MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERİGRAFİ BASKIDA FARKLI BASKI ALTI MALZEMELERİ ÜZERİNE OPTİMUM MÜREKKEP SARFİYATININ TESPİTİ

CEM AKPOLAT

DOKTORA TEZİ
Basım Teknolojileri Anabilim Dalı

Basım Teknolojileri Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ahmet AKGÜL

İSTANBUL, 2025

MARMARA UNIVERSITY

INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES IN PURE AND APPLIED SCIENCES

DETERMINATION OF OPTIMUM INK CONSUMPTION ON DIFFERENT SUBSTRATES IN SCREEN PRINTING

CEM AKPOLAT

PHD. THESIS

Department of Printing Technologies

Thesis Supervisor

Prof. Dr. Ahmet AKGÜL

ISTANBUL, 2025

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERİGRAFİ BASKIDA FARKLI BASKI ALTI MALZEMELERİ ÜZERİNE OPTİMUM MÜREKKEP SARFİYATININ TESPİTİ

CEM AKPOLAT
(727118002)

DOKTORA TEZİ
Basım Teknolojileri Anabilim Dalı
Basım Teknolojileri Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ahmet AKGÜL

İSTANBUL, 2025

MARMARA UNIVERSITY

INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES IN PURE AND APPLIED SCIENCES

DETERMINATION OF OPTIMUM INK CONSUMPTION ON DIFFERENT SUBSTRATES IN SCREEN PRINTING

CEM AKPOLAT
(727118002)

PHD. THESIS

Department of Printing Technologies

Thesis Supervisor

Prof. Dr. Ahmet AKGÜL

ISTANBUL, 202

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında, bana sürekli desteğini ve rehberliğini sunan başta tez danışmanım hocam Prof. Dr. Ahmet AKGÜL olmak üzere, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Mehmet OKTAV'a, tez çalışmalarım için desteğini sunan ve sürekli kontrollerde bulunan Dr. Öğr. Üyesi Orhan SEVİNDİK'e, makale yazım sürecinde, teknik problemlerin çözümünde, yol/yöntem göstermede desteğini sunan Prof. Dr. Sinan SÖNMEZ'e, bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren Prof. Dr. Türkün ŞAHİNBAŞKAN'a, akademik birikimlerinden faydalandığım, Basım Teknolojileri Bölümü tüm öğretim üyeleri hocalarıma şükranlarımı sunarım.

Teknik konularda yardımcı olan Prof Dr. Hatice ÇITAKOĞLU'na, makale yazım sürecinde yol gösteren, Dr. Öğr. Üyesi Esenay ARSLAN'a teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında destek olan, sınıf arkadaşım Öğr. Gör. Dr. Samed Ayhan ÖZSOY'A ve Dr. Nehar KEŞAN'a, ERNAM nanoteknoloji merkezine, deney tecrübelerini aktaran Dr. Öğr. Üyesi Nuri Burak KİREMİTLER'e teşekkür ederim.

Deney modelleme sürecinde yol gösteren, teknik çözümlemelerde analitik çözümler üreterek, değerli vaktini ayıran sayın Dr. Müjgan Naycı DUMAN'a teşekkür ederim.

Test baskılarım için tüm imkanlarını sunan İzmir SMT Serigrafi'ye ve gerek teorik bilgisi gerek teknik desteğiyle sürekli yanımda olan SMT Serigrafi genel müdürü Sayın Levent KONCAGÜL'e teşekkür ederim.

Adını anamadığım, bu süreçte emeğe geçen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yaşadığım yoğun tempolu tez sürecimde yanımda olan, destek olan sevgili aileme, anneme ve babama teşekkür ederim.

Ocak 2025 **Cem AKPOLAT**

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **i**
İÇİNDEKİLER ..... **ii**
ÖZET ..... **v**
ABSTRACT ..... **vi**
YENİLİK BEYANI ..... **vii**
SEMBOLLER ..... **viii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ŞEKİLLER ..... **x**
TABLO LİSTESİ ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Amaç ve Önem 2
1.2. Kapsam 2
2. GÜNCEL TEKNİKLER-SERİGRAFİ BASKI HAKKINDA TEMEL BİLGİLER **3**
2.1. Serigrafi Baskı Sistemi **3**
2.1.1. Tarihsel köken 3
2.1.2. Güncel üretim metotları 6
2.2. Baskı Kalıbı Dokumaları **10**
2.2.1. Doğal ipekli dokumalar 11
2.2.2. Sentetik iplikli dokumalar 11
2.2.3. Metal dokumalar 13
2.2.4. Dokuma sıklığı seçimi 14
2.3. Kalıp Çerçeveleri **16**
2.3.1. Ahşap çerçeveler 16
2.3.2. Alüminyum çerçeveler 17
2.3.3. Çelik çerçeveler 18
2.4. Kalıp Emülsiyonları **18**
2.4.1. Diazo tek kür emülsiyonlar 19

2.4.2. Saf polimer emülsiyonlar 19
2.4.3. Diazo çift kür emülsiyonlar 19
2.5. Serigrafi Baskı Makineleri.....20
2.5.1. Mekanik serigrafi tezgahı.....20
2.5.2. Yarı otomatik serigrafi baskı makinesi 21
2.5.3. Tam otomatik serigrafi baskı makinesi 22
2.6. Serigrafide Kullanılan Baskı Altı Materyalleri 23
2.7. Serigrafi Baskı Mürekkepleri 24
2.8. Pozlama Sistemleri 25
2.9. Rakleler 26
2.9.1. Rakle sertlikleri 26
2.9.2. Rakle profil yapıları.....27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....28
3.1. Materyal.....28
3.1.1. Deney çalışmalarında kullanılan baskıaltı materyalleri 28
3.1.1.1. Kuşe etiket kağıdı.....28
3.1.1.2. Şeffaf PVC etiket.....29
3.1.1.3. Mat şeffaf PVC.....30
3.1.1.4. Taş kâğıt (Stone paper).....30
3.1.2. Deney çalışmalarında kullanılan mürekkepler.....34
3.1.2.1. Basılabilirlik deneyinde kullanılan mürekkepler 34
3.1.2.2. Taguchi deney modelinde kullanılan mürekkepler 34
3.1.3. Deney çalışmalarında kullanılan dokumalar 34
3.2. Yöntem.....35
3.2.1. Basılabilirdik analizlerinde kullanılan yöntemler 35
3.2.1.1. Işık haslığı 35
3.2.1.2. ΔE renk farkı 37
3.2.1.3. Sürtünme direnci (rub resistance).....38
3.2.1.4. Yüzey enerjisi/Yüzey temas açısı.....39
3.2.1.5. Kütle ölçümleri 41
3.2.1.6. SEM ölçümleri 41
3.2.2. Taguchi deney tasarımı 41

3.2.3. Test baskıları 42
3.2.3.1. Basılabilirlik analizleri için test baskıları 42
3.2.3.2. Taguchi deney tasarımı için test baskıları 43
4. BULGULAR 47
4.1. Basılabilirlik Analiz ve Bulguları 47
4.1.1. Işık haslığı 47
4.1.2. Emicilik ve mürekkep sarfiyatı 49
4.1.3. Yüzey temas açısı 50
4.1.4. SEM görüntüleri 51
4.1.5. Sürtünme Direnci 53
4.2. Taguchi Deney Analizi.....56
4.2.1. Deneylerde izlenen yol 56
4.2.2. Deney sonuçları ve analizi 61
5. SONUÇ ve TARTIŞMA 68
KAYNAKLAR.....69
ÖZGEÇMİŞ 75

ÖZET

SERİGRAFİ BASKIDA FARKLI BASKI ALTI MALZEMELERİ ÜZERİNE OPTİMUM MÜREKKEP SARFİYATININ TESPİTİ

Serigrafi baskı, basılı mamül üretiminde kullanılan, çok farklı alanlara hizmet eden bir tekniktir. Çok farklı nitelikte mürekkep çeşidi, baskıaltı malzemesi, dokuma sıklığı kullanmaktadır. Her baskıaltı malzemesi farklı nitelikte kuruma çeşitli, mürekkep ihtiyacı ve bunun gibi değişen parametreler tercih etmektedir. Yapılan çalışmada, serigrafi baskı sisteminde çok farklı sayıda olan bu değişkenler içinden en uygun olanı saptamak için optimizasyon deneyleri yapılmıştır. Daha çok grafik endüstrisine hizmet veren düzgün yüzeyli baskıaltı malzemeleri seçilmiştir. Deneyler sırasında serigrafi baskının hedef kitlesine cevap verebilecek taş kağıt üzerinde basılabilirlik ve optimizasyon deneyleri yapıldı. Bu tezde kuşe etiket kağıt, taş kağıt, şeffaf PVC etiket ve mat-şeffaf PVC malzeme üzerindeki mürekkep sarfiyatı incelenmiştir. Taguchi metodu kullanılarak mürekkep sarfiyatı için optimize bir model üretilmiştir. Belirlenen parametreler içinde mürekkep çeşidi ve viskozitesinin, sarfiyat üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. Ayrıca taş kağıdın su ve yağ direnci sebebiyle serigrafinin hizmet ettiği dış mekan baskılarına uygun olduğu, basılabilirlik testlerinde kuşe etiket kağıdı kadar başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Taş kağıt, yapısının çoğu doğal mineraller olduğu için çevreye daha az zararlı ve PVC gibi petrol esaslı baskıaltı materyallerine alternatif olarak öne çıkmaktadır.

ABSTRACT

DETERMINATION OF OPTIMUM INK CONSUMPTION ON DIFFERENT SUBSTRATES IN SCREEN PRINTING

Screen printing is a technique used in the production of printed materials, serving a wide range of applications. Screen printing is a widely used technique in the service industry with a wide range of applications. It involves a variety of ink types, substrates, and mesh counts, each tailored to the specific requirements of the process. Every substrate possesses unique characteristics, such as drying behavior and ink consumption, leading to diverse process parameters. In this study, optimization experiments were conducted to identify the most suitable parameters among these numerous variables within the screen printing system. To better align with the needs of the graphic industry, smooth-surfaced substrates were selected. The experiments focused on the printability and optimization of stone paper, aiming to meet the expectations of the target audience of screen printing. This thesis examines ink consumption on coated stickers, stone paper, transparent PVC stickers, and matte-transparent PVC materials. Using the Taguchi method, an optimized model was developed to reduce ink consumption. Among the identified parameters, ink type and viscosity were found to have the most significant effect on ink usage. Furthermore, it was concluded that stone paper, due to its water and oil resistance, is highly suitable for outdoor printing applications commonly served by screen printing. Printability tests demonstrated that stone paper performs as well as coated paper stickers, making it a viable alternative for such applications. Stone paper is an alternative to petroleum-based substrates such as PVC, which is less harmful to the environment as most of its structure is made of natural minerals.

YENİLİK BEYANI

Bu tez çalışmasında çok farklı alanlara hizmet eden serigrafi baskıda, sektörde ampirik bilgilerle uygulanan üretim teknikleri için, bilimsel yöntemlerle deney tasarım modeli geliştirdi. Özel sektörün konvansiyonel yöntemlerle yaptığı baskı üretimlerine, mürekkep sarfiyatı gereğinden fazla olmakta, malzeme ve emek kaybı meydana gelmektedir. Yapılan literatür çalışmasında, üretimde önemli olan serigrafi baskı parametreleriyle, grafik endüstrisinde sık kullanılan baskıaltı malzemelerine bir mürekkep optimizasyon çalışmasına, serigrafi baskı tekniğiyle çevreye duyarlı olan taş kağıt üzerine basılabilirlik analizlerine rastlanmamıştır. Bu doğrultuda yapılan deney çalışmalarında, önemli görülen üretim parametreleri optimize edildi, çıkan model sonucunda, elek sıklığı ile mürekkep türü/viskozitesinin sarfiyattaki etkisi ortaya konuldu. Bunun yanında, geleneksel (selüloz esaslı ve petrol esaslı) baskıaltı malzemelerine alternatif olarak çevre dostu bir materyal olan taş kağıt üzerinde serigrafi baskı yapılabilirliği ilk kez kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Taş kağıdın yüksek su ve yağ direnci ile dış mekan baskıları için uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yapılan testlerde taş kağıt, baskı kalitesi açısından kuşe etiket kağıdının baskı sonucu kadar başarılı sonuçlar vermiştir. Optimizasyon deneyleri sonucunda, mürekkep sarfiyatında belirgin bir azalma sağlanmış ve bu durum, serigrafi baskı süreçlerinin hem çevresel hem de ekonomik etkilerini iyileştirme potansiyeli sunmuştur. Serigrafi baskıda taş kağıt kullanımı, çevresel sürdürülebilirlik açısından yenilikçi bir çözüm önerisi olarak literatüre katkı sunmaktadır.

Bu tez çalışmasının sonucunda, bir Sci-expanded makale yayınlanmıştır.

Basılmış yayın; Print Quality Analysis of Stone Paper and Coated Sticker Paper Used in Screen Printing, Applied Sciences, Vol.14, Issue 15, https://doi.org/10.3390/app14156668

Prof. Dr. Ahmet AKGÜL **Cem AKPOLAT (M.Sc.)**

SEMBOLLER

ΔE **:** Renk Sapması (Renk Farkı)

η **:** Viskozite (cP, Pa.s)

L* **:** Lightness

a* **:** Kırmızı/yeşil değeri

b* **:** Mavi/sarı değeri

m² **:** Metrekare

Rpm **:** Dakika Devir Sayısı

D50 **:** Işık kaynağı

µL **:** Mikrolitre

KISALTMALAR

PA **:** Poliyamid

CIE **:** The International Commission on Illumination

ISO **:** International Organization for Standardization

LAB **:** Lightness a (kırmızı-yeşil ekseni) b (sarı-mavi ekseni)

LPC **:** Line per Centimeter

TPC **:** Thread per Centimeter

ICC **:** International Color Consortium

UV **:** Ultraviyole

SEM **:** Scanning Electron Microscope

PVC **:** Polyvinly Cloride

LDPE **:** Düşük Yoğunluklu Polietilen

HDPE **:** Yüksek Yoğunluklu Polietilen

ŞEKİLLER

Şekil 2.1 Bir Katagami baskı eleği (sol resim) ve bu dokuma türüyle basılmış Katazome tekniği bir tekstil baskılı giysi **4**
Şekil 2.2. Polinezyalılar tarafından üretilen tapa kumaşı **5**
Şekil 2.3. The Marilyn Diptych, Andy Warhol tarfından 1962 yılında Marilyn Monroe'yu tasvir eden bir tablodur. **6**
Şekil 2.4. Serigrafi baskı tekniği **7**
Şekil 2.5. Serigrafi baskının üç boyutlu gösterimi **7**
Şekil 2.6. Elek dokuması üzerine emülsiyon sürme işlemi **9**
Şekil 2.7. El tezgahında baskı işlemi **9**
Şekil 2.8. Polyamid dokumalar **11**
Şekil 2.9. Polyamid 6.6 (PA6.6) bileşiğinin yapısal formülü. **12**
Şekil 2.10. Polyester tek iplikli dokuma **12**
Şekil 2.11. Paslanmaz çelik dokuma görüntüsü **13**
Şekil 2.12. Farklı materyallerden üretilen dokumaların karşılaştırmalı görüntüsü **14**
Şekil 2.13. Birikmiş mürekkep sütunları; T: cm başına diş sayısı (tpc), d: diş çapı (cm), D: dokuma kalınlığı (cm), e: emülsiyon kalınlığı (cm), w: iki iplik arasındaki mesafe (cm) **15**
Şekil 2.14. Ahşap çerçeveli elekler. **16**
Şekil 2.15. Alüminyum çerçeveli elek. **17**
Şekil 2.16. Çelik çerçeveli elekler. **18**
Şekil 2.17. Metal tablalı mekanik el tezgahı **21**
Şekil 2.18. Yarı otomatik serigrafi baskı makinesi. **22**
Şekil 2.19. Tam otomatik serigrafi baskı makinesi. **23**
Şekil 2.20. Raklelerin, renklerine göre sertlik dereceleri. **27**
Şekil 2.21. Raklelerin profil yapıları. **27**
Şekil 3.1. Mekanik odun hamurlu kaplanmamış kağıt ve kuşe kâğıdın yan yana görüntüsü **29**
Şekil 3.2. PVC bileşiğinin yapısal formülü. **29**

Şekil 3.3. Mat şeffaf PVC tabaka. **30**
Şekil 3.4. Taş kağıt üretiminde solvent döküm yöntemi **32**
Şekil 3.5. Film üfleme ekstrüzyon yöntemi **33**
Şekil 3.6. Döküm film ekstrüzyon yöntemi **33**
Şekil 3.7. Işık haslığı değerlendirmesi için kullanılan ISO Mavi Yün Standardı (ISO Blue Wool Standard). **36**
Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan sürtünme testi cihazı **39**
Şekil 3.9. Yüzey temas açısı ve ıslatma ilişkisi..... **40**
Şekil 3.10. Temas açısı ölçüm cihazı **40**
Şekil 3.11. Basılı numunelerin görüntülendiği SEM cihazı **41**
Şekil 3.12. Basılabilirlik analizinde kullanılan serigrafi baskı makinesi **43**
Şekil 3.13. Deneyde kullanılan ATMA AT-80PD yarı otomatik serigrafi baskı makinesi..... **44**
Şekil 3.14. ATMA AT-80PD serigrafi makinesinde test baskıları **45**
Şekil 3.15. Serigrafi makinesinde basılan test baskılı örnekler..... **46**
Şekil 4.1. Işık haslığı testlerinde 168 saatlik ışık maruziyetinden sonra görülen mavi yün test skalası. **47**
Şekil 4.2. Test baskılı kağıtların 168 saatlik ışık haslığı testlerinden sonraki görünümü. **47**
Şekil 4.3. Baskısız kağıtların yüzey temas açıları ve zamana bağlı değişimleri **49**
Şekil 4.4. Solvent bazlı mürekkep ve 120 tpc dokumayla basılmış kağıtların SEM görüntüleri. **52**
Şekil 4.5. 120 tpc dokuma sıklığıyla, solvent bazlı mürekkep baskılı kağıtların 500 kat büyütülmüş SEM görüntüleri. Her iki yüzey de zemin baskılıdır. **53**
Şekil 4.6. Taş kağıt ve kuşe etiket kağıdın mürekkep sürtünme dirençleri. **55**
Şekil 4.7. Mürekkep kullanımına yönelik S/N oranlarının ana etki grafiği. **62**
Şekil 4.8. Mürekkep tüketiminin faktörler bazında seviyelere göre ortalama değer grafiği.. ..... **63**
Şekil 4.9. Dört farklı mürekkep, kağıt türü ve dokuma sıklığı ile basılan numunelere ait ölçülen ağırlıklarına (g) göre verilen mürekkep sarfiyatları. **63**
Şekil 4.10. Ölçülen sarfiyat değerlerinin standard sapma grafiği. **64**

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Basılabilirlik analizinde kullanılan kağıtların teknik özellikleri **34**
Tablo 3.2. Mavi Yün Skalasına'na göre mürekkeplerin ışık haslığı derecesi **37**
Tablo 3.3. Taguchi deneyinde kullanılan araç ve materyaller.....**44**
Tablo 4.1. Işık haslığı testi öncesi densite ve L*a*b* ölçümleri **48**
Tablo 4.2. Işık haslığı testi sonrası taş kağıdın ve kuşe etiket kağıdının ΔE00 değerleri. **48**
Tablo 4.3. Kağıtların baskı sonrası mürekkep densite ölçümleri.....**50**
Tablo 4.4. Mürekkep sarfiyat ölçümleri. **50**
Tablo 4.5. Taş kağıt ve kuşe kağıdın sürtünme direnci. **53**
Tablo 4.6. Solvent bazlı mürekkep baskılarının yapıldığı baskıaltı materyallerin sürtünme direnci testinden sonra ΔE değerleri.....**55**
Tablo 4.7. Girdi faktörleri ve seviyeleri.....**57**
Tablo 4.8. İki seviyeli L16 parametre tablosu **57**
Tablo 4.9. L16 tablosu, parametre arası etkileşim olmayan tasarım **58**
Tablo 4.10. Varsayımsal 1/8 kesirli faktöriyel tasarım tablosu **60**
Tablo 4.11. Mürekkep sarfiyatı için model özeti.....**64**
Tablo 4.12. Mürekkep sarfiyatı ait ANOVA özeti. **64**
Tablo 4.13. Mürekkep tüketimi için tek numune t-test özeti.....**65**
Tablo 4.14. Ortoganal dizi L16 için hazırlanan deney tasarımının ölçüm sonuçları.**66**

BÖLÜM I.

1. GİRİŞ

Baskı teknikleri temel olarak, bir duygu ya da düşünceyi somut bir ortama/medyaya aktarmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Mağara duvarlarına aktarılan resimlerde de insanların aynı amacı taşıdığı düşünülmektedir.

Her baskı tekniği, belli yüzyılları kapsayacak şekilde kendi çağının ihtiyacına cevap vermiştir. Tipo baskı, bulunuşuyla beraber, bir ihtiyaca cevap vermenin ötesinde Reform, Rönesans hareketinin ve aydınlanma çağının taşıyıcısı olmuştur [1,2]. Tipografi ya da tipo baskı denilen bu teknik, 15. yüzyılda icat olup 16.-20. yüzyıllar arasında aktif olarak kullanılmıştır.

Temeli litografiye dayanan ofset baskının, üç silindirli makinesinin 1905 yılındaki icadı, tipo baskının yerini yavaş yavaş ofset baskıya bırakmasına yol açmıştır. Kimya alanındaki gelişmeler, ofset baskıda reprodüksiyon tekniklerine aktarılmış; böylece baskıda görüntü kalitesinin artmasına, yazılı/görsel basının ve daha kaliteli renkli baskının üretildiği bir teknik olmasına katkı sağlamıştır. Bu teknik gelişmelerle birlikte, ofset baskı tekniği, 20. yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte tipo baskının yerini almaya başlamıştır [3].

Ofset baskı özellikle pandemi süreciyle birlikte, kitle iletişim ihtiyacına cevap verdiği gazete ve dergi yayıncılığı alanında, yerini dijital yayıncılığa bırakmaya başlamıştır. Ambalaj basımı alanında ise ofset baskı önemini korumaya devam etmektedir.

Endüstriyel üretime dönük baskı alanları içinde serigrafi baskı özel bir yer tutmaktadır. Yaklaşık olarak ikibin yıl önce şablon baskı tekniği olarak ortaya çıkan bu teknik; dünyada -ofset ve tipo kadar- kitlesel üretim tekniği olmamakla birlikte, zaman içinde birçok alana yayılarak hizmet etmeye devam etmiştir. 20. yüzyılla birlikte baskı kalitesi artarak, güzel sanatlardan grafik endüstrisine, tekstil baskıdan iletken mürekkep baskısına kadar geniş bir alanda varlığını sürdürmektedir.

Bu çok yönlü alanların ihtiyacına cevap veren serigrafi baskı tekniğinin kültürel, endüstriyel, teknik alandaki kullanımı ve öneminden dolayı; bu baskının uzun yıllar boyunca varlığını koruyacağı görülmektedir.

1.1. Amaç ve önem

Genel olarak “grafik endüstrisi” adıyla da isimlendirilen basım endüstrisinde önemli bir yeri olan serigrafi baskıyla ilgili standardizasyon işlemleri oldukça zordur. Bunun nedeni serigrafi baskı tekniğinin doğasından kaynaklanmaktadır. Çünkü serigrafi baskının en önemli avantajı hem farklı yüzeylere baskı yapabilmesi hem de yüksek doygunlukta mürekkep transferi gerçekleştirebilmesidir. Her iki özellik de diğer baskı tekniklerinde çok olanaklı değildir.

Bu iki avantaj, duruma göre dezavantaja da dönebilmektedir; çünkü istenen doygun mürekkep aktarılırken, kontrol edilmediği durumlarda gereğinden fazla mürekkep transferi gerçekleşmektedir.

Amaç, hem grafik endüstrisinde kullanılan baskıaltı materyallerinde kullanılan mürekkep sarfiyatında parametre optimizasyonu yapmak, hem de kullanılacak bu farklı baskıaltı materyallerinin basılabilirlik yönünden uygunluğunu kontrol etmektir.

1.2. Kapsam

Araştırmanın kapsamı, tabaka baskı altı malzemeler üzerinde sınırlandırılmıştır. Grafik endüstrisinin üretim yaptığı ürünler, ağırlıklı olarak tabaka materyallerdir. Selülozik esaslı kağıt ve karton tabakalar, polimer esaslı taşıyıcı materyaller, bilgi/görsel iletmede sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmada bu baskıaltı materyallerin; mürekkep tutma, taşıma, renk doygunluğu ve mürekkep sarfiyatları incelenecektir.

Bahsedilen bu baskıaltı materyalleri, düz yataklı (flat-bed) serigrafi baskı sistemlerinde üretimden geçmektedir. Bu tabaka makineler ve tabaka baskı kalıpları/çerçeveleri tezin kapsamında incelenecektir.

Grafik endüstrisine hizmet eden, düzgün yüzeylere sahip olan baskıaltı malzemeleri üzerine baskı yöntemi incelenecektir.

Bölüm II. Güncel Teknikler- Serigrafi Baskı Hakkında Temel Bilgiler

2.1. Serigrafi Baskı Sistemi

2.1.1. Tarihsel köken

Serigrafi tarihi konusunda birçok spekülasyon vardır ve bunların birbiri ile tutarsız olduğu görülmektedir. Serigrafinin kökenine dair en yaygın kabul gören bilgi, bu tekniğin ilk olarak 2. veya 3. yüzyılda Çin'de kullanılmaya başlandığıdır. Bunun dayanağı olarak da, yaklaşık iki bin yıllık bir geçmişe dayanan ve şablon kullanılarak yapılan Çin tekstil baskıları gösterilmektedir [4].

