

**YILDIK TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

POLİMERLERDE REOLOJİK ÇALIŞMA

Makine Mühendisi İsmail Taner SARUL

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazılanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ahmet KOYUN

İSTANBUL,2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tez Kapsamı	1
2. AHŞABIN ÖZELLİKLERİ ve İYİLEŞTİRME UYGULAMALARI	2
2.1 Ahşabın Özellikleri.....	2
2.1.1 Ahşabın Fiziksel Özellikleri	2
2.1.2 Ahşabın Kimyasal Özellikleri	4
2.1.3 Ahşabın Mekanik Özellikleri.....	4
2.2 Ahşabın İyileştirme Uygulamaları.....	5
2.2.1 Biyo-Bozunum Prosesi	5
2.2.2 Termo-Kimyasal Bozunum Prosesi	7
3. VİSKOZ AKIŞ VE AHŞAP-POLİMER KOMPOZİT UYGULAMALARI	9
3.1 Temel Reolojik Tanımlar	9
3.2 τ ve $\dot{\gamma}$ Arasındaki İlişkiler ve Akış Eğrileri	10
3.3 Zamana Bağlı Davranış	11
3.4 Polimer Erişik ve Çözeltileri.....	12
3.5 Akış Davranışının Nicel Sunumu	14
3.6 Akış Özelliklerinin Sıcaklıkla Olan Bağıntısı	17
3.7 Basıncın Viskoziteye Olan Etkisi	21

3.8	Ahşap Polimer Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar	21
3.8.1	Lignoselülozik Kompozit Malzemeler ve Özellikleri	25
3.8.2	Hammadde Formülasyonları	27
4.	AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCU TASARIMI.....	29
4.1	Akışkan içindeki tanecikli katıların akış uygulamaları	29
4.2	Sabit Yataklarda akış	30
4.3	Yatak Akışkanlaştırma	36
4.4	Katı akışkan pnömatik taşıma	39
4.4.1	Birinci Seyrek Faz akış rejimi	41
4.4.2	Parçalı Yoğun faz akışı.....	42
4.4.3	Hareketli Yatak Akışı	43
4.4.4	Akışkan Yatak Tasarımında Basınç Düşüşü ve Boyutlandırma.....	45
4.4.5	Akışkan Yataklı Kurutucu Sisteminin Genel Çalışma Mantığı	49
5.	UYGULAMA ÇALIŞMASI	53
5.1	Ahşap Talaşı Üzerine Yapılan Uygulamalar	53
5.2	Ksilen Kullanımı ile Ahşap Polimer Kompozit Hazırlama	55
5.2.1	Lignoselülozik Malzeme Üzerinde Ön Uygulama	56
5.2.2	Polimerin Ksilen ile Çözülmesi.....	56
5.3	Lignoselülozik Malzemenin Sodyum Sülfite iyileştirilmesi	58
5.4	Ekstruderde Temel Denemeler	66
6.	SONUÇLAR ve YORUM.....	82
	KAYNAKLAR.....	85
	ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGE LİSTESİ

a_i	sıcaklık fonksiyonu
A_p	Partikül yüzey alanı
b_i	sıcaklık fonksiyonu
C	Düzeltilmiş kesit modeli sabit sayısı
C_1	WLF sabiti
C_1	WLF sabiti
D	Yatak çapı
D	Akış kanalı
D_{sp}	Katı partikül çapı
D_c	Kanal çapı
E_{γ}	Sabit kesme hızında aktivasyon enerjisi
E	viskoz akış için aktivasyon enerjisi
f	Sürüklenme faktörü
f_s	Partikül duvar sürtünme faktörü
G	Toplam yatak kesitinde kütleli akış (gV_s)
g	Akışkan yoğunluğu
K	Tutarlılık indeksi
k_1	Oran sabiti
k_2	Oran sabiti
k_3	Oran sabiti
L	Akış uzunluğu

\bar{M}_{wc}	Kritik ortalama moleköl ağırlığı
N_{Re}	Reynolds sayısı
N_{Fr}	Froude sayısı
n	Akış indeksi
N	Partiköl sayısı
N_c	Yatak içerisindeki kanal sayısı
P	Basınç
S	Çevre
T^*	Referans Sıcaklığı
T_g	Camsı geçiş sıcaklığı
W	İş
V	Akışkan hava hızı
\bar{V}	Katı akış hızı
V_s	Yüzeysel hız
V_{sm}	Ortalama giriş çıkışta yüzeysel hız
V_s	Yüzeysel katı hızı
V_t	Yerçekimli alanda katı partikölün terminal hızı
V	Boğulma noktasındaki gaz hızı
W_s	katı akış debisi kg/cm ²
V_b	Akışkan yataktaki baloncuk hızı
V_s^*	Gerçek katı hızı
V_p	Partiköl hızı

Yunan Harfleri

τ	Kesme gerilimi
--------	----------------

$\bar{\gamma}$	Kesme hızı
η	Viskozite
η_0	Sıfır kesme viskozitesi
λ_c	Zaman sabiti
ψ	Yüzey şekil faktörü
ϵ_c	Boğulma noktasındaki fraksiyon boşluğu
ϵ	Gözeneklilik, porozluluk, toplam hacmin boş olan kısmı
λ	Boyut faktörü
ρ	Yoğunluk
α	Sabit sayı
β	Sabit sayı
τ_g	Akışkana transfer olan momentum
$-\Delta P_k$	Kinetik enerji kayıplarına bağlı olarak basınç kaybı
$-\Delta P_f$	Sürtünmeye bağlı basınç kaybı
$-\Delta P$	Kanal içerisinde basınç düşüşü

KISALTIMA LİSTESİ

DSC	Differential Scanning Calorimetry
TGA	Thermogravimetric Analysis
MFI	Melt flow index
AYPE	Alçak yoğunluklu polietilen
WLF	William Landell Ferry denklemi
LMFI	Düşük akışlı malzeme indeksi
MMFI	Orta akışlı malzeme indeksi
YYPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
MAPO	Maleik anhidrit iyileştirilmiş poliolefin
MAPE	Maleik anhidrit iyileştirilmiş polietilen
MAPP	Maleik anhidrit iyileştirilmiş polipropilen
TAY	Taşıma ayrılma yüksekliği
KM	Kompozit malzeme
LM	Lignoselulözik malzeme
FTIR	Fourier Transform Infrared
KMG	Kompozit malzeme granülü

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Biyo-Bozunum işleminin proses akış diyagramı	7
Şekil 3.1 Kesme gerilimi ve kesme hızının tanımlanması.....	9
Şekil 3.2 Zamana bağlı akışkanlar.....	12
Şekil 3.3 Polimer eriğik ve çözeltilerinin genelleştirilmiş akış özellikleri.....	13
Şekil 3.4 Polimer eriğiklerinin akış eğrileri a) Poliisobütülen b) Alçak yoğunluklu polietilen	14
Şekil 3.5 Viskozitenin kesme hızına olan bağımlılığı P Power-Law, C Carreau, M Düzeltmiş Kesit modelidir.	15
Şekil 3.6 Düzeltilmiş kesit denklemleri ile 3.4a daki dataların üst üste getirilmesi	16
Şekil 3.7 0 Kesme viskozitesinde sıcaklıkla olan değişim verileri. (3.12) eşitliğine göre Düzenlenmiş Kesit Denklemi modelinden elde edilen veriler olan Şekil 3.4'e uygunluk göstermektedir.	18
Şekil 3.8 Sabit kesme geriliminde kesme hızının sıcaklıkla olan etkisi.....	20
Şekil 4.1 Sabit yataklarda akış esnasında basınç düşüşü.....	35
Şekil 4.2 Katı partiküllü bir yatağın akışkanlaştırılması	37
Şekil 4.3 Akışkan katalizörlü sistemler için taşıma ayrılma yüksekliği.....	40
Şekil 4.4 Dikey pnömatik taşımada nicel akış rejimleri.....	41
Şekil 4.5 Reynolds sayısının bir Fonksiyonu olarak sürüklenme katsayısı.....	46
Şekil 4.6 Reynolds Sayısı ve bağol pürüzlülüğe göre sürtünme faktörü.....	48
Şekil 4.7 Akışkan yataklı kurutma sisteminin 3 boyutlu modeli.....	50
Şekil 4.8 Akışkan Yataklı Kurutucu Elemanları	51
Şekil 5.1 Ahşap tozunun zamana bağlı nem değişimi.....	54
Şekil 5.2 Çam talaşının zamana bağlı ağırlık değişimi	54
Şekil 5.3 Kayın talaşının zamana bağlı ağırlık değişimi	55
Şekil 5.4 YYPE'nin Ksilen ile çözdürme deneğinin şematik gösterimi.....	56
Şekil 5.5 YYPE'in Ksilen ile çözdürme yöntemi ile üretilen kompozit ürünün görüntüsü	57
Şekil 5.6 YYPE'nin Ksilen ile çözdürme deneğinin uygulama resmi	58
Şekil 5.7 Münferit kompozit malzeme ATR-FTIR spektrometresi: Geçirgenlik yüzdesi/dalga sayısı değişim grafiği.....	60
Şekil 5.8 KM FTIR spektrometresinin diğer malzeme spektrometreleri ile karşılaştırılması..	61
Şekil 5.9 %40 LM %60 YYPE KM eğrisinin diğer malzemeler ile karşılaştırılması	62
Şekil 5.10 %40 LM %60 YYPE KM 'nin TGA Eğrileri	63
Şekil 5.11 %40 LM %60 YYPE KM 'nin film hale getirilmiş görüntüsü (6x büyültme).....	64
Şekil 5.12 Kompozit Üretim Kapasiteleri	67
Şekil 5.13 Kompozit Üretim Momentleri.....	67
Şekil 5.14 Kompozitlerin Eriğik Akış İndeksleri.....	68

Şekil 5.15 Zamana Bağlı MFI değişimi.....	68
Şekil 5.16 Kayın talaşı-alkol iyileştirmesi TGA eğrisi	69
Şekil 5.17 Kayın talaşı-Sodyum Sülfid iyileştirmesi TGA eğrisi	70
Şekil 5.18 Su ile yıkanmış kayın talaşı TGA eğrisi.....	71
Şekil 5.19 Su ile yıkanmış çam talaşı TGA eğrisi.....	72
Şekil 5.20 Çam talaşı-Sodyum Sülfid iyileştirmesi TGA eğrisi.....	73
Şekil 5.21 Çam talaşı-alkol iyileştirmesi TGA eğrisi.....	74
Şekil 5.22 Kayın talaşı-alkol iyileştirmesi TGA piklerinin yorumlanması	75
Şekil 5.23 Kayın talaşı-alkol iyileştirmesi DSC eğrisi	77
Şekil 5.24 Su ile yıkanmış kayın talaşı DSC eğrisi	78
Şekil 5.25 Su ile yıkanmış çam talaşı DSC eğrisi	79
Şekil 5.26 Çam talaşı-Sodyum Sülfid iyileştirmesi DSC eğrisi.....	80
Şekil 5.27 Helmholz firmasının ticari olarak ürettiği ahşap polimer kompozit granülleri DSC eğrisi	81

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 Kompozit malzeme üretimi pratik çalışma verileri.....	59
Çizelge 5.2 Kompozit malzeme MFI test sonuçları	59
Çizelge 5.3 Ekstruder Çalışma Verileri.....	66
Çizelge 5.4 Üretilen ahşap polimer kompozitlerin çekme dayanım test sonuçları	76

POLİMERLERDE REOLOJİK ÇALIŞMA

ÖNSÖZ

Özellikle artan petrol maliyetlerine dayanarak ve aynı zamanda ülkemize dışarıdan giren polimer malzemenin azaltılabilmesi bakımından bazı plastik malzemelerin yerine ahşap-plastik kompozitleri üretmek ciddi önem arz etmektedir. Dünyada özellikle ekstrüzyon sektöründe ahşap polimer kompozitleri işleyen makineler sanayide yerini almıştır. Muhtemelen, eğer özel bir tasarım yapılmazsa, önümüzdeki yıllarda ülkemize ciddi sayıda ekstrüder ve talaş kurutucu ve ekipmanları girecektir. Bu çalışmada ileride saf polimer malzemelerin belirli alanda yerini alabilecek “Ahşap Polimer Kompozitlerin” üretimine metodoloji ve üretim karakteristiği açısından farklı bir bakış açısı getirebilecek reolojik çalışmalar, bilimsel deneyler ve pratik uygulamalar yapılmıştır. Yapılan uygulamaların endüstriyel ölçekte tanımlanıp uygulanması ile önümüzde yıllarda yapılacak olası teknoloji ithalatının önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Tez kapsamında yapılan bütün mekanik tasarımlar SOLIDWORKS programında hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde büyük payı olan başta tez danışmanın Doç.Dr. Ahmet KOYUN’a, mekanik testlerin ve analizlerin yapımında yardımlarını esirgemeyen PETKİM Kalite Kontrol Birimi sorumlusu Raim İşler ve Feridun ŞENOL’a, ARGE Birimi Sorumlusu Erol ERBAY’a ve son olarak maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İsmail Taner SARUL

POLİMERLERDE REOLOJİK ÇALIŞMA

ÖZET

Bu yapılan çalışmada genel olarak Polipropilen (PP), Polietilen (PE) ve Polivinil Klorür (PVC) gibi polimerlerde giderek yaygın bir şekilde dolgu maddesi olarak kullanılan ahşap tozu ile üretilen Polimer Ahşap kompozitlerinin üretimi, alternatif iyileştirme methodları, verim arttırıcı çalışmalar ve optimum hat tasarımında mevcut olması gereken özelliklerin tanımlanması üzerinde teorik ve pratik bazda uygulama ve deneyleri içine alan detaylı bir çalışma yapılarak üretim safhaları arasında önemli bir yeri kapsayan kurutma işleminde kullanılacak akışkan yataklı infrared ısıtıcı kurutma sistemi SOLIDWORKS programında 3 boyutlu olarak modellenmiştir.

Birinci bölümde geniş literatür çalışması yapılarak mevcut teknolojiler gözlemlenmiştir. Yapılan literatür araştırmasında üretici firmaların benzer çözümlerle sonuca gitmesine rağmen düşük nem altında çalışma, yüksek art basıncı ve düşük verim gibi uygulama güçlükleri ortaya çıkmıştır.

İkinci bölümde ahşabın genel özellikleri ve bu özellikler üzerinde yapılabilecek iyileştirme çalışmaları tanımlanmıştır

Üçüncü bölümde viskoz akış temel prensipleri ve bu prensiplerin ahşap polimer kompozitleri üzerindeki uygulamalarından bahsedilmiştir. Bu bölümün devamında ahşap polimer kompozit formülasyonları ve bu formülasyonların özelliklerine değinilmiştir.

Dördüncü bölümde ahşap tozunun hidrofilik yapısından kaynaklanan düzensizliğin üretim verimi üzerinde büyük etkisi olması sebebiyle yüksek kurutma kapasitesine sahip akışkan yataklı kurutma sisteminin temel teorisi üzerinde durulduktan sonra pratik olarak üretimi yapılacak infrared ısıtıcı akışkan yataklı kurutma sisteminin tasarım hesapları ve tasarımın 3 boyutlu modeli verilmiştir

Beşinci bölümde yapılan pratik uygulama çalışması, deneyler ve temel analizler anlatılarak bu pratik uygulamaların temel prensiplerinden bahsedilmiştir.

