



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SOLVENT BAZLI MÜREKKEP ÜRETİMİ VE BASILABİLİRLİK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

SERDEM COŞKUN

o527122001

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Basım Teknolojileri Anabilim

Dalı

Yüksek Lisans Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Arif ÖZCAN

İSTANBUL, 2025



MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES
IN PURE AND APPLIED SCIENCES



SOLVENT-BASED INK PRODUCTION AND INVESTIGATION OF PRINTABILITY PARAMETERS

SERDEM COŞKUN

MASTER THESIS

Department of Printing Technologies

Thesis Supervisor

Prof. Dr. Arif ÖZCAN

İSTANBUL, 2025

MARMARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Serdem COŞKUN'un “**Solvent Bazlı Mürekkep Üretimi ve Basılabilirlik Parametrelerinin İncelenmesi**” başlıklı tez çalışması, tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Arif ÖZCAN

(Danışman)

Marmara Üniversitesi (İMZA).....

(Üye)

Marmara Üniversitesi (İMZA).....

(Üye)

.....Üniversitesi (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile Serdem COŞKUN'un Basım Teknolojileri Anabilim Dalı Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent MERTOĞLU

MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES IN
PURE AND APPLIED SCIENCES

Serdem COŞKUN, a Master of Printing Technologies student of Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, defended her thesis entitled “**Solvent-Based Ink Production And Investigation of Printability Parameter**” on, 20.... and has been found to be satisfactory by the jury members.

Jury Members

Prof. Dr. Arif ÖZCAN (Advisor)

Marmara University(SIGN)

Adı SOYADI (Jury Member)

Marmara University(SIGN)

Adı SOYADI (Jury Member)

..... University(SIGN)

APPROVAL

Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences Executive Committee approves that Serdem COŞKUN be granted the degree of Master of Science of Philosophy in Department of Printing Technologies, Master Program on, 20.... (Resolution no:).

Director of the Institute

Prof. Dr. Bülent MERTOĞLU

ÖNSÖZ

Günümüzde, endüstriyel ihtiyaçların ve yüksek kaliteli ürün taleplerinin bir sonucu olarak baskı teknolojileri sürekli olarak yenilenir. Bu süreçte, baskı endüstrisinin en önemli bileşenlerinden biri olan mürekkep, baskı kalitesini ve verimliliğini doğrudan etkileyen çok önemli bir malzemedir. Kullanılan malzemelere, bileşenlere ve üretim yöntemlerine bağlı olarak, mürekkep formülasyonları farklı özellikler gösterebilir. Bu araştırmanın amacı, solvent veya su bazlı mürekkeplerin üretim süreçlerini, kimyasal ve fiziksel özelliklerini ve mürekkebin basılabilirlik özelliklerini incelemektir.

Solvent bazlı mürekkepler, hızlı kuruma özellikleri ve geniş baskıaltı ürün yelpazesi nedeniyle, özellikle endüstriyel baskı işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mürekkep üretiminde, basılabilirlik parametrelerini en üst düzeye çıkarmak için bileşenler ve üretim yöntemlerinin doğru bir şekilde seçilmesi çok önemlidir. Basılabilirlik parametreleri, mürekkebin baskı makinelerinde nasıl çalışacağını ve sonuçta üretilen ürünün kalitesini etkiler.

Bu tez çalışması, mürekkep üretimi süreçlerini ve bu süreçlerin basılabilirlik parametrelerini nasıl etkilediğini araştırmaktadır. Mürekkep stabilitesi, renk dağılımı ve yüzey gerilimi gibi temel parametrelerle birlikte, bu çalışma viskozite, kuruma hızı, renk yoğunluğu ve yapışma gücünü incelemiştir.

Tez çalışmamda bu konunun seçiminde, araştırılmasında ve oluşturulmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Arif Özcan'a, tezimin fikir aşamasından itibaren her aşamasında varlığını hissettiğim ve ihtiyaç duyduğum malzemeleri temin etmemde yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Emine Arman Kandırmaz'a, literatür ve bilgi desteği sağlayan akademik kaynaklara teşekkürlerimi sunarım.

FYL-2024-11187 numaralı Yüksek Lisans projesi kapsamında sağladığı destekten dolayı Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (BAPKO) teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT	IX
KISALTMA LİSTESİ	X
ŞEKİL LİSTESİ	XI
TABLO LİSTESİ.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı.....	3
1.2. Araştırmanın Önemi	3
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Mürekkep.....	4
2.2. Mürekkep Formülasyonu Temel Bileşenleri	6
2.2.1. Pigmentler (Boyar Maddeler)	6
2.2.1.1. Anorganik Pigmentler	6
2.2.1.2. Organik Pigmentler	6
2.2.2. Bağlayıcılar (Reçineler)	8
2.2.2.1. Doğal Reçineler.....	8
2.2.2.2. Sentetik Reçineler	8
2.2.3. Çözücüler (Solventler)	8
2.2.3.1. Alifatik Çözücüler	8
2.2.3.2. Aromatik Çözücüler	8
2.2.4. Katkı Maddeleri	10

2.3. Solvent Bazlı Mürekkeplerin Mevcut Üretim Yöntemleri ve Teknolojileri.....	11
2.4. Solvent Bazlı Mürekkeplerin Kullanım Alanları.....	14
2.4.1. Ambalaj Endüstrisi	14
2.4.2. Etiket Endüstrisi	14
2.4.3. Plastik Enjeksiyon Parçalar	14
2.4.4. Tekstil Baskı	15
2.4.5. Endüstriyel Kodlama ve İşaretleme	15
2.4.6. Dekoratif Baskı	15
2.5. Flekso Solvent Bazlı Mürekkepler	15
2.5.1. Solvent Bazlı Mürekkeplerin Fizikokimyasal Özellikleri	16
2.5.1.1. Viskozite.....	16
2.5.1.2. Yüzey Gerilimi	17
2.5.1.3. Kuruma Hızı	17
2.5.2. Uygulama Parametreleri	17
2.5.2.1. Aniloks Silindir Seçimi	17
2.5.2.3. Klişe (Baskı Kalıbı) Özellikleri.....	18
2.5.2.4. Baskı Yüzeyleri ve Yapışma Özellikleri.....	18
2.5.2.5. Kalite Kontrol Parametreleri	18
2.5.2.6. Kimyasal Direnç ve Stabilitate.....	19
2.5.2.7. Çevresel Etkiler ve Düzenlemeler	19
2.5.2.8. Ekonomik Yönler	20
2.5.2.9. Gelecek Trendleri	20
2.6. Fleksografik Su Bazlı Mürekkep	21
2.7. Solvent Bazlı Mürekkep Basılabilirlik Parametreleri.....	23
2.7.1. Viskozite ve Akışkanlık	23
2.7.2. Yüzey Gerilimi ve Yapışma Gücü.....	24
2.7.3. Mürekkep pH'ı	24

2.8. Solvent Bazlı Mürekkebin Test ve Analiz Yöntemleri	24
2.8.1. Tiksotropi	24
2.8.2. Yapışkanlık (TACK).....	24
2.8.3. Viskozite (Akışkanlık)	24
2.8.4. Parlaklık	25
2.8.5. Mukavemet	25
2.8.6. Opasite	25
2.8.7. Işık Haslığı	25
2.8.9. Sıcaklık	26
2.8.10. Optik yoğunluk	26
2.9. Mürekkeplerinin Kuruma Sistemleri	26
2.9.1. Penetrasyon (Nüfuz Etme)	26
2.9.2. Oksidasyon-Polimerizasyon	27
2.9.3. Evaporasyon (Buharlaşıma)	27
2.9.4. Radyasyon.....	27
2.10. Baskı Sistemlerine Göre Solvent Bazlı Mürekkeplerin Basılabilirlik Parametreleri ..	27
2.10.1. Flekso Baskı.....	28
2.10.1.1. Flekso Baskı Mürekkeplerinin Özellikleri	29
2.10.2. Tifdruk Baskı	30
2.10.2.1. Tifdruk (Gravür) Baskı Mürekkepleri	31
2.10.2.2. Tifdruk Baskı Kullanım Alanları.....	32
2.10.3. Ofset Baskı Sistemi	32
2.10.3.1. Ofset Baskı Mürekkepleri	33
2.11. Baskı Alt Yüzey (Substrat) Türlerine Göre Basılabilirlik	33
2.11.1. PE, PP, PET, OPP Film Yüzeylerde Basılabilirlik	34
2.11.1.1. PETG	35
2.11.1.2. OPP.....	35

2.11.2. Özel Film Yüzeylerde Basılabilirlik (PA, PVC)	35
2.11.3. Selüloz Yapılı Baskıaltı Yüzeyleri	36
2.11.4. Film Yüzeyler.....	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. Kullanılan Malzemeler	39
3.2. Yöntem.....	39
4. SONUÇLAR	48
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	56
6. KAYNAKÇA	59
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ÖZET

Bu tez çalışması, endüstriyel baskı sistemlerinde yaygın olarak kullanılan solvent ve su bazlı mürekkeplerin yapısal özelliklerini, üretim parametrelerini ve basılabilirlik kriterlerini incelemektedir. Çalışmanın temel amacı, solvent ve su bazlı mürekkeplerin baskı kalitesi ile formülasyon optimizasyonu arasındaki ilişkiyi incelemektir.

Bu tür mürekkepler, boyar maddelerinin veya pigmentlerin organik çözücülerle karıştırılması yoluyla üretilir. Bu tür mürekkepler, özellikle endüstriyel baskı uygulamalarında, dış mekân baskılarında, otomobil boyalarında ve tekstilde kullanılır. Hızlı kuruma özellikleri, yüksek çözünürlük, canlı renkler ve dayanıklılık (UV ışınlarına, suya ve hava koşullarına karşı) solvent bazlı mürekkeplerin en büyük avantajlarıdır.

Çalışmada belirlenen formülasyonlara göre mürekkepler başarılı bir şekilde hazırlanmıştır. Belirli formülasyonlara uygun olarak, mürekkepler başarıyla sentezlenip, üretim işlemi tamamlanmıştır. Üretilen mürekkeplerin fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. Stabilitate, reoloji, yüzey gerilimi, kuruma süresi, ışık haslığı, mekanik dayanım ve kimyasal direnç gibi parametreler test edilmiştir.

Geliştirilen mürekkebin endüstriyel dijital baskı sistemlerine nasıl uyum sağlayabileceği araştırılmıştır. Renk doğruluğu, mekanik ve kimyasal dayanıklılık, parlaklık ve baskı kalitesi dahil olmak üzere çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Mürekkebin daha geniş bir kullanım alanı için kullanılabileceği ve geliştirilebileceği gözlemlenmiştir.

ABSTRACT

The structural characteristics, manufacturing parameters, and printability standards of solvent/water-based inks frequently found in industrial printing systems were investigated in this thesis study. Analyzing the connection between print quality and solvent/water-based ink formulation optimization was the primary goal of the study.

Pigments or dyes are dissolved in organic solvents to create these kinds of inks. These inks are extensively utilized in textile printing, automotive painting, outdoor printing, and industrial printing applications. High resolution, vibrant colours, durability (against UV radiation, water, and weather), and quick drying times are the key benefits of solvent-based inks.

The inks were successfully made using the study's intended formulas. The production process was completed, and water-based inkjet inks made in accordance with the designated formulae were successfully synthesized. Tests were performed on criteria such stability, rheology, surface tension, drying time, lightfastness, mechanical strength, and chemical resistance in order to thoroughly analyze the physicochemical characteristics of the generated inks.

An investigation was conducted on the produced ink's compatibility with industrial digital printing systems. Brightness, print quality, mechanical and chemical endurance, and colour accuracy were all tested. It was noted that the ink may be made appropriate for a greater variety of applications with more sophisticated advancements.

KISALTMA LİSTESİ

MEK: Metil etil keton

NC: Nitroselüloz

PA: Poliamid

PE: Polietilen

PET: Poliester

PP: Polipropilen

PU: Poliüretan

PVB: Polivinil bütiral

PVC: Polivinil klorür

VOC: Uçucu organik bileşikler

CPMA: Amerikan Pigment Üreticileri Birliği

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Flekso Baskı Sistemi.....	29
Şekil 2. Tifdruk Baskı Şeması.....	31
Şekil 3. Ofset Baskı Şeması	33
Şekil 4. Mürekkep Üretim Şeması	40
Şekil 5. Mürekkep Hazırlanma Aşamaları	41
Şekil 6. Mürekkep Stabilizasyon Çalışmaları	42
Şekil 7. Bentsai Bt Handheld Termal Inkjet Dijital Baskı Makinesi	43
Şekil 8. Hazırlanan Mürekkeplerin 72 Saate Kadar Stabilizasyonunun Görsel Kontrolü	49
Şekil 9. Hazırlanan Mürekkeple Baskı Örneği	54

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Mürekkep İçeriği	5
Tablo 2. Solventlerin Kaynama Noktası	9
Tablo 3. Polarite ve Yüzey Gerilimi	10
Tablo 4. Yüzey Türlerine Göre Yapışma Kapasitesi.....	18
Tablo 5. Mürekkep Türlerine Göre VOC İçeriği	21
Tablo 6. Tipik Bir Fleksografik Su Bazlı Mürekkep Bileşimi.....	22
Tablo 7. Klasik ve Su Bazlı Mürekkeplerin Filtre Altlığının Parlaklığı Üzerindeki Etkisi	23
Tablo 8. Baskı Çeşitleri	27
Tablo 9. PA Mürekkep Formülasyonu	35
Tablo 10. Selüloz Yapılı Malzemeler İçin Standart Su Bazlı Mürekkep Formülasyonu	37
Tablo 11. Selüloz Yapılı Yüzeyler İçin Standart Solvent Bazlı Mürekkep Formülasyonu.....	37
Tablo 12. Film Yüzeyler İçin Standart Solvent Bazlı Mürekkep Formülasyonu	38
Tablo 13. Test Çalışmasında Kullanılan Kağıtların Teknik Özellikleri	43
Tablo 14. Mürekkep Stabilizasyonunun İncelenmesi	48
Tablo 15. Üretilen Mürekkebe Ait Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Reolojik Özellikler	51

1. GİRİŞ

Basım, yayıncılık ve iletişim sektöründe meydana gelen değişiklikler ve gelişmeler, basılı medyanın kalitesi, maliyetleri ve dağıtımını açısından artan pazar taleplerinin bir sonucu olarak, bunların üretimi için kullanılan süreçlerde ve teknolojilerde önemli değişikliklere neden olmuştur. Otomasyon, dijitalleşme ve sinerjik teknolojiler ve yenilikler de iyileştirmelerin, gelişmelerin ve yeni üretim süreçlerinin işaretleridir. Elektronik medyanın yaygınlaşması, bilgi depolama ve erişilebilirliği, basılı medya üretimi ve tasarımı, yeni multimedya ürünlerinin geliştirilmesi ve özellikle medya üretimindeki iş akışı aşamaları, basılı medyaya olan talebi arttırmaktadır. Basılı medya üretimi, endüstrinin ve teknolojinin tüm alanlarından çok çeşitli yeni teknolojilerin ve parçaların kullanılmasını gerektirir. Çok çeşitli materyallere görsel içerik aktarmak için baskı mürekkepleri son derece önem arz etmektedir [1].

Baskı mürekkepleri genel olarak dört ana bileşenden oluşmaktadır:

- Kolorant (Renklendiriciler)
- Bağlayıcılar (Reçineler)
- Taşıyıcılar
- Katkı Maddeleri

Renk kavramı karmaşıktır ve üç farklı şekilde tanımlanması gerekmektedir. İlk olarak, bir rengin “tonu”, örneğin kırmızı, mavi, yeşil vb. İkinci olarak, bir rengin “gücü”, yoğunluğunun veya doygunluğunun bir ölçüsü olarak tanımlanabilir. “Saflığı”, ne kadar koyu veya parlak olduğunu gösteren üçüncü özelliktir. Bu parametrelerin her birini belirli bir dereceye kadar etkileyen çok sayıda değişken mevcuttur. Belirli bir mürekkep filminde bulunan renklendirici (pigment veya boyar madde) miktarı, partikül boyutu ve yüzey özellikleri, renklendiricinin kimyasal yapısının renk tonunu önemli ölçüde etkilemektedir. Genel olarak, belirli bir renklendiricinin konsantrasyonu arttıkça rengi daha güçlü hale gelir, ancak çoğu zaman daha fazla gücün olmadığı ideal bir konsantrasyon bulunması tercih edilir. Mürekkep formülasyonunda kullanılan reçine, yağ veya çözücü türleri, belirli bir renklendiricinin tonunu veya saflığını değiştirebilir. Bu, formülasyonun kendi renginden kaynaklanabilir veya farklı mürekkep formülasyonları aynı renklendiriciyi dağıtırken farklı renkler üretebilir. Bazen dispersiyona yardımcı olmak için seçilen katkı maddeleri renk tonlarını ve gücü değiştirebilir.

Bir mürekkebin ne kadar iyi çalışacağını belirlemek için kullanılan mürekkep formülasyonu çok önemli olabilir. Formülasyon, renklendirici partiküllerini dispers halde tutmalıdır, aksi takdirde partiküller çökebilir ve mukavemeti kaybedebilirler. Formülasyonda fazla reçine ve daha hızlı kuruyan çözücüler kullanmak, daha iyi tutunma ve renk mukavemeti sa lar [2].

Solvent bazlı mürekkepler, pigmentlerin veya boyar maddelerin organik çözücüler içinde dispers olması yoluyla yapılır. Bu organik çözücüler, mürekkebin akışkanlı ını, kurumasını ve substrat üzerindeki davranışını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu mürekkepler, özellikle plastik filmler, metal ve diğer emici olmayan yüzeylerde iyi çalışırlar. Solvent bazlı mürekkeplerin formülasyonu, üretimi ve kullanımı sırasında, kaliteli ve tutarlı baskı sonuçları elde etmek için basılabilirlik parametrelerinin optimizasyonu çok önemlidir.

Mürekkebin bir baskı sistemi aracılığıyla transfer edilebilmesi ve substrat üzerinde istenen özellikleri sergileyebilmesi, basılabilirlik olarak bilinir. Bu  zellik, yüzey gerilimi, pigment dağılımı, kuruma hızı, viskozite ve film oluşumu gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Baskı kalitesi, dayanıklılık ve üretim verimliliği bu parametrelerin her biri tarafından büyük ölçüde etkilenir.

Solvent bazlı mürekkeplerin  evre ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri de d ş n lmelidir.  evre düzenlemeleri, VOC içeren geleneksel çözücü bazlı mürekkepleri incelemeye teşvik etmektedir [3].

1.1. Araştırmanın Amacı

Solvent/su bazlı mürekkeplerin üretimi ve basılabilirlik parametreleri bu çalışmanın ana konusudur. Mürekkep üretiminde kullanılan bileşenlerin ve katkı maddelerinin oranları, karışım süreçleri ve kuruma hızları gibi parametrelerin en iyi şekilde kullanılmasını sağlamak amaçlanmaktadır.

Mürekkep bileşenlerinin ve üretim koşullarının baskı kalitesini nasıl etkilediğine dair kapsamlı bir araştırma yapılacaktır. Bu, dayanıklılık, renk tutarlılığı ve yüzey pürüzlülüğü gibi faktörlerin en üst düzeye çıkarılmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın amacı, solvent bazlı mürekkeplerin üretimi ve basılabilirlik parametrelerinin sistematik bir şekilde incelenmesiyle mürekkep üretim süreçlerini en üst düzeye çıkarmak, çevresel faktörlerin etkilerini azaltmak ve baskı kalitesini yükseltmektir.