Başka bir kaynakta ise; bilinen haliyle serigrafi baskı tarzı, Çin'deki Song Hanedanlığı Sanatı dönemine, yaklaşık MS 960 - 1279'a kadar uzanmaktadır. Bugün modern serigrafi baskı çerçevesi olarak anlaşılan, matris olarak da bilinen özel şablonların yaratılmasında Çinli sanatçılar tarafından gerçekten dikkate değer bir ifade ve ustalık düzeyine ulaşıldı. Bu tür şablonların yapımı son derece karmaşık bir işlemdi. Şablonu oluşturan küçük parçalar, mürekkebin mükemmel bir şekilde geçmesini sağlayan insan saçıyla birbirine yapıştırılmıştır. Japonya'da bu şekilde benimsenip yeniden tanımlanan bu şablon, 1907 civarında Avrupa'ya ulaşmıştır [5].

Japonlar, şablonla baskı tekniğinde, boyaya dayanıklı kâğıtlar geliştirme konusunda ustalık kazanmışlardır. Bu kâğıtlar, 'cennet hurması' veya 'Japon hurması' olarak bilinen meyve ile kâğıt yüzeyinin kaplanması yoluyla elde edilen ve 'Yoshino' adı verilen özel kâğıtlardır. Sung Hanedanlığı döneminde ise kappazuri-e olarak adlandırılan Japon şablon baskıları üretilmiştir. Bu baskılar, kasnaklara büyük bir hassasiyetle sabitlenen insan saçlarının, daha sonra şablonların üzerine yapıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Şablonlar, oldukça karmaşık desenlerde olabilmekteydi. Bu nedenle, desenin şablonu hazırlanırken çıkarılan parçalar daha sonra kasnağa yeniden eklenmiştir [6]. Kasnaklarda hazırlanan şablonların üzerine dökülen boyalar ise çeşitli sıyırıcılar yardımıyla tekstil yüzeyine aktarılmıştır [4].

Dünya Fuarlarında gösterilen Japon tekstillerinin başarısı sayesinde İngiltere ve Fransa'daki zanaatkarlar, kumaş üzerine baskı yapmak için emdirilmiş kağıttan şablonlarla ipekten yapılmış serigrafiler kullanmaya başlamışlardır [5] .



Şekil 2.1. Bir Katagami baskı eleği (sol resim) [5] ve bu dokuma türüyle basılmış Katazome tekniği bir tekstil baskılı giysi [7].

Serigrafinin tarihsel kökenine şablon baskı yönünden bakılacak olursa, bu teknik şablon baskı kökeninden gelmiş bir baskı uygulamasıdır diyebiliriz. İlk şablon örneklerini çok farklı kültürlerde gözlemlemek mümkündür. Şablon kullanımına ilişkin ilk örneklere, çeşitli kültürlerde rastlamak mümkündür. Fiji Adası'nda yaşayan yerli halk, muz yapraklarını delerek oluşturdukları desenlerle, sebze özlerinden elde ettikleri renkli boyalarla giysilerine dini temalı baskılar yapmıştır. Uzun bir süre boyunca kumaş üzerine bastıkları bu dini motifleri, genellikle Buda öğretilerini aktarmak amacıyla kullanmışlardır[8]. Bu adada yaşayan yerli halkın basılı üretim tekniği şu şekilde açıklanmıştır; muz yapraklarını kesip şablon olarak kullanarak, bu yapraklardan mürekkep geçirip "tapa" adı verilen özel desenli kumaşlar üretmişlerdir. Ayrıca, bu kumaşlar, bitkisel boyalar ve doğadan ilham alınarak tasarlanmış kabile motifleriyle süslenmiştir [5].



Şekil 2.2. Polinezyalılar tarafından üretilen tapa kumaşı [5].

1890'larda foto emülsiyonun öncüsü olan diazo işlemi icat edildi. Bu, şeffaf bir pozitifin ışığa duyarlı sıvı ile kaplanmış kağıda temaslı olarak basıldığı bir fotografik işlemdir. Bir prova tekniği olarak kullanılır, ancak teknoloji bugün aşina olduğumuz foto emülsiyona yol açar. 1920'lerde Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bakkallar ve diğer zincir mağazalar, satışların reklamını yapmak için sık sık değişen, yerel olarak üretilmiş tabelalara ihtiyaç duyar. Serigraf baskıcılar, bu tür işler için tabela boyacılarından daha düşük teklif verebilmekteydi [9] .

Andy Warhol ve Robert Rauschenberg'in çalışmalarında önemli bir ortam olarak serigrafi baskıyı kullanmaya başlamasıyla, bu baskı tekniği, 1960'larda ana akım kültürün bir parçası haline geldi [9]. Andy Warhol "Pop Art" kültürünün önemli simgelerinden biri olmuştur. Bu akımda üretim yaptığı Marilyn Monroe tablosu olan "The Marilyn Diptych" adlı eseri 20. yüzyılın sıkça karşılaşılan ve Warhol'un en ikonik eserlerinden biridir.



Şekil 2.3. The Marilyn Diptych, Andy Warhol tarfından 1962 yılında Marilyn Monroe'yu tasvir eden bir tablodur.

1900'lerdeki hızlı sanayileşme serigrafi baskı sistemine de yansımış, önceleri mekanik el tezgahında üretim yapan sistem, daha sonra yarı otomatik ve tam otomatik baskı makinelerinde daha kaliteli ürünler basabilir hale gelmiştir.

Serigrafi kelimesinin etimolojik kökeni

Serigrafi kelimesi, köken olarak Eski Yunanca *sērikós* "ipekli kumaş" ve *graphḗ* "yazı" sözcüklerinin bileşiğidir. [10].

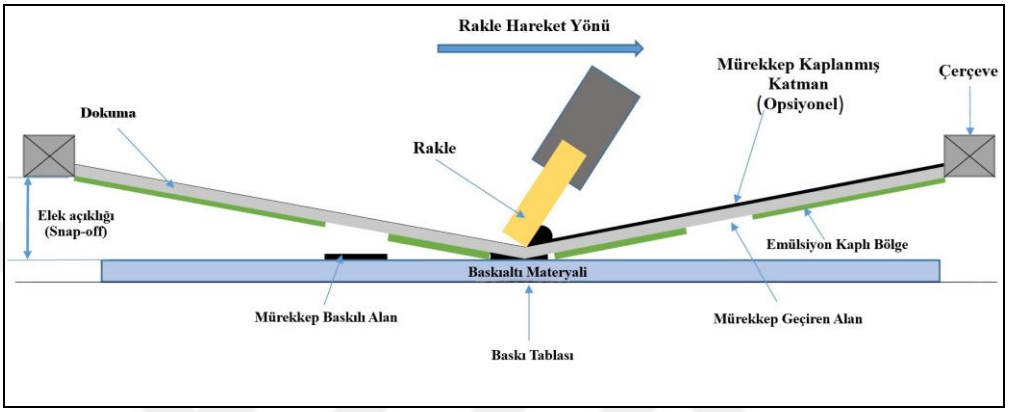
Serigrafi baskı, ipek baskı yönteminin modern bir ilerlemesi olarak kabul edilmektedir. [11]. İpek baskı ya da elek baskı adlarıyla da kullanılmaktadır [12].

Aralarında WPA sanatçıları Max Arthur Cohn, Anthony Velonis ve Hyman Warsager'ın da bulunduğu Ulusal Serigrafi Derneği'ni kuran bir grup sanatçı, serigrafinin sanatsal uygulamasını sürecin endüstriyel kullanımından ayırmak için 1930'larda "serigrafi" kelimesini icat etti. [13] Türkiye literatüründe, bu terimini ilk kullanımına 1963 yılında Milliyet gazetesinde rastlanmaktadır [10].

2.1.2. Güncel üretim metotları

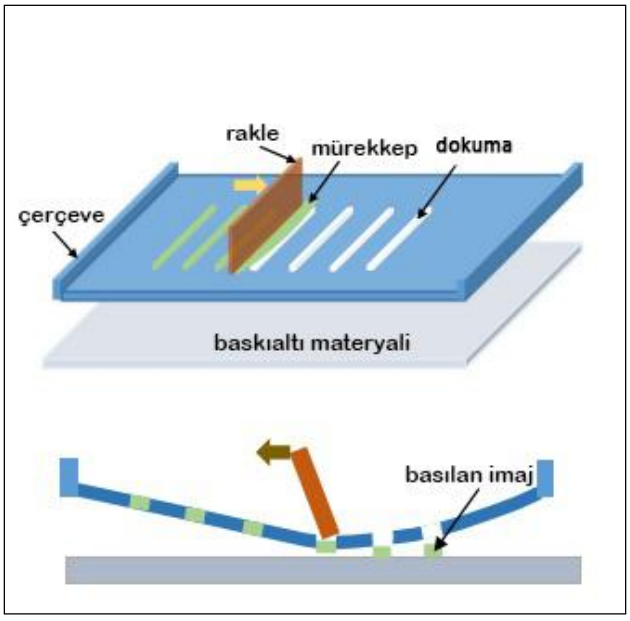
Serigrafi baskı, bir kalıp (şablon) yardımıyla üzerine işlenen görüntünün başka bir yüzeye aktarılması metodudur.

Serigrafi baskı, mürekkebin, kauçuktan yapılmış rakle adı verilen bir sıyırıcı yardımıyla baskı eleğinin açık alanlarından geçirilerek baskı yüzeyine aktarılması yöntemi olarak tanımlanır. Serigrafi baskı sisteminin diğer isimleri ipek ve şablon baskıdır. Bu ifadelerin kullanılmasının sebebi bu teknikte eleğin/dokumanın şablon haline getirilmesidir [11]. Şekil 2.2'de serigrafi baskı tekniğinin çalışma şekli görülmektedir.



Şekil 2.4. Serigrafi baskı tekniği [14].

Baskı uygulamasının daha iyi anlaşılması için, baskı sürecinin üç boyutlu hali aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Serigrafi baskının üç boyutlu gösterimi [15]**.**

Serigrafi genel çalışma sürecini, aşağıdaki başlıklar altında toplayabiliriz;

Hazırlık Aşaması:

Serigrafi baskıda süreç, basılmak istenen tasarıma karar verilmesiyle başlar. Tasarım bir bilgisayardaki çizim programı kullanılarak ya da el ile bir film tabakası üzerine çizilerek hazırlanır ve baskı için gereken şablona uygun hale getirilir. Daha sonra, bu şablonun aktarılacağı serigrafi çerçevesi hazırlanır. Bu çerçeve, amacına göre alüminyumdan, ahşaptan veya çelik profilden yapılır.

Hazırlanan çerçeve, dokuma sıklığı, baskı altı materyali ve kullanılacak mürekkep, basılmak istenen görüntüye uyumlu olmalıdır. Örneğin hassas bir baskı için UV bazlı mürekkep ile baskı göz önüne alınırken, emici olan bir yüzey için düşük sıklıkta bir dokuma değerlendirilmelidir.

Hazırlanan çerçeve üzerine, dokuma sıklığının gereğine göre bir elek dokuma bezi (gaze, ipek ya da mesh) gerilir. Bu ipeğin dokuma sıklığı (mesh count), kullanılacak baskı altı malzemesine, mürekkep türüne ve tasarımın detaylarına göre olarak seçilir.

Şablon Hazırlığı:

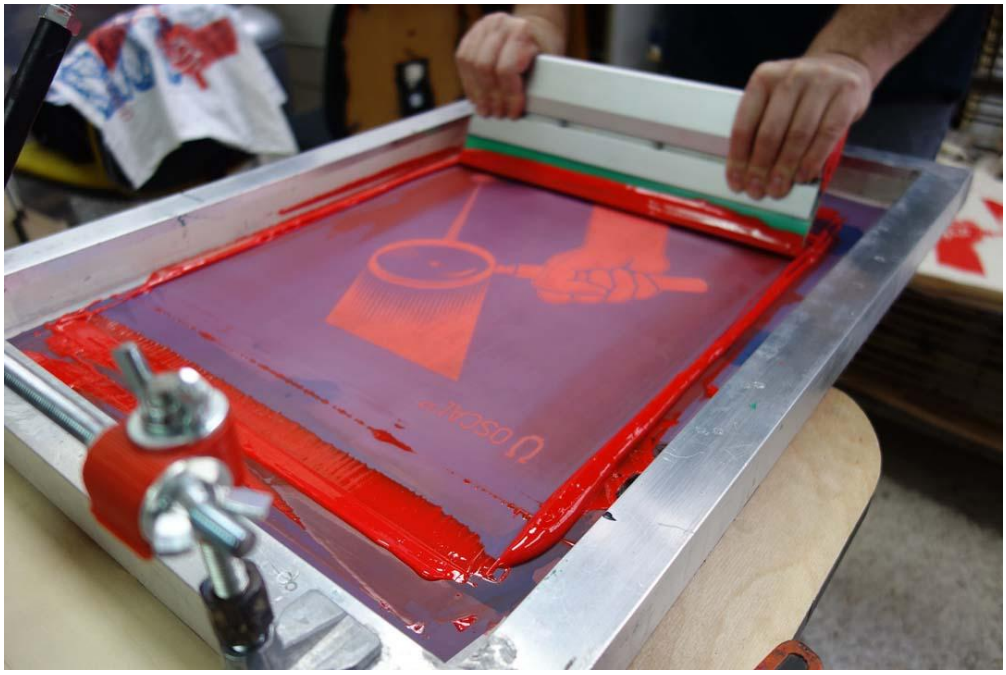
Hazırlanan çerçeveye tasarımın aktarılması için, ipek üzerine ışığa duyarlı bir emülsiyon sürülür. Emülsiyon kurutulduktan sonra, taşıyıcı bir film üzerindeki tasarım, pozlandırma cihazında ışık yardımıyla kalıp üzerindeki ışığa hassas emülsiyon üzerine aktarılır. Işığa maruz kalan bölgeler sertleşirken, tasarımın bulunduğu alanlardan ışık geçmeyerek yumuşak kalır ve sonra bu kısımlar su banyosunda yıkanarak temizlenir. Temizlenen bölgeler, baskı sırasında mürekkebi iletecek alanları oluşturur. Banyodan sonra elek dokuması tekrar kurutulur, çerçeve-dokuma temas alanları bantla kapatılarak baskıya hazırlanır.



Şekil 2.6. Elek dokuması üzerine emülsiyon sürme işlemi [9].

Baskı İşlemi:

Basılmak istenen materyalin gereklerine göre bir baskı makinesi ya da mekanik el tezgahı seçilir. Mürekkep, serigrafi kalıbının üzerine dökülür ve rakle adı verilen kauçuk bir sıyırıcıyla, kalıp üzerinden sıyırılarak geçirilir. Rakle, mürekkebi, kalıp üzerindeki açık alanlardan baskı yüzeyine aktarır. Bu işlem sırasında uygulanan rakle basıncı ve açısı, baskının kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir.



Şekil 2.7. El tezgahında baskı işlemi.

Kurutma Aşaması:

Mürekkep, baskıaltı materyaline aktarıldıktan sonra kurutma aşamasına geçilir. Burada kurutma, baskıaltı materyalinin ve mürekkebin türüne buharlaşma yoluyla, ısı ile kurutma veya UV kurutma yöntemleriyle gerçekleştirilir. Doğru kurutma yöntemi, baskının dayanıklılığını artırır ve mürekkebin yüzeyde sabitlenmesini sağlar. Serigrafi sisteminde baskılı yüzeyin dayanıklılığı (sürtünme direnci, solma direnci gibi), bu baskı tekniğinin seçilmesindeki en önemli nedenlerden biridir.

Kalite Kontrol ve Son İşlemler:

Baskı tamamlandıktan sonra, ürünler kalite kontrol aşamasından geçirilir. Bu süreçte, renk doğruluğu, tasarımın netliği ve baskı yüzeyindeki hatalar kontrol edilir. Gerekirse, hatalı ürünler elenir ve baskı işlemi tekrarlanır. Son olarak, baskılar paketlenerek teslimata hazır hale getirilir.

2.2. Baskı Kalıbı Dokumaları

Serigrafi baskı tekniğinde dokuma, en kritik ve hassas malzemelerden biri olarak kabul edilir. Baskı sırasında renklerin kaymadan ve doğru bir şekilde üst üste oturmasını etkileyebilecek unsurlardan biri ise elek dokuma türleridir.

Baskıların bağlantı izi olmaksızın yapılabilmesi için çerçeve üzerine sabitlenmiş taşıyıcı ve boya geçirici gözenekli bir yüzey kullanır. Önceleri dokuma iplikleri tamamen doğal, günümüzde ise doğal ve sentetik elyaflar ile yapılan ince dokulardan oluşur. Bu dokulara, dokuma, gaze yani elek bezi (dokuma/elek dokuması) denir [16].

Serigrafi baskı tekniğinde kullanılan elekler üç grupta toplanır:

1. Doğal ipekli dokumalar,
2. Sentetik iplikli dokumalar,
3. Metal dokumalar.

Serigrafi baskı süreçlerinde elek seçimi yaparken, baskıyla ilgili diğer teknik konulara da hakim olmak gerekir. Yukarıdakı üç ana dokuma türü (doğal ipek, sentetik iplik, metal dokumalar) arasında seçim yaparken, baskıaltı malzemesinin özellikleri, baskı makinesi/tezgahı, kullanılan mürekkep türü ve baskı amacını göz önüne almak gerekir. Her dokuma türünün kendine özgü avantajları ve kullanıldığı alanlar vardır.

2.2.1. Doğal ipekli dokumalar

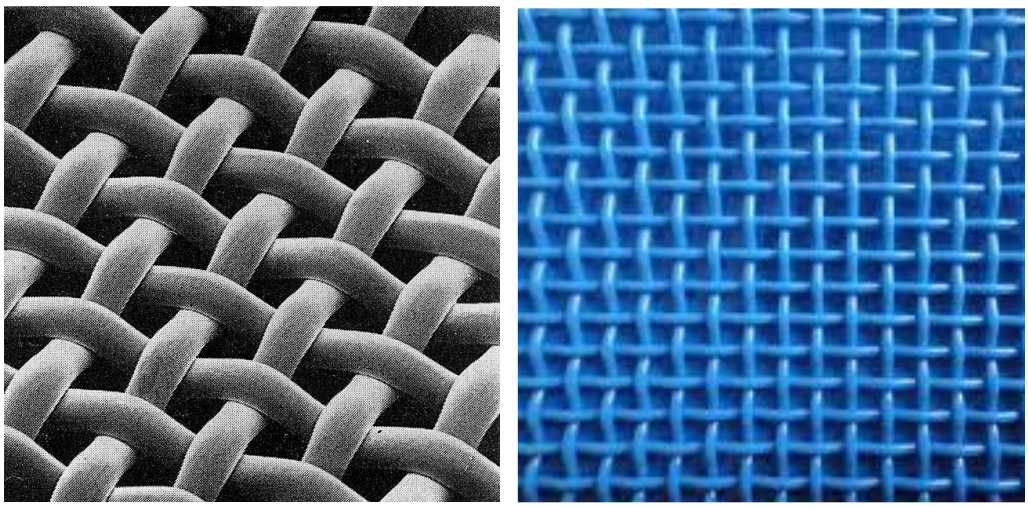
Elek dokuması, birlikte dokunmuş ipliklerden oluşan bir ağdan oluşur. İlk dokumalar ipekten yapılıyordu ve ağın her bir elemanı birlikte dokunmuş bir dizi iplikten oluşuyordu. Bu 'multifilament' dokumalar, lifler arasında mürekkep biriktiği için bozulma ve şişme eğilimindeydi ve temizlenmesi zordu. Bu dezavantajlar ve ipek kıtlığı nedeniyle, savaştan sonra alternatif malzemeler arandı ve bugün kullanılan malzemeler neredeyse tamamen sentetiktir [17].

En güçlü doğal lifler ipek lifleridir. Bununla birlikte, ipek filamentlerin genişliği değişebilir ve düzensiz ağ açıklıklarına neden olarak basılı görüntüyü bozabilir. İpek, ince ayrıntıların yanı sıra iyi bir kayıt işleminin gerekli olmadığı baskı işlemi için uygundur. İpek, esas olarak temizleme zorluğu nedeniyle çok filamentli polyester ile değiştirilmiştir. Bu zorluklar, ipeğin pürüzlü yüzey yapısının bir sonucudur ve mürekkep parçacıklarının bükülmüş iplikçiklerde sıkışmasına neden olur [18].

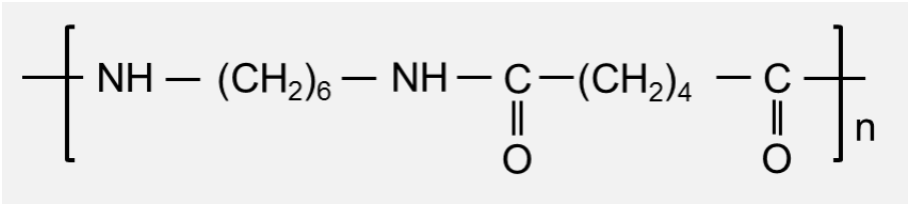
2.2.2. Sentetik iplikli dokumalar

Poliyamid (PA - NAYLON) dokumalar:

Polyamid dokumalar (naylon), olağanüstü mekanik dayanıklılığa sahiptir. Bu özellikleri, aşındırıcı malzemelerle (seramik renkler, yansıtıcı mürekkepler) yapılan baskılar için oldukça uygun hale getirir. Şablon dokumasının yüksek elastikiyeti, şekilli objeler gibi pürüzlü yüzeylerin baskısını kolaylaştırır. Şablon filmleri ve emülsiyonlar, normal polyester dokumalara kıyasla polyamid dokumalara daha iyi yapışır [19].



Şekil 2.8. Polyamid dokumalar [20].

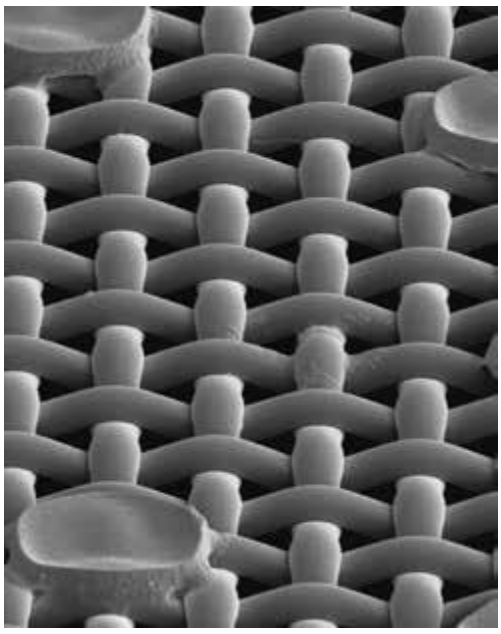


Şekil 2.9. Polyamid 6.6 (PA6.6) bileşiğinin yapısal formülü.

Polyester Dokulamalar:

Standart polyester dokumalar, serigrafi baskı işlemleri için ideal şablon malzemesi olarak kullanıma uygundur. Serigrafi baskı uygulamalarına özel olarak optimize edilen ileri teknoloji ekipmanlar ile gerçekleştirilen hassas dokuma teknikleri, üstün kaliteli dokumaların elde edilmesini sağlar [19].

Yüksek viskoziteli polyester iplikten üretilen polyester dokumalar, standart polyester dokumaların geliştirilmiş bir versiyonudur. Malzemenin azaltılmış elastikiyeti, standart dokumaların mevcut avantajlarını daha da iyileştirir. Bu şablon dokumalar, yüksek tirajlı baskılar ve uzun süreli işlemler için, artırılmış işlem güvenilirliği ve önemli ölçüde daha yüksek gerginlik ile üstün performans sunmaktadır [19].



Şekil 2.10. Polyester tek iplikli dokuma [21].

2.2.3. Metal Dokumalar

Paslanmaz çelik veya bronz gibi metallerden üretilir. Yüksek dayanıklılıkları ve ince detayları basabilme yetenekleriyle öne çıkarlar. Ancak, esnekliklerinin düşük olması nedeniyle düz yüzeylerde kullanımları daha yaygındır.

Metal dokumalar, serigrafi baskı şablonlarının hazırlanmasında yalnızca özel durumlarda tercih edilmektedir. Günümüzde Niro-çelik (V2A) dokumalar, yüksek hassasiyet gerektiren baskı uygulamaları ile seramik ve cam yüzeylere trikromi renklerin uygulanmasında ihtiyaç duyulan baskı formlarının üretiminde kullanılmaktadır [22].



