

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİF VE KAĞIT TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI**

**GAZETE KAĞIDI ÜRETİMİNDE ANYONİK POLİAKRİLAMİDİN KIRINTI**  
**MATERYAL TUTUNUMU ÜZERİNE ETKİSİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU**  
**DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Orm. End. Müh. Sedat ONDARAL**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**“Yüksek Lisans (Lif ve Kağıt Teknolojisi)”**

**Ünvanı İçin Verilmesi Kabul Edilen Tezdir**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.08.2001**

**Tezin Savunma Tarihi : 27.08.2001**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa USTA**

**Jüri Üyesi : Doç. Dr. Hüseyin KIRCI**

**Jüri Üyesi : Doç. Dr. Halit KANTEKİN**

**Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Asım KADIOĞLU**

**Trabzon 2001**

109876

109876

MUSTAFA USTA

Hüseyin KIRCI

Halit KANTEKİN

A. KADIOĞLU

## ÖNSÖZ

Kağıt üretiminde tutunum hamur kasasındaki kağıdı oluşturan bileşenlerin kağıt makinesinin formasyon kısmında safiha içerisinde yer almasını ifade etmektedir. Lif süspansiyonuna katılan lif, dolgu maddesi, iç yapıştırma maddeleri ve boyar maddeler gibi bileşenlerin kağıt yapısında tutunumu bir çok yolla sağlanabilmektedir. Bunlardan tutundurucu polimer ilavesi en çok başvurulan yol olmuştur. Bu kimyasal maddelerin kullanımı özellikle kırıntı materyal oranı fazla hamurlardan elde edilen kağıdın üretim maliyeti, fiziksel ve optik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Bu çalışmada; tutundurucu kimyasal madde olarak düşük yük yoğunluğuna ve yüksek molekül ağırlığına sahip anyonik poliakrilamid kullanılmıştır. Bu polimerin farklı oranlarda mekanik ve kimyasal hamur kullanılarak hazırlanan süspansiyonlarda kırıntı materyal tutunumuna etkisi incelenmiştir. Bu çalışma, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü' ne "Gazete Kağıdı Üretiminde Anyonik Poliakrilamidin Kırıntı Materyal Tutunumu Üzerine Etkisi" adı altında yüksek lisans tezi olarak sunulmuştur.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek hem çalışma konumu belirleyen hem de bu çalışma süresince yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mustafa USTA' ya teşekkür etmeyi bir görev sayarım.

Tez çalışmamda tavsiyelerinden yararlandığım Doç. Dr. Hüseyin KIRCI' ya ve Doç. Dr. İlhan DENİZ' e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Gerek laboratuvar gerekse tez yazımında yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarım Arş. Gör. Esat GÜMÜŞKAYA' ya, Arş. Gör. Zehra SERİN' e, Arş. Gör. Derya USTAÖMER' e, eşim Orman Endüstri Mühendisi Meryem ONDARAL' a, arkadaşlarım Endüstri Mühendisi Kemal ÇAKAR' a ve Orman Endüstri Mühendisi Cengiz KEŞMER' e teşekkür ederim. Ayrıca, hammadde temininde yardımcı olan SEKA-Aksu Müessesesi çalışanlarına, tutundurucu madde teminini sağlayan Nalco Anadolu A.Ş.' ye ve kağıdın fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde yardımcı olan İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi ABD çalışanlarına teşekkür ederim.

Ağustos, 2001

Sedat ONDARAL

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER .....	III
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Tanımlar.....	2
1.2.1. Kırıntı Fraksiyonu.....	2
1.2.2. Tutunumun Tanımı ve Hesaplama Metotları.....	3
1.2.2.1. İlk Geçiş Tutunumu.....	3
1.2.2.2. Gerçek Tutunum.....	4
1.2.2.3. Kapsamlı Tutunum.....	5
1.3. Laboratuvar Tutunum Ölçümleri.....	7
1.4. Elektrokinetik Açıdan Tutunma ve Zeta Potansiyeli.....	9
1.4.1. Elektriksel Çift Tabaka.....	9
1.4.2. Zeta Potansiyeli.....	10
1.4.2.1. Zeta Potansiyeli Ölçüm Metotları .....	12
1.4.2.1.1. Mikroelektroforez .....	13
1.4.2.1.2. Elektroosmoz.....	13
1.4.2.1.3. Streaming Potansiyeli .....	13
1.4.2.1.4. Sedimentasyon potansiyeli .....	14
1.4.3. Zeta Potansiyelinin Hesaplanması .....	15
1.4.4. Zeta potansiyeli Ölçümlerinin Uygulanması.....	15
1.5. Tutunma Mekanizmaları ve Tutunumu Etkileyen Faktörler.....	17

1.5.1. Tutunma Mekanizmaları.....	17
1.5.1.1. Mekanik Yolla Tutunum.....	17
1.5.1.2. Kimyasal Yolla Tutunum.....	18
1.5.2. Tutunumu Etkileyen Faktörler.....	21
1.5.2.1. Üretilen Özgül Ağırlık.....	21
1.5.2.2. Safihanın Meydana Geldiği Formasyon Şekli.....	22
1.5.2.3. Safiha İçerisindeki Gözenek Boyutları.....	24
1.5.2.4. Safihadan Su Uzaklaştırılması.....	24
1.5.2.5. Odun Türünün Etkileri.....	24
1.5.2.6. Lif Kabalığının Etkisi.....	25
1.5.2.7. Hamur Üretme Prosesinin Etkisi.....	25
1.5.2.8. Dövmenin Etkisi.....	25
1.5.2.9. Konsantrasyonun Etkisi.....	27
1.5.2.10. Kağıt Makinesi Dizaynının Tutunuma Etkisi.....	27
1.5.2.11. Tutunum ve Kağıt Makinesi Seçimi.....	32
1.5.2.12. İletkenlik ve Reaktiflik.....	35
1.5.2.13. Sistem Kapalılığının Tutunuma Etkisi.....	36
1.5.2.14. Kullanılan Tutundurucu Maddenin Yük Yoğunluğu ve Molekül Ağırlığı.....	37
1.5.2.15. pH' ın Etkisi.....	38
1.5.2.16. Elektrolitlerin Etkisi.....	38
1.5.2.17. Çözülmüş Organik Materyallerin Etkisi.....	38
1.6. Tutundurucu Maddeler ve Etki Şekilleri.....	39
1.6.1. Tutundurucu Maddeler.....	39
1.6.1.1. İnorganik Tutundurucu Maddeler.....	39
1.6.1.1.1. Şap.....	39
1.6.1.1.2. Poli-alüminyum Klorid (PAC).....	40
1.6.1.2. Doğal Organik madde Esaslı Tutunum Maddeleri.....	41
1.6.1.3. Sentetik, Suda Çözülebilir Organik Polimerler.....	42
1.6.1.3.1. Poliaminler.....	42
1.6.1.3.2. Poli-DADMAC.....	43
1.6.1.3.3. Polietilenimin (PI).....	44

1.6.1.3.4. Islak Sağamlık Reçineleri.....	45
1.6.1.3.5. Poliakrilamidler (PAM).....	46
1.6.1.3.6. Polietilen oksit (PEO).....	48
1.6.2. Tutunum Mekanizmaları .....	48
1.6.2.1. Koagülasyon.....	49
1.6.2.2. Flokülasyon.....	50
1.6.2.2.1. Makro Flokülasyon.....	51
1.6.2.2.1.1. Patch Flokülasyonu.....	51
1.6.2.2.1.2. Bağlanma Modeli.....	52
1.6.2.3. Sterik Stabilizasyonu.....	53
1.6.3. Mikro Flokülasyon veya Mikro Partikül Tutunumu.....	54
1.6.3.1. Mikro Partikül Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	56
1.6.4. Tutunum Sistemleri.....	56
1.6.4.1. Tek Bileşenli Tutunum Sistemleri.....	56
1.6.4.2. Çift Bileşenli Tutunum Sistemleri.....	58
1.6.4.2.1. Koagülant ve Poliakrilamid (PAM).....	58
1.6.4.2.1.1. Koagülant ve PAM Sisteminin Genel Mekanizması.....	58
1.6.5. Örgü Ağı Flokülasyonu .....	59
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	61
2.1. Materyal.....	61
2.1.1. Materyal Seçimi.....	61
2.1.2. Deney Örneğinin Hazırlanması.....	61
2.2. Metot.....	62
2.2.1. Kırıntı Fraksiyonu, İlk Geçiş Kırıntı Tutunumu ve Toplam Katı Tutunumunun Belirlenmesi.....	62
2.2.1.1. Hamur Süspansiyonunun Kırıntı Fraksiyonunun Belirlenmesi.....	62
2.2.1.2. İlk Geçiş Kırıntı Tutunumunun Belirlenmesi.....	62
2.2.1.3. Toplam Katı Tutunumunun Belirlenmesi.....	63
2.2.2. Hamurun Drenaj Süresinin Belirlenmesi.....	63
2.2.3. Deneme Kağıtlarına Uygulanan Fiziksel ve Optik Testler.....	64
3. BULGULAR.....	66

3.1. Tutunum Yüzdelerine Ait Bulgular.....	66
3.1.1. Hamur Süspansiyonuna Dolgu Maddesi İlave Edilmeden Yapılan Çalışmalara Ait Tutunum Bulguları.....	66
3.1.1.1. Hamur Süspansiyonlarına Dolgu Maddesi İlave Edilmeksizin Elde Edilen İlk Geçiş Kırıntı Tutunumuna Ait Bulgular.....	66
3.1.1.2. Hamur Süspansiyonlarına Dolgu Maddesi İlave Edilmeksizin Elde Edilen Toplam Katı Tutunumuna Ait Bulgular.....	67
3.1.2. Hamur Süspansiyonuna Dolgu Maddesi İlave Edilerek Yapılan Çalışmalara Ait Tutunum Bulguları.....	68
3.1.2.1. Hamur Süspansiyonlarına Dolgu Maddesi İlave Edilerek Elde Edilen İlk Geçiş Kırıntı Tutunumuna Ait Bulgular.....	68
3.1.2.2. Hamur Süspansiyonlarına Dolgu Maddesi İlave Edilerek Elde Edilen Toplam Katı Tutunumuna Ait Bulgular.....	69
3.2. Farklı Polimer Dozları İlave Edilerek Elde Edilen Kağıtların Fiziksel ve Optik Özelliklerine Ait Bulgular.....	69
3.2.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmeden Yapılan Kağıtların Fiziksel ve Optik Özellikleri .....	69
3.2.2. Dolgu Maddesi İlave Edilerek Yapılan Kağıtların Fiziksel ve Optik Özellikleri.....	70
4. İRDELEME.....	71
4.1. Mamurun Kırıntı Materyal Oranının Değişimi.....	71
4.2. Tutunuma Ait Bulguların İrdelenmesi.....	72
4.2.1. Hamur Süspansiyonuna Dolgu Maddesi İlave Edilmeden Yapılan Çalışmalara Ait Tutunum Bulgularının İrdelenmesi.....	72
4.2.1.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonlarına Ait İlk geçiş Kırıntı Tutunum Bulgularının Değerlendirilmesi.....	72
4.2.1.2. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonlarına Ait Toplam Katı Tutunum Bulgularının Değerlendirilmesi.....	73
4.2.2. Hamur Süspansiyonuna Dolgu Maddesi İlave Edilerek Yapılan Çalışmalara Ait Tutunum Yüzdeleri Bulgularının İrdelenmesi.....	74
4.2.2.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş Hamur Süspansiyonlarına Ait İlk geçiş Kırıntı Tutunum Bulgularının Değerlendirilmesi.....	74

4.2.2.2. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş Hamur Süspansiyonlarına Ait Toplam Katı Tutunum Bulgularının Değerlendirilmesi.....	76
4.3. Farklı Polimer Dozları İlave Edilerek Elde Edilen Kağıtların Fiziksel ve Optik Özelliklerine Ait Bulgularının Değerlendirilmesi.....	77
4.3.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmeden Yapılan Kağıtların Fiziksel ve Optik Özelliklerine Ait Bulguların Değerlendirilmesi.....	77
4.3.1.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonlarından Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kopma Uzunluğuna Etkisi.....	79
4.3.1.2. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonlarından Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Patlama İndisi Üzerine Etkisi...	80
4.3.1.3. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonlarından Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Yırtılma İndisi Üzerine Etkisi...	81
4.3.1.4. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonlarından Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Parlaklığı Üzerine Etkisi.....	82
4.3.1.5. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonlarından Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Drenaj Süresi Etkisi.....	83
4.3.2. Dolgu Maddesi İlave Edilerek Yapılan Kağıtların Fiziksel ve Optik Özellikleri .....	83
4.3.2.1. Dolgu Maddesi İlave Edilen Hamur Süspansiyonlarından Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kopma Uzunluğuna Etkisi.....	85
4.3.2.2. Dolgu Maddesi İlave Edilen Hamur Süspansiyonlarından Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Patlama İndisi Üzerine Etkisi.....	86
4.3.2.3. Dolgu Maddesi İlave Edilen Hamur Süspansiyonlarından Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Yırtılma İndisi Üzerine Etkisi.....	87
4.3.2.4. Dolgu Maddesi İlave Edilen Hamur Süspansiyonlarından Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Parlaklığına Etkisi.....	88
4.3.2.5. Dolgu Maddesi İlave Edilen Hamur Süspansiyonlarından Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Drenaj Süresine Etkisi.....	88
4.3.3. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş ve Edilmemiş Kağıtların Fiziksel ve Optik Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	89
4.3.3.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş ve Edilmemiş Kağıtların Kopma Uzunluklarının Karşılaştırılması.....	89

4.3.3.2. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş ve Edilmemiş Kağıtların Patlama İndislerinin Karşılaştırılması.....	90
4.3.3.3. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş ve Edilmemiş Kağıtların Yırtılma İndislerinin Karşılaştırılması.....	91
4.3.3.4. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş ve Edilmemiş Kağıtların Parlaklıklarının Karşılaştırılması.....	92
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	93
6. KAYNAKLAR.....	95
7. ÖZGEÇMİŞ.....	98



## ÖZET

Yapılan çalışmada; SEKA-Aksu Müessesinden sağlanan mekanik ve ağartılmış iğne yapraklı sülfat hamuru kullanılarak elde edilen hamur karışımlarına ait süspansiyonlara farklı oranlarda anyonik poliakrilamid ilavesiyle sağlanan ilk geçiş kırıntı tutunum değerleri dinamik drenaj kabı kullanılarak Tappi standartlarına uygun olarak belirlenmiştir.

Kağıt endüstrisinde gazete kağıdı üretiminde kullanılan %80 mekanik ve %20 kimyasal hamur karışımından oluşan hamur süspansiyonu ile yaptığımız çalışmalar sonucunda; dolgu maddesi ilave edilmemiş hamurlarda, anyonik poliakrilamid (APAM) kullanılmadığı durumlarda ilk geçiş kırıntı tutunumu %34.02 iken % 1.0 anyonik poliakrilamid kullanıldığında ilk geçiş kırıntı tutunumunun %96.97' ye çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca, dolgu maddesi ilave edilmiş aynı karışım oranındaki hamur süspansiyonunda anyonik poliakrilamid kullanılmadığı durumda ilk geçiş kırıntı materyal tutunumu %39.39 iken %1.0 anyonik poliakrilamid kullanıldığında bu değer %97.28' e çıktığı belirlenmiştir. Aynı hamura farklı oranlarda anyonik poliakrilamid ilave edilerek yapılan deneme kağıtlarının fiziksel ve optik özellikleri incelendiğinde, kağıt safihası içerisinde kırıntı materyal miktarının artmasıyla kağıdın fiziksel ve optik özelliklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, hamura ilave edilmesi gereken tutundurucu polimerim optimum miktarının belirlenmesinde, kırıntı materyal tutunum değerlerinin yanında elde edilen kağıtların fiziksel ve optik özellikleri birlikte değerlendirilmiş ve en uygun anyonik poliakrilamid ilave oranının %0.2 olduğu belirlenmiştir. Daha yüksek APAM ilavesinin tutunumda sağladığı artış sınırlı kalırken, kağıdın fiziksel ve optik özelliklerindeki düşüş kağıdın kullanım yerini sınırlamaktadır. Ayrıca artan APAM oranı kimyasal madde maliyetini artırmakta olup, bu artış tutunumun sağladığı ekonomikliği gölgelemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kırıntı Materyal, Tutunum, Dinamik Drenaj Kabı, Drenaj süresi, Flokülasyon, Koagülasyon

## **SUMMARY**

### **The Effects of Anionic Polyacrylamide on Fines Retention in Newsprint Manufacturing**

In this study, the unbleached mechanical pulp and bleached sulfate pulp provided from SEKA-Aksu mill were used as raw material. Fines retention levels of furnishes prepared by mixing these pulps at various rates were determined by using dynamic drainage jar with different anionic polyacrylamide (APAM) addition levels.

When amount of APAM increased from 0% to 1% in furnish prepared by mixing of 80% unbleached mechanical pulp and 20% bleached sulfate pulp, ratios of first pass fines retention increased from 34.02% to 96.97% without filler addition. However, in the same furnish in which 10% filler was added, increasing of amount of APAM from 0% to 1% resulted in increasing in first pass fines retention from 39.39% to 97.28%.

It was determined that the physical and optical properties of paper decreased when amount of APAM addition increased in furnish. Since APAM values above 0.2% added in furnish decreased the physical and optical properties of papers made from this furnish extremely, the optimum amount of APAM addition was determined to be 0.2%. These decreased properties restrict manufacture of various paper grades. However, increase in amount of APAM addition in furnish causes to increase in paper manufacturing cost and it interferes with cost saving provided from fines retention.

**Key Words:** Fines Material, Retention, Dynamic Drainage Jar, Drainage Time, Coagulation, Flocculation

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Dinamik drenaj kabı.....	8
Şekil 2. Elektorstatik çift tabaka modeli.....	10
Şekil 3. Çift Tabaka içerisindeki iyon konsantrasyonunu değişimi .....	11
Şekil 4. Zeta Potansiyeli ve yüzey potansiyeli.....	12
Şekil 5. Farklı zeta potansiyeli ölçüm potansiyelleri.....	14
Şekil 6. Fourdrinier üzerinde tutunum.....	18
Şekil 7. Flokülasyon küçük partiküllerin süspansiyon içerisinde makro partikül içinde toplanmaları tutunumu.....	20
Şekil 8. Aglomerasyon / koagülasyon- küçük partiküllerin büyük liflere yapışması ve tutunumu.....	20
Şekil 9. Safiha ağırlığına bağlı olarak G/W drenaj süresinin değişimi.....	22
Şekil 10. Safihanın hız formasyonu.....	23
Şekil 11. Safihanın basınç formasyonu.....	23
Şekil 12. Hamur kasasındaki kırıntı oranı ile tutunum arasındaki ilişki.....	26
Şekil 13. Makine bütesindeki kırıntı oranı ile tutunum arasındaki ilişki.....	27
Şekil 14. Süzülme ile yığılma arasındaki fark.....	28
Şekil 15. Hamur kasası akış hızının ilk geçiş tutunumuna etkisi.....	29
Şekil 16. Temel ağırlığın ilk geçiş tutunumuna etkisi.....	29
Şekil 17. Makine hızının bir fonksiyonu olarak tabla silindirinin hareketi .....	31
Şekil 18. Tabla silindiri ile foil basıncının karşılaştırılması.....	32
Şekil 19. Safiha konsantrasyonunun ve aktivasyon enerjisinin fourdrinier üzerinde değişimi.....	33
Şekil 20. Çift elekli kağıt makinesi (Gap Former).....	34
Şekil 21. Kombine kağıt makinesi.....	35
Şekil 22. Hidratlanmış alüminyum iyonu, Al <sup>+++</sup> .....	40
Şekil 23. Hidratlanmış PAC kompleksi, O: H <sub>2</sub> O.....	41
Şekil 24. Katyonik nişastanın tipik yapısı .....	42
Şekil 25. Poli-DADMAC molekülü.....	44

Şekil 26. PPI' nın basit yapısı.....	45
Şekil 27. PPE molekülü.....	45
Şekil 28 Katyonik poliakrilamid molekülü.....	46
Şekil 29. Anyonik poliakrilamid molekülü.....	47
Şekil 30. Koagülasyon mekanizması.....	49
Şekil 31. Flokülasyon mekanizması.....	50
Şekil 32 Patch Flokülasyonunun şematik gösterimi.....	51
Şekil 33. Bağlanma flokülasyonu.....	53
Şekil 34. Sterik stabilizasyon.....	54
Şekil 35. Mikro partikül sisteminin temel reaksiyonları.....	55
Şekil 36. Katyonik bir CPAM ile bağlanma yoluyla flokülasyon.....	57
Şekil 37. Anyonik poliakrilamid ile bağlanma yoluyla flokülasyon.....	57
Şekil 38. Koagulant / APAM sistemi ile flokülasyon .....	58
Şekil 39. PF ile PEO reaksiyonu.....	59
Şekil 40. Hidratlanmış bentonit ile PAM reaksiyonu.....	60
Şekil 41. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamurlarda kırıntı materyal oranının mekanik hamur oranı ile değişimi.....	71
Şekil 42. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamurlarda kırıntı materyal oranının mekanik hamur oranı ile değişimi.....	72
Şekil 43. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM miktarının ilk geçiş kırıntı materyal tutunumu üzerine etkisi.....	73
Şekil 44. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM miktarının toplam katı tutunumu üzerine etkisi.....	74
Şekil 45. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM miktarının ilk geçiş kırıntı materyal tutunumu üzerine etkisi.....	75
Şekil 46. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM miktarının toplam katı tutunumu üzerine etkisi.....	76
Şekil 47. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının kopma uzunluğu üzerine etkisi .....	79
Şekil 48. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının kağıdın patlama indisi üzerine etkisi .....	80

Şekil 49. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının kağıdın yırtılma indisi üzerine etkisi .....	81
Şekil 50. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının Kağıdın parlaklığı üzerine etkisi .....	82
Şekil 51. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının drenaj süresi üzerine etkisi .....	83
Şekil 52. Dolgu maddesi ilave edilen hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının kopma uzunluğuna üzerine etkisi .....	85
Şekil 53. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının patlama indisi üzerine etkisi .....	86
Şekil 54. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının yırtılma indisi üzerine etkisi .....	87
Şekil 55. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının parlaklık üzerine etkisi .....	88
Şekil 56. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının drenaj süresi üzerine etkisi .....	89
Şekil 57. Dolgu maddesi ve APAM miktarının kağıdın kopma uzunluğu üzerine etkisi.....	90
Şekil 58. Dolgu maddesi ve APAM miktarının kağıdın patlama indisi üzerine etkisi.....	91
Şekil 59. Dolgu maddesi ve APAM miktarının kağıdın yırtılma indisi üzerine etkisi.....	91
Şekil 60. Dolgu maddesi ve APAM miktarının kağıdın parlaklığı üzerine etkisi.....	92

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Farklı mekanik ve kimyasal hamur karışımlarına sahip hamur süspansiyonlarına dolgu maddesi ilave edilmeksizin elde edilen ilk geçiş kırıntı tutunum yüzdelerinin polimer dozu ile değişimi.....	66
Tablo 2. Dolgu maddesi ilave edilmemiş farklı hamur süspansiyonlarının kırıntı oranları.....	67
Tablo 3. Farklı mekanik ve kimyasal hamur karışımlarına sahip hamur süspansiyonlarına dolgu maddesi ilave edilmeksizin elde edilen toplam katı tutunum yüzdelerinin polimer dozu ile değişimi.....	67
Tablo 4. Dolgu maddesi ilave edilmiş farklı hamur süspansiyonlarına ait kırıntı materyal oranları.....	68
Tablo 5. Farklı mekanik ve kimyasal hamur karışımlarına sahip hamur süspansiyonlarına dolgu maddesi ilave edilerek elde edilen ilk geçiş kırıntı tutunum yüzdelerinin polimer dozu ile değişimi.....	68
Tablo 6. Farklı mekanik ve kimyasal hamur karışımlarına sahip hamur süspansiyonlarına dolgu maddesi ilave edilerek elde edilen toplam katı tutunum yüzdelerinin polimer dozu ile değişimi.....	69
Tablo 7. %80 mekanik ve %20 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu maddesi ilave edilmeksizin tutundurucu madde ilave edilerek elde edilen kağıtların fiziksel ve optik özellikleri.....	70
Tablo 8. %80 mekanik ve %20 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu maddesi ve tutundurucu madde ilave edilerek elde edilen kağıtların fiziksel ve optik özellikleri.....	70

Tablo 9. %80 mekanik ve %20 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu maddesi ilave edilmeksizin tutundurucu madde ilave edilerek elde edilen kağıtlarda bu maddenin dozunu değiştirmenin kopma uzunluğu, yırtılma indisi, patlama indisi, parlaklık ve drenaj süresi üzerine etkisini belirlemek için gerçekleştirilen varyans analizi ve işlem ortalamalarının en küçük önemli fark yöntemiyle karşılaştırılması (İ.O.E.K.Ö.F.Y.K.) sonuçları..... 78

Tablo 10. %80 mekanik ve %20 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu maddesi ve tutundurucu madde ilave edilerek elde edilen kağıtlarda bu maddenin dozunu değiştirmenin kopma uzunluğu, yırtılma indisi, patlama indisi, parlaklık ve drenaj süresi üzerine etkisini belirlemek için gerçekleştirilen varyans analizi ve işlem ortalamalarının en küçük önemli fark yöntemiyle karşılaştırılması (İ.O.E.K.Ö.F.Y.K.) sonuçları..... 84

## SEMBOLLER DİZİNİ

FPR	İlk geçiş tutunumu
TR	Gerçek tutunum
PAC	Polialüminyum klorid
PEI	Polietilenimin
PPE	Poliamid-poliamin-epiklorohidrin
APAM	Anyonik poliakrilamid
CPAM	Katyonik poliakrilamid
PEO	Polietilen oksit
C.C.C.	Kritik koagülasyon konsantrasyonu
DDJ	Dinamik drenaj kabı



# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Kağıt biyolojik, sentetik ve inorganik orijinli maddelerin kombinasyonundan meydana gelen karmaşık bir malzemedir. Kağıdı oluşturan bileşenler; odun hamuru veya lifler ve kırıntı materyal (diğer odun bileşenleri), inorganik ve organik dolgu maddeleri, doğal ve sentetik polimerler (yapıştırma, tutundurma ve dayanım için) ve özel ürün ve proses gereksinimlerini sağlayan diğer ilave maddelerden oluşur. Her bir bileşenin uygun miktarlardaki tutunumu kağıdın özellikleri ve kalitesi bakımından kağıt endüstrisinde son derece önem taşımaktadır. Bunların yanında, kağıdın maliyetini oluşturan faktörler arasında kağıdı oluşturan maddelerin maliyeti önemli yer tutmaktadır. Bu yüzden, bu maddelerin kağıt safihası içerisinde tutulması, maliyeti minimize etme açısından son derece önemlidir. Ayrıca, tutunma performansının artması özellikle elek altına süzülen beyaz suyun tekrardan kullanılmasını mümkün kıldığı için fabrikanın kirlilik yükünü ve su gereksinimini azaltmaktadır [1].

Kağıt üreticileri daha düşük ağırlıkta safiha yapmayı, daha yüksek miktarda dolgu kullanmayı, beyaz su sisteminin kapalılık derecesini artırmayı, kağıt makinasını daha yüksek hızlarda çalıştırmayı ve geri kazanılmış liflerin kullanımını artırmayı araştırdıklarında tutundurucu maddelere olan talep artmıştır. Bütün bu faktörler iyi bir tutundurucu mekanizması yardımı olmadan tutunumun daha zor olduğu bir ortam meydana getirir. İyi bir tutunma mekanizması kağıt üreticilerine titanyum dioksit, ıslak ve kuru sağlamlık maddeleri gibi pahalı maddelerin tutunumunu optimize ederek istenen kağıt kalitesini elde etmelerine yardım etmektedir [2].

Kağıt üretim prosesindeki tutunum karışık bir fizikokimyasal mekanizmadır. Kağıt üretimi sırasında temel olarak iki tutunma mekanizması söz konusudur. Bunlar, mekanik ve kimyasal tutunumdur. Mekanik tutunma; elek deliklerinden geçemeyen uzun liflerin oluşturduğu lif keçesinde bulunan gözenekler yardımıyla ince materyalin tutunması ile meydana gelmektedir.

Kağıt safihasının elek üzerinde oluşumu ilk önce mekanik tutunma mekanizması ile meydana gelir. Literatürdeki ortak fikir, mekanik tutunmanın çok uzun liflerin tutunumunda etkili olduğu, fakat kırıntı materyalin tutunumu üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğu yönündedir. Kimyasal tutunma tutundurucu maddeler ile elde edilmektedir. Bu maddeler elektrolitleri, polielektrolitleri, yüklü nişastaları ve kolloidal mikro partikülleri içermektedir. Kimyasal tutunma kullanılan tutundurucu maddenin özelliklerine göre flokülasyon ve koagülasyon mekanizmalarının en az biri ile meydana gelmektedir [3].

Bu çalışmada, anyonik poliakrilamidin tutundurucu madde olarak gazete kağıdı üretimindeki performansı ve üretilen kağıtların fiziksel ve optik özelliklerinin bu maddenin ilave miktarından nasıl etkilendiği belirlenmeye çalışılmıştır.

## 1.2. Tanımlar

### 1.2.1. Kırıntı Fraksiyonu

Kağıt üretiminde kullanılan hamur süspansiyonları çoğunlukla lif ve kırıntı fraksiyonlarından meydana gelmektedir. Lif fraksiyonu odun liflerinden meydana gelirken, kırıntı fraksiyon kırıntı lif ve dolgu maddesinden oluşmaktadır. Kağıt üreticileri kırıntı fraksiyonunu birçok metotla belirlemişlerdir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, kırıntı materyali 200 mesh' lik elekten geçen 75  $\mu\text{m}$ ' den daha küçük boyuta sahip materyal olarak tanımlanmıştır [4].

Kırıntı lifler genellikle 0.1-0.5  $\mu\text{m}$  genişliğe ve 20-30  $\mu\text{m}$ ' ye varan uzunluğa sahip düzgün, yarı kristalen ve fibril yapıları maddelerdir. Kırıntı lifler aşağıdaki gibi üç kategoriye ayrılabilir [4]:

1. Primer kırıntı lifler: Doğal olarak odun hamurunda bulunan ve paranzim, özışını ve trahe elementlerini içeren kırıntı materyaller.

2. Sekonder kırntı lifler: Rafinör işlemleri sırasında ortaya çıkan kırntı materyal.
3. Tersiyer kırntı lifler: Safiha içerisinde tutulmayan hamur süspansiyonunun beyaz su sistemi içerisinde akışı sırasında meydana gelen kırntı materyal.

Hamur süspansiyonunun içerisindeki kırntı lif konsantrasyonu uygulanan rafinör işleminin derecesi, kullanılan kırntı miktarı, kağıt makinesinin ilk geçiş tutunum performansı ve sistemde kullanılan beyaz su geri kazanma ekipmanlarının miktarı gibi faktörlere bağlıdır [4].

### 1.2.2. Tutunumun Tanımı ve Hesaplama Metotları

Genel anlamda tutunum, son kağıt ürünü içinde kalan tüm madde (süspansiyon halindeki ve çözülmüş) miktarının proses içinde bir önceki noktadaki madde miktarına oranıdır. Özel tutunum tipleri, tutulan maddeye ve ölçülen yere bağlı olarak birçok yöntemle belirlenebilmektedir. Bu konu endüstri içerisinde anlaşmazlık ve tartışmalara neden olmuştur. Sonuç olarak; Tappi, endüstri için standart tutunma tanımları yayınlamıştır [1].