1.2. Araştırmanın Önemi

Endüstriyel baskı sektöründe, solvent bazlı mürekkepler özellikle dış mekân baskısı, ambalaj, otomobil boyama ve tekstil baskısı için yaygın olarak kullanılır. Bu mürekkeplerin üretimi ve basılabilirlik özellikleri, hız, dayanıklılık ve baskı kalitesi açısından çok önemlidir.

Solvent bazlı mürekkeplerin üretim prosedürlerinin ve basılabilirlik parametrelerinin araştırılması, mürekkep üretimini daha verimli, daha ekonomik ve daha çevre dostu hale getirmek için çok önemlidir. Bu çalışma ayrıca solvent bazlı mürekkeplerin baskı performansını artırmak, malzeme tüketimini en üst düzeye çıkarmak ve çevresel etkilerini azaltmak için yeni yaklaşımlara da izin vermektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Mürekkep

Mürekkep, bir malzeme üzerine yazmak, boyamak veya çizmek için kullanılan katı, yarı sıvı veya sıvı bir maddedir. MÖ 2800'den itibaren Mısır ve Yunanistan, mürekkep yapmak için demir oksit kullanmıştır. Çinliler eskiden kırmızı mürekkep (cıva sülfatından) ve siyah mürekkep (demir oksitinden) yapmak için glikol, propilen glikol, propil alkol, toluen veya metil alkol kullanıyorlardı. Reçineler, koruyucu maddeler ve ıslatıcı maddeler gibi ek bileşenler de dahil edilmekteydi [4].

Ofset baskı sistemine geçilmesi ile doğal olmayan reçine üretimi başlamıştır. Baskı sistemlerine göre farklılık gösteren birçok çeşit mürekkep türü vardır. Bu mürekkep türleri, renklendirici bir boyar madde ile karıştırılan bağlayıcı ve mürekkebin substrata aktarılmasına yarayan çözücüler içermektedir. Mevcutta sentetik vernikler kullanılırken, eski mürekkepler yağ ve yağlı vernikler içermekteydi. Yeni baskı teknikleri ortaya çıktıkça, mürekkep içindeki bileşenleri ve özellikleri de değişmektedir [2].

Mürekkebin istenen işlevine bağlı olarak herhangi bir mürekkebin bileşenleri değiştirilebilir. Mürekkebin içindeki maddelerin değiştirilmesi, renk, kuruma, yapışkanlık ve akışkanlık özelliklerini ve ışık, su, ısı ve bunların haricindeki diğer çevresel faktörlere karşı dayanıklılığını etkilemektedir.

Bütün baskı mürekkepleri dört ana bileşenden oluşur:

1. Renklendirici (Pigment)
2. Bağlayıcı (Reçine)
3. Çözücü (Solvent)
4. Katkı Maddesi

Pigmentler renk verir. Ek olarak, organik veya inorganik renkler kullanılabilir. Tüm baskı sistemlerinde pigmentin kullanıma hazır hale gelmesi için bazı işlemlerden geçmesi gerekir. Öncelikle ham haldeki pigment partikül boyutunun ideal olması gerekir ki bu da ezme işlemlerine tabi tutulması demektir. Pigment mürekkebin pek çok özelliklerini belirleyen temel yapıtaşdır. Işık haslığı ve renk şiddeti bunlardan sadece ikisidir [6].

Bağlayıcılar mürekkep içinde birçok görevi yerine getirir. Katı madde oranını temsil eder ve mürekkebin en büyük kısmını oluşturur. Bu bileşen, yüzeye tutunmayı, parlaklığı ve çizilme direncini sağlar. Ayrıca mürekkebin reolojik ve mekanik özelliklerini değiştirir.

Bağlantıları çözmek ve farklı baskı türlerini gerçekleştirmek için çözücüler mürekkebin viskozitesini ayarlar. Viskozite seviyesine göre, yüksek ya da düşük boyutta buhar basıncı gösterebilirler. Baskı çeşidine bağlı olarak, çözücüler farklı kaynama noktalarında kullanılabilir. Baskı anında mürekkep viskozitesini kontrol etmek için de kullanılabilir [1].

Tablo 1'de de belirtildiği gibi, mürekkepteki malzemeler, mürekkep formülasyonundaki işlevlerine göre kategorize edilebilir. "Taşıyıcı" terimi, sıvı bileşenleri için kullanılır. Bu maddeler yağ, çözücü ve reçinedir. Mürekkeplerin akış özelliklerini, kuruma sürelerini, polaritelerini, fiyatlarını ve kuruma mekanizmalarını tespit etmede destek olurlar. Pigmentler, taşıyıcıda nasıl çözündüklerine göre sınıflandırılabilir. Pigmentler ise çözünmeyen ince dağılmış maddelerdir [8]. Mürekkep yapmak için vakslar, plastikleştiriciler ve kurutucular da aynı şekilde kullanılabilir [9].

Renklendirici maddeler		
Boyar maddeler	Özellğine göre asidik, bazik, çözücü vs. gibi sınıflandırılırlar. Eriyebilirler.	Görünüm
Pigmentler	İnce çok moleküllü parçacıklardan oluşur. Eriyemez.	
Taşıyıcılar		
Yağlar	Tohum, soya, mineral ve öteki tip yağlar olabilir. Doymamış yağ oranına göre kuruyan, kurumayan ikisinin bir kombinasyonu gibi sınıflara ayrılırlar.	Akış ve kuruma yapısı
Çözücüler	Herhangi bir organik çözücü veya su olabilir. Mürekkep yaş tayini işlemlerinde analiz edilirler.	
Reçineler	Molekül ağırlığı yüksek olan kristal yapısı olmayan maddelerdir. Sentetik veya doğal olabilirler.	
Diğer katkı maddeleri		
Kurutucular	Kuruyan yağ oksitlenmesini hızlandırır. Çoğu organik tuzlardır.	Kurutma yapısı
Plastikleştiriciler	Mürekkebin kırılgenliğini azaltırlar. Uçabilir çözücülerden oluşurlar.	Mürekkep tabakasının durağanlığı
Yüzeyleştiriciler	Mürekkebin yüzey gerilimini değiştirirler. Genellikle sabunlardan ve deterjanlardan oluşurlar.	Islanma yeteneği
Vakslar	Eriyebilirliği artırıp kırılgenliğini düşürürler. Petrol jeli gibi hidrokarbon vaksları veya gres yağları olabilirler.	Sertlik/ Eğilebilirlik

Tablo 1. Mürekkep İçeriği

2.2. Mürekkep Formülasyonu Temel Bileşenleri

Formülasyondaki en önemli nokta, basit tutmaktır, aksi halde iki sorun meydana gelebilir;

1. Üretimde bir sorun ortaya çıkması durumunda, çok fazla parametre olduğundan sorunu çözmek çok zor olacaktır.

2. Çok fazla sayıda bileşen kullanmak maliyeti arttıracığından, sorumlular tarafından tercih edilmeyecektir [10].

Farklı renkleri içeren mürekkebin ana bileşeni pigmentlerdir. Keten tohumu yağı, soya yağı veya ağır bir petrol damıtığı, renkli baskı mürekkepleri yapmak için organik pigmentlerle birleştirilmiş çözücüler (araç) olarak kullanılır. Sarı göl, tavus kuşu mavisi, ftalosiyanın yeşili ve diarilid portakalı gibi pigmentler, çok halkalı azot içerir. Krom yeşili (Cr_2O_3), Prusya mavisi ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$), kadmiyum sarısı (Cds) ve molibdat turuncu gibi inorganik pigmentler de baskı mürekkeplerinde kullanılır. Vücudun yayılabilmesi için pigmentin boyutu çok önemlidir [4].

2.2.1. Pigmentler (Boyar Maddeler)

Pigment dispersiyonu en önemli bileşendir ve mürekkep formülasyonundaki diğer bileşenler, pigment parçacıklarını alt tabaka üzerinde doğru yere konumlandırmaya veya bağlamaya hizmet eder. Pigment, mürekkebin ve mürekkep setinin renk gamını, renk yoğunluğunu, parlaklığını ve UV direncini belirler [11].

Mürekkeplerin rengini oluşturan pigmentler iki başlık altında incelenebilir:

2.2.1.1. İnorganik Pigmentler

- Yapay inorganik pigmentler (TiO_2 , krom sarısı, demir oksit vd.)
- Doğal inorganik pigmentler (tebeşir vd.)
- Karbon pigmentler (karbon siyahı, grafit)
- Metal tozları (alüminyum tozu, bronzlar)

2.2.1.2. Organik Pigmentler

- Yapay organik pigmentler
- Doğal organik pigmentler (indigo vd.)

Yüksek dispersiyon gücü, ışığa mukavemet, esneklik, optimum reolojik özellikler, su, asit, baz gibi çözücülere ve ısıya dayanıklılık pigmentlerde aranan temel özelliklerdendir.

İnorganik pigmentler genellikle ışığa ve ısıya dayanıklı, boyama gücü düşük, opasitesi yüksek ve ucuz maliyetli pigmentlerdir.

Organik pigmentler pahalıdır, parlaktır, ışığa ve ısıya dayanıklı değildir, boyama gücü yüksek ve opasiteleri düşüktür. Flekso ve tıfdruck mürekkepleri için boyama gücü yüksek olan pigmentler seçilmelidir. Baskı uygulamalarında mürekkep film kalınlığı genellikle 2 ila 8 mikron arasında değişmektedir. Trikromi baskı süreçlerinde kullanılan sarı, magenta ve cyan mürekkeplerin birbirlerini örtmemesi gerekir; bu mürekkeplerin transparan (saydam) özellikte olması tercih edilir. Bu nedenle örtücülüğü düşük ama boyama gücü yüksek pigmentler kullanılmalıdır. Bunlar da organik pigmentlerdir. Mürekkebin içinde pigmentin eşit bir şekilde yayılmasını sağlamak için, mürekkebin ezme makinelerinde ezilmesi gerekir. Akışkanlığı düşük ve parçacık boyutu büyük olan pigmentlerin dispersiyonu genellikle üç bilyeli değirmen sistemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu tür sistemlerde, kum ve boncuk değirmenleri düşük akışkanlık ve büyük parçacık boyutuna sahip karışımlar için yeterli verimlilik sağlayamamaktadır.

Üç rulo değirmen: Başlangıçta zıt yönlerde dönen bir dizi silindirden oluşur. En arkadaki iki silindirin üzerindeki bir hazneye pigment parçacıkları verilir ve silindirler arasındaki kesme kuvvetleri ile silindirler arasında dağıtılır [13].

Boncuk Değirmeni: Boncukların boyutu, nihai ürünün viskozitesine ve reolojisine bağlıdır. Tıfdruck gibi yüksek kaliteli düşük viskoziteli mürekkepler için boncuk boyutları 1-2 mm arasında değişebilir, ancak elek veya orta viskoziteli macun mürekkepleri için 4 mm'ye kadar olabilir. Zirkonyum oksit, cam veya paslanmaz çelik bu boncukların tipik malzemeleridir. Üretim sırasında sıklıkla karşılaşılan bir sorun, belirli boncukların mürekkebin renginin solmasına neden olabilmesidir. Bu nedenle, öğütmeden önce uygun boncuk-mürekkep kombinasyonunu belirlemek için, bir mürekkep türünü çeşitli boncuklarla test etmek çok önemlidir. Bu tür bir dağıtma işleminde mürekkep hazneye pompalanır ve yük (boncuklar) bir dizi eğirme diski veya pimi tarafından hareket ettirilir. Pigment kümeleri hareket halindeki boncuklar tarafından parçalanır veya öğütülür, bu da mürekkebin eşit olarak dağıtılmasını sağlar. Dağılmış mürekkep hazneden elenir ve boncuklar geride kalır [13].

2.2.2. Bağlayıcılar (Reçineler)

Reçineler veya başka bir deyişle bağlayıcılar, mürekkebin, merdanelerden klişeye taşınmasını ve buradan da baskıaltı malzemesinin yüzeyine aktarılmasını sağlar. Mürekkebin içerdiği bağlayıcılar, mürekkebin baskı yüzeyindeki kuruma, yüzeye tutunma, parlaklık ve ısı direnci gibi özelliklerini belirler. Bağlayıcının başlıca görevleri şunlardır; Birincisi, boyar maddeyi basılabilir bir yapıya getirmek için mürekkep ünitesinden ve klişeden geçirmektir. İkinci olarak, sürekliliği sağlayan bir baskı elde etmek için rengin kararlı hale getirilmesidir. Parlaklık, çizilme ve sürtünme dayanıklılığı gibi özelliklerde de yine bağlayıcılar önemli bir rol üstlenmektedir. Bağlayıcılar doğal veya sentetik olabilir [14].

2.2.2.1. Doğal Reçineler

Tahminlere göre Hint-Avrupa kökenli olarak bulunmuştur. İlk olarak yarı-katı olarak kullanılmıştır. Kumoron ve fenol ile katı hale getirilmiştir.

2.2.2.2. Sentetik Reçineler

Her baskı yüzeyi ve amacı için farklı reçine kullanılması gerektiğinden çok çeşitli reçineler vardır.

Flekso için, nitro selüloz, poliamid, ketonik reçine, maleik reçine, epoksi reçine ve poliüretan gibi reçineler kullanılmaktadır [14].

2.2.3. Çözücüler (Solventler)

Dispersiyon taşıyıcı sıvılardır, su gibi, kaplama endüstrisinde önemli rol oynamaktadırlar. Çözücüler pigmentleri molekül yapılarını değiştirmeden dağıtırlar. Çözünme, bir pigmentin tane boyutunu değiştiren bir süreçtir. Çözünme sürecinde boyar madde parçacıkları gereğinden fazla küçültüldüğünde, kristal yapısı bozulabilir ve bu durum renk değişimine neden olabilir. Bu süreçte kullanılan çözücüler, alifatik veya aromatik yapıda olabilir.

2.2.3.1. Alifatik Çözücüler

Petrol türevidir. Mazot, gaz, benzin gibi sıvılardır.

2.2.3.2. Aromatik Çözücüler

Aromatik çözücüler çoğunlukla kömür katranı türevidir; ksilen ve toluen bu gruba örnek olarak verilebilir. Petrokimyasal kaynaklı çözücüler ise genellikle daha düşük oranda aromatik yapı içerir. Aromatik yapılar, çözücünün esnekliğini artırarak mürekkep sistemlerinde istenen reolojik özelliklerin elde edilmesine katkı sağlar. Özellikle yüksek uçuculuk gerektiren mürekkep formülasyonlarında, aromatik karakterde çözücülerin kullanımı tercih edilmektedir.

Çözücünün sistem üzerindeki etkilerinden bazıları şunlardır;

- Viskozite seviyesini istenen şekle getirerek uygulanacak yüzeye tutunmasını sağlar.
- Yüzey üzerindeki gerilimi dengeler.
- Kuruma süresini değiştirir.

Sıcaklık ve hava akış oranları, buharlaşma oranını önemli ölçüde etkiler. Tablo 2, çözücülerin kaynama noktası, buhar basıncı ve buharlaşma hızlarını göstermektedir. n-bütül asetat ve dimetil eter, referans standartlardır. Solventlerin tek başlarına buharlaşma hızları, karışım içindeki buharlaşma hızlarıyla aynı değildir. Çözücü sistemlerinde gözlemlenen değişkenlik, moleküller arası çekim kuvvetleri ile bağlayıcının kimyasal yapısı ve etkileşimi gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, yalnızca kaynama noktaları ve buharlaşma indeksleri, çözücü seçimi konusunda sınırlı ve yaklaşık bir değerlendirme sunmakta; sistemin genel davranışını öngörmek için yetersiz kalabilmektedir [15].

Kaynama Noktası(⁰C) Buhar Basıncı (20 ⁰C) Buharlaşma hızı(kPa)

Aseton	56.1	25.2	7.7
MEK	79.6	9.4	4.6
Etil asetat	77.1	9.7	4.1
Toluen	110.6	2.9	2
Isobutil Asetat	118.0	1.7	1.4
n-Butil Asetat	126.1	1.3	1
Sikloheksanon	155.6	0.9	0.3
Bütül Glikol	170.6	0.08	0.1

Tablo 2. Solventlerin Kaynama Noktası

Sıvı molekülleri arasındaki çekim kuvveti, yüzey gerilimini oluşturur. Sıvı içerisindeki moleküller her yönde eşit kuvvetlerle etkileşim hâlindeyken, yüzeye yakın konumdaki moleküller çevrelerindeki moleküller tarafından tamamen sarılmadıkları için asimetric bir kuvvet dağılımına maruz kalırlar. Bu durum, yüzeydeki moleküllerin sıvının iç kısmındaki moleküllere oranla daha güçlü çekim kuvvetlerine sahip olmalarına neden olur. Tablo 3'te gösterildiği gibi, birim yüzeye uygulanan kuvvet, metre kare başına düşen enerji olarak tanımlanır. Yüzey gerilimi, mürekkep yapımında çok önemlidir ve aşağıdaki listelenen özellikleri için önem arz eder;

- Pigment dispersiyonu,
- Yapışma ve ıslatma,
- İyi film oluşturma,
- Uygulama kolaylığı [15]

Solvent	Yüzey Gerilimi@ 25 °C (N m ⁻¹)	Polarite
Su	0.070	Yüksek
Etil Asetat	0.024	↓
n-Hekzan	0.018	Düşük

Tablo 3. Polarite ve Yüzey Gerilimi

2.2.4. Katkı Maddeleri

Vakslar, sertleşmeyi veya fırçalama özelliklerini geliştirmek, renksiz kaplama yapmak ve kaplanmış kâğıdın suya dayanıklılığını artırmak gibi amaçlarla kullanılır. Genellikle yüzeye sert cilalama tipinde sürülerek kullanılır ve sürtünmeye dayanıklılığı artırır. Vaksların yüzey işlem karışımına katılmalarında karşılaşılan başlıca sorun, onların karışıma dağılmış, disperse halde katılması ve topaklar oluşturmada tutulmasıdır.

Mor stabilizörler (örneğin olin ve oleik asit) bu işleme yardımcı olabilir. Karnaua, kandelya, Japon vaksleri, balmumu, stearik asit ve stearatlar, keresin ve parafin en yaygın vaks türleridir. Yüzey aktif maddeler, kâğıt kaplama için çok değerlidir ve benzer şekilde kullanılır. Köpük gidericiler, düzenleyiciler, ıslatıcılar, dispersiye ediciler ve dağıtıcılar dört kategoriye ayrılır.

Köpüklenme sadece kaplama makinasında çalışmayı zorlaştırır, aynı zamanda köpük giderilmeden kâğıt yüzeyine sürüldüğünde film oluşmasını zorlaştırır. Köpükler, kaplama filminde çok sayıda iğne deliği veya renksiz nokta oluşturabilir. Köpük, birçok maddenin nedeni olabilir. Çözeltilerin pH derecesi, suda köpük oluşumu için kritik bir bileşendir. Yüksek pH ile çalışma genellikle köpük oluşumuna neden olur. Köpükten kurtulmak için kullanılan başlıca maddeler oktilalkol, butilalkol, fusel yağı, çam yağı, sulfone yağlar, kerosen silikon yağları ve diğer bileşiklerdir [17].