Son bölümde yapılan testlerin ve mekanik muayenelerin sonuçları verilerek optimum iyileştirme sistemi, talaş tozu ve üretim sisteminin nasıl olması gerektiğine dair yol gösterici veriler sonuç bölümünde sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Ahşap polimer kompozitler, çamurlaştırma işlemi, lignoselülözik maddeler, polimer dolgu malzemeleri

RHEOLOGICAL STUDY ON POLYMERS

ABSTRACT

Wood dust is used as a filler content in the polymer industry most commonly in Polypropylene (PP), Polyethylene (PE) and Polyvinyl Chloride (PVC) Theoretical studies, practical applications and experimental studies have been made about production methodology, alternative improvement methods of the final product efficiency-increasing operations and critical specifications on the optimum product line of the polymer wood composites.(PWC)

In the first part of study literature investigation of the existing technologies is made. Regarding the literature investigations producers made similar resolutions on the application difficulties such as obligation to work at very low moisture percentages, high back pressure, high mould and die pressure and low efficiency, however these difficulties still limit production quality and costs.

In the second part general properties of wood and possible enhancements are mentioned.

In the third part basic principles of viscous flow and practice of these principles on polymer wood composites are mentioned. Also some of the well known polymer wood composite formulation are given and mentioned specific properties of these formulations.

In the fourth part Basic theory of fluidized bed dryer is mentioned because of the fact that disorder caused by the hydrophilicity of LM. In the end of the fourth part, design calculations and 3D model of “Fluidized Bed with Integrated Infrared Heated Drying System” and 3D model of the system is given.

In the fifth part practical operation of polymer wood composites are mentioned. Practical working data is also given

In the conclusion part results of the experimental tests and mechanical inspection data is given. Finally results are discussed and important clues are given about optimum system in PWC, alternative production line designs and operating conditions.

Keywords: Polymer wood composites, pulping process, lignocellulosic material, polymer filler material

1. GİRİŞ

Özellikle artan petrol fiyatları ve buna paralel olarak ülkemize dışarıdan giren polimer malzemenin azaltılabilmesi bakımından bazı plastik malzemelerin yerine ahşap-plastik kompozitleri üretmek ciddi önem arz etmektedir. Dünyada özellikle ekstrüzyon sektöründe ahşap polimer kompozitleri işleyen makineler sanayide yerini almıştır. Muhtemelen, eğer özel bir tasarım yapılmazsa, önümüzdeki yıllarda ülkemize ciddi sayıda ekstrüder ve talaş kurutucu ve ekipmanları girecektir.

Gün geçtikçe plastik malzemeler otomotiv, kimya, gıda, giyim ve ambalaj gibi çeşitli sektörlerde kullanılan malzemelerin yerini almaktadır. Bu demektir ki petrol türevi olan polimerlerin yurtdışından ithalat yükü de artan bir trend halini almıştır. Bu sebeple ülkemizde artan bu tüketim kaynağını büyük bir şekilde dengeleme kapasitesine sahip olan biyolojik dolgu malzemelerinin polimerlerde kullanılarak kompozit malzeme üretiminde kullanılması bu çalışmanın anafikrini kapsamaktadır. Mevcut üretilen ahşap polimer kompozitleri genellikle ekstrüzyon ile sürekli profillerin üretimi şeklinde gerçekleşmektedir. Ancak ahşabın kendine özgü polimerlerle benzerlik göstermeyen yapısı (180 °C de bozunma, farklı bitki tipleri ve mevsimler döngülerde farklı reçine oranlarına sahip olması, hidrofilik yapıda olması gibi özellikleri) sebebiyle herhangi bir standart polimer üretim yöntemiyle yapılan çalışmalar tam anlamıyla başarısız olamamasıyla birlikte yüksek enerji tüketimi ve düşük kütleli dönüşüm oranı ile verimli bir çalışma olarak kabul görmesi güçtür.

Bu yapılan çalışma ile mevcut üretim yöntemlerine alternatif olabilecek özgün bir hat tasarımı yapılması için gerekli çalışma koşulları kullanılarak, makine elemanları ve bu makine elemanlarının tasarım kriterleri deneysel veriler ve teorik hesaplamalar kullanılarak elde edilmiş ve bu parametrelerin ufak ölçekte uygulamaları yapılmıştır.

1.1 Tez Kapsamı

Bu tez konusu dahilinde detaylı literatür araştırma sonucunda alternatif ahşap tozu iyileştirme uygulamaları ve üretim yöntemleri denenmiştir. Ortaya çıkan iyileştirilmiş numuneler laboratuvar ölçeğinde granül halinde ahşap polimer kompoziti olarak üretildikten sonra bazı standart polimer testleri olan “Differential Scanning Calorimetry” (DSC), “Thermogravimetric Analysis” (TGA), “Melt Flow Index” (MFI) testleri ve mekanik çekme testleri yapılarak ortaya çıkan üretim ve sonuç verileri reoloji altyapısında karşılaştırılmıştır. Bu yapılan testler ve literatürde yapılan çalışmalar sonucunda hat üzerinde bulunması gereken özel bir kurutucu sistemi tasarımı yapılarak ve 3 boyutlu modellenmesi yapılmıştır.

2. AHŞABIN ÖZELLİKLERİ ve İYİLEŞTİRME UYGULAMALARI

Teknoloji çağının getirdiği yeniliklere ve çok sayıda yeni malzemenin rekabetine rağmen odun ya da ağaç malzeme sahip olduğu önemli özellikleri, güzelliği ve çekiciliği nedeniyle günümüzde de hammadde ve malzeme olarak birçok kullanım yerinde önemini korumaktadır. Hafifliğine göre direncinin yüksek olması, kolay işlenmesi, iyi boya ve cila kabul etmesi, ısıyı yalıtması, sesi absorbe etmesi gibi iyi özellikleri yanında, dış görünüşünün güzelliği ile kullanıldığı yerde sıcak ve hoş bir hava yaratması onu vazgeçilemez bir malzeme haline getirmiştir. Bugün kullanıldığı yer sayısı 6000'den fazladır. Ancak, ağaç malzeme istenmeyen bazı özelliklere de sahiptir. Organik bir madde olması nedeniyle çürümektedir. Kolay yanmaktadır. Böcekler tarafından tahrip edilmektedir. Kuru ise bünyesine su alarak, yaş ise bünyesinden su kaybederek boyutlarını değiştirmektedir. “Çalışma” olarak adlandırılan boyut değiştirme liflere paralel, yıllık halkalara dik ve teğet yönlerde farklı miktarlarda olmaktadır. Bu nedenle kullanım yerinde şekil değişiklikleri ve çatlamlar meydana gelmektedir. Ayrıca budak, öz, reaksiyon odunu gibi doğal büyüme kusurlarına sahiptir.

2.1 Ahşabın Özellikleri

Yukarıda belirtilen özellikler genel anlamda incelendiği takdirde endüstriyel anlamda bu malzemenin kullanım alanına göre çok farklı iyileştirmeler söz konusudur. Bu farklı iyileştirmeleri incelemeye önce ahşabın özellikleri üzerinde durmakta fayda vardır. Ahşabın özellikleri fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler olmak üzere 3 ana başlıkta incelenebilir.

2.1.1 Ahşabın Fiziksel Özellikleri

Ahşabın fiziksel özellikleri nem, birim hacimde ağırlık, sıcaklık genleşmesi, ısı iletkenliği, elektrik iletkenliği, dayanıklılık alt başlıkları altında tanımlanabilir.

2.1.1.1 Nem

Ağaç hücreleri arasında bulunan nem üç farklı şekilde bulunur. Birinci nem tipi bünyesel olarak tanımlanır. Odunun kimyasal yapısında bulunan sudur. Yapılan kurutma işlemleri bu nem oranını değiştirmez. İkinci bulunan nem tipi Absorbsiyon suyudur. Selüloz suya karşı çok istekli (Hidrofil) bir madde olup, çok iyi su emerek ahşabın şişmesine sebep olur. Emme suyu oranı %28-30 dur. Üçüncü ve son olarak bulunan nem tipi serbest (kapiler) su olarak tanımlanır. Hücre aralarında ve içlerinde bulunan sudur. Yaş odun ve tahtalardaki ıslaklık hissi bu suyun fazlalığıdır. Sonuç olarak ahşabın nemi denildiğinde Emme suyu ve Serbest su akla gelir. Ahşabın fiziksel özellikleri nem oranı ile etkilenir. Ahşap kururken hacim kaybına uğrar ve büzülür. Sertlik ve dayanımı artar ancak enerji tutma kapasitesi azalır. Ahşabın

özellikleri %12-15 nem durumunda belirlenmelidir. Örneğin su ile temas eden bir ahşap %200, yeni kesilmiş iğne yapraklı bir ağaç %130-60, piyasada kuru edilen bir ahşap %25-15, suni kurutma yoluyla kurutulmuş bir ahşap %12 rutubetli durumdadır. Ahşabın bulunduğu ortamın rutubetini alması nedeniyle, tam kuru %0 halde bulunması mümkün değildir. Belli bir değerden sonra sabit kalan su miktarı en fazla %30'dur. Bu nedenle ahşabın bünyesine giren su ile selüloz dokusu ve bağları şişmeye, eksilmeyle de büzülmeğe uğrar ve bu nedenle de birtakım çatlaklar meydana gelir. Bu deformasyonlar genellikle ahşabın en fazla teğet yönünde, geniş yapraklılarda iğne yapraklı türlere göre daha fazla olmaktadır. Ayrıca rutubet artışı ahşabın mekanik mukavemetini de düşürücü rol oynar.

2.1.1.2 Birim Hacim Ağırlık

Ahşabın birim hacim ağırlığı (BHA) ve nem birbirine bağlıdır. %15 neme karşılık gelen birim hacim ağırlığı ağaç türüne göre 0,1 L/m³ ile 1,5 L/m³ arasında değişir. BHA yüksek olan ahşapların mekanik özellikleri de yüksektir. Ancak bunların işlenmesi ve çalışılması zordur. Mantar, böcek gibi hayvanlara karşı dayanıklıdır. BHA düşük olan ahşapların mekanik dayanımları düşüktür. İşçilikleri kolaydır.

2.1.1.3 Sıcaklık Genleşmesi

Sıcaklıkla hacmi genişleyen ahşap, soğumayla hacmi azalır.

2.1.1.4 Isı İletkenliği

Ahşap hücreli yapısı ve yapının esasını oluşturan maddenin selüloz olması nedeniyle, ısı bakımından kötü bir iletkenidir. Bölme, kaplama malzemesidir.

2.1.1.5 Elektrik İletkenliği

Nem derecesi artımına bağlı olarak iletkenlik hızla artar. Kuru ahşap alçak gerilimde izolasyon malzemesi olarak kullanılır.

2.1.1.6 Diğer Fiziksel Özellikler

Ahşabın dayanıklılığı koruyucu işlemlere bağlı olmaksızın dış etkenlere dayanmasıdır. Yapılarındaki doğal antiseptik maddeler nedeniyle kestane, meşe, çam, gürgen dayanıklıdır. Dişbudak, kayın, çınar, kavak söğüt, ıhlamur az dayanıklıdır. Yoğunluk arttıkça ağaçlarda sertlik artar. Lifler dik doğrultuda iken sertlik fazladır. İlkbahar odunu, yaz odunundan; dış odun iç odundan daha yumuşaktır. Rutubet azaldıkça sertlik artar yine de rutubet yumuşak ağaçlarda sertliği çoğaltır, sert ağaçlarda azaltır.

Ağaçların renkleri iç odun ve dış odunda değişir. Ayrıca bazı ağaçlar kurduktan sonra da

renk değiştirirler. Renk ağaçtan ağaca hatta ağaç içinde bile değişiklik gösterebilir. Parlaklık ahşap yüzeyin ışığı yansıtmasına bağlıdır. İç odun dış odundan; öz kesit diğer kesitlerden daha parlaktır.

Koku salgı maddelerinin miktarı ile cinsine bağlıdır ve zamanla azalabilir. Mantarlar da kokuya neden olur.

2.1.2 Ahşabın Kimyasal Özellikleri

Hücre duvarının kimyasal bileşiminde; %40-50 Selüloz, %20-35 Hemiselüloz, %20- Lignin, %0 –5 yabancı madde bulunur.

Selüloz hücre duvarının ana katkı maddesidir. Ahşabın fiziksel özelliklerinden eğilime ve çekmeye karşı mukavemet veren madde budur. Hemiselülöz Pentoz ve Heksos şekerlerinin kısa polimerileridir. Hücre duvarını güçlendirir, depo madde görevi yapar, geçit zarlarını ayarlar. Su emicidir. Lignin Selüloz fibrilleri içinde yer alır. Ahşabın basınca karşı mukavemetini sağlar. Bir fenol halkasının ana yapısına sahip amorf bir maddedir. Düşük oranda su emicidir. Rengi kahverengimsi beyazdır.

Odun dokusu, diğer bitki dokularına göre en dayanıklı olanıdır. Kuru yerde saklanan ahşap çok uzun yıllar dayanır. Ayrıca hayvansal zararlıların bulunmadığı ortamlarda (su içinde) da çok dayanıklıdır. Ahşapta direncin azalması yüksek oranda rutubete bağlıdır (%26-30) bağlıdır oysa pamuk %10 rutubette bozulur. Dış odun salgıları (nişasta gibi) organizmaları kendine çeker. İç odun salgıları ise genellikle zehirlidir, organizmaları öldürür. Tanen (kestane, meşe) reçine (çam, köknar, ladin) kreozot (sedir) gibi maddeler mikroorganizmaları yaşatmaz. Çürümeyi önleyici salgılar dış odundan iç oduna geçiş döneminde oluşur. Çürümeyi önleyen salgılar genetikdir; türler arasında, türler içinde kalan ahşap çok uzun yıllar dayanır. Ayrıca hayvansal zararlıların bulunmadığı ortamlarda (su içinde) da amorf hatta bir tek ağaç bile değişiklik gösterir. Dayanıklı ahşap karbonhidrat içermez. Ligninleşme enzimlere karşı fiziksel bir engel yaratır. Doğru olarak ilaçlanmış ahşap, doğal ahşaptan daha üstündür. İç odun dış odundan; yaz odunu ilkbahar odunundan daha dayanıklıdır. İç odunu koyu renkli ağaçlar daha dayanıklıdır. Dayanıklılık ağacın cinsine göre değişir.

2.1.3 Ahşabın Mekanik Özellikleri

Ahşap, heterojen ve anizotrop bir malzeme olması nedeniyle mekanik özelliklerini incelemek zordur. Lifleri yönündeki tüm özellikler, basınç, çekme dayanımları, enine yöndeki dayanımlarından yüksektir. Ahşap su içeriğinin fonksiyonu olarak şişen, büzülen bir malzeme olduğundan mekanik özellikleri de değişen bir malzemedir. Hücre boşluklarındaki su, buna serbest su denir, kesimi izleyen günlerde buharlaşır. Hücre çeperine yapışmış emme su ise

uzun süre ahşap içinde kalır. Kendi haline bırakılan bir tomruk kozalaklılarda 2 yılda, yapraklılarda 4 yılda ancak kurur. Ahşabın liflere dik doğrultuda basınç kuvvetlerine karşı dayanım azdır. Lifler doğrultusunda ise kesme kuvvetine karşı dayanım azdır. Ahşaptan üretilmiş suni ahşap malzemelerin özellikleri ahşabın özelliklerine benzer. Ancak üretim amaçlarına uygun olarak geliştirilen bu tür homojen ve izotop malzemeler, doğal ahşapta görüldüğü gibi lif yönlerine bağlı olarak değişen değerler gösteremezler. Elastisite modülleri: çamlarda liflere paralel 10000 Pa, lifler dik 300 Pa Meşe, kayın liflere paralel 12500 Pa, lifler dik 600 Pa Tabii olarak kurutulmuş %10-15 nemli meşenin yoğunluğu 800 kg/m^3 , çamın 550-600 800 kg/m^3 'tür. Liflere paralel durumda 1. sınıf çamın çekme direnci $100-105 \text{ kg/cm}^2$, basınç direnci $85-100 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Değişik hava etkilerinde çabuk yıpranır. Yangına karşı dayanıksızdır.