#### 1.2.2.1. İlk Geçiş Tutunumu

İlk-geçiş tutunumu hakkında literatürde birçok tanım bulunmaktadır. Lodzinski, ilk-geçiş tutunumunu, hamur kasasından gelen materyalin tutulan kısmı olarak tanımlamaktadır. Sharpe ve Honig ilk-geçiş tutunumunun, elek üzerinde çökelen miktara bağlı olan safha içinde tutulmuş materyal kısmı olduğunu belirtmişlerdir. Parker ve arkadaşları, fourdrinier kağıt makinelerinin ilk geçiş tutunumlarını araştırmak için; tanımı, tutunumun tüm elek üzerinde değil de oluşum tablası üzerinde olabilmesi için değiştirmiştir. Bu, ilk geçiş tutunumu hesaplamasına ilave edilen düzeltme faktörünü ortaya çıkarmıştır. Unbehend ve Britt ilk-geçiş katılarını, hamur kasasındaki hamur konsantrasyonu ile vakum kasasına kadar olan bölgede süzülen beyaz suyun konsantrasyonu arasındaki fark olarak tanımlamışlardır. Hesaplamanın çoğu durumlarda tutunacak olan uzun lif kısmını dikkate aldığı için biraz aldatıcı olabileceğinin farkına varmışlardır. Bu yüzden, ilk-geçiş kırntı tutunumunu hamur kasası içerisindeki kırntı madde

miktarı ile son ıslak safiha içindeki kırıntı madde miktarı arasındaki fark olarak tanımlamışlardır. Kanitz, amacı tutunmayı tanımlamak olan TAPPI' nin Kağıt Üretimi İlave Maddeleri Komitesi'nin bir alt komitesine ait çalışmayı özetleyerek, ilk geçiş tutunumunu (FPR) hamur kasası konsantrasyonu ile vakum kasasına kadar olan bölgede süzülen beyaz suyun konsantrasyonu arasındaki farkın hamur kasası konsantrasyonuna oranı şeklinde belirlemiştir. Bu tanımlama, diğer tanımlamaları özetleyerek açık hale getirmektedir. Matematiksel olarak ilk geçiş tutunumu aşağıdaki gibidir [1]:

$$FPR = 100 (H_C - T_C) / H_C \quad (1)$$

FPR : İlk Geçiş Tutunumu, %

$H_C$  : Hamur kasası konsantrasyonu

$T_C$  : Vakum kasasına kadar olan bölgede süzülen beyaz su konsantrasyonu

Bu değer tutulan katıların toplamının bir ölçüsüdür ve beyaz su sisteminin içeriği ve kimyasının günlük kontrolü için kullanılmaktadır. Kısaca; ilk geçiş tutunumu kağıt makinesi üzerinde ne olduğunu gösteren basit bir fotoğraftır [1].

### 1.2.2.2. Gerçek Tutunum

İlk-geçiş tutunumu kağıt makinesinin ıslak son etkililiği ile ilgili iken, gerçek veya toplam tutunum tüm kağıt üretim sisteminin etkililiği ile ilgilidir. Gerçek tutunum; son ürün olan kağıt içerisindeki materyal miktarının başlangıçtaki sisteme verilen materyal miktarına oranıdır. Gerçek tutunumu belirlemede çok sayıda metot mevcuttur. Unbehend ve Britt gerçek tutunumu; hamur kasasına giren katı materyalin kağıt makinesinin kurutma partisi sonunda ürün içerisindeki katı madde miktarına oranı olarak tanımlamaktadır. En basit tanımlama ise Tappi tarafından yapılmıştır. Bu tanım, pres kısmına getirilen tonajın, hamur kasasına boşaltılan tonaja

oranı şeklindedir. Ölçüm normalde makine denge koşulları altında iken gerçekleştirilebilir ve matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [1]:

$$TR = \{[(M_s \times 100) / SW_p] / SW_w\} \times H \times Q \quad (2)$$

- TR : Gerçek tutunum  
 M<sub>s</sub> : Rulodaki birim süredeki safiha ağırlığı  
 SW<sub>p</sub> : Prese giden safiha genişliği  
 SW<sub>w</sub> : Elek üzerindeki safiha genişliği  
 Q : Cetvel ağız birim sürede akış oranı  
 H : Hamur kasası konsantrasyonu oranı

Kağıt makinesi etkili bir beyaz-su arıtma ve döküntü geri kazanma sistemine sahipse, gerçek tutunum yaklaşık %90-95 olacaktır. Eğer, tutunum değeri bu değerin altında ise, proses ekonomik olmayacaktır. Amerikan Kağıt Enstitüsü kağıt endüstrisinde verimi yaklaşık olarak toplam ham materyalin %95 olarak belirlemiştir [1].

### 1.2.2.3. Kapsamlı Tutunum

İlk-geçiş tutunumu ölçümleri kayda değer hatalara maruz kalmaktadır. Çünkü, kağıt safihasını yapmak için hamur süspansiyonundan süzülen suyun tümü oluşum bölgesinde tablada toplanmamaktadır ve sonuçların doğruluğu tabla suyunun genel anlamda beyaz suyu ne kadar temsil ettiğine bağlıdır. Unbehend ve Britt ilk geçiş tutunum hesaplamasının dezavantajlarının üstesinden gelmek amacıyla kapsamlı tutunum adını verdikleri bir metodu önermişlerdir. Metot; kağıt makinesinin ıslak son sisteminin çeşitli bileşenlerinin materyal dengesine bağlıdır. Metot, couch'da istenen miktarı üretmek için hamur kasasından geçmesi gereken materyal miktarını hesaplar. Metotta kullanılmak üzere ıslak son örnekleri hamur kasası, tabla (beyaz su) ve couch olmak üzere üç noktadan toplanır. Couch'daki artıklar kullanılabilir. Çünkü, bunlar tüm safihayı temsil etmektedir ve bunları kullanmak örneğin safiha koparılmadan alınmasını sağlamaktadır.

Teknik, toplam katılar, lif fraksiyonu ve süspansiyon bir pigment veya mineral dolgu maddesi içeriyorsa hamur ve dolgu kırıntılarının oluşturduğu kırıntı fraksiyonun ilk-geçiş tutunumunun hesaplanmasına olanak sağlar. Özetle, ilk olarak hamur kasasının ve tablanın konsantrasyonu ilk olarak belirlenir. Sonra her üç örneğin bileşimi belirlenir. Couch örneğinin lif ve kırıntı materyal fraksiyonu yüzde miktarından ağırlıkça eş değer miktara çevrilir. Sonra lifin ilk geçiş tutunumu aşağıdaki gibi hesaplanır [1]:

$$\text{FPR lif} = 100 (A - B) / A \quad (3)$$

FPR lif : İlk geçiş tutunumu

A : Hamur kasası konsantrasyonu × Hamur kasasındaki lif fraksiyonu

B : Tabla konsantrasyonu × Tabladaki lif fraksiyonu

İlk-geçiş lif tutunumu genellikle doğrudur. Çünkü, fiilen hamurun uzun lif kısmı elek üzerinde tutulacaktır. Tutunum genellikle %90 ve daha fazladır. Bu değer sonra Couch örneğindeki eşdeğer lif ağırlık fraksiyonu hesaplamak için kullanılır. Bu dönüşüm hamur kasası bileşimi ile birlikte hamur kasası eşdeğer kırıntı ağırlık fraksiyonunu hesaplamak amacıyla kullanılır. Bulunan değer daha sonra Couch örneğinin kırıntı ağırlık fraksiyonu ile ilk-geçiş kırıntı tutunumuna varmak için karşılaştırılır. Bu yolla süspansiyonun tüm katı bileşenlerinin ilk-geçiş tutunumu ilk-geçiş tutunumu ölçümlerinden gelen yüksek potansiyel hata olmaksızın hesaplanabilir [1].

Britt ve Unbehend tarafından tanımlanan kapsamlı tutunum fabrikalarda yaygın olarak kullanılan metottan daha doğru bir ölçüm sağlarken, rutin olarak kullanılması çok zaman almaktadır. Başka bir deyişle, hamur kasası ve tabla konsantrasyonlarının karşılaştırılması ile belirlenen ilk-geçiş tutunumu hızlı ve kolaydır ve kağıt yapımcılarına faydalı karşılaştırma bilgisi sağlayabilir. Bununla birlikte dezavantajları da göz önüne alınmalıdır. Kapsamlı tutunumu belirleyen prosedür Tappi alt komitesi tarafından önerilmiş ve daha sonra Tappi test metodu

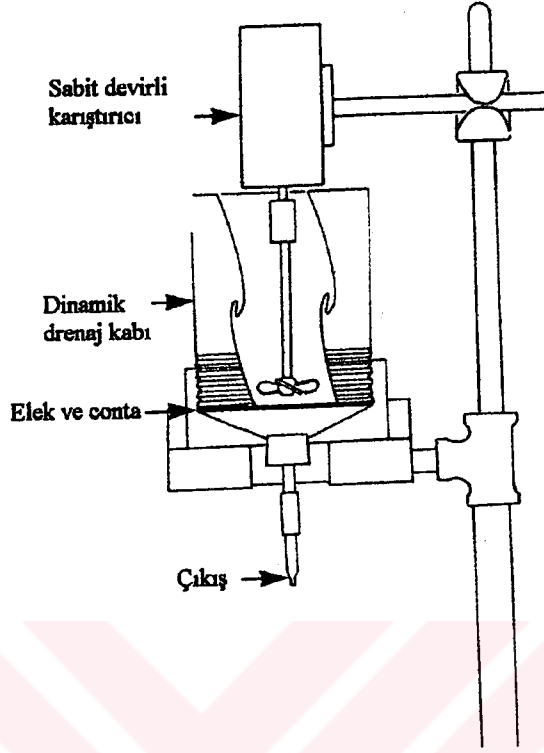
olarak kabul edilmiştir. Kanitz ve daha sonra Beck ve Kanitz yukarıda tanımlanan sadece ilk-geçiş lif tutunumunu kapsamlı tutunum olarak belirlemişlerdir. Unbehend ve Britt tarafından önerilen metot, süspansiyonun tüm bileşenlerinin ilk-geçiş tutunumlarını içerdiğinden ve her bileşenin tutunum değerini doğru olarak belirlemek için bileşenlerin ağırlık fraksiyonunu kullanması gerektiğinden yanıltıcı olabilmektedir. Beck ve Kanitz tüm bileşenler için tutunum değerlerinin uzun lif kısmı için kullanılan formülün aynısını kullanarak elde edilebileceğini ifade etmektedir. Bu durumun olması halinde metot konsantrasyon farkına dayalı standart ilk-geçiş tutunumu hesaplanmasından fazla bir avantaj sağlamayacaktır [1].

### 1.3. Laboratuvar Tutunum Ölçümleri

Bir çok laboratuvar aleti ve test metodu, araştırmacıların gerçek ölçülerdeki kağıt makinelerine bağlı kalmadan hamurları, tutundurucu maddeleri, dolgu maddelerini ve diğer ilave maddeleri inceleyebilmeleri için geliştirilmiştir. Bunlar serbestlik ölçmede ve manuel kağıt yapımında kullanılan aletlerin modifikasyonları yanında özel olarak tutunumu ölçmek için dizayn edilmiş aletleri içermektedir [1].

Standart manuel kağıt yapım aletlerinde yapılan çalışmalar hızlı ve basit olup, elde edilen kağıtların test edilebilme özellikleri bakımından avantajlıdır. Bununla birlikte, bunlar statik metotlardır ve hamur süspansiyonunun kağıt makinesi üzerinde maruz kaldığı türbülans ve makaslama kuvvetlerini yansıtamamaktadır [1].

Tutunumu ölçmek için özel dizayn edilmiş aletlerin içinde en önemlisi 1970' li yıllarda Britt ve Unbehend tarafından geliştirilen Dinamik Drenaj Kabıdır (Dynamic Drainage Jar, DDJ). DDJ kağıt makinesi üzerinde meydana gelen şartları simüle etmek için geliştirilmiştir ve kırıntı fraksiyonun sıvı faz ile elek altına geçme veya katı faz olarak elek üzerinde kalma eğilimini göstermektedir. Bu aleti kullanarak elde edilen sonuçlar, seçilen ve kontrol edilen şartlar altında kırıntı fraksiyonun tutunumunu ifade etmektedir. Alet Şekil 1' de gösterilmiştir [1].



Şekil 1. Dinamik Drenaj Kabı [5].

Dinamik drenaj kabı ile yapılan çalışmalarda ölçülen parametre stok sisteminin keçe oluşumundan bağımsız kırıntı tutma kabiliyetidir [6].

Bu alet aynı zamanda kırıntı fraksiyonunu belirlemek için de yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Rundlöf, Htun, Höglund ve Wagberg [7] yaptıkları çalışmada fraksiyonlama metodu ile TMP kırıntı materyali özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri araştırmışlardır ve laboratuarda dinamik drenaj kabı kullanarak yapılan fraksiyonlama işleminin Bouer McNet ile yapılanla kıyaslandığında hem daha az su kullanması hem de fabrikadaki elde edilen kırıntı özelliğine daha yakın kırıntı elde etmesi açısından daha faydalı olduğunu tespit etmişlerdir.



Kanada ve Shopper-Reigler serbestlik aletleri de tutunumu belirlemek için kullanılmaktadır. Werdouschegg tarafından tanımlanan “minidrinier” gibi aletler lif ve kırıntıların cetvel ağzından çıkışı ve elek üzerinde yerleşmesini yansıtmışlardır. G/W drenaj tutunum aleti her şeyden önce farklı stok özelliklerinin drenaj üzerine etkilerini ölçen bir alettir. Bununla birlikte, toplanan süzütünün bulanıklığı ölçülerek kırıntı tutunumu da hesaplanabilmektedir. Buradan elde edilen sonuçlar diğerleri gibi statik olmaları açısından gerçeği yansıtamamaktadır [1].

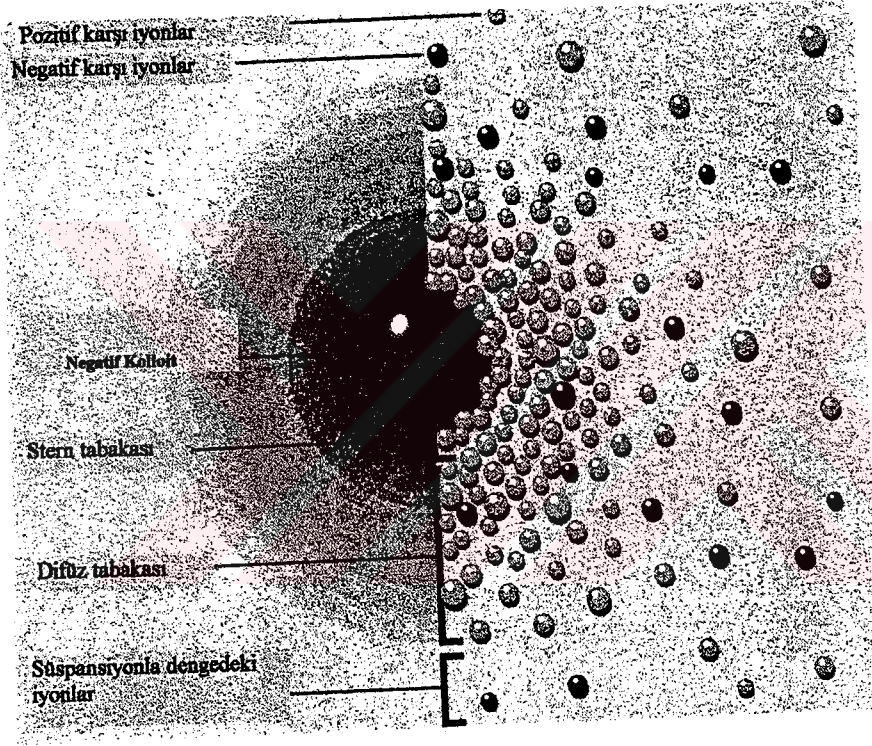
#### 1.4. Elekterokinetik Açından Tutunma ve Zeta Potansiyeli

##### 1.4.1. Elektriksel Çift Tabaka

Hamur süspansiyonu içerisindeki katı partiküller (dolgu ve lif) negatif yük taşımaktadır [8]. Negatif kolloitten gelen çekim ile pozitif iyonların bir kısmı kolloit yüzeyi çevresinde sıkı şekilde yapışmış bir tabaka oluşturur. Zıt yüklü (pozitif) iyonların bu tabakası *Stern Tabakası* olarak bilinmektedir. İlave pozitif iyonlar hâlâ negatif partikül tarafından çekilirler, fakat aynı zamanda oluşan stern tabakası tarafından itilirler. Bu dinamik denge, zıt yüklü iyonların *Difüz Tabakasını* meydana getirir. Pozitif iyon difüz tabakası, kolloit yanında yüksek, solüsyon içerisinde zıt yüklü iyonların konsantrasyonu ile dengeye ulaşana kadar mesafeyle yavaş yavaş azalan bir konsantrasyona sahiptir. Benzer fakat zıt biçimde, negatif iyonlar negatif kolloit tarafından itildikleri için yüzey çevresinde bulunmamaktadırlar (Şekil 2). Negatif yükler kolloit ile aynı yükü taşıdıklarından koiyonlar (co-ion) olarak adlandırılmaktadır. Kolloidin itme kuvveti pozitif iyonlarca kaybedildiği için solüsyon içerisinde dengeye ulaşana kadar negatif yük konsantrasyonu yavaş yavaş artacaktır [9].

Yüzeyden herhangi bir uzaklıkta, yük yoğunluğu o noktadaki pozitif ve negatif iyonların konsantrasyonundaki farka eşittir. Yük yoğunluğu kolloidin yakınında çok yüksektir ve hızlı şekilde sıfıra doğru azalır. Stern tabakası ve difüz tabakası içindeki yüklü atmosfer *Çift Tabaka* olarak adlandırılmaktadır. Çift tabakanın kalınlığı süspansiyon içerisindeki iyonların

konsantrasyonuna ve tipine bağlıdır. Yüksek iyon seviyesi kolloidi nötralize etmek için daha fazla pozitif iyonun bulunduğu anlamına gelir ve çift tabaka kalınlığı azalır. İyonik konsantrasyonu azaltmak (seyreltme gibi) pozitif iyonların sayısını azaltır ve çift tabaka kalınlığı artar. İyon tipi pozitif zıt iyonun valans değeri anlamına gelmektedir. Örnek olarak, eşit konsantrasyonda  $Al^{+3}$  iyonları  $Na^{+}$  iyonlarına göre kolloidal yükü nötralize etmede daha etkili olacaktır ve çift tabaka kalınlığını azaltacaktır . İyon konsantrasyonunun çift tabaka kalınlığına etkisi Şekil 3' de verilmiştir [9].

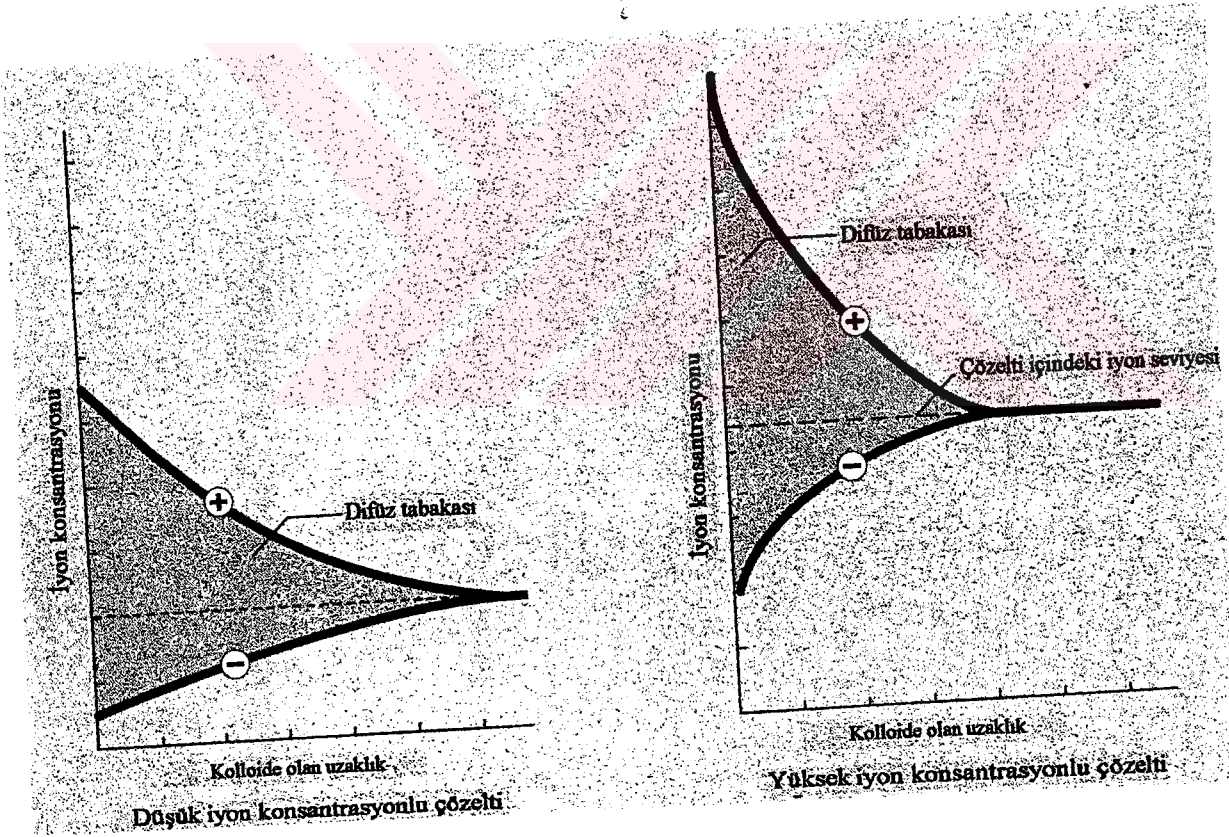


Şekil 2. Elektrostatik çift tabaka modeli (sol taraf iyon yoğunluğunu ve sol taraf iyon dağılımını göstermektedir)

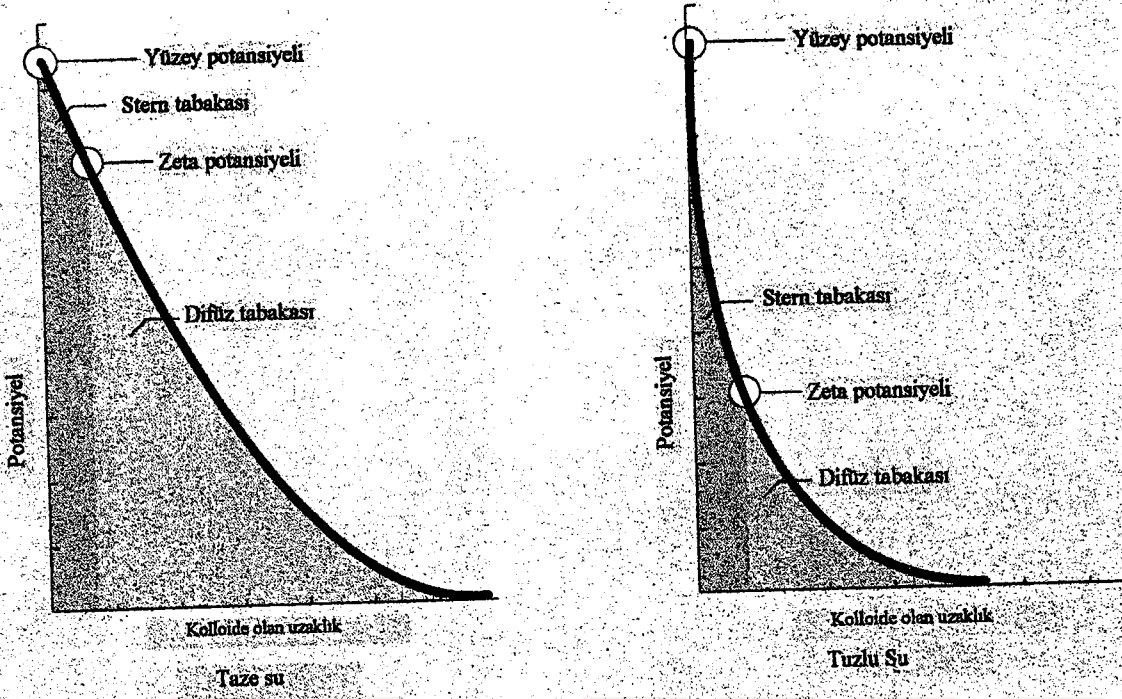
#### 1.4.2. Zeta Potansiyeli

Negatif kolloid ve çevresindeki pozitif yüklü difüzyon tabakası boyunca elektriksel bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu potansiyel, kolloid yüzeyinde en yüksektir ve difüzyon tabakasının

dışında sıfıra yaklaşacak şekilde mesafeyle birlikte sürekli olarak azalır. Potansiyel eğrisi kolloidler arasındaki itme kuvvetinin büyüklüğünü ve bu kuvvetlerin önemli rol oynadığı mesafeyi gösterdiği için faydalıdır. Zeta potansiyeli stern ile difüz tabakasının birleştiği noktada ölçülmektedir. Yüzey potansiyeli doğru olarak kolayca ölçülemezken zeta potansiyeli ölçülebilmektedir. Zeta potansiyelindeki değişiklik kolloidler arasındaki itme kuvvetindeki değişikliği gösterdiği için, koagülasyon kontrolü için etkili bir araçtır. Zeta potansiyeli oranı ve yüzey potansiyeli çift tabaka kalınlığına bağlıdır. Zeta potansiyeli ve yüzey potansiyeli arasındaki ilişki süspansiyon içerisindeki iyon düzeyine bağlıdır. Taze suda, geniş çift tabaka zeta potansiyelini yüzey potansiyeline yaklaştırır. Tuzlu suda çift tabakanın daralmasından dolayı zeta potansiyeli ile yüzey potansiyeli arasındaki fark artmaktadır. Zeta potansiyeli ile yüzey potansiyeli arasındaki ilişki Şekil 4' de verilmiştir [9].



Şekil 3. Çift tabaka içerisindeki iyon konsantrasyonunun değişimi



Şekil 4. Zeta potansiyeli ve yüzey potansiyeli

#### 1.4.2.1. Zeta Potansiyeli Ölçüm Metotları

Zeta potansiyeli elektro kinetik olaylar kullanılarak ölçülmektedir. Ölçümlerde, bir dış elektro motor kuvveti uygulamasının ya sınır yüzeyi ile orantılı olarak sıvının ya da sıvı ile orantılı olarak sınır yüzeyinin bir hareketine neden olması ile karakterize edilir. Zeta potansiyelini ölçmek amacıyla dört temel metot tanımlanabilir . Bu metotlar [8]:

1. Elektroforez: Partiküller uygulanan bir potansiyelle sıvı içerisinde hareket ederler.
2. Elektroosmoz: Sıvı bir katı yüzeye oranla uygulanan potansiyelle hareket eder.
3. Streaming Potansiyeli: Sıvı, katı yüzeye oranla hareket eder ve bu, yüzeyde bir akım meydana getirir.
4. Sedimentasyon Potansiyeli ( Dorn etkisi): Partikül bir sıvı içerisinde hareket eder ve bu nedenle bir potansiyel meydana gelir .

#### **1.4.2.1.1. Mikroelektroforez**

En yaygın metot mikroelektroforez metodudur. Bu metotta süspansiyon içerisinde iki elektrot arasında sabit bir potansiyel fark uygulanır. Partiküllerin hareketi bir mikroskopla gözlenir. Partiküllerin hareketi zeta potansiyeli ile orantılıdır [8].

Bu metot potansiyel eğim içinde bireysel partiküllerin hızını ölçer. Bu metot fabrikalarda zeta potansiyeli ölçümünde fazlaca kullanılmaktadır. Bu metodun avantajı, taşınabilir ekipmanlar kullanarak yapılabilen hareketlilik belirlemesindeki oransal hızdır. Dezavantajı, sadece süspansiyonun koloidal kısmını ölçüyor olmasıdır. İnce partiküllerin daha büyük partiküllerden meydana geldiği ve bu yüzden tüm sistemi temsil edip etmediği tartışılmaktadır. Karşı görüş, kırıntı partiküllerin sistem içerisinde ilave maddelerle farklı tepkiler verdikleri ve bütün sistemi yansıtmayan bir zeta potansiyeli verecek olmasıdır [3].

#### **1.4.2.1.2. Elektrosmoz**

Elektrosmoz'da dışarıdan uygulanan bir elektrik alanı süspansiyon akışına neden olur. Elektrosmoz'da iki çalıştırıcı elektrot uç ve tapa boyunca elektrik alanını kaydeden iki ölçücü elektrot bulunmaktadır. Sıvının hareketi hava kabarcığı taşıyan bir ölçüm kapileri yardımı ile belirlenir. Tapa boyunca bir elektrik alanı uygulandığında çift tabaka iyonları yer değiştirmeye başlar ve elektriksel ve viskoz kuvvetler birbirini dengelediklerinde sabit faza (duruma) bir süre sonra ulaşır. Duvarla oransal olarak sıvının teğetsel yer değiştirmesi, potansiyelin zeta potansiyeline eşit olduğu bir ayrılma yüzeyini verir [8].

#### **1.4.2.1.3. Streaming Potansiyeli**

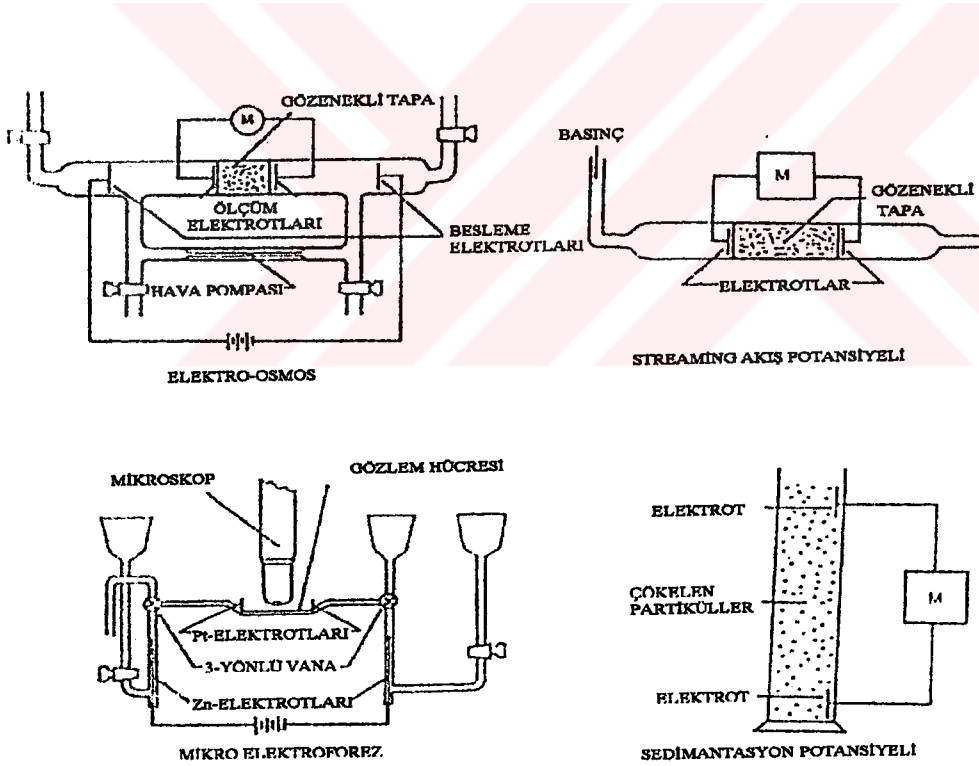
Bu sistemde sıvı sabit bir kalınlıktaki katı fazdan geçmeye zorlanır [3]. Streaming potansiyeli, koloidal süspansiyondaki gibi bir sıvı faz arasındaki sınır yüzeyinde bir elektrostatik çift tabakanın oluşumuna bağlıdır. Eğer sıvı faza, katı faza oranla bir hareket verilirse, makaslama (ayrılma) düzlemi dışarısına yerleşmiş bulunan sıvının bir kısmı kapiler

duvar boyunca taşınacaktır. Ayrılma düzleminde potansiyel (zeta potansiyeli) sıfır olmadığı için, ayrılma düzleminin dışında aşırı bir yük sıvı ile birlikte taşınacaktır. Yük yer değiştirdiğinde elektrostatik alan meydana gelir ve potansiyel fark kapiler boyunca yerleştirilmiş iki elektrot arasında ölçülebilir [8].

#### 1.4.2.1.4. Sedimentasyon Potansiyeli

Sedimentasyon potansiyeli (dorm etkisi) elektroforeze zıt bir metottur. Partiküle diğer kuvvet alanı (yerçekimi alanı, ses alanı vb.)kullanımı yardımı ile sıvı faza oranla bir hareket verilir ve bu suretle meydana getirilen potansiyel iki elektrot arasında ölçülür [8].

Şekil 5' te farklı zeta potansiyeli ölçüm metotlarının şematik gösterimi verilmiştir [8].