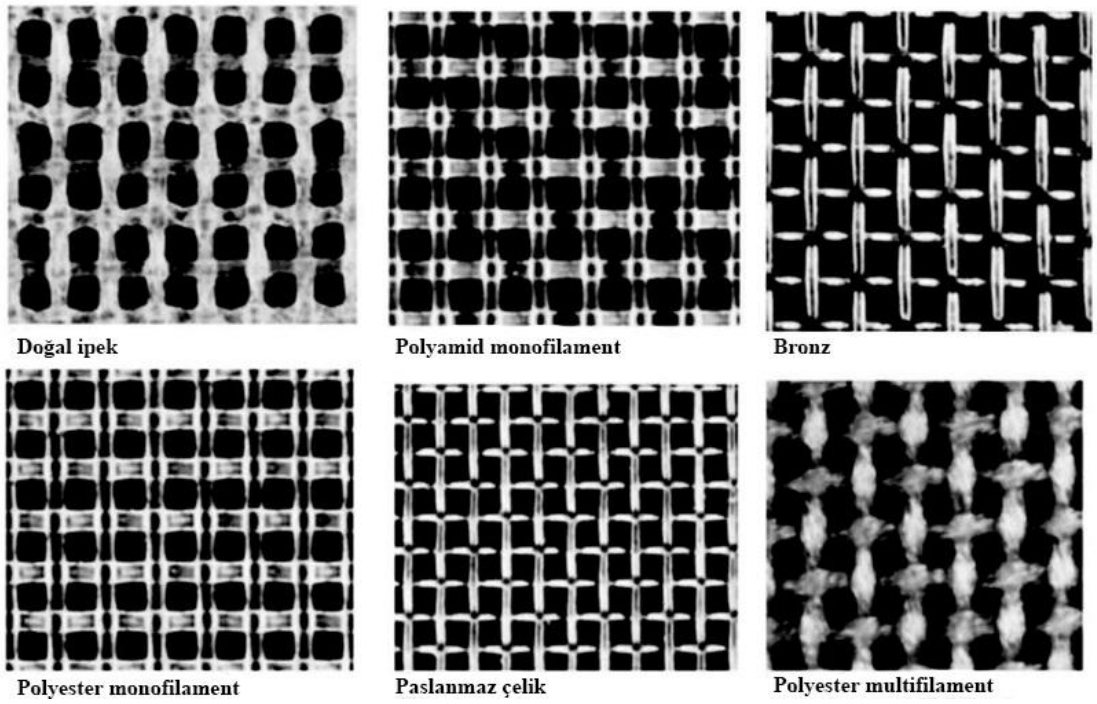
Şekil 2.11. Paslanmaz çelik dokuma görüntüsü [23].

Metalize Dokumalar:

Polyester veya polyamid dokumaların yüzeylerinin metal kaplanmasıyla elde edilir. Bu sayede, hem metalin dayanıklılığı hem de sentetik malzemenin esnekliği bir araya getirilir. Elektrostatik yüklerin azaltılması ve mürekkep akışının iyileştirilmesi gibi avantajlar sunar.

Metalize polyester dokumalarda iplikler, nikel kaplama ile güçlendirilmiştir. Bu iplikler, boyutsal kararlılıklarını ve dayanıklılıklarını uzun süre koruma özelliğine sahiptir. Metal kaplama, yüzeylerinde uzun süre aşınmadan kalır. Ayrıca, baskı sırasında sentetik dokumalarda görülen statik elektriklenme problemi yaşanmaz. Seramik, porselen ve cam mürekkepleri ile yapılan baskılarda, dokuma ısıtılarak boyanın malzeme üzerinde daha hızlı kuruması sağlanabilir. Bu özellikler nedeniyle, bu tür dokumalar seramik, porselen,

cam ve plastik yüzeylere yapılan baskılarda sıklıkla tercih edilir. Ancak dezavantajları, yüksek maliyetli olmaları ve yıpranmaya karşı dirençli olmalarına rağmen düşük kimyasal dirence sahip olmalarıdır [22] . Aşağıdaki şekilde farklı malzemelerden üretilmiş dokuma çeşitlerinin görüntüsü mevcuttur.



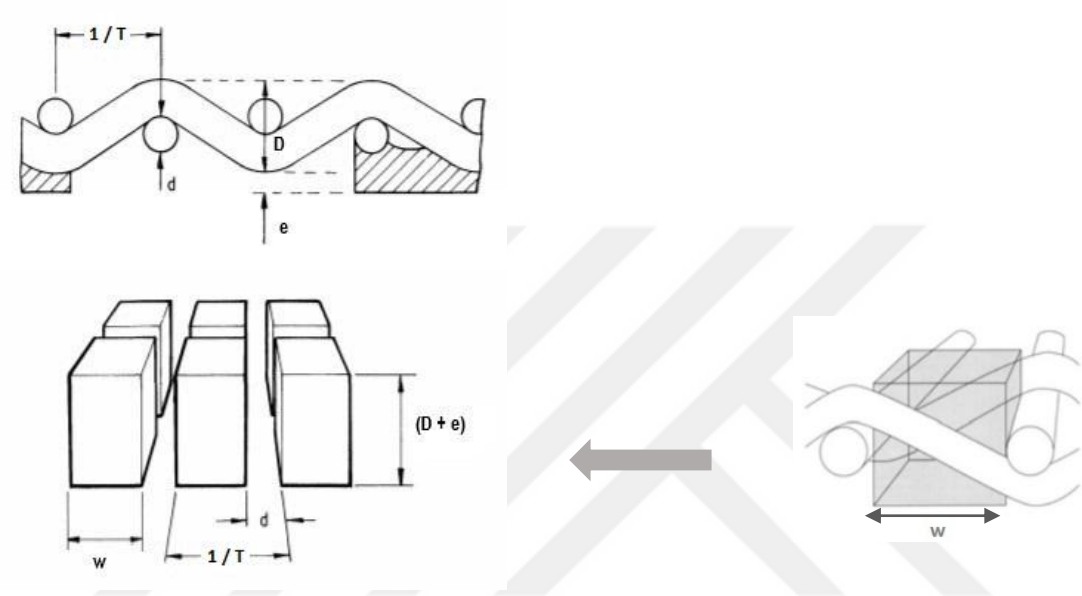
Şekil 2.12. Farklı materyallerden üretilen dokumaların karşılaştırmalı görüntüsü [24].

2.2.4. Dokuma sıklığı seçimi

Serigrafi baskı sisteminde, gerçekleştirilecek işin özelliklerine, baskı yüzeyinin yapısına, kullanılacak mürekkep veya boyanın türüne ve baskı adedine bağlı olarak uygun elek dokuma türünün seçimi kritik bir öneme sahiptir.

Uluslararası standartlar kapsamında belirlenen numaralama ve kodlama sistemi, doğal ipek, sentetik ve metal dokumalar için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Örneğin, ipek dokumalar üzerine basılmış veriler arasında yer alan iplik numaralarına bakıldığında, doğal ipek dokumaların 6-24 iplik/cm, sentetik dokumaların 55-165 iplik/cm ve polyester dokumaların 43-240 iplik/cm arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca, ipliklerin niteliği ve kalitesi belirli harflerle ifade edilmiştir: S (Small - İnce), M (Medium - Orta Kalınlık), T (Thick - Kalın) ve HD (Heavy Duty - Çok Kalın). Uluslararası standartlara göre elek dokumaları bu dört farklı kalınlık kategorisinde sınıflandırılmaktadır [20].

Burada, dokumalar arasında mürekkep transferini daha iyi anlayabilmek için aşağıdaki şekle bakabiliriz. Mürekkep başlangıçta, dokuma hücresi boyutlarına ve aralıklarına uygun olarak sütunlar veya direkler şeklinde birikir ve toplam dokuma kalınlığına, yani ağ dokuma (ad) ve emülsiyon (e) kalınlığının toplamına eşit bir yüksekliğe sahip olur (ad + e); aşağıdaki şekilde, T iplik/cm (tpc) ve tel çapı d olan bir dokuma için, her bir ıslak mürekkep sütununun belirli bir hacmi vardır [25].



Şekil 2.13. Birikmiş mürekkep sütunları; T: cm başına diş sayısı (tpc), d: diş çapı (cm), D: dokuma kalınlığı (cm), e: emülsiyon kalınlığı (cm), w: iki iplik arasındaki mesafe (cm) [25,26].

Yüksek dokuma sıklığı, yüksek tram sıklıklarının, ince tram noktalarının, zengin ton geçişli görüntülerin basılmasına izin vermektedir. Yüksek dokuma sıklığı sayesinde ince çizgiler ve yazılara sahip hassas detaylı görüntülerin basılması mümkündür. Bunların yanı sıra ipekteki dokuma aralıklarının dar olmasına bağlı olarak bir dezavantaj olarak mürekkep transferi de düşük olur. Düşük dokuma sıklığı ise, yüksek mürekkep transferi sağladığından dolgun zemin baskılarında tercih edilmektedir. Dokuma numarasının kritik önemli olduğu baskılar trigromi baskılardır. Bu baskılar için yüksek dokuma numaraları seçilmelidir

Sıklığı yüksek dokumalar ile ince tram noktaları, yüksek tram sıklıkları ve zengin ton geçişli görsellerin basılmasını mümkün kılar. Bu özellik sayesinde, ince çizgiler ve metinlerden oluşan detaylı görsellerin hassas bir şekilde basılması sağlanabilir. Ancak,

yüksek dokuma sıklığında dokuma aralıklarının dar olması nedeniyle mürekkep transferi daha düşük seviyede gerçekleşir. Öte yandan, düşük dokuma sıklığı, yüksek mürekkep transferi sağladığından, dolgun zemin baskıları için daha uygundur. Dokuma sıklığının özellikle önemli olduğu baskılar arasında trigromi baskılar yer alır ve bu tür baskılar için yüksek dokuma sıklığı tercih edilmesi gereklidir [27].

2.3. Kalıp Çerçeveleri

Serigrafi baskıda kullanılan kalıp çerçeveleri, baskı işleminin temel bileşenlerinden biridir. Bu çerçeveler, eleğin gerilerek sabitlendiği ve baskı sürecinde kullanılan kalıbın (şablonun) desteklendiği yapıyı oluşturur. Serigrafi baskıda kullanılan çerçeveler genellikle ahşap ve alüminyum malzemelerden üretilir. Çelik çerçeveler ise diğerlerine göre daha az yaygındır.

2.3.1. Ahşap çerçeveler

Ahşap çerçeveler, kolay ulaşılması ve ekonomik olmasından dolayı amatör çalışmalarda sık kullanılabilir. Ancak hassas ve uzun süreli baskılarda kullanılmamalıdırlar. Ahşap, değişen nem ve sıcaklık nedeniyle genellikle birkaç saat içinde şişer ve büzülür. Metal çerçevelerden daha kısa ömürlüdürler; zaman içinde eğrilir ve artık düz durmazlar [28]. Ahşap çerçeveler vernikle kaplanarak su ve kimyasallara dayanıklı hale getirilirler.

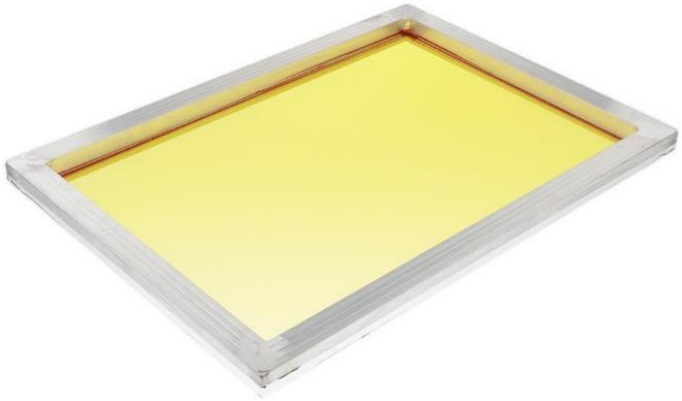


Şekil 2.14. Ahşap çerçeveli elekler.

2.3.2. Alüminyum çerçeveler

Hafif, dayanıklı ve paslanmaz özellikleriyle en çok tercih edilen türdür. Hassas işler ve uzun süreli kullanım için uygundur. Alüminyum çerçeve paslanmaz ve uzun ömürlüdür. Ahşap çerçevelere kıyasla, bu çerçeveler suya maruz kaldığında eğilmez, boyut değiştirmez.

Alüminyum, aynı kesite sahip çelikle karşılaştırıldığında yaklaşık 2,9 kat daha esnektir. Alüminyumun mukavemetini artırmak için kesit alanının genişletilmesi, duvar kalınlıklarının artırılması veya alternatif bir kesit profili seçimi gereklidir. Alüminyumun özgül ağırlığı yaklaşık 2,7 olduğundan, büyük boyutlardaki çerçeveler dahi kolayca taşınabilir. Bununla birlikte, daha büyük çerçeveler tasarlanırken kesit alanlarının artırılması ve duvarların güçlendirilmesi önemlidir. Alüminyum çerçeveler paslanmaya karşı dirençlidir ancak alkali ve asitlere karşı dayanıklılığı sınırlıdır [19].



Şekil 2.15. Alüminyum çerçeveli elek.

Avantajları:

- Her çeşit dokumanın gerilmesi için kullanılabilir.
- Hafif yapısı taşımayı kolaylaştırır.
- Farklı kesit seçenekleri sunar.
- Düşük maliyetlidir.
- Korozyona karşı iyi direnç sağlar.
- Temizliği kolaydır.

Dezavantajları:

- Çelikle kıyaslandığında daha az sağlamdır [19].

2.3.3. Çelik çerçeveler

Çelik çerçeveler, yüksek rijitlikleri sayesinde benzer mukavemete sahip alüminyum çerçevelere göre daha küçük kesitlere sahip olabilir. Ancak, özellikle büyük çerçeveler için en büyük dezavantajları, çeliğin yaklaşık 7,8 olan özgül ağırlığından kaynaklanan ağırlıklarıdır. Çelik çerçeveler paslanmaya eğilimlidir ve korozyonu önlemek için galvanizleme veya boyama gibi uygun yüzey işlemlerine ihtiyaç duyar [29].



Şekil 2.16. Çelik çerçeveli elekler.

Avantajı:

- Düşük maliyetli.

Dezavantajlar:

- Korozyona karşı hassastır.

- Ağırdır.

- Yeniden kullanımdan önce boyama gerektirir.

2.4. Kalıp Emülsiyonları

Serigrafi baskı kalıplarında kullanılan emülsiyonlar, baskı kalitesini ve dayanıklılığını doğrudan etkileyen kimyasal yapılardır. Emülsiyonların temel işlevi, bir serigrafi kalıbı üzerine görüntünün hassas bir şekilde iletilmesini ve baskıya uygun bir kalıp

oluşturulmasını sağlamaktır. Bu emülsiyonlar, ışığa duyarlı polimerlerden oluşur ve kalıp pozlama sürecinde sertleşerek baskı yapılacak alanların belirlenmesinde görev alırlar.

Doğru emülsiyon seçimi, baskının netliği, detayların korunması ve kalıbın dayanıklılığı açısından önemlidir.

Emülsiyon üretiminde farklı malzemeler ve formüllerden yararlanılır. Polyvinil alkol ve çeşitli plastik bileşiklerin yanı sıra, jelatin, balık ve kemik tutkalı gibi maddeler krom tuzu eklenerek emülsiyon oluşturulabilir. Bu tür emülsiyonlar, ışığa maruz kaldıktan sonra suda çözünmez bir yapıya kavuşur. Günümüzde piyasada çeşitli markaların önceden hazırlanmış emülsiyon ürünleri de bulunmaktadır. En yaygın kullanılan tür ise sentetik foto emülsiyonlardır [11].

Foto emülsiyonlar yapısal özelliklerine göre üç gruba ayrılır: saf polimer emülsiyonlar, diazo tek kür emülsiyonlar ve diazo çift kür emülsiyonlar.

2.4.1. Diazo tek kür emülsiyonlar

Bu emülsiyonlar, diazo bileşenleri ile hassaslaştırılmış polimerlerden oluşur. Ana bileşenlerini Polivinil alkol (PVOH) ve Polivinil asetat (PVA) oluşturmaktadır. Işığa maruz kaldıklarında, diazo bileşenleri polimerlerle reaksiyona girerek sertleşir ve istenilen şablon oluşur. Kullanımı kolaydır ve genellikle su bazlı boyalarla uyumludur [30].

2.4.2. Saf polimer emülsiyonlar

Bu tür emülsiyonlar, diazo gibi ek hassaslaştırıcılar içermez; bunun yerine, UV ışığına duyarlı polimerler kullanılır. UV ışığı altında doğrudan sertleşirler. Daha hızlı pozlama süreleri sunarlar ve yüksek çözünürlük gerektiren detaylı baskılar için idealdirler [16].

2.4.3. Diazo çift kür emülsiyonlar

Çift aşamalı emülsiyonlar, temelinde iki farklı fotokimyasal reaksiyona dayanır. İlk aşamada, polivinil alkol (PVOH) bileşiği diazo hassaslaştırıcı ile etkileşerek çapraz bağ oluşturur. İkinci aşamada ise fotopolimer, bir fotobağlayıcı (tetikleyici) yardımıyla ek çapraz bağlanma gerçekleştirir. Sonuç olarak, suya ve solvente karşı üstün dayanıklılığa sahip bir emülsiyon filmi elde edilir [16].

2.5. Serigrafi Baskı Makineleri

Serigrafi baskıda, görüntünün sağlıklı bir şekilde baskıaltı malzemesine aktarılabilmesi için, çerçevenin sabitleneceği ve sağlıklı bir şekilde hareket edeceği bir düzeneğe ihtiyaç vardır. Bu düzenek, ihtiyaca göre bazen el yapımı bir tezgâh, bazen vakumlu metal tablalı bir el tezgahı, bazen de yarı otomatik veya otomatik baskı makinesi olmaktadır.

Kullanım yerine ve ihtiyaçlara bağlı olarak, basit el tezgahı üretim için yeterli olabilir. Bu tür basit sistemler, hem sanatsal hem de ticari amaçlarla kullanılan atölyelerde yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Bazı sanatçılar, bu tür basit araçlarla çalışmaktan keyif alır. Daha profesyonel olan yarı otomatik/otomatik makineler ise vakum sistemiyle donatılmış olarak üretilir. Vakumlu tezgahlar, baskı yapılan malzemelerin kaymasını veya hareket etmesini engelleyerek temiz ve net baskılar elde edilmesini sağlar. Elektrikli vakum düzenekleri, üzeri küçük deliklerle işlenmiş bir masanın altına, deliklerin bulunduğu alanı kapsayan bir emici motorun yerleştirilmesiyle oluşturulur. Baskı sırasında, eleği taşıyan kolun masaya inmesiyle vakum sistemi devreye girer ve baskı materyalini emerek masaya sabitler. Elek masadan kaldırıldığında ise vakum sistemi devre dışı kalır. Hacimli malzemelere baskı yapılması gerektiğinde ise vakum sistemi genellikle kullanılmaz [31].

2.5.1. Mekanik serigrafi tezgahı

Standart bir serigrafi tezgahı, düz bir yüzeye sahip metal veya formika bir masa ile masaya entegre edilmiş, yükseklik ayarı yapılabilen ve farklı yönlerde (sağa, sola, ileri ve geri) hareket edebilen bir elek taşıyıcı kol sisteminden oluşur.

Vakum sistemi, bu düzenek üzerine entegre edilir. Serigrafi tezgahlarının tasarımı, baskı yapılacak malzeme ve yüzey türüne göre farklılık gösterir [31]. Bu sistemde, baskıaltı malzemesinin makineye konması, baskı ve sonrasında basılı malzemenin tezgâhtan alınması hep insan eliyle gerçekleşir. Atölye tipi küçük işletmelerin sıklıkla tercih ettiği bir sistemdir.



Şekil 2.17. Metal tablalı mekanik el tezgahı.

2.5.2. Yarı otomatik serigrafi baskı makinesi

Bu sistemin mekanik tezgahtan farkı, rakle hareketiyle elek açılıp kapanmasının otomatik olarak gerçekleşmesidir. Bu otomatik hareketler her defasında aynı hassasiyetle gerçekleştiği için, baskı kalitesi el tezgahına göre çok daha tutarlı sonuç verir.

Sistemde, baskı sırasında baskıaltı malzemesinin sabit kalmasını sağlamak için bir vakum düzeneği bulunmaktadır. Baskıaltı malzeme manuel olarak baskı alanına yerleştirilir ve işlem tamamlandıktan sonra yine elle alınır, ancak rakle hareketi otomatik şekilde gerçekleştirilir. Bu rakle hareketinden dolayı "yarı otomatik" olarak adlandırılır. Makine, biri baskı raklesi, diğeri doyurucu rakle olmak üzere iki rakle ile çalışır. Baskı raklesi, dokuma üzerine belirli bir basınç uygulayarak boyayı sıyırır ve düzeneklerden geçmesini sağlar. Doyurucu rakle ise bir sonraki baskıya hazırlık amacıyla boyayı dokuma üzerine eşit bir şekilde yayar. Ancak bu işlem sırasında doyurucu rakle, eleğe temas etmediği için herhangi bir basınç uygulamaz [16].



Şekil 2.18. Yarı otomatik serigrafi baskı makinesi.

2.5.3. Tam otomatik serigrafi baskı makinesi

1950'lerde tam otomatik düz ekran baskı makineleri Buser-Stork-Johannes Zimmer markası ile baskı pazarına girdi. Bu tip makinelerde tüm işlemler otomatik hale getirildi. Yarı otomatik baskı ünitelerinde, şablonun hareketinin ve sabit tablayla tek pozisyonlarda baskı yapmanın işlemi çok yavaşlattığı tespit edildi. Renk sayısı fazla olduğunda işlemler çok yavaş hale gelmektedir. Çözüm, hareketli bir tabla ekleyerek ve eleği sabit hale getirerek bulundu. Tablanın hareketi, dokuma şablonun tam pozisyonlarına getirilmesini ve baskı yapılmasını mümkün kıldı [24].

Tam otomatik serigrafi baskı makineleri, yüksek hassasiyet ve hız gerektiren üretim süreçlerinde kullanılan ileri düzey endüstriyel ekipmanlardır. Bu sistemler, manuel müdahaleyi minimuma indirerek baskı sürecinin tüm aşamalarını otomatikleştirir ve tutarlı bir kalite standardı sunar. Mürekkep besleme, kurutma ve malzeme taşıma gibi işlemler, entegre otomasyon sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu özellikleri,

özellikle detaylı ve tramlı tasarımların baskısında bu makineleri ideal kılmaktadır. Yüksek hacimli üretimlerde, zaman ve maliyet verimliliği sağlamalarının yanı sıra baskı hızının, rakle açısının ve rakle basıncının kolaylıkla ayarlanabilir olması, üretim parametrelerinin optimize edilmesine olanak tanır.



Şekil 2.19. Tam otomatik serigrafi baskı makinesi.

2.6. Serigrafide Kullanılan Baskı Altı Materyalleri

Serigrafi baskı, farklı malzemeler üzerinde baskı yapma imkânı sağlayan çok yönlü bir yöntemdir. Bu teknik, tekstil ürünlerinden elektronik cihaz bileşenlerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Gündelik yaşamda sıklıkla karşılaşılan kıyafetler, kitap kapakları, yemek takımları ve fincanlar gibi ürünlerin yanı sıra, güneş panelleri ve devre kartları gibi teknik uygulamalarda da tercih edilmektedir.

Serigrafi baskının uygulandığı yaygın materyaller şu şekilde sınıflandırılabilir:

Kâğıt ve Karton: Grafik endüstrisinde sıkça kullanılan serigrafi baskı, afiş, poster ve davetiye gibi ürünler için ideal bir yöntemdir [8].

Duvar Kağıdı: Serigrafi baskı tekniği, dayanıklı mürekkep yüzeyi verdiği için, dekoratif ürünler ve duvar kağıdı gibi materyallerde sıklıkla tercih edilir [32].

Tekstil Ürünleri: Tekstil ürünleri üzerine serigrafi baskı tekniği, özellikle tercih edilen bir tekniktir. Tekstil kumaşları, emici yüzeylerinden dolayı yüksek miktarda mürekkebe ihtiyaç duyarlar. Bu ihtiyaç, serigrafi baskıda kolayca sağlanmaktadır. Tişört, kumaş

çanta ve şapka gibi tekstil ürünleri, serigrafi baskı ile kişiselleştirilen veya seri üretilen başlıca materyallerdendir [33].

Plastik: PVC, akrilik ve polipropilen gibi malzemeler üzerine yapılan baskılarda serigrafi yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, etiketleme ve ambalaj sektöründe yaygındır [34].

Cam: Promosyon ürünleri ve dekoratif cam tasarımlarında serigrafi baskı, renk ve detay kalitesi açısından tercih edilmektedir.

Ahşap: Dekoratif ahşap objeler ve tabelalar, serigrafi baskı ile estetik ve işlevsel bir şekilde özelleştirilebilir.

Metal: Endüstriyel ürünler ve promosyon amaçlı metal plakalar, serigrafi baskıya uygun bir yüzey sunar.

Seramik: Seramik ürünler üzerine desen, logo ve yazılar, serigrafi baskı tekniğiyle uygulanarak estetik ve dayanıklı sonuçlar elde edilir. Ayrıca seramik ürünlerinin zamana, ışığa ve dış etkenlere dayanıklı olması beklendiği için serigrafi baskı özellikle tercih edilmektedir [35].

Film ve Folyo: Otomotiv sektörü, grafik uygulamalar ve elektronik bileşenlerin etiketlenmesinde kullanılan film ve folyolar, serigrafi baskı ile detaylandırılabilir.

Deri ve Suni Deri: Ayakkabı, çanta ve cüzdan gibi deri ürünlere serigrafi baskı, estetik bir değer katmaktadır.

Bu yöntem, malzeme çeşitliliği ve uygulama esnekliği sayesinde hem sanatsal hem de endüstriyel alanlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

2.7. Serigrafi Baskı Mürekkepleri

Serigrafi baskıda kullanılan mürekkepler, kağıt, plastik, metal ve cam gibi geniş bir yelpazede kullanıldığı için, bu yüzeylerde başarılı sonuçlar elde etmeye yönelik olarak formüle edilmiştir. Grafik tasarım ürünlerinden endüstriyel üretim süreçlerine kadar farklı alanlarda tercih edilir bu mürekkepler kalite ve performans özellikleri açısından çeşitlilik göstermektedirler.

Bu baskı tekniğinde kullanılan mürekkeplerde, diğer baskı tekniklerindeki gibi aynı temel bileşenler bulunmaktadır. Bunlar pigmentler, bağlayıcıları oluşturan reçineler, çözücüleri oluşturan solvent grupları ve yardımcı maddeler olarak sınıflandırılabilir.

