | 1,05  | 0,300 |
| S = 1,13454 R-Sq = 40,4% R-Sq(adj) = 32,8% |           |          |       |       |

CI IMG, D/Y, çekim oranı ve disk diziliş faktörlerinin hariç tutulması ardından yapılan ikinci regresyon analizinde, R-sq değeri % 32 bulunmuş ve P değerleri incelendiğinde tüm faktörler 0,05 değerinden düşük olup; hepsinin bulunmuş olan ikinci regresyon eşitliğine düşük ihtimalde etkisinin bulunduğu ifade edilebilir. Buna göre kıvrım modülüne faktörlerin etkisini ihtiva eden nihai eşitlik [7.13]'de verilmiştir.

$$\text{CM\%} = - 6,54 - 0,00772 \text{ HIZ} + 0,0660 \text{ UST ISITICI} \quad [7.13]$$

Çizelge 7.25. Kıvrım modülü ikinci regresyon analizi

| Predictor                                  | Coef      | SE Coef  | T     | P     |
|--------------------------------------------|-----------|----------|-------|-------|
| Constant                                   | -6,540    | 4,037    | -1,62 | 0,111 |
| HIZ                                        | -0,007721 | 0,001957 | -3,95 | 0,000 |
| UST ISITICI                                | 0,06603   | 0,01957  | 3,37  | 0,001 |
| S = 1,14094 R-Sq = 34,6% R-Sq(adj) = 32,0% |           |          |       |       |

- **Regresyon analizi : CS%, Mekanik Kıvrım Kalıcılığı**

İplik mekanik kıvrım kalıcılığına göre yapılan regresyon analizinde, eşitlikteki faktörler tarafından % varyasyonu gösteren % 21,0 R-sq değeriyle, faktörlerin etkisinin düşük olduğu bir regresyon eşitliği sağlanmıştır. Ancak, P değerleri incelendiğinde; CI IMG (sürekli dolama), D/Y, çekim oranı ve disk dizilişinin % 95 güvenlik aralığında yapılan regresyonuna göre 0,05 değerinden yüksek olması nedeniyle bu faktörlerin mekanik kıvrım kalıcılığı tepkisine olan etkisi ihmal edilecektir.

$$\begin{aligned} \text{CS\%} = & - 142 - 0,0587 \text{ HIZ} + 41,9 \text{ ÇEKİM ORANI} + 2,2 \text{ D/Y} \\ & + 0,639 \text{ UST ISITICI} + 1,82 \text{ DISK DİZİLİŞİ} \\ & + 5,74 \text{ CI IMG} \end{aligned} \quad [7.14]$$

Çizelge 7.26. Mekanik kıvrım kalıcılığı birinci regresyon analizi

| Predictor                                        | Coef     | SE Coef | T     | P     |
|--------------------------------------------------|----------|---------|-------|-------|
| Constant                                         | -142,43  | 76,50   | -1,86 | 0,069 |
| HIZ                                              | -0,05874 | 0,02418 | -2,43 | 0,019 |
| ÇEKİM ORANI                                      | 41,91    | 24,18   | 1,73  | 0,090 |
| D/Y                                              | 2,25     | 24,18   | 0,09  | 0,926 |
| UST ISITICI                                      | 0,6390   | 0,2418  | 2,64  | 0,011 |
| DISK DİZİLİŞİ                                    | 1,821    | 2,418   | 0,75  | 0,455 |
| CI IMG                                           | 5,742    | 3,023   | 1,90  | 0,064 |
| S = 14,1007    R-Sq = 29,9%    R-Sq(adj) = 21,0% |          |         |       |       |

CI IMG, D/Y, çekim oranı ve disk dizilişi faktörlerinin hariç tutulması ardından yapılan ikinci regresyon analizinde, R-sq değeri % 16 bulunmuş ve P değerleri incelendiğinde tüm faktörler 0,05 değerinden düşük olup; hepsinin bulunmuş olan ikinci regresyon eşitliğine düşük ihtimalde etkisinin bulunduğu ifade edilebilir. Buna göre mekanik kıvrım kalıcılığına faktörlerin etkisini ihtiva eden nihai eşitlik [7.15]'de verilmiştir.