2.2.4.1. Köpük ve Köpük Gidericiler

Mürekkep kabarcıkları, mürekkep performansını önemli ölçüde etkileyen bir sorundur. Yüzey aktif maddeler ve polimerler içeren mürekkeplerde sıklıkla köpürme problemi görülmektedir. Bu duruma bir çözüm ise, köpüğün parçalanmasını sağlayan bir molekül olan köpük gidericinin eklenmesidir. Köpük gidericiler, yüzey gerilimini azaltarak bu bölgeleri hızla inceltir (örneğin, amil alkol) [18].

2.3. Solvent Bazlı Mürekkeplerin Mevcut Üretim Yöntemleri ve Teknolojileri

Mürekkep formülasyonları, birçok temel bileşenden oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu formülasyonlar, uygulamaya ve istenen özelliklere göre değişir. Aşağıdakiler temel bileşenler ve oranlarıdır:

- Bağlayıcılar (Reçineler): %15-35
- Pigmentler/Boyalar: %10-25
- Solventler: %40-70
- Katkı Maddeleri: %1-10

Bu bileşenlerin farklı oranlarda kullanılması mürekkebin akış özellikleri, kuruma hızı, adezyon özellikleri ve mukavemet gibi özelliklerini doğrudan etkiler.

Solvent bazlı mürekkeplerde kullanılan başlıca reçine türleri:

- NC: Hızlı kuruma, iyi film oluşturma
- Poliamidit: İyi adezyon, yüksek esneklik
- PVB: Mükemmel adezyon, yüksek sertlik
- Poliakrilik reçineler: Kimyasal direnç, UV dayanımı
- Poliüretan reçineler: Yüksek esneklik, sürtünme direnci
- Alkid reçineler: Parlak film, iyi adezyon [19]

Reçine kombinasyonları, tek bir reçineden elde edilemeyen özellikleri sağlar. Örneğin, poliüretan ve nitroselüloz birleşimi hem hızlı kuruma hem de yüksek esneklik sağlamaktadır [2].

Solvent bazlı mürekkeplerde kullanılan başlıca solvent türleri:

- Hidrokarbonlar: Toluen, ksilen, nafta (Petrol rafinerisinden elde edilen hidrokarbonların karışımı)

- Alkoller: Etanol, izopropanol, n-propanol
- Esterler: Etil asetat, bütül asetat, isopropil asetat
- Ketonlar: MEK, aseton
- Glikol eterler: Bütül glikol, propilen glikol metil eter

Solvent seçimi kriterleri:

- Çözünürlük parametreleri (reçineye uygunluk)
- Buharlaşma hızı
- Toksisite ve çevresel etkiler
- Yanıcılık
- Maliyet

Yavaş buharlaşan solventler ile hızlı buharlaşan solventlerin dengeli karıştırılması, baskı sürecinde oluşabilecek problemleri önler [1].

Fleksografik Baskı Mürekkebi Formülasyonu:

- Nitroselüloz: %18
- Poliüretan reçine: %7
- Pigment: %15
- Etil asetat: %30
- Etanol: %25
- Yüzey aktif madde: %2
- Vaks: %2
- Plastikleştirici: %1

Gravür Baskı Mürekkebi Formülasyonu:

- Poliamidit reçine: %20
- Pigment: %18
- Toluene: %35
- Etil asetat: %22
- Silis: %3
- Plastikleştirici: %2

İşletmeler genellikle formülasyonları ticari sır olarak saklamaktadır çünkü uygulamaya göre çok değişkenlik gösterebilir [9].

Baskı mürekkepleri, baskı süreçlerine bağlı olarak gelişmiştir. Tipo ve lito baskı, yüksek viskoziteli “hamur” veya “yağ” mürekkepleri kullanır. Bu mürekkeplerde, düşük uçuculuğa sahip malzemeler kullanır. Flekso ve tıfdruk baskıda, uçucu çözücülerle üretilmiş düşük viskoziteli mürekkepler kullanır. Bu mürekkepler daha akışkan “sıvı” olarak bilinir. Serigrafi mürekkeplerinin viskozitesi ortadır denilebilir. Mürekkep üreticileri genellikle bu üç alandan birinde uzmanlaşmaya eğilimlidir ve yalnızca en büyük şirketler daha kapsamlı bir yelpazeye sahiptir. Sektördeki şirketler büyük uluslararası gruplardan, 10’dan az çalışanı olan küçük şirketlere kadar çeşitlilik göstermektedir. Örneğin, Birleşik Devletler ’de 200’den fazla mürekkep üreticisi olduğu düşünülmektedir.

Büyük gruplar genellikle kimya şirketleriyle iş birliği yaparak reçine veya pigment üretirler. Bu gruplar tipik olarak, pigment, reçine, yağ ve çözücü maddeleri kullanarak ürünler üretirler ve en büyük baskı şirketlerine veya gruplara verirler. Bu gruplar, endüstriyi ilerletmek için yeni teknolojiler geliştirirler. Daha küçük şirketler, küçük ve orta ölçekli tüketicilere yönelik yerleşik teknoloji ürünlerine odaklanır. Mürekkeplerinin çoğu, uzman üreticilerden vernikler ve pigment dispersiyonları gibi kısmen işlenmiş ara ürünlerden gelmektedir. Baskı mürekkeplerinin üretimi geleneksel olarak parsiyel bir süreç olmuştur ve tüm baskı mürekkeplerinin büyük çoğunluğu hala parsiyel olarak üretilmektedir. Sadece birkaç yüksek hacimli, standartlaştırılmış mürekkep, sürekli süreçlerle üretilmektedir [22].

Mürekkep araçları, katı reçineler veya akışkan vernikler olarak mürekkep üreticileri tarafından alınabilir ve genellikle ayrı reçine ve vernik tesislerinde yapılır. Mürekkep üreticileri genellikle tedarikçilerden pigmentler ve diğer mürekkep bileşenlerini satın alır.

Macun mürekkepler, çok ince öğütülmüş (önceden dağıtılmış) renkler veya yıkanmış renk konsantreleri kullanılıyorsa, genellikle renklerin araçlarla, çözücülerle, yağlarla ve katkı maddeleriyle iyice karıştırılması yoluyla hazırlanabilir. Karıştırıcı çeşitli boyutlarda (5-1000 galon [20-3790 L]) ve tipte kullanılır.

Akışkan mürekkepler (flekso ve tıfdruk), çözücülerin uçuculuğu nedeniyle kapalı sistemlerde öğütülmelidir. Uygun şekilde kontrollü bilye veya kum değirmenleri kullanılmalıdır. Pompa-filtrasyon yöntemi, web ofset proses renkleri ve renkli haber mürekkepleri gibi büyük hacimli mürekkep üretmek için kullanılır. Bu yöntemde yıkanan pigmentler yüksek hızlı parçalayıcı karıştırıcılar tarafından araç içinde dağıtılır ve ardından bir dizi filtreden geçirilir. Büyük mürekkep tedarikçileri çoğunu ya da tamamını kendi başlarına yürütmektedir.

Mürekkepler, metal veya plastik kovalarda, metal veya fiber varillerde veya metal kutularda paketlenebilir ve gönderilebilir. Tankerlerle, flekso ve tıfdruk gibi büyük hacimli sıvı mürekkepler doğrudan matbaaya gönderilebilir. Matbaacı, flekso, tıfdruk ve serigrafi mürekkeplerini daha yüksek viskozitede sevk eder ve solvent ekler [22].

2.4. Solvent Bazlı Mürekkeplerin Kullanım Alanları

Solvent bazlı mürekkepler, hızlı kuruma ve baskıaltı malzeme yelpazesi genişliği nedeniyle çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.4.1. Ambalaj Endüstrisi

Esnek Ambalaj: Solvent bazlı mürekkepler, PE, PP, PA, PET gibi film malzemeleri üzerine baskıda yaygın olarak kullanılır.

Solvent bazlı mürekkepler özellikle gıda ambalajlarında, hızlı kuruma, iyi adezyon ve kimyasal dirençleri nedeniyle tercih edilmektedir. Çoklu katmanlı laminasyon ambalajlarda da yaygın kullanılır [23].

Oluklu Mukavva Kutu Baskısı: Özellikle su direnci gerektiren yüksek kaliteli kutu ambalajlarda (elektronik ürünler, dayanıklı tüketim malları için) kullanılır.

2.4.2. Etiket Endüstrisi

Endüstriyel Etiketler: Kimyasal direnç, dayanıklılık ve zorlu çevre koşullarına dayanım gerektiren etiketlerde kullanılır.

Otomotiv Etiketleri: Yüksek sıcaklık direnci, UV dayanımı gerektiren etiketlerde kullanılır.

Kozmetik ve Kişisel Bakım Ürünleri: Dekoratif ve dayanıklı etiketlerin üretiminde kullanılır [24].

2.4.3. Plastik Enjeksiyon Parçalar

- Otomotiv Plastik Parçaları: Gösterge panelleri, düğmeler ve kumanda kollarında kullanılır.
- Elektronik Cihaz Gövdeleri: Televizyonlar, bilgisayarlar, ev aletlerinde kullanılır.
- Kozmetik Ambalajları: Plastik şişeler, kapaklar, tüplerde kullanılır.

Solvent bazlı mürekkepler PP, PE, ABS, PC ve PET gibi farklı plastik türlerine olan uyumluluğu sayesinde bu alanlarda tercih edilir [25].

2.4.4. Tekstil Baskı

Sentetik Tekstil Ürünleri: Polyester, naylon ve akrilik gibi sentetik kumaşlarda kullanılır.

Teknik Tekstiller: Otomotiv döşemeleri, çadır, branda ve endüstriyel tekstillerde kullanılır [26].

2.4.5. Endüstriyel Kodlama ve İşaretleme

Üretim Tarihi ve Son Kullanma Tarihi Kodlama: Gıda ve ilaç ambalajlarında kullanılır.

Parça İşaretleme: Otomotiv, havacılık ve elektronikte hızlı kuruyan ve silinmeye dayanıklı işaretlemelemlerde kullanılır.

Solvent bazlı mürekkepler hızlı kuruma özellikleri nedeniyle yüksek hızlı üretim hatlarında özellikle tercih edilir [27].

2.4.6. Dekoratif Baskı

- Duvar Kağıtları: Vinil duvar kağıtlarında kullanılır.
- Dekoratif Folyolar: Mobilya ve iç mekân dekorasyonu için laminasyon folyolarında kullanılır.
- Yer Kaplamaları: Vinil zemin döşemelerinde kullanılır.

Solvent bazlı mürekkepler dekoratif uygulamalarda aşınma direnci ve uzun ömür sağlaması nedeniyle tercih edilir [2].

2.5. Flekso Solvent Bazlı Mürekkepler

Flekso ambalaj mürekkepleri üç ana türe ayrılabilir: su bazlı (WB), solvent bazlı ve enerji ile iyileştirilebilir (UV/EB). Bu mürekkepler araçlar ve renklendiricilerden oluşur. Mürekkebe renk veren renklendiriciler, pigmentler veya boyalar olabilir. Kimyasal yapıları, pigmentlerin inorganik veya inorganik olarak ayrılmasına izin verir. Organik renk pigmentleri (sarı, macenta, camgöbeği ve siyah gibi), spot renk pigmentleri, özel efekt pigmentleri, metalik ve iletken veya yarı iletken gibi işlevseldir. Reçineler, bir mürekkebin yazdırılabilirliğine, yapışmasına, reolojisine/akış viskozitesine ve kararlılığına katkıda bulunur. Taşıyıcılar çözücülerdir. Son olarak, mürekkep formülasyonunun özellikleri katkı maddeleri nedeniyle biraz farklıdır. Parlaklığı, opaklığı ve ısıyı ve nemi artırabilir [7].

- **Etil alkol (Etanol):** En yaygın kullanılan solventlerden biridir, düşük toksisite özelliğine sahiptir.

- **Etil asetat:** Hızlı buharlaşma özelliği ve yüksek çözme kapasitesi nedeniyle tercih edilir.
- **N-propil alkol:** Orta hızda buharlaşan bir solventtir.
- **N-propil asetat:** Etil asetat'a göre daha yavaş buharlaşır.
- **Metoksipropanol:** Polar ve apolar bileşenleri çözme yeteneği vardır.
- **İzopropil alkol:** Yardımcı solvent olarak kullanılır.

Genel olarak, en iyi çözücü karışımı %60-70 etanol, %20-30 etil asetat ve %5-10 geciktirici çözücü içerir [29].

Reçineler, pigmentleri yüzeye bağlayan ve film oluşturan bileşenlerdir. Solvent bazlı mürekkepler, tıfdruk ve flekso baskı teknolojilerinde kullanılabilir.

Baskı türü ve ambalaj yapısı, solvent bazlı mürekkeplerin başka bir sınıflandırmasını oluşturur.

NC mürekkepler, yüksek yüzey baskısı ve düşük laminasyon mukavemeti gerektiren alanlar için uygundur.

PVB mürekkepler, laminasyon için daha yüksek laminasyon mukavemeti gerektiren işler için tasarlanmıştır.

PVC veya PVB-PU mürekkepleri: retort ambalajlama ve pastörizasyon gibi majör koşullara dayanması gereken ambalajlara uygundur [30].

2.5.1. Solvent Bazlı Mürekkeplerin Fizikokimyasal Özellikleri

2.5.1.1. Viskozite

Fleksografik baskı için viskozite çok önemlidir. Birkaç farklı ölçüm yöntemi kullanılır:

Zahn Cup (2, 3, 4): genellikle 18-25 saniye (Z2, 20°C)

Ford Cup: 15-22 saniye (4 numaralı, 20°C)

ISO Teknik Komite 35/SC 9'a göre, çeşitli baskı hızları için farklı viskozite değerleri idealdir:

- 100 m/dk için: 22-25 saniye (Z2),
- 300 m/dk için: 18-22 saniye (Z2),

- 500 m/dk üzeri: 16-18 saniye (Z2).

2.5.1.2. Yüzey Gerilimi

Yüzey gerilimi, solvent bazlı mürekkeplerde tipik olarak 22 ila 30 mN/m arasındadır. Baskı yapılacak substratın yüzey enerjisinin bu değerden daha düşük olması gerekmektedir [31].

2.5.1.3. Kuruma Hızı

Tedarik edilen mürekkep sıvıdır, ancak uygulandıktan sonra katıya dönüşür. Bir sıvı mürekkebin kalıcı olarak katı hale dönüşmesinin yani çözücüsünü uzaklaştırmanın birçok yolu vardır. Mürekkebin kuruması olarak bilinen bu durum değişikliği fiziksel, kimyasal veya her iki sürecin bir kombinasyonu olabilir [2].

2.5.2. Uygulama Parametreleri

2.5.2.1. Aniloks Silindir Seçimi

Aniloks silindiri, yüzeyi küçük tek tip hücrelerle kaplı silindirik bir silindiridir. Bu hücreler mürekkebi tutar ve baskı plakasına bırakarak mürekkebi alt tabakaya aktarır. Bu hücrelerin tasarımı, ne kadar mürekkep aktarılacağını ve baskı kalitesini etkiler. Krom aniloks merdaneler ve seramik aniloks merdaneler iki ana kategoridir. Seçilecek baskı türü, baskı işinin özellikleri, kullanılan mürekkep türleri ve baskı makinesinin performans gereksinimleri dahil olmak üzere çok sayıda faktör, seçilecek türü etkileyecektir.

2.5.2.1.1. Satır Ekranı (Hücre Sayısı)

Aniloks silindirinin yüzeyindeki inç başına düşen hücre sayısı (CPI), satır ekranında gösterilmektedir. Satır ekranının yüksekliği, mürekkep hücrelerinin ne kadar küçük ve hassas olduğunu gösterir. Bu, aktarılan mürekkep miktarını ve basılan görüntü kalitesini doğrudan etkiler.

Düşük Satır Ekranı (60-100 lpi): Bu, yoğun mürekkep kapsamı gerektiren uygulamalar için genellikle oluklu kutular veya geniş alanlarda katı mürekkep içeren ambalajlar için kullanılır. Daha az satır ekranı daha fazla mürekkebi aktarır.

100-150 lpi'lik orta satır ekranı, etiket ve genel ambalaj baskısı için idealdir. Mürekkep kapsamı ile baskı kalitesi arasında bir denge sağlar.

Yüksek Satır Ekranı (150-200 lpi): Esnek ambalajlar, etiketler ve ticari ambalajlar gibi yüksek çözünürlüklü baskılar için kullanılır, çünkü renk hassasiyeti ve ince ayrıntılar son derece önemlidir [32].

2.5.2.3. Kliše (Baskı Kalıbı) Özellikleri

Solvent bazlı mürekkepler için optimize edilmiş klišeler:

- **Sertlik:** 65-85 Shore A
- **Kalınlık:** 1.14 mm, 1.70 mm, 2.54 mm
- **Malzeme:** Fotopolimer veya kauçuk

2.5.2.4. Baskı Yüzeyleri ve Yapışma Özellikleri

Solvent bazlı mürekkepler farklı yüzeylere farklı düzeylerde yapışma gösterir:

Yüzey Türü	Yapışma Kapasitesi	Gerekli Reçine Kombinasyonu
PE/PP filmler	Orta-İyi	NC + Poliamid
PET filmler	İyi	NC + PU
OPP filmler	İyi-Çok iyi	NC + Poliüretan + Poliamid
Metalize Filmler	Orta	NC + Özel yapışma promotörleri
Alüminyum Folyo	Çok iyi	NC + Poliamid
Kâğıt	Çok iyi	NC

Tablo 4.Yüzey Türlerine Göre Yapışma Kapasitesi

Yapışma özelliklerini artırmak için yüzey işlemleri:

- Corona yüzey işlemi (38-42 dyne/cm)
- Plazma işlemi
- Primer uygulamaları

2.5.2.5. Kalite Kontrol Parametreleri

ISO 12647-6 ve diğer endüstri standartlarına göre kalite kontrol parametreleri:

2.5.2.5.1. Baskı Öncesi Testler

- Viskozite kontrolü
- pH kontrolü
- Renk yoğunluğu ölçümü
- Yüzey gerilimi ölçümü
- Kuruma hızı testleri

2.5.2.5.2. Baskı Sonrası Testler

- **Renk ölçümü:** ΔE değeri <2 olmalı (CIE $L^*a^*b^*$)
- **Sürtünme direnci:** ASTM D5264 (>200 sürtünme)
- **Yapışma testi:** ASTM D3359 (çapraz kesik testi)
- **Çözücü direnci:** ASTM D5402 (MEK test)
- **Parlaklık:** 60° açıda ölçüm (ASTM D523)
- **Blok direnci:** 40°C 'de 24 saat basınç altında test

2.5.2.6. Kimyasal Direnç ve Stabilite

Solvent bazlı mürekkepler, çeşitli kimyasal maddelere karşı direnç gösterir:

- **Su direnci:** Mükemmel (>72 saat)
- **Yağ direnci:** İyi-Mükemmel (>48 saat)
- **Alkol direnci:** Orta-İyi (24-48 saat)
- **Asit direnci:** Orta (pH 4-7)
- **Alkali direnci:** Zayıf-Orta (pH 7-9)

Raf ömrü genellikle kapalı kapta 12-18 aydır. Bu süre boyunca viskozite değişimi ± 2 saniye ile sınırlandırılmalıdır [2].