Tipik olarak serigrafi mürekkepleri, yüzeyde tam anlamıyla kabartma olarak göze çarpan bir mürekkep filmi basarlardı. Bu tür mürekkepler, sert ya da esnek hemen her tür baskıaltı malzemeye baskı yapmak için son derece uygundu ve posterler, vitrin reklamları, metal tabelalar, cam ve çini dekorlama ve tekstil baskısı üretmek için popüler bir süreç haline geldi. Ancak bu yağ bazlı mürekkepler hava oksidasyonu ile kuruyor ve kalın olduklarından kuruma süreleri uzun oluyordu. Uzun yıllar boyunca işler üst üste yığılmış kurutma raflarına yerleştirildi ve yavaş yavaş bunların yerini mekanize raf sistemleri aldı. Buna rağmen ulaşılabilen üretim hızları çok düşüktü. Bununla birlikte, UV-kürlü ve diğer mürekkep sistemlerinde önemli gelişmeler yaşanmaya başlandı [17]. Bu teknik gelişmelerle birlikte, serigrafi baskıda daha hızlı kuruma sağlanarak üretim hızında artış yaşanmıştır.

2.8. Pozlama sistemleri

Serigrafi baskı, farklı yüzeylere mürekkep uygulama amacıyla sıklıkla tercih edilen çok yönlü bir tekniktir. Bu süreçte, pozlama sistemleri kritik bir aşamayı temsil eder ve tasarımların şablonlar aracılığıyla doğru biçimde aktarılmasını sağlamak için çeşitli ışık kaynaklarından faydalanır. Bu sistemlerde genellikle UV ışınları ya da LED tabanlı ileri düzey aydınlatma teknolojileri kullanılmaktadır. Tasarımın kalite ve doğruluğunda pozlama sürecinin önemi büyüktür. Ayrıca, modern pozlama sistemlerinde otomasyon teknolojileri ve yazılım entegrasyonları, işlem hassasiyetini ve tekrarlanabilirliği artırmada önemli rol oynamaktadır [36].

Pozlama sistemlerinde, genellikle ışık kaynağının yukarıdan, aşağıdan ya da yandan uygulanmasını sağlayan makineler kullanılmaktadır. Alttan pozlama yönteminde ışık kaynağı makinenin alt kısmında yer alırken, üstten pozlama yönteminde üst kısımda konumlandırılmıştır. Geniş boyutlu kalıpların pozlanması gereken durumlarda ise stüdyo tipi, yandan ışık veren makineler tercih edilmektedir. Bu tür makineler, özellikle 150x200 cm gibi büyük ebatlı kalıpların pozlanmasında etkili bir çözüm sunmaktadır. Pozlama sürecinde, ışık kaynağının dalga boyu ve ışık şiddeti, kullanılan emülsiyonun ışığa duyarlılığı ile tam bir uyum içinde olmalıdır. Bunun yanı sıra, doğru pozlama süresinin belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Yetersiz pozlama, emülsiyonun tam olarak sertleşememesine neden olurken, aşırı pozlama detay kaybına yol açabilir. Bu nedenle,

optimal pozlama süresi genellikle pozlama hesaplayıcıları kullanılarak hassas bir şekilde belirlenmektedir [37].

2.9. Rakleler

Serigrafi baskı sisteminde kullanılan rakle, mürekkebin belirli bir hız ve basınçla eleğin açık alanlarından baskıaltı malzemesine transfer edilmesini sağlayan kauçuk bir malzemedir. Kauçuk rakleler, doğal ya da sentetik kauçuklardan üretilir ve farklı türleri mevcuttur; bunlar arasında neopren, poliüretan, polyester ve vulkulan yer alır. Poliüretan rakleler, solvent bazlı ve su bazlı mürekkeplerle uyumlu olup bu amaçlarla yaygın şekilde kullanılırken, polyester rakleler solvent bazlı mürekkeplere karşı sınırlı bir dayanıklılık gösterir ve genellikle ekonomik olmaları nedeniyle tercih edilir. Vulkulan rakleler ise kısmen kauçuk esaslıdır ve yüksek solvent içeren mürekkeplere karşı dirençlidir [38].

Serigrafi baskıda rakle, mürekkep transferinde birincil işlevi yerine getirir. Mürekkebi veya boyayı dokuma ve şablon açıklıklarından geçerek baskıaltı malzemesi üzerine aktaran akışkan dinamik basıncı oluşturmak için kullanılır. Rakle bıçağı tipi ve kenar profilinin yanı sıra rakle açısı ve hızı da dahil olmak üzere bu süreci etkileyen bir dizi karmaşık faktör vardır [39].

2.9.1. Rakle sertlikleri

Raklelerin sertlik birimi “shore” ile adlandırılmaktadır. Rakleler, sertlik derecelerine göre genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir:

Yumuşak rakleler**;** düşük çözünürlüklü görüntülerin ve fazla miktarda mürekkep aktarımı gereken baskıların, özellikle tekstil ve pürüzlü yüzeylerin baskısı için tercih edilir. Bu tür rakleler, ekstra yumuşak (45-50 Shore A) ve yumuşak (50-60 Shore A) sertlikte olabilir.

Orta sertlikte rakleler; 60-70 Shore A sertliğinde, mürekkep aktarımında esneklik sağlarken aynı zamanda iyi bir çözünürlük sunmaları nedeniyle yaygın şekilde kullanılır.

Sert rakleler**;** 70-80 Shore A arasında değişen sertlik derecelerine sahip olup 95 Shore A’ya kadar ekstra sertlikte versiyonları da mevcuttur. Bu tür rakleler, özellikle düz yüzeyler, örneğin cam, için uygun olup yüksek çözünürlüklü baskılar elde edilmesini sağlar .



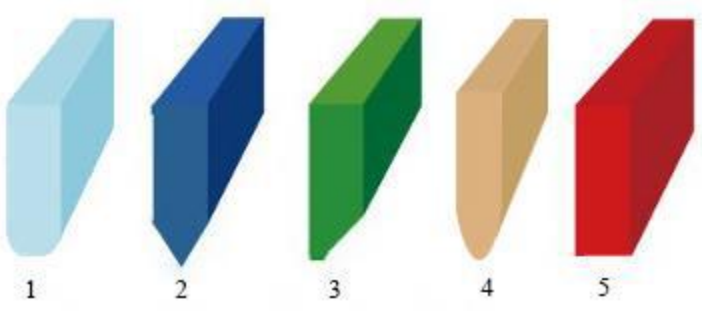
Şekil 2.20. Raklelerin, renklerine göre sertlik dereceleri [12].

2.9.2. Rakle profil yapıları

Raklesinin ağız yapısı, baskı kalitesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Baskı sırasında rakle, uygulanan basınçla birlikte, kalıbın resim alanındaki dokuma kısmından mürekkebi baskı yüzeyine aktarır. Profilinin seçimi, aktarılmak istenen görüntünün özelliklerine ve baskı yapılacak malzemenin fiziksel özelliklerine bağlı olarak belirlenir [12].

Profillerin ağız yapıları beş farklı şekilde bulunmaktadır;

1. *Kenarları yuvarlatılmış profiller*, kalın boya tabakalarının uygulanması amacıyla kullanılır.
1. *Eğik uçlu profiller*, sert ve emici özellik taşımayan cam, seramik ve metal gibi yüzeyler üzerine baskı yapmaya en uygun seçeneklerdir.
2. *Sivri uçlu profiller*, genellikle otomatik serigrafi makinelerinde tercih edilir.
3. *Tam yuvarlak profiller*, emici yüzeylerde ve tekstil baskılarında kullanılır.
4. *Kenarları dik açılı profiller*, çok yönlü bir kullanım sunar ve özellikle kağıt üzerine yapılan ince tram ve detaylı baskılar için uygundur [16].



Şekil 2.21. Raklelerin profil yapıları [12].

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deney çalışmalarında kullanılan baskıaltı materyalleri

Deney çalışmalarında kullanılan baskıaltı materyallerinin seçilmesindeki en önemli nedenlerden biri, bu baskıaltı materyallerinin grafik endüstrisinde sıklıkla kullanılmasıdır [40]. Yukarıda maddeler halinde değinilen baskıaltı materyalleri içinden düzgün yüzeyli olanlar deneylerde kullanılmıştır.

Emici olan ve olmayan yüzeylerin mürekkep sarfiyatını mukayese edebilmek için; materyallerden biri selüloz esaslı "kuşe etiket kağıdı" seçilmiş, öteki yüzeyler ise polimer yapıya sahip olan "taş kağıt", " şeffaf PVC etiket" ve "mat şeffaf PVC" kullanılmıştır. Etiket materyali seçilmesindeki amaç, serigrafi baskının dış mekan baskılarında çok sık kullanılan bir baskı tekniği olmasıdır.

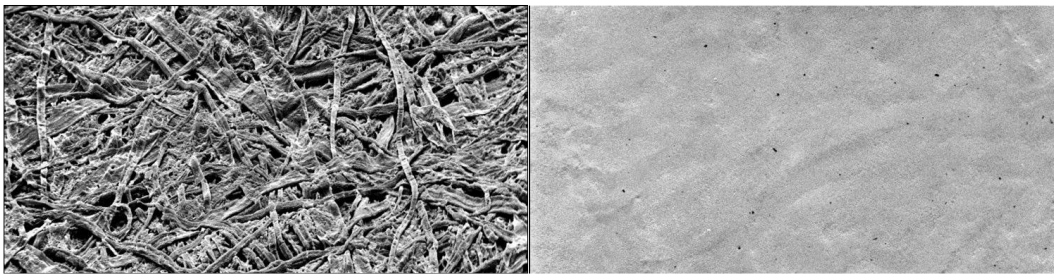
3.1.1.1. Kuşe etiket kağıdı

Deney çalışmalarında, baskı/grafik endüstrisinde sıklıkla tercih edilen selüloz esaslı bir kâğıt olduğu için kuşe etiket kağıdı seçilmiştir. Selüloz esaslı kağıt, yüzyıllardır basım sektörünün ana baskıaltı materyali olarak kullanılmıştır.

Deney çalışmalarında etiket kağıdı kullanılmasının başka bir amacı; taş kâğıt ile basılabilirlik özelliklerini karşılaştırmaktır. Taş kâğıt, selüloz esaslı kâğıda alternatif olarak üretilen farklı bir baskıaltı malzemesidir.

Kuşe kâğıt, basım endüstrisinde yaygın kullanılan, yüzeyi pürüzsüz ve parlak olan bir kâğıt türüdür. Bu özellikler kâğıt üzerine uygulanan özel bir kaplama işleminden kaynaklanır.

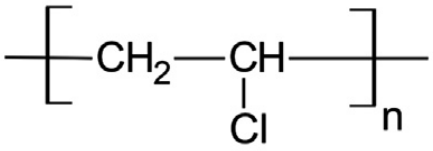
Kâğıt yüzeyinin uygun yöntemler kullanılarak pigment, bağlayıcı ve katkı maddelerinden oluşan bir karışımla kaplanması işlemine kâğıt yüzey kaplaması veya kuşeleme denir [41]. Bu kaplama, kâğıdın yüzeyini daha pürüzsüz ve parlak hale getirerek baskı kalitesini artırır.



Şekil 3.1. Mekanik odun hamurlu kaplanmamış kağıt ve kuşe kâğıdın yan yana görüntüsü [41].

3.1.1.2. Şeffaf PVC etiket

Baskı için uygun mekanik özelliklere sahip bir polimer PVC'dir. PE ve PP'den hemen sonra en yaygın kullanılan üçüncü polimerdir. Gıda dışı ambalajlarda popüler bir malzemedir. Orta derecede hidrofobik bir polimerdir [42].



Şekil 3.2. PVC bileşiğinin yapısal formülü.

PVC materyal, grafik endüstrisinde kullanılan düzgün baskıaltı yüzeyi veren materyallerden biridir. Polivinil Klorür (PVC), kimyasal yapısı ve üretim teknikleri sayesinde yüksek dayanıklılık sunan bir malzeme olarak tanımlanır. Yapısında karbon, hidrojen ve klor atomları bulunur; bu yapı, PVC'ye kimyasal dayanıklılık, mekanik mukavemet ve uzun ömür kazandırır. Özellikle klor atomlarının varlığı, malzemenin yanmaya karşı direncini artırır. PVC, darbe dayanımı, aşınma direnci ve çeşitli kimyasal maddelere karşı üstün koruma özellikleriyle bilinir. Bu nitelikleri, PVC'nin farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılmasını mümkün kılar.

PVC etiketler ise, iç ve dış mekân uygulamalarında esneklik ve dayanıklılık gerektiren koşullarda, UV ışınları ve hava şartlarına karşı yüksek direnç sağlar. Ayrıca, plastik şişeler, motor yağı kapları ve endüstriyel kimyasal konteynerler üzerindeki etiketleme işlemlerinde sıklıkla tercih edilir. Kokusuz, tatsız, transparan ve esnek özellikte bir yapıya sahip olup, darbe dayanıklılığı yüksektir. Uygun koşullarda 7 yıl süreyle dayanıklılık gösterebilir. PVC yüzeyler, korona işlemine gerek duyulmadan baskıya uygun hale gelir.

Ancak, bu malzemelerin düşük sıcaklıklara karşı direnci zayıftır ve çevreye olumsuz etkileri bulunmaktadır. PVC, sert ve yumuşak olmak üzere iki farklı türde üretilmektedir. Solvent bazlı ve su bazlı mürekkepler, bu yüzeylerde en verimli baskı sonuçlarını sunan mürekkep çeşitleridir [40].

3.1.1.3. Mat şeffaf PVC

Grafik endüstrisinde kullanılan diğer baskıaltı materyallerden biridir. PVC materyal seçilmesinin temel amacı; serigrafinin dış mekânlara baskı yapmakta sıklıkla kullanılmasıdır. Bilgilendirme/yönlendirme panolarında, reklam panolarında, etiket baskılarında ve kırtasiye ürünlerinde tercih edilen bir materyaldir.

Burada hem mürekkebin hem de baskıaltı materyalinin, dış etkilere karşı dayanıklı olmasının gerekliliğidir.

Mat şeffaf PVC yüzey üzerinde yüzey pürüzlülüğünün şeffaf PVC'den farklı olması sebebiyle bu iki malzemenin mürekkep davranışının karşılaştırılması da amaçlanmaktadır.



Şekil 3.3. Mat şeffaf PVC tabaka.

3.1.1.4. Taş kâğıt (Stone paper)

Zengin mineralli kâğıt olarak da bilinen taş kâğıt, selüloz esaslı kâğıda alternatif olarak üretilmiştir. Yapısında büyük oranda kalsiyum karbonat barındıran bu kâğıt, üretim

sürecindeki selüloza ihtiyaç duymadığı için çevreci olduğu düşünülmektedir. Taş kağıdın bazı avantajları burada söylenecek olursa;

- Bir önceki maddede değinilen mat-şeffaf PVC materyali veya diğer sentetik baskıaltı malzemeleri gibi %100 petrol reçinesi değildir. Onlardan farklı şekilde, bünyesinde %60-81 oranında doğal mineraller Kalsiyum Karbonat ($CaCO_3$) içerir ve geri kalanı PP veya PE veya HDPE benzeri polimer reçinelerinden oluşur [43].

- Yağ ve su dayanıklılığı vardır. Bu yönüyle dış mekanlarda kullanılabilir. Bu dirençleri belirten farklı bir akademik çalışma mevcuttur [44].

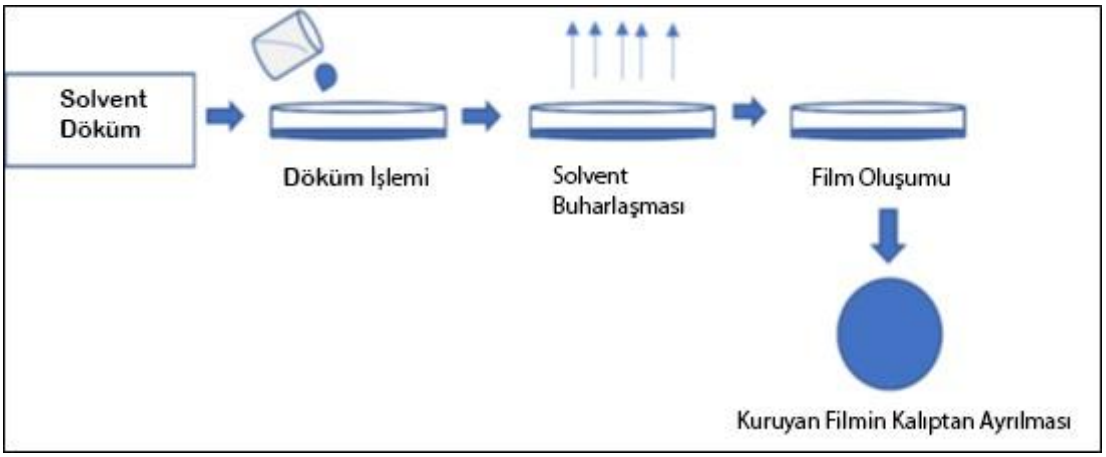
- İçindeki $CaCO_3$ sayesinde doğal beyazlığa sahiptir, ayrıca beyazlatıcı katkı maddesine ihtiyaç duymaz.

Serigrafi baskısının başlıca kullanım alanı matbaa sektörüdür. Bu sektörde, selüloz bazlı kâğıtlarla aynı amaca hizmet eden taş kâğıt da kullanılmaktadır. Taş kağıt, "kaya kağıdı" (rock paper) veya "zengin mineralli kağıt" (rich mineral paper) olarak da bilinir ve klasik kağıda göre öne çıkan bazı özelliklere sahiptir. Örneğin taş kağıt, üretiminde su kullanılmaz ve geleneksel kağıtlar gibi odun selülozu kullanılmadan üretilebilir. Doğal kaynakları olan su ve selülozu tüketmediği için çevre dostu bir üretim süreci sağlar [43].

Kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) taş kâğıdın birincil hammaddesidir ve doğada bol miktarda bulunur [45,46]. Genel olarak, $CaCO_3$'ün doğal oluşumu, suda çözünmüş kalsiyum ve karbonat iyonlarının birleşerek çökelmesiyle gerçekleşir. Bu süreç genellikle deniz canlılarının $CaCO_3$ üretmesi ve biriktirmesiyle, yani biyomineralizasyon olarak adlandırılan işlemle başlar. Zamanla bu çökelme ve birikim süreçleri büyük kireçtaşı yatakları ve diğer $CaCO_3$ türevlerinin oluşumuna yol açabilir [47,48]. Taş kağıt, toz haline getirilmiş inorganik mineraller, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) plastik ve katkı maddelerinin birleşiminden oluşur. İnorganik mineraller, geleneksel kağıtlarda kullanılan lifler gibi kullanılan malzemelerdir.

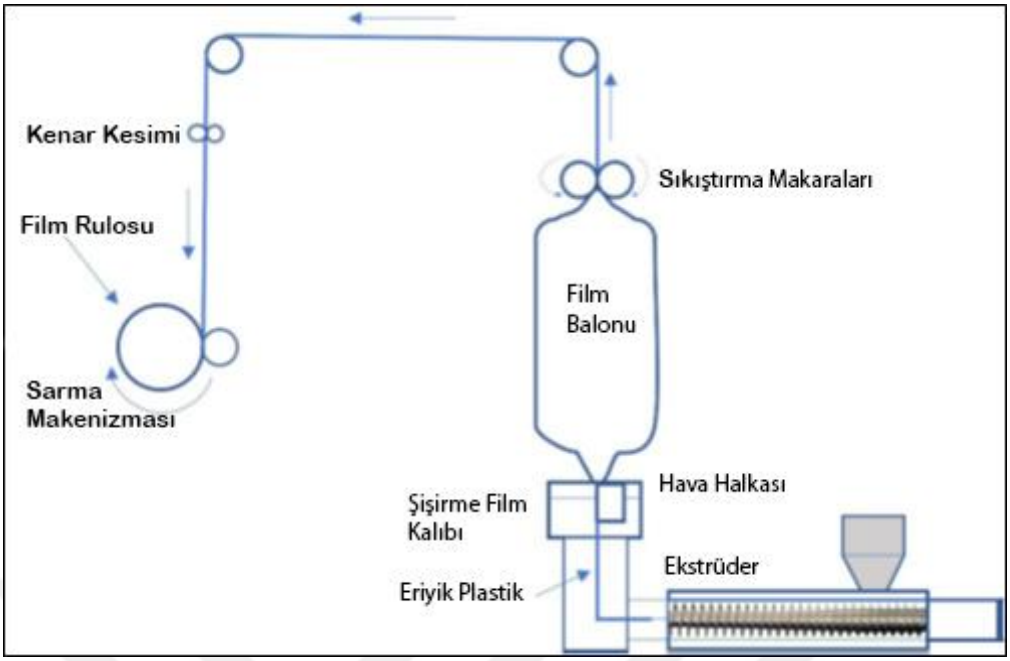
HDPE polimer inorganik mineralleri bir arada tutan bir bağlayıcıdır; bu nedenle karışım tek katmanlı veya kompozit formdan oluşmaktadır [43]. Taş kağıt üretiminde üç işlem kullanılmaktadır: 1- Solvent döküm, 2- Film üfleme ekstrüzyonu ve 3- Döküm film ekstrüzyonu [49].

Solvent döküm yöntemi, taş kâğıt üretiminde kullanılan önemli bir süreçtir. Bu yöntem, yüksek yoğunluklu kalsiyum karbonat ve polimerlerin bir solvent içinde çözündürülmesi ve ardından ince bir film tabakası olarak şekillendirilmesiyle gerçekleştirilir. Süreç, homojen bir karışımın oluşturulmasını ve döküm yüzeyinde kurutularak katılaşmasını sağlar. Bu şekilde, esnek ve dayanıklı özelliklere sahip taş kâğıt elde edilir. Çevre dostu bir seçenek olan taş kâğıt, suya ve yırtılmaya dayanıklı yapısı sayesinde ambalaj ve baskı ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Solvent döküm yöntemi, taş kâğıt dışında farklı materyallerin üretiminde de kullanılmaktadır. Özellikle polimer bazlı ince filmler, membranlar ve kaplamalar gibi ürünlerde yaygındır.



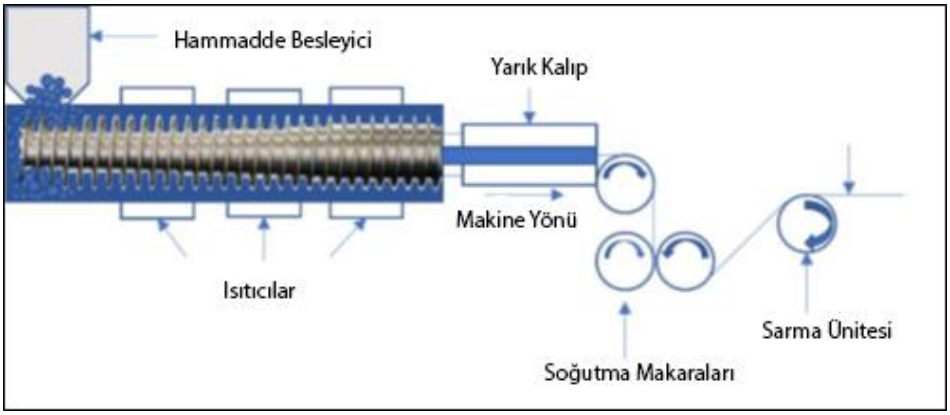
Şekil 3.4. Taş kağıt üretiminde solvent döküm yöntemi [49].

Ekstrüzyon yöntemi, taş kâğıt üretiminde kullanılan ve polimerik malzemelerin ince, esnek film tabakaları haline getirilmesine olanak sağlayan bir tekniktir. Bu yöntemde, kalsiyum karbonat ve polimer karışımı ekstrüder içerisinde ısıtılarak eriyik hale getirilir. Eriyik, yuvarlak bir kalıptan geçirilerek tüp formunda üflenir, genişletilir ve ardından soğutularak film tabakası oluşturulur. Film üfleme yöntemi, taş kâğıt üretiminde homojen bir yapı ve yüksek dayanıklılık sağladığı için tercih edilmektedir. Üretilen taş kâğıt, çevre dostu özellikleri ve yırtılmaya karşı gösterdiği direnç nedeniyle ambalaj ve baskı sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekstrüzyon yöntemiyle, sosyal yaşamda sıkça kullanılan plastik ambalaj filmleri, alışveriş torbaları, shrink filmler gibi birçok materyal üretilmektedir [43].



Şekil 3.5. Film üfleme ekstrüzyon yöntemi [49].

Döküm film ekstrüzyon yöntemi, taş kâğıt üretiminde kullanılan ve polimerik malzemelerin düz, homojen film tabakaları şeklinde işlenmesine olanak tanıyan bir tekniktir. Bu süreç, yüksek yoğunluklu kalsiyum karbonat ve polimer karışımının bir ekstrüderde ısıtılarak eriyik hale getirilmesiyle başlar. Elde edilen eriyik, düz bir kalıptan (die) geçirilerek ince bir tabaka şeklinde döküm bandına aktarılır. Aktarılan bu tabaka, soğutma sistemleri yardımıyla hızla katılaştırılır ve ardından yüzey kalitesini artırmak amacıyla presleme veya kaplama gibi ek işlemlerden geçer. Döküm film ekstrüzyon yöntemi, taş kâğıt üretiminde yüksek yüzey pürüzsüzlüğü ve ölçüm hassasiyeti sağlama avantajıyla dikkat çekmektedir [50].



Şekil 3.6. Döküm film ekstrüzyon yöntemi [49].

Basılabilirlik deneyinde kullanılan kağıtların teknik özellikleri Tablo 3.1'de görülmektedir

Tablo 3.1. Basılabilirlik analizinde kullanılan kağıtların teknik özellikleri.