$$\text{CS\%} = - 61,8 - 0,0587 \text{ HIZ} + 0,639 \text{ UST ISITICI} \quad [7.15]$$

Çizelge 7.27. Mekanik kıvrım kalıcılığı ikinci regresyon analizi

| Predictor                                        | Coef     | SE Coef | T     | P     |
|--------------------------------------------------|----------|---------|-------|-------|
| Constant                                         | -61,82   | 51,43   | -1,20 | 0,235 |
| HIZ                                              | -0,05874 | 0,02493 | -2,36 | 0,022 |
| UST ISITICI                                      | 0,6390   | 0,2493  | 2,56  | 0,013 |
| S = 14,5348    R-Sq = 19,2%    R-Sq(adj) = 16,0% |          |         |       |       |

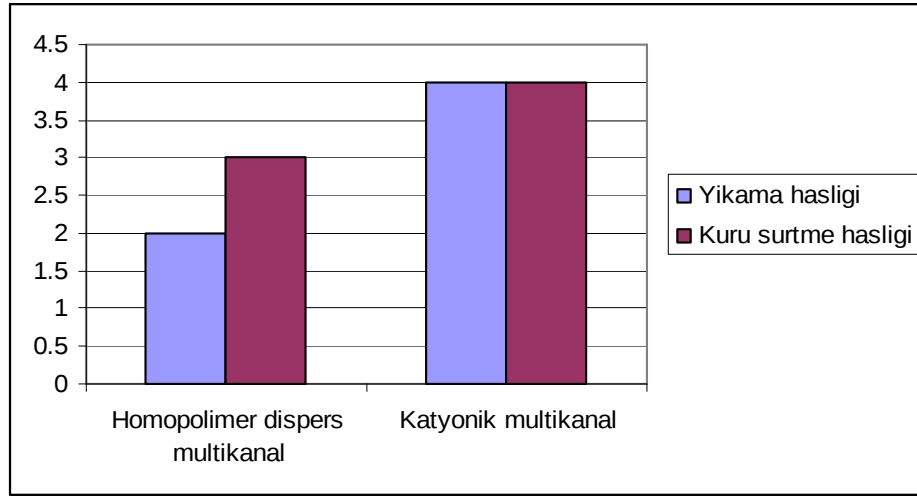
## 8. GELİŞTİRİLMİŞ ÜRÜNÜN ÖZELLİKLERİ

Giriş bölümüne önceden ifade edildiği üzere, tez kapsamında geliştirilmiş olan yeni ürün olan 78f47 altı kanallı katyonik boyanabilir kopolimer polyester tekstüre ipliğin birinci temel özelliği katyonik boyanabilir olmasıdır. Katyonik boyanabilirlik 100°C’de yapılır ve dolayısıyla 130°C’de yüksek basınçta dispers boyarmaddeler ile boyanan homopolimer polyestere göre daha düşük maliyetlidir. İlaveten katyonik boyanabilir kopolimer polyesterin yapısından kaynaklanan daha yumuşak bir tuşe söz konusudur. Şekil 8.1, altı kanallı aynı kesite sahip 78f47 homopolimer ve geliştirilmiş olan katyonik boyanabilir 78f47 tekstüre iplikten üretilmiş kumaşları göstermektedir. Homopolimer iplikle üretilmiş kumaş dispers, katyonik boyanabilir kumaş ise katyonik boyanmıştır. Şekil 8.1’den de görüleceği üzere katyonik boyanabilir polyester kumaşların renk tonları disperse göre daha canlıdır.



Şekil 8.1. Homopolimer dispers boyalı ve kopolimer katyonik boyalı kumaşlar

Katyonik boyanabilirliğin getirmiş olduğu diğer bir özellik ise yıkama ve kuru sürtme haslıklarının homopolimer dispers boyalı kumaşlara göre daha yüksek olmasıdır. Şekil 8.2, geliştirilmiş olan katyonik boyanabilir ürünün homopolimer dispers boyalı olan kumaşa göre haslık test mukayeselerini göstermektedir. Şekilden açıkça görüleceği üzere katyonik boyalı ürünün haslık değerleri daha yüksektir. Yıkama haslık testi Marks&Spencer C4a deterjan yıkama haslığı, 50°C, polyester lekeleme metoduna göre, kuru sürtme haslık testi ise Marks&Spencer C8 metoduna göre yapılmıştır.