2.2 Ahşabın İyileştirme Uygulamaları

Ahşap malzeme bünyesinde bulunan lignin ve diğer endüstriyel uygulamalarda problem yaratması olası maddelerin bünyesinden ayrılması için bir bozunum prosesinden geçirilmesi gerekir. (Pulping Slurry Form)

Bu bozunum prosesi kağıt üretim tesislerinde ahşap çiplerden selüloz üretimi yapımında uygulanan çeşitli özellikteki proseslerle benzerlik göstermektedir. Mevcut kullanılmakta olan ahşap bozunum prosesleri şunlardır:

1. Biyolojik bozunum Prosesi
2. Termo-kimyasal Bozunum Prosesleri
3. Mekanik Bozunum Prosesleri

Mekanik bozunum prosesi büyük kalenderler vasıtasıyla endüstriyel boyutta malzemenin mekanik baskıya tabi tutularak şekillendirilmesi temeline dayanır. Günümüzde kağıt üretim sektöründe bu tip bozunum prosesleri hakimdir.

2.2.1 Biyo-Bozunum Prosesi

Bu proste ahşap bozunumu mikroorganizma hareketlerinin uygun koşullarda tetiklenmesi baz alınarak geliştirilmiştir. Biyo-pulp hazırlama işleminde uygun mantar kolonisinin belirlenmesi, aşı foru ve miktarı, ahşap tipi, ahşap çip boyutları, çevresel faktörler, kullanılan katkı maddelerinin etkileri ve ahşap çiplerinin sterilize edilmesi gibi etmenler göz önünde bulundurulmalıdır. (Akhtar, 2000)

2.2.1.1 Aşı Malzemesi

Ahşap içerisindeki ligninin çözülmesi için *cerporiopsis subvermispora* mantarı seçilmiştir. Bu mantar seçici bir lignin bozucudur. Ahşap çiplerinin yüzeyleri mantar hücreleri ve sporlarla kaplıdır. Bu istenmeyen mikroorganizmalar bu bakterilere zarar verebilir. Yaklaşık 15 saniye atmosferik basınçta buhar tutularak ahşap çiplerinin üzerinde barınan istenmeyen organizmaların yok edilmesini sağlar. Bu zararlı bakterilerin elimine edilmemesi durumunda selülöz sindirici enzimler salgılamaları proses verimini düşürür nitelikte olmaktadır.

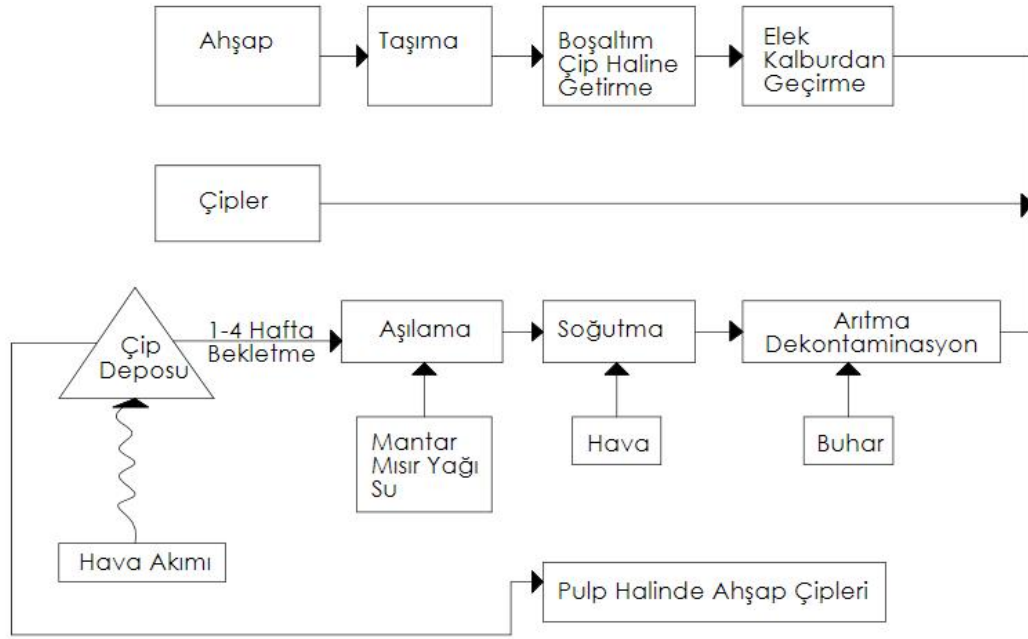
1 ton ahşap için 5 gr aşı malzemesi kullanılmaktadır. Bu değer 3 kg' dan 5 gr'a düşmüştür. Bunun sebebi piyasada kolaylıkla bulunan sterilize edilmemiş mısır yağının çok daha az aşı kullanımıyla mantar üretimini tetiklemesidir.

2.2.1.2 Mühendislik Uygulaması

Sterilizasyon amaçlı buhar püskürtülmesinden sonra çip sıcaklığı 100 C°'yi bulmaktadır. Mantar üretiminin başlatılması için çipler soğutulur. Soğutma işlemi 2 kademe gerçekleştirilir. Birinci kademe aşılama öncesi soğutma ve ikinci kademe çiplerin hava akımıyla siloya taşındıktan sonra soğutulmasından ibarettir. Aşı ve mısır yağı talaşın üzerine eşit olarak dağıtılmalıdır. Sıcaklık, ahşap çiplerinin nem oranı ve havanın nemi gibi değişkenlerin hepsine göre mantarların optimum üreme evresi ve koşulları sağlanarak biyo-pulping (biyo-hamurlaştırma) işlemi gerçekleştirilir.

2.2.1.3 Endüstriyel Uygulamalar

Sürekli bazda 2 adet vidalı konveyör malzeme iletimi ve çevrim boyunca gerekli koşulların sağlanması için uygun ortam özelliklerini karşılamaktadır. İlk vidalı konveyöre buhar enjekte edilmektedir. Bu buhar ahşap talaşlarını ısıtır ve sterilize eder. Arada tampon görevi yapan bir dalgalanma kabı vardır. Bu kabın tabanında ikinci bir vida akabinde filtrelenmiş hava üflenerek soğutulan çipleri hareket ettirir. 2. vidalı konveyörün 2. yarısında mantar bulunan aşı mısır yağı ve damıtılmış su karıştırılarak talaşın üzerine dönel hareket yaptırılarak verilir. Vidalı konveyör üzerinden çipler silo üzerine düşerek 2 haftalık kuluçka dönemine bırakılır. Bu tip sürekli tasarım saatte 2 ton sürekli olarak 24 saat selüloz üretir. 2 hafta süre boyunca depo şartlandırılmış hava ile ventile edilmelidir. Böylece bu mantar üreme sıcaklığı olan 27-32 C° ve %50-60 nem (ıslak ağırlık baz alınmıştır) değerleri sağlanarak optimum üreme verimine ulaşılır.



Şekil 2.1 Biyo-Bozunum işleminin proses akış diyagramı

2.2.2 Termo-Kimyasal Bozunum Prosesi

Araştırmacılar tarafından ahşabın delignifikasyonu adı altında, yüksek sıcaklık ve basınçta çeşitli kimyasallar yardımı ile ahşabın hamur haline getirilme işlemleri literatürde yer almaktadır. Tez kapsamı boyunca birbirine benzer bu uygulamalardan Sodyum Sulfit ve Hidrojen Peroksit bazlı olmak üzere 2 adet bozunum prosesinin literatür araştırması tamamlandıktan sonra laboratuvar ölçeğinde uygulaması yapılmıştır.

2.2.2.1 Sodyum Sülfite ile Hamurlaştırma İşlemi

Bu yöntem esas olarak Kuzey Amerika’da yetişen bir çimen türü olan *P. Virgatum L.* nin hamurlaştırılması amacıyla K.N.Law vd. tarafından uygulanmıştır. Odun dışı malzemelerde kullanılabilmesi açısından önem teşkil etmektedir.

Hamurlaştırma Koşulları

Harici elektrikli ısıtıcı ve bir basınçlı kap ortamında 170 C° sıcaklığa 35 dakikada ulaşılır. 170 C° sıcaklıkta 45 dakika sabit pişirme şeklinde 2 kademeli uygulama yapılır. Uygulamada çözücü ahşap ağırlık oranı 6/1 ‘dir. Çözücüde bulunan alternatif kimyasal oranları NaOH/Na₂SO₃ sırasıyla 10/0, 15/0, 20/0, 15/5, 10/10, 5/15 ve 0/20 dir. Yapılan pişirme işleminden sonra endüstriyel tip mixerde kesme karıştırma işlemi yapılarak defibrilize edilir. Bu malzeme daha sonra yıkanıp filtre kağıdında süzildikten sonra 105 C° sıcaklıkta 24 saat bekletilerek kurutma işlemi tamamlanır. (Law, 2000)

2.2.2.2 Hidrojen Peroksit ile Hamurlaştırma İşlemi

Bu yöntem esas olarak kullanılmış gazete kağıtları ile polimer kompozit üretiminde kağıdın hamur haline getirilmesinde kullanılan bir yöntem olup I. Baroulaki vd. tarafından uygulanmıştır. (Baroulaki vd., 2005)

Harici elektrikli ısıtıcı ile atmosferik basınçta ağırlık olarak %1.2 NaOH, %1.0 H₂O₂, %2.5 Na₂SiO₃ çözeltisi (%33-37 oranında cam suyu), %0.6 dağılım aracı (etil alkol) oranlarında karışım 15 dakika sabit 45 C° sıcaklıkta bekletilir. Benzer şekilde malzeme yıkanıp filtre kağıdında süzöldükten sonra 105 C° sıcaklıkta 24 saat bekletilerek kurutma işlemi tamamlanır.

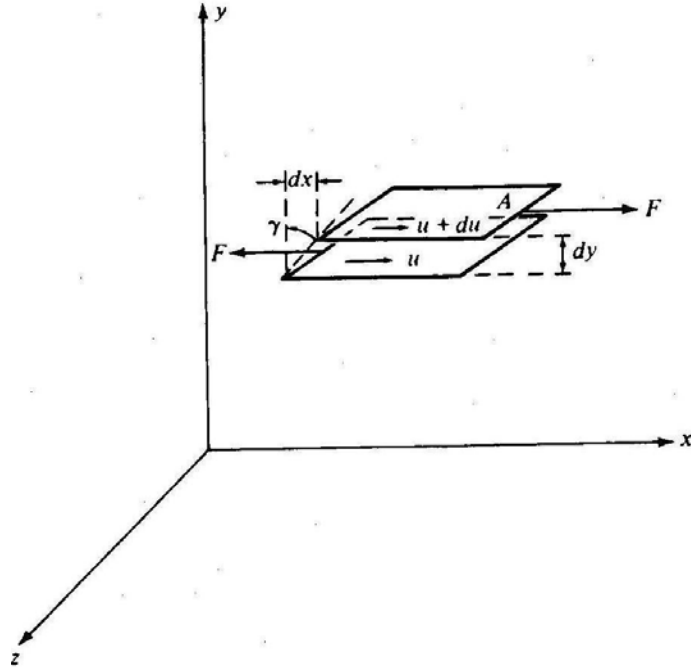
3. VİSKOZ AKIŞ VE AHŞAP-POLİMER KOMPOZİT UYGULAMALARI

Güncel birçok Reolojik çalışmaların polimer sistemleri üzerine olmasının sebebi açıklaması zor ve ilginç şekil değiştirme davranışlarının olmasıdır. Akış için basit Newton Kanunu elastikli için Hooke Kanunu gibi lineer mühendislik kanunları genellikle uygulanabilir yaklaşımlar değildir. Bunun sebebi polimerlerin elastik ve viskoz olmalarının yanı sıra yapılan uygulamaların sıcaklık ve zamana bağlı olması sebebiyle lineer olmayan çözümler gerektirmesidir.

Ahşap polimer kompozitlerinde ise durum viskoelastik ve viskoelastik olmayan farklı iki yapıda malzemenin oluşturdukları kısmi bir homojen karışım mertebesidir.

3.1 Temel Reolojik Tanımlar

Geridönüşümsüz olarak uygulanan mekanik enerjinin tamamı sürtünmenin vasıtasıyla ısıya dönüştüğünde meydana gelen deformasyona viskoz enerji dağıtımı denir. Malzemenin viskozitesi ise akmaya karşı olan direncidir. Kesme gerilimi* (τ) ve kesme hızı** $\dot{\gamma}$ olmak üzere 2 temel parametre ile tanımlanır. Şekil 3.1 de bu nicelikler tanımlanmıştır. Laminer akış



Şekil 3.1 Kesme gerilimi ve kesme hızının tanımlanması (Rosen S., 1993)

bölgesinde bir nokta ele alınmıştır. Kartezyen koordinat sisteminde x eksenini akış yönü ve y

* Shear Stress
** Shear Rate

ekseni sabit akış hız vektörüne dik yüzeydir. Böylece hız gradyenine paralel olur. Z eksenine ise bu iki eksene diktir. Bu durum basit kesme akış olarak tanımlanır. Viskometrik akışın bir örneğidir. Özetle bir akış bölgesinde hızı ve onun gradyeni her yerde birbirine dik ve 3. nör yön her ikisine de diktir. Birçok laminer akış durumu viskometrik akıştır veya bu tip akış olarak kabul edilebilir mertebededir.

Y eksenindeki akış katmanı $u = dx/dt$ hızı ile x yönü üzerinde hareket eden $y + dy$ üzerindeki katman $u + du$ hızı ile hareket eder. Bu durumda yer değiştirme gradyanı dx/dy kesme gerilimi γ sembolü ile tanımlanır.

$$\gamma = \frac{dx}{dy} = \text{kesme gerilimi (boyutsuz)} \quad (3.1)$$

Kesme geriliminin hıza bağlı değişimi $\dot{\gamma}$ olarak tanımlanır. Zaman değişkenine bağlı türev sırası önemsiz olduğu kabulünde:

$$\dot{\gamma} = \frac{d(\gamma)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dy} \right) = \frac{d}{dy} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{du}{dy} \text{ (zaman}^{-1}\text{)} \quad (3.2)$$

Böylece basit kesme akışında* Böylece basit kesme akışında, kesme hızı, hız gradyenine du/dy özdeşdir. Ancak bütün viskometrik akışlarda bu durum geçerli değildir. Kesme gerilimi y eksenine dik birim alandaki (akış yönündeki) kuvvettir.

$$\tau_{yx} = \frac{F}{A} \left(\frac{\text{Kuvvet}}{\text{Uzunluk}} \right) \quad (3.3)$$

Viskozite kesme geriliminin kesme hızına oranıdır.

$$\eta = \left(\frac{\tau}{\dot{\gamma}} \right) \quad (3.4)$$

3.2 τ ve $\dot{\gamma}$ Arasındaki İlişkiler ve Akış Eğrileri

Bütün malzemelere sabit sıcaklıkta sabit kesme hızı veya kesme gerilimi uygulandığında kararlı kesme gerilimi sonuçları verir. Kesme gerilimi ile kesme hızı arasındaki bağlantı sabit sıcaklıktaki akış eğrisi olarak tanımlanır. Newton'un viskozite kanuna göre kesme gerilimi kesme hızı ile doğrusal orantılıdır. Oran sabiti ise viskozitedir:

* Simple Shear Flow

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (3.5)$$

Bu hipoteze uyan akışkanlar Newtonyen olarak tanımlanır. Gazlar, su ve Toluen gibi polimer olmayan akışkanlarda bu hipotez geçerlidir. Bu tip akış biçimi küçük ve simetrik biçimli moleküllere sahip ve kesme yoğunluğuna bağlı olarak yapı ve dizilimin değişmediği malzemelerden beklenir.