		Gramaj	**Kalınlık**	**Yoğunluk**	**Beyazlık**	**Opaklık**	**Çekme Mukavemeti**	**Termal Büzülme**	**Maksimum Mukavemet**
Taş kağıt	Test metodu	CNS 1352	CNS 3685	CNS 3685	CNS 12885	CNS 14931	GB 13022-91	Gbt 12027-2004 MD/TD	QB/T 1130-91 MD/TD
	Değer	240 g/m²	200 µm	1.2 g/cm³	% >86	% >94	>2.5 kg/cm²	<-2.0% <-4.0%	>0.4 % >0.5 %
Kuşe etiket kağıt	Test metodu	ISO 536	ISO 534	-	D65 ISO 24702	-	ISO 1924-3 MD/TD	-	-
	Değer	80 g/m²	70 µm	-	90%	-	69 (-10) N/15mm 39 (-7) N/15mm	-	-

3.1.2. Deney çalışmalarında kullanılan mürekkepler

3.1.2.1. Basılabilirlik deneyinde kullanılan mürekkepler

Basılabilirlik analizlerinde solvent bazlı ve UV bazlı iki mürekkep kullanıldı. Solvent bazlı mürekkep; TOYO SE-1125 serisi cyan renkli mürekkep ve 3934000 referans numaralı TIFLEX marka cyan renkli UV bazlı mürekkep kullanıldı.

3.1.2.2. Taguchi deney modelinde kullanılan mürekkepler

Toplam dört çeşit mürekkep kullanıldı ve her biri farklı viskozite değerlerine sahipti. Bunlardan üçü UV bazlı ve biri solvent bazlı mürekkepti. Bunlar sırası ile;

1. UV bazlı mürekkep: Norcote marka, MSK 4000 seri,

2. UV bazlı mürekkep: Norcote marka, MSK 2500 seri,

3. UV bazlı mürekkep: Norcote marka, MSK 9.301 seri,

4. Solvent Bazlı Mürekkep: Argon marka, 35701 seri.

3.1.3. Deney çalışmalarında kullanılan dokumalar

Basılabilirlik deneyinde, Zhejiang Zhongyi Textile Co. Ltd. tarafından üretilen dokumalar kullanılmıştır. Elek dokumaları, polyester monofilament düz dokuma kumaşlardan yapılmıştır.

Taguchi deney modelinde kullanılan dokumalar, SMT serigrafi markasının ürettiği polyester monofilament düz dokumalardır.

3.2.YÖNTEM

3.2.1. Basılabilirdik analizlerinde kullanılan yöntemler

Basılabilirlik analizleri, baskının kalitesini artırmak ve baskıyı oluşturan koşulları optimize etmek için önemli bir etkendir. Aşağıda açıklanan bu yöntemler, basılı yüzeyi, mürekkebi ve baskının yapıldığı koşullar arasındaki uyumu sağlamayı hedefler.

Özellikle serigrafi baskı yönteminde, kullanılan malzemelerin çeşitliliği ve uygulama alanlarının genişliği nedeniyle bu analizler baskı öncesi önemli bir adım olarak değerlendirilir. Çünkü serigrafi baskı hem çok farklı baskıaltı malzemelerine baskı yapması hem de bu baskılı yüzeylerin, iklim koşullarına dayanıklı olması gerektiğinden, serigrafi baskılı alanların da dış koşullara dayanıklı olması gerekmektedir.

3.2.1.1.Işık haslığı

Bir rengin ışık haslığı, güneş ışığına maruz kaldığında solmaya karşı direnme kabiliyetini ifade eder. Baskı mürekkepleri için pigmentlerin ışık haslığı, çevresel faktörlere karşı dirençlerinin yanı sıra renk stabilitesi, kalitesi ve uzun süreli dayanıklılığının belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar [51,52].

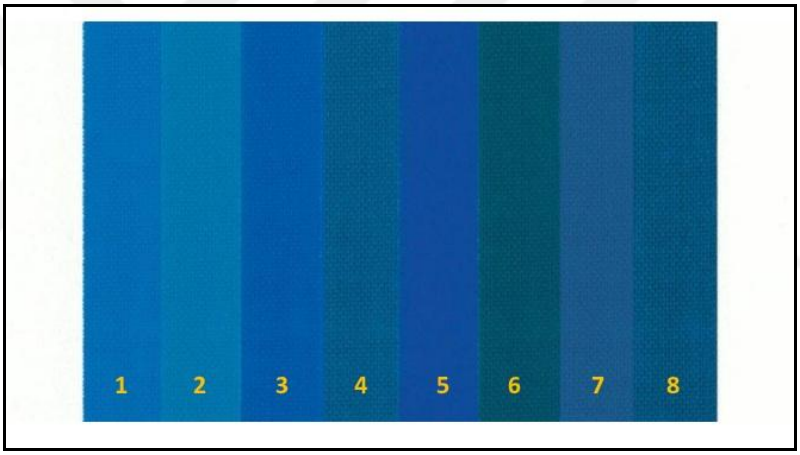
Mürekkebin ışık haslığı; nem, iklim koşulları, ışığın yönü, alkali ve asit etkileri ile malzeme üzerinde oluşan mürekkep filmi kalınlığından etkilenmektedir. Bu nedenle, matbaa mürekkeplerinin ışık haslığı değerlerinin uzun süre sabit bir standartta korunması, çeşitli açılardan önemli bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir [53].

Bu bilgiler ışığında; özellikle dış mekânlarda sıkça tercih edilen serigrafi baskı mürekkeplerinin hem ışık haslığının hem de dış etkilere karşı direncinin yüksek olması gerekmektedir. Burada serigrafi baskının avantajı, diğer baskı tekniklerine oranla, mürekkep film kalınlığının oldukça yüksek olmasıdır.

İnorganik pigmentlerin ışık haslıkları, organik pigmentlere oranla daha yüksektir, bu sebeple, serigrafi mürekkeplerinde inorganik pigmentler tercih edilir.

Bununla birlikte, UV bazlı mürekkebin ışık haslığı, solvent bazlı mürekkebe göre daha yüksektir. Işık haslığı yüksek mürekkepler genellikle daha pahalıdır.

Renklendiriciler genellikle mavi yün skalası kullanılarak değerlendirilen geniş ışık haslığı sınıflarına ayrılır. Tipik olarak, bir pigmentin ışık haslığı, diğer pigmentlerle, özellikle de beyaz pigmentlerle seyreltildikçe azalır. Buna karşılık, yüksek konsantrasyonlu renkli mürekkepler, pigmentlerin kendi kendini maskeleme etkisi nedeniyle daha fazla ışık direnci sergiler [17]. Bu süreci tanımlamak için bir dizi standart geliştirilmiştir ve bunlardan İngiliz Standartları, en önemli referansı oluşturmaktadır. Işık haslığı değerlendirilirken genellikle iki yöntem kullanılmaktadır: biri doğal koşullar altında güneş ışığına maruz bırakma, diğeri ise Xenon ışık kaynağına dayalı testlerdir. Elde edilen sonuçlar, İngiliz Standartları ile uyumlu olan ve yaygın olarak kullanılan Mavi Yün Skalası (BWS) temelinde sınıflandırılmaktadır. Xenon ışık kaynağına sahip test cihazları, ölçümlerin geçerliliğini ve tekrarlanabilirliğini sağlamak amacıyla tercih edilmektedir [51].



Şekil 3.7. Işık haslığı değerlendirmesi için kullanılan ISO Mavi Yün Standardı (ISO Blue Wool Standard) [54].

Mavi yün skalası, 8 seviyeli ışık hassasiyet ölçeği sunan mavi boyalı yün şeritlerden oluşmaktadır. Burada 1, solma direnci en düşük, 8 ise solma direnci en yüksek şerittir [54]. Işık haslık derecesi yükseldikçe, solmaya karşı direnç de yükselmektedir.

Tablo 3.2. Mavi Yün Skalasına'na göre mürekkeplerin ışık haslığı derecesi [55].

Işık Haslık Derecesi	Anlamı
8	Mükemmel/Maksimum ışık direnci
7	Mükemmel
6	Çok iyi
5	İyi
4	Uygun
3	Orta
2	Zayıf
1	Çok zayıf

Işık haslığı testleri, IS0 12040:1997 standardında belirtilen koşullar altında Xenotest 150 S+ cihazı ve Mavi yün skalası kullanılarak gerçekleştirildi. Mavi yün skalası, DIN EN ISO 105 A02 standardı kullanılarak ölçüldü. Test baskı örneklerinin L*a*b* değerleri, ışık haslığı testlerinden önce ve sonra her 24 saatte bir ölçüldü ve ΔE değerleri hesaplanarak karşılaştırıldı. Her kağıt türü için beş farklı örnek üzerinde ışık haslığı testleri gerçekleştirildi. Her örneğin renk solması üç kez ölçüldü.

3.2.1.2. ΔE renk farkı

ΔE renk farkı, referans renk tonu ile baskı sonucunda elde edilen renk tonu arasındaki sayısal farklılığı tanımlamak için kullanılan bir ölçüttür. İnsan gözü, bazı çeşitli renk tonlarına karşı diğerler insanlardan daha hassas olduğundan, renk doğruluğunu belirlemek için sayısal değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Baskıda istenen rengin doğru bir şekilde elde edilip edilmediğini belirlemek amacıyla, standart değerlerle baskı sonucu arasındaki fark ΔE formülü kullanılarak hesaplanır. CIE, uluslararası renk farklılıklarını hesaplamak üzere geliştirdiği formülü ilk kez 1976 yılında yayımlamıştır. Bu formül, ΔEab veya ΔE76 olarak bilinir ve insan gözünün algılayabileceği en küçük renk farkı olan 1.0 ΔE değerini temel alır. Formül, ISO 12647-2 gibi çeşitli ISO standartlarında, renk ayrımları, prova süreçleri ve ticari baskılar için süreç kontrolü sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ancak, zamanla formülün eksiklikleri olduğu tespit edilmiştir; özellikle, renk çarkının belirli bölgelerinde insan gözünün küçük renk farklarına daha duyarlı olduğu, diğer bölgelerinde ise bu hassasiyetin azaldığı gerçeği yeterince göz önünde bulundurulmamıştır [55]. Bu durum, CIE'nin 1994 yılında yeni bir formül olan, ΔE94 formülünü geliştirmesine yol açmıştır. Ancak, ΔE94 formülünün renk uzayının

mavi-mor bölgesindeki duyarlılık eksiklikleri nedeniyle, 2000 yılında daha kapsamlı bir model olan ΔE2000 formülü geliştirilmiştir [55,56].

3.2.1.3. Sürtünme direnci (rub resistance)

Mürekkep aşınması veya sürtünme direnci, mürekkep katmanının aşınma etkisi altında çizilme ve soyulma derecesini ifade eder. Bu direnci etkileyen birincil faktörler, kâğıdın temel özellikleri (pürüzsüzlük, emicilik, vb.), mürekkep bileşimi ve baskı koşullarıdır. Mürekkep densitesindeki farklılıklar renk değişikliklerine yol açabilir, bu nedenle renk farklılıkları sürtünme direncini de tanımlayabilir [57].

Serigrafi baskıda kullanılan mürekkeplerin sürtünme direncinin yüksek olması, oldukça önemli bir faktördür. Özellikle dış mekan baskılarında serigrafi baskının tercih edilmesi; mürekkebinin dayanıklı olmasından dolayıdır. Sürtünme direncinin yüksek olması, baskının dayanıklılığını doğrudan ilgilendiren bir durumdur.

Sürtünme direnci düşükse mürekkepte, baskı yüzeyi kolayca aşınabilir, soyulabilir veya zarar görebilir. Bu, özellikle etiketler, ambalajlar veya sürekli temas edilen yüzeyler için büyük bir sorun yaratır. Yüksek sürtünme direnci, baskının uzun süre korunmasını sağlar.

Etiketler ve ambalajlarda, uzun depolama sürelerinde, taşıma sırasında ve tüketici kullanımı sırasında aşınmaya karşı dirençli mürekkepler gereklidir.

Açık havada reklamcılığında, örneğin reklam panolarında, dış etkilere direk temasın yoğun olduğu yerlerde, görsel etkisini koruyabilen mürekkeplere ihtiyaç duyulur.

Baskı yapılan numunelerin sürtünme direncini ölçmek için TMI marka bir Mürekkep Sürtünme Test Cihazı kullanılmıştır. Testler TAPPI T-830 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Mevcut deneyde, mürekkepli katmanlardaki aşınma, baskılı yüzeylerin aynı tip baskısız kağıt katmanlarına sürtülmesiyle oluşturulmuştur. TAPPI T-830 standardına uygun olarak, 907 gr (2 lb) ağırlık kullanılarak baskılı ve baskısız numunelere sabit bir sürtme basıncı uygulanmıştır. Her numune için sürtünme 50 döngüye ayarlandı ve her 50 sürtünme için densite ve L*a*b* ölçümleri yapıldı. Her numune için toplam 300 sürtünme gerçekleştirilmiştir. Sürtünme direnci testlerinde, her kağıt türü ve dokuma sıklığı için beş farklı baskılı numune üzerinde ölçümler yapılmıştır. Her örnek üç kez ölçülmüş ve aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Baskıların sürtünme direnci Denklem (1) kullanılarak hesaplandı [58].

$$\text{Rub resistance index (RI)} = \frac{\text{Density after rub}}{\text{Density before rub}} \times 100 \quad (1)$$



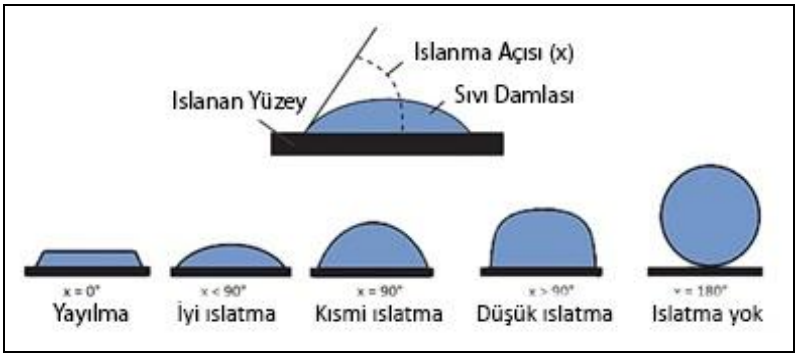
Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan sürtünme testi cihazı.

3.2.1.4.Yüzey enerjisi/Yüzey temas açısı

Yüzey temas açısı, bir baskıaltı materyalinin, sıvılara karşı direncini belirlemek için kullanılan bir test parametresidir. Yüzey geriliminden elde edilen veriler, baskı kalitesini belirlemek için kullanılır. Mürekkebin yüzey ıslatma kapasitesi baskı verimliliğini belirler [58].

Baskı işlemi sırasında kâğıdın yüzey enerjisi, mürekkebin yüzeyle etkileşimi ve tutunma kapasitesi üzerinde belirleyici bir rol oynar. Yüksek yüzey enerjisine sahip kâğıtlar, mürekkebin yüzeyde daha iyi yayılmasını sağlayarak homojen bir dağılım oluşturur; bu durum baskı kalitesini olumlu yönde etkiler. Buna karşın, düşük yüzey enerjili kâğıtlarda mürekkep yeterince yayılma gösteremez, bu da baskı yüzeyinde düzensizliklere ve kalite kaybına neden olabilir [59].

Temas açısı ıslanma derecesini gösterir. Temas açısının 0° olması maksimum ıslanmayı, 0° - 90° arasında olması kısmi ıslanmayı ve > 90° olması ıslanmanın olmadığını gösterir [60] .



Şekil 3.9. Yüzey temas açısı ve ıslatma ilişkisi [61].

Temas açısı, numunelerin yüzeyine 5 µL deiyonize su damlatılarak bir temas açısı ölçer (Attension, Theta Lite 101) ile ölçülmüştür. Ölçümler tüm baskıaltı malzemelerinin her birinden beş farklı numune ölçülmüş ve aritmetik ortalamaları alınmıştır. Her numune üç kez ölçülmüştür.



Şekil 3.10. Temas açısı ölçüm cihazı

3.2.1.5. Kütle ölçümü

Test baskısı yapılan iki farklı kağıdın mürekkep sarfiyatını ölçmek için; her dokuma sıklığı için beş numune, baskı ve kurutma işlemlerinden önce ve sonra Mettler Toledo AB304-S ile tartıldı. Her numune üç kez ölçüldü ve mürekkep sarfiyatını belirlemek için aritmetik ortalamaları alındı.

3.2.1.6. SEM ölçümleri

SEM ölçümleri bir EDS (Bruker) cihazında (Marka: ZEISS, Model: EVO LS10, Dedektörler: SE, BSD, STEM) yapıldı. Görüntüler bir İkincil Elektron (SE) dedektörü kullanılarak yakalandı ve iletkenlik için altın kaplama uygulandı. Basılı taş kağıdın ve kaplanmış etiket kağıdının görüntüleri SEM cihazında kaydedildi. Solvent bazlı mürekkeple basılmış numunelerin görüntüleri 100, 500 ve 1000 kat büyütmede alındı. Hem basılmamış kağıt yüzeyleri hem de bu yüzeylerdeki mürekkep davranışı incelendi ve bu görüntülerde karşılaştırıldı.



Şekil 3.11. Basılı numunelerin görüntülendiği SEM cihazı

3.2.2. Taguchi deney tasarımı

Taguchi Deney Metodu, istatistiksel bir yaklaşım olup kalite kontrolü ve süreç optimizasyonu amacıyla kullanılır. Japon mühendis ve istatistikçi Dr. Genichi Taguchi

tarafından geliştirilen bu yöntem, ürün veya süreç tasarımında değişkenlerin etkilerini anlamak ve kaliteyi artırmak için sistematik deneyler yapmayı hedefler [62]. Esas ilkeleri:

Parametrik Tasarım: Ürünün performansını etkileyebilecek değişkenler tanımlanır.

Kontrol ve Gürültü Faktörleri: Kontrol edilebilir değişkenlerin optimize edilmesi sırasında dış etkiler (gürültü faktörleri) de dikkate alınır.

Sağlam (Robust) Tasarım: Ürün ya da süreç, değişken çevresel koşullarda dahi yüksek kalite sunmaya devam eder.

Ortogonal Dizaynlar: Deneylerin sayısını azaltarak hem maliyet hem de analiz sürecinde verimlilik sağlar.

Bu çalışmada, deney tasarımı sürecinde serigrafi baskının mürekkep sarfiyatını etkileyen temel parametreleri belirlemek için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Taguchi yöntemi, sistematik bir yaklaşım sunması ve diğer yöntemlere kıyasla minimum malzeme kullanımını gerektirmesi nedeniyle serigrafi süreci parametrelerini optimize etmekte oldukça etkili bir yöntem olarak tercih edilmiştir [63].

3.2.3. Test baskıları

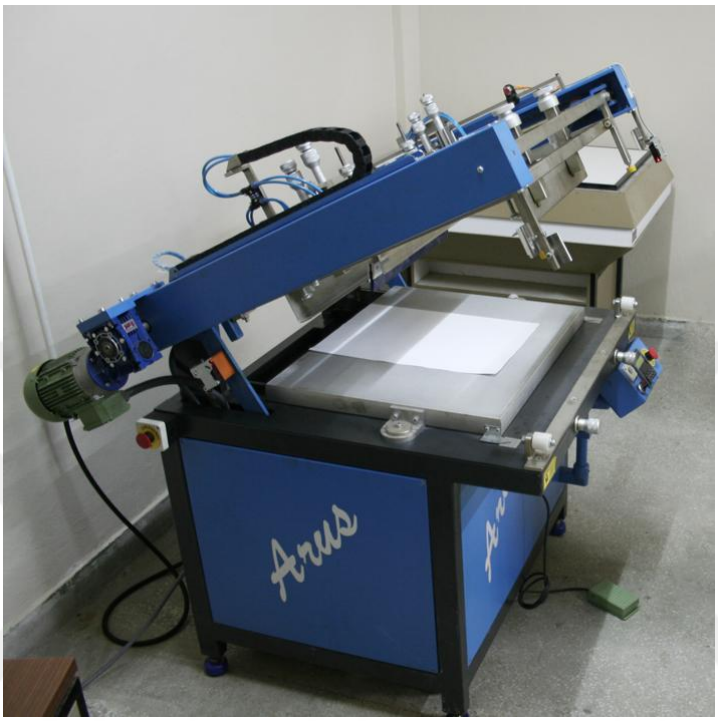
Burada iki farklı şekilde test baskıları yapıldı. İlk test baskılarında selüloz esaslı kuşe kağıt ile sentetik ve mineral karışımı taş kağıdın basılabilirlik davranışları incelenmiştir. Çünkü taş kağıt üretimindeki amaç, selüloz esaslı kağıda alternatif olarak üretilmesidir. Serigrafi baskıyla, bu her iki kağıdın basılabilirlik karşılaştırmasına rastlanmamıştır.

İkinci test baskısı mürekkep sarfiyatına odaklanmıştır. Piyasada sık kullanılan dört farklı baskıaltı malzemesi üzerinde deney tasarımı yoluyla test basıları yapılarak, minimum mürekkep sarfiyatının parametreleri araştırılmıştır.

3.2.3.1. Basılabilirlik analizleri için test baskıları

Test baskıları 23°C ve %65 bağıl neme sahip bir laboratuvar ortamında, 2 mm kalıp-malzeme arası mesafe (snap-off) ayarlanmış bir Arus marka yarı otomatik serigrafi baskı makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu makinenin seçilmesinin amacı, her baskı için sabit baskı koşullarını (örneğin, rakle açısı, rakle basıncı) sağlamaktır. Böylece, tekrarlanan her numune baskısı için aynı mürekkep sarfiyatını verecektir. Baskı için hazırlanan kağıtlar 24 saat önceden test baskı laboratuvarına getirilmiştir. Her kağıt türü

ve dokuma sıklığı için beşer kopya basıldı. Baskı işleminin ardından, solvent bazlı mürekkepler kullanılan örnekler laboratuvarda 24 saat kurumaya bırakılırken, UV bazlı mürekkepler kullanılanlar bir Super Primex EB-200 pm kurutucusu kullanılarak kurutuldu.



Şekil 3.12. Basılabilirlik analizinde kullanılan serigrafi baskı makinesi.

dokumalar monofilament düz dokuma kumaşlardan yapılmıştır ve hepsinin baskı alanı aynıdır (10x10 cm). Baskı işlemi için tüm baskılarda 75° rakle açısı ve 3 bar basınç kullanılmış olup, baskı için 70 Shore A sertliğinde kauçuk rakle seçilmiştir. 15 cm dikdörtgen profilli rakle, BMP Europe Ltd. firmasından temin edilmiştir. Dokuma gerginlikleri 120 ve 140 tpc dokumalar için 21 N/cm, 90 tpc dokumalar için ise 26 N/cm olarak ayarlanmıştır. Dokuma gerginliğindeki değişikliğin nedeni ise; dokuma sıklığı arttıkça dokumada kullanılan ipliğin tel çapı küçülür ve seyrek dokumalarda kullanılan yüksek gerilim ince ipliklere ve sık dokumalarda uygulanırsa bu dokumalar yüksek gerilime dayanamaz ve yırtılırlar.

3.2.3.2. Taguchi deney tasarımı için test baskıları

Deneylerde kullanılan ipekler, polyester materyalden yapılmıştır. Her test baskı eleği için, 10x10 cm boyutlarında bir kare olan desen kullanıldı. Kalan işlem parametreleri Tablo 3.3'teki gibi seçilmiştir.

Tablo 3.3. Taguchi deneyinde kullanılan araç ve materyaller

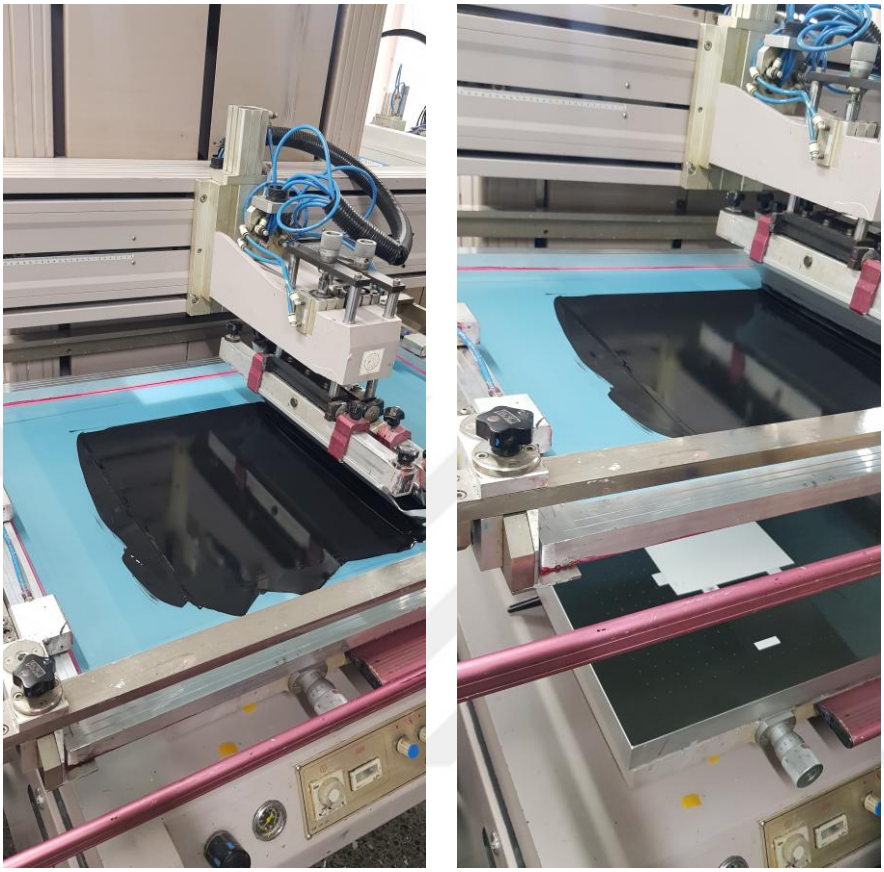
Araç ve materyal	Özellikleri
Serigrafi baskı makinesi	ATMA AT-80PD yarı otomatik serigrafi baskı makinesi
Rakle tipi	70 Shore A sertlik, 15 cm kauçuk rakle
Kalıp-malzeme arası mesafe (Snap-off)	2 mm
UV Bazlı mürekkep 1	Norcote marka, MSK 4000 seri, akışkanlık 700 cP
UV Bazlı mürekkep 2	Norcote marka, MSK 2500 seri, akışkanlık 500 cP
UV Bazlı mürekkep 3	Norcote marka, MSK 9.301 seri, akışkanlık 400 cP
Solvent Bazlı Mürekkep	Argon marka, 35701 seri, akışkanlık 300 cP
Elek Markası	SMT screen printing molofilament polyester ipek
Elek gerginliği	26 N/cm (100 tpc), 25 N/cm (120 tpc), 24 N/cm (140 ve 160 tpc),

Test baskıları yarı otomatik serigrafi makinesinde 2 mm kalıp-malzeme arası mesafe (snap-off) laboratuvar koşullarında (23°C ve %65 bağıl nem) beşer kopya olarak basıldı. Baskıdan sonra, solvent bazlı mürekkeple basılan numuneler 24 saat kurumaya bırakılmış, UV bazlı mürekkeplerle basılan numuneler "EMA UV curing system" kürleme makinesinde kurutulmuştur.