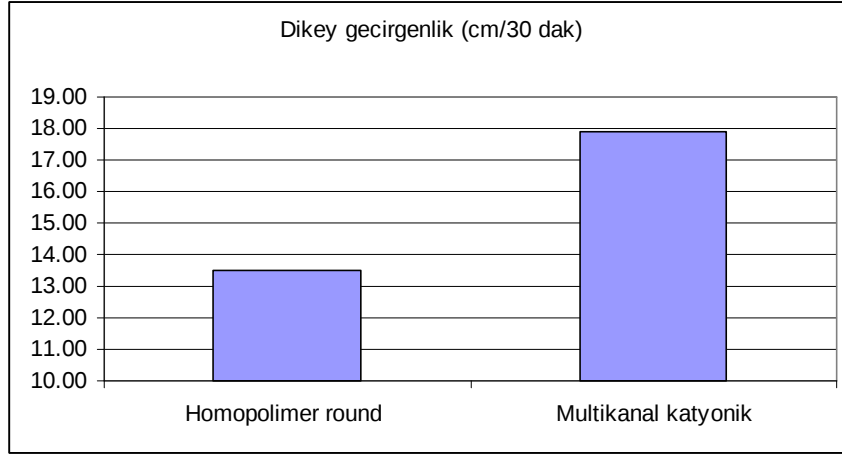


Şekil 8.2. Homopolimer dispers boyalı ve kopolimer katyonik boyalı kumaşların haslık mukayesesi

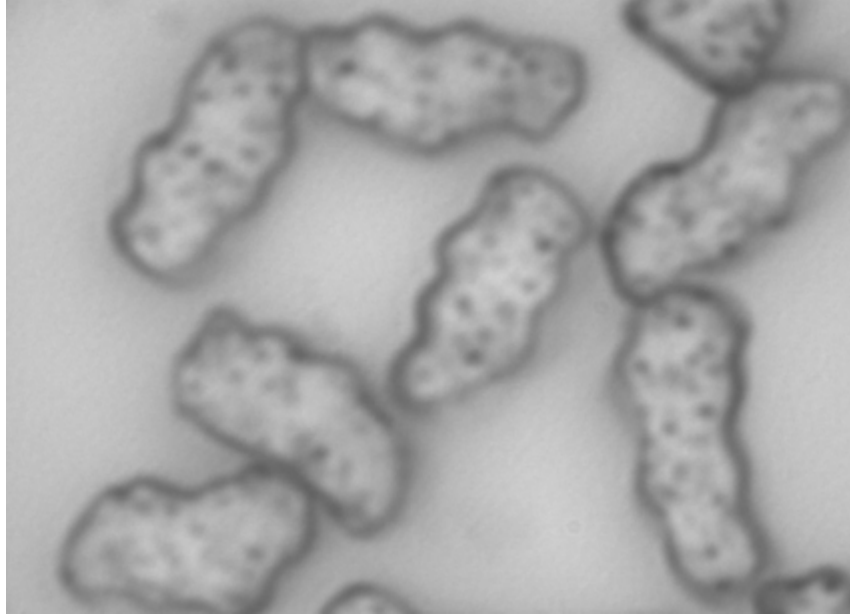
Geliştirilmiş ürünün 78 desiteks ve 47 filamentli ince lineer yoğunluğa sahip olması, ilave bir yumuşak, ipeksi bir tuşe kazandırmaktadır. Multikanallı kesit sayesinde elde edilen geniş filament yüzeyi daha yüksek bir nem transferi özelliği vermektedir. Bu karakteristik bilhassa aktif giyimde oldukça önemlidir. Kumaşın nem transfer kabiliyeti DuPont 1428-99 dikey nem emicilik (vertical wicking) test metoduna göre yapılmıştır. Bu testte 25 m genişliğinde, 170 mm boyunda kumaş numunesinin bir ucu çeneye kısıtılır. Kumaşın diğer ucu dikey pozisyonda 3 mm yüksekliğindeki 21°C sıcaklığındaki distile suya batırılır. 30 dakika sonunda kumaşta emilen suyun hızası cm olarak ölçülür. Yüksek nem emiş değeri daha iyi nem transferi kabiliyeti olarak kabul edilir.