2.5.2.7. Çevresel Etkiler ve Düzenlemeler

2.5.2.7.1. VOC Emisyonları

Solvent bazlı mürekkepler yaklaşık %60-75 oranında VOC içerir. Bu emisyonlar şu yollarla kontrol edilebilir:

- RTO (Regenerative Thermal Oxidizer) sistemleri
- Solvent geri kazanım sistemleri
- Katalitik yakma sistemleri

2.5.2.7.2. Çevresel Düzenlemeler

Avrupa Birliği'nde temel düzenlemeler:

- **VOC Direktifi** (2004/42/EC): Maksimum VOC içeriğini sınırlar

- **Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (2010/75/EU):** Emisyon limitlerini belirler
- **REACH Yönetmeliği (EC 1907/2006):** Kimyasal maddelerin kaydı ve değerlendirilmesi

ABD'de:

- **Clean Air Act:** VOC emisyonlarını düzenler
- **EPA 40 CFR Part 63:** Baskı endüstrisi için hava kalitesi standartları

2.5.2.7.3. Sürdürülebilirlik Girişimleri

VOC azaltma stratejileri:

- Yüksek katı içerikli mürekkepler (%40-50)
- Daha yavaş buharlaşan solventler kullanımı
- Hibrit mürekkep sistemleri

2.5.2.8. Ekonomik Yönler

Solvent bazlı mürekkep maliyetleri şu bileşenlere ayrılabilir:

- **Pigmentler:** %25-35
- **Reçineler:** %15-25
- **Solventler:** %35-45
- **Katkı maddeleri:** %5-10

Ortalama maliyetler (2023 verilerine göre):

- Proses renkler (CMYK): 5-8 Euro/kg
- Spot renkler: 8-12 Euro/kg
- Beyaz mürekkep: 4-6 Euro/kg
- Metalik mürekkepler: 15-25 Euro/kg

2.5.2.9. Gelecek Trendleri

Solvent bazlı mürekkep teknolojisindeki yeni trendler [34];

- **Biyobazlı solventler:** Etanol yerine biyoetanol kullanımı

- **Nano-pigment teknolojisi:** Daha düşük pigment konsantrasyonu ile yüksek renk yoğunluğu
- **Hibrit reçine sistemleri:** Nitroselüloz ve alternatif reçine kombinasyonları
- **Fonksiyonel mürekkepler:** Akıllı ambalaj uygulamaları için sensörler içeren mürekkepler
- **VOC azaltılmış formülasyonlar:** %40+ katı madde içerikli sistemler

Mürekkep Türü	VOC İçeriği (%)	Çevresel Etki
Solvent Bazlı	50-80	Yüksek
Su Bazlı	5-20	Düşük-Orta
UV Kirlenen	<5	Çok Düşük
EB Kirlenen	<1	Minimum

Tablo 5. Mürekkep Türlerine Göre VOC İçeriği

2.6. Fleksografik Su Bazlı Mürekkep

Film alt tabakaları için kullanılan standart flekso mürekkeplerinin, ağırlığının yaklaşık %60-80'ini Etanol, N-propil Alkol, İzopropanol, Heptan ve n-propil asetat gibi çözücülerden oluşur. Bunların hepsi zararlı kimyasallar olarak bilinir. Temiz Hava Yasaları ise bu flekso mürekkep formülasyonlarında kullanılan bu solventleri, solunum rahatsızlıkları olan insanlar için önemli bir sağlık sorunu olan yer seviyesi ozonunun öncüleri olarak tanımlamıştır. Tehlikeli atık yönetmeliklerinde (RCRA), bu mürekkeplerden elde edilen ve kolayca tutuşabilen çözücülerle karıştırılan herhangi bir atığı bertaraf etme seçenekleri mevcuttur. Bu mürekkeplerden bazıları belirli çözücüler içerdiğinde “listelenmiş” atık olarak kabul edilir. Bazı mürekkepler ve seyreltici çözücüler, MEK, metil izobütil keton, toluen, etil asetat ve diğerleri gibi kimyasal atıkları (F) olarak sınıflandırılmıştır.

Su bazlı mürekkepler hem yazıcıların kirlenmesini hem de düzenleyici kısıtlamaları ortadan kaldırarak bu çözücülere bir alternatif sunar [35].

Su bazlı mürekkepler, VOC emisyonlarının azalması nedeniyle popüler hale gelmiştir. Su bazlı mürekkeplerin (genellikle daha ucuz olduğu için) çevreye daha az zarar verdiği kanıtlanmıştır. Atmosfer kirliliğini ve VOC emisyonlarını azaltır.

- Katı madde oranları en fazla %45 ila %35 arasında değişmektedir.

- Katı maddeler yanıcı değildir,
- Çevre dostudur ve su ortamında disperse olarak bulunurlar.

Temizlik, beklemeden yapılırsa basit bir iştir, aksi halde katı maddeler kuruduktan sonra çözücüde dispers olmayabilirler ve bu da probleme dönüşür. Çözüm yüksek hız, kuru ve sıcak hava ile kurutmayı denemektir.

Su bazlı mürekkeplerin yapılarında, organik ve inorganik pigmentler, bağlayıcılar (solüsyon, stiren akrilat, emülsiyon vb.) solventler (alkol, su, glikol vb.), katkı maddeleri (köpük kırıcı, wax, ve dolgu maddeleri) kullanılır.

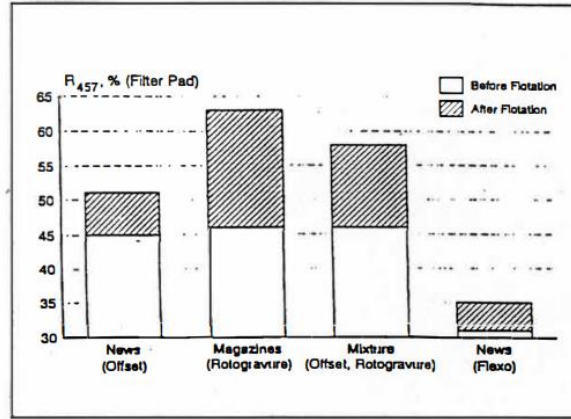
Su bazlı mürekkeplerin avantajları arasında renk şiddeti stabilitesi, kolay basılabilirlik özellikleri sağlama, çevreci olması ve yangın riski taşımaması sayılabilir. Emici olmayan yüzlerde yavaş kuruması ve zayıf parlaklık verme özelliği dezavantajlarıdır. Mürekkep sanayi, solvent kaynaklı mürekkeplerin kullanımını azaltmaya çalışırken, su bazlı mürekkep sistemini yeni reçineler veya mevcut hammaddeler kullanılarak geliştirmeye devam etmektedir [28].

Typical Flexo Water-Based Ink Composition (35)

Components	Black	Color
Water	65-77 %	65-80 %
Binder		
Resins	9-12 %	5-8 %
Organic amines	0.1-0.3 %	0.1-0.3 %
Pigment	12-16 %	12-20 %
Additives	2-10 %	2-10 %

Tablo 6. Tipik Bir Fleksografik Su Bazlı Mürekkep Bileşimi

Akrilik reçineler, flekso su bazlı mürekkeplerinde aminler gibi alkalilerle nötralize edildiğinde çözünebilir maddelerdir. Baskı sürecinde aminler su ile buharlaşır veya kâğıdın asitliği tarafından nötralize edilir. Reçinenin on sekiz karboksilat grubu hemen karboksilik asitlere dönüşür. Asit grupları çok daha az kutupludur, bu da mürekkep filminden suyu çıkarmaya ve reçineyi pigmentlerle çöktirmeye yardımcı olur.



Tablo 7. Klasik ve Su Bazlı Mürekkeplerin Filtre Altlığıının Parlaklığı Üzerindeki Etkisi [36]

2.7. Solvent Bazlı Mürekkep Basılabilirlik Parametreleri

Bir mürekkebin bir baskı sisteminde başarılı şekilde transfer edilebilmesi, substrat üzerinde uygun bir film oluşturabilmesi ve istenen baskı kalitesini sağlayabilmesi yeteneği, basılabilirlik olarak bilinir. Baskı kalitesi, üretim verimliliği ve nihai ürünün performansı, basılabilirlik parametreleri tarafından doğrudan etkilenmektedir.

Çeşitli baskı sistemlerinde yaygın olarak kullanılan solvent bazlı mürekkepler, her baskı sistemi için ideal basılabilirlik özelliklerine sahip olmalıdır.

Solvent bazlı mürekkeplerin basılabilirlik parametreleri, mürekkebin baskı sırasında yüzeye istenilen kalitede uygulanmasını sağlar. Mürekkep üretiminde kullanılan bileşenlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, baskı makineleri ve baskı yüzeyi bu parametreleri etkiler. Basılabilirlik, mürekkebin viskozitesi, akışkanlığı, kuruma hızı, yapışma gücü ve baskı sırasında meydana gelen sorunların nasıl ele alındığı gibi birçok faktöre bağlıdır.

2.7.1. Viskozite ve Akışkanlık

Bir maddenin mekanik etkiler altındaki akışkanlık özelliği viskozite olarak bilinir. Bir mürekkebin viskozitesi baskının birçok yönünü etkiler. Düşük viskozite, aşırı nokta kazanımına neden olarak basılı görüntünün keskinliğini kaybettirebilir. Kirli baskı ve mürekkebin plakadan alt tabakaya doğru düzgün transferi, yüksek viskozite nedeniyle ortaya çıkabilir. Renkli tonlar, viskozite seviyelerinde değişikliklere neden olur. Su bazlı mürekkeplerde yüksek viskozite, her zaman düşük bir pH'a neden olsa da yüksek viskozite her zaman düşük bir pH'a neden olmayabilir. Tiksotropi ve sıcaklık da viskozite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Mürekkep viskozitesi soğukken yapılan ölçümler, kaydedilenlerden daha yüksek sonuçlara yol açabilir.

2.7.2. Yüzey Gerilimi ve Yapışma Gücü

Baskı endüstrisinde yüzey gerilimi, bir alt tabakanın özelliğine atıfta bulunur. Yüzey gerilimi santimetre kare başına din olarak ölçülür. Din seviyesi, bir dyne çözeltisi veya daha uygun bir şekilde bir dyne kalemi kullanılarak ölçülür. Uygun yapışmayı elde etmek için, bir alt tabakanın dyne seviyesi, cm^2 'den 10 dyne daha yüksek olmalıdır.

2.7.3. Mürekkep pH'sı

Bir maddenin pH değeri, onun asitlik veya alkalilik düzeyidir. Bir mürekkebin suya dayanma derecesi pH'ına bağlıdır. Karışımda kullanılan alkali katkı maddesi, pH seviyesini etkileyecektir. Baskı sırasında mürekkebin pH seviyesi kontrol edilmelidir. Baskı mürekkeplerinde bulunan renkli maddeler nedeniyle pH değerleri ölçülemez.

Mürekkep pH'sı sıfır ile yedi arasında asittir ve yedi ile on dört arasında alkalidir. Su bazlı mürekkebin asidik veya alkalik olması çok önemlidir. Bu prosedür, mürekkebin alt tabaka yüzeyiyle kimyasal bir bağ kurmasına izin verir. Bir mürekkebin suya dayanma derecesi pH'ına bağlıdır [37].

2.8. Solvent Bazlı Mürekkebin Test ve Analiz Yöntemleri

2.8.1. Tiksotropi

Viskozitenin değişken olması, yapısal değişikliklerin reolojik tezahürü tiksotropi olarak bilinir. Tiksotropi etki olarak bilinen bir durum, değişikliklerin geri çevrilebileceği bir durumdur. Mürekkep durgun haldeyken veya kutuda kaldığında kalındır. Bu nedenle yüksek viskozitesi vardır. Mürekkep mekanik ve ısı etkilerinden akışkan bir hal alır. Bununla birlikte, statik bir hal aldığı anda tekrar eski formuna geri döner [38].

2.8.2. Yapışkanlık (TACK)

Tek bir mürekkep filmini ikiye bölmek için gereken kuvvetin bir ölçüsü yapışma olarak bilinir. Mürekkebin iç uyumu, reolojik ve yapışkan özellikler bu tür film bölünmesini etkiler. Bir silindire uygulanan kuvveti ölçmek için birçok farklı alet geliştirilmiştir [39].

2.8.3. Viskozite (Akışkanlık)

Kesme gerilmesinin (birim alan başına kesme veya deformasyon kuvveti) kesme hızına oranı, viskozite olarak bilinir. Akış sırası deformasyonunun hız gradyanı da dahil olmak üzere iki faktör tarafından ölçülmektedir. Bu oran sabit değildir, ancak kesme hızına bağlı olduğu için litografik mürekkepler Newtoncu değildir. Bu, yaygın olarak bulunan pigmentin yüksek

içeriğinden kaynaklanmaktadır. Newtoncu olmayan davranış, mürekkeplerin tüm kesme hızları aralığında viskozitesini ölçmeyi gerektirir. Bu aralık çok geniştir çünkü mürekkep kutudan ve mürekkep kanalından çıkarılırken hızlı preslerin silindir uçlarında çok düşük kesme oranları vardır. Sonuç olarak, tipik olarak ilgili tüm koşullar altında tek bir viskozimetre ile viskoziteyi ölçmek mümkün değildir. Birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Yüksek kesme hızları için düşen çubuk viskozimetresi ve daha düşük kesme koşulları için koni ve plaka viskozimetresi en yaygın iki alet türüdür [39].

2.8.4. Parlaklık

Üzerine gelen ışığı yansıtma gücüdür. Mürekkebin malzeme yüzeyinde iyi bir film oluşturmasına bağlıdır. Pigment ile karıştırılan reçine miktarı parlaklığı artırır. Parlaklık, yüzey düzgünlüğüne bağlıdır.

2.8.5. Mukavemet

İç sürtünme dayanıklılığı tanımlar. Baskı, mürekkebi bileşenlerinin arasındaki sürtünme anlamına gelir. Bütün mürekkepler kullanım sırasında fiziksel ve kimyasal darbelere karşı dayanıklı olmalıdır. Mürekkebin darbeye karşı dayanımı için ASTM D 2794 standardı kullanılmaktadır. Bu değerlendirme, uygulamadan bir hafta sonra test sonuçlarının olumlu olmasına göre çelik plakalar üzerine de yapılmaktadır [41].

2.8.6. Opasite

Yüzeyden yansıyan ışığın nüfuz etme oranına ve şiddetine göre, baskı mürekkepleri transparanlık veya opaklık kazanmaktadır. Partikül boyutu ve pigmentin kırılma indeksine bağlı olarak, daha opak renklendiriciler daha yüksek kırılma ve yansıma eğilimi gösterirler. Bu nedenle, titanyum dioksit, kırılma ve yansıma özelliklerini etkileyen parçacık boyutu ve yüksek kırılma indeksi nedeniyle baskı endüstrisinde mürekkep üretimi için opak özelliği sayesinde yaygın kullanılır. Bununla birlikte, çözünür pigmentler yüksek derecede şeffaf mürekkep filmleri sağlar ve kırılma indisi daha düşüktür. Mürekkebin uygulandığı yüzeylerin pigmenti dağıtabilme yetenekleri, kendi kırılma indeksi ile mürekkebin opaklığını ve saydamlığını etkileyebileceğinden, mürekkebin opasitesini de etkileyecektir. Bu nedenle, selüloz esaslı baskıaltı malzemeleri saydam bir filme ve metal yüzeylere göre opasite farkı yaratacaktır [28].

2.8.7. Işık Haslığı

Mürekkebin ışığa karşı direnişidir. Formülde daha fazla bağlayıcı varsa ışık haslığı da artar. Mürekkebin ışık haslığını etkileyen etmen pigmentlerdir. Sınırsız ışık haslığına sahip olan

çok az inorganik pigment vardır. Bütün pigment çeşitlerinin, çoğu ışık ile az veya çok değişirler. Pigmentlerin kimyasal yapısı, konsantrasyonu ve fiziksel özellikleri (örneğin tane boyutu dağılımı ve kristal modifikasyonu), mürekkebin performansındaki değişimleri doğrudan etkilemektedir. Işık haslığı yüksek pigmentler genellikle maliyetlidir; bu nedenle baskı uygulamasında istenen ışık haslığı düzeyinin önceden belirlenmesi büyük önem taşır. Renk stabilitesinin kritik olmadığı durumlarda, daha ekonomik pigment veya mürekkep sistemlerinin tercih edilmesi mümkündür. Özel formülasyona sahip mürekkepler ise uzun süreli ışık haslığı takibi yapılabilecek özellikte tasarlanabilir.

Kutulardaki etiketler standart ve stoklu mürekkeplerin ışık haslığı sonuçlarını gösterir. Çok fazla odun lifi içeren kâğıt çabuk sararabilir. Çok yüksek ışık haslığına sahip cyan mürekkep bu kâğıdın yeşilimsi görünmesini sağlayabilir [42].

2.8.9. Sıcaklık

Yapılan baskı, karton ambalaj üretiminde pastörizasyon koşullarında veya ısıyla yapıştırma işlemlerinde ısıya dayanıklı olmalıdır. Sonuç olarak hem üretim sürecinde hem de basılı malzemelerin kullanıldığı alandaki sıcaklıklar göz önünde bulundurulmalı ve renk seçiminde dikkat edilmelidir [28].

2.8.10. Optik yoğunluk

Baskı üzerine gelen ışığın yoğunluğu ve bir baskıdan yansıyan ışığın yoğunluğu, baskı koyuluğunu ölçmek için kullanılan iki parametredir. Renk yoğunluğunu ölçmek için, L^* , a^* ve b^* renk koordinatları kullanılabilir, burada L^* parlaklığı, a^* ise a'nın kırmızı ve yeşil dengesini temsil eder. Rengini, b^* ise sarı ve mavi dengesini ifade eder [40].

2.9. Mürekkeplerinin Kuruma Sistemleri

“Kuruma” terimi, bir baskıaltı malzemesine aktarılan sıvı mürekkebin katı bir form almasını ifade eder. Mürekkeplerin türlerine göre kuruma olayı farklı mekanizmalarla gerçekleşir.

2.9.1. Penetrasyon (Nüfuz Etme)

Bir mürekkep filminin kâğıda nüfuz etmesi için hidrofobik bir sıvı uygulandığında Lucas-Washburn denklemi kolayca bulunabilir. Su bazlı mürekkep filmleri gibi daha hidrofilik sıvılar, daha karmaşık bir penetrasyon moduna sahiptir. Kılcal damarların genişlemesi ve lif şişmesi nedeniyle penetrasyon daha hızlı olabilir veya sıvının kılcal damarlara doygunluğu nedeniyle daha yavaş olabilir. Ayrıca, yüzey yapısındaki kâğıt liflerinin sıvı ile yüzey kimyası

arasındaki özel etkileşim, işlemi etkiler. Düz baskı kağıtları da dahil olmak üzere kâğıt yapıları su girişinin Bristow penetrasyon analizine dayanır [5].

2.9.2. Oksidasyon-Polimerizasyon

Emici özellik gösteren yüzeylere uygulandığında, mürekkebin düşük viskoziteli fazı veya içerdiği yağlar substrat tarafından emilirken, bağlayıcı bileşenler atmosferik oksijen ile kimyasal reaksiyona girerek sert bir film tabakası oluşturur. Bu kuruma mekanizması, özellikle ofset baskı mürekkeplerinin kuşe kâğıt ve karton gibi yüzeylere uygulanmasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

2.9.3. Evaporasyon (Buharlaştırma)

Mürekkebin sıvı fazının, baskıdan sonra emilerek değil buharlaşarak mürekkep filminden ayrılmasıyla gerçekleşir. Film malzemeler gibi emici özelliği olmayan baskı altı malzemelerde görülür.