Şekil 3.13. Deneyde kullanılan ATMA AT-80PD yarı otomatik serigrafi baskı makinesi

Her bir numune, mürekkep sarfiyatını belirlemek amacıyla baskı öncesinde ve 24 saatlik kuruma süresinin ardından Mettler Toledo AB304-S terazisi ile tartılmış ve deneysel çalışmalar için ortalama ağırlıklar hesaplanmıştır.



Şekil 3.14. ATMA, AT-80PD serigrafi makinesinde test baskıları.



Şekil 3.15. Serigrafi makinesinde basılan test baskı örnekleri.

Renk ölçümleri bir X-Rite spektrofotometresi (380-780 nm spektral aralık, D50 filtre, 4.5 mm açıklık çapı, 2° ölçüm geometrisi) ile yapılmıştır. Baskı teknolojisinde kalitenin belirleyici değişkeni renk olduğundan, baskıların L*a*b* değerleri ölçüldü ve Toplam Renk Farkı (ΔE) değerleri, ISO 12647-5 (2001) serigrafi değerleri ile karşılaştırılarak bu CIE L* a* b * değerleri kullanılarak elde edilen sonuç Denklem 2 kullanılarak hesaplandı. Tüm deney çalışmaları için, beş basılı deney kopyasının ortalama ΔE_{00} değerleri kullanıldı.

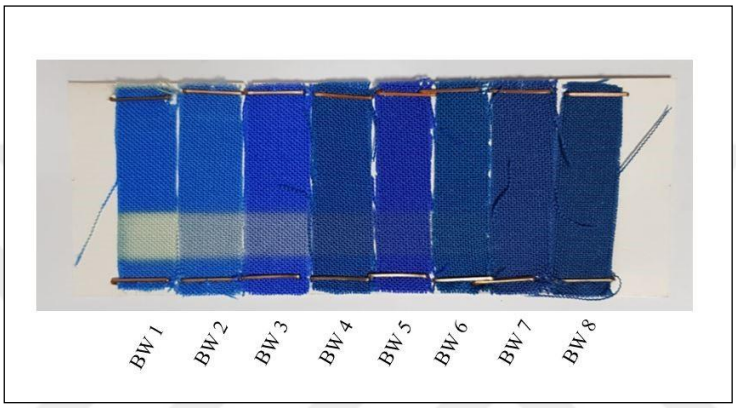
$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)\left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)} \qquad (2)$$

BÖLÜM IV. BULGULAR

4.1. Basılabilirlik Analiz ve Bulguları

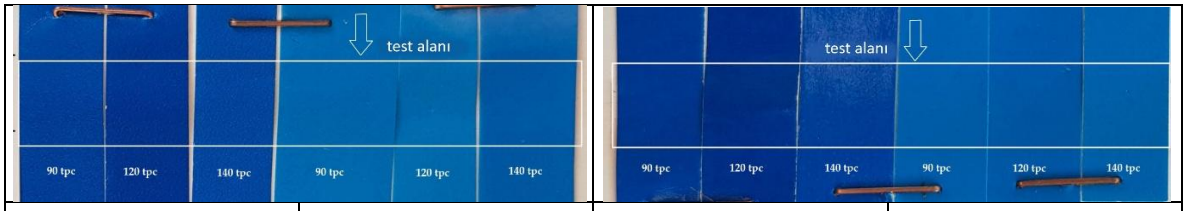
4.1.1. Işık haslığı

Işık haslığı testlerinde, her iki baskıaltı materyaline iki farklı mürekkep türü basıldı ve solma testleri yapıldı. 168 saatlik ışık maruziyetinden sonra ışık haslığı testlerinde kullanılan Mavi yün skalası (Blue wool scale) ve deneyde kullanılan örnekler Şekil 4.1 ve 4.2'de sunulmaktadır.



Şekil 4.1. Işık haslığı testlerinde 168 saatlik ışık maruziyetinden sonra görülen mavi yün test skalası.

Her farklı dokuma sıklığı ile basılan numuneler aynı koşullar altında ışık haslığı testine tabi tutulmuştur (Şekil 4).



Taş kâğıt (Solvent bazlı mürekkep)	Taş kâğıt (UV bazlı mürekkep)	Kuşe etiket kâğıt (Solvent bazlı mürekkep)	Kuşe etiket kâğıt (UV bazlı mürekkep)

Şekil 4.2. Test baskılı kağıtların 168 saatlik ışık haslığı testlerinden sonraki görünümü.

Mavi yün skalasında 5/4'e karşılık gelen solma (168 saat) sonucunda maksimum ΔE değeri solvent bazlı mürekkepte 1,36'yı, UV bazlı mürekkepte ise 1,29'u geçmemiştir. Her iki değer de ISO 12647-5 (2015)'te cyan mürekkep için CIELAB (CIE L*a*b*) ΔE limitlerinin altında kalmıştır. Işık haslığı testi öncesi ve sonrası değerler Tablo 4.1 ve 4.2'de görülebilir. Tablo 4.2'de görülebileceği gibi, UV bazlı mürekkep taş kağıt üzerinde solvent bazlı mürekkepten daha yüksek ışık haslığına sahiptir. Genel olarak, taş kağıt üzerindeki ΔE, kuşe etiket kağıdından daha yüksektir çünkü taş kağıt emici değildir ve mürekkep yüzeyde kurur, oysa kuşe etiket kağıdı lifli bir dokuya sahiptir ve mürekkebi emer. Dolayısıyla, ışık haslığı testinde kullanılan ışığın liflere nüfuz etmesi sınırlı olmuştur.

Tablo 4.1. Işık haslığı testi öncesi densite ve L*a*b* ölçümleri.

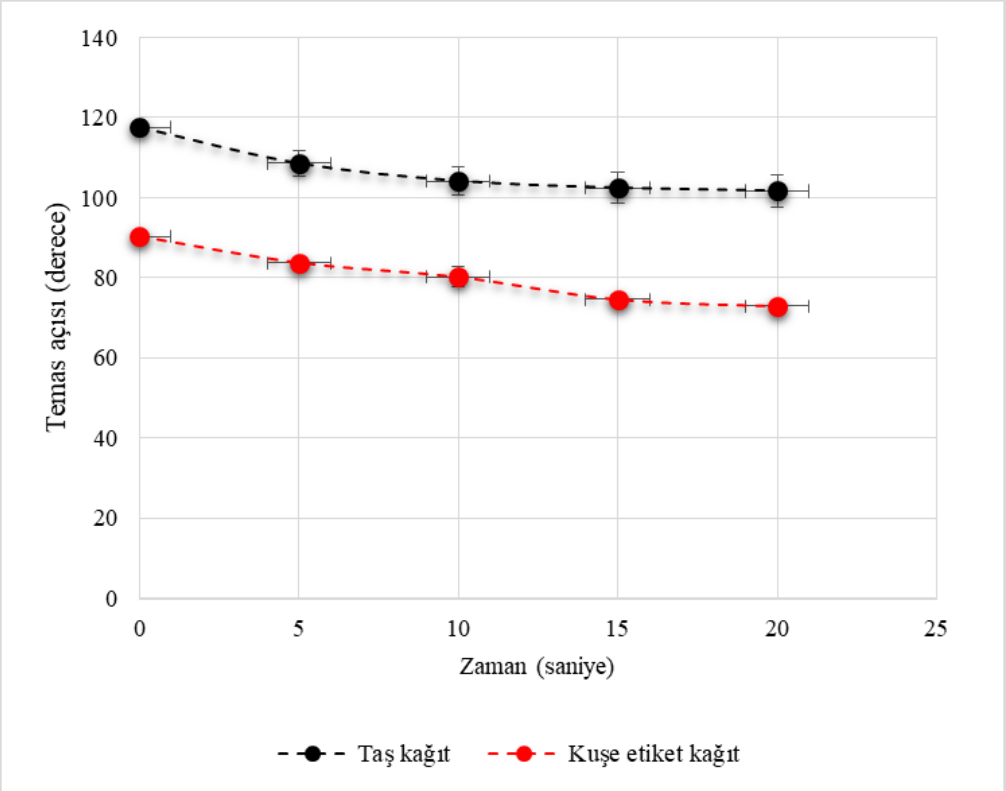
Elek Sıklığı	Mürekkep Türü	Taş kağıt				Kuşe etiket kağıt			
		Densite	L*	a*	b*	Densite	L*	a*	b*
90 tpc	Solvent bazlı	2,76	30,41	-7,57	-60,01	2,83	27,9	-6,02	-58,38
120 tpc	Solvent bazlı	2,62	33,93	-12,96	-59,87	2,81	32,98	-13,31	-58,88
140 tpc	Solvent bazlı	2,6	35,11	-13,86	-59,76	2,8	34,32	-14,6	-59,55
90 tpc	UV bazlı	2,24	43,58	-24,84	-54,55	2,06	44,09	-21,82	-51,48
120 tpc	UV bazlı	1,88	47,29	-28,88	-52,2	1,93	46,04	-24,38	-50,89
140 tpc	UV bazlı	1,79	48,32	-29,3	-51,55	1,85	47,45	-25,43	-49,78

Tablo 4.2. Işık haslığı testi sonrası taş kağıdın ve kuşe etiket kağıdının ΔE_{00} değerleri.

		Taş kağıt				Kuşe etiket kağıt			
Elek Sıklığı	Mürekkep Türü	L*	a*	b*	ΔE_{00}	L*	a*	b*	ΔE_{00}
90 tpc	Solvent bazlı	29.97	-5.39	-59.47	1,36	29.0	-5.83	-59.58	0.86
120 tpc	Solvent bazlı	33.36	-10.91	-59.33	1,21	32.53	-11.33	-59.86	1,03
140 tpc	Solvent bazlı	36.24	-14.02	-58.94	0,95	34.26	-13.37	-60.14	0.60
90 tpc	UV bazlı	43.57	-24.51	-56.36	0,52	44.52	-22.67	-50.25	0.68
120 tpc	UV bazlı	46.63	-27.01	-54.42	1,29	45.60	-24.23	-49.87	0.50
140 tpc	UV bazlı	48.07	-27.99	-52.94	0,8	47.41	-26.33	-47.84	0.77

4.1.2. Emicilik ve mürekkep sarfitayı

Temas açısı ölçümlerinde, su yayılımı kuşe etiket kağıdında daha fazla olmuştur. Bu sonuçlar, kuşe etiket kağıdının taş kağıda göre daha emici bir dokuya sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Baskısız kağıtların yüzey temas açıları ve zamana bağlı değişimleri.

Baskı öncesi ve baskı sonrasındaki her kağıdın kütle ölçümü yapılarak, bu kağıtların sarfettiği mürekkep miktarı tespit edilmiştir. Mürekkep sarfiyatı ölçümleri, densite değerlerinin ve mürekkep sarfiyatının kuşe etiket kağıdında taş kağıda göre daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Tüm solvent bazlı mürekkeplerin baskı densitesi UV bazlı mürekkepli baskılardan daha yüksek çıkmıştır (Tablo 4.3). Özellikle solvent bazlı mürekkeplerle yapılan baskılarda kuşe etiket kağıdındaki mürekkep tüketimi taş kağıda göre ortalama iki kat daha fazla olmuştur (Tablo 4.4).

Tablo 4.3. Kağıtların baskı sonrası mürekkep densite ölçümleri.

Dokuma sıklığı	Mürekkep	Taş kağıt baskı densitesi	Kuşe etiket kağıt baskı densitesi
90 tpc	Solvent bazlı	2.76	2.83
120 tpc	Solvent bazlı	2.62	2.81
140 tpc	Solvent bazlı	2.60	2.80
90 tpc	UV bazlı	2.24	2.06
120 tpc	UV bazlı	1.88	1.93
140 tpc	UV bazlı	1.79	1.85

Yüzey temas açısı arttıkça mürekkep sarfiyatı azalmaktadır (Şekil 4.3 ve Tablo 4.4). Taş kağıt emici olmayan bir polimer yüzeye sahiptir; bu nedenle, kuşe etiket kağıdından daha yüksek bir yüzey temas açısı ölçülmüştür (Şekil 4.3). Bu, taş kağıdın emiciliğini azaltarak mürekkep sarfiyatının düşük kalmasına neden olur. Öte yandan, kuşe etiket kağıdı emici bir selülozik yüzeye sahiptir, böylece yüzey temas açısının azalmasına izin verir. Kuşe etiket kağıdının emici selülozik yapısı da, bu etiket kağıdının yüksek mürekkep sarfiyatında önemli bir faktördür.

Tablo 4.4. Mürekkep sarfiyat ölçümleri.

Dokuma Sıklığı	Solvent Bazlı Mürekkep		UV Bazlı Mürekkep	
	Taş Kağıt	Kuşe Etiket Kağıt	Taş Kağıt	Kuşe Etiket Kağıt
Birim	g/m²	g/m²	g/m²	g/m²
90 tpc	8.06	15.53	18.18	26.68
120 tpc	6.35	14.96	16.92	23.76
140 tpc	5.86	13.92	14.38	23.01

4.1.3. Yüzey temas açısı

Taş kâğıt ve kuşe etiket kağıdının yüzey temas açıları zaman içerisindeki değişimi Şekil 4.3'te sunulmaktadır. Her iki malzemenin yüzey temas açıları, damlanın ilk temas anında ve sonrasında her beş saniyede bir ölçülmüştür.

Taş kağıt için yüzey temas açısı, ilk damlatma anında 117,6°**,** 5. saniyede 108,5°**,** 10. saniyede 104,1°, 15. saniyede 102,4° ve 20. saniyede 101,7° olarak kaydedilmiştir.

Kuşe etike kağıdı için yüzey temas açısı, ilk damlatma anında 90,3°, 5. saniyede 83,7°, 10. saniyede 80,2°, 15. saniyede 74,6° ve 20. saniyede 72,9° olarak ölçülmüştür.

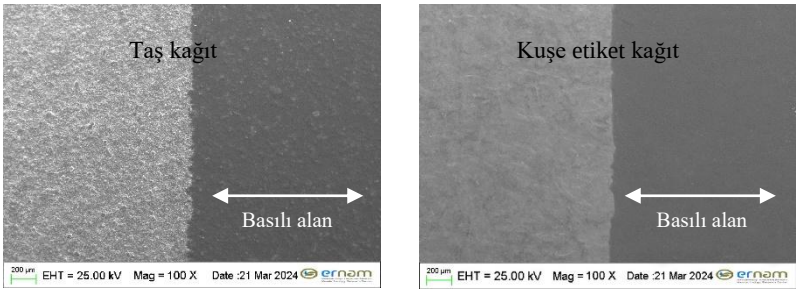
20 saniyelik ölçüm periyodunun sonunda, taş kağıdın ortalama yüzey temas açısı 106,9°, kuşe etiket kağıdının ise 80,3° olarak belirlenmiştir. Kuşe etiket kağıdı, selülozik yapısından dolayı su damlalarını emer ve yayar. Bu nedenle yüzey temas açısı azalır. Taş kağıt ise polimer yapısından dolayı hidrofobiktir ve bu da yüksek bir yüzey temas açısı ile sonuçlanır (Şekil 4.3).

4.1.4. SEM görüntüleri

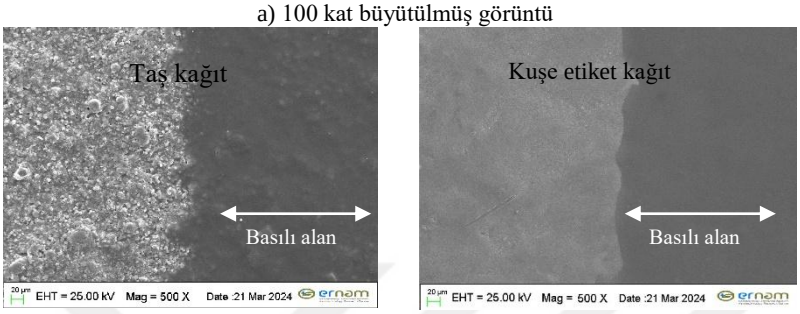
120 tpc dokuma sıklığı ile solvent bazlı mürekkep kullanılarak baskı yapılmış örneklerin SEM görüntüleri Şekil 4.4'te sunulmaktadır. Şekil 4'teki a, b ve c görüntüleri sırasıyla 100x, 500x ve 1000x büyütme oranlarında alınmıştır.

Şekil 4.4 a'da, taş kağıt üzerindeki mürekkep baskısının sona erdiği orta bölgedeki çizgi boyunca çöküntü ve çıkıntılar görülmektedir. Şekil 4.4 b'de, görüntü 500 kat büyütüldüğünden, taş kağıdın orta bölgesindeki pürüzlü alanlar daha belirgin hale gelmiş, aynı görüntünün baskısız bölgesindeki pürüzlü yüzey daha net fark edilmiştir. Buna karşılık, kuşe etiket kağıt yüzeyindeki baskı yapılmış bölgede, aynı büyütmede, orta bölgedeki çizginin daha düzgün bir yapı sergilediği gözlenmiştir.

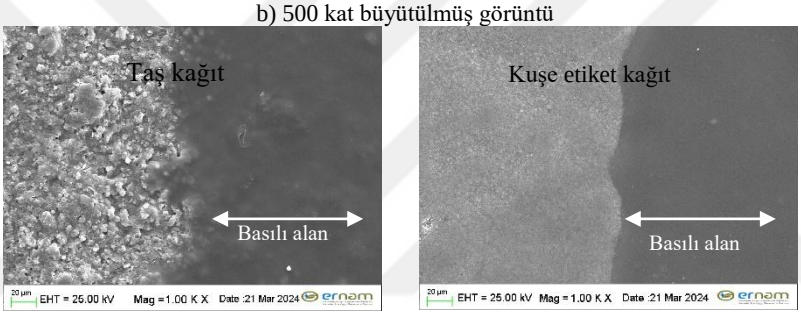
Son olarak, Şekil 4.4 c'de, 1000 kat büyütme ile, kuşe etiket kağıdının düzgün yapısı ve üzerine baskı yapılmış mürekkebin dağılmadan yerleştiği açıkça görülmektedir. Buna karşın, taş kağıdın belirgin pürüzlü yüzeyi ve bu yüzeydeki mürekkebin dağılımı daha net bir şekilde incelenebilir.



a) 100 kat büyütülmüş görüntü



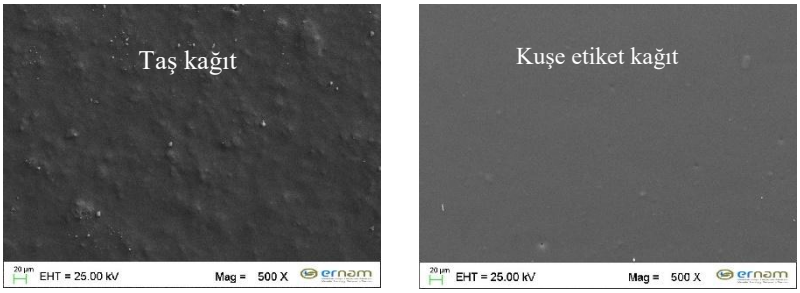
b) 500 kat büyütülmüş görüntü



c) 1000 kat büyütülmüş görüntü

Şekil.4.4. Solvent bazlı mürekkep ve 120 tpc dokuma sıklığıyla basılmış kağıtların SEM görüntüleri.

Her iki kağıdın da zemin mürekkep baskılı bölgelerinden görüntüler alınarak, kuşe etiket kağıdı ve taş kağıt üzerindeki baskılı bölgelerde mürekkebin davranışı daha iyi gözlenmiştir (Şekil 4.5). Önceki şekilde görüldüğü gibi, kuşe etiket kağıdın pürüzsüz yüzeyi, taş kağıda kıyasla daha düzgün bir mürekkep baskılı yüzey oluşturmuştur. Taş kağıdın yüzeyi ise mürekkep baskısından sonra pürüzlü bir görünüm sergilemiştir. Her iki numunenin baskı densitesi birbirine yakın bulunmuştur (kuşe etiket kağıdı baskı densitesi: 2.8, taş kağıt baskı densitesi: 2.65).



Şekil 4.5. 120 tpc dokuma sıklığıyla, solvent bazlı mürekkep baskılı kağıtların 500 kat büyütülmüş SEM görüntüleri. Her iki yüzey de zemin baskılıdır.

4.1.5. Sürtünme Direnci

UV bazlı mürekkebin sürtünme direnci her iki kağıtta da nispeten yüksektir. Sadece kuşe etiket kağıdındaki sürtünme direnci biraz daha yüksektir (%99,26 - 99,82 arasında). Böyle bir durum, kuşe etiket kağıdının selülozik yapısına ve sıvı UV bazlı mürekkebin iyi emilimine bağlanabilir. Kurutma sırasında UV bazlı mürekkebin polimerizasyonu, her iki kağıt türünün de yüksek sürtünme direncinde (%97-99) önemli bir rol oynamıştır (Tablo 4.5 ve 4.6) [64,65]. Solvent bazlı mürekkebin sürtünme direnci için; taş kağıdın sürtünme direnci, kuşe etiket kağıda göre daha yüksektir (%86.98 - 90.05 arasında). Solvent bazlı mürekkep, taş kağıdın emici olmayan yüzeyinde birikmiş ve dirençli bir tabaka olarak kurumuştur (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Taş kağıt ve kuşe kağıdın sürtünme direnci.

		Taş Kağıt			Kuşe Etiket Kağıt		
Elek Sıklığı	**Mürekkep Türü**	**Sürtünme Testi Öncesi Baskı Densitesi**	**Sürtünme Testi Sonrası Baskı Densitesi**	**Sürtünme Testi Sonrası Kalan Oran**	**Sürtünme Testi Öncesi Baskı Densitesi**	**Sürtünme Testi Sonrası Baskı Densitesi**	**Sürtünme Testi Sonrası Kalan Oran**
		Densite	**Densite**	**%**	**Densite**	**Densite**	**%**
90 tpc	Solvent bazlı	2,69	2,34	86.98	2,81	2,16	76.75
120 tpc	Solvent bazlı	2,65	2,31	87.40	2,8	2,48	88.80
140 tpc	Solvent bazlı	2,61	2,35	90.05	2,71	1,78	65.60
90 tpc	UV bazlı	2,27	2,23	97.94	2,06	2,05	99.51
120 tpc	UV bazlı	1,91	1,9	99.47	1,95	1,94	99.82
140 tpc	UV bazlı	1,79	1,78	99.07	1,81	1,8	99.26

Kuşe etiket kağıdının baskı densitesi, genel olarak taş kağıda kıyasla daha yüksek bulunmuştur. UV bazlı mürekkep ile baskı yapılmış yüzeyler, her iki kağıtta da stabil bir sürtünme direnci göstermiştir (Şekil 4.6, Tablo 4.6).

Şekil 4.6-a'da**,** taş kağıt üzerine üç farklı elek sıklığı ile basılmış solvent bazlı mürekkep katmanlarının, sürtünme sayısına paralel olarak düzenli bir aşınma gösterdiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, Şekil 4.6-b'de görüldüğü üzere, aynı elek sıklığıyla aynı kağıt üzerine basılmış UV bazlı mürekkep katmanları yüksek bir sürtünme direnci sergilemiştir. Bu direnç, UV bazlı mürekkebin polimerizasyonu ve kürlenmesi yoluyla stabil bir yüzey oluşturmasıyla açıklanabilir.

Benzer bir gözlem kuşe etiket kağıdı üzerinde de yapılmıştır; Şekil 4.6-c'de görüldüğü gibi, kuşe etiket kağıdı üzerine solvent bazlı mürekkep ile baskı yapıldığında aşınmanın, sürtünme sayısına paralel olarak arttığı görülmüştür. Buna karşılık, Şekil 4.6-d'de görüldüğü üzere, kuşe etiket kağıdı üzerine UV bazlı mürekkep ile yapılan baskıda sürtünme direncinin oldukça yüksek çıktığı tespit edilmiştir.