Şekil 8.3, yuvarlak ve altı kanal kesitli tekstüre iplikten üretilmiş iki kumaşın dikey nem emicilik test neticelerini göstermektedir. Bu teste göre yuvarlak kesitli ürünün nem emiş değeri 13,5 cm/30 dak iken, altı kanal kesitli ürünün nem emiş değeri 17,9 cm/30 dak'dır. Bu değerler de multi kanallı filamentlerle üretilmiş kumaşların çok daha iyi nem transferine sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 8.4, POY ve yeni geliştirilmiş olan tekstüre ipliğin kesit resimlerini göstermektedir. Bu resimlere göre tekstüre prosesi sonrasındaki beklenen kesit deformasyonu söz konusudur, ancak nem transferini sağlayan altı kanallı yapı mevcuttur.



Şekil 8.3. Yuvarlak kesitli ve multi kanallı kumaşların nem emiş mukayesesi



Şekil 8.4. Tekstüre sonrası altı kanallı iplik kesit resmi

## 9. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

İçinde bulunduğumuz yüzyıl boyunca deney tasarımı konusunda büyük değişimler yaşanmış, endüstriyel ve daha genel anlamda kalite gelişimindeki başarısında deney tasarımının önemi ortaya çıkmış, bu tekniğin özellikle ürün geliştirme ve üretim kontrolündeki kullanımı ile ilgili çalışmalar bilim adamları tarafından gittikçe artan bir ilgiyle karşılanmıştır. Zaman içinde üretim proseslerinin performansını veya elindeki mevcut üretim sistemi alternatiflerini değerlendirmek isteyen ve bunun için deney tasarımı kullanımına ihtiyaç duyan kullanıcıların ihtiyaçları çeşitlenerek yeni deney tasarımlarının doğmasına yardımcı olmuştur.

Bilgisayar teknolojisi ve yazılımındaki hızlı gelişim, beraberinde deney planlaması ve deney tasarımı konusunda uzman istatistik paket programlarının kullanım ve ulaşılabilirliğinin giderek artması, bilgisayar destekli deney tasarımının önem kazanmasını sağlamıştır. Yakın zamana kadar sadece veri toplama aşamasında kullanılan bilgisayarlar günümüzde artık bilgisayar destekli deney tasarımı programlarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Onbaşı, 1999).

Araştırmacı genelde tepki değişkeni  $y$  ve tahmin değişkenleri  $x_1, x_2, \dots, x_k$  arasındaki ilişkiyi incelemek durumu ile karşı karşıya kalır. Çoğu durumda tepki ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin biçimi bilinmez. Araştırmacının tepki değişkeni  $y$  ve bağımsız değişkenler arasındaki bilinmeyen ilişkiye uygun bir model  $y=f(x_1, x_2, \dots, x_k)+\varepsilon$  ile yaklaşması gerekir. Fonksiyon  $f$  genellikle birinci dereceden veya ikinci dereceden polinomdur. Bu modele tepki yüzeyi denir.

“Tepki Yüzeyi Metodolojisi” veya RSM, ilgilenilen yanıtın uygun ve güvenilir ölçülerini verecek deney serileri yapmak (deneylerin bir serisini düzenlemek), seçilen düzenden toplanan veriye en iyi uyan matematiksel bir modeli, modelin parametrelerini ilgilendiren uygun hipotez testleri yaparak belirlemek ve yanıtın maksimum veya minimum değerini veren deney faktörlerinin optimal gruplarını belirlemeyi içeren bir seri tekniktir. RSM’ye kimya mühendisliği, endüstriyel gelişme ve süreç gelişimi, tarımsal ve biyolojik araştırmalar hatta bilgisayar simülasyonu gibi çok çeşitli alanlarda başvurulur (Kale,2001). Tez kapsamında da bahsi geçen metodolojinin tekstil alanında uygulaması yapılmıştır.