Şekil 5. Farklı zeta potansiyeli ölçüm metotları

### 1.4.3. Zeta Potansiyelinin Hesaplanması

En yaygın zeta potansiyeli denklemi Helmholtz-Smoluchowski eşitliğidir [8]:

$$\zeta = n \times V_E / \epsilon_r \times \epsilon_0 \times E \quad (4)$$

- $\zeta$  : Zeta potansiyel  
 $n$  : Ortamın viskozitesi  
 $V_E$  : Elektro kinetik hareketlilik  
 $\epsilon_r$  : Di elektrik katsayısı  
 $\epsilon_0$  : Vakum Geçirgenliği  
 $E$  : Elektrostatik alan kuvveti

Eşitlikte  $V_E/E = U$  işlemiyle belirlenen "U" elektroforetik hareketlilik olarak adlandırılır. Eşitlik bazı sınırlamalara sahiptir. Bunlar:

1. Elektrostatik çift tabakanın kalınlığı partikül çapıyla karşılaştırıldığında küçük olmalıdır.
2. Yüzey iletkenliği düşük olmalıdır [8].

### 1.4.4. Zeta Potansiyeli Ölçümlerinin Uygulanması

Birçok çalışma zeta potansiyelinin tutunum, drenaj ve beyaz su sistemine etkisini göstermek için gerçekleştirilmiştir. En iyi işleyişin izo-elektrik noktasında (sıfır zeta potansiyelinde) meydana geldiği kaydedilmiştir. Bu durumda partiküllerin ve yüzeylerinin birbirlerine yaklaşması için bir zorlama meydana gelmemektedir [3].

Eğer tutunum ve adsorpsiyon sadece bir yük nötralizasyonuna bağlı ise yukarıdaki durum geçerlidir. Tuzların ve düşük molekül ağırlıklı organik polielektrolitlerin veya polimerlerin ilavesi bu amaç için kullanılabilir. Köprü veya yapışma mekanizması

kullanıldığında materyal üzerindeki tüm yükün maksimum etkinlik için sıfıra indirilmesine ihtiyaç duyulmaz. pH ile birlikte sistemin çalışması, zeta potansiyelini monitörde izleyerek artırılabilir ve optimize edilebilir. Değişkenliği kontrol etmek her konuda yeterli değildir, fakat tutunum ve ıslak son kontrolünün önemli bir kısmını teşkil eder [3].

Kolloidal süspansiyonların performansı süspansiyon içerisindeki kolloidal partiküller arasındaki toplam etkileşim kuvvetlerini yansıtan zeta potansiyelini (efektif yüzey yükü) değiştirerek artırılabilir. Bir çok endüstriyel uygulamalarda süspansiyonlar içerisinde birden fazla koloidal partikül türü vardır. Kağıt üretiminde, bu kolloidal maddelerin zeta potansiyeli, kağıt kalitesini, üretim maliyetini ve atık işlem sisteminin yükünü etkileyen kırıntı tutunum etkililiğini, filtrasyon basınç düşüşünü ve kırıntı dağılımını belirler [10].

Miyanishi [11] kağıt üretim şartlarının asitten nötrallığe geçtiğinde zeta potansiyelinin  $-2 \text{ mV}$ ' tan  $-7 \text{ mV}$ ' ye azaldığını tespit etmiştir. Zeta potansiyelindeki bu değişiklik selülozun ve hemiselülozun karboksil gruplarının çözülmesi, odun reçinelerinin liften çözünerek beyaz su içerisine geçmesi, şap ilavesinin azalması, şap aktivitesinin azalması ve anyonik maddelerin PCC (çöktürülmüş kalsiyum karbonat) tarafından adsorpsiyonundan kaynaklanmıştır.

Kırıntı materyalin ve liflerin tutunumu zeta potansiyel kontrolü ile artırılabilir. Bu beyaz su geri kazanma sisteminin yükünü azalttığı gibi atık su tesislerinde üretilen çamur miktarını da azaltır. Zeta potansiyel ölçümleri aynı zamanda kağıt üreticilerine çeşitli kağıt bileşenlerinin etkilerini anlamalarına yardım eder [12].

Strazdins [13] mikroeletroforezin kolloidal partiküllerin ve selülozik liflerin sulu süspansiyonlarının elektro kinetik yük türünü ve büyüklüğünü tamamlamak için uygun bir teknik olduğunu belirtmiştir.



## 1.5. Tutunma Mekanizmaları ve Tutunumu Etkileyen Faktörler

### 1.5.1. Tutunma Mekanizmaları

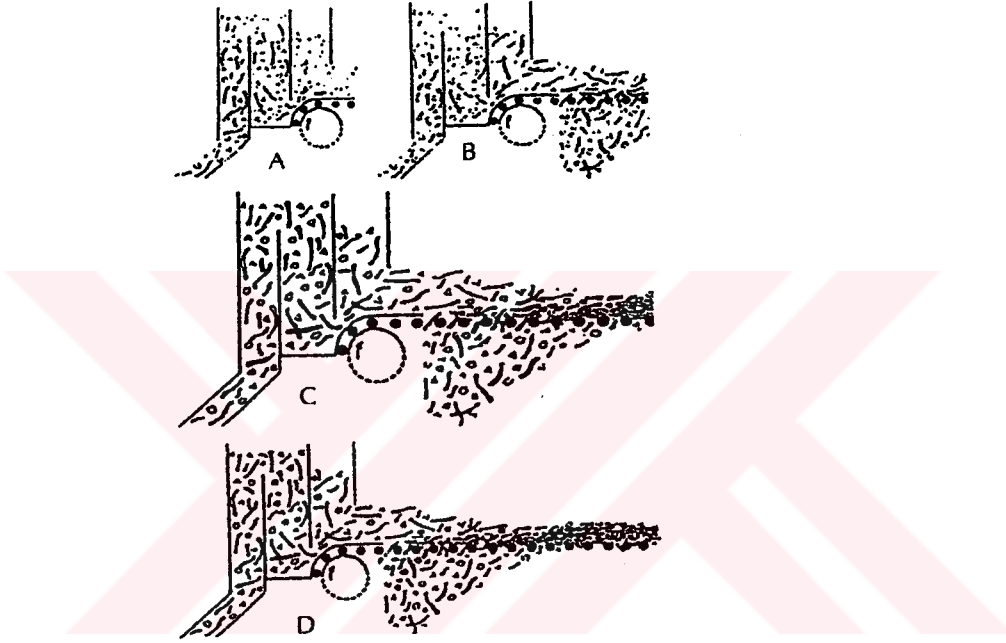
Kırıntı lif ve kolloidal partiküllerin kağıt üretim prosesinde tutunumu karmaşık bir fizikokimyasal işlemdir. Kağıt üretim sistemlerinde tutunum iki temel tutunma mekanizmasından biri ya da her ikisiyle birlikte meydana gelmektedir. Bunlar, mekanik tutunum (filtrasyon) ve kimyasal tutunumdur [8]. Çözülmüş materyaller süspansiyon halindeki katılara adsorpsiyon ya da kimyasal bağlanma ile tutulurken, süspansiyon halindeki katılar liflerin keçe oluşturması ile birlikte mekanik filtrasyonla tutulurlar. Bu belirli bir dereceye kadar partiküller arasındaki çekme ve itme kuvvetleri olmaksızın meydana gelecektir. Kırıntı partiküllerin (inorganik dolgu maddesi ve selülozik lifler) kısmen küçük boyutlarından dolayı safiha içerisinde tutulması zordur ve bu materyalin çok fazla miktarı elekten geçecektir. Kırıntı fraksiyon kolloidal tutunum artırıcı madde ilavesi yoksa beyaz su sistemine karışacaktır [1].

Tutundurucu maddeler, kırıntı fraksiyonun birbirleriyle küme oluşturmalarını veya uzun liflere adsorplanmalarını sağlayan yüzey aktif maddelerdir. Asidik bir kağıt üretim sisteminde tutulacak tüm kırıntı (dolgu ve lif kırıntıları) partiküller anyoniktir. Bu yüzden, tutunum için kullanılan kimyasallar, mekanik hamur esaslı sistemler için kullanılan polietilen oksit hariç kationiktir [1].

#### 1.5.1.1. Mekanik Yolla Tutunum

Teknik olarak kağıt üretiminde safihanın oluşması bir filtrasyon prosesi olarak düşünülebilir. Safiha formasyonu büyük liflerin tutunumu ile başlar. Daha sonra, tutulan lifler arasındaki gözeneklerin açıklığı azaldıkça kırıntı materyal tutulmaya başlar. Bu lif tutunumu prosesi elek tarafında kaba, üst tarafta ise ince ve yoğun bir yapı meydana getirmektedir [8]. Kağıt üretiminde tutunma mekanikleri arasındaki ilişki Şekil 6' da gösterilmiştir [1].

Şekil 6A elek üzerine gelen süspansiyonu göstermektedir. Burada levha üzerinde bir drenaj meydana gelmemektedir. Süspansiyon elek üzerine geldiğinde, kağıt bileşenlerini elek üzerinde tutmada elek geometrisi dışında çok az olanak vardır (Şekil 6B) ve elekten geçerek elek havuzuna giden kırıntı partikül oranı fazladır. Keçe oluştuğunda (Şekil 6C ve 6D), keçe geometrisi süspansiyon içindeki ince kırıntı materyalin tutunumuna etki etmeye başlayacağı için süspansiyon içindeki materyal daha fazla tutulur [1].



Şekil 6. Fourdrinier üzerinde tutunum; A: Süspansiyonun elek üzerine gelişi, B: Elek geometrisinin tutunuma etkisi, C ve D: Safiha oluşumunun tutunuma etkisi

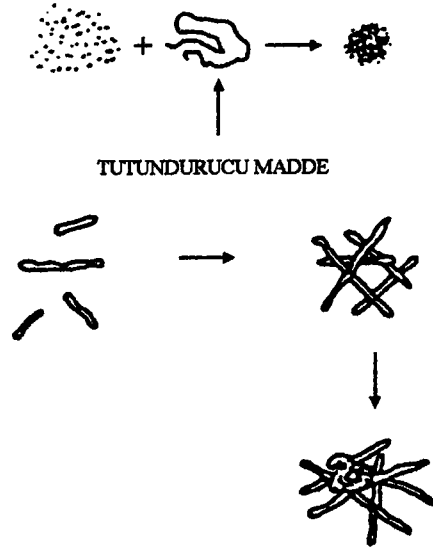
#### 1.5.1.2. Kimyasal Yolla Tutunum

Kağıdın yapısını oluşturan bileşenler kağıt üretimi sonunda kağıdı meydana getiren lif, dolgu ve kimyasallardan oluşmaktadır. Kimyasal maddeler tutunumu çok yakından etkilemektedir. Kimyasal maddelerin kullanımı ile aşağıdaki faydalar sağlanabilmektedir [1]:

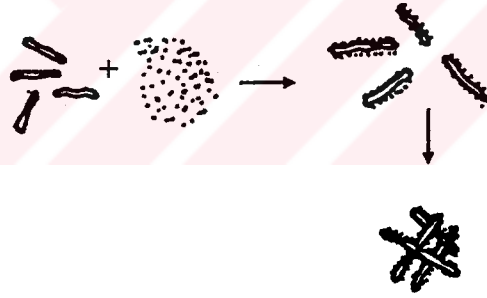
- 1- Kırıntı lif, dolgu maddesi ve uzun liflerin makro partikül veya küme oluşturmalarını sağlayarak safihada tutulması istenen partiküllerin boyutunu artırır ( Şekil 7).
- 2- Süspansiyonun bir kısmının (kırıntı partikül) iyonikliğini değiştirebilir ve boyutlarından dolayı tutulacak olan daha büyük partiküllere bağlanmalarına neden olabilir (Şekil 8).
- 3- Kimyasal yolla tutunum, oluşturulan safiha içindeki gözenek boyutunu azaltabilir. Yüksek molekül ağırlıklı katyonik polimerlerin aşırı flokülasyonlu ve geniş gözenekli safiha oluşumuna neden olabilir. Yüksek molekül ağırlıklı anyonik polimerler (özellikle hidrolize edilmiş poliakrilamidler ve mannogalaktan tutkalları) safiha formasyonun düzelmesine neden olabilir ve bu da daha küçük gözenekli bir safiha meydana getirmesi anlamına gelir.

Kırıntı partiküller safiha içerisinde Şekil 7' de görüldüğü gibi ince partikülleri makro partikül içine katarak ve Şekil 8' de görüldüğü gibi ince partikülleri %100 tutulacak olan liflere bağlayarak tutulabilirler: [1].

Kolloidal tutunumun seviyesi, stok içerisinde oluşan kümelerin kağıt makinesinin hamur kasası veya ıslak sondaki formasyon bölgesinde karşılaştıkları türbülanslara karşı dirençlerine bağlıdır. Kağıt üretiminde oluşan kümeler iki farklı gruba ayrılır. Bunlar; sıkı (hard) kümeler ve sıkı olmayan (soft) kümelerdir. Sıkı olmayan bir küme makaslamaya maruz kaldıktan sonra ilk kümelenmede verdiği tutunumuna kadar kümelenecektir. Bu tip küme makaslamaya karşı sınırlı dirence sahiptir ve yüksek makaslama seviyelerinde tutunmada sadece ılımlı bir artış sağlar. Sıkı olmayan kümeler tuzlar ve düşük molekül ağırlıklı polimerler tarafından oluşturulur. Sıkı kümeler, makaslama kuvvetleri ile karşılaştıklarında büyük direnç gösterirler ve kuvvetli türbülanslarda çok iyi tutunma verirler. Bu tip kümeler dağıtıldıklarında, tekrar oluşan küme daha düşük düzeyde tutunum gösterecektir ve bu kümeler yüksek molekül ağırlıklı polielektrolitler ve çift polimer sistemleri tarafından meydana getirilmektedir [4].



Şekil 7. Flokülasyon-küçük partiküllerin süspansiyon içerisinde makro partikül içinde toplanmaları ve tutunumu



Şekil 8. Aglomerasyon / koagülasyon-küçük partiküllerin büyük liflere yapışması ve tutunumu

Formasyon genel olarak lif kümelerinin boyutu ve dağılımlarına bağlı olmaktadır. Sıkı olmayan kümeler safihaya bulutluluk verme eğilimine sahip sıkı kümelerden daha iyi formasyon vermektedir [14].

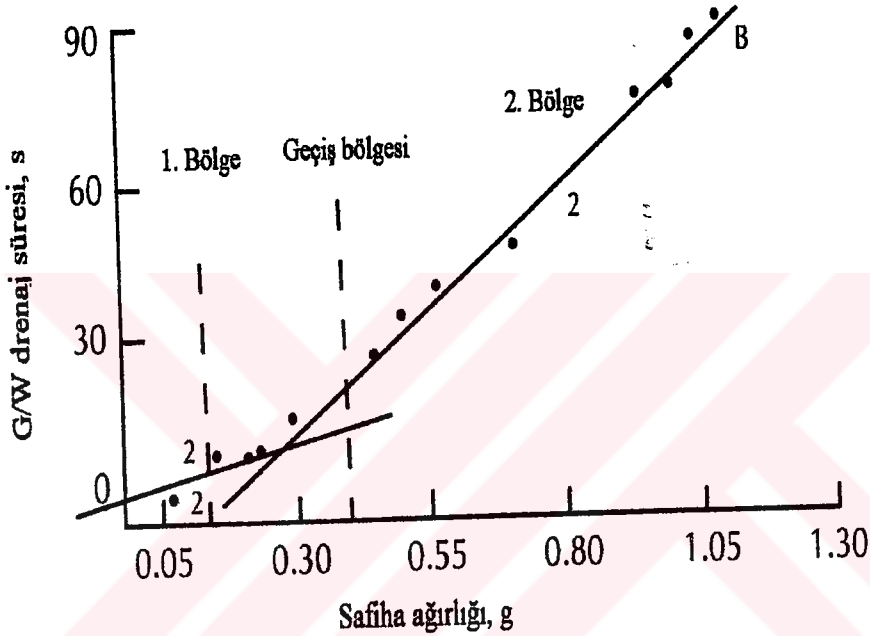
Aglomerasyon veya koagülasyon birbirleri ile ilişkili olan partiküllerin yükünün değiştirilmesi olayıdır. Bu, yüksek katyonik yük yoğunluklu, düşük molekül ağırlıklı polimerin (asidik kağıt üretim durumunda) dolgu maddesinden önce süspansiyona ilave edilmesi ile yapılır. Lif kırıntıları, liflerle karşılaştırıldığında daha fazla hareketliliğe ve yüzey alanına sahip olduklarından polimerlerle tercihi olarak ilişkiye girerler. Yüksek yük yoğunluklu bu polimerler Gregory tarafından önerilen teoriye göre kırıntı lifler üzerinde katyonik noktaların oluşumuna neden olacaktır. Daha sonra, kırıntı lifler üzerindeki katyonik merkezlerin lifler üzerindeki anyonik merkezlere çekileceği ve bunun da kırıntı partiküllerin liflerle tutunumuna neden olacağı hipotez olarak belirtilmiştir. Aglomerasyon ve koagülasyon terimleri kağıt yapımında birbiri yerine kullanılmaktadır. Koagülasyon su işlemlerinde çalışanlarca kullanılırken, aglomerasyon direkt olarak kağıt makinesi çalışanlarınca kullanılır. Koagülasyon, sistemin zeta potansiyeli sıfıra yaklaştığında ve süspansiyon bileşenleri arasında maksimum bir etkileşim mevcut olduğunda meydana gelen makro partikülleri oluşturma eğilimindedir. Aglomerasyon zıt yüklü materyaller arasında oluşan etkileşimdir. Genel olarak, aglomerasyon lif partiküllerinin tutunumu için ve pahalı dolguların (öncelikte titanyum dioksit) tutunumunda yüksek görsel etkinlik istendiğinde kullanılır [1].

## **1.5.2. Tutunumu Etkileyen Faktörler**

### **1.5.2.1. Üretilen Özgül Ağırlık**

Weyerhaeuser' in geliştirdiği G/W testini kullanarak yapılan tutunum çalışmaları başlangıç drenaj oranındaki değişimin özgül ağırlık ile doğru orantılı olmadığını göstermiştir (Şekil 9). Grafik iki doğrudan oluşmakta ve geçiş bölgesinde birleşmektedir. İlk doğrusal çizgi bölgesinde, lif kırıntılarının tutunumu eleğin geometrisi ile orantılıdır. Bu yüzden, eleği geçen lif kırıntı yüzdesi sabittir. Bundan dolayı, ilave edilen lif miktarı ile tutunum arasında doğru orantı vardır. Geçiş bölgesinde, meydana gelen safihanın geometrisi tutunum üzerinde bir etkiye sahip olmaya başlar. Bu yüzden, lif kırıntılarının tutunumu ağırlığın artması ile artar ve ağırlık ile tutunum arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır. İkinci doğru çizgi bölgesinde tutunum

tekrar lineer duruma geçer ve safihanın geometrisi ile kontrol edilir. Böylece, özgül ağırlık ile drenaj arasındaki ilişki tekrar lineer hale gelir. G/W test aletinde yapılan çalışmalar safiha özgül ağırlığının artması ile birlikte ilk-geçiş kırıntı tutunumunun ve tutulan kırıntı materyalin drenaja etkisinin arttığını göstermiştir. Kırıntı lifler, liflerle karşılaştırıldığında çok daha yüksek yüzey alanı/ağırlık oranına sahip oldukları için, ilk-geçiş kırıntı lif tutunumunda safihadan su uzaklaştırma üzerinde etkiye sahip sadece küçük bir değişiklik meydana getirir [1].

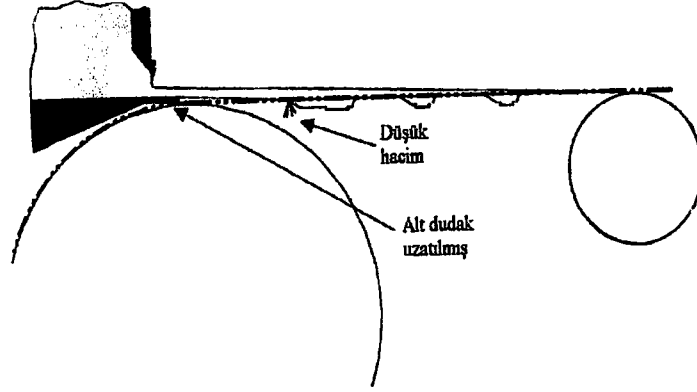


Şekil 9. Safiha ağırlığına bağlı olarak G/W drenaj süresinin değişimi

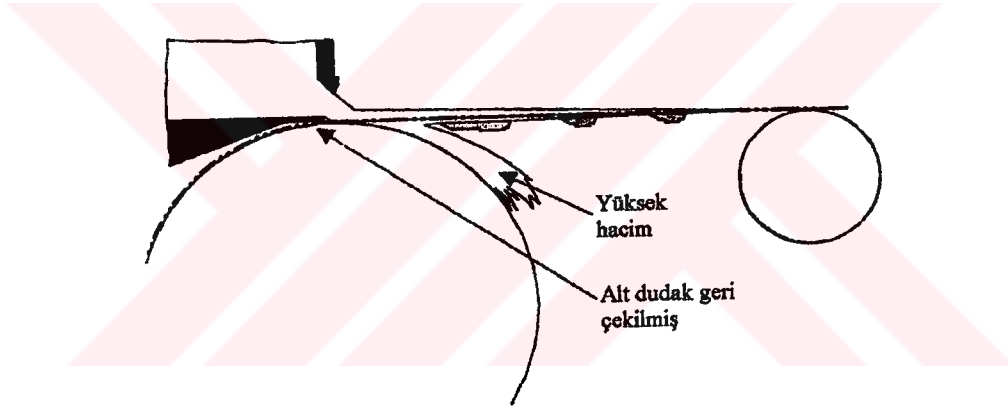
Bernier ve Begin [15] safihanın temel ağırlığının artmasıyla tutunum için gerekli olan polimer ilave miktarının azaldığını kaydetmişlerdir.

### 1.5.2.2. Safihanın Meydana Geldiği Formasyon Şekli

Süspansiyon hamur kasasından fourdrinier üzerine paralel (hız formasyonu, Şekil 10) veya bir açı yaparak ( basınç formasyonu, Şekil 11) iki farklı şekilde verilir [1].



Şekil 10. Safihanın hız formasyonu



Şekil 11. Safihanın basınç formasyonu

Hız formasyonunda, basınç formasyonu ile karşılaştırıldığında safiha kısmen yavaş yavaş oluşturulur. Basınç formasyonunda lif kırıntılarının başlangıç tutunumu süspansiyonun sonsuz eleğe çarpma şekilinden dolayı zayıftır. Bununla birlikte, safiha hızlı şekilde oluştuğundan dolayı gerçek tutunum iyidir. Hız formasyonunda, safihanın formasyon hızının düşük olması basınç formasyonu ile oluşan sayfadan daha zayıf gerçek ilk geçiş tutunumlu bir sisteme neden olmaktadır. Bununla birlikte, bir basınç formasyon sistemi genellikle flokülantların

kullanımından etkilenmez ve tutunumu değiştirmek için dozajda büyük bir değişikliğe ihtiyaç duyulur. Diğer taraftan, hız formasyonu ile meydana gelmiş bir safiha, tutunum maddesi kullanımındaki bir değişikliğe aşırı şekilde duyarlıdır ve aşırı reaksiyondan kaçınmak için dozaj yavaşça değiştirilmek zorundadır [1].

### **1.5.2.3. Safiha İçerisindeki Gözenek Boyutları**

Süspansiyon içerisindeki liflerin daha kaba olması ve ibreli odun lif oranının artması ile, safiha içindeki gözenek boyutu artacaktır. Böylece, kırıntı lifler ve dolguların bir araya gelerek oluşturdukları makropartiküller tutunumu etkilemek için daha büyük olmak zorunda kalacaklardır [1].

### **1.5.2.4. Safihadan Su Uzaklaştırılması**

Foiller ve tabla silindirlerinin uyguladığı vakum safihayı açık tutma eğilimindedir ve bu, tutunumu azaltır. Kısmen güçlü vakum basınç formasyonu ile oluşmuş safihada süspansiyondan su uzaklaştırılması için gereklidir. Safiha formasyonunun hızı arttıkça suyun safiha içerisinden çekilmesi için kuvvetler daha büyür. Bu vakum hız formasyonunun kullanıldığı bir sistemde aynı derecede gerekmez. Çünkü, safiha basınç formasyon sistemleri ile karşılaştırıldığında kısmen yavaş hızda meydana gelir [1].

### **1.5.2.5. Odun Türünün Etkileri**

İğne yapraklı odun lifleri yapraklı ağaç odunu liflerinden 2-3 kat daha uzundur. Aynı zamanda, bir iğne yapraklı odunu lifi yapraklı ağaç odun lifiyle aynı serbestlikte karşılaştırıldığında daha esnektir. İğne yapraklı ağaç odunu lifleri, safihanın sağlamlığına katkıda bulunmasına ek olarak, süspansiyonun süzülmesi ile karışık (birbirine dolaşmuş) bir keçe oluşturacaktır. İğne yapraklı ağaç odun liflerine göre daha kısa ve daha sert olan yapraklı ağaç odunu lifleri, bu keçe içerisindeki boşluklara akma ve buraları doldurma eğilimi göstermektedir.



Kırıntı ve dolgu maddeleri devamlı birikerek safihadan geçtikleri yerlerde safihaya yapısını karışık hale getirir [1].

#### **1.5.2.6. Lif Kabalığının Etkisi**

Lif kabalığı; lif ağırlığının lif uzunluğuna oranı anlamına gelmektedir. Kağıt yapımında, kabalık lifin esnekliğini tanımlamak için faydalıdır. Yüksek kabalığa sahip lif düşük bir kabalığa sahip lifden daha esnek olacaktır. Hacimli bir sayfa doğal olarak yapısı içerisinde daha büyük boş bölgelere sahip olacaktır. Tutunma, keçe içerisindeki bu tip bölgelerin daha düşük süzme direnci göstermesinden dolayı daha düşüktür [1].

#### **1.5.2.7. Hamur Üretim Prosesinin Etkisi**

Farklı hamur üretim prosesleri kırıntı miktarları ile lif esnekliğini (sertliğini) değiştirecektir. Tipik olarak mekanik hamur üretim prosesleri (taş mekanik, termomekanik hamur üretim v.b.) life çok daha fazla hasar verir ve daha çok kırıntı lif oluşumuna neden olurlar [1].

Lif kabalığındaki farklılıklar hem hücre çeper kalınlığına hem de hücre çeperi içerisinde kalan lignin miktarına bağlı olabilmektedir. Hücre çeperi odun içerisinde bulunan ligninin %40-50'sini taşımaktadır. Daha kalın bir hücre çeperi daha az esnek olacaktır. Mekanik hamur prosesleri sadece lifleri birbirinden ayırırken, kimyasal hamur üretim prosesleri liflerden lignini uzaklaştırmaktadır. Lignin hücre çeperi içerisinde bir birleştirici gibi hareket eder ve lif esnekliğini azaltır [1].

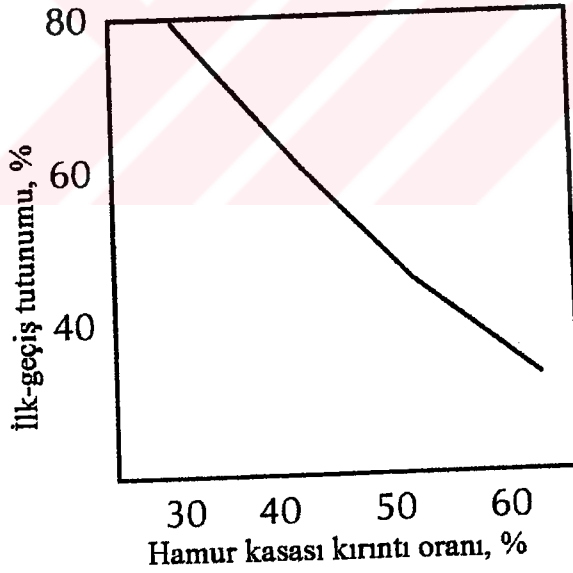
#### **1.5.2.8. Dövmenin Etkisi**

Kağıt yapımcıları dövme için kağıt özelliklerine etki etmek için lif karakteristiklerini değiştirmek amacıyla kullanmaktadır. Değişiklikler liflerin rafinör girinti ve çıkıntılarında

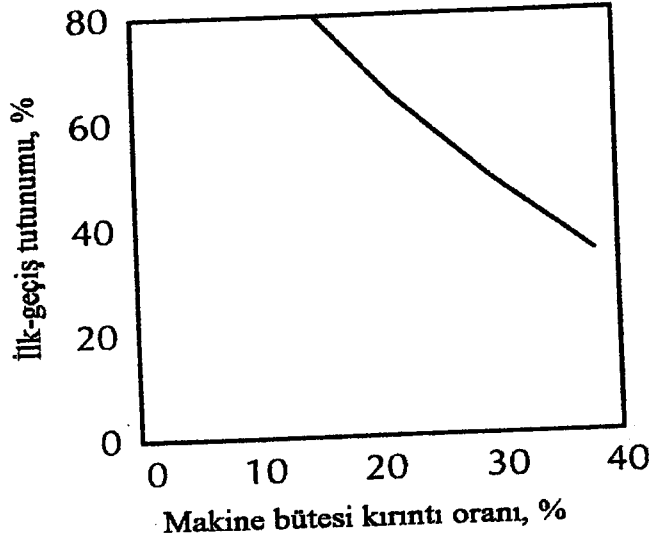
akmaya zorlanmaları sırasında birbirlerine sürtünmeye zorlanmaları ile meydana getirilir. Bununla birlikte, liflerin rafnöre yanlış verilmesi liflerin ezilmesine ve kesilmesine neden olabilmektedir. Dövme prosesi sırasında meydana gelen kırıntı liflerini minimize etmek için, dövmenin optimize edilmesi ve bazı durumlarda lif kesilmesinin minimize edilmesi gereklidir [1].

Körelmiş rafinör bıçakları ve aşınmış kaplamalar, düzensiz olarak yerleştirilmiş ve pulper rotorunun normal hareketleri lifin kesilmesini ve dövülmesine ilave nedenlerdir. Bunlar, ayrıca aşırı kırıntı lif üretimi ve kırılmış ve kesilmiş lifin kaynağı olabilir. Dövme sırasında her defasında kırıntı lif ve lif fraksiyonu meydana gelir. Bu da daha düşük tutunum ile sonuçlanır [1].

Makine bütesi ve hamur kasası için kırıntı miktarının tutunum üzerine etkisi Şekil 12 ve 13' de gösterilmiştir. Hamur süspansiyonu içerisinde kırıntı yüzdesi artığında, safiha içerisindeki kırıntı tutunumu azalır [1].



Şekil 12. Hamur kasasındaki kırıntı oranı ile tutunum arasındaki ilişki



Şekil 13. Makine bütresindeki kırntı oranı ile tutunum arasındaki ilişki

#### 1.5.2.9. Konsantrasyonun Etkisi

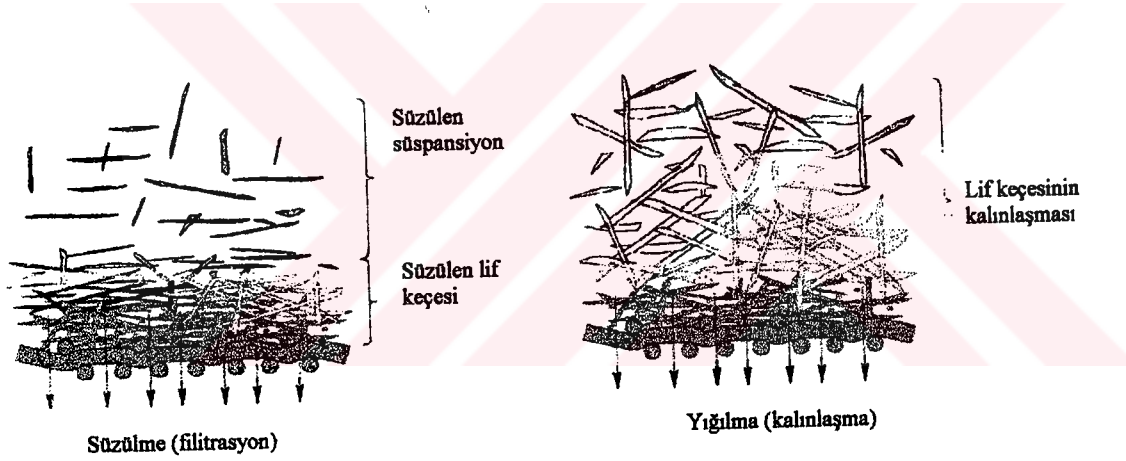
Çalışmalar konsantrasyonun artması ile tutunumun artacağını göstermiştir. Safihanın başlangıç süzülme direncinin daha yüksek konsantrasyonda arttığı teorik olarak kabul edilir. Daha yüksek direnç daha fazla tutunmaya neden olur. Bununla birlikte, yüksek konsantrasyondaki hamur süspansiyonu formasyon ve tutunum maddeleri kullanmaksızın daha düşük formasyona sahip kağıtlar verecektir [1].