Aritmetik akış eğrisi $(\tau/\dot{\gamma})$ Newtonyen akış için η eğimine sahip düz çizgi şeklindedir. τ ve $\dot{\gamma}$ çok farklı büyüklüklerde olabildikleri için logaritmik koordinatlarda bu eğrilerin çizilmesi tercih edilir. Her iki tarafın logaritması alındığında:

$$\log \tau = \log \eta + 1 \log \dot{\gamma} \quad (3.6)$$

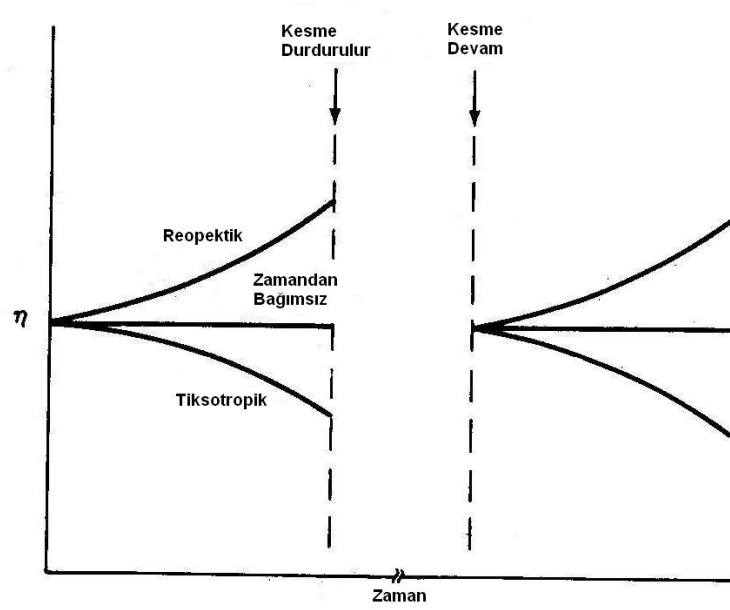
Birçok akışkan Newton'un hipotezine uymaz. Dilatant (**) ve psodoplastik (***) akışkanlar mevcuttur. Logaritmik koordinatlarda Dilatant akış eğrilerinin eğimi 1'den büyük, psodoplastiklerde eğim 1'den küçüktür. Dilatant davranış bazı bulamaç formundaki malzemelerde görülmektedir ve yoğunlaşan kesme gerilimde akışa direnç göstermektedir. Polimer eriğik ve solüsyonları sabit olarak psodoplastiktir. Kesme yoğunluğu arttıkça akış direnci düşer.

Newtonyen olmayan akışkanlarda τ , $\dot{\gamma}$ ile direkt olarak orantılı olmadığı için viskozite sabit değildir. η yi $\dot{\gamma}$ (veya τ nun) fonksiyonu olarak veren denklem ve grafikler malzemenin denge durumundaki viskoz kesme özelliklerini göstermenin eşdeğer bir metodudur. τ , $\dot{\gamma}$ ve η değişkenlerinin ikisinin bilinmesi durumunda denge kesme davranışı (3.4) denklemine bağlı olarak ifade edilebilir.

3.3 Zamana Bağlı Davranış

Newtonyen olmayan akışkanlardan bir önceki başlıklarda bahsedildiği gibi kesmeye bağlı fakat zamandan bağımsızdırlar. Sabit kesme hızı sağlandığı sürece denge durumunda sabit kesme gerilimi gözlenmiştir.

** Shear thickening
*** Shear thinning



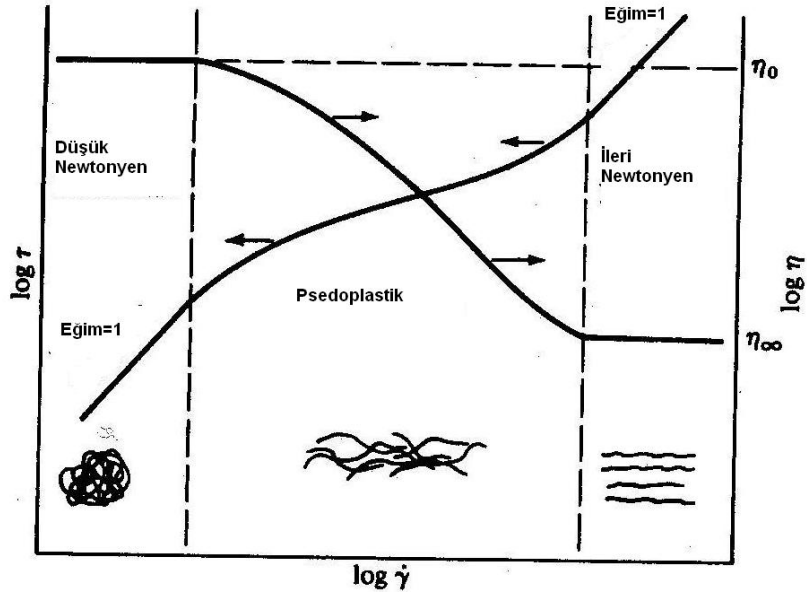
Şekil 3.2 Zamana bağlı akışkanlar

Ancak bazı akışkanlar geri dönüşümlü zamana bağlı değişimler göstermektedir. Sabit kesme gerilimde tiksotropik akışkanın viskozitesi zaman içerisinde de değişmektedir. Bu malzemenin yapısının zamana bağlı olarak bozunmaya uğradığını göstermektedir. Kesme belirli bir süre durdurulduğu zaman malzeme yapısı tekrar eski haline dönmektedir. Hafifçe silkme yaptıktan sonra aniden fişkırın ketçap akışı bu duruma benzer pratik bir örnektir. Boya endüstrisinde bu tip akış önem teşkil eder. Akışkan boya malzemesinin fırça veya havalı püskürtücüden hızlı bir şekilde akması ancak boyanacak yüzeyleri tutunması gereklidir. Bu tip davranışın tam tersine reopektik akışkan adı verilir. Sürekli artan ve azalan kesme uygulandığı takdirde Şekil 3.2’de görülen akış eğrileri ortaya çıkar. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda polimerler tiksotropik veya reopektik olarak gösterilmiştir. Ancak güncel çalışmalar polimerlerde geri dönüşümlü bir döngü olmadığını uzun periyotlarla kesme uygulandığı zaman özellikle yüksek sıcaklıklarda çapraz bağ veya yapısal bozunum meydana geldiği ortaya çıkmıştır.

3.4 Polimer Erişik ve Çözeltileri

Geniş kesme aralıklarında polimer erişik ve çözeltileri Şekil 3.3’te görülmektedir. Düşük kesme hızlarında veya gerilmelerinde sıfır kesme viskoziteli* η_0 alçak Newtonyen

* Zero Shear Viscosity



Şekil 3.3 Polimer eriğik ve çözeltilerinin genelleştirilmiş akış özellikleri

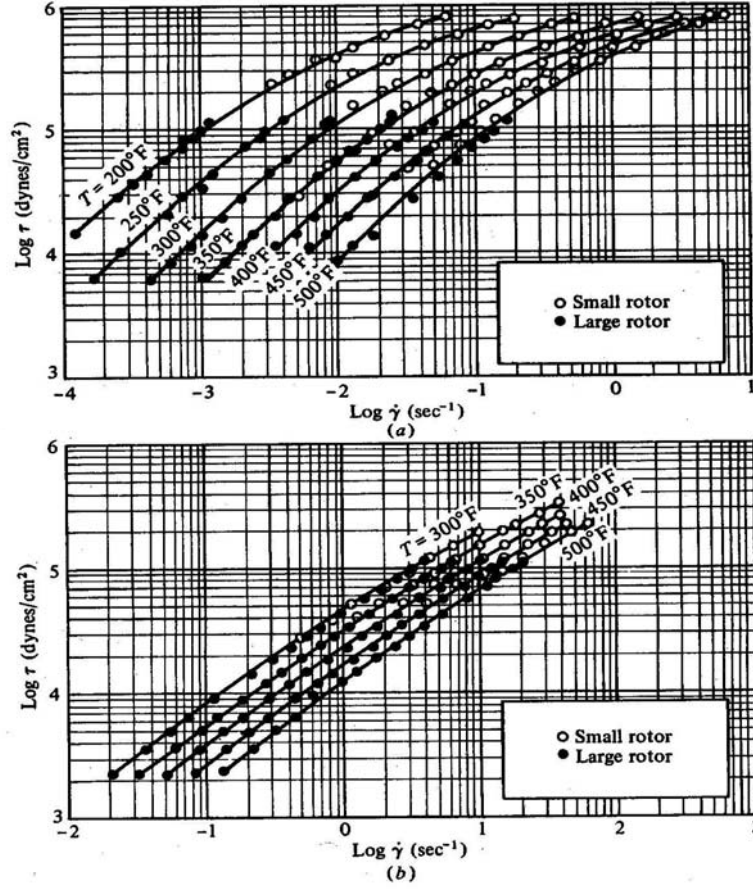
bölgesine ulaşılır. Orta kesme hızlarında malzeme psödoplastik ve çok yüksek kesme hızlarında malzeme η_{∞} viskozitesiyle yüksek Newtonyen bölgeye ulaşır. Bu davranış tipi moleküler yapı ile orantılıdır. Molekül zincirlerinin ısısal hareketinin rastgele etkisi** kesme bölgesindeki moleküler sıralanma eğilimini yener. Böylece moleküller en rastgele ve karışık dizilimde ve akma direncinin en yüksek olduğu evrededirler. Kesme arttıkça moleküller arası bağlar çözülerek akış yönüne doğru şekil almaktadırlar ve her molekül birbirini geçerken kayma direnci düşmeye başlar. Çok yüksek kesme altında bağlar tamamen çözülmüş ve moleküller kesme yönüne doğru sıralanarak minimum akma dayanımına ulaşılmıştır.

Yoğun kesme kuvveti ana zincir bağlarını kopararak mekanik bozunmaya sebep olur. Kesme ile yapılan iş olan :

$$dW(\text{kesme}) = (\text{Kuvvet})(\text{Yol}) = (\tau_{xy})(zd\gamma) = -\tau V d\bar{\gamma} \quad (3.7)$$

denkleminin zamana bağlı türevi viskoz enerji dağılımının birim hacimde $\tau \bar{\gamma}$ 'ye eşit olduğunu gösterir. Bu sebepten ötürü yoğun kesme esnasında sıcaklık birimini sabit tutmak mümkün değildir. Ancak yüksek newtonyen bölgesini karşılayan polimerik malzeme verisi nadir bulunmaktadır. İleri derecede yönlendirilmiş olan malzemelerden kesme etkisi uzaklaştırıldığı zaman ısısal enerjinin rastgele etkisi malzemelerin düşük kesme oranlı konfigürasyonlarına elastik geri dönüşüm sağlar.

** Randomizing Effect



Şekil 3.4 Polimer eriğiklerinin akış eğrileri a) Poliisobütülen b) Alçak yoğunluklu polietilen (Rosen S., 1993)

Şekil 3.4'te alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) ile poliisobütülenin eriğik akış eğrisi verilmiştir. Bütün akış alanını verecek kapasitede ölçüm cihazları bulunmamaktadır. Şekil 3.4a'da Poliisobütülenin alçak Newtonyen bölgesi ile psödoplastik bölgesi, AYPE'nin ise psödoplastik bölgesi verilmiştir.

3.5 Akış Davranışının Nicel Sunumu

Newtonyen olmayan akışı analitik olarak incelemek için τ, η ve $\dot{\gamma}$ 'nin matematiksel ifadesi Newtonyen akışlarındaki Newton kanununda olduğu gibi ifade edilmelidir. Bu konuda teorik ve ampirik birçok denklem bulunmasına rağmen bunları çoğu sadece belli aralıklarda geçerli çözümlerdir. Saf viskoz Newtonyen olmayan akışlarda kullanılan en temel mühendislik modeli Power-Law modelidir.

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n \quad (3.8a)$$

Bu iki parametrelilik bir modeldir ve düzenlenebilir parametreler tutarlılık K ve akış indeksi

n 'dir. Yukarıda belirtildiği gibi K , n 'nin büyüklüğüne bağlıdır.

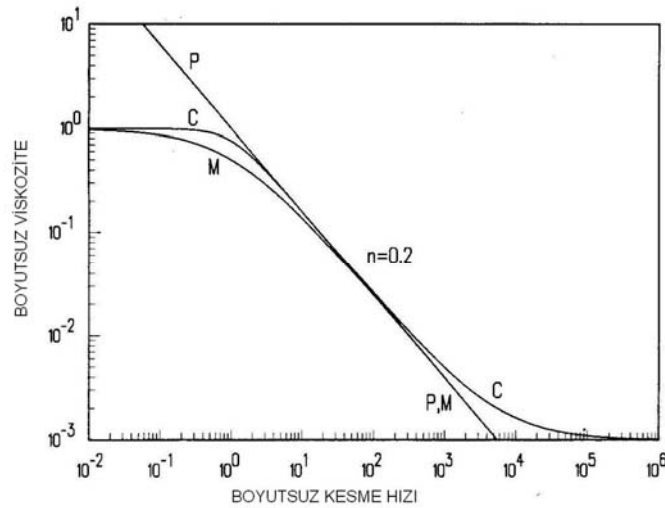
$$\tau = K \left| \dot{\gamma} \right|^{n-1} \dot{\gamma} \quad (3.8b)$$

Bu durumda K normal viskozite birimlerine sahip olur. τ ve $\dot{\gamma}$ logaritmik koordinatlarda Power-Law akışkanının eğimi olan n değerini alır. Böylece $n=1$ olduğunda malzeme Newtonyen Akışkan, $n<1$ olduğunda akış psödoplastik ve $n>1$ olduğunda dilatant akış mevcuttur. Power-Law kanun şekil 3.4'te görüldüğü gibi gerçek akış eğrilerinin sadece bir veya iki bölgesini karşılayabilir. Matematiksel olarak basit ve mühendislik uygulamalarında kullanılabilir olması sebebiyle Newton kanununda kullanılan denklemlerle yer değiştirildiğinde faydalı dinamik akış eşitlikleri ortaya çıkmaktadır.

Ancak $\eta - \dot{\gamma}$ log-log grafiği power-law kanununa göre yazıldığında eğri $n-1$ şeklindedir. Bu durum Power-Law kanununun bir limitini göstermektedir. Kesme hızı sıfır değerine yaklaştığı zaman psödoplastik Power-Law akışkanının viskozitesi sonsuza yaklaşır. Bu durumda $n<1$ halini alır.

Carreau modeli

$$\frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta - \eta_0} = \left[1 + \left(\lambda_c \dot{\gamma} \right)^2 \right]^{(n-1)/2} \quad (3.9)$$



Şekil 3.5 Viskozitenin kesme hızına olan bağımlılığı P Power-Law, C Carreau, M Düzeltilmiş Kesit modelidir. (Rosen S., 1993)

4 parametrelili bütün akışın Şekil 3.3'te gösterilen bütün özelliklerini temsil eden bir modeldir. Polimer eriğik ve çözeltilerinin en az üç veya dört bölgesinin verilerine bu denklem ile

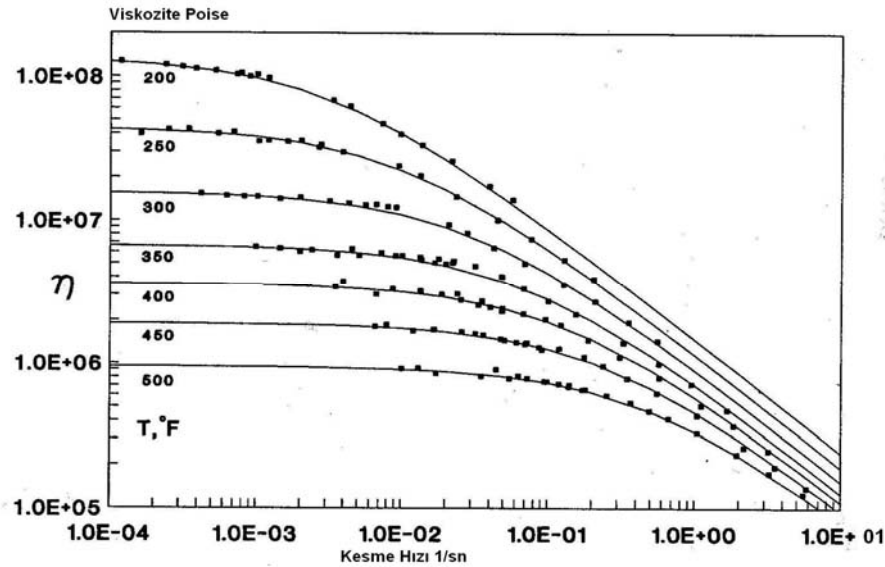
yaklaşılabilir. Burada λ_c bir zaman sabiti veya karakteristik bir zamanı temsil eder.