Tez kapsamında, kopolimer esaslı katyonik boyanabilir polyester POY ipliğinin yalancı büküm tekstüre prosesinde tekstüre edilerek, ticari olarak kullanılabilir ipliğin ürün tasarımı ve optimum proses şartının belirlenmesi hedeflenmiştir. Şu anda katyonik boyanabilir ince lineer yoğunluğa (78 dtex civarında) sahip multi kanallı ürün mevcut olmayıp, tekstüresi ile birlikte getirisi oldukça yüksektir. Polyester üretimi sırasında tereftalik asit yerine sülfözofthalik asit kullanılarak lif anyonik karakter kazanır. Modifikasyonla elde edilen bu liflere katyonik boyanabilir lifler denir. Bu lifler, anyonik yapısı nedeniyle katyonik boyarmaddelerle boyanabilir özelliktedir. Dispers ve katyonik boyarmaddelerle boyanabilen bu liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, dispers boyalarla boyanan homopolimer polyesterlere çok yakın oldukları için genellikle birlikte karıştırılır. Melanj efekti istenen döşemelik, dış giyim gibi yerlerde kullanılır. Katyonik boyarmaddelerle boyandığı için bahsi geçen materyal piyasada katyonik kumaş, katyonik iplik olarak bilinmektedir. Katyonik boyanabilir ipliklerle elde edilen kumaşlar; yumuşak tuşe, yüksek yıkama, kuru ve yaş sürtme haslıklarına ve parlak renk tonlarına sahiptirler. İplikteki multikanal kesit ise, yüzeyi genişletmekte ve nemi ciltten kumaşın dış yüzeyine çeken bir transfer sistemi oluşturmaktadır. Daha sonra da diğer tip kumaşlara göre daha hızlı kurumaktadır. Dolayısıyla tez kapsamında bahsi geçen materyal olarak 47 filamentli multi kanallı katyonik boyanabilir 78 dtex lineer yoğunlukta tekstüre ipliğin yalancı büküm tekstüre prosesinde ürün tasarımı ve optimum proses şartının tespiti yapılmıştır. Bunun için istatistiksel program olan Minitab ile deney tasarlanarak, Tepki Yüzeyi Metodolojisi'ne göre yürütülmüştür. Tepki Yüzeyi Metodolojisi kullanılmasının amacı ise; ön ısıtıcı sıcaklığı, disk dizilişi, D/Y oranı, çekim oranı, + besleme gibi en az beş faktörün olduğu fonksiyonun, ideal veya ticari olarak kabul edilebilir ürünün sahip olması gereken özelliklerine eğrisel bir etkisi olduğu, başka bir deyişle, lineer olmayan bir etkisinin olduğu ve tüm faktörlerin hepsinin birden etkisinin dikkate alınması gerektiği anlayışıyla bir tepki yüzeyi gerçekleştirilmiştir.

Her endüstriyel alanda olduğu gibi tekstilde de yeni ürün, yüksek performanslı üretim, müşteri ihtiyaçlarının karşılanması ve kısa sürede istenen

hedefe ulaşabilmek en mühim işletmecilik unsurlarıdır. Global rekabetin artması, markanın önem kazanması, yeni ürün gamının yükseltilmesi, müşteri kaybedilmemesi, maliyet analizi ve fonksiyonel tekstiller ve bunun gibi kavramlara tekstil sektörümüzün bilhassa itinayla üzerinde durması gerekmektedir. Ülkemiz ekonomisine en mühim katkıyı yapan sektörlerden biri olan tekstilin, bilimsel ve endüstriyel çalışma harmanlarıyla desteklenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, 54 deney test sonuçlarına göre tepki optimizasyonu yapılmış ve nihai olarak 0,77 kompozit istenilirliğe ulaşılmıştır. Tepki yüzeyi tasarımının analizi neticesinde elde edilmiş olan grafikler, tüm faktörlerin tepkilere göre ne şekilde değiştiğini, yapılan deneyin kompozit ve her bir tepkiye göre münferit istenilirliklerinin değerlerini de ihtiva etmektedir. Optimal çözümün ticari olarak kabul edilir ürün değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Ancak bu çözüm üzerinde tekrar bir detay çalışması yapıldığı taktirde, üretim hızının birinci öncelik sırasına sahip desiteks, mukavemet ve uzama değerleri üzerinde optimum çözümde olduğu görülmektedir, ancak önerilen 597 m/dak'lık hız 600'e çıkarılarak birinci dereceden öneme sahip tepkilerin tekil istenilirlik değerlerinde bir iyileştirme yapılmıştır. Çünkü desiteks olabilecek en alt seviyededir, mukavemet ve uzama değerleri de çözümün maksimum değerlerindedir. Bu durum D/Y oranında ve disk dizilişinde de aynıdır. Ancak çekim oranında mukavemet ve uzamayı artırmaya yönelik bir çekim oranı düşürülmesi iplik lineer yoğunluğunun artmasına sebep olacaktır. Bu durum da istenen iplik inceliğinin daha da artması anlamına gelmektedir. Isıtıcı sıcaklıklarının ise 198°C'ye düşürüldüğü taktirde mukavemet ve uzama değerlerinde bir artış olacaktır. Sürekli puntolamanın (CI IMG) artırılmasının mukavemet ve uzamanın da artmasını sağlayacağı da yine tepkilerden tespit edilebilmektedir. Bu vesileyle sürekli puntolama değeri de maksimum değere getirilmiştir. Böylelikle mukavemet tekil istenilirliği 0,33'ten 0,53'e çıkacaktır. Uzama değerinde de 0,48'lik bir tekil istenilirlikten 0,95'lere çıkan bir iyileştirme söz konusu olacaktır. Dolayısıyla ilk optimizasyondaki 0,77'lik bir kompozit (bileşik) istenilirlik değeri 0,78'e çıkarılmıştır.