#### 1.5.2.10. Kağıt Makinesi Dizaynının Tutunuma Etkisi

Kullanılan elek tipinden bağımsız olarak, drenaj oranı ile birlikte türbülans / makaslama enerjisini yönetmek ve kontrol etmek son safihanın formasyonunu ve tutunumunu belirlemektedir. Genel bir kural olarak, yavaşlatılmış drenaj en yüksek tutunuma yol açacaktır. Bununla birlikte, yeterli türbülans olmaksızın, lif flokülasyonu formasyon kalitesini düşürerek meydana gelecektir [1].

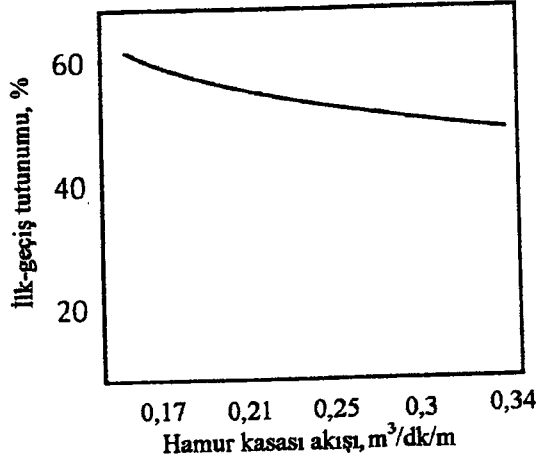
Makina dizayn eden kişilerin amacı flokülasyonu korumak için safihaya yeterli enerjiyi verirken drenajı yavaşlatmaktır. Akışkan içerisindeki makaslama kuvvetinin derecesine bağlı olarak, safiha formasyonu/tutunumunun iki farklı mekanizması meydana gelir. Şekil 14 makaslama ve türbülansın formasyon sırasında meydana gelen su uzaklaştırma tipine nasıl etki ettiğini göstermektedir. Türbülans akışında baskın mekanizmanın filtrasyon mekanizması olduğu görülmektedir. Bireysel hareketli lifler elek üzerine uzanır ve bir filtrasyon ortamı meydana getirir. Filtrasyon safiha içerisinde kırıntı materyal kütlesi meydana getirir [1].

Yönlendirilmiş bir makaslama durumunda yığılma prosesi meydana gelmektedir. Süspansiyon elek üzerinde bir filtrasyon tabakası meydana getirmeden suyu uzaklaştırır. Kırıntı materyaller gelişen ağ içerisinde tutulur ve safihadan yıkanarak uzaklaşma eğiliminde değildir [1].

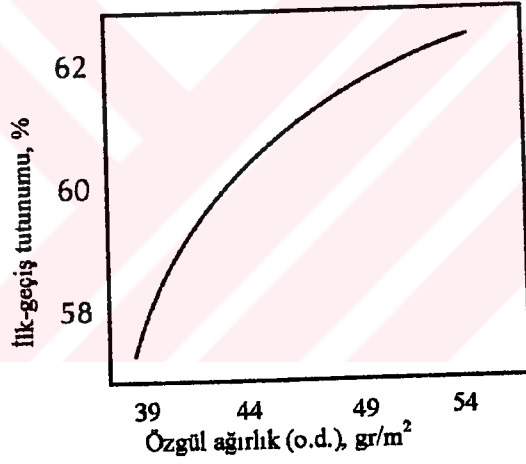


Şekil 14. Süzülme ile yığılma arasındaki fark

Gazete kağıdı üreten fabrikadan elde edilen verilere göre ilk geçiş tutunumu tüm makine hızı aralığında kısmen sabit kaldığı görülmüştür . Bununla birlikte cetvel ağzından gelen süspansiyon hızı arttıkça tutunumun düştüğü görülmüştür (Şekil 15). Şekil 16'da görüldüğü üzere safihanın özgül ağırlığı arttıkça filtrasyon direncinin artması ile ilk-geçiş tutunumu artmıştır [1].



Şekil 15. Hamur kasası akış hızının ilk geçiş tutunumuna etkisi



Şekil 16. Safiyanın özgül ağırlığının ilk-geçiş tutunuma etkisi

Safiha formasyon prosesinin ilk adımı süspansiyonun homojen olarak cetvel ağzından boşalmasını sağlamaktır. Lif yönelmesini ve küme boyutunu kontrol etmek için kullanılan faktörler; türbülans, seyreltme ve hidrodinamik makaslama. Türbülansın yanısıra akım dağıtıcı içerisindeki makaslama kuvvetleri de sistemin tutunumunu azaltacaktır. Yüksek türbülans lif kümelerini dağıtmak ve böylece safiyanın formasyonunu düzeltmek için

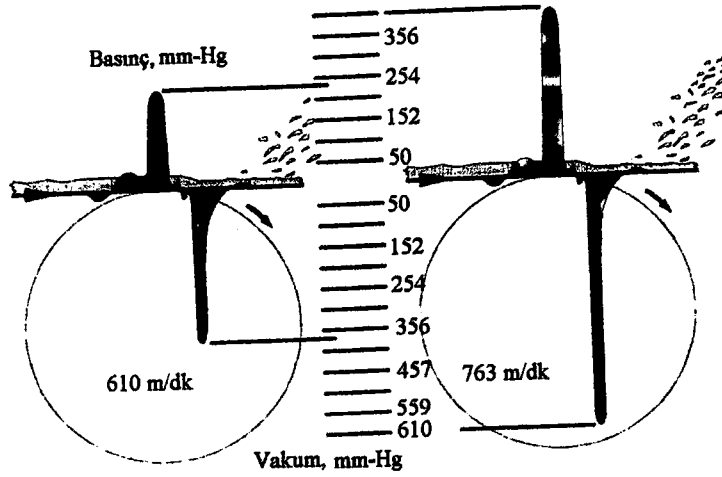
istenmektedir. Bu kümelerin yüksek tutunum elde etmek için kırntı materyal ve kül tutunumu için gerekli olduğu unutulmamalıdır [1].

Daha önce de belirtildiği gibi iki tip formasyon şekli oluşmaktadır: basınç ve hız formasyonu. Mekanik olarak cetvel ağzının üst ve alt dudağı arasındaki yönelme formasyon tipini belirlemektedir. Basınç formasyonunda, hız formasyonu ile karşılaştırıldığında daha fazla drenajdan dolayı tutunum düşüktür. Hız formasyonunda, safiha kalınlaşma mekanizması ile oluşmaktadır. Drenaj yavaştır. Bununla birlikte, flokülasyonu engellemek için süspansiyonu akışkan tutmak ve formasyondaki kötüleşme dezavantajlarına sahiptir [1].

Liflerin safiha içerisinde birleşmelerinden önce, tutunması gereken partiküllerin şeklini ve boyutunu belirleyen faktör formasyon eleğinin dizaynıdır. Özellikle basınç formasyonunda formasyon eleğinin porozitesi erken su uzaklaştırma fazında tutunum miktarını direkt olarak etkileyecektir. Formasyon eleğinin gözenek boyutu azaldıkça, kırntı materyalin toplandığı filitasyon mekanizması baskın olacaktır [1].

Formasyon tablası geleneksel olarak eleği desteklemek için göğüs silindiri ile ilk drenaj levhası arasına yerleştirilir. Modern formasyon tablaları eleğe desteklik görevi yapmasının yanında süspansiyona titreşim vererek dağılmasını ve elek üzerinde lif kümelerinin oluşmasını engellemek için geliştirilmiştir [1].

Tabla silindirleri formasyon tablasından sonra ilk drenaj elamanıdır. Tabla silindirinin çapı kağıt makinesinin hızı ve genişliği arttıkça artmaktadır. Şekil 17' de görüldüğü üzere, tabla silindiri safiha üzerinde pozitif bir basınç meydana getirir ve bu basınç hemen ardından vakum (negatif itme) meydana getirmektedir. Hız arttıkça, vakum miktarı hızın karesiyle orantılı olarak artmaktadır. Aşırı vakum miktarı safihanın formasyonuna zarar verebilir ve "stok atlaması" olarak bilinen duruma neden olabilmektedir. Safiha yapısının bozulduğu her durumda, drenaj filitasyon meydana gelmeksizin artar ve tutunumda düşme meydana gelir [1].

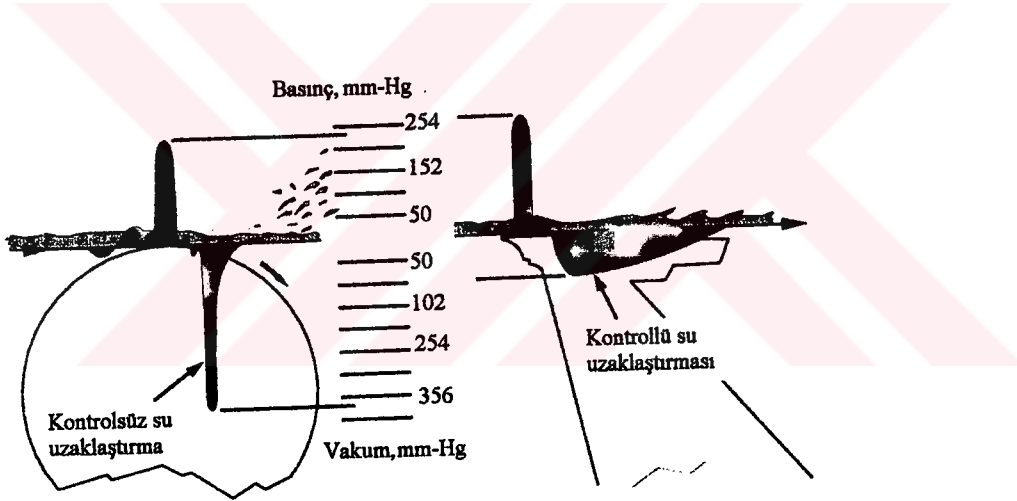


Şekil 17. Makine hızının bir fonksiyonu olarak tabla silindirinin hareketi

Kağıt makinelerinin hızı ve eni arttıkça tabla silindirlerinin alt tarafında oluşan vakum bir çok güçlükler neden olmuş, makinenin verimliliği ve kağıt kalitesi üzerinde sınırlayıcı bir etken olmuştur. Bu sorunun giderilmesi için foiller kullanılmaya başlanmıştır [16]. Tabla silindiri ile foil arasındaki vakum/basınç değerleri farkı Şekil 18’ de görülmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere, tabla silindiri ani ve şiddetli bir vakum meydana getirirken, foil daha düşük ve kontrollü bir vakum meydana getirmektedir. Basınç ve vakum arasındaki uyumsuzluk safiha bozulmasına ve daha düşük tutunuma neden olacaktır. Bu uyum foil uzunluğu, makine hızı ve elek gerilimi ile kontrol edilir. Safihaya bir aktivasyon verilmek istendiğinde foilin kanat şekli ve açısı da önem kazanır. Bu durumda foil açısının artırılması önerilmektedir. Bu foil açısının artırılması ile sağlanır [1]. Foillerin pozisyonu ve açısı, dalgalanma ve drenaj miktarını belirlemektedir. Sonsuz eleğin ortalarında geniş açılı foil kullanıldığında kağıdın görünümü biraz düzelmekte, fakat tutunma azalmaktadır. Foil açısının 1°’ den 2°’ ye çıkartılması dolgu maddesi tutunumunu azaltmaktadır. Hamur kasasından 1.5 m mesafede foil açısının 1°’ den 1.5°’ ye çıkartılması formasyonu düzeltmektedir. Tahmin edileceği gibi foil açısının artırılması türbülans ve drenaj miktarını artırmaktadır. Foilin çıkardığı su miktarı konsantrasyona da bağlıdır. Sonsuz eleğin başında foil açısının biraz artırılması tutunmayı artırmakta, fakat daha büyük açı tutunmayı azaltmaktadır Hamur kasasına yakın ıslak kısımda fazla su çıkarılması formasyonu bozacağı ve

kırıntı materyal tutunumunu azaltacağından istenmez. Optimum foil açısı kullanılması tutunma ve formasyon için olumlu etki yapmaktadır [16].

Tabla silindirlerinde ve foillerde vakum hızın karesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Dolayısıyla drenajı istendiği gibi ayarlamak mümkün değildir [16]. Safiha %2-2.5 kuruluğa eriştiğinde elek ayrılması ile meydana gelen vakum safihanın drenaj direncini yenmek için yeterli değildir [1]. Bu işi emici kasalar gerçekleştirir. Yaş emici kasalarda kağıt düşük vakum altında ve deformasyona uğramadan oluştuğundan hız sınırlaması yoktur. Ayrıca tutunma artar, iki yüzölçüm azalır. Tutunma miktarı makine hızına bağlı olmadığından dolgu maddesi ve ince materyal oranı yüksek kağıt yapılabilir. Yapılan bir denemede yalnız tabla silindiri kullanılarak yapılan gazete kağıdında tutunma %50, yalnız yaş emici kasalar kullanıldığında ise %80 bulunmuştur [16].



Şekil 18. Tabla silindiri ve foil basıncının karşılaştırılması

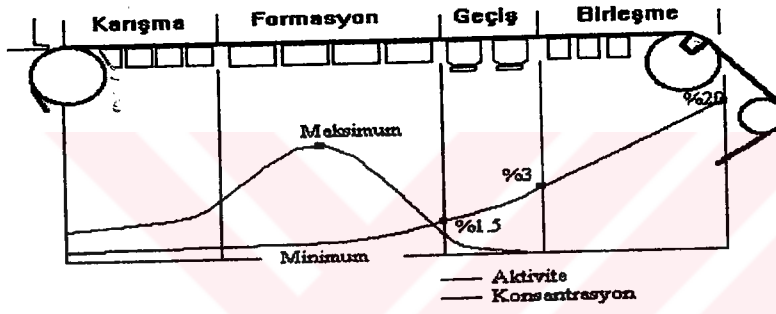
#### 1.5.2.11. Tutunum ve Kağıt Makinesi Seçimi

Tek taraflı drenaj, fourdrinier makinesinde eleğe yakın yerde meydana gelir. Safiha yapısı elek yüzeyinden keçe yüzeyine doğru uzaklaştıkça daha ince ve daha yoğun hale gelir.



Bu, gözenek boyutlarının azalmasının bir fonksiyonu olarak safiha içerisindeki kütle değişiminden kaynaklanmaktadır [1].

Şekil 19 safiha konsantrasyonun ve aktivasyon enerjisinin cetvel ağzından uzaklaştıkça nasıl değiştiğini göstermektedir. İlk drenaj bölgesi karışma bölgesi (blending zone) olarak bilinmektedir. Bu bölgede, hamur kasası tarafından verilen aktivite aynı düzeyde tutulmaya çalışılır. Aktivite bir sonraki formasyon bölgesinde artar. Burada safiha birleşmesi meydana gelmeye başlar. Uygun aktiviteye devam edilmezse flokülasyon olabilmektedir [1].

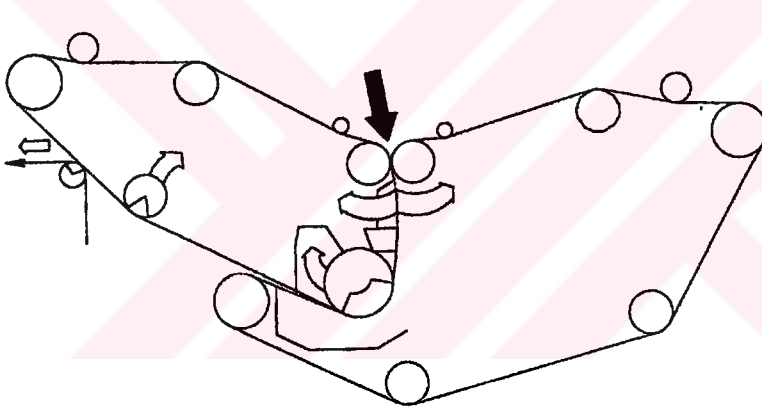


Şekil 19. Sahiha konsantrasyonunun ve aktivasyon enerjisinin fourdrinier üzerinde değişimi

Geçiş bölgesi su uzaklaştırması için vakumlu foillere ihtiyaç duyulmadığı bölgedir. Bu bölgede oluşan safihaya zarar vermeden kümelenmeyi engelleyecek şekilde aktiviteye ihtiyaç duyulmaktadır [1]

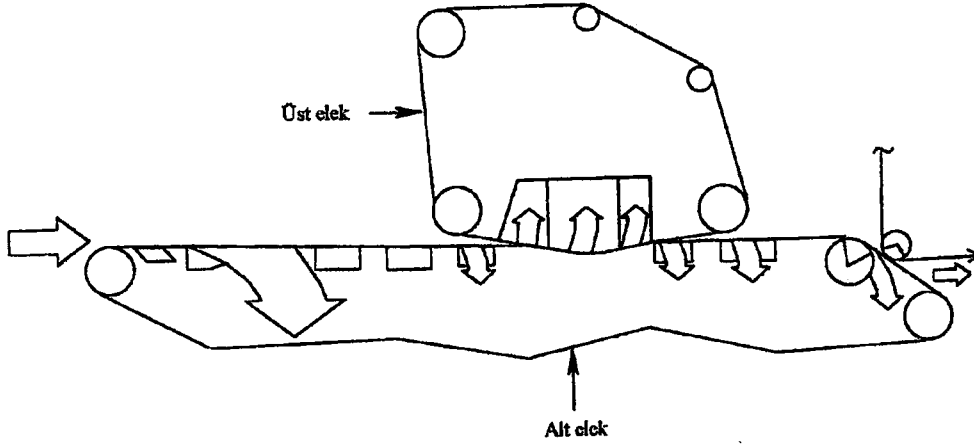
Birleşme bölgesinde aktivite yoktur. Bu bölgede sadece düz yüzeyli vakum kanalları kullanılmaktadır. Şekil 19' daki aktivasyon eğrisinden anlaşılacağı gibi karışma ve formasyon bölgesinin başlangıcında tutunum en düşüktür. Tutunum geçiş bölgesine doğru gidildikçe artacaktır, çünkü aktivite safiha bozulmasını engellemek için kontrol edilir [1].

Çift elekli kağıt makinesindeki drenaj prensibi tek elekli (Fourdrinier makinesi) ile aynıdır. Bununla birlikte, her bir elek tutulan materyali kontrol etmek için hareket eder. Safiha birleşmesi meydana geldiğinde, safihanın her iki yüzeyi filtrasyon ortamı gibi hareket eder. Böylece, bu iki filtre yüzeyindeki drenaj oranını kontrol ederek, dolgu ve kırıntı materyalin daha üniform olarak dağıldığı kağıtlar üretmek mümkündür. İki taraflı bir safihanın tutunumu tek taraflı süzölmüş safihanınkinden tipik olarak daha düşük olacaktır. Çift elekli kağıt makinelerinde (Gap former) görüldüğü gibi safiha iki farklı yüzeyden süzölme ile meydana gelmektedir (Şekil 20). Gap formasyonu fourdrinier ve kombine kağıt makinelerle karşılaştırıldığında daha düşük tutunum vermektedir. Dolgu ve kırıntı materyal dağılımı, gap former içerisinde suyun ne kadar ve ne zaman süzöleceği yönetilerek kontrol altında tutulabilir. Tutunum düz elek formasyonunda olduğu gibidir. Başlangıç drenajını yavaşlatmak safiha içerisindeki gerçek tutunumu artıracaktır [1].



Şekil 20. Çift elekli kağıt makinesi (Gap former)

Kombine kağıt makinesi fourdrinier üzerine başlangıç drenaj bölgesinden sonra bir üst elek ünitesinin ilave edilmesinden meydana gelmektedir (Şekil 21). Kombine kağıt makinesi tipik olarak fourdrinier ile gap former arasında tutunum değerleri vermektedir [1].



Şekil 21. Kombine kağıt makinesi (modern retrofit blade former)

#### 1.5.2.12. İletkenlik ve Reaktiflik

Beyaz suyun iletkenliği şüphesiz bir kağıt fabrikasında tutunumu etkileyen en önemli faktördür. İletkenlik hamur süspansiyonu içerisindeki anyonik ve çözülmüş katıların bir ölçüsüdür [20]. İletkenlik, fabrika kapalı sistemde çalıştığında ve üretilen bir ton kağıt başına daha az su kullandığında bir problem olmaktadır. İletkenlik artışının kağıt yapım sistemleri kimyası üzerindeki etkileri kağıt yapımının şimdiye kadar çözemediği bir sorundur. Bir sistemin iletkenliği kağıt üretim süspansiyonundaki monovalent veya muhtemelen divalent iyonların (öncelikle sodyum, klor ve sülfat iyonları) varlığına bağlıdır. Bununla birlikte, kağıt üretiminde süspansiyonunun iletkenliğinin artışı, polimer ve kağıt üretim süspansiyonu bileşenleri arasında daha düşük çekim gücü doğuracaktır. Bu, söz konusu kağıt üretim sisteminde bir reaksiyonun olması için geçen zamanı etkiler. İletkenlik muhtemelen polimer ve bir süspansiyon arasındaki etkileşimleri etkilemez ancak bu henüz tespit edilmiş değildir. Bununla birlikte, iyonik etkileşim güçleri iletkenlik tarafından azaltılırken polimerin sistemdeki şeklinin de değişebileceği hesaba katılmalıdır. Bir polimerdeki itme güçlerinin azalması (polimerdeki katyonik veya anyonik merkezler) polimerin şeklini doğrusaldan küresele değiştirebilir. Bu tip yapısal değişiklik süspansiyon bileşenleri ile etkileşim için mevcut polimerin yüzey alanını da azaltır. Azalan çekim ve azalan polimer yüzey alanı

kombinasyonu hem karıştırmanın hem de ilave polimer artışı, polimer ve süspansiyon arasında istenen etkileşim için gerekli olacaktır. Polimerin hamur kasasına ilavesi durumu (kağıt makinesinde düşük yoğunluklu eleklerden sonraki ilave), polimerin süspansiyona ilave hızının artırılması gerektiği ve muhtemelen aynı reaksiyonun daha düşük bir iletkenlik seviyesinde elde edilebilmesi için polimer miktarının da artırılması gerektiği anlamına gelmektedir [1].

Kağıt yapım sisteminde polimerin şeklindeki değişim, saf suda çözünen polimerin viskozitesiyle fabrika suyunda çözülen aynı polimerin viskozitesinin karşılaştırılması ile belirlenebilir. Saf sudaki polimerin viskozitesine göre fabrika suyundaki polimerin viskozitesinin daha düşük olması, polimerin şeklinde doğrusaldan küresele doğru değişimin meydana geldiğini göstermektedir. Viskozitede daha büyük bir farkın oluşumu aktifliğin azalması anlamına gelmektedir. Bu, polimerin iyonik yükünü ve/veya molekül ağırlığını artırarak bir derece giderilebilir. Bununla birlikte, pratik uygulamalar, 5000 mS' den daha büyük iletkenliklerde, iletkenliği dengelemenin zor olduğunu göstermiştir [1].

#### **1.5.2.13. Sistem Kapalılığının Tutunuma Etkisi**

Kağıt fabrikasında kayıpları azaltmanın ve materyalleri tutmanın yollarından biri fabrikayı terkeden suyun miktarını ve kalitesini kontrol etmektir. Fabrikanın kapalı hale getirilmesi kirlilik yükünü azaltır, fakat beyaz su ve hamur kasası sistemlerinde çözülmüş katı oranlarında da çok büyük artışa neden olur. Eğer su, sistemden çok az veya hiç boşaltma olmaksızın tekrar kullanılırsa lifler tarafından tutulmayan çözülmüş katı madde miktarı sistemde dengenin oluştuğu noktaya kadar artacaktır [4].

Bu iyonların bir kısmı selülozik liflerle birleşme eğilimlerinden dolayı doğal olarak sistemden uzaklaştırılacaklardır. Selülozik lifler doğal olarak anyonik karakterdedir. Bu yüzden, sistem içerisindeki katyonik maddeler güçlü şekilde çift tabaka içerisine adsorplanacak ve kendileri ile birlikte zıt yüklü iyonların bir kısmını taşıyacaktır. Çift tabakanın spesifik taşıma kapasitesine sahip olmasından dolayı, bazı iyonlar formasyon sırasında elekten geçme eğilimi gösterecektir. Bunlar denge oluşana kadar sistemde dönmeye

devam edeceklerdir. Sistem içerisinde bu elektrolitlerin aşırı artması, yapıştırılmayı (sizing), ıslak ve kuru sağlamlık maddelerinin adsorpsiyonunu, tutunum maddelerinin ve boyaların adsorpsiyonunu olumsuz etkilemektedir. Polielektrolitlerin kümelenmeleri bir yük etkileşmesi yardımı ile iki yüzey arasında adsorplanmalarını ve köprü oluşturmalarını gerektirir. Aşırı elektrolit miktarı polimerde olduğu gibi lif ve kırıntı materyal üzerindeki yükte azalmaya neden olacaktır. Bu polielektrolitlerin adsorpsiyonunda bir azalmaya ve tutunma miktarında ve kümelerin makaslama kuvvetlerine karşı direncinde bir düşüşe neden olmaktadır. Heller ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen pilot kağıt makinesi çalışmaları ilk geçiş tutunumunun kapalı kağıt makinesi beyaz su sisteminde artan çözünmüş maddelerin konsantrasyonunu kontrol etmede önemli parametre olduğunu ve süspansiyon haldeki ve çözölmüş katıların ilk geçiş tutunumunun %25' in üzerinde kalması durumunda beyaz su sisteminin tamimiyle kapatılmasının problem yaratmayacağını göstermiştir [4].

Geri dönüşüm beyaz suyunda kırıntı materyal miktarının artması safiha dayanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Karton üretimi için genel kanı su kapalılığının safiha dayanımı üzerine önemli bir etkiye sahip olmadığı yönündedir [17].

#### **1.5.2.14. Kullanılan Tutundurucu Maddenin Yük Yoğunluğu ve Molekül Ağırlığı**

Maksimum adsorpsiyonun meydana geldiği polimer için optimum bir molekül ağırlığı mevcuttur. Katyonik poliakrilamidle yapılan çalışmada, başlangıçta katyonikliğin artması ile elektrostatik çekim artar ve polimerin adsorpsiyon miktarı artar. Yüksek yük yoğunluğunda lif yüzeyinin tekrar yüklenmesinden dolayı daha fazla adsorpsiyon olması engellenir ve adsorpsiyon miktarı düşmeye başlar. Kural olarak, polimer adsorpsiyonu molekül ağırlığının artması ile aynı polimer zincirinde gittikçe artan adsorpsiyon bölgelerine bağlı olarak artar. Molekül çok uzun hale geldiğinde etki azalacaktır ve molekül ağırlığının 100.000' den fazla olması durumunda bu etki önemsiz olmaktadır. Bununla birlikte, polimerlerin selüloz üzerine adsorbe olmaları genellikle molekül ağırlığının artması ile azalmaktadır. Çünkü polimerin hücre çeperindeki iç yük noktalarına girişi azalmaktadır. Hücre çeperine olan penetrasyonun azalması aynı zamanda erken yük dönüşümüne neden olur ve bu, polielektrolitin adsorpsiyonunun devam etme olanağını azaltmaktadır [8].

### 1.5.2.15. pH' ın Etkisi

Tüm tutunum mekanizmaları yük dayalı olduğu ve çoğu fonksiyonel ilave maddeleri iyonik olduğu için, bunların işlevselliği pH' ın değişmesinden büyük oranda etkilenir [1]. pH arttığında selüloz üzerindeki karboksil grupları deprotonize olur, daha fazla yüklü bölgeler oluşur ve yük yoğunluğu artar [8]. Asidik koşullarda, H<sup>+</sup> iyonları protonlaşır ve karboksil grupları üzerindeki anyonik yükü nötralize eder [1].

### 1.5.2.16. Elektrolitlerin Etkisi

Elektrolitler polielektrolitler ile selüloz yüzeyi arasındaki elektrostatik etkileşmeyi sağlamaktadır. Elektrolit içeriğindeki bir artış, polimer şeklinin düz halden kıvrımlı hale dönüşmesi için polimerin yükleri arasındaki elektrostatik etkileşime neden olur. Polimerin şekil değişikliğinden dolayı, polimer molekülü kolayca hücre çeperi içerisine penetre olabilir. Adsorpsiyon başlangıçta belirli bir dereceye kadar elektrolit miktarının artması ile artar. Daha yüksek bir elektrolit içeriğinde lif yüzeyindeki negatif yüklü gruplar ile polielektrolitler üzerindeki pozitif yüklü gruplar arasındaki elektrostatik çekim azaldığından adsorpsiyon azalır. Yüksek elektrolit konsantrasyonu polimer zincirinde bir kollapsa neden olabilir ve polimerin bağ oluşturma kapasitesini azaltır. Bununla birlikte iki ve üç değerlikli iyonlar elektrostatik çift tabaka kalınlığını artıracakları için inorganik maddelerin konsantrasyonundaki artış dolgu ve kırıntı tutunumunu artırabilir [18].

Beghello ve Eklund [19] yaptıkları bir çalışmada elektrolitlerin düşük miktarı lif polimer sistemlerine ilave edildiklerinde kağıt özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabildiğini ve tipik ıslak son polimer ilavesinden önce düşük miktarda elektrolit ilavesinin kümelenme prosesi üzerine etki etmediğini kaydetmişlerdir.

### 1.5.2.17. Çözünmüş Organik Materyallerin Etkisi

Kağıt üretim sisteminde kullanılan suyun tekrar kullanımındaki artıştan dolayı kağıt makinesi su sistemleri yüksek düzeyde organik ve inorganik madde içerir. Kolloidal organik

materyaller kağıt hamuru üretilirken oluşur. Örnek olarak termomekanik hamur üretiminde odun liflerine hidrodinamik makaslama kuvvetleri ve ısı uygulanır. Bu yüzden odun polimerleri (lignin, karbonhidrat ve zift) sıvı faza geçer. Bu çözünmüş organik kolloitler genellikle anyonik yapıdadır. Bu maddeler lif tutunumuna olumsuz yönde etki eder. Bu anyonik materyaller beyaz-su sisteminde toplanır ve tutundurucu maddeler ve nişasta gibi katyonik ilave maddelerin performansını etkilemektedir. Anyonik materyalin miktarını azaltmak için kağıt makinesi sistemine katyonik maddeler ilave edilir. Bu amaçla şap uzun yıllardan beri kullanılmaktadır [20]. Gazete kağıdı üretiminde kullanılan pozitif yüke sahip olmayan polietilen oksit, bentonit ve fenolik reçine gibi tutundurucu maddeler bu anyonik maddeler tarafından engellenmemektedir [21]. King ve Williams polimer tipi, polimer konsantrasyonu, elektrolit şartları, karıştırma şartları ve pH' ın uygun kombinasyonu ile iyi lif dağılımı sağlanırken önemli miktarda kırıntı tutunumunu elde etmenin mümkün olabildiğini yaptıkları çalışmada kanıtlamışlardır. Böylece, fabrika beyaz su sisteminde artan selülozik materyali minimize edilirken safihanın optik ve fiziksel özelliklerinde önemli miktarda düzelme sağlamak mümkün olabilmektedir [22].

## **1.6. Tutundurucu Maddeler ve Etki Şekilleri**

### **1.6.1. Tutundurucu Maddeler**

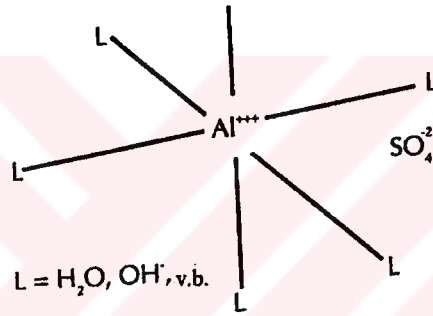
Kağıt endüstrisinde kullanılan tutundurucu maddeler, inorganik tutunum maddeleri, doğal organik madde esaslı tutunum maddeleri ve sentetik, suda çözülebilir organik polimerler olarak gruplandırılabilir [23].