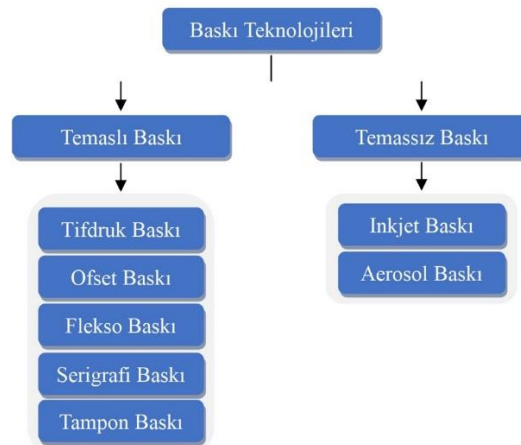
2.9.4. Radyasyon

Ultraviyole ve IR ışık türleri, mürekkep filmini kısa sürede sertleştirerek polimerleştirir. Elektron bombardımanı kullanarak mürekkep veya laklar da kurutulabilir [28].

2.10. Baskı Sistemlerine Göre Solvent Bazlı Mürekkeplerin Basılabilirlik Parametreleri

Mürekkep formülasyonları, reolojik ve kimyasal özellikleri ve beklentileri de baskı sistemlerine göre farklılık göstermektedir.

Direkt ve indirekt olarak baskı sistemlerini ayırdığımızda, günümüzde en yaygın olan baskı sistemleri, flekso, tıfdruk, ofset, dijital ve inkjet baskı olarak sayılabilir.



Tablo 8. Baskı Çeşitleri [33]

2.10.1. Flekso Baskı

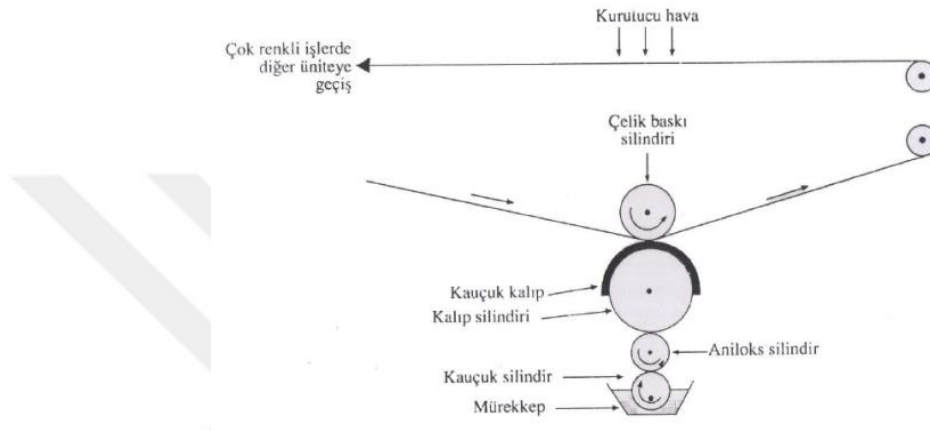
Yüksek baskı hızlarında çalışabilen bir baskı yöntemidir. Karton, kâğıt veya folyo gibi rulodan ruloya malzemeler basılır. Bu yüksek teknolojiye sahip mikro ölçekli iletken ağlar, çok çeşitli alt tabakalar üzerine çok çeşitli işlevsel mürekkepleri basma yeteneği nedeniyle, rulodan ruloya işlenmiş polimer güneş pili modülleri veya şarj edilebilir çinko bazlı piller gibi çeşitli basılı elektronik uygulamaları için de başarıyla kullanılmaktadır. Klişe, flekso baskıda kullanılır. Klişe, belirli bir yükseklik ve sıkıştırılabilirliğe sahip bir alt yapı ile baskı silindirine yerleştirilir. Mürekkep haznesinden belirli miktarda mürekkebi baskı kalıbının yüksek alanlarına taşımak için, aniloks silindiri olarak bilinen ince dokulu krom veya seramik yüzeye sahip çelik bir silindir kullanılır. Kazınmış hücrelerin açısı, hacmi ve çizgi taraması, bu karakteristik mürekkep miktarını tanımlayan daldırma hacmidir. Daldırma hacmi cm^3/m^2 olarak gösterilir. Baskı konusuna bağlı olarak, normal daldırma hacimleri 1,4–14 cm^3/m^2 arasındadır. Aniloks merdane baskı plakasını uygun bir tabaka kalınlığı ile ısıtmadan önce, aşırı mürekkep bir sıyırma bıçağı kullanılarak çıkarılır. Mürekkep baskı plakasından sonra alt tabakaya aktarılır [21].

Aniloks/blanket ve blanket/alt-tabaka arasındaki mürekkep transfer özellikleri nedeniyle, flekso mürekkeplerinin akışkanlık ve viskozite ölçüleri; 50-150 mPa viskozite aralığında yüksek baskı hızlarında yüksek viskozitede olmalıdır. Bu pigment sayesinde farklı konsantrasyonlarda mürekkep kullanılabilir. %40'a kadar veya %1'den az olan konsantrasyonlar kabul edilebilir.

Baskı materyali düzeneği, mürekkep haznesi, mürekkep hazne silindiri, aniloks, klişe ve blanketten oluşur. Mürekkebi, mürekkep haznesinin diğer parçalarına aktarmak için kullanılan kauçuk kaplanmış mürekkep silindiri, mürekkep haznesi içindeki sisteme göre değişir. Hazneden merdane yardımıyla aldığı mürekkebi, aniloksa aktarır. Aniloks, mürekkep transferini kolaylaştırmak için hücrelere bölünmüş ve dış etkilerden korunmuştur. Klişenin bağlı bulunduğu klişe silindiri, mürekkebi tram değeri (santimetre başına düşen hücre sayısı) oranında yüzeye aktarır. Bu nedenle, genellikle oldukça ince bir mürekkep film kalınlığı tercih edilir. Klişe yüzeyine yerleştirilen mürekkep, blanket silindiri aracılığıyla baskı materyaline, uygulanan baskı basıncıyla birlikte aktarılır. Bu baskı sisteminin karakteristik özelliklerinden biri de çok düşük viskoziteye sahip mürekkeplerin kullanılmasıdır [28].

Aniloks merdanesi baskı kalıbını eşit bir katman kalınlığıyla ıslatmadan önce bir sıyırma bıçağı kullanılarak aşırı mürekkep giderilir. Son olarak, mürekkep baskı plakasından alt tabakaya taşınır.

Baskı kalıbının esnekliği nedeniyle flekso baskı, pürüzlü yüzeylerde yüksek kaliteli baskılar yapmak için idealdir. Flekso, düşük baskı basıncı gerektiren baskı işlemi nedeniyle silikon gofretler gibi kırılğan alt tabakalar için de kullanılabilir. Genel olarak, flekso baskı platformları rulodan ruloya tabanlıdır [20].



Şekil 1. Flekso Baskı Sistemi

2.10.1.1. Flekso Baskı Mürekkeplerinin Özellikleri

Flekso baskının önemli 2 unsuru vardır. İlki, mürekkebin optimum hızda kuruması ve ikincisi, mürekkebin fleksoda çalışabilecek uygunlukta olması gerektiğidir. Viskozitesi yüksek mürekkepler, baskı makinesinde izopropil alkol, etilalkol, etil glikol ve etil asetat gibi çözücülerle kullanılır.

Flekso baskının kullanıldığı ambalaj alanında kullanılan baskı altı malzemeleri, kâğıt, karton, plastik filmler ve bunların farklı kombinasyonlarıdır. Bu malzemelerin çeşitliliği, baskı türlerinin çeşitliliğini artırır. Bu nedenle, her görev için farklı bir seri mürekkep kullanılması gerekir. Mürekkep seçerken, tek katlı, çok katlı veya çok katlı laminasyona uygun malzeme olup olmadığına dikkat edilmelidir. Baskı için kullanılan mürekkebi seçerken;

- Yüksek parlaklık,
- İyi basılabilirlik özellikleri,
- Isı dayanımı,
- Sürtünme katsayısı (COF),

- Düşük solvent adezyonu,
- Üst/Ters baskı uygunluğu dikkate alınmalıdır.

Dünya çapında kabul görmüş standartlara göre, mürekkep üretim viskozitesi yaklaşık 34 saniye/FORD CUP 4/20 °C'dir. Bu üretim viskozitelerinden, baskı viskozitesine ulaşmak için yaklaşık %15 ila 20 çözücü ilavesi gerekir. İnceleme sırasında daha fazla çözücü ilavesi gerektiren mürekkepler, renklerini ve bağlayıcı özelliklerini yitirip, sorun yaratabilir.

Solvent karışımında çözülen bir veya daha fazla reçine, solvent bazlı mürekkeplerin temelini oluşturur. Reçine çeşidinin arttığı durumlarda genellikle tek bir çözücü yerine bir kombinasyon gerekli olur. Bu çözücüler, merdanelerde ve tabakalarda baskı problemlerine sebep olmamak için merdane ve tabaka malzemeleri ile uyum içinde olmalıdır.

Genellikle yüksek reçine çözünürlüğü, istenen kuruma performansı ve yapışkanlık (tack) özelliklerinin elde edilebilmesi amacıyla hidrokarbonlar, asetik asit veya esterlerle birlikte formüle edilmektedir. Uçucu solventlerin buharlaşması, solvent bazlı mürekkeplerin kurulmasında temel rol oynar. Çözücüler, nitroselüloz, poliamid, selüloz esterler, akrilik ve değiştirilmiş reçineler ve keton reçineler gibi çeşitli reçineleri çözmek için kullanılır. Flekso baskı mürekkeplerinin üretiminde kullanılan reçine türü çok önemlidir. Reçineler, kurumuş haldeki mürekkep filminin fiziksel özelliklerine katkıda bulunur ve pigmentlerin dağıtılmasına yardımcı olur. Reçineler, salt ya da kombinasyon şeklinde de kullanılabilirler gerekli fizikokimyasal özellikleri sağlarlar.

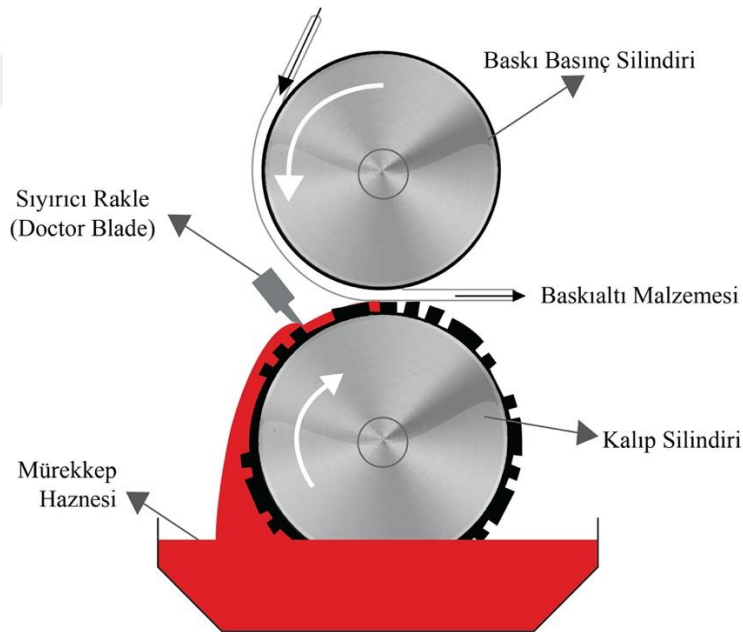
2.10.2. Tifdruk Baskı

Kâğıt, karton, alüminyum folyo ve plastik film gibi çeşitli yüzeylere başarılı bir şekilde baskı yapılmasını sağlayan bu baskı tekniği, yüksek hızda çalışabilme kapasitesi sayesinde kısa sürede yüksek kaliteli çıktılar elde edilmesine olanak tanımaktadır. Kalıp hazırlama ve ön hazırlık masrafları nedeniyle yüksek tirajlı işler için tercih edilir. Tifdruk, çok çeşitli alanlara hizmet edebilir. Baskı genişliği 50 cm - 4 metre aralığındadır ve dakikada 1 km hızla baskı yapabilir.

Tifdruk baskı sistemi, kalıp yüzeyine oyulmuş binlerce mikroskobik çukurcuğa yerleştirilen mürekkebin, uygun basınç altında emici ya da emici olmayan yüzeylere aktarılması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde, baskı altı malzemesine görüntü sağlayan alanlar, görüntü aktarmayan alanlara göre daha derin konumlandığından, sistem Almanca

kökenli “derin” (tief) ve “baskı” (druck) sözcüklerinden türetilmiş “derin baskı” veya “çukur baskı” terimleriyle ifade edilmektedir.

Tifdruk baskıda, krom kaplı kalıbın üzerinde küçük hücreler şeklinde çukurlar oluşturularak basılacak iş hazırlanır. Bu nedenle ilk pozitif filmin renkleri çeşitli yöntemlerle krom kaplı silindire kazınır. Silindir yüzeyinin aşınma direncini artırmak amacıyla krom kaplama uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra, günümüzde gelişen teknoloji sayesinde, film görüntüsünün bilgisayardan doğrudan silindir yüzeyine kazınmasını sağlayan dijital kalıp hazırlama yöntemleri geliştirilmiştir. Tifdruk baskı tekniğinde kullanılan kalıp silindiri, uygun viskozitedeki mürekkebi içeren bir hazne içerisinde sürekli olarak döner. Baskı sürecinde silindir, mürekkep ile kaplanır; ardından tüm yüzeye yayılan ve gravür çukurlarını dolduran mürekkep fazlası, 'doktor blade' olarak adlandırılan özel bir rakle yardımıyla yüzeyden uzaklaştırılır. Gravür çukurlarında kalan mürekkep, basınç (forsa) yardımıyla doğrudan baskı altı malzemeye aktarılır. Çukurların ince işçilikle ve hassas girintilerle oluşturulmuş olması, baskı görüntüsünün yüksek netlikte ve ayrıntılı biçimde iletilmesini sağlar.



Şekil 2. Tifdruk Baskı Şeması

2.10.2.1. Tifdruk (Gravür) Baskı Mürekkepleri

Tifdruk mürekkeplerinin baskı hücrelerini doldurabilmesi için akışkan olması gerekir. Bu nedenle, düşük yüzey gerilimleri ve 50 ila 500 mPa.s viskoziteli olmalıdır. Katı madde, yüzde otuz olmamalıdır. Yüksek hız gerektirmeyen sistemlerde akışkan olmayan mürekkep kullanılır. Baskı hızlı olduğu için uçuculuğu yüksek çözücülerin kullanılması uygun olacaktır.

2.10.2.2. Tifdruk Baskı Kullanım Alanları

Bu ambalaj tekniği ambalaj sektöründe en yaygın olarak kullanılmaktadır. Ambalaj malzemelerinden yapılan kartonlara baskı yapmak kolaydır. PET ve PP gibi plastik filmlerin yüzeyleri korona işlemine tabi tutulur. Plastik filmler de aynı şekilde, çünkü alüminyum folyolar emici değildir. Filmlerde örtücü mürekkepler tercih edilse de folyolarda parlak yüzeyi gösteren transparan mürekkepler daha uygundur [28].

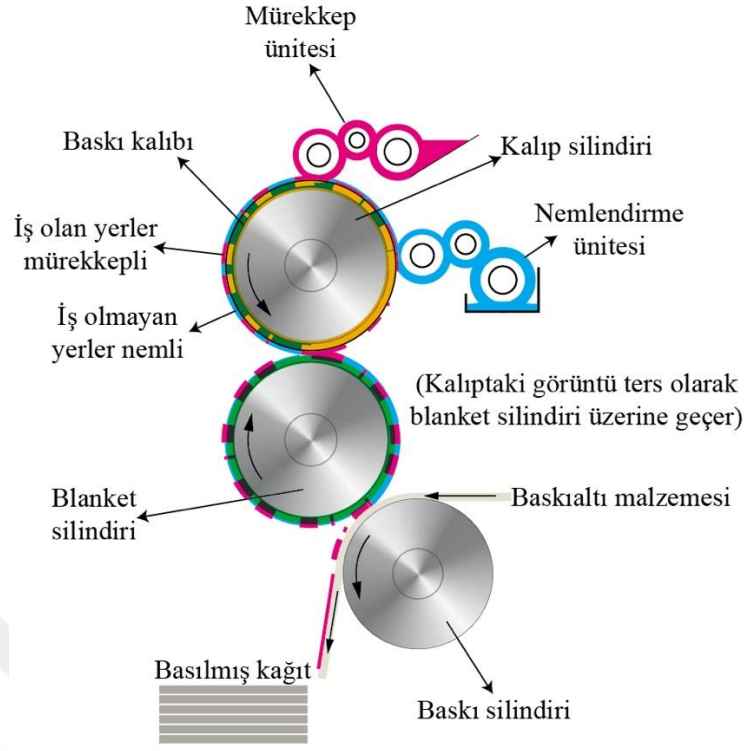
Tifdruk baskı ve elektronik cihazlardaki katmanlar, silindirin tifdruk parametreleri, mürekkep özellikleri ve baskı parametreleri tarafından büyük ölçüde etkilenir. Tifdruk silindirindeki kazınmış hücrelerin deseni ve derinliği, nihai baskının şeklini ve kalınlığını büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle, kalem açısı, ekran açısı, derinlik, genişlik ve hücre yoğunluğu gibi tifdruk parametreleri, silindir tasarımını en iyi şekilde yapmak için değiştirilebilir ve bunun tersi de geçerlidir. Baskı kalitesi, mürekkep reolojisine, baskı silindirinin basıncına bağlı olduğundan, mürekkebin yüzey geriliminin en üst düzeye çıkarılması çok önemlidir [16].

2.10.3. Ofset Baskı Sistemi

Ofset baskı sistemi, temelde taş baskı (litografi) sisteminden gelmektedir. Kalıpta görüntü olan ve olmayan alanlar arasında yükseklik farkı yoktur ve “düz baskı sistemi” olarak bilinir. Sistemin yöntemi, yağ bazlı mürekkebin suyla karıştırılması ile istenen görsel baskıaltı malzemesine aktarmaktır. Bu baskı türünün en bilinenleri, çikolata ve şekerlemeler için çok renkli kâğıdın yanı sıra katlanır kullanılan karton ambalaj kutularıdır. Bu, etiketleri basmak için kullanılabilir.

Nemlendirme suyu bulunan nemlendirme merdaneleri, baskı aşamasında kalıba ilk temas ettirilir. Nemlendirme suyu, grenli kalıp yüzeyleri ıslatır. Diğer emülsiyonlu yüzeyler kuru kalmaya devam eder. Daha sonra mürekkep merdaneleri baskı kalıbının üzerine yerleştirilir. Bu durumda, mürekkep, yapısındaki yağ nedeniyle ıslak yüzeylere tutunamaz.

Bunun yerine emülsiyonlu yüzeyler kuru baskıyı sağlamaktadır. Kalıp üzerindeki görsel, kalıp ile blanketin teması yoluyla blankete aktarılır. Blanket üzerinde oluşan görüntü, kalıp üzerinde olan görüntüden terstir. Görüntü, blanket ile baskı silindiri arasındaki basınç sayesinde aradan geçen baskıaltı malzemesinin üzerine düz bir şekilde aktarılır. Çıkan malzemeler istif bölümüne taşıyıcı makaslar tarafından taşınır.