133f47 altı kanal katyonik POY'un optimize edilen proses şartları ve homopolimer proses şartları ile mukayesesinde; sıcaklıklarda, çekimde, D/Y oranında, disk dizilişinde, IMG ve CI IMG basınçlarında farklı bir proses ortaya çıkarılmıştır. İlk şartlardaki, tasarımın optimizasyona göre tahmin ettiği ve optimize edilen (birinci ve ikinci optimizasyonlar) tekstüre iplik fiziksel değerleri mukayese edildiğinde, optimizasyona göre tahmin edilen değerler ile optimize edilen şartlara göre elde edilen ipliğin fiziksel değerleri çok ufak farklılıklara karşın aynıdır. Bununla birlikte ilk şartlara göre iplik değerleri çok iyi olup, hedeflenen ticari şartlara sahiptir.

Netice itibarıyla, tez kapsamında, yeni ürün veya proses / ürün optimizasyonu kavramlarına “Tekstilde Tepki Yüzeyi Metodolojisi” ile yaklaşılarak çalışmalar gerçekleştirilmiş olup; bilimsel adımlarla ilerlenerek elde edilmiş olan üretim şartları ve yeni ürün tasarımı, tekstil endüstrisinin üretim ve ürün optimizasyonu anlayışına bu kavramlarla ışık tutması beklenmektedir.

Bu çalışma, tekstüre prosesinde başka materyallerin geliştirilmesi ve optimizasyonunda kullanılabileceği gibi, diğer proses aşamalarında da değerlendirilebilir. Bu amaçla, polimer üretim aşamasında, polimerin reolojik özelliklerinden faydalanılarak lif çekilebilirliği ve POY karakteristiklerinin geliştirilmesinde kullanılabilir. Öte yandan POY üretim prosesindeki parametreler de detaylı olarak tepki yüzeyi tasarım sürecinde kullanılabilir. Sadece sentetik lif üretiminde değil, nihai kumaş üretiminde, kumaş özelliklerinin geliştirilmesinde de son derece önemli bir araç olacaktır.

## KAYNAKLAR

BARMAG Texturing Machine Catalogue, 1986, Germany.

CHATFIELD, C., 1979, Statistics for Technology, John Wiley & Sons Inc, New York, USA, 171.

COLEMAN, D.E., MONTGOMERY, D.C., 1993, A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment, Technometrics, 35, 1-27.

DEMİR, A., BEHERY, H. M., 1997, Synthetic Filament Yarn Texturing Technology, Prentice Hall Inc., USA.

DEMİR, A., 2006, Sentetik Filament İplik Üretim ve Tekstüre Teknolojileri, İTÜ Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

DENTON, M.J., 1971, New Yarns in The Textile Scene – Developments in False Twist Textured Yarn Technology, Fourth Shirley International Seminar, The Netherlands Congress Center, The Hague, Netherlands, 6-8 Oct.