$\left(\lambda_c \bar{\gamma}\right)^2 \ll 1$, $\eta \rightarrow \eta_0$ ve $\left(\lambda_c \bar{\gamma}\right)^2 \gg 1$, $\eta \rightarrow \eta_\infty$ değerleri arasında $n-1$ eğimli Power-Law bölgesi oluşturmaktadır. Pratik uygulamalarda kesme hızı ileri Newtonyen bölgesine ulaşacak mertebelerde değildir. Bu sebeple $\eta_\infty = 0$ olduğu 3 parametrelili bir Carreau modelini kullanmak yeterlidir.

Düzeltilmiş kesit modeli uygulamalarda sıkça yerini almaktadır:

$$\eta\left(T, \bar{\gamma}\right) = \frac{\eta_0(T)}{1 + \left[C \eta_0(T) \bar{\gamma}\right]^{1-n}} \quad (3.10)$$

Bu 3 parametrelili model C sabiti ile karşılıklı (*alan/kuvvet*) modüle sahiptir. $c\eta_0$ zaman boyutuna sahiptir ve zaman katsayısı veya karakteristik zaman olarak düşünülebilir. Düşük kesme hızlarında $\eta - \eta_0$ ve yüksek kesme hızlarında $n-1$ eğimli Power-Law bölgesine tekabül etmektedir. (Şekil 3.5) C ve n sabitleri bütün eş sıcaklık eğrilerinde aynıdır. Veriler birbirine iyi bir şekilde örtüşmüştür. Bu denklem yüksek kesme hızlarında eş sıcaklık eğrilerinin birbirine yaklaştığı gerçeğini doğrular niteliktedir. Ancak bu veriler üçten az kesme hızı bölgesini kapsadığı için bu denklemin limitlerini zorlamamaktadır. İleri Newtonyen bölgede çalışılmadığı takdirde (3.9) veya $\eta_\infty = 0$ (3.10) arasında herhangi bir farklılık yoktur. Sadece alçak Newtonyen ile Power-Law modelleri arasındaki geçişte daha



Şekil 3.6 Düzeltilmiş kesit denklemleri ile 3.4a daki dataların üst üste getirilmesi .

net sonuçlar verir. Ancak bu verilerin doğruluğu malzeme tipi ile de ilgilidir. Örneğin verilen

bir polimer için geçiş ağır moleküler ağırlık dağılımı geniş bir bantta yer alıyor ise veya yüksek polimer dağılım indeksli* bir polimer ise (3.10) eşitliği daha hassastır.

Şekil 3.6 da verilen bütün eş sıcaklık eğrilerinde $C=2.2.10^{-6}$ cm²/dyne n=0.21,
 $\eta_0(200F^o)=1.34.10^8$ P, $\eta_0(250F^o)=4.40.10^7$, $\eta_0(300F^o)=1.57.10^7$,
 $\eta_0(350F^o)=6.67.10^6$, $\eta_0(400F^o)=3.60.10^6$, $\eta_0(450F^o)=1.90.10^6$, $\eta_0(500F^o)=9.50.10^5$

Power-Law kanunu da $\bar{\gamma} = \bar{\gamma}(t)$ ve $\eta = \eta(t)$ şeklinde eksplisit olarak yazılabilir. Ancak bu eksplisit form Carreau ve Düzenlenmiş kesit denklemlerinde kullanılamaz yerine;

$$\log \bar{\gamma} = a_0 + a_1(\log \tau)' + a_2... \quad (3.11a)$$

$$\log \eta = b_0 + b_1(\log \tau)' + b_2... \quad (3.11b)$$

burada a_i ve b_i sıcaklık fonksiyonlarıdır. Bu prensip olarak doğrudur. Ancak denklemlere çok sayıda eleman yüklemek çözüm uygulamaları açısından problem yaratabildiği gibi kesme gerilimiyle artan kesme hızını, negatif viskozite gibi temel mantığa uymayan kritik ekstrapolasyonlar ortaya çıkabilir.

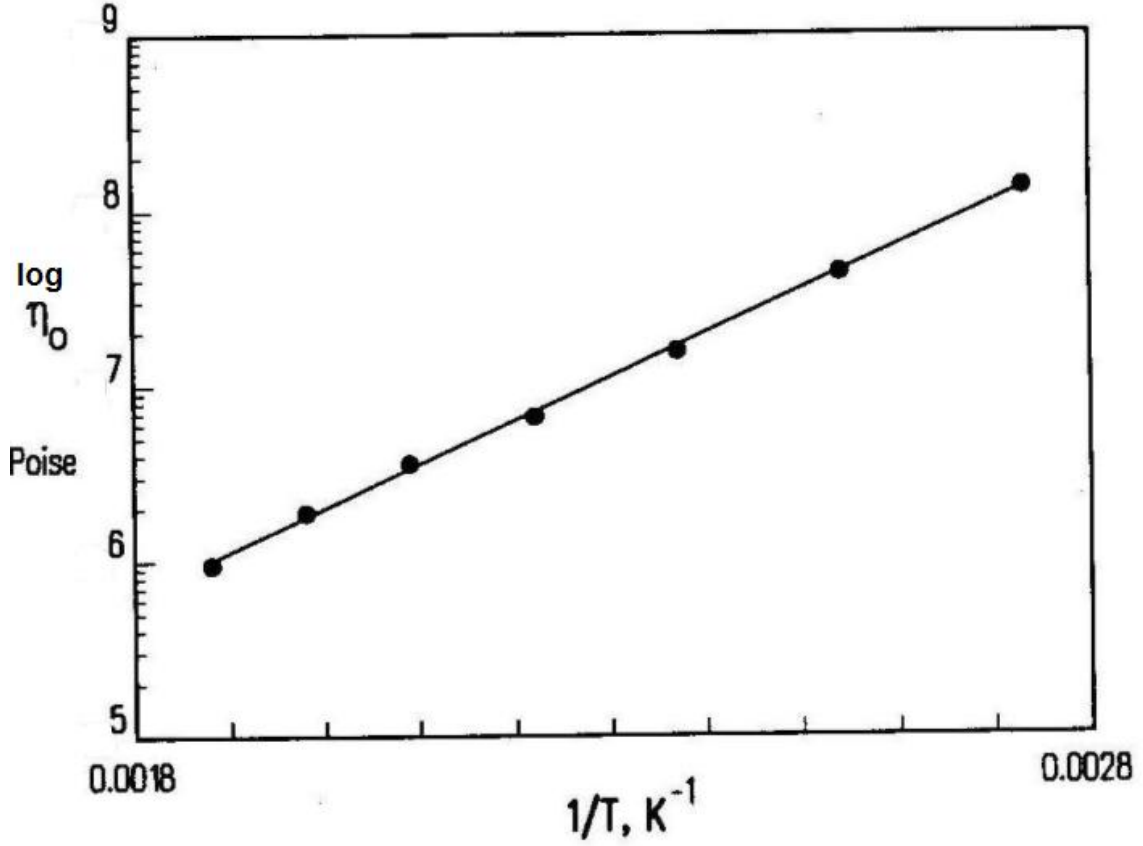
3.6 Akış Özelliklerinin Sıcaklıkla Olan Bağıntısı

Mühendislik uygulamalarının bir kısmı akış özelliklerinin sıcaklıkla olan bağlantısıyla doğrudan ilgilidir. Sıfır kesme viskozitesinin sıcaklıkla olan bağlantısı aşağıdaki gibidir:

$$\eta_0(T) = Ae^{E/RT} \quad (3.12)$$

Bu denklemde E viskoz akış için aktivasyon enerjisidir. Şekil 3.6'daki η_0 'lar (3.12) eşitliğine göre Şekil 3.7'de çizilmiştir.

* Polydispersity Index



Şekil 3.7 0 Kesme viskozitesinde sıcaklıkla olan değişim verileri. (3.12) eşitliğine göre Düzenlenmiş Kesit Denklemi modelinden elde edilen veriler olan Şekil 3.4'e uygunluk göstermektedir.

Eğim (3.12) eşitliğinin türevinin alınmasıyla $A \frac{E}{R} e^{E/RT}$ olarak bulunur. Burada $E = 11.4$ kcal/mol'dür. Böylece (3.12) ve (3.10)'un birleştirilmesi durumunda kesme hızı ve viskozitenin sıcaklığa bağlı değişimi bu datalar için yakınsak bir şekilde tanımlanmıştır.

Sıcaklık eriyik viskozitesini kontrol etmek için efektif bir parametredir. Ancak ısıyı malzemeye vermek ve almak birer maliyettir. Bununla birlikte verilen aşırı ısı polimerin bozunumuna sebep verir.

William-Landell-Ferry (WLF) eşitliği polimerlerin sıcaklığa bağlı birçok mekanik özelliğini açıklamak için faydalı bir modeldir. Sıfır kesme viskozitesinde;

$$\log_{10} \frac{\eta_0(T)}{\eta_0(T^*)} = \frac{-C_1(T - T^*)}{C_2 + (T - T^*)} \quad (3.13)$$

Bu eşitlikte T^* bir referans sıcaklığıdır. Eğer referans sıcaklığı camsı geçiş sıcaklığı olarak

seçilirse $T^* = T_g$ üniversal sabitler $C_1 = 17.44$ $C_2 = 51.6^{**}$ değerleri kabul edildiğinde birçok polimer için uyumlu sonuçlar verecektir. WLF denklemi en çok bu formda kullanışlıdır. Çünkü T_g değeri çizelge haline getirilebilir bir veridir. Polimer tipine özgü olarak sabit katsayılar kullanıldığında daha iyi sonuçlar elde edilebilir. $T^* = T_g + (50 \pm 5)C^o$ olarak düzenlendiğinde $C_1 = 8.86$ ve $C_2 = 101.6$ katsayıları seçilerek eşitlik spesifik verilere uygunluk gösterecek şekilde düzenlenebilir. Hangi sabitler kullanılırsa kullanılsın WLF denkleminin kullanım alanı $T_g < T < T_g + 100$ C° 'dir. WLF eşitliği (3.13) ile aynı zamanda (3.10) denklemiyle birleşik olarak kullanılabilir. Ancak $\eta_0 - T$ datalarında (3.12) eşitliği (3.13)'ten daha doğru sonuçlar vermektedir.

Düzenlenmiş kesit denkleminde viskozitenin sıcaklığa olan bağımlılığı sınırlı kesme gerili aralığında hesaplanabilmektedir. Diğer eşitliklerde ise bütün sabitlerin sıcaklıkla olan bağlantısı bilinmelidir. Diğer bir yaklaşım ise bütün modellerden bağımsız olarak akış eğrileri için bir denklem kullanır. Viskozite, sıcaklık ve kesme gerilimi (veya kesme hızının) bir fonksiyonu olduğu için;

$$\eta = f(\tau, T) \text{ veya } \eta = f(\bar{\gamma}, T) \quad (3.14)$$

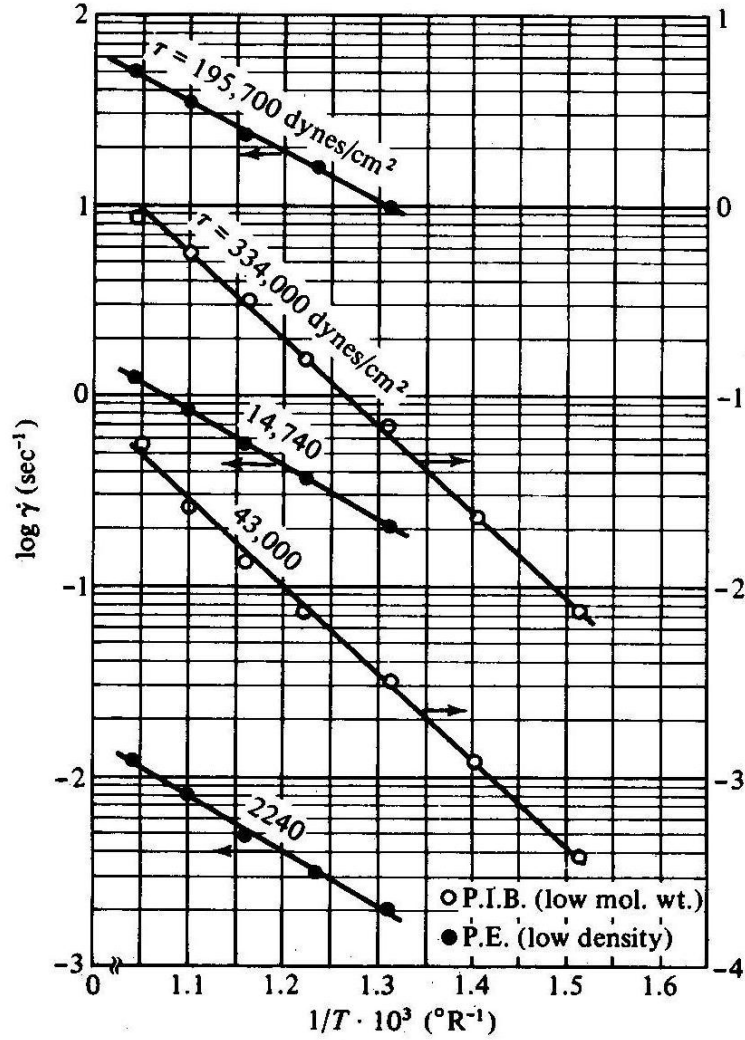
(3.12) denkleminde paralel olarak bu fonksiyonlara aşağıdaki denklemlerle yaklaşım yapılmıştır:

$$\eta = B \exp\left(\frac{E_\tau}{RT}\right) \text{ sabit } \tau \text{ için} \quad (3.15a)$$

$$\eta = C \exp\left(\frac{E_\gamma}{RT}\right) \quad \text{sabit } \bar{\gamma} \text{ için} \quad (3.15b)$$

Bu denklemlerde E_τ sabit kesme geriliminde aktivasyon enerjisi E_γ sabit kesme hızında aktivasyon enerjisidir. Şekil 3.8 $\log \bar{\gamma} - 1/t$ 'nin sabit τ ve şekil 3.4'te belirtilen malzemeler için grafiği verilmiştir. $\bar{\gamma} = \tau / \eta$ olduğu sürece bu doğruların eğimi $-E_\tau / 2.308R$ 'dir.

** Sıcaklık Kelvin° olarak kabul edilmesi durumunda kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Sabit kesme geriliminde kesme hızının sıcaklıkla olan etkisi, (Rosen S., 1993)
Moleküler Ağırlığın Akış Özelliklerine Olan Etkisi

Polimerlerin moleküler ağırlıklarının erişik veya çözelti viskozitelerine büyük etkisi olduğu bilinmektedir. Deneyler göstermektedir ki:

$$\eta_o \propto \bar{M}_w^1 \text{ için } \bar{M}_w < \bar{M}_{wc} \quad (3.16a)$$

$$\eta_o \propto \bar{M}_w^{3.4} \text{ için } \bar{M}_w < \bar{M}_{wc} \quad (3.16b)$$

Bu eşitliklerde \bar{M}_{wc} kritik ortalama moleküler ağırlıktır. Moleküler bağlanmaların molekül içi kayma hızlarını yönlendirdiği nokta olarak tanımlanır. Bu değer sıcaklık ve polimer tipine bağlıdır. Ancak piyasada bulunan polimer ürünlerinin çoğunun moleküler ağırlığı bu değerden yüksektir. (3.16) eşitlikleri nicel olarak bütün polimerlerde doğrudur. Düşük moleküler ağırlıklı bir çözücü katıldığı durumda bahsedilen moleküler bağları kesmesi ve \bar{M}_{wc} 'yi yükseltmesi kaçınılmazdır. Ancak kullanılan çözücünün η değeri bilindiği takdirde (3.16b)

ifadesi ile çözelti hakkında bir bilgi elde edilebilir. %25 ve üstü polimer çözeltilerinde dahi viskoziteler $\bar{M}_w^{3.4}$ ile orantılıdır.