Şekil 3. Ofset Baskı Şeması

2.10.3.1. Ofset Baskı Mürekkepleri

Mürekkebin viskozitesi, fizikokimyasal özellikleri, ofset baskı işleminde sınırlı bir aralıkta belirtilir. Ofset baskı uygulamalarında yüksek katı yağ içeriğine sahip hamur mürekkepleri tercih edilmektedir. Bu mürekkeplerin viskozite aralığı 40-150 Pa arasında değişmekte olup, katı madde ve yağ oranları %30 ile %50 arasında bulunmaktadır [28].

2.11. Baskı Alt Yüzey (Substrat) Türlerine Göre Basılabilirlik

Farklı basılı elektronik cihazlar için çeşitli özellikler gereklidir. Bunlar hafiflik, düşük yüzey pürüzlülüğü, yüksek ışık geçirgenliği, düşük termal genleşme, sertlik, ısı direnci, düşük maliyet ve düşük kalınlıktır. Alt tabakanın yüzey pürüzlülüğü ve gözenekliliği, baskı kalitesini etkiler.

Baskı sırasında ve sonrasında alt tabaka ile mürekkep arasındaki etkileşim, baskı kalitesini önemli ölçüde etkiler. Mürekkep-alt tabaka etkileşimleri, mürekkep parçacıklarının alt tabaka üzerinde birleşmesine ek olarak damla etkisi, yayılma, ıslanma, çözücü buharlaşma hızı ve penetrasyonu içerir. Mürekkep ile alt tabaka arasında üç aşama vardır. Mürekkep damlaları alt tabaka üzerinde hareket eder, ıslanır ve yayılır ve son olarak alt tabaka ve çevre ile dengelenir. Çevre koşulları ve mürekkebin ve alt tabakanın özellikleri bu etkileşim sürecini önemli ölçüde etkiler.

2.11.1. PE, PP, PET, OPP Film Yüzeylerde Basılabilirlik

PE poliolefin filmleri, PP'den daha düşük yüzey enerjisine sahiptir (28-31 mN/m) ve genellikle yüzey işlemi gerektirir. Plastik film yüzeylere solvent bazlı mürekkep basmak için gerekli koşullar şunlardır:

- **Yüzey Gerilimi:** 22-28 mN/m (yüzey enerjisinden düşük)
- **Viskozite:** Düşük-orta (gravür ve fleksografi için)
- **Adezyon Kuvveti:** Yüzey işlemine bağlı olarak %70-100 (bant testi)
- **Pigment Konsantrasyonu:** Orta (%12-18, filmin şeffaflığına göre)

Korona veya plazma işlemi görmüş polietilen filmlerin yüzey enerjisi 38-42 mN/m'ye çıkar ve çözücü bazlı mürekkeplerle daha iyi adezyon sağlar.

PP malzemeler tek yönde gerdirilerek aşağıdaki türleri oluşturur;

- Pilen Filmler: Bu sınıfta herhangi bir kaplama yoktur ve ısı yapışma özelliği yoktur.
- PVdC kaplanmış tip: Isıyla temas edebilir. Bununla birlikte, ısı yapışma aralığı sınırlıdır. Gaz geçirmezliği iyidir.
- Koextrüzyon: Filmin her iki tarafı da farklı bir kopolimerle kaplanabilir.

Polipropilen ve polietilen yüzeylere, yüzey gerilimleri yüksek olduğundan, adhezyonu yüksek poliamid reçineler kullanılır. Tablo 9, PE ve PP yüzeyler için tipik alkol çözünürlüklü PA mürekkep formülasyonunda hammadde kullanım oranlarını göstermektedir [28].

Organic Pigment	12.0
Alkol çözünlürlüklü PA resin	22.0
Nitroselüloz (Kuru madde)	4.0
Etanol	29.0
n-propil alkol	18.0
n-propil asetat	10.0
Polietilen wax	4.0
Fatty asit amid	1.0

Tablo 9. PA Mürekkep Formülasyonu

2.11.1.1. PETG

PETG %80'e kadar düşürülebilir ve alt tabaka çevre dostudur. PETG'nin basılabilir yüzey ve yüksek sertlik gibi birçok avantajı vardır. Diğer alt tabakalara göre PETG daha düşük sıcaklıkta büzülme gösterir [37].

2.11.1.2. OPP

OPP düşük maliyetli bir seçenektir, ancak yalnızca yüzde 25'lik bir düşük büzülme kapasitesi sunar. Büyük markalar, daha uzun baskı süreleri isteyenler tıfdruck kullanırlar. Şekil olarak daha az zorlu olan kaplar, OPP'nin kullanılmasına izin vermez. OPP filmi düşük büzülebilirliği nedeniyle sadece sarmalı büzülme etiketler için kullanılır.

2.11.2. Özel Film Yüzeylerde Basılabilirlik (PA, PVC)

PA ve PVC gibi daha polar film yüzeyleri tipik olarak mürekkep ile daha iyi temas eder. PVC filmler için solvent uyumluluğu çok önemlidir çünkü agresif solventler film üzerinde etkiye sahip olabilir. PVC, shrink için kullanılan en yaygın baskıaltı malzemedir ve pazarın %75'ini kontrol eder. Bu, daha düşük maliyetleri ve yüksek büzülebilirliği nedeniyle ilgi çekici bir seçenektir. Bununla birlikte, diğer PVC'nin özelliklerine benzer özelliklere sahip alt tabakalar da çok önemlidir. PVC, düşük maliyetlidir, iyi baskı yapılabilir bir yüzeye sahiptir, düşük çekme kuvvetine sahiptir ve yavaş büzülme eğrisine sahiptir. Büzülme oranı bir

dezavantaj olarak düşünülebilir çünkü PVC %64'e kadar küçülebilse bile diğer alt tabakalar daha yüksek oranlar elde edebilir. İnsanlar arasında onaylanmaması, PVC'nin en büyük dezavantajıdır [37].

Polivinilidenklorür (PVdC) polimeri, üretimi ve işlenmesi zor olan, ayrıca ısıya karşı dayanımı sınırlı bir malzemedir; benzer özellikler poli(vinil klorür) (PVC), poliamid filmler ve diğer bazı polimerlerde de görülmektedir. PVdC sentezinde, etilen öncelikle triklor etan ile klorlanmakta, ardından hidroklorik asit ayrılması gerçekleşmektedir. PVdC, su buharı, gazlar, özellikle yağ, oksijen ve kokuya karşı oldukça düşük geçirgenlik göstermektedir. En sık karşılaşılan uygulama yöntemi, çeşitli plastik filmlerin, kâğıt ve kartonların PVdC lak ile kaplanmasıdır. Bu sayede düşük geçirgenlik özelliklerine sahip esnek ambalajlar, poşetler ve çeşitli ambalaj ile sarma malzemeleri üretilmektedir. PVC ise, vinil klorür monomerinin (VCM) basınçlı kaplarda çeşitli katkı maddeleri eşliğinde polimerize edilmesiyle elde edilmektedir. Gıda sektöründe kullanılan PVC folyolar, sertlik düzeylerine göre çeşitlendirilmiş olup, yaklaşık 50 µm kalınlığındaki sert PVC folyolar özellikle çikolata ve bisküvi ambalajlarında tercih edilmektedir. Plastik içeren PVC film kalınlıkları ise genellikle 10–20 µm arasında değişmektedir.

Poliamidler, molekül yapısında amid grubu içeren, yüksek moleküler ağırlığa sahip lineer polimerlerdir. Bu polimerler, endüstride yaygın olarak “nylon” adıyla bilinmektedir. Poliamidler, bir alifatik dikarboksilli asit ile bir alifatik diamidden veya aminokarbonik asitlerin veya onların fonksiyonel türevlerinin polikondenzasyonu ile üretilirler. Çok sert ve dayanıklı olmalarına rağmen, yağ, asit ve alkalilere dayanabilirler. Fenol, m-kresol ve derişik sülfürik asit çözünürler ve ısıl yapışma sıcaklığı 180 °C civarındadır. BOPA, nylon 6.6 ile iki yönlü gerdirilmiş filmlerden oluşur. Bu yüzeyler baskı altındadır.

2.11.3. Selüloz Yapılı Baskıaltı Yüzeyleri

Birinci odun selülozu ve ikinci atık kâğıt elyafları, gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kâğıt bazlı ambalaj malzemelerinin ana hammaddeleridir. Birincisi, saman, odun ve diğer bitki elyaflarıdır. Diğer de kırpıntı kâğıdı, linter (kısa lifli çok düşük kaliteli pamuk) ve atık kâğıdı kabul edilir. Su bazlı mürekkeplerin kâğıt ve karton yüzeylere uygulanma süreci, reçinenin su ortamında disperse edilmesiyle başlamaktadır. Doğal reçineler suda çözünür özellik göstermelerine rağmen, baskı işlemi sonrasında çözünmez olmaları gereklidir. Bu nedenle, uygun bir reçine öncelikle alkali bir çözücü ile çözülür ve ardından su içerisinde

dağıtılarak kullanıma hazır hâle getirilir. Tablo 10, kâğıt ve karton yüzeylerde su bazlı mürekkep kullanımını göstermektedir [28].

Lithol red pigment (C.I. Pigment Red 49)	18.0
Akrilik/alkali sulu vernik	60.0
Polietilen wax bileşeni	4.0
Isopropil alkol	4.0
Su	13.9
Silikon bazlı köpük kesici	0.1

Tablo 10. Selüloz Yapılı Malzemeler İçin Standart Su Bazlı Mürekkep Formülasyonu

Phthalocyanine Blue (CI Pigment Blue 15:3)	14.0
Titanium dioksit (CI Pigment White 6)	6.0
Maleik/ketonik reçine verniği	16.0
Nitroselüloz vernik	38.0
Wax bileşeni	4.0
Plastikleştirici	4.0
Ethanol	11.0
Isopropilalkol	7.00

Tablo 11. Selüloz Yapılı Yüzeyler İçin Standart Solvent Bazlı Mürekkep Formülasyonu

2.11.4. Film Yüzeyler

Alüminyum folyoların kalınlığı çoğu 7–20 µm arasında değişirken, kullanılan alüminyum bantların kalınlığı 21–350 µm arasındadır. Özellikle folyolar için kalınlık 7–12 µm kalınlık önemlidir. 40 µm’den daha ince kalınlığa sahip alüminyum folyoların bir yüzeyi mat, diğer yüzeyi ise parlakken; 40 µm’den daha kalın folyoların her iki yüzeyi parlak özellik gösterir. Metalize filmler, plastik filmler üzerine vakum altında püskürtülen alüminyum metalinden oluşur. Ambalaj malzemelerinin nem, gaz ve ışık geçirgenliği gibi bariyer özelliklerini iyileştirmek ve malzemenin dayanıklılığını artırmak için metalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Metalize polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polietilen tereftalat (PET) filmleri, gıda sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Metalize film ve alüminyum folyo yüzeylerinde genellikle flekso baskı sistemi ile solvent bazlı mürekkep kullanımı yaygındır. Bu tür metalize yüzeylere uygulanan mürekkebin, yapışma zorluğunu aşabilmesi için yüksek yapışma gücüne ve esnekliğe sahip olması gerekmektedir [19].

Nitroseluloz pigment chip (60 % pigment)	20.0
Maleik veya ketonik vernik	10.0
Alkol çözünürlüklü Poliamid reçine	4.0
Nitroseluloz vernik	10.0
Mikronize Polietilen Vaks	0.5
Plastikleştirici	3.0
n-propilalkol	20.0
Etanol	22.5
n-propilasetat	10.0

Tablo 12. Film Yüzeyler İçin Standart Solvent Bazlı Mürekkep Formülasyonu

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler

Solvent bazlı mürekkep üretimi için;

- Hedef yüzey: PET + Alüminyum laminasyonlu yapı.
- Bağlayıcı: Nitro Selüloz (%8)
- Pigment: P.Y. 13 (%7)
- Çözücü: Etanol, Etilasetat, IPA (karışım oranı %60 / %20 / %20)
- Katkılar: Dispersiyon ajanı, antifoam, wax, reoloji dengeleyici

Su bazlı mürekkep püskürtmeli inkjet sistemler mürekkep üretimi için;

- Renklendirici olarak Sumifix Supra Red 3 BF boyar madde
- pH düzenleyici olarak tampon
- Köpük önleyici BYK 024,
- Viskoziteyi kontrol etmek için yüzey aktif madde Tergitol,
- Damıtılmış su,
- Çözücü olarak hidroksietil selüloz (HEC) kullanılmıştır.

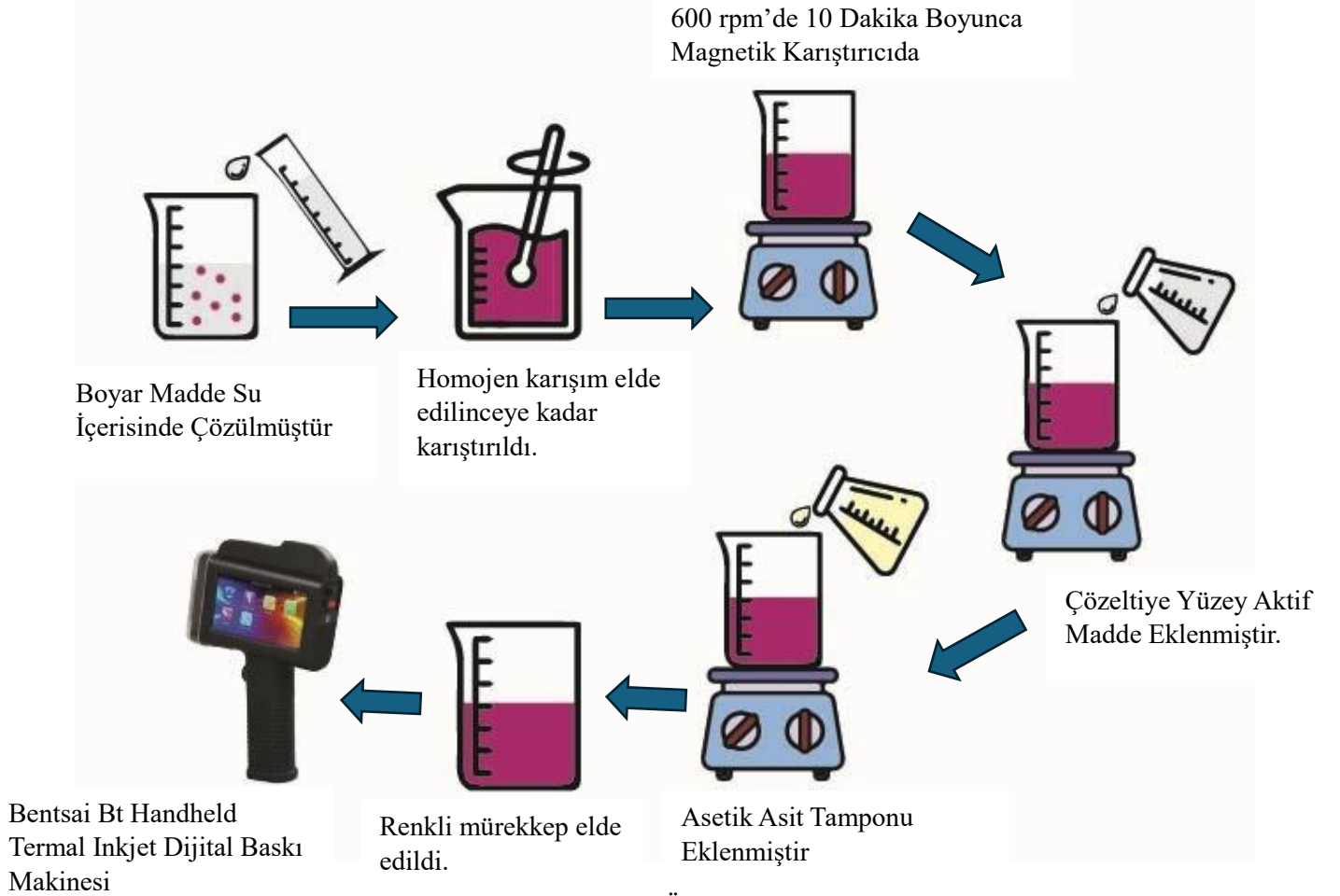
Yüzey aktif madde, boyar madde ve tampon Sigma-Aldrich'ten (Almanya) satın alınmıştır. Diğer malzemeler yerel tedarikçi firmalardan temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

Solvent bazlı mürekkep için, tüm hammaddeler hassas terazi ile tartılmıştır. Pigment ve bağlayıcılar yüksek hızlı dispersiyon altında karıştırılmıştır (1500 rpm / 30 dk). Solvent ve katkıları düşük hızda ilave edilerek homojenizasyon sağlanmıştır. Hedef viskozite dın cup ölçümü yöntemi ile oda sıcaklığında 25-30 saniyedir. IPA oranı artırılarak viskozite 28 sec seviyesine düşürülmüştür.

Su bazlı mürekkep üretimi için ilk aşamada boyar madde su içerisinde çözülmüştür ve ardından boyar maddenin stabilizasyonunu sağlamak ve çökelmenin önlenmesi amacıyla çözeltiye yüzey aktif madde eklenmiştir. Elde edilen çözeltinin homojenizasyonu 600 rpm'de 10 dakika boyunca magnetik karıştırıcıda karıştırılarak sağlanmıştır. Hazırlanan mürekkepte oluşan köpüğü yok etmek için formülasyona birkaç damla BYK 024 köpük önleyici madde

eklenmiştir. Üretilen su bazlı mürekkebin akışkanlığı viskozimetre ve yüzey gerilimi bir yüzey gerilim ölçer ile ölçülmüş ve gerekli eklemeler yapılmıştır. Mürekkep üretim şeması Şekil 4 'de verilmiştir.



Şekil 4. Mürekkep Üretim Şeması

Üretilen mürekkeplerin temel formülasyonları Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca, üretilen mürekkeplerin boyutlarında sıcaklığa ve zamana bağlı olarak genleşme olup olmadığı bir dilatometre ile izlendi. Elde edilen mürekkeplerin uzun süreli stabilizasyonu 72 saat boyunca görsel olarak incelendi.

İçerikler	Oran (%)		
	F1	F2	F3
Su	91.5	94	95.5
Yüzey aktif madde	3	3	3
Boyar madde	5	2,5	1
pH düzenleyici tampon	0.5	0,5	0,5
Toplam	100	100	100

Tablo 2. Su bazlı mürekkep formülasyonları



Şekil 5. Mürekkep Hazırlanma Aşamaları

Her formülasyon oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiş, ardından 72 saatlik stabilite testine tabi tutulmuştur.



Şekil 6. Mürekkep Stabilizasyon Çalışmaları

Bu çalışmada formüle edilen mürekkeplerin yüzey parlaklık özellikleri, ISO 2813:2014 standardına uygun olarak değerlendirilmiştir. Parlaklık ölçümleri, BYK-Gardner GmbH firmasına ait, 60° ölçüm geometrisine sahip micro-TRI-gloss marka parlaklık ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, her bir baskı örneğinden üç farklı noktadan alınmış olup, bu ölçümlerin aritmetik ortalaması kullanılarak temsili parlaklık değerleri elde edilmiştir. Bu sayede, mürekkep formülasyonlarının yüzey parlaklığı üzerindeki etkileri nesnel biçimde analiz edilmiştir.