DENTON, M.J., 1975, The Structural Geometry and Mechanics of False-Twist Textured Yarns, Journal of Textile Institute, Vol. 66, No:2, 80-86.

HAHN, G.J., 1985, More Intelligent Statistical Software and Statistical Expert Systems: Future Directions, The American Statistician, 39, 1-9.

HEARLE, J.W.S., HOLLICK, L., WILSON, D.K., 2001, Yarn Texturing Technology, The Textile Institute, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England. 256-257.

KALE, B., 2001, Deney Planlamasında Tepki Yüzeyi Denemeleri ve Bir Uygulama Denemesi, Yüksek Lisans Tezi, SBE, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

KANITATLI, A., 2002, Yalancı Büküm Tekstüre Yöntemiyle Polyester İplik Üretiminde Optimizasyona Yönelik Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, FBE, Adana.

MCINTOSH, B. M., 1980, Yarn Texturing in the 1980's, Shirley Institute Publication, High Speed Disc Texturing of Polyester – Factors Affecting Process Stability, Manchester, UK, April, S:39.

Minitab Help Menu.

- MONTGOMERY, D.C., RUNGER, G.C., 1999, Applied Statistics and Probability for Engineers, John Wiley and Sons, Inc. New York.1-3, 619-621, 705-719.
- MONTGOMERY, D.C., 1997, Design and Analysis of Experiments, 4th ed., John Wiley and Sons Inc., New York.
- MYERS, R.H., MONTGOMERY, D.C., 2002, Response Surface Methodology, John Wiley and Sons, Inc. New York.
- NACHTSHEIM, C.J., 1987, Tools for Compute Aided Design of Experiments, Journal of Quality Technology, 19, 132-157.
- ONBAŞI, C., 1999, Deneylerin Planlanması ve Deney Tasarımı Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, FBE, Ankara.
- ÖZKURT, Ö., 1999, Deney Tasarımı ve İstatistiksel Veri Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, FBE, İstanbul.
- PILLER, B., 1973, Bulkied Yarns, The Textile Trade Press, Manchester.
- SCHEIRS, J., LONG, T.E., 2003, Modern Polyesters: Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters, John Wiley and Sons Ltd., Sussex, England. 405, 425-426.
- SNEE, R.D., 1985, Compute Aided Design of Experiments Some Practical Experiences, Journal of Quality Technology, 17, 222-236.
- TAVANAI, H., DENTON, M.J. & TOMKA, J.G., 1997, The Twist-Related Structure of Yarns with Few Filaments, Journal of the Textile Institute, 88, No:2, 107-117.
- WULFHORST, B., 1983, Tekstil Üretim Yöntemleri, Carl Hanser Verlag München Wien, Şan Ofset, İstanbul. 59.
- [www.barmag.saurer.com](http://www.barmag.saurer.com) , Barmag Saurer Machinery Web Site, 2006.
- [www.itl.nist.gov](http://www.itl.nist.gov) , Information Technology Laboratory Web Site, 2006.
- [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com) , Statsoft Web Site, 2006.

## ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Kayseri’de doğan Işık İsmail İLBAY; ilk, orta ve lise öğrenimini Çankırı ve İstanbul’da tamamladı. 1993 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. Askerlik görevini 1994-1995 yıllarında yedek subay teknik şartname kısım amiri olarak Hv.K.K.lığı Dikimevi Md.lüğü Ankara’da tamamladı. İstanbul’da Lacoste ve Orjin Deri Konfeksiyon AŞ’de imalat mühendisi olarak çalıştıktan sonra, 1997-2002 yılları arasında Adana SASA AŞ’de CP İplik İşletmesi’nde Üretme ve Kalite Kontrol Şefi olarak hizmet verdi. 2002 yılı başında SASA DuPontSA AŞ (sonrasında Advansa SASA AŞ) bünyesinde kurulmuş olan Araştırma ve Geliştirme bölümünde kıdemli araştırma şefi olarak 2007 yılı nisan ayına kadar görev aldı. 2007 Mayıs ayı itibarıyla İspanya’da bulunan The Dow Chemical Company, Dow Fiber Solutions Araştırma ve Geliştirme Bölümü’ne transfer oldu. Halen Dow Chemical İspanya’da çalışmakta olup, evli ve iki çocuk babasıdır.