#### **1.6.1.1 İnorganik Tutundurucu Maddeler**

##### **1.6.1.1.1 Şap**

En önemli inorganik tutunum maddesi şaptır. Temel kullanım alanı; kolofan iç yapıştırmasında çökelmeyi kontrol ederek performansı artırmaktır. Bununla birlikte, tutunum

ve drenajı iyileştirir ve zift oluşumunu azaltır [3]. Şapın kimyasal formülü  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  veya hidratlanmış alüminyum sülfattır. Her pH' ta şap farklı bir kompleks gösterir. Hamur ve kağıt içinde şap kullanımı için etkili pH aralığı 4,3-6,5 arasındadır. pH 4,3'ün altında alüminyum iyonu çözelti içinde kalır, pH 6,5'in üstünde iken  $Al^{+3}$  tamamen suyun  $OH^-$  iyonu ile reaksiyona girer. Bu yüzden asidik ortamdaki kağıt üretiminde kullanılır [1]. Şap %0.5-3 konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. Şapın koagülasyon mekanizması, stok bileşenlerinin negatif yüklerinin  $Al^{+3}$  iyonları ile nötralizasyonu sonucu meydana gelir. Alüminyum kullanımının en önemli dezavantajı; parlaklık kaybı ve sülfat anyonlarından dolayı paslandırıcı olmasıdır. Ayrıca, sülfürik asit kullanımı ile polisakkaritlerin degradasyonuna neden olmaktadır [23]. Şekil 22, hidratlanmış alüminyum iyonunu,  $Al^{+++}$  göstermektedir [1].



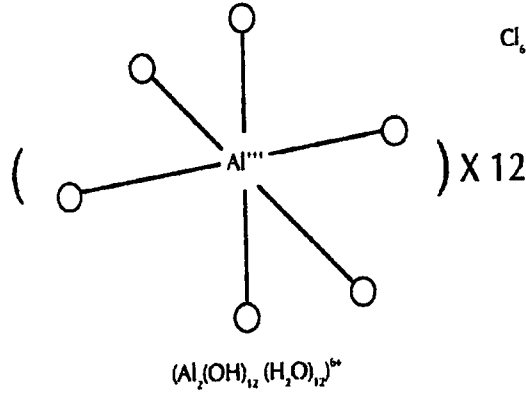
Şekil 22. Hidratlanmış alüminyum iyonu,  $Al^{+++}$

#### 1.6.1.1.2. Poli-alüminyum Klorür (PAC)

Poli-alüminyum klorürler, alüminyum klorür ( $AlCl_3$ ) ve sodyum karbonattan ( $Na_2CO_3$ ) üretilen inorganik polimerlerdir. Şekil 23' te hidratlanmış PAC kompleksi verilmiştir. PAC şaptan daha fazla nötral olduğundan, daha yüksek pH' ta kullanılabilir bir kompleks oluşturur. Bu yüzden etkili kullanım için maksimum pH, şap' ta 6.5 iken PAC' da 7.5' a kadar çıkabilir. PAC' ler yapılarından ve alkaliliklerinden dolayı şaptan daha fazla yük yoğunluğuna sahiptirler. PAC' ler şaptan farklı olarak nötral pH' ta (6,5-7,5) etkili bir koagülant olarak iş görürler [1].



PAC'ın genel miktarı kolofan iç yapıştırma çökmesinde ve odun zift kontrolünde 5-10 kg/ ton dır. PAC büyük bir molekül olduğu için, şapın aynı dozajına oranla, ilk geçiş tutunumun daha fazla etkileneceği muhtemeldir. Ticari olarak sıvı ve katı formda bulunur [1].



Şekil 23. Hidratlanmış PAC kompleksi, O: H<sub>2</sub>O

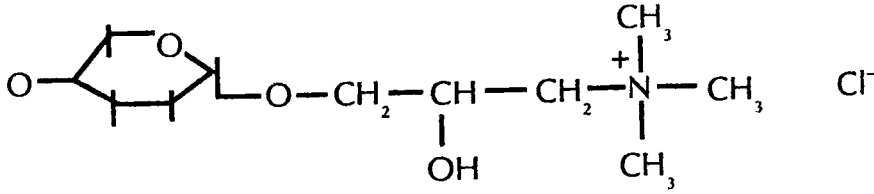
Bazı inorganik maddeler tutunmaya yardım etmek için diğer kimyasal maddelerle birlikte kullanılır. Buna örnek olarak silisik asit ile katyonik nişasta kombinasyonu verilebilir. Bu kombinasyonun asıl amacı; safiha dayanımını artırmaktır. Alkalenle aktif hale getirilmiş bentonitin noniyonik bir poliakrilamidle birlikte kullanımı tutunumu ve drenajı artırmak için tercih edilmektedir [23].

#### 1.6.1.2. Doğal Organik Esaslı Tutunum Maddeleri

Bu gruba giren tutunum maddelerinden en önemlisi katyonik nişastadır. Mısır ve patates esaslı katyonik nişastalar asit veya alkalen kağıt üretiminde kağıdın sağlamlık özelliklerini arttırmak ve alkalen kağıt üretiminde yapıştırma için katyonik bir kaynak olarak 20-30 yıldan beri kullanılmaktadır [1].

Bu maddeler uygulamaya bağılı olarak 3-15 kg/ton dozajda kullanıldıklarında tutunuma etkileri mümkündür. Katyonik nişasta ıslak sondaki stoğun katyonik isteğine etki eder ve koagülant olarak hareket ederek lifin karboksil gruplarını (-COO) nötralize eder [1].

Son yıllarda kullanılan en yaygın katyonik nişastalardan bir tanesi amonyum 2.3-epoxypropyltrimetyl klorür ile reaksiyona sokulmuş bir nişastadır (Şekil 24). Bu nişasta tüm kağıt üretim pH aralığında özelliklerini devam ettiren dörütlü bir amin taşımaktadır [1].



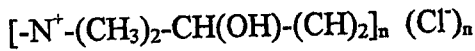
Şekil 24. Katyonik nişastanın tipik yapısı

### 1.6.1.3. Sentetik, Suda Çözülebilir Organik Polimerler

Kağıt endüstrisinde tutundurucu madde olarak sözü edilen maddeler sentetik, suda çözülebilir organik polimerlerdir. Üretim prosesinin dizaynında ana düşünce; optimum tutunma ve drenaj elde etmektir. Polimerler anyonik, katyonik veya non iyonik olabilirler. Bu maddelerin molekül ağırlıkları performansları üzerinde büyük bir etkiye sahiptir [23].

#### 1.6.1.3.1. Poliaminler

Bu koagülantlar dimetlamin ve epichlorohidrin kopolimeri olarak tanımlanır ve aşağıdaki genel formüle sahiptirler (1):

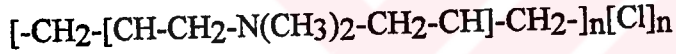


$$n = 300-700$$

Yukarıdaki formül çapraz bağ yapılı 30000-50000 molekül ağırlıklı poliamin koagülanı olarak tanımlanır. Daha yüksek molekül ağırlıklı polimerleri çapraz bağlanma reaksiyonlarından dolayı üretmek zordur. Katyonik yük dördü amin ( $N^+$ ) bölgesinde bulunmaktadır. Nötralize edici olarak, poliaminler kağıt yapım endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Poliaminler, alkalin ıslak sonda sentetik yapıştırmanın katyonik bileşeni olduğu gibi, çift bileşenli tutunum sistemlerinde ilk bileşen olarak da kullanılmaktadır. İkili sistemde poliakrilamidle birlikte kullanıldığında, genel dozajı 2-5 kg/ton' dur. Tek olarak kullanıldıklarında, poliaminler düşük moleküllerinden dolayı tutunum üzerinde çok az etkiye sahiptirler. Poliaminler sadece %50 aktif çözelti olarak, sıvı şekilde bulunmaktadır [1].

### 1.6.1.3.2 Poli-DADMAC

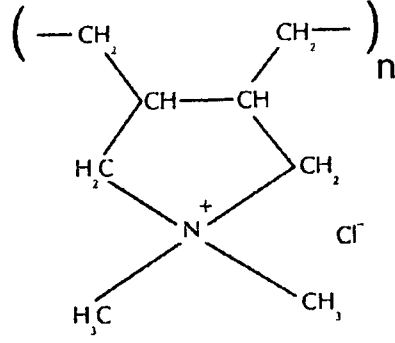
Poli-DADMAC (polydiallyldimethylammonium chloride) aşağıdaki formüle sahip sentetik bir organik polimerdir [1].



$$n = 1.000-16.000$$

Molekül ağırlığı 125.000-2.000.000 arasında değişir. Yapısal olarak, poli-DADMAC asıl olarak lineerdir ve molekül ağırlığı 500.000 üzerine çıkarsa zayıf olarak çapraz bağlanmaya meyler. Düşük molekül ağırlıklı DADMAC' lar etkili yük nötrleyicileridir. Bunun yanında, odun zift kontrolünde de azda olsa etkilidirler. Aynı zamanda, poliakrilamid flokülantlı çift bileşenli tutundurucu sisteminde ilk bileşen olarak etkili şekilde kullanılırlar. Daha yüksek molekül ağırlıklı poli-DADMAC' lar ince stoğa ilave edildiğinde tek başına etkili tutunum maddesi olarak kullanılabilirler. Tutunum artışı, doğru kağıt üretim şartları ile birlikte 0,5 kg/ton' dan daha az miktarda ilave edildiklerinde, %10 kadar yüksek olabilmektedir [1].

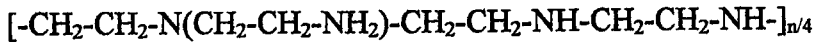
Molekül ağırlığı ve molekül boyutuna bakılmaksızın, tüm DADMAC' lar kesinlikle aynı yük nötralizasyon enerjisine sahiptirler. Çünkü bir birimdeki yük yoğunlukları değişmemektedir. Dördü amin grupları Şekil 25' te görüldüğü gibi pozitif yüke sahiptir [1].



Şekil 25. Poli-DADMAC molekülü

### 1.6.1.3.3 Polietilenimin (PEI)

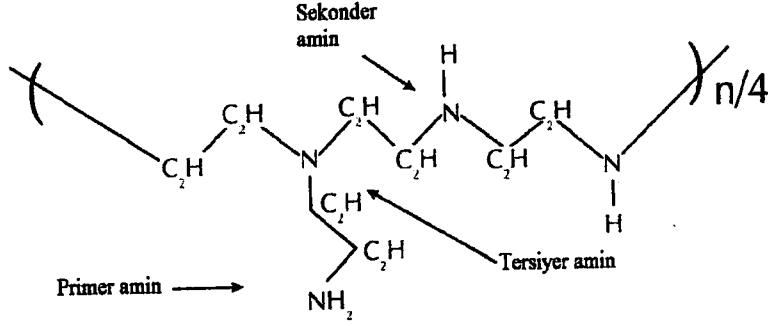
Polietileniminler ve türevleri kağıt üretim endüstrisinde drenaj ve tutunumu geliştirmek için uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Polimer, yüksek reaktiviteye sahip etilenimin asit katalizörü varlığında sıvı solüsyon içinde polimer ilavesi ile halka açılması reaksiyonu yoluyla üretilmektedir [23]. PEI koagülantı lineer bir yapıya sahip olabilir veya küçük miktarda epiklorohidrinle çapraz bağlı olabilir. Son yapı, belirli özel koşullar altında (gazete kağıdı süspansiyonları ve bazı mukavva uygulamalarında) tutunum ve drenaj için daha fazla etkilidir. PEI'nin basit yapısı aşağıda gösterilmiştir [1].



$$n = 500-7000$$

PEI molekül ağırlığı 80.000 ve 1.200.000 arasındadır. Çapraz bağlanma derecesi reaksiyon zamanına ve ilave edilen epiklorohidrin miktarına bağlıdır. PEI yapısı, mevcut yükünü veya nötralize etme yeteneğini etkileyebilir. Küçük, daha doğrusal yapı, bazı amin gruplarının molekül içinde gizli olarak bulunduğu üç boyutlu PEI den daha fazla katyonikliğe sahiptir. Şekil 26' da görüldüğü gibi PEI molekülü dörtlü amin grubu içermemektedir. Primer, sekonder ve tersiyer amin grupları bu aminleri katyonize etmek için asitliğe ( $\text{H}^+$ ) ihtiyaç duyar. Bu yüzden, PEI asidik koşullarda, (pH 4,5-7,0) etkili bir yük nötrleyicisi olarak hareket eder. Alkalen

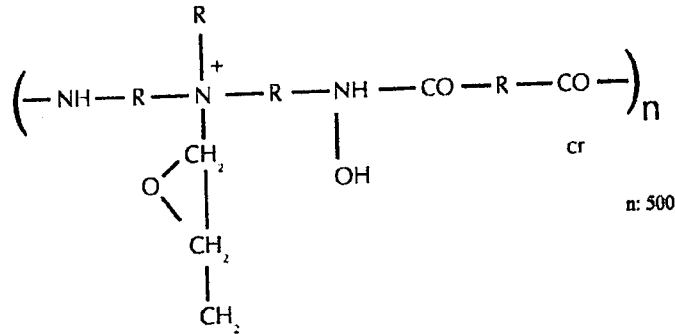
sistemde (alkalen kaliteli kağıt ve mukavva) PEI yük nötralizasyon özelliğini kaybeder. PEI gazete kağıdı ve asit veya nötral mukavvada tutunum ve drenaj maddesi olarak kullanılabilir. Genel dozajı 0,5 kg/ton' dur. Bu miktarda kullanımı yaklaşık %5-7 tutunum kazancı sağlar [1].



Şekil 26. PEI' nin basit yapısı

#### 1.6.1.3.4. Islak Sağlamlık Reçineleri

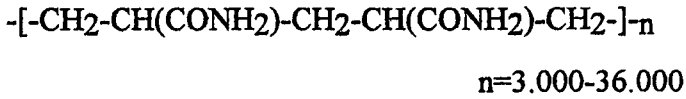
Islak sağlamlık reçineleri koagülant özelliğine sahip katyonik polimerlerin tüm özelliklerini içermektedir. Bu reçineler ıslak sağlamlığı etkileme özelliğine sahiptir. En fazla kullanılan ürün, polyamid-polyamin-epiclorohidrin veya PPE' dir. PPE' nin şematik gösterimi Şekil 27' de verilmiştir. Etkili pH aralığı 5,5-8,5 arasındadır [1].



Şekil 27. PPE molekülü

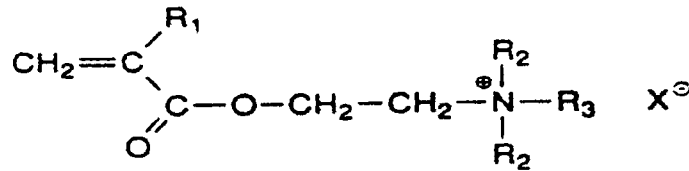
### 1.6.1.3.5. Poliakrilamid (PAM)

Akrilamid esaslı polimerler dünya çapında en yaygın kullanılan tutunum maddeleridir. PAM' ler önemli bir tutunum artışı istendiğinde bütün kağıt türlerinde kullanılır. Bu ürünler katı, çözelti (oil içinde) ve emülsiyon (oil ve su içerisinde) formlarında üretilir. Akrilamid polimerleri aşağıdaki yapıya sahiptir [1].



İyonik olmayan poliakrilamid 500.000-7.000.000 arasında molekül ağırlığına sahiptir. Molekülün doğrusallığına etki eden ve partiküller arasında köprü bağının olmasına müsaade eden akrilamid ana zinciridir [1].

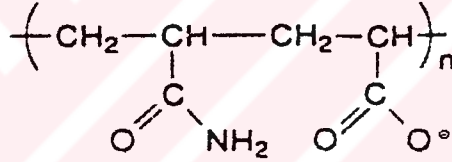
Katyonik poliakrilamid; akrilamid ile çeşitli akrilik asit türevlerinin kopolimeridir [23]. Trimetil-aminoetil metakrilat gibi belirli katyonik monomerlerin polimerizasyon kademesinden önce akrilamide göre belirli oranlarda ilave edilerek, istenen yükte katyonik poliakrilamidler üretilebilir [1]. Polimerlerin yük yoğunluğu katyonik monomerin molekül ağırlığına bağlı olarak 0.75-3.5 mVal /gal arasında değişmektedir. Katyonik poliakrilamid basit olarak Şekil 28' de gösterilmiştir [23]



Şekil 28. Katyonik poliakrilamid molekülü

Katyonik bir PAM kırıntı partiküllere yaklaştığında elektrostatik çekim ile bu fraksiyon üzerine adsorplanır. Bu olay katyonik flokülantın temel rolü olmamasına rağmen yük nötralizasyonu ile çift tabakaların daralmasına da yardım eder. Partiküller birbirlerine yaklaştıklarında köprü oluşturma meydana gelebilir [1]. Urick ve Fisher [24] katyonik poliakrilamidlerin çok etkili su uzaklaştırma ve drenaj maddesi olduklarını bulmuşlardır.

Anyonik poliakrilamid akrilik asit veya sodyum akrilatın kopolimerleridir. Fakat poliakrilamidlerin istenen yük yoğunluğuna kadar hidroliz ile de üretilmesi mümkündür [8]. Kağıt stok sisteminde şap veya düşük molekül ağırlıklı katyonik reçinelerle ön muamele ile katyonik özellik verilmiş yüzeylere adsorbe olurlar. Bu parçalar anyonik polimerler için birleştirici nokta olarak hareket ederler [3]. Anyonik poliakrilamidin bir molekülü Şekil 29' da verilmiştir [23].



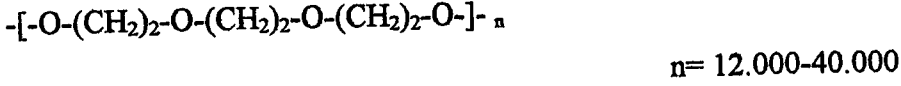
Şekil 29. Anyonik poliakrilamid molekülü

Miyanishi ve Shigeru [25] APAM'ın tek başına kullanıldığında az bir kümelenme oluşturduğunu ve dreneji azalttığını kaydetmişlerdir. Bentonitin APAM' dan önce ilavesiyle kümelenme ve drenajın arttığı fakat asit kağıt yapımındaki şapla birlikte kullanımından elde edilen seviyeye ulaşmadığı görülmüştür.

Teorik olarak istenen yük yoğunluğunda veya molekül ağırlığında poliakrilamid üretmek mümkündür. Pratikte, 40-50 farklı poliakrilamid kağıt yapım uygulamalarında geniş alanda kullanılmaktadır [1].

### 1.6.1.3.6. Polietilen Oksit (PEO)

PEO tamamıyla noniyoniktir ve etilen oksid monomerinden üretilir. Basit yapısı aşağıda gösterilmiştir [1].



PEO' ler yaklaşık 2.000.000-6.000.000 molekül ağırlığına sahiptirler. Bu polimer büyük miktarda lineerdir ve tutundurucu madde olarak kullanılması için molekül ağırlığı yaklaşık 4.000.000 olmalıdır [1]. Gibbs ve Pelton [26] 2 milyon molekül ağırlığına sahip PEO' nun çok zayıf çöktürülmüş kalsiyum karbonat kümeleri ve zayıf kümelenme verirken 4-8 milyon molekül ağırlığına sahip PEO' nun güçlü bir elastik küme ve iyi bir kümelenme verdiğini kaydetmişlerdir.

Pelton, Allen ve Nugent [27] 17 farklı polimer kullanarak yaptıkları çalışmada yüksek bir molekül ağırlığına sahip PEO' nun gazete kağıdı üretiminde kırıntı tutunumunda en etkili polimer olduğunu ve PEO' nun beyaz sudaki koloidal zift konsantrasyonunu azaltırken kağıdın fiziksel özellikleri üzerine etkisi olmadığını tespit etmişlerdir.

Pelton, Allen ve Nugent [28] yaptıkları diğer bir çalışmada kraft lignininden üretilen birçok materyalin yüksek molekül ağırlıklı PEO ile birlikte kullanıldıklarında yıkanmış gazete kağıdı süspansiyonunda kırıntı tutunumunu artırdığını kaydetmişlerdir.

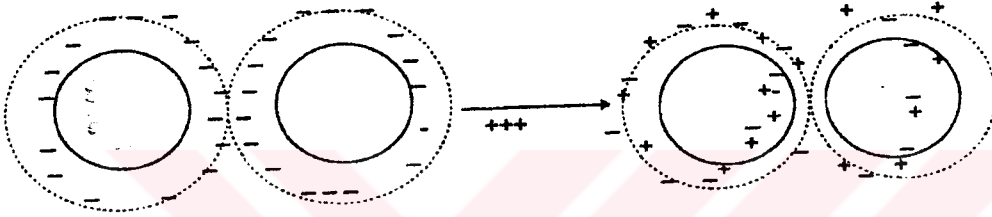
### 1.6.2. Tutunum Mekanizmaları

Tutundurucu maddelerin çalışma mekanizmaları üç büyük gruba ayrılır; koagülasyon, makro flokülasyon ve mikro flokülasyon [1].



### 1.6.2.1 Koagülasyon

Şekil 30' da görüldüğü üzere koagülasyon, küçük partiküllerin ve kolloidal maddelerin koagülant olarak adlandırılan madde ile nötralize edildiğinde, bu partiküllerin sıvı ortam içerisinde bir küme meydana getirmesi olayıdır. Koagülant, kağıt yapım stoğundaki partiküllerin negatif yüklerini nötralize eden, çok büyük katyonik yüke sahip polimerik bir kimyasal maddedir. Bu grupta bulunan yaygın maddelere şap, poliaminler, polyDADMAC ve polietilenin (PEI) örnek olarak verilebilir [1].



Şekil 30. Koagülasyon mekanizması

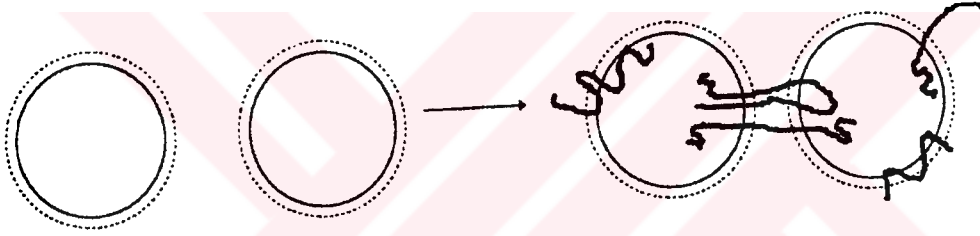
Sıvı ortam içerisinde bulunan katı partiküllerin yüzeyinde oluşan stern ve difüz tabakası elektriksel çift tabakayı meydana getirmektedir. Bu tabaka belirli bir durumda belirli bir kalınlığa sahiptir. Süspansiyona elektrolitler ilave edildiğinde zıt yüklü iyonların sayısındaki artıştan dolayı çift tabaka kalınlığında azalma meydana gelir. Zıt yüklü iyonların sayısındaki artış yüzey potansiyelini azaltır ve böylece partiküller arası itme kuvveti azalır. Bu sayede partiküller birbirlerine kolayca yaklaşırlar ve koagülasyon meydana gelmektedir. Zıt yüklü iyonların fazla miktarı net potansiyeli sıfır yük durumuna doğru çektiği için, koagülasyonun yük nötralizasyonu ile meydana geldiği kabul edilmektedir [29].

Bu mekanizma ile ilgili iki ilave nokta vardır. Birincisi; koagülasyonun gelişmesi için çift tabakanın yeterli şekilde daraldığı kritik bir tuz kontrasyonunun olduğudur. Bu, *kritik koagülasyon konsantrasyonu* (CCC) olarak bilinmektedir. İkinci nokta çeşitli katyonların anyonik yüzeylerdeki çift tabakanın kalınlığını azaltma etkililiği ile ilgilidir. Shultz ve Hardy

(1977) zıt yüklü iyonların valans değerinin kolloidal stabilite üzerinde önemli bir etkiye sahip olduklarını bulmuşlardır. Valans değeri arttıkça iyonlar yüzey yükünü azaltmada daha etkili hale gelir. +1, +2 ve +3 değerlikli iyonlar sırası ile 4000:100:15 CCC değeri vermektedir [29].

### 1.6.2.2 Flokülasyon

Flokülasyon sentetik veya doğal bir flokülant ile kağıt yapım stoğu bileşenleri arasındaki bir elektrostatik bağlanma reaksiyonudur. Bu reaksiyon mikro kümeler veya makro kümeler şeklindeki bir kümelenme olan bu bileşenlerin flokülasyonuna neden olur. Makroflokülantların köprü oluşturarak bağlanma teorisi bu bölümde detaylı olarak daha sonra tanımlanacaktır. Şekil 31’ de flokülasyon mekanizmasının gösterimi verilmiştir [1].



Şekil 31. Flokülasyon mekanizması

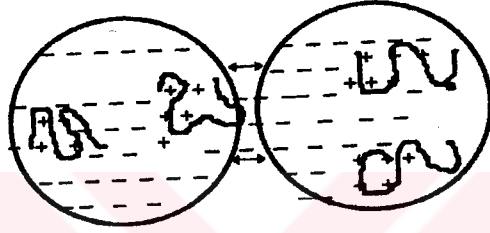
Flokülant, belirli bir yüke ( kationik, anyonik veya noniyonik) ve yüksek bir molekül ağırlığına sahip ve stok ile flokülasyon mekanizması yoluyla reaksiyona giren polimerik bir kimyasaldır. Yaygın örnekleri poliakrilamidler (PAM) ve polietilen oksitlerdir (PEO), [1].

Bir flokülasyon maddesi ile koagülasyon arasındaki fark belirgin değildir. Bununla birlikte genel olarak flokülasyon maddesi 500.000 Dalton’ dan fazla molekül ağırlığına sahip iken koagülasyon maddesi 50.000-500.000 Dalton arasında bir molekül ağırlığına sahiptir. Ayrıca flokülasyon maddesi anyonik, kationik ve nötral olabilirken koagülasyon maddeleri sadece kationiktir [30].

### 1.6.2.2.1 Makro Flokülasyon

#### 1.6.2.2.1.1. Patch Flokülasyonu

Patch flokülasyon teorisi koagülasyon teorisinden farklıdır. Bu teori, yüksek bir kationik koagülantlarla negatif yüklü partiküller üzerinde kationik noktaların oluşmasına dayanmaktadır. Bu kationik noktalar negatif yüklü komşu partikülü elektrostatik kuvvetle çekerler (Şekil 32), [1].



Şekil 32. Patch flokülasyonunun şematik gösterimi

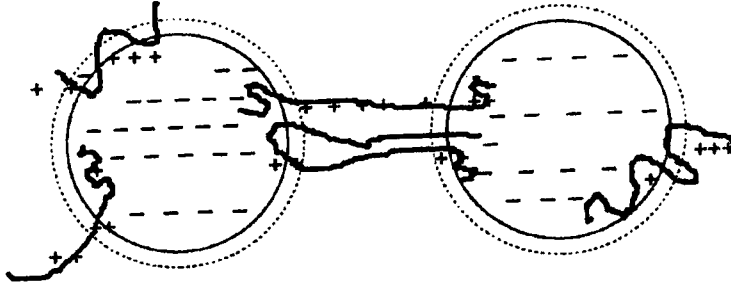
Yüksek yük yoğunluklu düşük molekül ağırlıklı kationik polielektrolitler anyonik partiküllerle karıştırdıklarında, polimer moleküllerinin partikül yüzeyine tamamen adsorplandığına ve partikül yüzeyinde pozitif yüklü noktalar meydana getirdiğine inanılmaktadır. Partikülün diğer bölgeleri anyonik kalırken, polimerin adsorplandığı noktalarda negatif yük etkisini kaybeder. Polielektrolit ilave edildikten sonra, pozitif yüklü nokta ile diğer bir partikülün pozitif nokta oluşmamış bölgesi çarpışması flokülasyona neden olmaktadır. Kümelenme oranı basit bir elektrolitle oluşturulan yük nötralizasyonunkinden daha büyüktür. Koagülant adsorpsiyonunun meydana gelmesi için, koagülant ile partiküller arasında güçlü bir reaksiyonun olması gereklidir. Koagülasyon ile patch flokülasyonu arasındaki basit fark; koagülasyonda iyi bir partikül kümelenmesi elde etmek için negatif yüklerin tamamen nötralize edilmesi gerekmemektedir [1].

Patch flokülasyonu ile oluşturulan küme, koagülasyonla meydana gelen yapıdan daha sağlamdır. Çünkü, elektrostatik ve Van Der Waals kuvvetleri aynı yönde çalışmaktadır. Patch oluşumu prosesi boyunca, koagülant molekülleri partikül üzerlerine düz bir şekilde adsorbe olur. Partikül aglomerasyonuna neden olan elektrostatik kuvvetler, küme formasyonunu reversibil yapmaktadır. Bu tip küme, sağlamlık kaybı olmadan bir çok kere kendini oluşturabilir. Poliaminler, poly-DADMAC, PEI ve PPE bu tip yapıyı oluşturma yeteneğine sahiptir. Patch flokülasyon teorisi makroflokülasyon ile koagülasyon arasındaki bir olayı göstermektedir [1].

#### 1.6.2.2.1.2. Bağlanma Modeli

Bağ oluşturma ile meydana gelen flokülasyon, makroflokülasyon olarak tanımlanan en yaygın mekanizmadır. Bu teoride, polimer çeşitli stok partikülleri arasında köprüler oluşturur. Yüksek molekül ağırlıklı polimerin çeşitli parçaları farklı adsorpsiyon bölgelerine bağlanır ve diğer kısımları beyaz su içerisine uzar. Bu uzantılar kendileri ile çarpışmaya giren diğer partiküller tarafından adsorbe edilebilen kıvrımlar ve kuyruklar meydana getirir. Kolloidal partiküllerin yüksek molekül ağırlıklı polimerler ile flokülasyonunun köprü oluşturma mekanizması ile meydana geldiği kabul edilmektedir. Bu mekanizmada, polimer halka ve kuyruk şeklindeki uzantılarını sıvı faza salarak partikül yüzeyine adsorplandığı kabul edilmektedir. Bu uzantılar çift tabakanın dışına çıkar ve flokülasyon bu uzantıların (halka ve kuyruk) ikinci partikülün yüzeyine adsorbe olması ile oluşur. Köprü oluşturma flokülasyonu partiküllerin çarpışma frekansına bağlıdır ve partikül çift tabakaları arasındaki itme burada önemli rol oynamaz [1].

Burada, polimer yüksek bir molekül ağırlığına ve köprü oluşturmaya müsaade eden lineer bir yapıya sahip olmalıdır. Şekil 33 negatif yüklü partikül ile katyonik bir flokülant arasındaki bağlanma tipi flokülasyon modelini göstermektedir [1].



Şekil 33. Bağlanma flokülasyonu

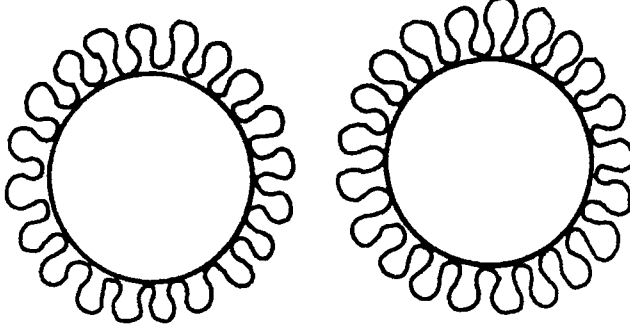
Bu durumda partikül yüzeyine adsorpsiyon, elektrostatik çekim ile meydana gelmektedir. Polimer konformasyonu flokülasyonun olup olmayacağını belirleyen faktördür. Oluşan halkalar ve kuyruklar partiküllerin difüze edilmiş tabakalarının kalınlığından en az iki kat daha uzun olmalıdır. Polimerin yük yoğunluğu ve molekül ağırlığı da önemlidir. Daha yüksek molekül ağırlığı köprü oluşturmayı artırır, çünkü daha uzun polimer zinciri partikül yüzeyinden sıvı ortama daha fazla uzanır. Polimer yük yoğunluğu polimerin partikül yüzeyine çekimini ve makro molekülün yüzeye bağlandığı bağlanma kuvvetini etkilemektedir [4].

Makroflokülantlar molekül yapılarına göre iki farklı kategoriye ayrılırlar; poliakrilamid (PAM), polietilen oksitdir (PEO) [1].

### 1.6.2.3. Sterik Stabilizasyonu

Yüksek bir yüzey yükünün gelişimi ile hidrofobik bir kolloid süspansiyonu stabilize etmeye ilaveten, uzun zincirli polimerler partikül yüzeylerine adsorbe edildiklerinde bir partikülün üzerindeki halkalar ve kuyruklar diğer partikül üzerindeki halkalar ve kuyrukları partiküllerin kümelenmeleri için gerekli yaklaşmayı önleyerek engeller. Bu durumda bir sistem stabilize olabilir. Bu polimerler normal olarak iyonik olmayan yüksek molekül ağırlıklıdır. Bu olay genelde önleyici kolloid hareketi olarak adlandırılır. Sterik stabilizasyon modelinin şematik gösterimi Şekil 34' te gösterilmektedir. Bu örnekte partiküllerin yüzeyi elektriksel çift tabakayı

geçerek uzayan adsorplanmış yüksek molekül ağırlıklı polimer ile kaplanır. İki partikül birbirine yaklaştığı zaman partikülü çevreleyen polimer materyali partikülleri Van Der Waals kuvvetlerinin etkili olamadığı yeterli uzaklıkta tutan sterik bir bariyer sağlar [29].