3.7 Basıncın Viskoziteye Olan Etkisi

Serbest hacim ve moleküler kayma azaldığı için bütün akışkanlarda basınç arttıkça viskozite de artmaktadır. Polimer eriğikleri gibi sıkıştırılması zor akışkanlarda bu etki çok yüksek basınç değerlerinde hissedilebilir mertebelere ulaşır.* Ancak bu basınçlara belirli proseslerde** ve bazı kapiler reometrelerde ulaşılabilir. Mevcut veriler (3.17) denklemiyle sağlanabilir:

$$\eta_0(P) = \alpha e^{\beta P} \quad (3.17)$$

Burada α ve β sabit sayılardır. (3.17) denklemi (3.12) denklemi ile birleştirildiği zaman sıfır kesme viskozitesinde sıcaklık ve basınca bağlı bir ifade çıkar.

$$\eta_0(T, P) = D \exp\left\{\frac{E}{RT} + \beta P\right\} \quad (3.18)$$

Bu denklemde (3.17) denklemi ile (3.12) denklemi birleştirilerek viskozite ifadesi $\bar{\gamma}$, T ve P'nin fonksiyonu olarak yazılabilir. Ancak basınç için deneysel veriler azdır.

Carley polimer eriğikleri hakkında çalışmaları sonucunda basınç etkisinin bir çok proseste belirtmelerinin ufak olduğu ifade etmektedir. Ancak çok yüksek basınç artışlarının T_g ve T_m değerlerinin artmasını sağlayarak viskozitenin arttığını ortaya çıkarmıştır.

3.8 Ahşap Polimer Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bu aşamada ahşap-polimer kompozitleri üretimi, analiz çalışmaları ve alternatif yöntemler üzerinde durmak önem teşkil etmektedir.

Balasuriya vd. tarafından yapılan çalışmalarda, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve ahşap talaşı kompozitlerinin mekanik özellikleri, matrisin akış özelliklerine ve proses tekniğine bağlı olarak incelenmiştir. Talaş dağılımı ve talaş-polimer ara yüzeyinin yapışması, çift vidalı ekstrüder ve mekanik karıştırma yöntemleri kullanılarak optimize edilmiş, çift vidalı ekstrüder ve orta erime akış indisine sahip YYPE (MMFI) kullanımının her durumda, mekanik karıştırma ve düşük erime akış indisli YYPE (LMFI) kullanımından daha iyi dağılım ve yapışma gösterdiği, yapılan mekanik testlerle belirlenmiştir.

* 100 atmosferin üzerindeki basınçta hissedilebilir seviyelerdedir.

** Ekstrüzyon ve enjeksiyon bu yüksek basınçlı proseslere örnek teşkil eder.

Kullanılan LMFI YYPE'nin erime akış indisi 190°C ve 2,16 kg'da 7 gr/10', MMFI YYPE'nin erime akış indisi ise 190°C ve 2,16 kg'da 0,15 gr/10' değerindedir. Kullanılan çam talaşının boyutları 420 mikron ve altındadır (40 mesh). Kullanılan çift vidalı ekstrüder, eş dönüş yönlü vidalara sahiptir ve çalışmada vida ve proses özellikleri detaylı olarak belirtilmiştir. Yapılan çekme, eğme, darbe testleri ve SEM analizlerine göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir: Çift vidalı ekstrüderde %70 talaş oranına kadar ahşap-YYPE kompozitleri üretilebilmekte, %50 talaş oranına kadar yüzeyler arası yapışma iyi sonuçlar vermektedir. Buna göre yapışma sırası ekstrüder MMFI > ekstrüder LMFI > karıştırma MMFI > karıştırma LMFI olarak tayin edilmiştir. Yapılan mekanik testler de bu sonucu doğrulamakta, fakat bağlayıcı kullanımının daha iyi sonuçlar vereceği de belirtilmektedir (Balasuriya P.W,2001).

McHenry ve Stachurski tarafından yapılan çalışmalarda okaliptüs fiberi, naylon ve polipropilen matrisine katılmış, bağlayıcı kullanılmayan durum için fiber oranlarının çekme testi sonuçlarını nasıl etkilediği irdelenmiştir. Kullanılan fiber oranları ağırlıkça %0, %2.5, %5.0, %7.5 ve %10'dur. Eriyikler mekanik karıştırma ile hazırlanmış, sıcak presleme ile üretilen plaklar, test numunelerini elde etmek için kesilmiştir. Yapılan SEM analizlerinde, naylon ve okaliptüsün gayet iyi karıştığı, maksimum çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin ise %2.5 oranında elde edildiği belirtilmektedir. Bu değerlerin üzerindeki oranlarda, mekanik dayanım önemli ölçüde azalmaktadır. Polipropilen ve okaliptüs yüzeyleri, bağlayıcı kullanılmadığı durumlarda yapışmamakta, bu da fiber oranı arttıkça mekanik dayanımın azalmasına yol açmaktadır. Çalışmanın sonucunda, kurutma işlemi için akışkan yatak kullanılması ve bağlayıcı kullanımı önerilmiştir. (McHenry E, 2003).

Li ve Wolcott tarafından yapılan çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) malzemenin akağaç ve çam talaşları ile farklı oranlardaki karışımlarının viskozite ve akış özelliklerine olan etkisi irdelenmiştir. Kullanılan YYPE, düşük erime akış indisli olup erime akış indisi 190°C ve 2,16 kg'da 0,1 gr/10' değerindedir. Çalışılan talaş oranları %40 ve %60'tır. 40 mesh ölçütündeki talaşlar, başlangıçta %6 neme sahip olup, bir gece boyunca 95°C'lik etüvde kurumaya bırakılmıştır. Kullanılan karıştırma ünitesi çift vidalı, karşıt dönüşlü konik bir ekstrüderdir. Bu çalışmada kapiler reometre ile talaş-plastik kompozit eriyiklerinin reolojisi çalışılmıştır. Mooney kayma analizi ile kayma akışının doğası, viskoz akış ile cidar kaymaları arasındaki dağılım ve etkileşimleri incelenmiştir. Kompozit içeriğindeki talaş oranının doğal olarak cidar kayma hızlarını ve viskoziteyi etkilediği belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde, kalıp duvarlarındaki kesme kuvvetlerinin, ağaç tipine bağlı olduğu, iç kayma kuvvetlerinin ise talaş tipinden çok talaş oranına bağlı olduğu

belirlenmiştir. Elde edilecek kompozitin yüzey özellikleri ve mekanik özellikleri, talaş oranına ek olarak talaş tipine de bağlıdır (Li T.Q., Wolcott M.P, 2004).

Maleik anhidrit bağlayıcılar, sahip oldukları fonksiyonel yüzeyler sebebiyle dolgu ve fiber içeren kompozitleri güçlendirmek için sıkça kullanılmaktadır. Keener et al. tarafından yapılan çalışmada keten ve jüt katılarak güçlendirilen polipropilen malzemenin en iyi performansı, katılan maleik anhidrit miktarı ve molekül ağırlığının uygun oranlarında tespit edilmiştir. %30 organik fiber katılarak yapılan çalışmada, uygun bağlayıcı seçimi ile eğme ve çekme dayanımlarının baz malzemeye göre %60 arttığı gözlenmiştir. Polietilen taşıyıcılı kompozitlerde ise %3 maleik anhidrit/PE bağlayıcı kullanılarak çekme dayanımı iki katına, çentiksiz darbe dayanımı ise üç katına çıkmaktadır (Keener T.J, 2004).

Daha iyi malzeme karışımları ve daha yüksek ürün çıktısını hedefleyen kalıp kafa, vida ve ekstrüder tasarımları hakkında yapılan çalışmalara göz attığımızda;

Chris Rauwendaal yeni bariyer vida tasarımları hakkında çalışmalar yürütmüştür. Klasik bariyerlerin belli limitte geri basınca sahip oldukları ve vidalardaki katı kesit geribesleme olayının hassasiyeti bilinmektedir. Bu durumlar dolayısıyla proses stabilitesi bozulmaktadır. Chris Rauwendaal daha doğru ve optimum bir bariyer tasarımının erime ve katılma özelliklerini de dikkate alarak nasıl olması gerektiği hakkında çalışmıştır. Farklı yükseklikteki iki ağızlı vida formasyonu ile katıyı iten erimiş akışkanı da iki vida arasında sürükleyen bir bariyer vida tasarımı yapılmıştır. Ayrıca çok küçük açılı, yükseklikleri farklı kanatlara sahip (multiflighted) olan vida optimizasyonu da geliştirilmiştir. Bu bariyerler yarıklı ve farklı boylarda tasarlanabilmektedir. Optimizasyondan önce kwh/kg değerleri 0,26 değerlerinde iken, 0,18-0,20 seviyelerine düşmektedir. (Rauwendaal C., 2005)

Roos vd. nin çift vidalı, eş dönüşlü ekstrüderler için geliştirilen yeni tasarımlarında, vida kesit alanı ve serbest hacmi artırılmıştır. Yeni tasarım vidanın kendini temizleme özelliği mevcut olup, vida daki herbir segmentin tasarımı farklı olarak yapılmıştır. Temelde serbest hacim bırakma stratejisi öngörülmüştür. Bu durum tasarımın kalitesini düşürmekle birlikte, çıktı miktarını arttırmaktadır. (Roos E., 2004)

Gordon vd. “upper bound” modelleme ile optimal bir kalıp kafa tasarımı için çalışmışlardır. Bu modelleme özellikle çift kesitli kafalarda başarılı analizler yapabilmektedir. Ekstrüzyon prosesindeki akışın tanımlanması bu modelleme ile daha gerçekçi olarak yapılabilmektedir. Sonlu elemanlar metodu modelin çözüm metodu olarak kullanılmıştır. Böylece yataklama uzunlukları da belirlenebilmiştir.(Gordon W., 2007)

Santos, “sıcak tel” ve “lazer flash” teknikleri ile daimi olmayan rejimde ekstrüderde polimer

akışı sırasında polimerin ısısal karakteristikleri, ısınma ısısı, ısısal difüzyon hızı, ısı akışı, ısısal iletkenlik gibi değerlerini belirlemişlerdir. Özellikle ısısal difüzyon hızını belirlemek malzemenin yoğunluğu, iletkenliği ve ısınma ısısını tek başına temsil ettiğinden malzemenin ısısal karakteristiği belirlenebilir.

Ahşap – plastik malzeme karışımları için de sözü edilen özellikleri daimi olmayan sistemde ölçmek karışımın ısısal özelliklerini ortaya çıkarması açısından önem taşımaktadır. (Santos W., 2007).

Projede araştırmacıların da düşüncesinde yer aldığı gibi Covas vd., çalışmalarında akıllı “moleküler yapı manipülasyonu” gerçekleştirmişlerdir. Polimer karışımları hazırlama ve işlemede mevcut reolojik ölçüm metodlarından daha etkin bir yoldur. Mevcut online reolojik ölçümler genellikle ekstrüderleme işleminin sonunda yapılırlar. Fiziko kimyasal davranışlar malzemenin son karakteristiklerini belirler. Bu çalışmada, malzemenin reolojik özelliklerini ekstrüderdeki proses sırasında gözlemleyebilen bir sistem geliştirilmiştir. Malzemenin morfolojik gelişimini ve reaksiyon kinetiğini izleyebilmek böylece mümkün olmuştur. Vidaların L/D=9,15,20 gibi çeşitli segmentlerine yerleştirilen online reometreler ile malzeme reolojik özellikleri ürün eldesinden önce tesbit edilebilmektedir. (Covas J., 2007).

Previdi vd. tek vidalı bir ekstrüderde gerçek zamanlı bir kontrol için bir geribesleme kontrol sisteminin tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Bu geri beslenen malzemenin sıcaklığını ve basıncını kontrol eden gerçek zamanlı bir regülasyondur. Sistem değişen operasyonel durumları hızlı şekilde hesaba katabilen ve malzemenin türü ve kalitesindeki değişimleri etkili şekilde reddeden bir yapıya sahiptir. (Previdi F, 2006)

J. Stasiek PP ekstrüzyonu için çift vidalı bir karışım ekstrüderini optimize etmiştir. Bir çok tasarımı içeren çalışmada örneğin; 3 gaz alma ve 2 karıştırma segmenti olan modifiye edilmiş bir vida tasarımına sahip, gaz alma sistemli eş dönüşlü çift vidalı bir ekstrüder sistemi geliştirilmiştir. Mevcut eşdönüşlü ekstrüder tasarımları, yüksek kesme gerilmesinden dolayı, mevcut termoplastiğin yapısının değişmesine neden olabilmektedir. Bu da polimer degradasyonu anlamına gelmektedir. Plastisite bölgede doğan yüksek ısıl ve mekanik yüklemeler de bu durumun sebebidir. Eş dönüşlü çift vidalı ekstrüderlerle özellikle yeraltı drenaj ve atık su uygulamalarındaki plastik boruların üretiminde PP'lerin mineral modifikasyonları ile kullanıldığında mükemmel teknik ve ekonomik avantajlar sunmaktadır. (Stasiek J., 2004)

Huang vd. Ekstrüzyon prosesinde kafa tasarımı üzerine çalışmışlar ve analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Profili oluşturan çıkış kafasının tasarımı hesapsal akışkanlar dinamiği ile yapılmıştır. Eriyik akışı bir boru için modellenmiş ve eriyiğin akış sınırları belirlenmiştir.

Bu tür proseslerde malzemenin kafanın iyi olmayan tasarımından dolayı ısıl olarak stabil olmama ihtimali bulunmaktadır. Doğru akış yönlendirilmesiyle, stabilite sağlanabilir. Bunu sağlayan tasarım ilkeleri 3D olarak çalışmada verilmektedir. Spider boru kafası ve sıkıştırma bölgesinin modellenmesi yapılmıştır. Kafanın tümündeki kesitlerdeki malzeme akış davranışı ve akış elyaflarının birbiri üzerine binerek ilerleyişleri FIDAP sonlu eleman paket programı ile modellenmiştir. Ahşap kompozitlere uygun kafa tasarımı için boru tipi profillerde bu analiz metodu bir örnek teşkil etmektedir. (Huang Y, 2000).