Bunun yanı sıra, mürekkeplerin baskı yüzeylerindeki renk dayanımı, özellikle zamana bağlı renk stabilitesinin değerlendirilmesi amacıyla ışık haslığı testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testler, baskıların uzun vadeli renk kalıcılığını değerlendirmek ve çevresel etkenlere (özellikle UV ışınımına) karşı direncini ortaya koymak amacıyla uygulanmıştır. Test prosedürü kapsamında, zemine uygulanan baskılar mavi yün skalası referans alınarak, UV ışık kaynağı içeren bir ışık kabini içinde 192 saat maruz bırakılmıştır. Işık maruziyeti öncesi ve sonrası elde edilen CIEL*a*b* renk ölçüm değerleri, X-Rite eXact spektrofotometresi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, baskılarda meydana gelen renk değişimleri BS 1006-B02 (eski adıyla BS 4321) standardına göre değerlendirilmiş ve her bir örneğin ışık haslığı sınıfı tespit edilmiştir. Bu analizler aracılığıyla, mürekkeplerin fotokimyasal stabilitesi ve renk dayanımı nicel olarak ortaya konmuştur.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen baskı işlemleri, 80 g/m² gramajında, ticari olarak temin edilen ofis tipi kâğıtlar üzerine uygulanmıştır. Baskılarda, su bazlı mürekkep kullanan Bentsai marka BT-HH6105B2 model termal inkjet dijital yazıcıdan yararlanılmıştır. Kullanılan

kâğıtların fiziksel ve teknik özellikleri, ayrıntılı olarak Tablo 2’de sunulmaktadır. Baskı işlemi sonrasında, elde edilen örneklerin renk ölçüm analizleri gerçekleştirilmiştir.

Özellik	Standart	Baz kâğıt
Gramaj (g/m ²)	ISO 536	80
Kalınlık (µm)	TAPPI T411	188
Beyazlık (D65/10) (%)	ASTM E313	95
Parlaklık (75°)	ISO 8254-1 Part-1	5.8
Sarıklık	ASTM E313	0.06

Tablo 13. Test Çalışmasında Kullanılan Kağıtların Teknik Özellikleri



Şekil 7. Bentsai Bt Handheld Termal Inkjet Dijital Baskı Makinesi

Numunelerin renk özelliklerinin belirlenmesinde, spektral ölçüm tekniklerine dayanan X-Rite eXact marka spektrofotometre kullanılmıştır. Ölçümler, ISO 13655:2017 standardı çerçevesinde, CIE 2000 (L*a*b*) renk uzayı parametreleri (CIEL*a*b*) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, her bir numuneden beş ayrı noktadan ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin aritmetik ortalaması kullanılarak temsil edici renk değerleri elde edilmiştir.

Farklı baskı örnekleri arasında gözlemlenen renk farklarının nicel olarak değerlendirilmesinde, insan gözünün renk algısına daha yakın sonuçlar veren CIEDE2000 (ΔE_{00}) renk farkı formülü esas alınmıştır. İlgili hesaplamalar, ISO 11664-6:2014 standardı doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup, renk farkı analizleri aracılığıyla baskıların renk tutarlılığı ve yeniden üretim doğruluğu değerlendirilmiştir.

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2} + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H} \quad (1)$$

Mürekkep ile baskı altı malzemesi arasındaki fiziksel etkileşimi değerlendirmek amacıyla yapışma testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde, endüstride yaygın olarak kullanılan Tesa marka yapışkan bant kullanılmıştır. Test prosedürü, ASTM D3359 standardı referans alınarak uygulanmıştır. Belirli boyutlarda (yaklaşık 5 cm uzunluğunda) kesilen yapışkan bant, mürekkep uygulaması yapılmış yüzeye düzgün bir şekilde yapıştırılmış ve ardından yaklaşık 90° açıyla, tek hamlede ve hızlı bir şekilde yüzeyden çekilmiştir. Bandın yüzeyle temas eden kısmı daha sonra beyaz bir kâğıda yapıştırılmış ve hem görünür ışık hem de UV ışık altında görsel olarak incelenmiştir. Bu uygulama her bir numune için üç kez tekrarlanmış ve baskı yüzeyinden ayrılan mürekkep miktarına göre yapışma performansı değerlendirilmiştir. Böylece mürekkebin yüzeye aderansı niteliksel olarak analiz edilmiştir.

Ayrıca, baskılı yüzeylerin fiziksel dayanıklılığını belirlemek amacıyla sürtünme direnci testleri uygulanmıştır. Bu testlerde, ASTM D5264 standardına uygun olarak, mürekkebin kâğıt yüzeyine mekanik olarak ne derece tutunduğu ve sürtünmeye karşı gösterdiği direnç incelenmiştir. Test öncesinde baskıların tamamen kuruması için numuneler oda koşullarında 48 saat bekletilmiştir. Kuruma süreci tamamlandıktan sonra testler, Sutherland Ink Rub Tester (San Antonio, Texas, ABD) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test parametreleri, 920 g ağırlığında yük ve 30 döngü (salınım) olacak şekilde belirlenmiştir. Test sonucunda elde edilen numuneler hem görsel inceleme hem de UV ışık altında gözlemlenerek sürtünme kaynaklı mürekkep kayıpları değerlendirilmiştir. Bu sayede, baskı dayanıklılığı ve mürekkep performansı açısından yüzey-mürekkep etkileşimi çok yönlü olarak analiz edilmiştir.

Baskı sonrası mürekkebin yüzeyde kuruma süresinin belirlenmesi amacıyla, tanımlanan yöntem esas alınarak deneysel prosedür geliştirilmiştir. Bu yöntemde, test baskıları için hazırlanan numuneler üzerine düz (katı) ton baskı uygulanmıştır. Ardından, bu yüzey ile aynı ebatlarda temiz bir kâğıt tabakası, yaklaşık 350 N'luk basınç altında, iki silindir arasından geçirilerek baskı yüzeyiyle temas ettirilmiştir. Temiz kâğıda geçen mürekkep miktarı, baskı yüzeyindeki mürekkebin kuruma durumunun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Transfer işlemi tamamlandıktan sonra, temiz kâğıt hem görünür ışık hem de UV ışığı altında incelenmiştir. Mürekkep transferi tamamen sona erdiği an, ilgili baskı yüzeyinde “tam kuruma” durumunun gerçekleştiği zaman noktası olarak kabul edilmiştir.

Bu yöntemle belirlenen tam kuruma süresi, mürekkep ve baskı altı malzemesi arasındaki fiziksel ve kimyasal etkileşimi değerlendirmek açısından önem arz etmektedir. Aynı zamanda, uygulamada mürekkebin çalışma süresi, işlem güvenliği ve sonraki işlemlere (örneğin laminasyon, ciltleme vb.) geçiş zamanlaması açısından da anlamlı sonuçlar sunmaktadır.

Baskı sonrası yüzeyde kalan kuru mürekkep miktarının belirlenebilmesi amacıyla kuru film ağırlığı hesaplamaları yapılmıştır. Bu ölçümler için aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

1. Öncelikle, baskı işlemi uygulanmamış temiz bir kâğıt numunesi hassas terazi ile tartılarak ilk ağırlık değeri (T_1) belirlenmiştir.
2. Ardından, aynı kâğıt yüzeyine 100 cm² alana karşılık gelecek şekilde düz (katı) ton baskı uygulanmıştır.
3. Baskı işlemi sonrası numune tekrar tartılmış ve elde edilen yeni ağırlık değeri (T_2) kaydedilmiştir.
4. Elde edilen ağırlık farkı ($T_2 - T_1$), numune üzerinde kalan kuru film mürekkep ağırlığı olarak kabul edilmiştir.

Bu hesaplama, mürekkebin kâğıt yüzeyine ne düzeyde transfer olduğunu ve solvent/materyal kaybı sonrası yüzeyde kalan aktif film miktarını değerlendirmek için kullanılmıştır. Böylelikle, farklı mürekkep formülasyonlarının yüzeyde bıraktığı film kalınlığı dolaylı olarak karşılaştırılabilir hâle gelmiştir.

Üretilen mürekkeplerin kimyasal direnç özelliklerini belirlemek amacıyla, QB 568-1983 standardı esas alınarak asit, alkali ve nitro çözeltiye karşı dayanıklılık testleri uygulanmıştır. Her testte, baskılı numuneler ilgili kimyasal çözeltilere belirli sürelerle maruz bırakılmış; ardından renk, film bütünlüğü ve yapışma özelliklerindeki değişimler görsel olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 11. %1 lik mürekkep 24 saat sonra - **Şekil 12.** %2,5 lik mürekkep 24 saat sonra



Şekil 13. %2,5 lik mürekkep 24 saat sonra - **Şekil 14.** %5 lik mürekkep 24 saat sonra



Şekil 15. %5 lik mürekkep 24 saat sonra - **Şekil 16.** %1 lik mürekkep 72 saat sonra



Şekil 17. %1 lik mürekkep 72 saat sonra - **Şekil 18.** %2,5 luk mürekkep 72 saat sonra



Şekil 19. %2,5 luk mürekkep 72 saat sonra - **Şekil 20.** %5 lik mürekkep 72 saat sonra



Şekil 21. %5 lik mürekkep 72 saat sonra

4. SONUÇLAR

Solvent bazlı mürekkep için;

- **Yapışma testi (tape test):** %50 üzeri mürekkep kalkması gözlemlenmiştir.
- **Kuruma süresi:** Optimum hedef <8 sn ike 12 sn üzerinde ölçülmüştür.
- **Reoloji testi:** Uzun süre beklemede çökelme oluşmuştur.

Sebepleri;

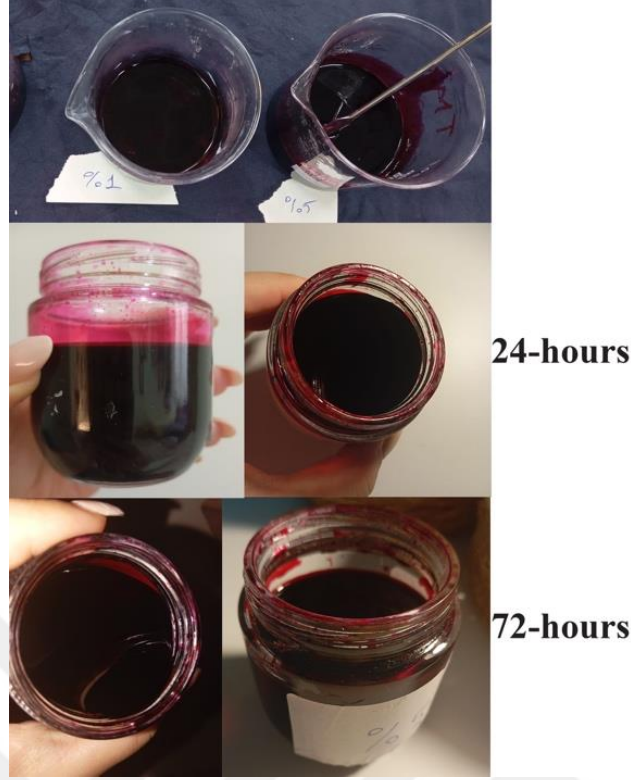
- Çözücü oranlarının uygun dağılma koşullarını sağlamaması (özellikle IPA nın yüksek kalması)
- Pigmentin yeterince ön-ıslatılmadan dispersiyona alınması
- Bağlayıcı oranının yüzeye yapışma için yetersiz kalması
- Yanlış solvent seçimi

Su bazlı mürekkep için;

Planlanan formülasyonlara göre mürekkepler başarı ile hazırlanmıştır. Mürekkep hazırlanması aşamasında herhangi bir sorun ile karşılaşılmamıştır. Üretilen mürekkeplerin zamana bağlı stabilizasyon davranışları incelenmiş sonuçlar şekil 10-21 ve tablo 3'te verilmiştir.

Mürekkep Oranı (%)	24 Saatte Gözlem	72 Saatte Gözlem
%1	Homojen	Stabil
%2,5	Homojen	Stabil
%5	Homojen	Hafif çökelme

Tablo 14. Mürekkep Stabilizasyonunun İncelenmesi



Şekil 8. Hazırlanan Mürekkeplerin 72 Saate Kadar Stabilizasyonunun Görsel Kontrolü

Şekil 1-21 ve tablo incelendiğinde vernik içerisine eklenen %1’lik boyarmaddenin yirmi dört ve yetmiş iki saatte herhangi bir çökmeye uğramadığı belirlenmiştir. Bu da bu mürekkebin kartuşa doldurulduktan sonra kullanım ömrü boyunca homojen bir şekilde askıda kalacağını ve mürekkebin görevini sağlıklı bir şekilde yerine getireceğini bize bildirmektedir. %2,5 oranında boyarmadde içeren mürekkebin de aynı özellikte olduğu gözlemlenmiştir. Ancak %5 boyarmadde içeren mürekkep incelendiğinde ilk bir gün herhangi bir çökme olmaksızın homojen mürekkebe sahip olsak da zamanla mürekkep, içerisindeki boyar maddeler birbiri ile etkileşime girerek aglomerasyona uğradığı ve mürekkepte çökmelerin başladığı belirlenmiştir. Buda %5’lik mürekkebin son kullanıcının kartuşunda çökebileceği böylelikle kullanımının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu boyarmadde ile hazırlanan inkjet mürekkebinin maksimum boyar madde miktarının %2,5 olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Üretilen mürekkeplerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiş ve tablo 15’te verilmiştir.

Özellik	Dijital baskı
Viskozite	9–11 cPs. (25°C)
Tack	0.3
Su -Mürekkep emülsiyonu	Çözünme var
Kuruma zamanı	6-9 saniye
Işık haslığı	7
Sürtünme dayanımı	1 (çok iyi)
Adezyon	5 (çok iyi)
Çizilme dayanımı	5 (çok iyi)
Nitro dayanımı	Var
Selofan uygunluk	Uygun
Top vernik Uygunluk	Uygun

Mürekkep üstüne uygulanabilirlik	Uygulanabilir
Renk	Kırmızı
Parlaklık	Çok yüksek (16.2)
Tat	Düşük
Koku	Spesifik Düşük
Gıda Teması	Uygun değil
Alkol Dayanımı	Var

Sabun (Alkali) Dayanımı	Var
Asit Dayanımı	Var
Temizleme	Su
Kuru film ağırlığı	2.5 g /m ²
Katı madde içeriği	%30-%60

Tablo 15. Üretilen Mürekkebe Ait Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Reolojik Özellikler

Bu çalışmada geliştirilen mürekkebin çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri değerlendirilmiş ve endüstriyel baskı uygulamalarına uygunluğu kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Yapılan reolojik ve fizikokimyasal analizler sonucunda, üretilen mürekkebin ideal viskozite aralığının 25°C’de 9–11 centipoise (cPs) olduğu belirlenmiştir. Bu viskozite aralığı, mürekkebin baskı sistemlerinde optimum akışkanlık göstermesi ve baskı kalitesinin korunması açısından önem taşımaktadır. Akış davranışının kontrol altında tutulması, özellikle yüksek hızda çalışan baskı makinelerinde düzgün bir mürekkep transferi için kritik rol oynamaktadır. Mürekkebin yüzey gerilimi, bu viskozite aralığında 30–31 dyn/cm (yaklaşık 30–31 mN/m) olarak ölçülmüştür. Yüzey geriliminin baskı yüzeyine uygun aralıkta olması, mürekkebin yüzeye yayılmasını ve tutunmasını kolaylaştırmaktadır. Yapılan ayarlamalar sonucunda, yüzey gerilimi 3 damla BYK 348 katkı maddesi kullanılarak 31 mN/m seviyesine optimize edilmiştir.

BYK 348, yüzey aktif bir madde olarak mürekkep formülasyonunda dengeleyici bir rol oynamış ve baskı kalitesini olumsuz etkilemeden ideal yayılımın sağlanmasına katkı sunmuştur. Bu değer, konvansiyonel inkjet baskı mürekkeplerinin viskozite aralığıyla uyumlu olup, mürekkebin baskı sistemine uygun bir akışkanlık sergilediğini göstermektedir. Bu bağlamda, mürekkebin baskı sırasında düzgün yayılma, transfer ve kontrollü kuruma gibi parametreleri sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, mürekkebin sıcaklık ve zaman değişimlerine karşı yapısal stabilitesini değerlendirmek amacıyla dilatometre ile genleşme testi yapılmıştır. Bu test kapsamında mürekkep, belirli sıcaklık artışlarına ve süreye tabi tutularak termal genleşme davranışı gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, mürekkepte sıcaklığa bağlı herhangi bir hacimsel genleşme gözlemlenmemiştir. Bu durum, mürekkebin yüksek sıcaklık altında dahi

fiziksel bütünlüğünü koruduğunu ve baskı sırasında ölçüsel stabilite sağladığını ortaya koymaktadır.

Mürekkebin kâğıt yüzeyine tutunma gücünü ifade eden tack değeri, uygulanan testler sonucu oldukça düşüktür. Buda beklenen bir sonuçtur. Inkjet baskı teknolojilerinde kullanılan mürekkeplerin formülasyonları, geleneksel baskı tekniklerinde kullanılan mürekkeplerden oldukça farklıdır. Özellikle ofset baskı sistemlerinde önemli bir parametre olan “tack” (yapışkanlık), inkjet mürekkeplerinde neredeyse hiçbir şekilde dikkate alınmaz. Bunun temel nedeni, inkjet teknolojisinin çalışma prensibinden kaynaklanmaktadır. Ofset baskıda mürekkep bir blanket aracılığıyla mekanik olarak kâğıt yüzeyine aktarılırken, inkjet sisteminde mürekkep, ısı, basınç veya piezoelektrik yöntemlerle doğrudan baskı yüzeyine mikroskobik damlacıklar şeklinde püskürtülür. Bu durumda mürekkep ile yüzey arasındaki yapışkanlık kuvvetinin, yani tack değerinin bir anlamı kalmamaktadır. Inkjet mürekkeplerinin düşük viskozite, mürekkebin püskürtme kafasından düzgün bir şekilde çıkmasını ve yüzeye hassas biçimde uygulanmasını sağlar. Mürekkep, substrat (baskı altı malzemesi) ile fiziksel olarak temas ettirilmediğinden, yapışkanlık gerektiren bir transfer süreci söz konusu değildir. Bu nedenle, inkjet mürekkeplerin tack değeri ölçülmez ve literatürde de bu parametreye ilişkin herhangi bir standart değer aralığı bulunmaz. Mürekkebin kuruma süresi 6-9 saniye olarak belirlenmiştir. Belirlenen aralık, mürekkebin baskı altı malzemesi ile etkili bir şekilde temas ettiğini, ancak baskı hızının çok yüksek olduğu durumlarda veya altta farklı katmanların bulunduğu uygulamalarda (örneğin, emici olmayan yüzeyler) mürekkebin tam kuruması sağlandıktan sonra mürekkebi ya da farklı katmanların uygulanmasının önerilebileceğini göstermektedir.

Yapılan testler sonucunda mürekkebin su ile karıştığı, dolayısıyla hidrofilik özellik gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, özellikle inkjet baskı tekniklerinde, su ile temas eden baskılarda dikkat edilmesi gerektiğini bize kanıtlamaktadır. Baskının su dayanımının olmadığını bize göstermektedir.

Üretilen mürekkebin baskı yüzeyinde gerçekleştirdiği kuruma süresi yaklaşık 6-9 saniye olarak ölçülmüştür. Bu sürede mürekkebin %90 oranında kuruduğu saptanmıştır. Bu hızlı kuruma davranışı, arka verme (set-off) probleminin önüne geçilmesini sağladığı gibi, mürekkebin çift taraflı baskı uygulamalarında da etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Baskıların ışık haslığı özellikleri değerlendirilmiş ve mürekkebin 7. sınıf ışık haslığına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sınıf, baskının yaklaşık 2 yıl boyunca gün ışığına maruz kalması durumunda dahi önemli bir solma yaşanmadığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, ürün uzun süreli dış ortam maruziyetlerinde dahi görsel bütünlüğünü koruma potansiyeline sahiptir.