Şekil 34. Sterik Stabilizasyon

### 1.6.3. Mikro Flokülasyon veya Mikro Partikül Tutunumu

Yeni nesil kağıt makinaları su uzaklaştırmadan çok tutunum ve formasyon konularına odaklanmıştır. Bu makinalar yüksek makaslama şartlarında kağıt ürettiği için iyi bir tutunum elde etmek amacıyla daha güçlü küme oluşturma yeteneğine sahip tutundurucu sistemlerin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [31].

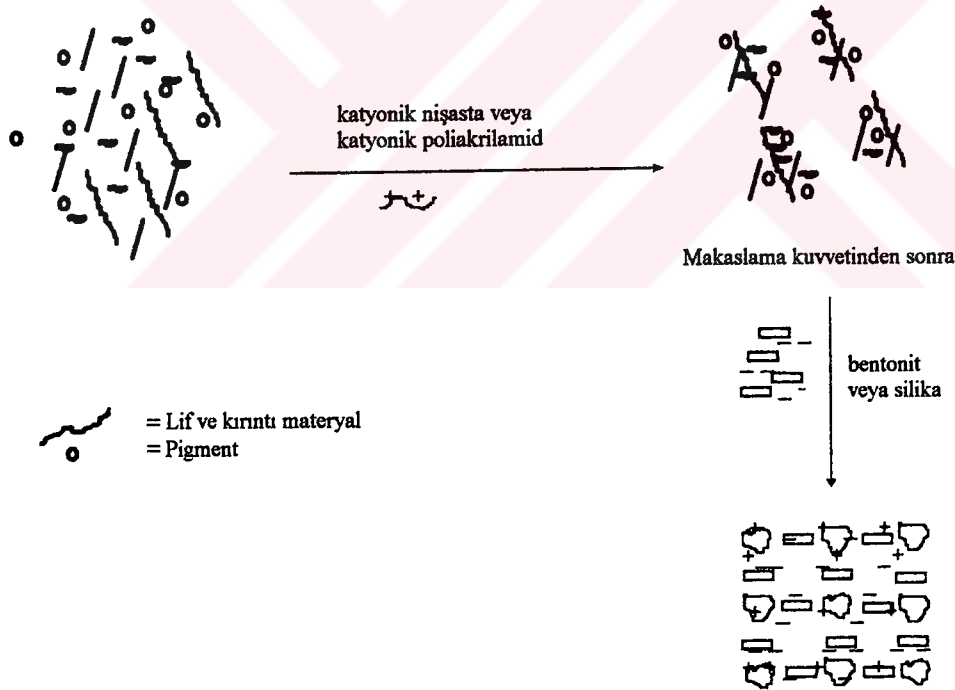
Koagülasyon ve makroflokülasyon temel olarak farklı mekanizmalara sahiptirler. Koagülasyon küçük kümelenmiş (reversibil) yapılar meydana getirir. Bu yapılar iyi drenaj ve formasyon, fakat zayıf tutunum verir. Makro flokülasyon yüksek tutunum verir, fakat drenaj ve formasyon sorunlarına neden olan kümeler oluşturur. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için yüksek ilk geçiş tutunumuna izin veren ve formasyonu iyileştiren, drenajı artıran ve enerji tasarrufu sağlayan başka bir tutunum sistemi geliştirilmiştir. Bununla birlikte, hızlı kağıt makinalarının ve daha kapalı beyaz su dönüşümünün ortaya çıkması ile makroflokülasyonun geleneksel dezavantajlarına sahip olmayan güçlü bir tutunum sisteminin kullanımı önemli hale

gelmiştir. Bu teknoloji mikroflokülasyon ya da mikro partikül tutunumu olarak bilinmektedir [1].

Mikroflokülasyon iki bileşenden meydana gelir:

1. Koagülasyon ve Flokülasyon kabiliyetine sahip ve stoğa katyonik bölgeler veren katyonik bir ürün,
2. Negatif yüke sahip ve stoğun katyonik bölgelerine bağlanabilen çok küçük mikropartikül.

En yaygın mikroflokülasyon sistemleri; katyonik nişasta ve/veya katyonik PAM ile kolloidal silika ve katyonik koagülant ve/veya katyonik PAM ile hidratlanmış bentonittir. Mikro partikül sisteminin temel reaksiyonları Şekil 35' de gösterilmiştir [1].



Şekil 35. Mikro partikül sisteminin temel reaksiyonları

### 1.6.3.1. Mikro Partikül Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları

1. Bu tip küme yapısı stoğun bütün partiküllerini içermektedir. Bu yüzden tüm bileşenlerin tutunumu yüksektir. İnce lif ve dolgu maddelerinin “Z” yönü dağılımı iyidir.
2. Kolloidal partiküller daha iyi makroflokülasyon sağlarlar. Çünkü, bu küçük partiküller mikro kümeler ile sıkıca tutulur.
3. Safihanın mikro gözenek yapısı, serbestliği ve vakum drenajını artırır. Böylece, üretim artar ve buhar tüketimi azalır.
4. Yüksek drenaj özellikle düşük ağırlıklı safihalarda yüksek poroziteye neden olabilmektedir [1].

### 1.6.4. Tutunum Sistemleri

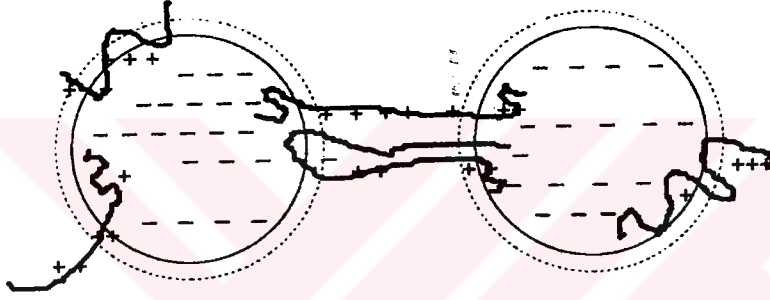
#### 1.6.4.1 Tek Bileşenli Tutunum Sistemleri

Elektrostatik çift tabaka, difüz tabakası ile stern dış tabakasının toplamıdır. Stern tabakası negatif yüzey yüklerine sahiptir. Partiküller katyonik kaynak tarafından nötralle edilmediğinde çift tabaka kısmen kalındır ve partiküller kümelenmez. Koagülant ilavesi ile her partiküldeki çift tabaka nötralizasyon ile daraltılır. Kağıt endüstrisinde tek bileşenli tutundurucu sistemi olarak poliakrilamidler ve polietilen oksit kullanılmaktadır [1].

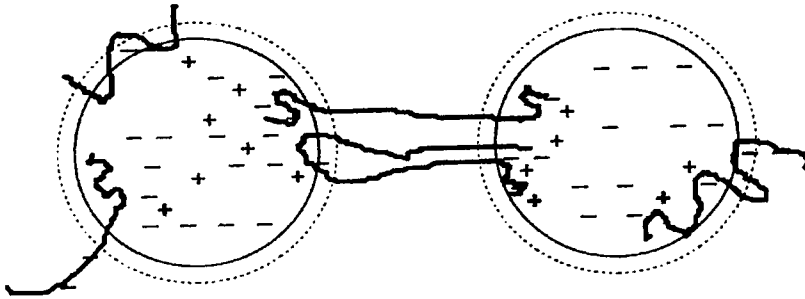
Katyonik bir PAM negatif partiküllere yaklaştığında elektrostatik çekim ile ince fraksiyon üzerine adsorblanır. Bu olay katyonik flokülantın temel rolü olmamasına rağmen, yük nötralizasyonu ile çift tabakaların daralmasına da yardım eder. Partiküller birbirlerine yaklaştıklarında köprü oluşturma meydana gelebilir. Katyonik poliakrilamidin bağlanma modeli ile flokülasyon mekanizması Şekil 36' da gösterilmiştir [1].



Anyonik ve noniyonik PAM' ler katyonik PAM'e göre daha kompleks mekanizma ile çalışırlar. Gerçekte noniyonik PAM' ler çözülebilirlik nedenlerinden dolayı biraz negatif yüke sahiptirler ve bu yüzden anyonik madde gibi davranırlar. İlk olarak, partiküllerin bazı tip koagülantlarla bir nötralizasyon işlemine tabi tutulmaları gerekmektedir. Bu koagülantlar stok içerisinde diğer bazı nedenler için bulunabilir veya anyonik PAM' in performansını artırmak için özel olarak ilave edilirler. Sonra, partiküller katyonik PAM' den daha fazla molekül ağırlığına sahip anyonik PAM ile işleme sokulur. Anyonik flokülant, partiküllerin katyonik bölgelerine adsorblanır ve partiküller köprü oluşturma flokülasyonu ile bağlanırlar (Şekil 37), [1].



Şekil 36. Katyonik poliakrilamid ile bağlanma yoluyla flokülasyon



Şekil 37. Anyonik poliakrilamid ile bağlanma yoluyla flokülasyon

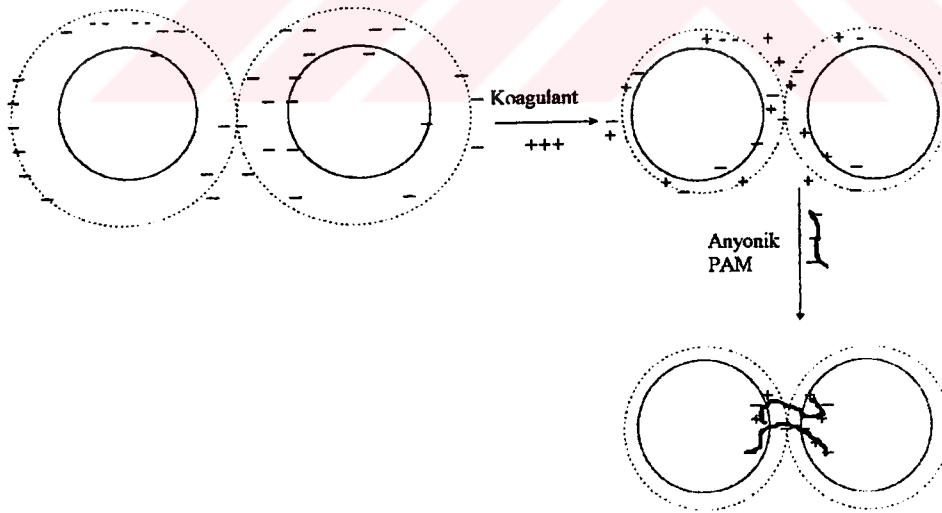
## 1.6.4.2. Çift Bileşenli Tutunum Sistemleri

### 1.6.4.2.1. Koagülant ve Poliakrilamid (PAM)

Bu en yaygın tutunum sistemidir. Bu grup, koagülantlar ve poliakrilamidlerin tüm kombinasyonunu içermektedir. Tüm pratik kombinasyonlar şu şekilde sıralanabilir: şap ve anyonik PAM, şap ve katyonik PAM, katyonik nişasta ve APAM, katyonik nişasta ve CPAM, PAC ve APAM, PAC ve CPAM, polyamin ve APAM, polyamin ve CPAM, poly-DADMAC ve APAM, poly-DADMAC ve CPAM, PEI ve APAM, PEI ve CPAM [1].

#### 1.6.4.2.1.1. Koagülant ve PAM sisteminin Genel Mekanizması

Koagülantlar kısmen bazı negatif yükleri nötralize ederler ve çift tabaka daralmasına ve partiküllerin arasındaki ilişkinin artmasına (koagülasyona) neden olurlar. PAM partikül üzerindeki zıt yük ile Şekil 38' deki gibi reaksiyona girer [1].



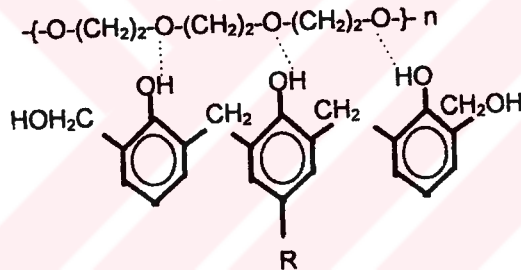
Şekil 38. Koagülant / APAM sistemi ile flokülasyon

### 1.6.5. Örgü Ağı Flokülasyonu

Mekanik hamurlarda hem çözülebilir hem de çözilemeyen anyonik kirleticilerin yüksek miktarı, koagülantlarla kağıt üretim ıslak sonunu nötralize etmede güçlükler yaratmaktadır. Bu durumlarda, etkili şekilde çalışmak için yük nötralizasyonu gerektirmeyen tutunum sistemleri uygundur. Bu flokülasyon mekanizmaları, ilk bileşenin ikinci bileşenle direkt reaksiyonunu içermektedir. İnce partiküllerin ve dolgu maddelerin tutunumu moleküler bir ağ içindeki tutma ile meydana gelmektedir. Bu teoriyi kullanan en yaygın sistemler şunlardır [1]:

1. Fenolik reçine ve PEO
2. Bentonit ve noniyonik (çok az anyonik) PAM

Fenolik reçine ve PEO yük olarak noniyoniktir. Şekil 39' da görüldüğü gibi bu tutunum sistemi için önerilen reaksiyon mekanizması, hidrojen bağı ile meydana gelir.

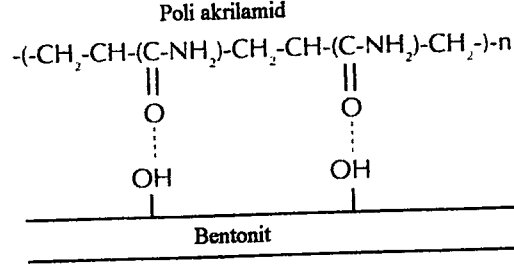


Şekil 39. PF ile PEO reaksiyonu

İkinci hipotezde daha basit bir flokülasyon mekanizması mevcuttur. Reçine lif kırıntılarının üzerinde adsorplanır ve PEO lif üzerindeki PF bölgeleri ile reaksiyona girer. Açık olarak, bu tip flokülasyon mekanizması kırıntı partikül tutunumu için iyi şekilde çalışabilir; fakat dolgu tutunumu için yeterli değildir [1].

Bentonit ve PAM sisteminde kullanılan poliakrilamid genellikle yüksek molekül ağırlığına ve az miktarda anyonik yüke sahiptir. Bentonit ile PAM arasındaki reaksiyon

Şekil 40' da görüldüğü gibi örgü ağı ile flokülasyon mekanizmasını meydana getirir. İkinci mekanizma, çok kompleks olan fakat bentonitin mikroskopik bir sünger gibi hareket etme yeteneği ile ilgili olduğu görülen çözülmüş ve anyonik madde adsorbsiyonudur. Bazı durumlarda, beyaz su içerisinde toplam çözülmüş katılar büyük miktarda azaltılır [1].



Şekil 40. Hidratlanmış bentonit ile PAM reaksiyonu

Bu kombinasyonda kırıntı lif ve dolgunun tutunumu iyidir. Açık olarak bentonit/PAM örgü ağı, PF/PEO örgü ağından farklıdır. Ağın “mesh” büyüklüğü daha dardır. Böylece, daha yüksek dolgu tutunumu sağlar [1].

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Materyal Seçimi

Çalışmada kağıt hamuru olarak ağartılmamış mekanik hamur ve kimyasal hamur seçilmiştir. Mekanik hamur SEKA Aksu - Giresun tesisinden temin edilmiştir. Kimyasal hamur ağartılmış iğne yapraklı odun selülozu olup aynı fabrika tarafından yurt dışından temin edilmiştir. Serbestlik derecesi mekanik hamurda 58 °SR ve kimyasal hamurda 25 °SR' dir.

Tutundurucu madde olarak anyonik poliakrilamid (NALCO D-4771), yapıştırma maddesi olarak kolofan ve dolgu maddesi olarak kaolen kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan odun hamuru ladin, göknar, çam gibi uzun liflere sahip odunlardan elde edilmiştir. Kabuk soyucuda (tromel) kabukları soyulan tomruklar taşlı rafinerilerde, 60 °C sıcaklığa sahip su kullanılarak 58-65 °SR' de üretilmiştir. Kullanılan kimyasal hamur Prident Trading and Finance, Rusya şirketinden ithal edilmiş ağartılmış sülfat selülozudur. Kimyasal hamur 25 °SR derecesine sahiptir. Bu serbestlik derecesinde 57 gr/m<sup>2</sup> gramajda, 7,251 km kopma uzunluğuna, 1,37 gf / gr/m<sup>2</sup> yırtılma faktörüne, 583 gf / cm<sup>2</sup> / gr/m<sup>2</sup> patlama faktörüne ve %86.4 beyazlığa sahiptir.

#### 2.1.2. Deney Örneğinin Hazırlanması

Hamur süspansiyonu mekanik ve kimyasal hamurların belirli oranlarda karıştırılması ile hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılacak hamur süspansiyonu %0.5 konsantrasyonda ve belirlenen hamur oranlarında olacak şekilde ayarlanıp karıştırma makinesine konmuştur. Burada hamur süspansiyonunun homojen şekilde karışması sağlanmıştır. % 1 kolofan ilavesi yapıldıktan 5 dakika

sonra % 1 alüminyum sülfat ilavesi yapılmıştır. Daha sonra süspansiyonun pH' ı H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilavesi ile 4.8' e ayarlanmıştır.

## **2.2. Metot**

### **2.2.1. Kırıntı Fraksiyonu, İlk-Geçiş Kırıntı Tutunumu ve Toplam Katı Tutunumunun Belirlenmesi**

Kırıntı fraksiyonu, ilk-geçiş kırıntı tutunumu ve toplam katı tutunumu TAPPI 261 cm-90 standardına göre belirlenmiştir [32].

#### **2.2.1.1. Hamur Süspansiyonun Kırıntı Fraksiyonunun Belirlenmesi**

Deney örneğinin hazırlanması sırasında, kolofan ve şap ilavesinden önce %0.5 konsantrasyondaki süspansiyondan 3 adet 100 ml alınmış ve önceden hazırlanmış olan yıkama suyu (%2.5 NaCO<sub>3</sub>) ile 500 ml' ye tamamlanmıştır. Yaklaşık %0.1 konsantrasyona gelen örnek, 200 mesh eleğe sahip Dinamik Drenaj Kabı'na konmuştur. Karıştırıcı deviri 750-800 rpm' de olacak şekilde çalıştırılarak drenaj işlemi başlatılmıştır. Kap içerisindeki süspansiyon seviyesi 5 mm kalınca tekrar 500 ml yıkama suyu ilave edilmiş ve bu işlem 4-5 kez tekrar edilmiştir. Drenaj kabı içerisinde kalan hamur yıkanarak alınmış ve süzgeç kağıdı ile süzülüp fırın kurusu ağırlığı belirlenmiştir. Belirlenen değer ile 100 ml içerisinde bulunan hamur miktarı arasındaki oran hamur içerisindeki kırıntı fraksiyonun oranını vermiştir. Süspansiyondan alınan üç hamur örneğinden elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır [32].

#### **2.2.1.2. İlk-Geçiş Kırıntı Tutunumunun Belirlenmesi**

Hazırlanan deney örneğinden 500 ml alınıp süspansiyon kabının içerisine konmuş ve karıştırıcı 1250 rpm' de çalıştırılmıştır. Dolgu maddesi kullanarak yapılan çalışmalarda, % 10 dolgu ilavesi yapıldıktan sonra süspansiyon 15 saniye karıştırılmış olup tutundurucu madde ilave edilmiştir ve 15 saniye sonra süzme başlatılmıştır. Süzülen kısım bir kaptan toplanmış ve toplanan

bu süzüntüden 80-100 mg alınmış süzgeç kağıdında süzülmüştür. Örnek 105 °C' de kurutulduktan sonra ağırlığı kaydedilmiş ve ilk-geçiş kırıntı tutunumu aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [32].

$$FPR = [1 - [W \times (V/U)] / T] \times 100 \quad (5)$$

- FPR : İlk-geçiş kırıntı tutunumu, %  
 T : Örnek içerisindeki toplam kırıntı miktarı, g  
 W : Süzüntü içerisindeki kırıntı miktarı, g  
 V : Örneğin hacmi, ml (500 ml)  
 U : Süzüntü miktarı, g

### 2.2.1.3. Toplam Katı Tutunumunun Belirlenmesi

Hamur süspansiyonunun toplam katı tutunumu ilk geçiş kırıntı materyal tutunumu belirlenirken kullanılan değerlerle aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [32]:

$$TKT = [1 - [W \times (V/U)] / S] \times 100 \quad (6)$$

- TKT : Toplam katı tutunumu, %  
 S : Örnek içerisindeki toplam katı miktarı, g  
 W : Süzüntü içerisindeki kırıntı miktarı, g  
 V : Örneğin hacmi, ml (500 ml)  
 U : Süzüntü miktarı, g

### 2.2.2. Hamurun Drenaj Süresinin Belirlenmesi

Farklı APAM ilave miktarlarında hamurların drenaj süreleri TAPPI T OM-88' e göre belirlenmiştir[33].

Drenaj testi TAPPI T 205 OM-88' e göre deneme kağıtlarının üretimi sırasında yapılmıştır. Drenaj süresi 20 °C' de 60 gr/m<sup>2</sup> standart gramaja sahip kağıdın oluşması için gereken drenaj süresidir. Drenaj süresi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$ds = \left[ \frac{d(60 - K)}{r - K} \right] + \left[ \frac{1}{(Vt - 1)} \right] (d-4) \quad (7)$$

ds : Hesaplanan drenaj süresi, s

d : Okunan drenaj süresi, s

Vt : Suyun viskozitesi, mPa.s

K : Hamur türüne bağlı katsayı, genellikle 25

### 2.2.1.3. Deneme Kağıtlarına Uygulanan Fiziksel ve Optik Testler

Farklı hamur karışımlarına farklı oranda APAM ilave ederek yapılan deneme kağıtları TAPPI T 205 Om-88 standardına uygun olarak hazırlanmıştır.

Yapılan deneme kağıtları TAPPI T 402 OM-88 standardına göre 23 ± 3 °C ve bağıl nem %50 ± 3 olarak ayarlanmış laboratuvar şartlarında 24 saat bekletildikten sonra aşağıdaki testlere tabi tutulmuştur.

- TAPPI T 410 OM-93 standardına göre gramaj,
- TAPPI T 452 OM- standardına göre parlaklığı,
- TAPPI T 404 OM- 902 standardına göre kopma uzunluğu aşağıdaki formüle göre

kilometre cinsinden hesaplanmıştır.

$$\text{Kopma uzunluğu} = [( \text{kopma kuvveti, g} ) / ( \text{şerit genişliği x gramaj} )] \times 0.001 \text{ (km)} \quad (8)$$

- TAPI T 403 OM-91 standardına göre patlama indisi aşağıdaki formüle göre kPa m<sup>2</sup>/g cinsinden belirlenmiştir.



$$\text{-Patlama İndisi} = \text{patlama kuvveti} / \text{gramaj} \quad (\text{kPa m}^2/\text{g}) \quad (9)$$

- TAPPI T 414 OM-88 standardına göre yırtılma direnci aşağıdaki formül ile  $\text{mNm}^2/\text{g}$  olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yırtılma İndisi} = \text{yırtılma direnci} / \text{gramaj} \quad (\text{mNm}^2/\text{g}) \quad (10)$$

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Tutunum Yüzdelerine Ait Bulgular

##### 3.1.1. Hamur Süspansiyonuna Dolgu Maddesi İlave Edilmeden Yapılan Çalışmalara Ait Tutunum Bulguları

##### 3.1.1.1. Hamur Süspansiyonlarına Dolgu Maddesi İlave Edilmeksizin Elde Edilen İlk Geçiş Kırıntı Tutunumuna Ait Bulgular

Yapılan çalışmanın birinci kısmı dolgu maddesi kullanılmadan sadece lif ve tutundurucu madde kullanarak yapılmıştır. Hamur süspansiyonu mekanik ve kimyasal hamurların belirli oranlarda karıştırılması ile hazırlanmıştır. İlk geçiş tutunum yüzdeleri daha önce belirtilen standart yönteme uygun olarak belirlenmiştir.

Hamur süspansiyonlarına farklı miktarlarda anyonik poliakrilamid ilave edilerek elde edilen ilk geçiş kırıntı materyal tutunum yüzdeleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Farklı mekanik ve kimyasal hamur karışımlarına sahip hamur süspansiyonlarına dolgu maddesi ilave edilmeksizin elde edilen ilk geçiş kırıntı tutunum yüzdelerinin polimer dozu ile değişimi

İlave edilen polimer, %	İlk-Geçiş Kırıntı Tutunumu, %					
	% 100 MH	% 80 MH % 20 KH	% 60 MH % 40 KH	% 40 MH % 60 KH	% 20 MH % 80 KH	%100 KH
0	58.65	34.02	48.84	40.53	31.47	46.15
0.2	87.38	63.87	69.38	59.76	52.56	58.83
0.4	96.38	72.23	93.86	78.79	62.68	66.07
0.6	98.84	96.30	98.69	91.66	66.98	67.65
0.8	98.97	96.50	98.96	93.55	78.00	68.06
1.0	99.02	96.97	99.04	97.30	94.32	87.45

Dolgu maddesi ilave edilmemiş farklı hamur karışımlarına ait kırıntı fraksiyon oranı Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Dolgu maddesi ilave edilmemiş farklı hamur süspansiyonlarının kırıntı oranları

Kırıntı Fraksiyonu, %	Hamur Karışım Oranları					
	%100 Mek.	%80 Mek.+ %20 Kim.	%60 Mek.+ %40 Kim.	%40 Mek.+ %60 Kim.	%20 Mek.+ %80 Kim.	%100 Kim.
	37.40	29.43	27.48	17.83	12.62	9.90

### 3.1.1.2. Hamur Süspansiyonlarına Dolgu Maddesi İlave Edilmeksizin Elde Edilen Toplam Katı Tutunumuna Ait Bulgular

Dolgu maddesi ilave edilmemiş farklı hamur süspansiyonlarına farklı polimer miktarlarının ilave edilmesi ile elde edilen toplam katı tutunumuna ait bulgular Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Farklı mekanik ve kimyasal hamur karışımlarına sahip hamur süspansiyonlarına dolgu maddesi ilave edilmeksizin elde edilen toplam katı tutunum yüzdelerinin polimer dozu ile değişimi

İlave edilen polimer, %	Toplam Katı Tutunumu, %					
	% 100 MH	% 80 MH % 20 KH	% 60 MH % 40 KH	% 40 MH % 60 KH	% 20 MH % 80 KH	%100 KH
0	84.54	80.58	85.94	89.40	91.35	94.67
0.2	95.28	89.37	91.59	92.83	94.01	95.93
0.4	98.65	91.83	98.31	96.22	95.29	96.64
0.6	99.57	98.91	99.64	97.57	95.83	96.80
0.8	99.61	98.97	99.71	98.85	97.22	96.84
1.0	99.63	99.11	99.74	99.52	99.28	98.76

### 3.1.2. Hamur Süspansiyonuna Dolgu Maddesi İlave Edilerek Yapılan Çalışmalara Ait Tutunum Bulguları

#### 3.1.2.1. Hamur Süspansiyonlarına Dolgu Maddesi İlave Edilerek Elde Edilen İlk Geçiş Kırıntı Tutunumuna Ait Bulgular

Çalışmanın ikinci kısmında dolgu maddesi kullanılmıştır. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarında fraksiyonlama ile elde edilen kırıntı materyal miktarları Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarına ait kırıntı materyal oranları

Kırıntı Frk. %	Hamur Türü					
	%100 Mek.	%20 Kim.+ %80 Mek.	%40 Kim.+ %60 Mek.	%60 Kim.+ %40 Mek.	%80 Kim.+ %20 Mek.	%100 Kim.
	43,35	35,83	33,14	27,93	23,83	18,14

Çalışmada elde edilen ilk-geçiş kırıntı materyal tutunumuna ait sonuçlar ise Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5. Farklı mekanik ve kimyasal hamur karışımlarına sahip hamur süspansiyonlarına dolgu maddesi ilave edilerek elde edilen ilk geçiş kırıntı tutunum yüzdelerinin polimer dozu ile değişimi

İlave edilen polimer, %	İlk-Geçiş Kırıntı Tutunumu, %					
	% 100 MH	% 80 MH % 20 KH	% 60 MH % 40 KH	% 40 MH % 60 KH	% 20 MH % 80 KH	%100 KH
0	46.18	39.39	43.68	37.37	44.46	37.67
0.2	68.40	67.72	53.27	46.91	49.95	43.14
0.4	86.45	79.64	60.86	62.46	55.16	45.39
0.6	95.22	89.57	83.34	68.42	70.34	50.65
0.8	97.35	95.90	92.45	92.96	96.55	54.54
1.0	98.52	97.28	97.89	93.24	99.88	59.06

### 3.1.2.2. Hamur Süspansiyonlarına Dolgu Maddesi İlave Edilerek Elde Edilen Toplam Katı Tutunumuna Ait Bulgular

Dolgu maddesi ilave edilerek farklı hamur süspansiyonlarında tutundurucu polimer ile sağlanan toplam katı tutunumuna ait bulgular Tablo 6' de verilmiştir.

Tablo 6. Farklı mekanik ve kimyasal hamur karışımlarına sahip hamur süspansiyonlarına dolgu maddesi ilave edilerek elde edilen toplam katı tutunum yüzdelerinin polimer dozu ile değişimi

İlave edilen polimer, %	Toplam Katı Materyal Tutunumu, %					
	% 100 MH	% 80 MH % 20 KH	% 60 MH % 40 KH	% 40 MH % 60 KH	% 20 MH % 80 KH	%100 KH
0	76.67	78.28	81.34	82.51	86.77	88.69
0.2	86.30	88.43	84.51	85.17	88.07	89.69
0.4	94.13	92.71	87.03	89.51	89.31	90.09
0.6	97.93	96.26	94.48	91.18	92.93	91.05
0.8	98.85	98.53	97.50	98.03	99.18	91.75
1.0	99.36	99.03	99.30	98.11	99.97	92.57

### 3.2. Farklı Polimer Dozları İlave Edilerek Elde Edilen Kağıtların Fiziksel ve Optik Özelliklerine Ait Bulgular

#### 3.2.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmeden Yapılan Kağıtların Fiziksel ve Optik Özellikleri

% 20 mekanik ve % 80 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu maddesi ilave etmeksizin tutundurucu madde ilave edilerek standartlara uygun şekilde elde edilen kağıtlarda bu maddenin dozundaki değişimin kopma uzunluğu, yırtılma indisi, patlama indisi, parlaklık ve drenaj süresi üzerine etkisi Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 7. % 80 mekanik ve % 20 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu maddesi ilave edilmeden tutundurucu madde ilave edilerek elde edilen kağıtların kopma uzunluğu, yırtılma indisi, patlama indisi, parlaklık ve drenaj süresi ait bulgular

Polimer İlavesi, %	Kopma Uzunluğu, km	Yırtılma İndisi	Patlama İndisi	Parlaklık	Drenaj Süresi ,s
0	2,382	5,950	0,763	49,73	13,24
0,2	2,104	5,750	0,630	47,81	25,80
0,4	1,965	5,805	0,563	47,75	27,22
0,6	1,840	5,305	0,556	47,91	27,29
0,8	1,719	5,705	0,494	47,63	32,87
1	1,718	5,985	0,472	47,84	34,91

### 3.2.2. Dolgu Maddesi İlave Edilerek Yapılan Kağıtların Fiziksel ve Optik Özellikleri

% 20 mekanik ve % 80 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu madde ve tutundurucu maddesi ilave edilerek elde edilen kağıtlara ait kopma uzunluğu, yırtılma indisi, patlama indisi, parlaklık ve drenaj süresine ait bulgular Tablo 8' de verilmiştir.