Smith vd. çalışmalarında, polimer malzemelerin, lineer olmayan sistemlerde akışının analitik tasarım duyarlılığını belirlemek adına genel bir altyapı hazırlamışlardır. Özel vurgu olarak sınır şartları ve tasarım kriterleri değişkenler olarak alınmıştır. Hele-shaw metodu ve viskoz Newtonyen olmayan akışın ince kanallarda gerçekleşmesi modellenmiştir. Buna göre polimer levhaların üretimi için nümerik bir optimizasyon yapılmıştır. Basınç düşüşü ve indirgenmiş hızlar kafa çıkışında hesaplanmıştır. (Smith D., 1998)

Yazarlar çalışmalarının ikinci kısmında ise lineer olmayan sistemler için duyarlılık analizi ile tasarım kriterlerini çıkarmışlardır. Kafa tasarım metodolojisi, malzeme direnç zamanının fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Çıkış direnç zamanlarının, çıkış hızlarının değişimi ve bunların minimizasyonu polimer levha ekstrüzyon kafalarının tasarımı için optimum koşullar olarak belirlenmiştir. (Smith D., 1998)

Kumar vd. yaptıkları çalışmada, bir laboratuvar ekstrüderi üzerinde “görüntü prosesleme” (image processing) direnç zamanı dağılımının ekstrüzyon prosesinde belirlenmesi için metod geliştirmişlerdir. Renk parametreleri üzerinde ürünlerdeki erimemiş fazların konsantrasyonunu kalorimetre yerine “görüntü prosesleme” metodu ile belirlemişlerdir. Kovan sıcaklığı ve vida hızının etkisi de bu yolla belirlenmektedir. Uygulama, özellikle biyolojik bileşenlerin ve gıda endüstrisinde karışmamış fazları ayırmak açısından çok iyi bir kontrol sistemi sunmaktadır. Sistemin sözü edilen noktalara duyarlı olan ahşap-polimer kompozit karışımlarında kullanılacak bir yapıya sahip olduğu düşünülmektedir. Sistem yapılacak deney ekstrüderi üzerine kurulabilir. (Kumar A., 2006)

3.8.1 Lignoselülozik Kompozit Malzemeler ve Özellikleri

Selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan bitkisel kütlelere lignoselülozik malzeme adı verilir. Karbonhidrat polimerler olan selüloz ve hemiselüloz hidrojen ve kovalent bağlarla lignine bağlıdır. Kompozit malzemesi olarak kullanılacak lignoselülozik malzemeler atık kağıtları bitkisel artıklar, bitki kabukları, odun talaşı artıkları olarak sıralanabilir.

Yapılan araştırmalar ve yaptığımız pratik deneyler sonucunda ahşabın tanecik boyutunun 400

μm 'nin altında olmasının homojen karışım üretimi, talaşta ulaşılabilecek minimum nem miktarının sağlanmasına yardımcı olması, eriğik karışımının viskozitesini azaltma gibi pozitif etkileri olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sebeple piyasadan karışık tane boyutlu lignoselülözük malzemelerin hızlı ve verimli bir şekilde ayrıştırılması sebebiyle otomatik sarsak elek makinesi tasarımı yapılmıştır. (Şekil 3.9) Bu cihazda yapılan eleme sonuçlarına



Şekil 3.9 Sarsak Elek Makinesi

göre karışık tane boyutlarında piyasadan temin edilen çam talaşının (sarı talaş olarak da ifade edilmektedir.) ağırlıkça %6.3 oranında 1200-800 μm , %33.4 oranında 800-400 μm , %60.3 oranında 400 μm 'un altında talaş bulunmaktadır. Bu durumda herhangi bir öğütme işlemi yapılmaksızın temiz edilen çam talaşının %60.3'ü kullanılabilir durumdadır. Piyasada kahverengi talaş veya MDF talaşı olarak adlandırılan ve çam talaşı gibi temin edilmesi kolay

olan kayın talaşının eleme sonuçlarına göre ağırlıkça %37.3 oranın 1200-800 µm, %52 oranında 800-400 µm, %10.9 oranında 400 µm 'un altında talaş bulunmaktadır. Sonuç olarak elde edilen %10.9'luk miktar çok düşük olup bu tip talaşın kullanılması durumunda sirkülasyonlu bir talaş öğütme sistemi tasarlanması söz konusudur. Mobilya ve yapı endüstrisinde kullanılması sebebiyle piyasada temin edilebilirliğin sürekli olması bu iki tip ahşap talaşının önem kazanmasını sağlar.

Uluslararası çalışmalara bakıldığında kullanılacak lignoselülozik malzemelerde düşük reçine oranı, düşük reçine yapışkanlığı, kolay temin edilebilirlik, düşük tane sertliği ve mukavemeti ve düşük hücrel nem özellikleri aranmaktadır. Bu özelliklerin aranmasından ötürü uluslararası çalışmalarda çam ve kayın talaşının yanı sıra ladin, ceviz, aylanyıldız ve doğada bolca bulunan kurumuş çimen sapları da kompozit malzemesi olarak denenmiş ve uygulamalarda yer almıştır.

3.8.2 Hammadde Formülasyonları

Karmarlar vd. araştırmalarında belirttiği gibi Maleik Anhidrit iyileştirilmiş poliolefinler (MAPO) hidrofilik ahşap lifleri ve hidrofobik polipropilen arasındaki iç yüzeysel adezyonu iyileştirmesi sebebiyle en çok kullanılan katkı malzemesi olma özelliğini taşır. Araştırma üretimleri dışında endüstriyel anlamda ahşap polimer kompozit üretimi yapan firmalara hitap eden tek paket ahşap polimer katkı maddesi çözümleri kimyasal üretim firmaları tarafından piyasaya sürülmüştür. Polimer malzeme reçetelerinde kullanılan maleik sterat kaydırıcılar MAPO ile sinerjik etki yaratmadıkları için bu ürünler ahşap polimer kompozitlerinde kullanılamamaktadır. Ferro firması SXT 3100 adı altında maleik sterat olmayan, bünyesinde ametal kaydırıcılar barındıran ürününü piyasaya sürmüştür. Yine Chemtura isimli firma Polybond bağlayıcı ürünlerini ahşap polimer kompozitleri için tek paket çözüm haline getirerek piyasaya sürmüştür. Bunların dışında Clariant ve Honeywell firmalarının ahşap polimer kompozitleri için özel kimyasal katkı maddeleri bulunmaktadır.

Hangi marka veya ürünün üretim genel performansına ne derece etki edeceği bu konuya paralel bir çalışma olarak yapılabilir. Ancak tez kapsamı boyunca kullanılabilirliği denenmiş ve net formülleri verilecek reçeteler üzerinde durulacaktır.

Literatürde bulunan formülasyonlardan birincisi (ağırlık olarak) %42 ahşap talaşı, %49 Plastik, %3 Katkı maddesi, %3 Termoset malzeme ve %3 bağlayıcıdan oluşmaktadır. Bu tip bir malzeme formülasyonu kullanılan talk ve malzeme formülasyonu sebebiyle esnek olmayan, yüzey sertlik ve dayanımını yüksek olan endüstri ürünlerinin üretiminde kullanılabilir.

İkinci reçete %22 PP, %68 ahşap talaşı, %3 Licoment AR504, %4 Licolup H12/Licoment ET 141 ve %3 Elastomer'den oluşmaktadır. Bu reçete Polivinil Klorür (PVC) ağır profil üretiminde kullanılan molekül içi kaydırıcılar barındırmaktadır. Ancak PVC formülasyonlarının çoğunda bulunan ve ürüne beyazlık ve parlak görünüm kazandıran aynı zamanda doğaya serbest olarak bırakıldığında çevreye ağır metaller olan kurşun ve titanyum bulunmamaktadır. Bu sebeple mekanik özellikleri yeterince iyi ve nem olan direnci yüksek olduğu takdirde bu malzeme reçetesi bahçe mobilyası, kapı pencere profillerinin iç kaplama malzemesi olarak kullanılabilir nitelikte olan bir formüasyondur.

Üçüncü reçete %40-30 PE, %3 Maleik Anhidrit Polietilen (MAPE), %1.5 yağlayıcı, %55.5- %65.5 ahşap talaşından oluşmaktadır. Ahşap polimer kompozit denemelerinde sıklıkla kullanılan bir formüasyondur. Bu reçetenin düşük PE, yüksek ahşap tozlu opsiyonu diğerine göre daha sert ve mukavim olmakla beraber PE'den kaynaklanan esneklik özelliği azalma gösterir. Kullanılan reçete elemanlarının maliyet ve bulunabilirliği açısından en ekonomik reçetelerden biridir.

İncelenen dördüncü reçete %40-%30 Polipropilen (PP) Solvay HB 9200 (izotonik PPH), %3 MAPP CP Honeywell A-C 950 P, %1.5 ZnSt/EBS, %55.5-65.5 Odun talaşından oluşmaktadır. Bu formülasyonda kullanılan katkı malzemesi MAPP ve PP Solvay Türkiye'de temin edilmesi zor olması sebebiyle performansı hakkında deneysel veri ve yorum yapmak güçtür.

4. AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCU TASARIMI

Önceki bölümlerde değinildiği gibi hidrofilik yapıdaki lignoselülzik malzeme bulundurduğu moleküler veya serbest halindeki suyu ahşap polimer kompozitleri üretimi esnasında meydana gelen viskoz sürtünme enerjisi sonucunda ekstrüzyon ve enjeksiyon gibi üretim tekniklerinde serbest bırakarak basınçlı kızgın buhar salınımı yapmaktadır. Artan basınç değerleri akışın viskozitesini daha da arttırarak önemli akış problemleri ve mekanik önlemler gerektiren durumlar meydana getirmektedir. Kullanılacak olan lignoselülözük malzemenin bünyesindeki nem miktarı minimize edilmelidir. Bu sebeple verimli bir kurutma ve iletim sistemi olarak endüstride yer alan akışkan yataklı kurutma sistemlerine entegre enfraruj ısıtma sistemi eklenerek yüksek performanslı bir toz kurutma makinesi tasarımı yapılması hedeflenmiştir. Bu bölümde bu tasarımın aşamaları anlatılırken aynı zaman akışkan yatak tasarımı ve teorik temelleri üzerinde durulmuştur.

4.1 Akışkan içindeki tanecikli katıların akış uygulamaları

Birçok endüstriyel uygulamada akışkan belirli bir katı fazın içinden akıtılır. Süzme işlemi, jeneratör ve çakıl taşlı ısıtıcılardaki ısı transferi, kalıplar halinde kütle transferi, katı katalizörlü kimyasal reaksiyonlar, yağın bir hazneye doğru akışı bu duruma örnek teşkil edebilecek uygulamalardır. Sarılmış distilasyon hazneleri gibi durumlarda katı faz durağandır. Çakıl taşlı ısıtıcı ve bazı katalitik reaktörlerde olduğu gibi bazı durumlarda yatak gaz akışına karşı hareket eder. Bazı durumlarda ise akışkan hızı akışkandan katı taneciklere transfer olan momentumun yerçekimi kuvvetini dengeleyecek büyüklükte olur. Bu durumda yatak akışkan gibi davranır. Diğer uygulamalarda akışkan faz katı fazı taşır. (Pnömatik Taşıma)

Akışkandan katı taneciklere transfer olan momentum oranı ve bu nedenle akışkanın yataktaki basıncının düşmesi, akışın dahil olduğu fiziksel mekanizmalarla ilişkilidir. Kapalı bir yataktaki akış yüzeyi bir çok paralel ve içten bağlı kanallardan oluşmuştur. Kanallar aynı ebatlarda olmayabilir ancak dar ve hızlı akışlıdır. Bu nedenle tanecikler, dönen, burkulan yada eğilen yönlerde tıkanma yığılma eğilimi gösterebilir. Kanalların ara yüzleri yada toplam uzunlukları aynı olmayabilir. Bu kanallardan akış meydana getirirken hızlanıp yavaşlama hareketleriyle tekrarlanarak kinetik enerji kayıplarını meydana getirirler. Bununla birlikte partiküllerin pürüzlü yüzeyleri sürüklenme ve yüzey sürtünme kayıplarını meydana getirir. (Foust A., 1980)

Büyük açık kanallardaki akış daha yüksek hızda olacaktır. (Özellikle daralan kanallara oranla) Çünkü her adımda yatak boyundaki birim basınç azalışı toplamda önemsenemeyecek boyutlarda olup sabit basınçta akış gibi kabul edilebilecek mertebededir. Bu nedenle laminar

akıştan, kanallı türbülanslı akışa geçiş açık geçişte çok küçük hacimlerde ardından sınırlı kanallarda ortaya çıkacaktır. Bundan başka iki kanalın geçirgenliği türbülanslı akış hızlarının eşitsizliğinden dolayı artış gösterecektir. Akışkanlaştırılmış yataklardaki akış, kapalı yataklardaki akışa çok benzer, akış kanallarının daha açık ve içten bağlı olarak devamlı olması kabul edilir. Yatağın yükselen akışkana ya da katı fazda gibi davranan akışkana düştüğü bazı çalışmalarda, mekanizma daha çok üst kısımdaki partiküllerin sıvı içine oturmasını engeller. Akışkanlardan partiküllere transfer olan momentum, sürüklenen formda ve kinetik enerji kaybından doğar.

$$(\tau_{g_c})_{\text{Toplam}} = (\tau_{g_c})_{\text{YüzeySürtünmesi}} + (\tau_{g_c})_{\text{KE}} \quad (4.1)$$

Düşük hızlarda, küçük kanallardaki akış durumunda, kinetik enerji kayıpları sürtünme kayıplarına göre düşüktür. Fakat yüksek hızlarda büyük kanallarda akış veya akışkan yataklı kanallarda akış durumunda kinetik enerji kayıpları sürüklenme kayıplarını gölgede bırakacak seviyededir. Ancak keskin olmayacaktır. Çünkü geniş aralıktaki paralel kanallar farklı akış koşullarına müsaade edecektir.

4.2 Sabit Yataklarda akış

Akışkanlar poros katılar veya sabit yataklar içerisinde akmaya zorlanabilmektedir. Bu konu ile ilgili toprağın neminin alınması, adsorpsiyonla iyon değişimi gibi çeşitli örnekler verilebilir. Bu uygulamalarda sürüklenme kayıpları kanallardaki sürtünme kaybıyla ilişkilendirilebilir.

$$f = \frac{2(-\Delta P)_f g_c D}{V^{-2} \rho L} = \phi(N_{RE}) = \phi\left(\frac{D\bar{V}\rho}{\mu}\right) \quad (4.2)$$

Burada $-\Delta P_f$: Sürtünmeye bağlı basınç kaybı

$$f = \frac{8(T_y g_c)_1}{\bar{V}^2 \rho} \quad (4.3)$$

Dairesel olmayan kanallar için

$$D_{\text{eq}} = \frac{4S}{b} \quad (4.4)$$

Bu ifade eşdeğer çap ifadesini verir. Bu da kesit alanının 4 katının ıslak çevreye bölümü ile elde edilir.

$$\frac{4S \times c}{b \times c} = \frac{\text{Boşluğun toplam hacmi}}{\text{Partiküllerin toplam yüzey alanı}}$$

$$= \frac{4 \in NV_p}{(1 - \in)NA_p} \quad (4.5)$$

NV_p : Katı partiküllerin toplam hacmi

NA_p : Katı partiküllerin toplam yüzey alanı

$-\Delta P_f$ 'in sürtünmeye bağlı basınç kaybı olduğu durumda:

$$f = \frac{8(\tau_y g_c)}{v^{-2} \rho} \quad (4.6)$$

(4.2) denklemini (4.6)'yla birleştirdiğimizde

$$f = \frac{8(-\Delta P)_f g_c \in V_p}{\bar{V}^2 \rho L(1 - \in)A_p} = \phi \left(\frac{4 \in V_p \bar{V}_p}{(1 - \in)A_p \mu} \right) \quad (4.7)$$

Genellikle bu denklemi yüzeysel hız olarak ifade etmek yeterlidir. Bu durumda $V_s = \in \bar{V}$ ve V_s 'te yüzeysel hız olarak kabul edilir. Aynı zamanda V_p ve A_p ifadelerini partikül çapıyla değiştirmek te genellikle uygulanan bir durumdur. Bu durumda küre için;

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{\pi(D_{sp})^2}{\pi(D_{sp})^3 / 6}$$

$$D_{sp} = \frac{6}{A_p / V_p} \quad (4.8)$$

Düzgün olmayan bir partikül geometrisi için;

$$D_p = \frac{6}{\frac{A_p}{V_p}} = D_{sp} \quad (4.9)$$

(4.7) denklemini V_s ve D_p 'ye göre yazdığımızda;

$$f = \frac{8(-\Delta P)_f g_c \in^3 D_p}{6V_s^2 \rho L(1 - \in)} = \phi \left(\frac{4D_p V_s \rho}{6(1 - \in)\mu} \right) \quad (4.10)$$