Mekanik dayanım özellikleri açısından yapılan testlerde, baskıların yüksek düzeyde sürtünme direnci gösterdiği ve mürekkebin baskı altı yüzeye çok iyi bir şekilde tutunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yüzeylerde çizilmelere karşı dirençli bir yapı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, ürünün fiziksel temaslara karşı uzun ömürlü performans göstereceğini ortaya koymaktadır.

Baskılar üzerinde selofan kaplama uygulanabilirliğini belirlemek amacıyla yapılan nitro dayanımı testi sonucunda, mürekkebin bu tip yüzey işlemleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Selofan ile mürekkep arasında herhangi bir kimyasal etkileşim ya da görsel bozulma tespit edilmemiştir. Ayrıca, baskı yüzeyine uygulanan vernik veya selofan kaplamaların, mürekkep içeriğindeki pigmentlerin geri yansıttığı ışık üzerinde herhangi bir negatif etkisinin bulunmadığı saptanmıştır. Bu durum, mürekkebin işlevselliğini koruduğunu göstermektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda üretilen mürekkebin parlaklık değeri yüksek bulunmuştur. Bu durum, mürekkebin taşıyıcı fazında yer alan sıvı bileşenlerin baskı yüzeyindeki mikro girinti ve çıkıntıları etkili biçimde doldurması ile ilişkilidir. Yüzey pürüzlülüğünün azalması, yansıyan ışığın daha düzgün dağılmasını sağlayarak baskıya yüksek bir parlaklık kazandırmıştır. Parlaklık, görsel algıyı olumlu yönde etkileyen önemli bir parametre olup, özellikle estetik ve ticari ambalaj uygulamaları için avantaj sağlamaktadır.

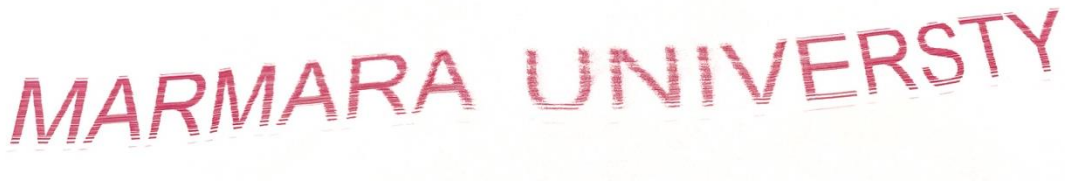
Baskı yüzeyleri, organoleptik değerlendirme yöntemi ile incelenmiş ve mürekkebin yaygın olarak fark edilen, belirgin bir kokusunun olmadığı saptanmıştır. Ancak, içeriğinde kullanılan boyar maddeler nedeniyle Avrupa Birliği gıda güvenliği düzenlemeleri (örneğin, EC No. 1935/2004) kapsamında yapılan ön değerlendirme, bu mürekkebin gıda ile doğrudan temas eden ambalaj malzemelerinde kullanımına uygun olmadığını göstermektedir. Bu bağlamda, mürekkebin yalnızca gıda dışı ambalaj ve endüstriyel uygulamalarda kullanılması önerilmektedir.

Üretilen mürekkebin kimyasal dayanıklılığı, alkol, sabun ve asit gibi farklı kimyasal ajanlarla test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, mürekkebin bu maddelere karşı yüksek düzeyde direnç gösterdiği belirlenmiştir. Bu özellik, özellikle dış etkilere maruz kalan ambalaj ve etiket

uygulamalarında mürekkebin uzun süreli stabilitesini artırmaktadır. Ayrıca, mürekkep formülasyonunun %30 ile %60 arasında değişen oranlarda katı madde içerdiği tespit edilmiştir. Bu oran, mürekkebin film oluşturan yapısının sağlamlığı ve kuruma sonrası yüzey dayanımı açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen su bazlı mürekkeplerin, endüstriyel dijital baskı koşullarındaki performanslarını değerlendirmek amacıyla Bentsai BT-HH6105B2 model termal inkjet dijital yazıcı ile baskı denemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan baskılar, cihazın teknik özellikleri doğrultusunda 11 volt gerilim, çift nozül (dual nozzle) kullanımı, 256 nokta (dot) yoğunluğu, 300 dpi (dots per inch) çözünürlük, 1 m/s hız ve 35° baskı açısı parametrelerinde uygulanmıştır. Bu parametreler, yazıcının mürekkebi substrat üzerine optimum düzeyde aktarabilmesi ve mürekkep yayılımının dengeli olması açısından dikkatle seçilmiştir.

Gerçekleştirilen baskı işleminde, üretilen mürekkebin yazıcı sistemine uygunluğu doğrulanmış ve baskı kalitesi bakımından tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Bu aşamada yazıcıdan alınan örnek baskılar üzerinden renk ölçüm analizleri gerçekleştirilmiş, renk verilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 9’da baskıya ait örnek görsel sunulmuştur.



Şekil 9. Hazırlanan Mürekkeple Baskı Örneği

Baskıların renk ölçümleri için kalibre edilmiş bir spektrofotometre kullanılarak CIEL*a*b* renk uzayı kapsamında analizler yapılmıştır. Elde edilen ortalama renk koordinatları şu şekilde belirlenmiştir:

L* (açıklık-değerliliği): 52

a* (kırmızı-yeşil ekseni): 54

b* (sarı-mavi ekseni): 7

Bu veriler ışığında, baskının oldukça doygun bir kırmızı ton içerdiği, mavi ve sarı bileşenlerinin ise daha düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. L^* değerinin 52 olması, mürekkebin tam siyah baskılara kıyasla bir miktar daha açık tonda olduğunu göstermektedir, ancak endüstriyel düzeyde baskı için kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.

Renk farklılığı analizi için CIE ΔE 2000 renk farkı (ΔE_{00}) formülü kullanılmıştır. Bu formül, insan gözünün renk farkını algılayış biçimini daha doğru modelleyen gelişmiş bir metriktir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, standart referans renkle elde edilen baskı rengi arasındaki ortalama farkın $\Delta E_{00} \approx 2.5$ olduğu saptanmıştır. Genel olarak kabul edilen literatür sınırlarına göre ΔE_{00} değerinin 1 ile 3 arasında olması, insan gözüyle fark edilmesi oldukça zor bir renk farkı anlamına gelir. Dolayısıyla bu sonuç, üretilen su bazlı mürekkebin renk doğruluğu açısından oldukça başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak; geliştirilen mürekkebin dijital baskı sistemlerine adaptasyonu başarılı olmuş, yüksek çözünürlükte net ve doygun renkler elde edilmiştir. Mürekkebin yazıcı sisteminde tıkanma, akma veya dağılma gibi baskı hatalarına sebebiyet vermediği, CIEL*a*b* değerlerine göre renk tutarlılığı gösterdiği ve ΔE_{00} renk farkı açısından da endüstriyel uygulamalar için uygunluk sağladığı tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, belirlenen formülasyonlara uygun olarak hazırlanan su bazlı inkjet mürekkepler başarıyla sentezlenmiş ve üretim sürecinde herhangi bir teknik sorunla karşılaşmamıştır. Üretilen mürekkeplerin fizikokimyasal özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiş; stabilite, reoloji, yüzey gerilimi, kuruma süresi, ışık haslığı, mekanik dayanım, kimyasal direnç gibi parametreler açısından kapsamlı değerlendirmeler yapılmıştır.

Stabilite testleri sonucunda, vernik içerisine %1 ve %2,5 oranlarında ilave edilen boyarmaddelerin 24 ve 72 saatlik süreçlerde çökelme eğilimi göstermediği, bu oranlarda hazırlanan mürekkeplerin kartuş içerisinde homojenliğini koruyarak uzun süreli kullanım için uygun olduğu belirlenmiştir. Buna karşın %5 oranındaki boyarmadde ilavesiyle hazırlanan mürekkeplerin zamanla aglomerasyon ve çökelme eğilimi gösterdiği, bu nedenle uygulama açısından uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgular doğrultusunda, incelenen boyarmadde için ideal maksimum konsantrasyonun %2,5 olduğu değerlendirilmiştir.

Yapılan reolojik analizler sonucunda mürekkebin ideal viskozite aralığı 25 °C’de 9–11 cPs olarak tespit edilmiş, bu aralık baskı sistemlerinde optimum akışkanlık ve baskı kalitesi sağlamak açısından yeterli bulunmuştur. Mürekkebin yüzey gerilimi, BYK-348 katkısı ile optimize edilerek 31 mN/m seviyesinde sabitlenmiş; bu değer, mürekkebin yüzeye etkin yayılım göstermesine katkı sağlamıştır. Termal genleşme testleri, mürekkebin sıcaklık değişimlerine karşı fiziksel stabilitesini koruduğunu göstermiştir.

Mürekkebin inkjet sistemlere uygun olarak düşük tack değerine sahip olduğu, sistemin püskürtme prensibine uygun şekilde çalıştığı ve mürekkep transferinde herhangi bir yapışkanlık sorunu yaratmadığı saptanmıştır. Kuruma süresi yaklaşık 6–9 saniye aralığında gerçekleşmiş; bu süre, arka verme riskini azaltarak çift taraflı baskılarda kullanım avantajı sunmuştur. Ancak, mürekkebin su ile karışabilir olması, hidrofilik karakter taşıdığını ve suya karşı dayanımının düşük olduğunu ortaya koymuştur.

Işık haslığı testlerinde mürekkebin 7. sınıf dayanım gösterdiği, dış ortamda uzun süreli maruziyetlerde dahi görsel bütünlüğünü koruduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yapılan mekanik testler, baskı yüzeyinde yüksek sürtünme direnci ve çizilmelere karşı dayanıklılık olduğunu göstermiştir. Selofan kaplama gibi son kat uygulamalarla mürekkebin kimyasal etkileşime girmedeği, parlaklığının korunabildiği gözlemlenmiştir. Yüksek parlaklık değeri ise sıvı fazın yüzey pürüzlülüğünü azaltması ile ilişkilendirilmiştir.

Organoleptik değerlendirme sonuçlarına göre, mürekkep belirgin bir koku içermemekte; ancak içerdiği boyarmaddeler sebebiyle gıda ile doğrudan temas eden ambalajlarda kullanılamayacağı, yalnızca gıda dışı ambalaj ve endüstriyel uygulamalarda tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Kimyasal dayanım testlerinde alkol, sabun ve asit gibi maddelere karşı yüksek direnç gösterdiği, %30–60 arası değişen katı madde oranıyla kuruma sonrası yüzey dayanımının yeterli olduğu belirlenmiştir.

Bentsai BT-HH6105B2 model termal inkjet yazıcı ile gerçekleştirilen dijital baskı denemelerinde mürekkebin yazıcı sistemine tamamen uyum sağladığı, tıkanma, dağılma gibi olumsuzluklar yaşanmadığı ve yüksek çözünürlükte net baskılar elde edildiği gözlemlenmiştir. CIEL*a*b* renk ölçümlerinde $L^* = 52$, $a^* = 54$ ve $b^* = 7$ değerleri ile doğgun kırmızı tonun başarılı şekilde elde edildiği, ΔE_{00} değerinin 2.5 seviyesinde olması sayesinde referans renkle gözle fark edilmeyecek düzeyde bir renk farkı olduğu saptanmıştır.

Geliştirilen su bazlı inkjet mürekkebin suya karşı düşük dayanımı, özellikle dış ortam koşullarına uzun süre maruz kalan uygulamalarda performansını sınırlandırabilecek temel bir zayıflık olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, formülasyona suya direnç kazandıran su bazlı polimer sistemlerinin ya da çevresel koşullara karşı dayanımı artıran çapraz bağlayıcı (crosslinker) katkı maddelerinin entegrasyonu, mürekkebin fonksiyonel ömrünü ve uygulama alanlarını genişletecek önemli bir geliştirme alanı olarak önerilmektedir. Gıda ambalajları gibi özel güvenlik gereksinimleri olan uygulamalarda ise, toksikolojik açıdan güvenli, biyouyumlu ve migrosyon riski taşımayan pigment ve katkı bileşenlerinin tercih edilmesi, mevzuat uyumluluğu açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, mürekkebin sadece emici kâğıt yüzeylerde değil, metal, plastik, cam gibi emici olmayan veya düşük yüzey enerjisine sahip substratlar üzerinde de test edilmesi, çok amaçlı kullanım potansiyelinin ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır. Yüksek hızlı baskı sistemleriyle entegrasyonun sağlanması amacıyla kuruma süresinin UV veya IR destekli kurutma teknolojileri ile optimize edilmesi yönünde araştırmalar yapılması da önerilmektedir. Renk çeşitliliğini artırmak adına, farklı pigment ve boyar madde kombinasyonları denenerek genişletilmiş renk gamına sahip mürekkep formülasyonları geliştirilebilir. Son olarak, sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımlar doğrultusunda, mürekkep üretiminde kullanılan hammaddelerin yenilenebilir veya evre dostu kaynaklardan elde edilmesi, ürünün çevresel etkisinin azaltılması ve geri dönüştürülebilirlik özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde ileri düzey araştırma ve geliştirme faaliyetlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Sonuç olarak, geliştirilen su bazlı mürekkep, endüstriyel dijital baskı sistemlerine yüksek uyum göstermekte; renk doğruluğu, mekanik ve kimyasal dayanıklılık, parlaklık ve baskı kalitesi açısından başarılı sonuçlar vermektedir. Yapılacak ileri seviye geliştirmeler ile mürekkebin daha geniş bir uygulama yelpazesi için kullanılabilir hale gelmesi mümkündür.



6. KAYNAKÇA

- [1] Kipphan, H. (2001). Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods. New York.
- [2] Dr R. H. Leach, D. C. (2007). The Printing Ink Manual. London: Blueprint.
- [3] Thomas, I. v. (2016). Printing on Polymers: Fundamentals and Applications. Matthew Deans.
- [4] Nisha Sharma, D. A. (2014). History and Chemistry Of Ink- A Review. World Journal of Pharmaceutical Research, 1.
- [5] M. Sami Selim, V. F. (1997). Drying of Water-Based Inks on Plain Paper. Journal Of Imaging Science and Technology, 152.
- [6] T.Robert (2014). Green Ink In All Colors-Printing Ink From Renewable Resources.
- [7] Rahul Pingale, M. (2018). SOY- BASED FLEXOGRAPHIC INK FOR LINERBOARD PRINTING. Western Michigan University, 9.
- [8] Yürekli, Ş. (1997). Reçine ve Boya Teknolojisi.1-8.
- [9] Thompson, B. (2004). Printing Materials: Science and Technology. London: Pira International.
- [10] Abbas, M. M.-H. (2013). Pigment Ink Formulation for Inkjet Printing of Different Textile Materials. International Journal of Innovation and Applied Studies, 240.
- [11] Khan, M. R. (2016). Pigment Ink Formulation, Tests and Test Methods for Pigmented. Chemistry and Materials Research, 79.
- [12] Maile J. F., P. G. (2005). Effect Pigments-Past, Present and Future. 150-163.
- [13] S.Ahmed (2007). Polymer Science Coatings and Adhesives Technology of Printing Inks.
- [14] M.Niaounakis (2015). Biopolymers:Processing and Products. USA.
- [15] Ho, D. L. (2004). New insights into Hansen's solubility parameters. 4337-4343.
- [16] Shunsuke Sasaki, a. G.-i. (2016). Recent advances in twisted intramolecular charge transfer (TICT) fluorescence and related phenomena in materials chemistry. Royal Society of Chemistry.

- [17] Cengiz, D. M. (1987). Kağıt Endüstrisinde Sulu Çözeltilerle Yüzey İşlemleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 113.
- [18] Magdassi, S. (2010). Magdassi The Chemistry. World Scientific.
- [19] Kuyumcuoğlu, U. S. (2018). Ink and Coating Compositions for Flexible Packaging Applications", Progress in Organic Coatings. 124,108-121.
- [20] Andreas Lorenz¹, A. K. (2013). High Throughput Technology For Fine Line Seed Layer Printing On Silicon Solar Cells.
- [21] Cells, E. o.-B. (2015). A. Lorenza. Energy Procedia, 127.Eldred, N. R. (2011). Package Printing.
- [22] Williams. (1992). National Association of Printing Ink Manufacturers.
- [23] Kirwan, M. J. (2003). Plastics in Food Packaging", Food Packaging Technology. 174-240.
- [24] Lee, J. Y. (2016). Development of Solvent-based Gravure Inks for High-speed Printing". Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 42,78-86.
- [25] Kigle-Boeckler, G. (2006). Measurement of Gloss and Reflection Properties of Surfaces. 28-31.
- [26] Saad, A. (2018). Green Printing: The Environmental Impact of Print Technologies. 27-36.
- [27] Hakola, L. (2009). Digital Printing of Paper, Paperboard and Cardboard Food Packaging Materials. London,UK: Wiley Blackwell.
- [28] Zeynep Köknaroğlu (2015). Keton/Aldehit Reçinelerinin Mürekkep Hazırlanmasında Kullanımı. 10.
- [29] Schiavi, A. &. (2018). Solvent Selection for High-Performance Flexographic Inks. 115,138-145.
- [30] Niry Group. (Tarih Yok). Niry Group: <https://www.niry-group.com/en/print-colors/>. Adresinden Alındı
- [31] Johnson, K. &. (2017). Surface Science Techniques for Printing Applications. Journal of Coating Technology and Research, 1-15.

- [32] JCT PRİNT. (tarih yok). JCT PRİNT:
https://www.jctprintco.com/news/news/how_to_choose_the_right_anilox_roller_for_flexo_printing.html adresinden alındı
- [33] Jenny Wiklund, A. K. (2021). Baskılı Elektronik Üzerine Bir İnceleme: Üretim Yöntemleri.
- [34] Izdebska, J. &. (2016). Printing on Polymers: Fundamentals and Applications. UK: Mathew Deans.
- [35] Rentzhog, M. (2006). Water Based Inks For Flexographic Printing. 1.
- [36] Ujiie, H. (2006). Digital Printing of Textiles. Woodhead Publishing, Cambridge.
- [37] Jimmy Vainstein. (2005). A study of the conditions and variables that affect the printing of shrink films on waterbased flexography. Rochester Teknoloji Enstitüsü, 18.
- [38] N. Mewis J. & Wagner J. (2008). Thixotropy.150.
- [39] Elwan, D. A. (2017). Influence of Ink Viscosity level on Tone Value Increase in Sheet-fed Offset Printing . 308.
- [40] A. Soleimani-Gorgani, M. J. (2014). Effect of Ink Formulation and Paper Surface Morphology on Ink-jet. 297.
- [41] Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation. (2010).
- [42] Özer, E. (2010). Ofset Baskı Mürekkeplerine Yapılan Fiziksel Testlerin Uygulamalı İncelenmesi.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve ortaöğretimini Güzide Yılmaz İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Hasan Şadoğlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi kimya bölümünde eğitimine devam etti. 2022 senesinde Marmara Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Basım Teknolojileri programında lisans eğitimini tamamladı. Aynı sene yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

2022 senesinde Umur Basım firmasında üretim planlama departmanında çalışmaya başladı. Şu an malzeme planlama uzmanı olarak çalışmaktadır.