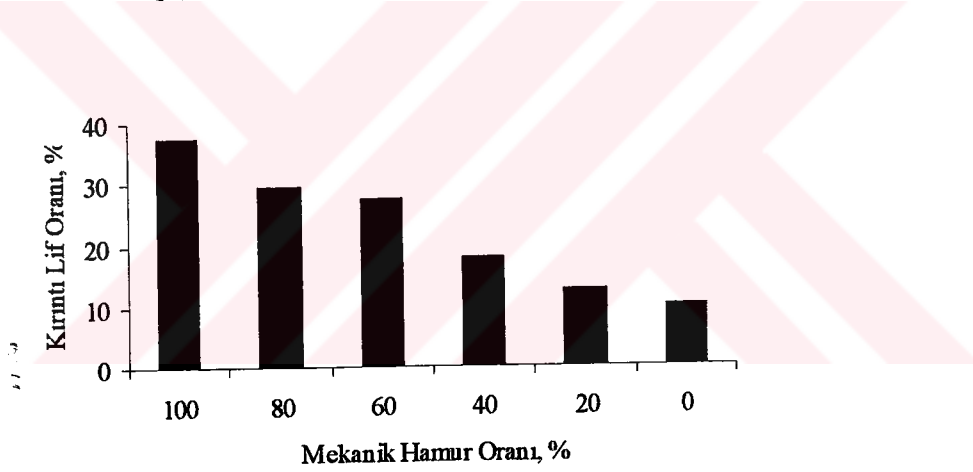
Tablo 8. % 80 mekanik ve % 20 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan %10 dolgu maddesi ve tutundurucu madde ilave edilerek elde edilen kağıtların kopma uzunluğu, yırtılma indisi, patlama indisi, parlaklık ve drenaj süresi ait bulgular

Polimer İlavesi, %	Kopma Uzunluğu, km	Yırtılma İndisi	Patlama İndisi	Parlaklık	Drenaj Süresi ,s
0	2,079	5,260	0,668	53,30	14,88
0,2	1,858	4,985	0,537	55,00	22,26
0,4	1,585	5,240	0,446	51,07	23,98
0,6	1,583	5,120	0,434	51,13	26,73
0,8	1,568	5,410	0,442	51,32	32,14
1	1,541	4,845	0,380	51,58	42,27

## 4. İRDELEME

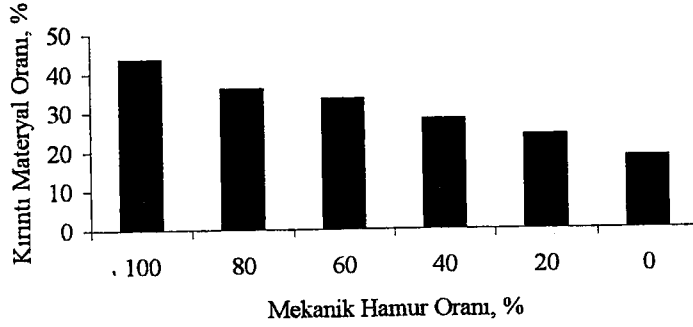
### 4.1.Hamurun Kırıntı Materyal Oranının Değişimi

Yapılan çalışmada elde edilen kırıntı fraksiyon değerleri incelendiğinde; kırıntı oranının süspansiyon içerisindeki mekanik hamur oranının artması ile arttığı görülmektedir. Mekanik hamurun serbestlik derecesi 58 °SR iken kimyasal hamurun serbestlik derecesi 25 °SR' dir. Bu değerden de anlaşılacağı gibi mekanik hamur daha fazla kırıntı materyal içermektedir. %100 mekanik hamur içeren süspansiyonda kırıntı fraksiyon oranı %37.40 iken %100 kimyasal hamur içeren süspansiyonda bu değer %9.90' dır. Şekil 41' de dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonlarında kırıntı materyal oranının mekanik hamur oranı ile değişimi verilmiştir.



Şekil 41. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamurlarda kırıntı materyal oranının mekanik hamur oranı ile değişimi

Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonunda, dolgu maddesinin tümü 200 mesh' lik elekten geçeceğinden dolayı kırıntı materyal oranı artmıştır. Şekil 42' de dolgu maddesi ilave edilerek hazırlanan farklı hamur süspansiyonlarındaki kırıntı materyal oranı verilmiştir.



Şekil 42. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamurlarda kırıntı materyal oranının mekanik hamur oranı ile değişimi

#### 4.2. Tutunuma Ait Bulguların İrdelenmesi

##### 4.2.1. Hamur Süspansiyonuna Dolgu Maddesi İlave Edilmeden Yapılan Çalışmalara Ait Tutunum Bulgularının İrdelenmesi

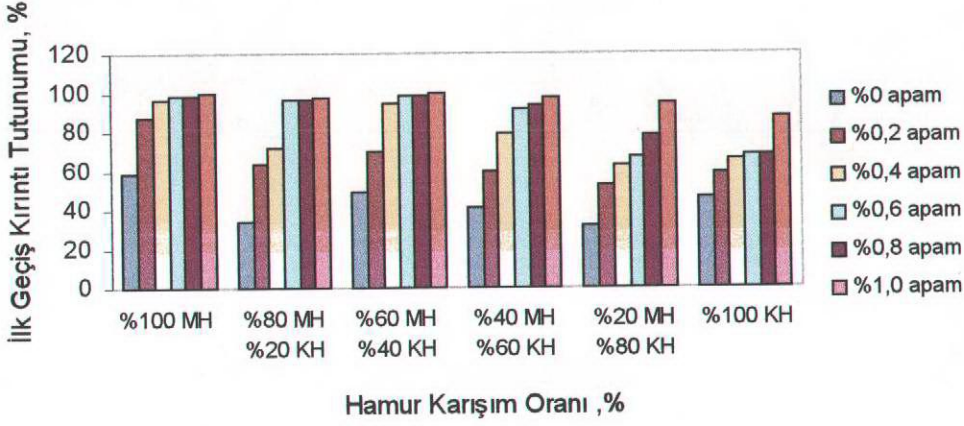
###### 4.2.1.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Türlerine Ait İlk Geçiş Kırıntı Tutunum Bulgularının Değerlendirilmesi

Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM'ın ilave miktarının ilk geçiş kırıntı materyal tutunumu üzerine etkisi Şekil 43' de gösterilmiştir.

Hamur süspansiyonuna sadece polimer ilave edilerek yapılan çalışmalarda elde edilen ilk-geçiş kırıntı materyal tutunum değerlerine bakıldığında, genel olarak polimer ilavesindeki artışın ilk-geçiş kırıntı lif tutunumunda artışa neden olduğu görülmüştür. Gazete kağıdı üretimine uygunluğu bakımından %80 mekanik hamur ve % 20 kimyasal hamur içeren süspansiyon ile yapılan çalışma incelendiğinde, polimer dozajının %0' den %1.0' a artması durumunda ilk-geçiş kırıntı lif tutunum yüzdesinin %34,02' den %96,97' e çıktığı belirlenmiştir. Buradaki tutunma mekanizması köprü oluşturma flokülasyonu ile gerçekleşir. APAM, süspansiyon içerisindeki partiküller arasında köprüler oluşturarak bu partikülleri birbirine bağlar. Polimer dozunun artması ile tutunumu sağlayan polimere ait kıvrım ve halkaların sayısı artar ve daha fazla kırıntı materyal ile temas sağlanır. Polimer



ilavesindeki artış ile bu kıvrım ve uzantılar artar ve daha fazla kırıntı ile temas sağlanır. Böylece kırıntı materyalin hem birbirlerine hem de daha büyük boyuta sahip liflerle bağlanması sağlanmış olur [1].



Şekil 43. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM miktarının ilk geçiş kırıntı materyal tutunumuna etkisi

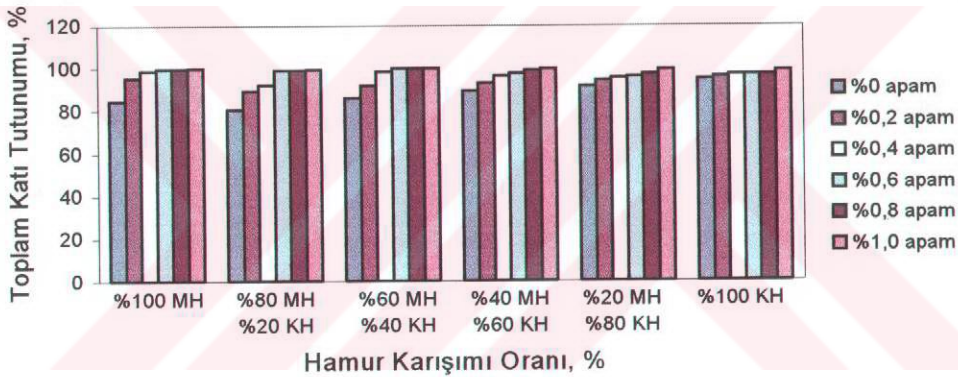
% 100 mekanik hamur ile yapılan denemede tutunum %1 APAM kullanımı ile %99.02 iken, bu oran %100 kimyasal hamur kullanımında %87.45' e düştüğü tespit edilmiştir. olmaktadır. Bu durum, kullanılan APAM' in mekanik hamur lifleri ile uyumunun dolayısıyla, nötrleştirdiği yükün fazlalığından ileri gelmiştir. Bilindiği üzere, mekanik hamur lignin içeriği bakımından kimyasal hamurdan daha zengindir. Mekanik hamurda ligninin yapısının yarattığı fonksiyonel grup fazlalığı anyonik poliakrilamid polimerinin bağlanabileceği noktaların sayısını artırmıştır. Ayrıca, serbestlik derecesi düşük olan kimyasal hamur liflerinin daha az saçaklanmaya ve spesifik yüzey alanına sahip olmasıdır. Kimyasal hamur daha az dövülmüş olup liflerin primer çeperi daha az parçalanmış olduğundan bağ yapma yeteneği olan sekonder çeper tamamen ortaya çıkmamıştır [1].

#### 4.2.1.2. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonlarına Ait Toplam Katı Tutunum Bulgularının Değerlendirilmesi

Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM ilave miktarının toplam katı tutunumuna etkisi Şekil 44' te verilmiştir.

%80 mekanik hamur ve %20 kimyasal hamurdan oluşan süspansiyonuna ait toplam katı materyal tutunum oranları incelendiğinde, polimer dozajının %0 'dan %1.0' e artması durumunda bu değerlerin %80.58' den %99.11' e kadar çıktığı tespit edilmiştir.

Polimer ilavesi yapılmamış hamur türlerinde toplam katı tutunum değeri kimyasal hamur değeri arttıkça yükselmiştir. Çünkü hamur süspansiyonu içerisinde kimyasal hamur oranı artması ile uzun lif oranı artarken kırıntı lif oranı azalmıştır. Bununla birlikte, kırıntı lif uzun liflerden daha fazla aktif yüzey alanına sahiptir. Ayrıca, kimyasal hamur oranının artması hamur süspansiyonu içerisinde APAM' in bağlanabileceği fonksiyonel grupların sayısını azaltmıştır. Dolayısıyla, APAM etkili bir şekilde kümelenme sağlayamamıştır. Bütün bunlar dikkate alındığında, süspansiyon içerisinde uzun lif oranının artması mekanik olarak tutunmayı baskın hale getirmiştir.

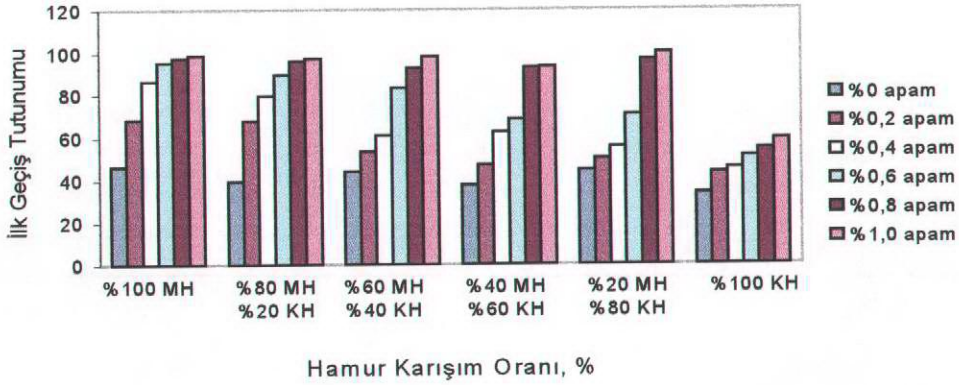


Şekil 44. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM miktarının toplam katı tutunumuna etkisi

#### 4.2.2. Hamur Süspansiyonuna Dolgu Maddesi İlave Edilerek Yapılan Çalışmalara Ait Tutunum Bulgularının İrdelenmesi

##### 4.2.2.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş Hamur Süspansiyonlarına Ait İlk Geçiş Kırıntı Tutunum Bulgularının Değerlendirilmesi

Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM ilave miktarının ilk geçiş tutunumuna etkisi Şekil 45' de verilmiştir.



Şekil 45. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM miktarının ilk geçiş tutunumuna etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonuna ilave edilen APAM miktarının artması ile ilk geçiş tutunumunun arttığı tespit edilmiştir. %80 mekanik hamur ve %20 kimyasal hamurdan oluşan süspansiyon ile yapılan çalışmalar incelendiğinde APAM miktarının %0' dan %1' e çıkartılması ile ilk geçiş tutunum yüzdesinin %39,39' dan %97,28' e çıktığı bulunmuştur. Polimer miktarının artması, polimerin liflerle bağlanmasını sağlayan kıvrım ve halkaların sayısının artmasına yol açmıştır.

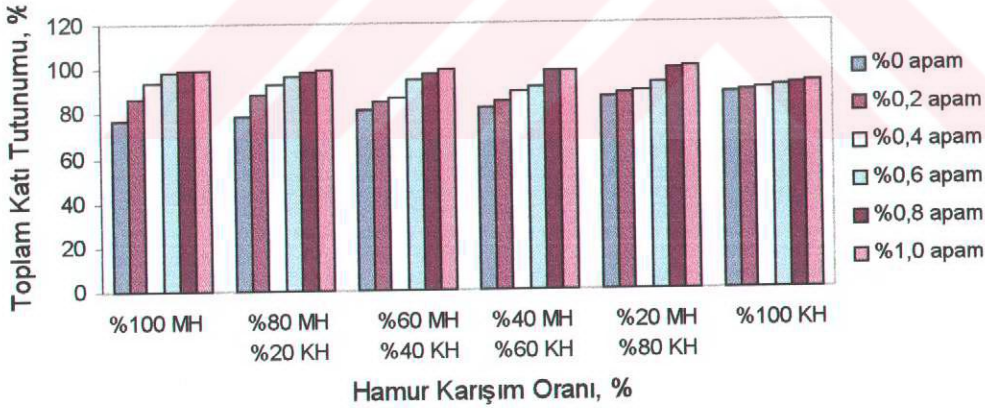
%100 kimyasal hamurdan oluşan süspansiyonla yapılan çalışmalar polimer ilavesinin %0' dan %1' e çıkartılması halinde tutunumun %37,67' den %59,06' ya çıktığı göstermiştir. % 100 kimyasal hamur içeren hamur süspansiyonunun mekanik hamur içeren hamur süspansiyonlarına oranla daha az ilk geçiş tutunumu vermesi, mekanik hamurların kimyasal hamurlara oranla daha fazla lignin içermesinden kaynaklanmıştır. Bilindiği üzere, ligninin içerdiği fonksiyonel gruplar asidik kağıt üretim şartlarında protonlaşarak anyonik poliakrilamid polimeri için çekici noktalar meydana getirmektedir [1].

Hamur süspansiyonlarına dolgu maddesini ilave edilmesi ilk geçiş kırıntı materyal tutunumunu azaltmıştır. Dolgu maddesi ilave edilmiş % 100 mekanik hamur içeren hamur süspansiyonuna %0.2 APAM ilavesi ile sağlanan ilk geçiş kırıntı materyal tutunum oranı dolgu maddesi ilave edilmemiş aynı tür hamurdan elde edilen değere göre %21,7 daha az bulunmuştur. Benzer şekilde, dolgu maddesi ilave edilmiş %100 kimyasal hamur içeren hamurlarda %0.2 APAM ilavesi ile sağlanan ilk geçiş kırıntı materyal tutunumu

dolgu maddesi ilave edilmemiş aynı tür hamurdan elde edilen orana göre %26,7 daha az bulunmuştur. Bunun nedeni, dolgu maddesi olarak ilave edilen negatif yüke sahip kaolen hamur süspansiyonu içerisinde negatif yüke sahip maddelerin oranında artışa neden olmuştur. Kaolen partikülleri kırıntı lifler üzerinde protonlaşma ile meydana gelen pozitif noktaların nötürleştirilmesine katkıda bulunmuştur. Dolayısıyla, APAM' in daha etkili şekilde kümelenme sağlamasına yardım eden bu noktaların azalmasıyla, dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarında tutunum oranları düşmüştür. Ayrıca, hamur süspansiyonunun daha fazla negatif yüke sahip olması ile partiküllerin sahip olduğu elektrostatik çift tabaka kalınlığı artacaktır. Bu tabakanın artması ile partiküller arasındaki mesafe artacak ve belirli bir kümelenme derecesi için gereken polimer miktarı artacaktır [1].

#### 4.2.2.2. Toplam Katı Tutunumuna Ait Bulguların Değerlendirilmesi

Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarında, hamur türünün ve APAM miktarının toplam katı tutunumu üzerine etkisi Şekil 46' da gösterilmiştir.



Şekil 46. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarında hamur türünün ve APAM miktarının toplam katı tutunumuna etkisi

%80 mekanik hamur ve %20 kimyasal hamurdan oluşan süspansiyon ile çalışmalar incelendiğinde APAM miktarının %0' dan %1' e çıkartılması ile toplam katı tutunumu %78,28' den %99,36' ya çıkmıştır. Polimer miktarının artması ile polimerin süspansiyon içerisindeki katılarla bağ yapma miktarı artar ve böylece elek üzerinde kalabilecek kadar büyük boyuta sahip makro kümeler meydana gelmektedir [13].

Dolgu maddesi ilavesi ile birlikte tüm hamur türlerinde %0.2 polimer ilavesi ile sağlanan toplam katı materyal tutunumu azalmıştır. Dolgu maddesi ilave edilmiş % 100 mekanik hamur içeren hamur süspansiyonuna %0.2 APAM ilavesi ile sağlanan toplam kırıntı materyal tutunum oranı dolgu maddesi ilave edilmemiş aynı tür hamurdan elde edilen değere göre %9.4 daha az bulunmuştur. Benzer şekilde, dolgu maddesi ilave edilmiş %100 kimyasal hamur içeren hamurlarda %0.2 APAM ilavesi ile sağlanan ilk geçiş kırıntı materyal tutunumu dolgu maddesi ilave edilmemiş aynı tür hamurdan elde edilen orana göre %9.7 daha az bulunmuştur. Hamur süspansiyonuna ilave edilen dolgu maddesi negatif yük taşıdığından hamur süspansiyonu içerisindeki negatif yüke sahip katıların oranında bir artışa neden olmuştur. Böylece, hem hamur süspansiyonu içerisindeki partiküllerin elektrostatik çift tabaka kalınlığını arttırmıştır hem de APAM polimerinin bağlanma gerçekleştireceği noktaların sayısı azaltmıştır. Bu nedenle, etkili bir kümelenme gerçekleşmemiş ve tutunum zayıflamıştır [3].

### **4.3. Farklı Polimer Dozları İlave Edilerek Elde Edilen Kağıtların Fiziksel ve Optik Özelliklerine Ait Bulguların Değerlendirilmesi**

#### **4.3.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmeden Yapılan Kağıtların Fiziksel ve Optik Özelliklerine Ait Bulguların Değerlendirilmesi**

%80 mekanik ve %20 kimyasal hamurdan oluşan hamur türü SEKA-Aksu kağıt fabrikasında gazete kağıdı üretiminde kullanıldığı için, tutundurucu madde miktarının kağıdın fiziksel ve optik özellikleri üzerine etkisi bu karışım oranı kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır.

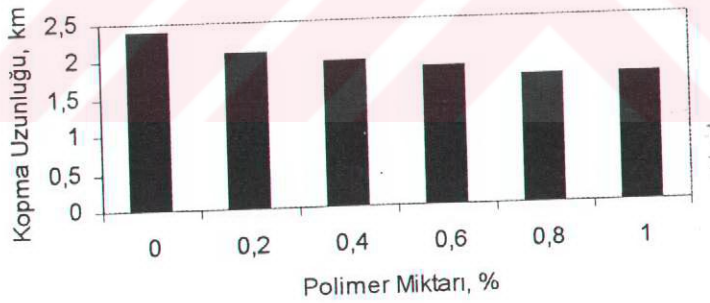
% 80 mekanik ve % 20 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu madde ilave etmeksizin tutundurucu madde ilave edilerek elde edilen kağıtlarda bu maddenin dozundaki değişimin kopma uzunluğu, yırtılma indisi, patlama indisi, parlaklık ve drenaj süresi üzerine etkisini belirlemek için gerçekleştirilen varyans analizi ve işlem ortalamalarının en küçük önemli fark yöntemiyle karşılaştırılması (İ.O.E.K.Ö.F.Y.K) sonuçları Tablo 9' da verilmiştir.

Tablo 9. % 80 mekanik ve % 20 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu maddesi ilave etmeksizin tutundurucu madde ilave edilerek elde edilen kağıtlarda bu maddenin dozunu değiştirmenin kopma uzunluğu, yırtılma indisi, patlama indisi, parlaklık ve drenaj süresi üzerine etkisini belirlemek için gerçekleştirilen varyans analizi ve işlem ortalamalarının en küçük önemli fark yöntemiyle karşılaştırılması (İ.O.E.K.Ö.F.Y.K) sonuçları

VARYANS ANALİZLERİ							İ.O.E.K.Ö.F.Y.K					
Özellikler	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbest. Derecesi	Kareler ortalaması	F Oranı	P değeri	Polimer Dozu, %	Ortalama Değer	Homojen Gruplar			
Kopma Uzunluğu	G. Arası	3,301	5	0,660	71,37	0,000	1,0	1,718	*			
	G. İçi	0,500	54	0,009			0,8	1,719	*			
	Genel	0,801	59				0,6	1,839		*		
							0,4	1,965			*	
							0,2	2,103				*
							0,0	2,382				*
Yırtılma İndisi	G. Arası	0,597	5	0,119	8,03	0,124	0,6	5,305	*			
	G. İçi	0,089	6	0,015			0,8	5,705		*		
	Genel	0,686	11				0,2	5,750		*		
							0,4	5,805		*		
							0,0	5,950		*		
							1,0	5,985		*		
Patlama İndisi	G. Arası	0,561	5	0,112	55,26	0,000	1,0	0,472	*			
	G. İçi	0,110	54	0,002			0,8	0,494	*			
	Genel	0,671	59				0,6	0,556		*		
							0,4	0,563		*		
							0,2	0,630			*	
							0,0	0,763			*	
Parlaklık	G. Arası	32,089	5	6,418	7,91	0,000	0,8	47,63	*			
	G. İçi	43,822	54	0,812			0,4	47,75	*			
	Genel	75,911	59				0,2	47,81	*			
							1,0	47,84	*			
							0,6	47,91	*		*	
							0,0	47,74		*		
Drenaj Süresi	G. Arası	2014,46	5	402,892	67,54	0,000	0,0	13,24	*			
	G. İçi	214,75	36	5,965			0,2	25,80		*		
	Genel	2229,21	41				0,4	27,22		*		
							0,6	27,29		*		
							0,8	32,87			*	
							1,0	34,91			*	

#### 4.3.1.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonundan Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kopma Uzunluğuna Etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının kağıdın kopma uzunluğuna etkisi Şekil 47' de verilmiştir. APAM miktarının artışı ile kopma uzunluğu azalmış süzölmeye karşı olan direnç artmıştır. Bu direnç oluşumu safiha formasyonunu olumsuz yönde etkilemektedir ve kağıt yapısı içerisinde zayıf noktalar oluşmasına neden olmaktadır. Kopma mukavemeti ölçümü sırasında kağıt bu zayıf noktalardan koptuğu için artan polimer miktarı ile kopma miktarı azalmaktadır. Ayrıca artan polimer miktarı ile birlikte safiha içerisinde tutulan ince lif miktarı artmış ve böylece kağıdın yapısında yer alan ortalama lif uzunluğu azaldığından elde edilen kopma mukavemeti de azalmaktadır. Çünkü kağıdın kopma mukavemeti lif uzunluğunun ağırlıklı ortalamasının karekökü ile orantılıdır [3].



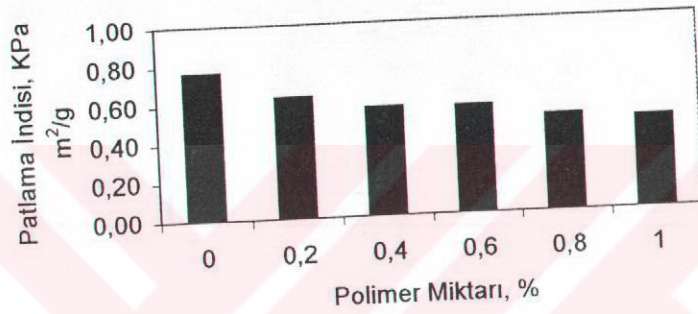
Şekil 47. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının kopma uzunluğu üzerine etkisi

Yapılan istatistiksel araştırmada kopma uzunluğu ile polimer miktarı arasındaki ilişkinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Polimer miktarının %0.8' e kadar artmasının kağıdın kopma uzunluğu üzerine olan etkisi her ilave miktarı için anlamlı bulunurken, %0.8' den sonraki polimer miktarlarında bu fark anlamlılığını yitirmiştir. Buna göre polimer miktarını artırmanın kopma uzunluğu üzerindeki azaltıcı etkisi tesadüfi değildir. Sonuç olarak polimer maliyeti de dikkate alındığında kopma uzunluğunu en az düşüren polimer miktarı %0.2 olarak seçilebilir. Çünkü, kopma uzunluğu hamur süspansiyonuna

ilave edilen polimer miktarının %0' dan %0.2 çıkarılması ile %11 oranında azalırken %1.0' a çıkartılması ile %56 oranında azalmıştır.

#### 4.3.1.2. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonundan Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Patlama İndisi Üzerine Etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının kağıdın patlama indisi üzerine etkisi Şekil 48' de verilmiştir.



Şekil 48. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının kağıdın patlama indisi üzerine etkisi

APAM miktarının artması ile birlikte patlama indisinin azaldığı tespit edilmiştir. Tutundurucu polimer miktarının %0' dan %1' e artması ile birlikte patlama indisinin 0,76' dan 0.47' ye düştüğü görülmüştür.

Patlama indisi iç bağlanmanın yanısıra lif boyuna da bağlıdır. Polimer ilavesindeki artış kağıt içerisinde kırıntı materyal tutunumunu artırarak kağıt içerisinde ortalama lif boyutunu düşürmüştür. Lif boyutundaki bu düşüş patlama indisinde bir düşüşe neden olmuştur [3].

Patlama dayanımı kağıdın en zayıf yerini ortaya çıkaran bir test olduğundan formasyondan etkilenmektedir. Polimer miktarındaki artış formasyon bozukluğuna neden olmaktadır. Çünkü, artan polimer miktarı ile birlikte kırıntı materyal tutunumu artmış ve drenaja karşı olan direnç artmıştır. Ayrıca anyonik poliakrilamidin özelliğinden

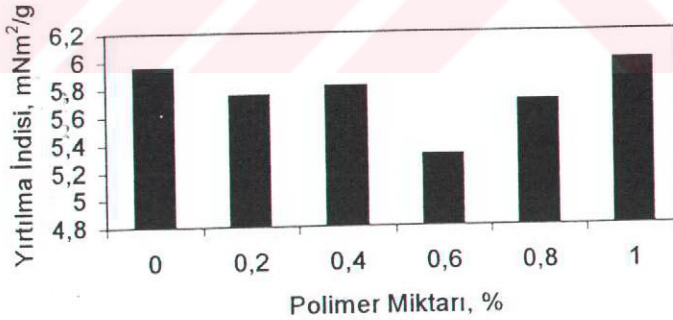


kaynaklanan lif-lif makro kümeleri drenajı yavaşlatmıştır. Kağıdın patlama mukavemetinin ölçülmesi sırasında, kağıt formasyon bozukluğundan kaynaklanan zayıf bölgelerden patlayacağı için patlama indisi düşecektir [29].

Yapılan istatistiksel çalışmada polimer miktarı ile patlama indisi arasındaki ilişkinin anlamlı olduğunu göstermiştir. İstatistiksel açıdan polimer miktarının %0' dan %0.2' ye çıkarılması ile patlama indisinde meydana gelen farkın anlamlı olduğu belirlenmiştir. %0,8 ve %1 polimer ilave miktarlarının patlama indisinde meydana getireceği farkın anlamsız olduğu görülmüş olup bu durumun %0.6 ve %0.4 polimer miktarları için de geçerli olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.3.1.3. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonundan Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Yırtılma İndisi Üzerine Etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının yırtılma indisi üzerine etkisi Şekil 49' da gösterilmiştir.



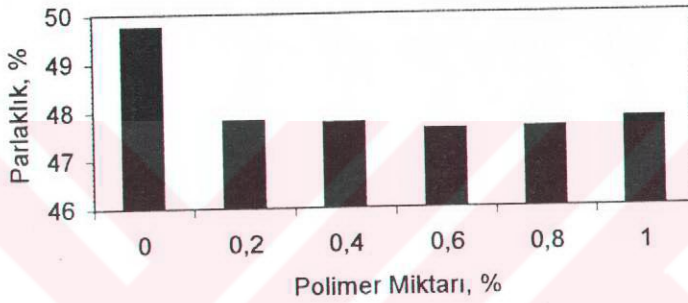
Şekil 49. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda polimer miktarının yırtılma indisi üzerine etkisi

Yapılan istatistiksel çalışmalardan elde edilen sonuca göre polimer miktarı ile yırtılma indisi arasındaki ilişki anlamsız bulunmuştur. Bununla birlikte, polimer miktarının %0' dan %0.2 ye çıkartılması ile kağıdın yırtılma indisi %3 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Polimer miktarının artması ile kağıt içerisinde meydana gelen kırıntı lif oranındaki artış hamurun ortalama lif boyutunu kısaltmıştır. Ortalama lif boyutunun kısılması kağıdın yırtılma indisini düşürmüştür. Polimerin %0.2' den daha fazla ilave

edilmesi durumunda meydana gelen aşırı formasyon bozukluğu, elde edilen yırtılma indisi değerlerinin ortalamasını ve bu değerlerin tekdüzeliğini etkilemiştir.

#### 4.3.1.4. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyondan Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Parlaklığı Üzerine Etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının kağıdın parlaklığı üzerine etkisi Şekil 50' de verilmiştir.



Şekil 50. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının kağıdın parlaklığı üzerine etkisi

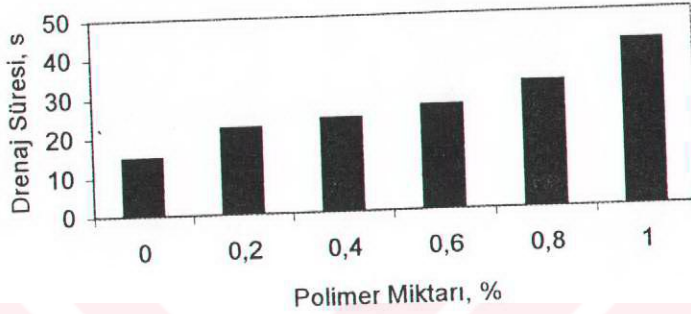
Polimer miktarının artması ile birlikte parlaklıkta kayıp meydana gelmiştir. Polimer miktarındaki artış ile kırıntı lif tutunumu artmıştır ve kağıt daha yoğun hale gelmiştir [34].

Artan polimer ilavesi' sonucu sağlanan tutunum artışı ile ince madde gruplarını oluşturan primer çeper ve mekanik hamur üretiminde açığa çıkan kesilmiş lifler safiha içerisinde daha fazla tutulmaktadır. Bu madde grupları lignin içeriği bakımından zengin olup ışık absorplama yetenekleri yüksektir. Bu nedenle, parlaklık ölçümlerinde ışığı absorplamaları nedeni ile kağıdın parlaklık indisinin düşmesine neden olurlar.

İstatistiksel açıdan polimer miktarı ile parlaklık arasındaki ilişki anlamlı bulunmuştur. Polimer miktarının %0' dan %0,2' ye çıkarılması ile parlaklık değeri 49,7' den 47,8' e düşmüştür. %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1,0 polimer ilavesiyle parlaklıkta meydana gelen fark anlamını yitirmiştir.

#### 4.3.1.5. Dolgu Maddesi İlave Edilmemiş Hamur Süspansiyonundan Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Drenaj Süresi Üzerine Etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının drenaj süresi üzerine etkisi Şekil 51’ de verilmiştir.