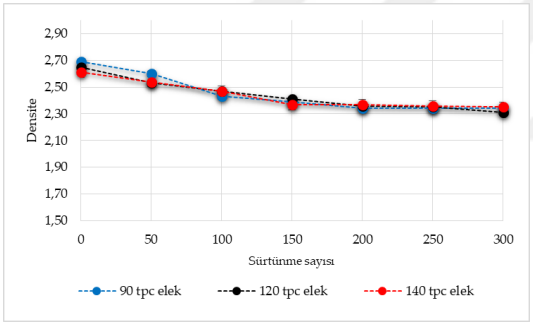
Solvent bazlı mürekkeplerin sürtünme direnci bağımsız olarak değerlendirildiğinde**,** Şekil 4.6-a **ve** Şekil 4.6-c'de görüldüğü üzere, sürekli bir azalma gözlemlenmiştir. Bu azalma, solvent bazlı mürekkeplerin fiziksel kuruma sürecinde buharlaşma yoluyla kuruması ve polimerik bir yapı oluşturmaması ile açıklanabilir. Bu tür bir kuruma, UV ile kürlenen mürekkepler kadar stabil bir yapı sağlayamamaktadır. UV kürleme işleminde, fotopolimerizasyon süreci kullanılmaktadır. Bu süreç, mürekkep filminin hızlı kurumasını kolaylaştıran bir polimerizasyonla sonuçlanır ve solvent bazlı mürekkeplere kıyasla daha stabil/sağlam bir film tabakası sağlar [17,26].

Solvent bazlı mürekkep ile baskı yapılmış yüzeylerdeki renk değişimleri, sürtünme direnci testleri öncesi ve sonrası ΔE değerleri ile gösterilmiştir ve bu değerler Tablo 4.6'da sunulmaktadır. Kuşe kağıdın emici yapısı nedeniyle, solvent bazlı mürekkep bu yüzeylerde emilmiştir ve taş kağıttaki kadar güçlü bir bağ oluşturmamıştır. Bu durum, Tablo 4.5'da verilen aşınma değerlerinde de açıkça görülmektedir. Bu aşınma, özellikle Tablo 4.6'da görüldüğü üzere, 140 tpc elek sıklığı ile kuşe kağıda yapılan baskılardaki ΔE değerlerinde (densite değerinin en düşük olduğu durumda) daha belirgindir.

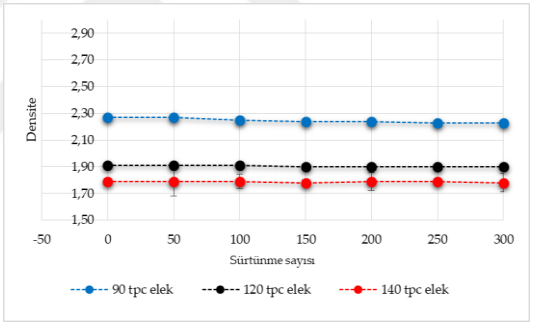
Tablo 4.6. Solvent bazlı mürekkep baskılarının yapıldığı baskıaltı materyallerin sürtünme direnci testinden sonra ΔE değerleri.

Baskıaltı Materyali	Dokuma Sıklığı	Mürekkep Türü	Sürtünme Testi Öncesi L*a*b* Değerleri			Sürtünme Testi Sonrası L*a*b* Değerleri			ΔE_{00}
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	
Taş kağıt	90 tpc	Solvent Bazlı	29,93	-6,65	-59,86	33,17	-7,3	-57,08	2,6
Taş kağıt	120 tpc	Solvent Bazlı	33,16	-11,46	-59,84	35,03	-11,1	-57,83	1,61
Taş kağıt	140 tpc	Solvent Bazlı	35,5	-14,36	-60,3	36,45	-13,46	-58,52	1,04
Kuşe Etiket Kağıt	90 tpc	Solvent Bazlı	28,21	-6,18	-58,72	30,53	-6,17	-55,55	1,93
Kuşe Etiket Kağıt	120 tpc	Solvent Bazlı	32,46	-12,35	-59,22	33,52	-12,91	-57,8	0,92
Kuşe Etiket Kağıt	140 tpc	Solvent Bazlı	34,43	-14,47	-59,63	38,66	-12,19	-54,11	4,05

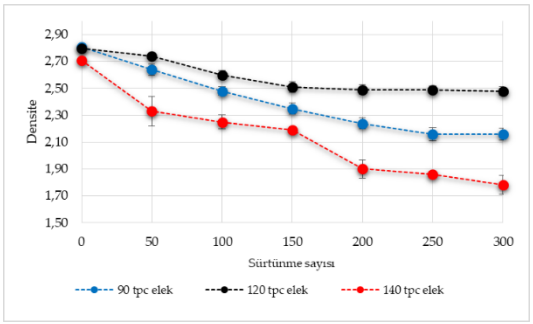
Yukarıda açıklandığı gibi, aşağıdaki grafiklerde UV bazlı mürekkeplerin **(**Şekil 4.6-b ve 4.6-d**)** solvent bazlı mürekkep **(**Şekil 4.6-a ve 4.6-c**)** ile karşılaştırıldığında daha yüksek sürtünme direncine sahip olduğu daha net bir şekilde görülmektedir.



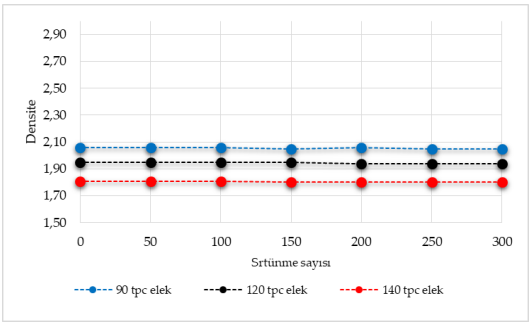
a) Taş kağıt, solvent bazlı mürekkep



b) Taş kağıt, UV bazlı mürekkep



c) Kuşe etiket kağıt, solvent bazlı mürekkep



d) Kuşe etiket kağıt, UV bazlı mürekkep

Şekil 4.6. Taş kağıt ve kuşe etiket kağıdın mürekkep sürtünme dirençleri.

4.2. Taguchi Deney Analizi

4.2.1. Deneylerde izlenen yol

Deney tasarımında, faktöriyel bir matris yapısına sahip olan ortogonal dizi (OA) uygulanmıştır. Test baskılarına ait anahtar faktörler bu dizinin sütunlarında belirtilmiş, faktör seviyelerinin kombinasyonları ise her bir deneysel çalıştırma için satırlar halinde düzenlenmiştir.

Sonuçların değerlendirilmesinde, Sinyal/Gürültü (S/N) oranları temel ölçüt olarak kullanılmıştır. S/N oranları, ölçülen mürekkep sarfiyatındaki sapmaları belirlemek ve daha yüksek bir S/N oranı elde ederek sürecin en iyi performans kombinasyonunu bulmak amacıyla uygulanmıştır [66].

Taguchi yönteminde, yanıt değerleri S/N oranlarına dönüştürülmekte ve kaliteyi tanımlamak için üç temel parametre kullanılmaktadır.

• Ne kadar küçükse o kadar iyi,

• Ne kadar büyükse o kadar iyi,

• Nominal daha iyi.

Deneyde elde edilen sonuçların S/N oranlarına dayalı varyans analizleri sayesinde, minimum mürekkep sarfiyatı için en uygun elek sıklığı belirlenmiştir. Serigrafi ile yapılan çalışmada, elde edilen sonuçları değerlendirmek için "ne kadar küçükse o kadar iyi" kriteri kullanılmıştır. Bu yaklaşım, optimum baskı kalınlığı ve renk kalitesinin yanı sıra minimum mürekkep sarfiyatını sağlamayı hedeflemiştir. Buradan çıkacak minimum mürekkep tüketimi sonucunun, standartlara uygun mürekkep film kalınlığı verip vermediği değerlendirilecektir.

Denklem 3 kullanılarak, seçilen her bir faktör ve faktör seviyesine ait S/N oranları hesaplanmıştır; burada r, deneysel çalışmaları ve y, kalite karakteristiklerini temsil etmektedir. *Bir parametrenin S/N oranının daha yüksek olması, bu parametrenin sürecin optimizasyonu üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.*

$$\mathrm{S/NLB} = -10\log(\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{r} y^{2}\mathrm{i}) \qquad (3)$$

Deney tasarımında 5 farklı parametrenin ve her parametrenin de 4 seviyesinin olduğu düşünüldüğünde, buna uygun ortogonal tabloya ihtiyaç duyulmaktadır. L16 (2^{15})tablosu

buna en uygun olanı gibi durmaktadır. L16 tablosu 15 faktöre kadar tasarlanmıştır, ancak her faktörde 2 seviye bulunmaktadır. Tasarımda 4 seviye olduğundan L16 tablosunun birden fazla kolonunu her bir parametre için kullanmak gerekmektedir.

Tablo 4.7. Girdi faktörleri ve seviyeleri.

Proses Parametreleri	**Seviye 1**	**Seviye 2**	**Seviye 3**	**Seviye 4**
A: Elek sıklığı (tpc)	100	120	140	165
B: Kağıt	Taş kağıt	Kuşe etiket	Şeffaf etiket	Mat şeffaf pvc
C: Mürekkep	Solvent	UV 9.301	UV 2500	UV 4000
D: Rakle açısı	80°	70°	60°	55°
E: Rakle basıncı	2.5 bar	3 bar	3.5 bar	4 bar

Parametreleri L16 tablosuna şöyle uyarlayabiliriz:

Parametre A: Kolon 1 ve 2

Parametre B: Kolon 3 ve 4

Parametre C: Kolon 5 ve 6

Parametre D: Kolon 7 ve 8

Parametre E: Kolon 9 ve 10

Tablo 4.8. İki seviyeli L16 parametre tablosu.

Deney No	1 ve 2	3 ve 4	5 ve 6	7 ve 8	9 ve 10
1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
2	1 1	1 2	1 2	1 2	1 2
3	1 1	2 1	2 2	2 2	2 1
4	1 1	2 2	2 1	2 1	2 2
5	1 2	1 1	2 1	2 2	2 2
6	1 2	1 2	2 2	2 1	2 1
7	1 2	2 1	1 1	1 2	1 2
8	1 2	2 2	1 2	1 1	1 1
9	2 1	1 1	2 2	1 2	2 1
10	2 1	1 2	1 1	1 1	2 2
11	2 1	2 1	1 2	2 1	1 1
12	2 1	2 2	2 1	2 2	1 2
13	2 2	1 1	1 2	2 1	1 2
14	2 2	1 2	1 1	2 2	1 1
15	2 2	2 1	2 1	1 1	2 1
16	2 2	2 2	2 2	1 2	2 2

Ancak, bu metot 4 seviyeli faktörleri L16 tablosuna uyarlamamızı sağlarken faktörler arasında belirli bir etkileşim olmadığını var saymaktadır, ki bu doğru olmayabilir. Eğer herhangi parametreler arasında belirli bir etkileşim var ise sonuçların daha detaylı çalışılması gerekmektedir. Parametreler arasında etkileşim yoksa tabloyu aşağıdaki parametrelere göre şöyle düzenleyebiliriz:

Tablo 4.9. L16 tablosu, parametre arası etkileşim olmayan tasarım.

	A	B	C	D	E
Deney No	Elek sıklığı	Kağıt tipi	Mürekkep tip	Rakle açısı	Rakle basıncı
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	4	4	3
4	1	4	3	3	4
5	2	1	3	4	4
6	2	2	4	3	3
7	2	3	1	2	2
8	2	4	2	1	1
9	3	1	4	2	3
10	3	2	1	1	4
11	3	3	2	3	1
12	3	4	3	4	2
13	4	1	2	3	2
14	4	2	1	4	1
15	4	3	3	1	3
16	4	4	4	2	4

Bu tabloya göre deneyleri yapıp ölçümleri yaptıktan sonra elde edilen sonuçları Taguchi metodundaki signal-to-noise ratio'yu kullanarak analiz etmek gerekir. Amaç, her parametrenin hangi seviyesinin optimum sonucu verdiğini belirlemektir.

Bu tasarım B ve C arasındaki etkileşimin net bir görünümünü verecektir. Bir etkileşim varsa, 'BC Etkileşimi' sütununda sonuçların karşılaştırılması ile bu açıkça görülecektir.

Belirli faktörler arasında güçlü etkileşimlerden şüphe duyuluyorsa bunları tasarımda dikkate almak önemlidir. Ancak bu, iki ayrı deney seti çalışılması gerektiği anlamına gelmez. Amaç, eğer mümkünse, ana etkiler ve etkileşimler çalışmasını tek bir deneysel tasarımda bütünleştirmek olmalıdır. Pratikte, kaynakların ve zamanın efektif kullanılması için hem iki parametre arasındaki etkileşimi hem de ana etkileri göstermek için bütünsel yaklaşım ile tek bir deney tasarımı yapılmaktadır.

Bütünsel yaklaşım için model tasarımı:

Daha Büyük Bir Ortogonal Tabloyla Bütünleşik Yaklaşım: L32 gibi daha büyük bir ortogonal tablo kullanılır (veya dikkate almak istenilen etkileşimlere bağlı olarak daha da

büyük). Bu, tüm faktörlerin ve belirli etkileşimlerin ana etkilerini aynı anda değerlendirmeye olanak sağlayacaktır.

Kesirli Faktöriyel Tasarım: Kaynaklar sınırlıysa, kesirli faktöriyel tasarım kullanmayı düşünmek daha doğru olur. Bu yaklaşım tüm olası kombinasyonları incelemez ancak bunların bir kısmını seçer. Ana etkilerin ve bazı etkileşimlerin incelenmesine izin verir, ancak yüksek dereceli etkileşimlerin ihmal edilebilir olduğunu varsayar.

Sıralı Yaklaşım: İki grup deneyle (önce etkileşimler, sonra ana etkiler veya tam tersi) ilerleme seçilirse işe yarayabilir ancak daha az verimli olabilir. Bu durumda, ilk deney grubunun sonuçlarının ikinci gruba nasıl devam edileceğine ilişkin kararları etkileyebileceğini anlamak önemlidir.

Yalnızca B ve C parametreleri arasında bir etkileşimden şüpheleniliyor ise hem ana etkileri hem de bu etkileşimi barındırabilecek dik bir diziye ihtiyaç olacaktır. Bununla birlikte, L32'nin birden fazla etkileşim ve faktör içeren çok daha karmaşık bir senaryo için tasarlandığı göz önüne alındığında, ana etkilere ek olarak B ve C arasındaki tek bir etkileşim için L32 dizisinin kullanılması aşırıya kaçabilir. Faktörlerin seviyeleri göz önüne alındığında, ideal olarak detaylar şöyle olacaktır:

Faktör	**Seviye sayısı**
A	4
B	4
C	4
D	4
E	4
BC	4x4=16

Toplamda 24 serbestlik derecesi barındırabilecek bir tasarıma ihtiyaç olacak, ama buna tam olarak uyan standart bir Taguchi tablosu yok.

Ancak iki farklı seçenek var:

1. L32 tablosunu kullanılabilir: L32, 32 serbestlik derecesine kadar tasarlanmıştır, bu nedenle 5 ana parametreyi (her biri 4 seviyeye sahip olduğundan her biri 3

serbestlik derecesine sahiptir) ve BC etkileşimini (3x3 etkileşimi temsil ettiğinden 9 özgürlük derecesine sahiptir) barındırmak için alan sağlar.

2. Özelleştirilmiş Kesirli Faktöriyel veya Bileşik Tasarımlar: Özel ihtiyaçlara göre kesirli faktöriyel veya bileşik tasarım yaklaşımı sunan istatistiksel yazılımı kullanarak özel bir tasarım oluşturulabilir. Bu şekilde, olası toplam deneysel çalıştırmaların yalnızca bir kısmı çalıştırılır ancak yine de ana etkiler ve BxC etkileşimi hakkında fikir sahibi olursunuz.

Özetle, L32 kesinlikle işe yarayacak ve faktör seviyelerinin tüm olası kombinasyonlarını içerecektir. Fakat, standart bir dizi kullanma açısından en basiti olsa da en verimlisi olmayabilir. Her biri 4 seviyeye sahip 5 parametre göz önüne alındığında, bu 4^5=1024 deney ihtiyacı ile sonuçlanır. Deneylerin çokluğu göz önüne alındığında, 1024 deneyin tamamını yapmak pratik olmayacaktır.

Deneydeki parametreler göz önüne alındığında kesirli faktöriyel tasarım daha uygun görünmektedir. Bu durumda, kesirli faktöriyel tasarım için bir jeneratör kurulacak olursa:

Jenaratör: BCD = I (I kimlik öğesini temsil eder, yani değişiklik yok anlamına gelir).

Jeneratör olarak BCD'yi seçerek aslında B, C ve D arasındaki üç yönlü etkileşimi sanki hiçbir değişiklik yokmuş gibi inceleneceği ifade edilir. Bu güçlü bir varsayımdır ancak tam faktöriyel tasarımın 1/8'lik bir kısmını oluşturmaya izin verir, yani böylece 256 yerine yalnızca 16 deneysel çalışma yapabiliriz. Bu faktörlere dayanan varsayımsal 1/8 kesirli faktöriyel tasarım şöyledir,

Tablo 4.10. Varsayımsal 1/8 kesirli faktöriyel tasarım tablosu

	A	B	C	D	E	BC İlişkili
Deney No	Elek sıklığı	Kağıt	Mürekkep	Rakle açısı	Rakle basıncı	Kağıt-Mürekkep
1	1	1	1	1	1	1-1
2	1	2	2	2	2	2-2
3	1	3	3	4	3	3-3
4	1	4	4	3	4	4-4
5	2	1	2	2	3	1-2
6	2	2	1	1	4	2-1
7	2	3	4	4	1	3-4
8	2	4	3	3	2	4-3
9	3	1	3	3	4	1-3
10	3	2	4	4	1	2-4
11	3	3	1	1	2	3-1
12	3	4	2	2	3	4-2
13	4	1	4	4	2	1-4
14	4	2	3	3	4	2-3
15	4	3	2	2	1	3-2
16	4	4	1	1	3	4-1

Kesirli faktöriyel tasarım, belirli yüksek dereceli etkileşimlerin ihmal edilebilir olduğunu varsayar. Bu varsayımların yanlış olması kafa karıştırıcı ve hatalı yorumlara yol açabilir. Bu sınırlamaların farkında olmak ve sonuçların yetersiz veya mantığa aykırı görünmesi durumunda ek deneyleri veya tam faktöriyel tasarımları dikkate almak gerekebilir.

Bu tasarım BCD = I jeneratörüne uygundur; yani, B, C ve D arasındaki etkileşimin ihmal edilebilir olduğunu varsayıldığı anlamına gelir. Çalışmaların sırası, olası kontrol edilemeyen değişkenlerin etkilerini azaltmak amacıyla her faktörün düzeylerini değiştirecek şekilde yapılandırılmıştır.

Burada parametreleri değerlendirirken, daha önce yapılmış bir akademik çalışmayı referans alarak [26], B ve C parametreleri arasında etkileşim olduğu düşünüldü. Bu bilgi ışığında yukardaki tabloda hazırlanan 1/8 kesirli faktöriyel tasarımı hazırlanarak, deneyler yapıldı.

4.2.1. Deney sonuçları ve analizi

Deneylerde kullanılan dört farklı baskıaltı materyali üzerinde minimum mürekkep sarfiyatını bulabilmek için aşağıdaki yöntem seçilmiştir;

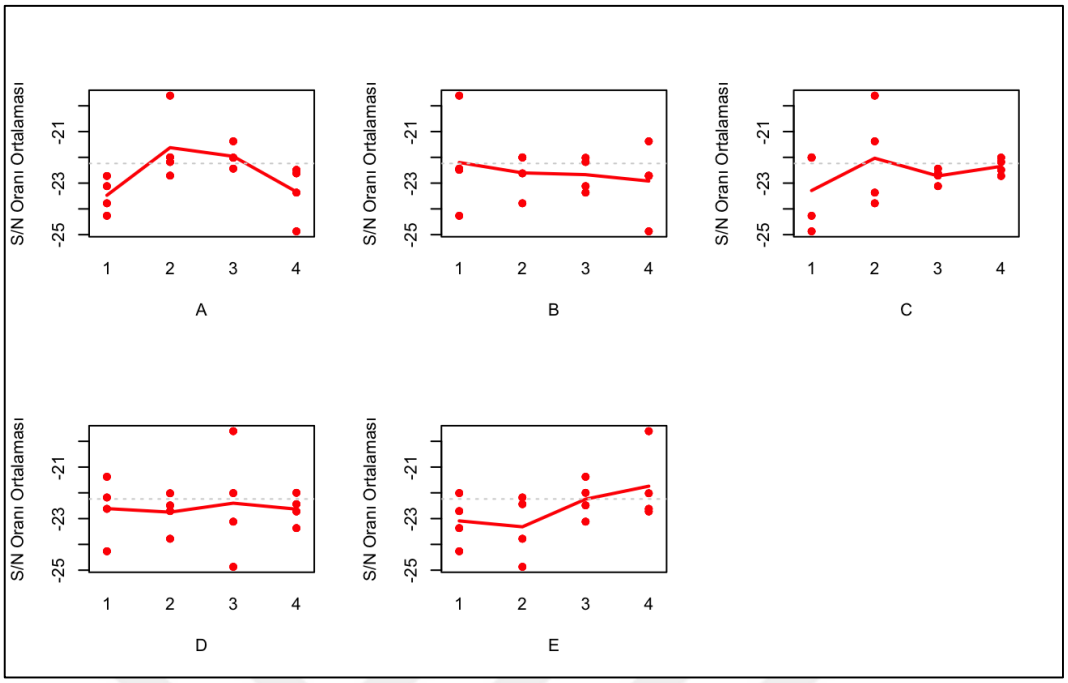
Taguchi yöntemindeki 'daha küçük daha iyidir' senaryosu için S/N oranı farklı şekilde hesaplanır. İşte 'daha küçük daha iyidir' formülü:

$$S/N_{smaller} = -10 \cdot \log_{10}\left(n1 \sum_{i=1}^{n} y_{i2}\right) \qquad (4)$$

Burada *"yi"* gözlenen veriyi, *"n"* ise gözlem sayısını ifade etmektedir.

Oluşturulan grafik, mürekkep kullanımına ilişkin *Sinyal/Gürültü (S/N)* oranlarının ana etkilerini göstermektedir. Taguchi yöntemine göre, S/N oranları, sistemdeki parametrelerin performansa olan etkisini değerlendirirken hem ortalamayı hem de değişkenliği dikkate alır. Grafikte, farklı kontrol faktörlerinin (örneğin, elek sıklığı, kağıt türü, rakle basıncı) mürekkep kullanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Mürekkep kullanımına yönelik S/N oranlarının ana etki grafiği aşağıda görülmektedir.

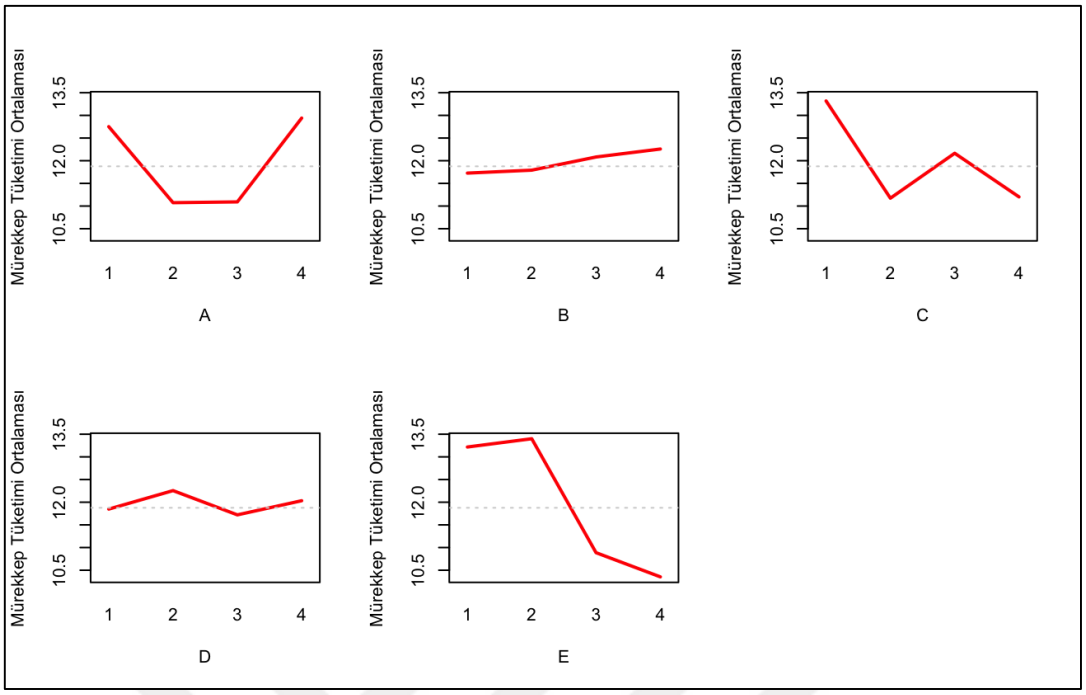


Şekil 4.7. Mürekkep kullanımına yönelik S/N oranlarının ana etki grafiği.

Yüksek bir S/N oranı, sistemin daha az değişkenlikle istenen performansı sağladığını ifade eder. *Bu nedenle, grafikteki en yüksek S/N oranına sahip faktör seviyesi, mürekkep kullanımını optimize etmek ve değişkenliği minimize etmek için tercih edilmesi gereken seviyedir*. Grafikteki eğim ve faktörlerin etkisi, hangi parametrelerin mürekkep kullanımında daha belirleyici olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır.