Şekil 51. Dolgu maddesi ilave edilmemiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının drenaj süresi üzerine etkisi

Tutundurucu polimer miktarının artması ile drenaj süresinin arttığı tespit edilmiştir. Polimer miktarının %0’ dan % 1’ e artırılması ile drenaj süresi 13,24 saniyeden 34,91 saniyeye çıkmıştır. Kullanılan anyonik poliakrilamid yüksek molekül ağırlıklı bir polimer olduğu için, lif-kırıntı materyal kümelerinin yanında lif-lif kümeleri de meydana gelir. Bu drenajı yavaşlatır. Su lif-lif kümesinin arasındaki ince bölgelerden süzülme ve kümelerin içinde tutulma eğilimine sahiptir [29].

İstatistiksel olarak %0,2, %0,4, %0,6 polimer dozlarının meydana getirdikleri drenaj süreleri aynıdır. Polimer dozunun %0,8’ den %1’e çıkması drenaj süresinde bir değişiklik meydana getirmemiştir.

#### 4.3.2. Dolgu Maddesi İlave Edilerek Yapılan Kağıtların Fiziksel ve Optik Özellikleri

% 80 mekanik ve % 20 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu ve tutundurucu madde ilave edilerek elde edilen kağıtlarda bu maddenin dozunu değiştirmenin kopma uzunluğu, yırtılma indisi, patlama indisi, parlaklık ve drenaj süresi

üzerine etkisini belirlemek için gerçekleştirilen varyans analizi ve işlem ortalamalarının en küçük önemli fark yöntemiyle karşılaştırılması (İ.O.E.K.Ö.F.Y.K) sonuçları Tablo 10' de verilmiştir.

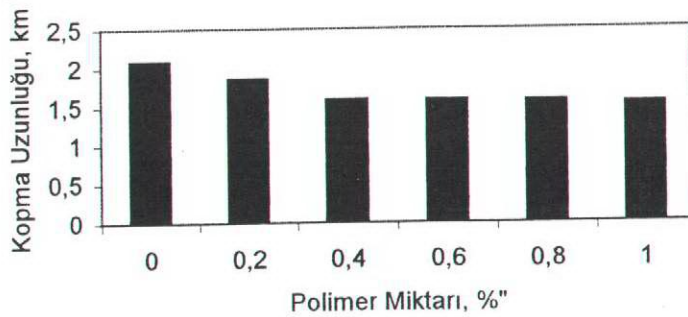
Tablo 10. % 80 mekanik ve % 20 kimyasal hamurdan oluşan hamur süspansiyonundan dolgu madde ve tutundurucu madde ilave edilerek elde edilen kağıtlarda bu maddenin dozunu değiştirmenin kopma uzunluğu, yırtılma indisi, patlama indisi, parlaklık ve drenaj süresi üzerine etkisini belirlemek için gerçekleştirilen varyans analizi ve işlem ortalamalarının en küçük önemli fark yöntemiyle karşılaştırılması (İ.O.E.K.Ö.F.Y.K) sonuçları

Özellikler	VARYANS ANALİZLERİ						İ.O.E.K.Ö.F.Y.K						
	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbest. Derecesi	Kareler ortalaması	F Oranı	P değeri	Polimer Dozu, %	Ortalama Değer	Homojen Gruplar				
Kopma Uzunluğu	G. Arası	2,383	5	0,477	61,05	0,000	0,0	2,079	*				
	G. İçi	0,422	54	0,007			0,2	1,858	*				
	Genel	2,805	59				0,4	1,585		*			
							0,8	1,583		*			
							0,6	1,568		*			
							1,0	1,541		*			
Yırtılma İndisi	G. Arası	0,417	5	0,084	0,67	0,661	0,8	5,410	*				
	G. İçi	0,748	6	0,125			0,0	5,260	*				
	Genel	1,165	11				0,4	5,240	*				
							0,6	5,120	*				
							0,2	4,985	*				
							1,0	4,845	*				
Patlama İndisi	G. Arası	0,529	5	0,106	165,4	0,000	0,0	0,668	*				
	G. İçi	0,035	54	0,0006			0,2	0,537	*				
	Genel	0,564	59				0,4	0,446		*			
							0,8	0,442		*			
							0,6	0,434		*			
							1,0	0,380		*			
Parlaklık	G. Arası	126,221	5	25,24	1,50	0,205	0,2	55,00	*				
	G. İçi	908,849	54	16,83			0,0	53,30	*	*			
	Genel	1035,07	59				1,0	51,58	*	*			
							0,8	51,32	*				
							0,6	51,13	*				
							0,4	51,07	*				

Drenaj Süresi	G. Arası	3067,27	5	613,454	161,7	0,000	%1,0	42,27	*				
	G. İçi	136,53	36	3,792			%0,8	32,14	*				
	Genel	3203,79	41				%0,6	26,73		*			
							%0,4	23,98			*		
							%0,2	22,26			*		
							%0,0	14,88				*	

#### 4.3.2.1. Dolgu Maddesi İlave Edilen Hamur Süspansiyonundan Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Kopma Uzunluğuna Etkisi

Dolgu maddesi ilave edilen hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının kağıdın kopma uzunluğu üzerine etkisi Şekil 52' de verilmiştir. Tutundurucu polimer miktarının %0' dan %1,0' a artmasıyla kopma uzunluğu 2,08' den 1,54' e düşmüştür. Kopma uzunluğundaki bu düşüş kağıdın kullanım yerini sınırlayıcı bir etki yaptığı için polimer ilave miktarı kaybın en az olduğu oranda bırakılmalıdır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu oranın % 0.2 olduğu tespit edilmiştir. Tutunumun artması ile kağıdın kopma uzunluğu azalmıştır. Çünkü, tutunum oranının artması ile safiha içerisinde kırıntı lif oranı artmıştır. Kırıntı lif oranının artması ortalama lif uzunluğunu azaltmıştır. Serbestlik derecesi aynı kalmak koşulu ile kopma mukavemeti lif uzunluğunun ağırlıklı ortalamasının karekökü ile orantılı olduğu için ortalama lif uzunluğundaki bu azalma kopma uzunluğunda bir kayba neden olmuştur. Ayrıca tutunumun artmasıyla drenaj süresi arttığından üretilen kağıtlarda formasyon bozukluğuna neden olmuştur. Bu formasyon bozukluğu kağıt içerisinde zayıf noktalar meydana getirir. Kağıdın kopma mukavemeti ölçülürken bu noktalardan kopma meydana gelir ve bu değer düşük kaydedilmiştir [3].



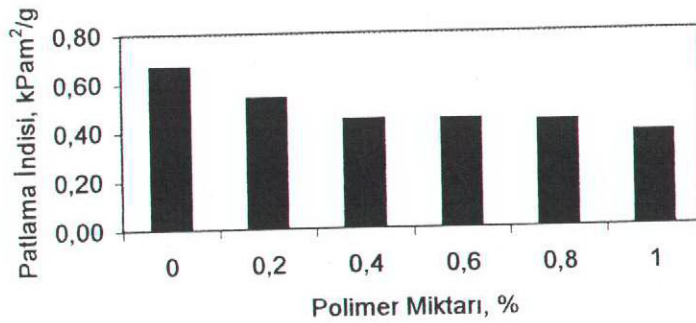
Şekil 52. Dolgu maddesi ilave edilen hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının kopma uzunluğuna etkisi

Süspansiyona ilave edilen tutundurucu polimer miktarı ile kağıdın kopma uzunluğu arasındaki ilişki istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Polimer dozunu % 0.4' e kadar artırmanın kopma uzunluğu üzerine etkisi her doz için anlamlı bulunurken %0,4' den sonraki polimer artışları ile kağıdın kopma uzunluğunun değişmediği tespit edilmiştir.

#### 4.3.2.2. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş Hamurlardan Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Patlama İndisi Üzerine Etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının patlama indisi üzerine etkisi Şekil 53' de verilmiştir. Patlama indisi kağıdı oluşturan hamur liflerinin ortalama uzunluğundan ve bağlanma derecesinden etkilenmektedir. Artan polimer miktarı ile safiha içerisinde bağlanmayı etkileyen aktif yüzey alanı liflerden daha fazla olan kırıntı lif oranı artmış olmasına rağmen kağıdın patlama indisi düşmüştür. Çünkü, artan kırıntı tutunumu kağıt içerisindeki ortalama lif boyutunu azaltmıştır. Bu azalma kağıdın patlama indisini azaltmıştır. Bununla birlikte, tutunumun artmasıyla drenaj süresi uzayarak formasyon bozukluğuna neden olmuştur. Formasyon bozukluğu patlama indisinde bir azalma meydana getirmiştir [3].

Polimer miktarının artması ile kağıdın patlama indisi azalmıştır. Polimer miktarının %0' dan %1'e artması patlama indisini 0,67' den 0,37' ye düşürmüştür. Hamur süspansiyonuna % 0.2 polimer ilave edilmesi ile kağıdın patlama indisinde %19.6 azalma meydana gelmiştir. Polimerin %0.2' den daha fazla ilave edilmesi kağıdın maliyetini artırırken elde edilen kağıdın kullanım yerlerini sınırlamaktadır.

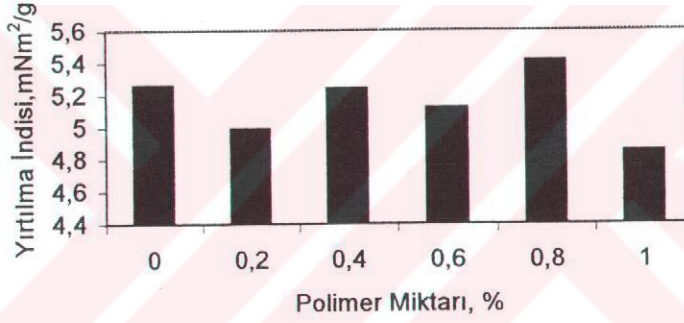


Şekil 53. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının patlama indisine etkisi

İstatistiksel çalışmalar polimer miktarı ile patlama indisi arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Polimer miktarının %0,4 , %0,6 ve %0,8 olması durumunda bu dozların kağıdın patlama indisinde meydana getirdiği farkın anlamsız olduğu fakat diğer polimer ilavelerinde bu farkın anlam kazandığı belirlenmiştir.

#### 4.3.2.3. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş Hamur Süspansiyonundan Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Yırılma İndisi Üzerine Etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarından elde edilen kağıtlarda APAM miktarının kağıdın yırılma indisi üzerine etkisi Şekil 54' de verilmiştir.

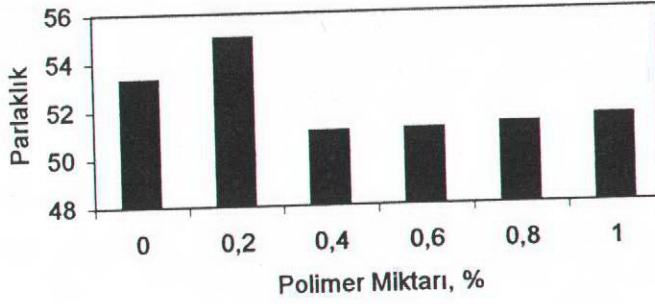


Şekil 54. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının yırılma indisi üzerine etkisi

Yapılan istatistik analizlerde APAM miktarı ile kağıdın yırılma indisi arasındaki ilişkinin anlamsız olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, hamur süspansiyonuna %0.2 APAM ilave edilmesi elde edilen kağıdın yırılma indisinde %5.2' lik bir düşüşe neden olmuştur. Kağıda ilave edilen polimer miktarının artması ile ortaya çıkan formasyon bozukluğu kağıtların ortalama yırılma indislerini ve bu değerlerin tekdüzeliğini etkilediği düşünülmektedir [3].

#### 4.3.2.4. Dolgu Maddesi İlave Edilen Hamur Süspansiyonundan Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Kağıdın Parlaklığına Etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının parlaklık üzerine etkisi Şekil 55’ de verilmiştir.



Şekil 55. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamurlardan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının parlaklığı üzerine etkisi

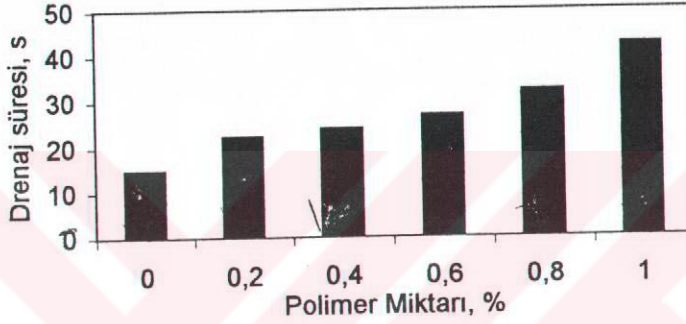
Polimer miktarının %0’ dan %0.2’ ye çıkartılması ile parlaklık 2.3 artmıştır. Polimer miktarı %0.4 , %0.6 , %0.8 ve %1.0 olması durumunda parlaklıkta belirgin bir değişme meydana gelmemiştir. Bir hamur süspansiyonuna tutundurucu polimer ilavesi durumunda, bu polimer ilk önce dolgu maddesine bağlanmaktadır [9]. Yapılan çalışmada hamura %0.2 polimer ilave edilmesi durumunda ilk önce dolgu maddesi tutunumun baskın olduğu ve daha sonra artan polimer miktarı ile polimerin kırıntı liflere bağlandığı anlaşılmıştır. Bilindiği üzere, kırıntı lifler dolgu maddelerine göre ışığı daha fazla absorplamaktadır. Bu nedenle, kağıt içerisinde dolgu tutunumu artması parlaklığı artırmıştır [1].Yapılan varyans analizlerinde hamura ilave edilen tutundurucu polimer ile kağıdın parlaklığı arasındaki ilişki anlamsız bulunmuştur.

#### 4.3.2.5 Dolgu Maddesi İlave Edilmiş Hamur Süspansiyonundan Elde Edilen Kağıtlarda Tutundurucu Madde Dozunun Drenaj süresine Etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonlarından elde edilen kağıtlarda APAM miktarının drenaj süresi üzerine etkisi Şekil 56’da verilmiştir.



Tutundurucu polimer miktarının artması ile drenaj süresinin arttığı tespit edilmiştir. Polimer miktarının %0' dan % 1' e arttırılması ile drenaj süresi 14.88 saniyeden 42.27 saniyeye çıkmıştır. Hamur süspansiyonuna %0.2 polimer ilavesi ile drenaj süresi 7.38 saniye artmıştır. Hamur süspansiyonuna ilave edilen polimerin özellikleri drenaj süresi üzerine etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan anyonik poliakrilamid yüksek molekül ağırlıklı bir polimer olduğu için, daha büyük boyutlu küme olan lif-lif kümelerinin sayısı süspansiyon içerisinde daha fazladır. Su bu kümelerin arasındaki ince bölgelerden süzülme ve kümelerin içinde tutulma eğilimine sahiptir. Bu drenajı yavaşlatmaktadır. Drenajı optimize etmek için drenaj maddelerinin süspansiyona ilave edilmesi gerekmektedir [1].



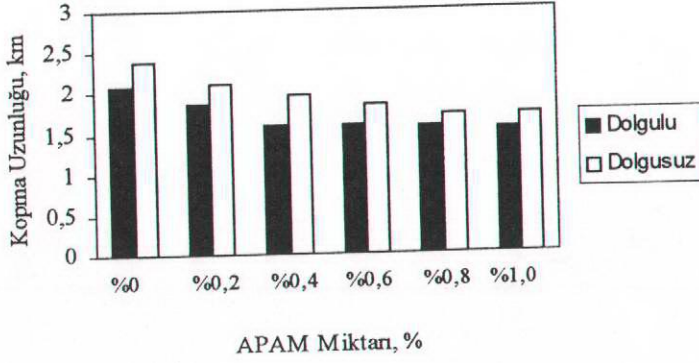
Şekil 56. Dolgu maddesi ilave edilmiş hamur süspansiyonundan elde edilen kağıtlarda APAM miktarının drenaj süresi üzerine etkisi

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre hamura ilave edilen tutundurucu madde miktarı ile drenaj süresi arasındaki ilişki anlamlı bulunmuştur. APAM miktarı %0.2' den %0.4' e artırmanın drenaj süresinde meydana getirdiği farkın anlamsız olduğu fakat diğer tüm polimer oranlarında bu farkın anlam kazandığı belirlenmiştir.

#### 4.3.3. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş ve Edilmemiş Kağıtların Fiziksel ve Optik Özelliklerinin Karşılaştırılması

##### 4.3.3.1. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş ve Edilmemiş Kağıtların Kopma Uzunluklarının Karşılaştırılması

Dolgu maddesinin ve APAM miktarının kağıdın kopma uzunluğu üzerine etkisi Şekil 57' de verilmiştir.



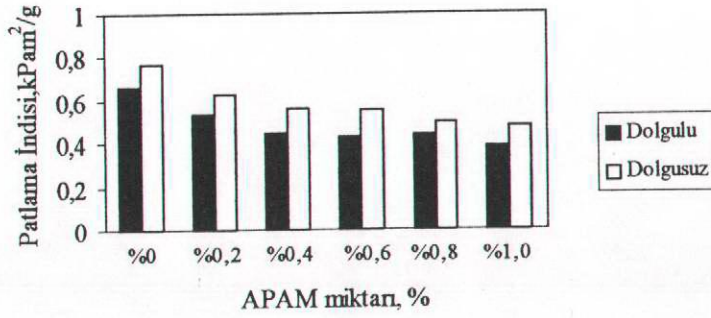
Şekil 57. Dolgu maddesi ve APAM miktarının kağıdın kopma uzunluğu üzerine etkisi

Dolgu maddesi ilave edilmesi ile kopma mukavemeti azalmıştır. % 0,2 APAM ilavesi ile yapılan kağıtların kopma uzunluğu incelendiğinde dolgu maddesinin ilave edilmesi durumunda kopma uzunluğu 2,1' den 1,86' ya düşüğü tespit edilmiştir.

Hamur süspansiyonuna dolgu maddesinin ilavesi ile kağıt içerisindeki lif-lif bağlarının sayısını azaltarak kağıdın kopma uzunluğunu düşürmüştür [16]. Hamur süspansiyonuna tutundurucu polimer ilave edildiğinde, tutundurucu polimer seçici olarak ilk önce dolgu partiküllerine bağlanacaktır. Bu durum safiha içerisinde belirli bir orana kadar dolgu tutunumun artmasına neden olacaktır [1]. Dolgu maddeleri lifler arasında yerleşip lif bağlanmasını engeller ve lif-hava ve dolgu hava ara yüzeyinin artmasına neden olmaktadır [3].

#### 4.3.3.2. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş ve Edilmemiş Kağıtların Patlama İndislerinin Karşılaştırılması

Hamur süspansiyonuna ilave edilen dolgu maddesinin ve APAM miktarının kağıdın patlama indisi üzerine etkisi Şekil 58' de verilmiştir.

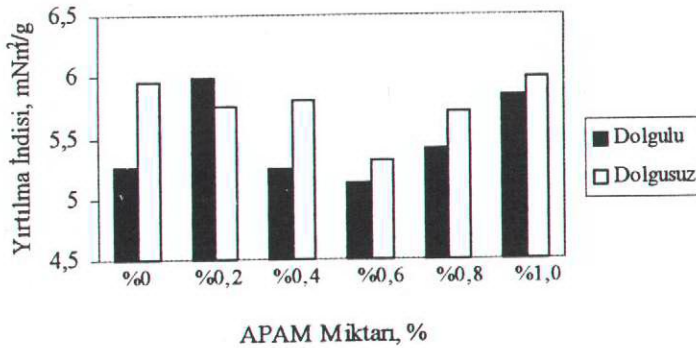


Şekil 58. Dolgu maddesi ve APAM miktarının kağıdın patlama indisi üzerine etkisi

Hamur süspansiyonuna dolgu maddesi ilave edilmesi ile üretilen kağıdın patlama indisi düşmüştür. %0,2 APAM ilave edildiğinde kağıdın patlama indisi 0,63' den 0,54' e düştüğü tespit edilmiştir. Hamur süspansiyonunda dolgu maddesinin bulunması kağıdın lif-lif bağ oranını düşürmüştür [3].

#### 4.3.3.3. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş ve Edilmemiş Kağıtların Yırtılma İndislerinin Karşılaştırılması

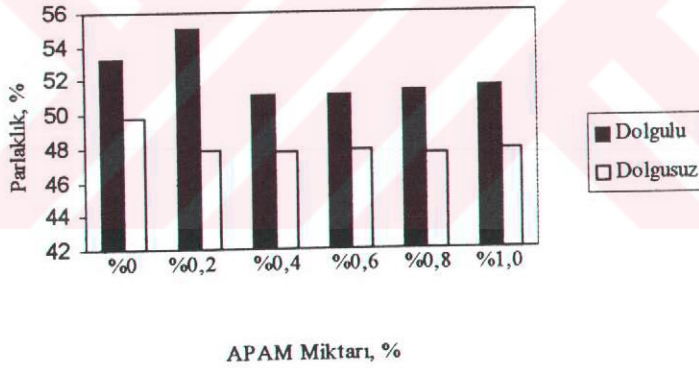
Dolgu maddesinin ve APAM miktarının kağıdın yırtılma indisi üzerine etkisi Şekil 59' da verilmiştir. %0,2 APAM ilave edilmiş hamur hariç diğer hamurlarda dolgu maddesinin ilave edilmesi kağıdın yırtılma indisini düşürmüştür. Yırtılma indisinin düşmesi kağıt içerisindeki lif-lif bağlarının azalmasından ve lif-hava ve dolgu hava arayüzünün artmasından kaynaklanmıştır.



Şekil 59. Dolgu maddesinin ve APAM miktarının kağıdın yırtılma indisi üzerine etkisi

#### 4.3.3.4. Dolgu Maddesi İlave Edilmiş ve Edilmemiş Kağıtların Parlaklıklarının Karşılaştırılması

Dolgu maddesi ve APAM miktarının kağıdın parlaklığı üzerine etkisi Şekil 60' da verilmiştir. Genel olarak dolgu maddesinin süspansiyona ilave edilmesi kağıdın parlaklığını artırmıştır. %0,2 APAM ilave edilmiş hamur süspansiyonu incelendiğinde, dolgu maddesi ilavesi ile parlaklıkta %7,2' lik bir artış sağlanmıştır. Çünkü dolgu partikülleri ışığı lifsel maddelere göre daha az absorpladıklarından dolayı, safiha içerisinde tutunumun artması elde edilen kağıtların parlaklık değerini yükseltmiştir. Hamur süspansiyonu içerisinde tutundurucu polimer ilk olarak dolgu partikülü ile bağlandığından dolayı, %0.2 polimer ilavesi ile dolgu maddesi tutunumu artmış fakat daha sonra polimerin liflerle bağlanması baskın hale geldiğinden kırıntı lif tutunumu artmış ve kağıdın parlaklığını azalmıştır.



Şekil 60. Dolgu maddesi ve APAM miktarının kağıdın parlaklığı üzerine etkisi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kağıt üretiminde kağıdı oluşturan maddelerin tutunumu kağıdın özellikleri ve kalitesi bakımından önemli olduğu kadar üretim maliyeti için de önemlidir. Bu maddelerin tutunumu mekanik ve kimyasal tutunma mekanizmalarından en az bir tanesi ile meydana gelmektedir. Bu çalışmada, anyonik poliakrilamid maddesinin tutunumu istenen kırıntı materyalin mekanik tutunmasız sadece koloidal kuvvetlerle safiha içerisinde tutunumuna etkisi incelenmiştir.

Elde edilen tutunum yüzdeleri incelendiğinde kırıntı lif kaybını minimuma indirmek için APAM miktarını artırmak gerektiği görülmüştür. APAM miktarının artırılması, polimerin daha fazla oranda kırıntı materyal ile ilişkiye girmesini mümkün kılmıştır. Anyonik poliakrilamid, flokülasyon tutunma mekanizması ile kırıntı materyalin tutunumunu sağlamaktadır. Süspansiyon içerisine ilave edilen şap koagülant olarak kırıntı lif ve dolgu maddeleri üzerinde pozitif noktalar meydana getirir. APAM partiküller üzerindeki bu noktalara bağlanır. Serbest kalan diğer ucu başka partikül üzerindeki pozitif noktaya bağlanır. Şap, kolofan çökmesini sağlaması ve APAM tutunumuna yardım etmesi yanında süspansiyonun negatif yükünü azaltarak çift tabaka kalınlığını inceltir. Böylece, partiküller bir birlerine daha yakın hale gelirler. Hamur süspansiyonuna ilave edilen şap miktarının artırılarak lif, kırıntı materyal ve dolgu maddelerin etrafındaki çift tabakanın kalınlığı daha fazla azaltılabilir. Böylece daha düşük APAM miktarlarında daha fazla kırıntı tutunumu sağlanacaktır.

Safiha içerisinde tutulan kırıntı materyalin oranını artırmak için optimum polimer dozunu belirlemede bu dozun kağıdın fiziksel ve optik özellikleri üzerindeki etkisi de göz önüne alınmalıdır. Bu amaçla 6 APAM dozu kullanılarak farklı hamur karışımlarında denemeler yapılmıştır.

Tutundurucu polimerin ilave miktarı arttırıldıkça elde edilen kağıtların fiziksel özellikleri azalmıştır. Çünkü artan polimer miktarı safiha içerisindeki kırıntı oranını artırarak kağıt içindeki ortalama lif boyutunu düşürmüştür. Ayrıca polimer miktarı ile

drenaj süresi artmış ve polimerin daha büyük küme oluşturması için süre sağlanmıştır. Süzülme sırasında meydana gelen bu büyük kümeler formasyon bozukluğuna yol açmıştır. Ayrıca, kağıt hamuruna ilave edilen tutundurucu polimer miktarının artması ile parlaklık azalmıştır.

Genel olarak %0,2 polimer ilavesi ile ilk geçiş kırıntı materyal tutunumunda ve toplam katı tutunumunda sağlanan artış mekanik ve kimyasal hamur oranlarına bağlı olarak, dolgu maddesi ilave edilmemiş hamurlar için sırası ile %27,5-48,9 ve %1,3-12,7 iken, dolgu maddesi ilave edilmiş hamurlar için sırası ile %12,3-71,9 ve %1,1-12,6 arasında olmaktadır. Ancak, polimer miktarını %0,2 den %1' e çıkarmanın tutunumda sağladığı artış sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, artan polimer maliyeti tutunum artışı ile karşılanamamaktadır.

Diğer taraftan, artan tutundurucu miktarı daha büyük kümelere neden olacağından formasyonu bozmakta ve bu genel olarak kağıdın tüm fiziksel özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzlukların kabul edilebilir bir sınırdan kalması uygun olacağından, hamura ilave edilmesi gereken polimer miktarının %0,2 olarak seçilmesi uygun görülmektedir. Ancak, yüksek polimer dozunun yarattığı drenaja karşı direnci yenmek için fabrikasyon işlemlerinde süzme elemanlarının kapasitesi artırılmalı veya vakumla süzme yapan drenaj elemanlarına daha fazla emme gücü uygulanmalıdır. Ancak, bu artan emmenin elekte yapacağı aşınma sorunları göz önünde bulundurulmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Gess, J. M., Retention of Fines and Fillers During Papermaking, Tappi Press, Atlanta, 1998.
2. Edwards, K. R., Wet-End Operation Seminar, Notes of Tappi, 1986, 355-357.
3. Casey, P. J., Pulp and Paper Chemistry and Technology, Volume 3, Third Edition, A Willey-Interscience Publication, Toronto, 1981.
4. Hagemeyer, R.W., Manson, D.W., Stock Preparation, Third Edition, Tappi Press, 1992.
5. Mark, R.E., Handbook of Physical and Mechanical Testing of Paper and Paperboard Volume 2, Marcel Dekker Inc., New York, 1984.
6. Schiesser, H.R., A Study of Relationship Between The Use of Polymeric Retention Aids and Sheet Optical Properties, TAPPI Journal, 59, 10 (1976).
7. Rundlöf, M., Htun, M., Höglund, H., Wagberg, L., The Importance of The Experimental Method When Evaluating The Quality of Fine of Mechanical Pulps, Journal of Pulp and Paper Science, 24, 9 (2000), 301-307.
8. Eklund, D., Lindström, T., Paper Chemistry, Frankulla, 1991
9. Zeta-Meta Inc., Everything You Want to Know About Coagulation and Flocculation, Fourth Edition, Virginia, 1993.
10. Wang, W., Chase, G.G., Effect of Zeta Potentials on Filtration Process, Department Chemical Engineering, The Universtiy of Akron, Akron, May 2000.
11. Miyanishi, T., Wet and Optimization for A Neutral PCC Filled Newsprint Machine, TAPPI Journal, 28, 1 (1999), 220-225.
12. Zeta-Meter inc., Zeta Potential: A Complete Course in 5 Minutes, Staunton.

13. Strazdinz, E., Optimizing on The Paper Machine Process by Electroforez, TAPPI Journal, 60, 7 (1977), 112-113.
14. Pelletier, J., Kühn, S., Effect of Retention Drainage Aids on Formation, BASF CORPORATION.
15. Bernter, J.F., Begin, B., Experience of A Micro Particle Retention and System, TAPPI Journal, 77, 11 (1994) 217-224.
16. Eroğlu, H., Kağıt ve Karton Üretim Teknolojisi, 2. Baskı, K.T.Ü., Basımevi, Trabzon, 1990.
17. Gilbert, C.D., Hsich, J.S., Xu, Y., Deng, Y., Effects of White Water Closure on The Physical Properties of Linerboard, TAPPI Journal, 4 (2000), 68.
18. Hulkka, V.M., Deng, Y., Effect of Water-Soluble Inorganic Salts and Organic Materials on Performance of Different Polymer Retention Aids, TAPPI Journal, 25, 11 (1999), 378-383.
19. Beghello, L., Eklund, D., The Influence of The Chemical Environment on Fibre Flocculation, TAPPI Journal, 25, 7 (1999) 246-250.
20. TAPPSA, Wet-End Chemistry Considerations in The Application of Polymers to Newsprint Systems, Article 14.
21. Gibbs, A., Wiao, H., Deng, Y., Delton, R., Flocculants for Precipitated Calcium Carbonate in Newsprint Pulps, TAPPI Journal, 80, 4 (1997) 163-170.
22. King, C.A., Williams D.G., Cellulose Fiber to Fiber and Fines-to-Fiber Flocculation in Dynamic Comparison, TAPPI Journal 58, 9 (1975), 138-141.
23. Roberts, J.C., Paper Chemistry, Third Edition, Blackie Academic & Professional, Glaskow, 1996.
24. Urich, J.M., Fisher, B.D., Factors Affecting The Use of Chemical Drainage Aids, TAPPI Journal, 59, 10 (1976) 78-81.



25. Miyanishi, T., Shigeru, M., Optimizing Flocculating and Drainage for Micro Particle Systems by Controlling Zeta Potential, TAPPI Journal, 80, 1 (1997) 262-270.
26. Gibbs, A., Relton, R., Effect of PEO Molecular Weight on The Flocculation and Resultant Floc Properties of Polymer-Induced PCC flocs, Journal of Pulp and Paper Science, 25, 7 (1999), 267-271.
27. Relton, R., Allen, L. H., Nvergt, M.H., Survey of Potential Retention Aids For Newsprint Manufacture, Pulp and Paper Canada, 81, 1 (1980).
28. Relto, R., Allen, L.H., NvgentM.H., Novel Dual-Polymer Retention Aids for Newsprint and Groundwood Specialties, TAPPI Journal, 64, 11 (1981).
29. Thorp, B. A., Papermaking Operation, Third Edition, Tappi Press, Atlanta, 1991.
30. Polverari, M., Allen., L., Sithole, B., Effect of System Closure on Retention and Drainage Aid Performance in TMP Newsprint Manufacture Part II, TAPPI Journal, 84, 3 (2001).
31. Mevn, S., Simonson, P., TAPPI Journal, 82, 4 (1999), 78-84.
32. TAPPI, Fines Fraction of Paper Stock By Wet Sreening, Tappi Test Methods, 1992-1993.
33. TAPPI, Drainage Time of Pulps, Tappi Test Methods 1992-1993.
34. Paavilainen, L., Importance of Particle Size-Fibre Length and Fines for Characterization of Soft Wood Kraft Pulp, Paper and Timber, 72, 5 (1990), 23-33.

## 7. ÖZGEÇMİŞ

05.07.1976 tarihinde Adana ilinde doğan Sedat ONDARAL ilk ve orta öğrenimini Antalya' da tamamladı. 1994 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümüne kayıt yaptırdı ve lisans öğrenimini 1998' de tamamladı. Eylül 1998' de K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başlayıp Kasım 1999' da K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından araştırma görevlisi olarak atandı. Yüksek lisans öğrenimine ve araştırma görevliliğine devam eden Sedat ONDARAL evlidir ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.