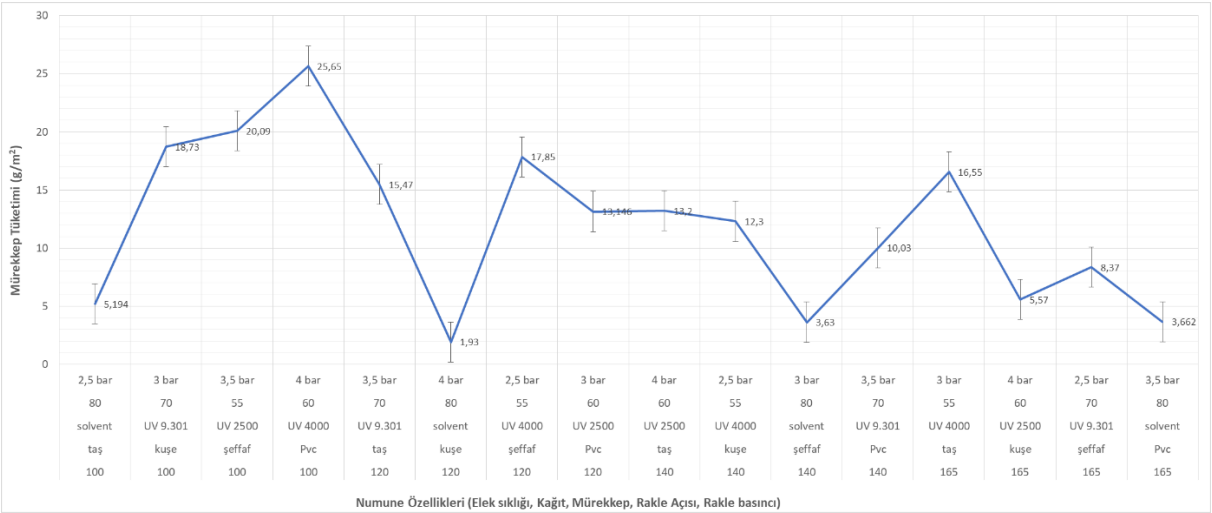
Bu analiz, mürekkep sarfiyatının azaltılması ve baskı süreçlerinin verimliliğinin artırılması için temel bir rehber niteliği taşımaktadır.

Deneyin analizleri R Studio programında yapılmıştır.

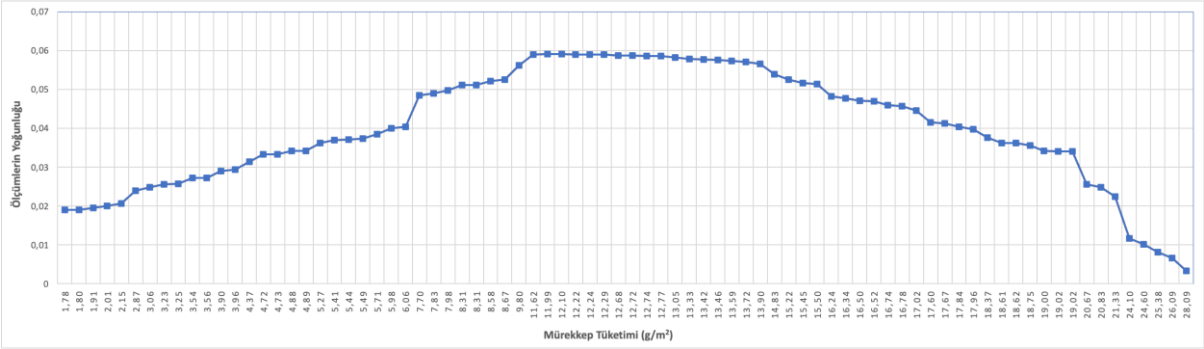


Şekil 4.8. Mürekkep tüketiminin faktörler bazında seviyelere göre ortalama değer grafiği.

Deneylerde ölçülen mürekkep sarfiyatarının ortalama değerleri, aşağıdaki şekilde görülmektedir. Her ölçüm, bir deney sonucuna denk gelmektedir (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Dört farklı mürekkep, kağıt türü ve dokuma sıklığı ile basılan numunelere ait ölçülen ağırlıklarına (g) göre verilen mürekkep sarfiyatları.



Şekil 4.10. Ölçülen sarfiyat değerlerinin standard sapma grafiği.

Deneylerin mürekkep sarfiyatı için model özeti tablo halinde aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4.11 Mürekkep sarfiyatı için model özeti.

	S	R-Sq	R-Sq(adj)	F	p
A, B, C, D, E faktörlerine karşın Mürekkep Tüketimi	3.44	0.76	0.74	46.3	$<2.2x10^{-16}$

S: Standard sapma, R-Sq: Varyasyon oranı, F: F istatistik değeri, p: p değeri

Deneylerin Anova özeti aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.12. Mürekkep sarfiyatına ait ANOVA özeti.

Faktör	DoF	SSq	MSq	F	Pr (>F)
A	1	841.52	841.52	71.003	$2.022x10^{-12}$ ***
B	1	19.35	19.35	1.633	0.205
C	1	1871.60	1871.60	157.916	$2.2x10^{-16}$ ***
D	1	1.65	1.65	0.139	0.710
E	1	9.42	9.42	0.795	0.376
Residuals	74	877.04	1.6		

DoF: Özgürlük derecesi, SSq: Karelerin toplamı, MSq: Karelerin ortalaması, F: F-test, Pr: Olasılık
*Önemli kodlar: 0 '***' 0.001 '**' 0.0,1 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1*

ANOVA özet tablosu, her bir faktörün (A, B, C, D, E) ve bunların S/N oranı üzerindeki etkisine ilişkin varyans analizini göstermektedir. Tabloya ilişkin yorumlar aşağıdaki gibidir:

Df (Serbestlik Derecesi): Her bir faktör için seviyelerin sayısının bir eksiği ve artıklar (rezidüeller) için gözlem sayısından tahmin edilen parametrelerin sayısının çıkarılmasıyla elde edilen değeri ifade eder.

Sum Sq (Kareler Toplamı): Her bir faktörün açıkladığı varyasyon ile artık (hata) varyasyonunu temsil eder.

Mean Sq (Ortalama Kare): Kareler Toplamının ilgili serbestlik derecesine bölünmesiyle elde edilir ve her bir faktörün açıkladığı varyansı ifade eder.

F değeri: Her bir faktörün Ortalama Kare değerinin artıkların Ortalama Kare değerine oranıdır. Bu oran, her bir faktörün istatistiksel anlamlılığını gösterir.

Pr(>F) (p-değeri): F değeri gözleminin, sıfır hipotez doğru olduğunda (yani bir etkinin olmadığı varsayımıyla) gerçekleşme olasılığını gösterir. Küçük bir p-değeri, ilgili faktörün yanıt değişkeni üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu önerir.

Anova Özet tablosundaki P değerine bakıldığında, *A ve C faktörleri yani elek sıklığı ile mürekkep türü bu deneyde mürekkep tüketimine etkisi en fazla olan faktörler olarak bulunmuştur.* Diğer faktörlerin de etkisi olmakla beraber *en az etkiyi rakle açısının gösterdiği*, elek sıklığı ve mürekkep türünden sonra en etkili faktörün kağıt türü ve sonrasında da rakle basıncının olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.13. Mürekkep tüketimi için tek numune t-test özeti.

	Df	%95 Güven Aralığı	Ölçümlerin Ortalaması	t	p
A, B, C, D, E faktörlerine karşın Mürekkep Tüketimi	79	10.45-13.47 (g/m^2)	11.96 (g/m^2)	1.4752	0.1441

df: Özgürlük derecesi, t: t-test değeri, p: p-değeri

Faktörlerin optimum seviyelerine göre tahminlenen ortalama mürekkep tüketimi 10.85 g/m^2 hesaplanmıştı ve yapılan numunelerin ölçülen sonuçlarının da ortalaması 11.96 g/m^2 olarak bulundu. Bu da göstermektedir ki deneyde elde edilen değerler tahminlenen değerlere uygundur. Ayrıca, p-değeri de 0.5'in altında olduğundan bu deney ile faktörler için belirlenen seviyelerin optimum olduğu söylenebilir.

Tablo 4.14. Ortoganal dizi L16 için hazırlanan deney tasarımının ölçüm sonuçları.

Deney	Kontrol Faktörleri					Mürekkep Tüketimi (g/m²)					S/N Oranı	ΔE
	A	B	C	D	E	T1	T2	T3	T4	T5		
1	1	1	1	1	1	4,89	5,49	5,27	5,44	4,88	25.69	1,09
2	1	2	2	2	2	17,84	18,75	18,61	19,00	18,37	14.55	1,67
3	1	3	3	4	3	19,02	20,83	20,67	21,33	18,62	13.94	5,44
4	1	4	4	3	4	28,09	24,60	25,38	24,10	26,09	11.82	0,94
5	2	1	2	2	3	14,83	16,34	15,50	15,45	15,22	16.21	1,03
6	2	2	1	1	4	2,15	1,91	1,78	2,01	1,80	34.29	2,29
7	2	3	4	4	1	17,67	17,60	17,02	17,96	19,02	14.97	0,5
8	2	4	3	3	2	13,59	13,46	12,74	12,22	13,72	17.62	0,75
9	3	1	3	3	4	12,29	13,42	13,90	13,33	13,05	17.59	2,83
10	3	2	4	4	1	12,77	11,62	12,24	11,99	12,68	4.25	1,27
11	3	3	1	1	2	4,37	2,87	3,06	3,90	3,96	28.80	2,76
12	3	4	2	2	3	9,80	7,70	12,10	12,72	7,83	19.97	1,26
13	4	1	4	4	2	16,50	16,74	16,78	16,24	16,52	15.62	6,5
14	4	2	3	3	4	6,06	5,98	5,71	4,72	5,41	25.08	6,85
15	4	3	2	2	1	8,31	7,98	8,58	8,31	8,67	21.54	2,52
16	4	4	1	1	3	3,23	3,54	3,56	3,25	4,73	28.73	2,71

Tablo 4.13 değerlendirildiğinde; 5 no.lu deney (A2 B1 C2 D2 E3) SN grafikleri ile karşılaştırıldığında da, en optimum değeri kombinasyonunu vereceği görülmektedir. 5 No.lu deneyin seçilmesindeki etkenler ise mürekkep tüketimi S/N oranı etki grafiğidir (Şekil 4.7.). S/N oranı etki grafiği ve Tablo 4.13 karşılaştırıldığında;

A, B, C, D ve F faktörleri için sırasıyla 2, 1, 2, 3 ve 4 seviyelerinde elde edilmiştir (Şekil 4.7.). Faktörler bu seviyelere ayarlandığında optimum mürekkep tüketiminin 10.85 g/m² olacağı tahmin edilmektedir. Taguchinin tasarladığı deneyde bu kombinasyon bulunmamaktadır ama en yakın deney Tablo 4.13'te görülen, 5. Deney satırıdır. Açıklayacak olursak;

A2; 120 tpc elek sıklığı ile,

B1; taş kağı türü kullanılarak,

C2; UV bazlı, 9.301 kodlu mürekkep ile,

D2; 70° rakle açısı ve

E3; 3.5 bar rakle basıncı değerleri kullanıldığında optimum mürekkep sarfiyat değerlerine ulaşılacaktır. Beşinci deneyin ΔE değeri, 12647-5 Large gamuta uygun ΔE değerleri tolerasn değerleri içindedir.

Anova Özet tablosundaki P değerinde A ve C faktörlerinin doğruluğu oldukça yüksek çıkmıştır. Vurgulamak gerekirse, elek sıklığı (A faktörü) ile mürekkep türü (C faktörü) bu deneyde mürekkep tüketimine etkisi en fazla olan faktörler olarak bulunmuştur.

Bölüm V. SONUÇ VE TARTIŞMA

Taş kağıt üzerine UV bazlı mürekkep ile yapılan baskılarda**,** 120 tpc dokuma sıklığı**,** ISO 12647-5 (2015) standardında belirtilen Large renk gamutuna yakın değerler sağlamıştır. Large renk gamutunu referans alan kullanıcılar, 120 tpc dokuma sıklığı ile baskı yapabilirler.

İlk deney çalışmasında, üç farklı dokuma sıklığı kullanılarak, farklı densiteye sahip üç mürekkep film katmanı basılmıştır. Tüm farklı mürekkep katmanlarının ışık haslığı yüksek bulunmuştur. Bu bulgulara dayanarak, mürekkep sarfiyatını azaltarak yüksek ışık haslığına sahip mürekkep katmanlarının basılabilmesi nedeniyle 140 tpc dokuma sıklığı ile baskı yapılması önerilmektedir.

Sürtünme testleri, UV bazlı mürekkeplerin her dokuma sıklığında yüksek sürtünme direnci değerlerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, elek sıklığı arttıkça mürekkep sarfiyatının azaldığı ölçülmüştür. Bu durum, daha sık dokumalar kullanılarak mürekkep tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir.

Mürekkep sarfiyatı göz önüne alındığında, özellikle solvent bazlı mürekkeplerle baskı yapılırken, kuşe etiket kağıdın mürekkep sarfiyatı taş kağıda göre yaklaşık iki kat daha yüksek bulunmuştur. Öte yandan, her iki kağıdın optik mürekkep densite oranları birbirine yakın ölçülmüştür. Bu nedenle, taş kağıt kullanılarak baskı yapıldığında mürekkep sarfiyatı azalacak dolayısıyla maliyet açısından tasarruf sağlanabilecektir.

Taguchi deney modeli, deney sayılarını azaltarak, daha az deney ile en uygun sonuca ulaşmak amacıyla mürekkep sarfiyat deneylerinde optimizasyon için kullanıldı ve en uygun parametreleri verdiği belirlendi. Hesaplanan parametrelerde elek sıklığı ile mürekkep türünün/viskozitesinin, mürekkep tüketimi üzerinde etkisi olduğu görüldü. Deneyde ulaşılan optimum mürekkep sarfiyat değeri, ISO 12647-5 (2015) serigrafi standardında önerilen Large gamut ΔE tolerası değerleriyle uyumlu çıktığı tespit edildi. Bu anlamlı sonuçların; mürekkep sarfiyatında miktar ve tutar olarak tasarruf sağlanarak piyasaya ekonomik katkı sağlayacağı, yapılan deney çalışmalarıyla elde edilen model ile daha sonra yapılacak çalışmalara yol gösterici olacağına inanılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Classen, A. (2022) The Continuation of the Middle Ages in the Early Modern Print Period. With an Emphasis on Melusine and Till Eulenspiegel, Publishing Research Quarterly, 38, 623–641.
2. Hanks, P. (2010) Lexicography, Printing Technology, and the Spread of Renaissance Culture, 988–1006.
3. Tunçel, O. (2019) Dijital Çağda Baskı Teknolojileri, Sanat ve Tasarım Dergisi, 361–377.
4. Bilginer, O. (2014) Serigrafinin Tarihçesi ve Türkiye'de Serigrafi Sanatı, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Yazıları Dergisi, 13–28.
5. Reikalaite, I.M. (2017) Screen Printing-Roots and Meaning in Contemporary Culture, Master Thesis, Universidade de Lisboa.
6. Fick B., Grabowski B. (2015) Printmaking: A Complete Guide to Materials & Process, Laurence King Publishing.
7. Tekstil Baskı Örneği, https://www.metmuseum.org/art/collection/search/648256 (Erişim, 15.12.2024).
8. Garbutt, B. (1968) Sılk Screen Prıntıng: Commercıal Medıum To Contemporary Fıne Art Medıum, Master thesis, University of Wyoming.
9. Paparone, N., Dillon J., and Jenison L. (2008) Print Liberation: The Screen Printing Primer, North Light Books.
10. Nişanyan, S. Nişanyan Sözlük, Çağdaş Türkçenin Etimolojisi, https://www.nisanyansozluk.com/kelime/serigrafi (Erişim; 09.02.2024).
11. Akgül, A. (2011) Serigrafi Baskı Yöntemi Kullanılan Porselen Çıkartma Baskısında Optimum Dokuma Sıklığı, Sıcaklık ve Renk Değerlerinin Tespiti, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi.
12. Sesli, Y. (2024) Serigrafi Baskı Temel Terimlerinin Tanımlanması, Avrasya Terim Dergisi, 12, 15–22.
13. Screen Printing, https://en.wikipedia.org/wiki/Screen_printing#cite_note-Velonis-

3, (Erişim, 18.09.2024).

14. Potts, S. (2020) Advanced Manufacture by Screen Printing, PhD Thesis, Swansea University, Swansea.
15. Li, W., Yang, S., Shamim A. (2019) Screen Printing of Silver Nanowires: Balancing Conductivity with Transparency While Maintaining Flexibility and Stretchability, npj Flexible Electronics, 3, 13.
16. Işık, A.R. (2003) Serigrafi Baskı Problemlerinin Çözümüne Yönelik Tespitler, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.
17. Leach, R.H. (1993) The Printing Ink Manual, Springer Netherlands, Dordrecht.
18. Novaković, D., Kašiković, N., Vladić, G., Pál, M. (2015) Screen Printing, Printing on Polymers: Fundamentals and Applications, 247–261.
19. Handbook for Screen Printers (1999), Sefar, Switzerland.
20. Akgül, A. (2012) Serigrafi Baskı Sisteminde Gaze Seçim Parametrelerinin İrdelenmesi, AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology.
21. Screen Printing Mesh SEFAR PET 1500 – Product Data Sheet (2024), Sefar Ag.
22. van Duppen, J. (1987) Manual for Screen Printing, Verlag Der Siebdruck, Lübeck.
23. Stainless Steel Screen Printing Mesh, https://www.bjpfmscreen.com/stainless_steel_mesh/stainless_screen_printing_mesh/index.html, (Erişim, 08.10.2024).
24. Kolanjikombil, M. (2024) Printing of Textile Substrates, CRC Press, London.
25. Horwood, R.J. (1974) Towards a Better Understanding of Screen Print Thickness Control, Active and Passive Electronic Components, 1, 129–136,
26. Özdemir, L., Kurt, M.B., Akgül, A., Oktav, M., M. Nayci Duman, (2022) Optimization of Ink Consumption in Screen Printing within Color Difference Limits. Pigment Resin Technology.
27. Gürcüm, B.H. (2019) Serigrafi Baskıda Gaze Boyutunun Baskı Kalitesine Etkisi. Journal of International Social Research, 12, 494–504.
28. Ayvaz, K.M. (2023) Uçucu Yağı Alınmış Bitki Posalarının Sürdürülebilirlik

Bağlamında Serigrafi Baskıda Kullanılabilirliği, Sanatta Yeterlik Tezi, Akdeniz Üniversitesi.

29. Serigrafi Baskı El Kitabı, Printing Division, Switzerland, 1999.

30. Esen, E.; Gündoğdu, D. (2021) Su Bazlı Boyalarla Yapılan Serigrafi Baskı Tekniğinde Karşılaşılan Yaygın Problemler ve Çözümleri, Art-e Sanat Dergisi, 14, 406–433.

31. Sözen, M., (1993) Serigrafi Baskı İle Basılan Porselen Çıkartması ve İpek Sıklığının Baskı Kalitesine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

32. Zhang, C., Li, X., Zhao, D. (2011) Analyses on the Influencing Factors of Screen-Printing Technology of Liquid Wallpaper Paint, Advanced Materials Research, 174, 263–266.

33. Kašiković, N., Vladić, G., Novaković, D. (2016) Textıle Printing – Past, Present, Future, 35–46.

34. Szentgyörgyvölgyi, R., Borbély, Á. (2011) Printability of PVC and PP Substrates by Screen Printing, 2, 293–300.

35. Abbott, S., Church, T., Parker, D., Harris, A. (2008) How to Be a Great Screen Printer.

36. Aitala, T. (2023) Developing a Machine Vision System for Serigraphy Inspection in an Automotive Glass Company, Sakakunta University.

37. Kılınçeri, Ü. (2004) Serigrafi Baskı Tekniği ve Eğitimde Kullanım Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

38. Akgül, A., Özakhun, Ş.C. (2011) Determination of the Effect of Weaving Density on Decal Printing Quality Using in Screen Printing System, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10, 143–152.

39. Willfahrt, A.; Stephens, J., Huebner, G. (2011) Optimising Stencil Thickness and Ink Film Deposit, International Circular of Graphic Education and Research, 2011.

40. Sadıklar, B. (2022) Letterpress Ve Flekso Baskı İle Yapılan Etiket Üretiminin Basılabilirlik Kriterlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara

Üniversitesi.

41. Sönmez, S. (2008) Kartonun Yüzey Özelliklerinin Değiştirilerek Basılabilirlik Niteliğinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi.

42. Izdebska, J. (2015) Printing on Polymers: Fundamentals and Applications, William Andrew, 1–424.

43. Indriati, L., Nugraha, M.A., Perng, Y.S. (2020) Stone Paper, an Eco-Friendly and Free-Tree Papers, AIP Conference Proceedings.

44. Varodi, C., Pogacean, F., Gheorghe, M., Mirel, V., Coros, M., Barbu-Tudoran, L., van Staden, R.I.S., Pruneanu, S. (2020) Stone Paper as a New Substrate to Fabricate Flexible Screen-Printed Electrodes for the Electrochemical Detection of Dopamine, Sensors (Switzerland), 20, 1–13.

45. Chave, K.E., Smith, S. V., Roy, K.J. (1972) Carbonate Production by Coral Reefs, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 12, 123–140.

46. Teed, L., Bélanger, D., Gagnon, P., Edinger, E. (2020) Calcium Carbonate (CaCO3) Production of a Subpolar Rhodolith Bed: Methods of Estimation, Effect of Bioturbators, and Global Comparisons, Estuarine, Coastal and Shelf Science, *242*, 106822.

47. Anbu, P., Kang, C.H., Shin, Y.J., So, J.S. (2016) Formations of Calcium Carbonate Minerals by Bacteria and Its Multiple Applications, Springerplus, 5, 1–26.

48. Stocks-Fischer, S., Galinat, J.K., Bang, S.S. (1999) Microbiological Precipitation of CaCO3, Soil Biology and Biochemistry, 31, 1563–1571.

49. Swain, N., Saini, P., Bhati, S.S., Rastogi, V.K. (2023) Biodegradable Stone Paper as a Sustainable Alternative to Traditional Paper: A Review, Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 33, 2240–2251.

50. Affeldt, C., Leung, A., Yang, K., Xu, M. (2016) Life Cycle Assessment of Stone Paper, Polypropylene Film, and Coated Paper for Use as Product Labels, 97.

51. Aydemir, C., Yenidoğan, S. (2018) Light Fastness of Printing Inks: A Review. Journal of Graphic Engineering and Design, 9, 37–43.

52. Özomay, Z., Söz, Ç.K., Sönmez, S. (2022) Investigation of the Effect of Light

Fastness on the Color Changes of Maps Prepared by Electrophotographic Digital Printing, Nordic Pulp Paper Research Journal, 37, 184–191.

53. Ozcan, A., Genckaya, E., Yenidogan, S., Sesli, Y. (2007) The Effect of Pigment Ratio in Offset Printing Inks on Lightfastness, Proceedings of the Proceedings of the Technical Association of the Graphic Arts, TAGA.

54. Ciortan, I.-M., Poulsson, T.G., George, S., Hardeberg, J.Y. (2022) Predicting Pigment Color Degradation with Time Series Models, Color and Imaging Conference, 30, 250–257.

55. Hayta, P. (2021) Yenilenebilir ve Atık Bitkisel Maddelerle Çevre Dostu Mürekkep Üretimi ce Basılabilirlik Analizleri, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi.

56. CIE International Commission on Illumination, Colorimetry-Part 6: CIEDE2000 Colour-Difference Formula, https://cie.co.at/publications/colorimetry-part-6-ciede2000-colour-difference-formula, (Erişim, 05.10.2024).

57. Zhou, W.H., He, B.H., Zhang, C.X., Han, Y. (2011) Analysis on Ink Layer Rub Resistance for Coated Paper Prints, Advanced Materials Research, 380, 173–178.

58. Sonmez, S., Salam, A., Fleming, P.D., Pekarovicova, A., Wu, Q. (2023) Usability of Cellulose-Based Binder in Water-Based Flexographic Ink, Coloration Technology, 139, 239–247.

59. Aydemir, C. (2014) Kâğıdın Yüzey Pürüzlülüğünün, Baskı Renk Değişimi, Işık Haslığı ve Baskı Parlaklığına Etkisi, Marmara Unıversıty Journal Of Scıence, 26, 97.

60. Salapare H. S., Blantocas G. Q., N.V.R. and R.H.J. (2009) The Porosity And Wettability Properties Of Hydrogen Ion Treated Poly(Tetrafluoroethylene), Contact Angle, Wettability and Adhesion, 6, 207–216.

61. Sonmez, S., Sood, S., Li, K., Salam, A., Fleming, P.D., Pekarovicova, A., Wu, Q. (2023) Effect of Progressive Deinking and Reprinting on Inkjet-Printed Paper, Nordic Pulp & Paper Research Journal, 38, 131–140.

62. Şirvancı, M. (1997) Kalite Için Deney Tasarımı “Taguçi Yaklaşımı”, Literatür Yayınları.

63. Kım, J., Jeon, E. (2015) Process Parameter Optimization of Screen Printing Device for Vacuum Glazing Pillar Arrays. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing.

64. Roffey, C., (1986) Ultraviolet Curing for Offset Printing Inks, and Varnishes, Journal of Oil and Colour Chemists' Association, 69, 288–296.

65. Shukla, V., Bajpai, M., Singh, D.K., Singh, M., Shukla, R. (2004) Review of Basic Chemistry of UV-Curing Technology, Pigment Resin Technology, 33, 272–279.

66. Menten, T., Phadke, M. (1991) Quality Engineering Using Robust Design, Technometrics, 33.

ÖZGEÇMİŞ

İstanbul Vefa Poyraz Lisesi, Fen Bölümünden mezun oldu. 2004 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaa Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 2007 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matbaa Eğitimi Ana Bilim Dalından yüksek lisans ünvanı alarak mezun oldu. Kayseri Üniversitesi Mustafa Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksekokulu Basım ve Yayım Teknolojileri programında öğretim görevlisi olarak görev yapmakta ve akademik çalışmalarına devam etmektedir.