Düşük akış hızı ve küçük partikül çapı durumunda başka bir deyişle düşük N_{RE} (laminer akışta) (4.10) Eşitliği toplam basınç düşüşünü ifade etmek için kullanılır. Çünkü bu koşullarda kinetik enerji kayıpları küçüktür. Bu koşullar altında sürüklenme katsayısı ve sürüklenme

faktörü Reynolds sayısı ile ters orantılıdır.

$$f = \frac{k_1}{N_{RE}} \quad (4.11)$$

Burada k_1 oran sabitidir. Bu eşitliği (4.10) eşitliği ile birleştirdiğimizde;

$$\frac{\epsilon^3 (-\Delta P)_f g_c D_p}{(1-\epsilon) V_s^2 \rho L} = k_2 \frac{(1-\epsilon)\mu}{D_s V_s \rho} \quad (4.12)$$

Yeniden şekillendirildiğinde;

$$\frac{(-\Delta P)_f g_c}{L} = k_2 \frac{(1-\epsilon)^2 \mu V_s}{\epsilon^3 D_p^2} \quad (4.13)$$

Burada k_1 ve k_2 sabitlerdir. (4.13) eşitliği Carman-Kozeny eşitliği olarak bilinir ve laminer akış esnasında sabit yatak üzerindeki basınç kaybını hesap etmek için kullanılır. İlk defa Kozeny tarafından türetilmiştir. Kozeny bu eşitliği eş değer uzunluk ve çapı değişkenlerini ele alarak iki paralel kılcal tüpteki akışı modellemek için kullanılmıştır. Bu model sabit yataklar göz önüne alınarak deneysel veriler ile tam olarak örtüştürüldüğünde k_1 değeri 64, k_2 değeri 180 olarak bulunmuştur. Eğer N_{RE} yüksek ise kinetik enerji kayıpları daha belirgin hale gelir. Bu durumda denklem;

$$\frac{-\Delta P_k}{\rho} = \frac{\bar{V}^2}{2g_c} \quad (4.14)$$

Eğer enerji kaybı sabit kanal uzunluğunda meydana geliyorsa;

$$\frac{(-\Delta P)_k g_c}{L} = \frac{n}{2} \rho \bar{V}^2 \quad (4.15)$$

Bu durumda n: Birim uzunlukta kinetik enerji kaybı, incelenen kanallardaki genişlemeler toplam çapa etki etmeseler dahi birden çok paralel kanal olarak incelenmelidirler. Bu kanalların çapları partikül çapları ile oranlandığı takdirde her partiküldeki genişleme öngörülür. $1/D_C$ 'yi n ile oranladığımızda;

$$\frac{(-\Delta P)_k g_c}{L} = \frac{k_3 \rho \bar{V}^2}{D_C} \quad (4.16)$$

Burada k_3 sabit bir değer ve D_C kanal çapıdır. Sürüklenmeye bağlı basınç düşüşüne bağlı olarak bu eşitlikteki terimleri D_p ve V_s cinsinden yazmak gereklidir.

$$\bar{V} = \frac{V_s}{\epsilon} D_p = \frac{6V_p}{A_p} \quad (4.17)$$

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{N_c L \pi D_c}{\frac{L \pi D^2}{4} (1 - \epsilon)} \quad (4.18)$$

(4.18) denkleminde sabit uzunlukta ve çapta kılcal tüplerden meydana geldiği varsayımı yapılmıştır. Bu durumda parçacık yüzey alanı A_p bu kılcal tüplerin duvar yüzeyine eşit olarak kabul edilmiştir.

$$\frac{N_c \pi D_c^2}{4} = \frac{\pi D^2}{4} \epsilon \quad (4.19a)$$

Böylece;

$$D^2 = \frac{N_c D_c^2}{\epsilon} \quad (4.19b)$$

(4.18) ve (4.19b) denklemleri birleştirildiğinde;

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{N_c D_c}{\frac{N_c D_c^2}{4 \epsilon} (1 - \epsilon)} = \frac{4 \epsilon}{D_c (1 - \epsilon)} = \frac{6}{D_p} \quad (4.20)$$

(4.20) eşitliği ve yüzeysel hız (V_s) (4.16) denkleminde yerine konulduğunda;

$$\frac{(-\Delta P)_k g_c}{L} = k_3 \frac{\frac{p V_s^2}{\epsilon^2}}{4 \epsilon D_p} = k_4 \frac{p V_s^2}{D_p} \cdot \frac{(1 - \epsilon)}{\epsilon^3} \quad (4.21)$$

Bu ilişki ilk olarak Burke ve Plummer tarafından sabit yatak içerisinde türbülanslı akıştaki basınç düşümünü ifade etmek için kullanılmıştır. (4.13)'deki sürüklenme kaybından ötürü meydana gelen basınç kaybı ve (4.21)'deki kinetik enerji kaybından doğan basınç kaybı

$$\frac{(-\Delta P) g_c}{L} = k_2 \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} \cdot \frac{\mu V_s}{D_p^2} + k_4 \frac{(1 - \epsilon)}{\epsilon^3} \frac{p V_s^2}{D_p} \quad (4.22)$$

Bu denklem yatak içerisinde akış hızının sabit olduğu varsayılarak düzenlenmiştir. Yüksek basınç düşümlü gaz akışında (4.22) denklemi diferansiyel formda yazılarak toplam yatak uzunluğunda entegre edilmelidir. İzotermal koşullarda bu eşitlik entegre edildiğinde (4.22) eşitliği;

$$\frac{(-\Delta P)g_c}{L} = k_2 \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \cdot \frac{\mu V_{sm}}{D_p^2} + k_4 \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \frac{GV_{sm}}{D_p} \quad (4.23)$$

(4.23) eşitliği düzenlenmiş sürtünme faktörü ve N_{Re} değerine göre yeniden yazıldığında;

$$\frac{(-\Delta P)g_c}{L} \frac{D_p^2}{\mu V_{sm}} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} = k_2 + k_4 \frac{N_{Re}}{(1-\epsilon)} \quad (4.24)$$

Burada eşitliğin sol tarafı poroz gözenekli formun göz önüne alınarak sürtünme faktörünün düzenlenmiş halidir. Bu ilişkiyi kullanarak k_2 ve k_4 katsayıları deneysel verilerden aşağıdaki denklemin $\frac{N_{Re}}{(1-\epsilon)}$ nin fonksiyonu olarak yazılmasıyla elde edilir.

(4.24) denklemi lineer olduğu için eğim k_4 olduğu zaman düz çizgiler halinde sonuçlar verir.

$\frac{N_{Re}}{(1-\epsilon)} = 0$ kesişiminde katsayı k_2 dir. Granül halindeki katıların yatak içerisinde akışında

$k_2 = 150$ ve $k_4 = 1.75$ değerini aldığını deneysel veriler göstermektedir. (4.24)'deki düzenlenmiş sürtünme faktörü toplam basınç düşüşünün sürüklenme faktörü ve yüzey sürtünmesine oranıdır. Genellikle sürtünme faktörü toplam basınç düşüşünün kinetik enerji kayıplarına oranıdır. Denklem (4.24) $\left(\frac{D_p V_{sm} g_m}{\mu} \right) / (1-\epsilon)$ ye bölünerek ve k_2 ve k_4

katsayılarının pratik değerleri yerine girildiğinde;

$$\frac{(-\Delta P)g_c}{L} \frac{D_p}{g V_{sm}^2} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} = 150 \frac{(1-\epsilon)}{N_{Re}} + 1.75 \quad (4.25)$$

(4.24) ve (4.25) denklemlerinin ikisi de boyutsuzdur. Bu nedenle herhangi tutarlı bir birim sistemi kullanılabilir. Tipik kullanılan birimler şunlardır:

$-\Delta P$: Yatak içerisinde basınç düşüşü (b_f / f_t^2)

L: Yatak uzunluğu f_t

D_p : Partikül çapı f_t

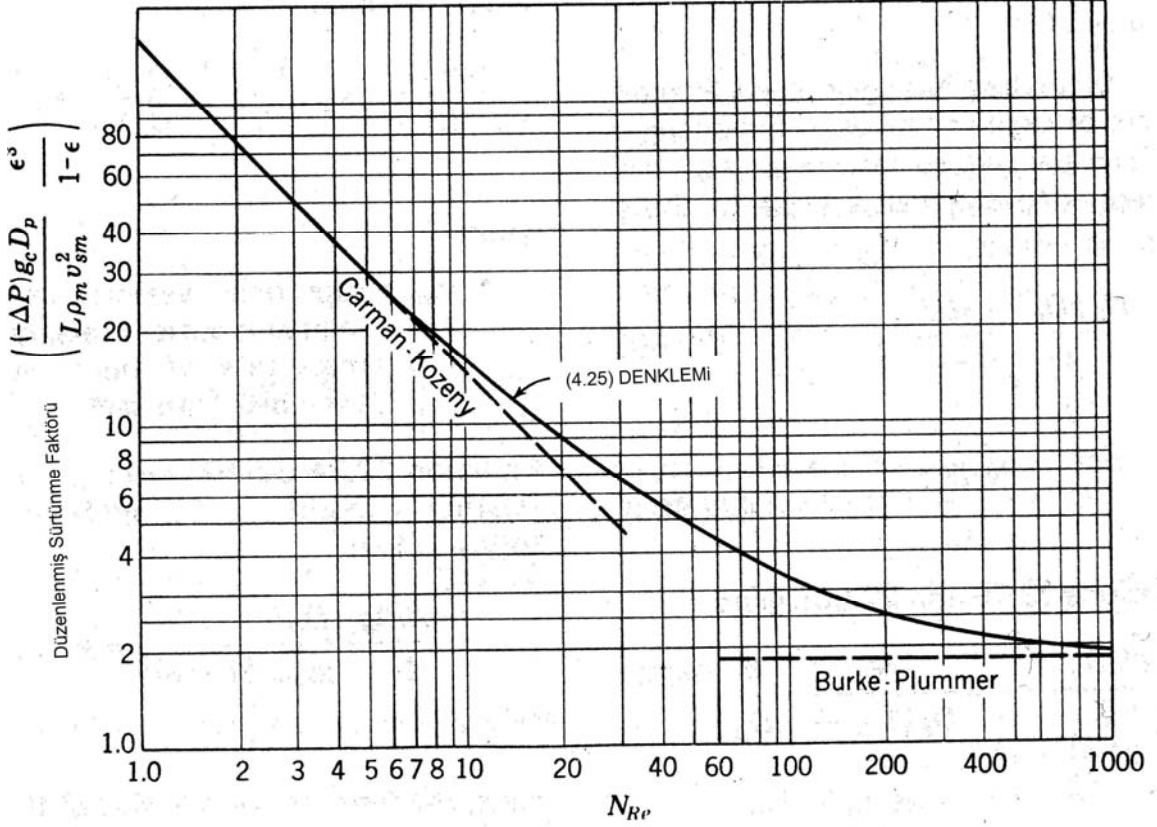
g : Akışkanın yoğunluğu (b_f / f_t^3)

V_{sm} : Giriş ve çıkışa göre ortalama yoğunluktaki akışkanın yüzeyel hızı

ϵ : Yatak gözenekliliği (porozite) boyutsuz

N_{Re} : Yüzeysel hız baz alınarak hesaplanan ortalama Reynolds sayısı (boyutsuz)

Sıvılar için V_{sm} değeri yüzey üzerindeki herhangi bir noktadan alınabilir. Ancak gazlarda meydana gelen yoğunluk varyasyonlarından ötürü yukarıda ifade edilen ortalama hız değeri kullanılmalıdır.



Şekil 4.1 Sabit yataklarda akış esnasında basınç düşüşü

Şekil 4.1'de deneysel verilerden elde edilen sayısal değerler $\left[\frac{-\Delta P}{L} \frac{g_c D_p}{\rho_m v_{sm}^2} \right] \left[\frac{\epsilon^3}{1-\epsilon} \right]$

denklemine göre $\frac{N_{Re}}{(1-\epsilon)}$ nin fonksiyonu olarak çizilmiştir. Grafiğin düz çizgi ile gösterilen

kısmı Carman-Kozeny ve Burke-Plummer ve (4.13) ve (4.21) denklemlerinin grafikleridir.

Eğriler birkaç hatasız değer göz önünde bulundurulmadığı zaman yumuşak bir geçişle birbirinden ayrılmakla beraber sistematik bir sapma görülmemektedir. Maksimum sapma %20 değerindedir. Bir çok farklı değişkeni bulunan 4.1 grafiği için çok iyi bir kabul durumundadır.

Bu şema sürüklenme katsayısı ile Reynolds sayısı grafiği ile benzerlik göstermektedir.

Laminer ve türbülanslı bölgelerdeki kademeli geçiş bölgesindeki $\frac{N_{Re}}{(1-\epsilon)}$ değeri ile 2000

arasında değer olarak yatak içinde çok farklı akış kanalları oluşmasına sebep olarak hız

profilinde varyasyonların oluşmasına neden olmuştur.

Kapalı sabit yataklarda basınç düşüşü ile ilgili bulunan diğer bir ilgi Leva ve Grummer tarafından ampirik olarak bulunmuştur.

$$\frac{(-\Delta P)g_c}{L} = \frac{0.0243G^{1.9}\mu^{0.1}\lambda^{1.1}(1-\epsilon)}{D_p^{1.1}\rho\epsilon^3} \quad (4.26)$$

Bu denklemde partikül ve farklı yüzey sertlik değeri için farklı sabitler kullanılmıştır. Denklemde kullanılan λ boyut faktörünü ifade eder.

$$\lambda = 0.205 \frac{A_p}{V_p^{2/3}} \quad (4.27)$$

Leva'nın deneysel verileri rölatif olarak yüksek N_{Re} ve büyük partiküller için geçerli aralıktadır. Sıvı ve gaz fazındaki akışkanlar korelasyona dahil edildiğinde G yerine G_v veya G_L ifadeleri kullanılmaktadır.

Brownell ve Katz sonuçları çok ince partiküllere göre standart $f - N_{Re}$ grafiği kullanarak ve f ve N_{Re} değerini partikül geometrisi ve yatak pürüzlüğüne dayanarak düzeltme faktörleri ile çarpmıştır.

4.3 Yatak Akışkanlaştırma

Sıkıştırılmış yatak akıştan dolayı meydana gelen basınç düşüşü ile yatak içi akışkan ağırlığı birbirine eşit olduğu zaman genişler. Yatak genişledikçe yatak içerisinden geçen akışkan vasıtasıyla yatay düzlemde en geniş pozisyonu alır. Ancak bu durumda porozite (gözeneklilik) çok daha yüksektir. Partiküller bireysel olarak akışkanın etkisi ile hareket ederler. Kaynayan bir akışkana benzemesi nedeniyle bu sistemlere akışkan yatak adı verilir. L uzunluğunda Basınç düşüşünün yer çekim kuvveti ile olan denge denklemi yazıldığında

$$\frac{(-\Delta P)g_c}{L} = (1-\epsilon)(\rho_s - \rho)g \quad (4.28)$$

Burada ρ_s katı partikül hacmidir. Yatak genişlemesinin sınırı (4.23) ve (4.28) denklemleri vasıtasıyla $\frac{(-\Delta P)g_c}{L}$ nin elimine edilmesiyle elde edilir.

$$150 \cdot \frac{(1-\epsilon)\mu V_{sm}}{\epsilon^3 D_p^2} + 1.75 \frac{\rho_m V_{sm}}{D_p} = (\rho_s - \rho)g \quad (4.29)$$

Basınç, yoğunluk ve gaz hızını etkilediği için V_s değeri değişken giriş ve çıkış basıncı için

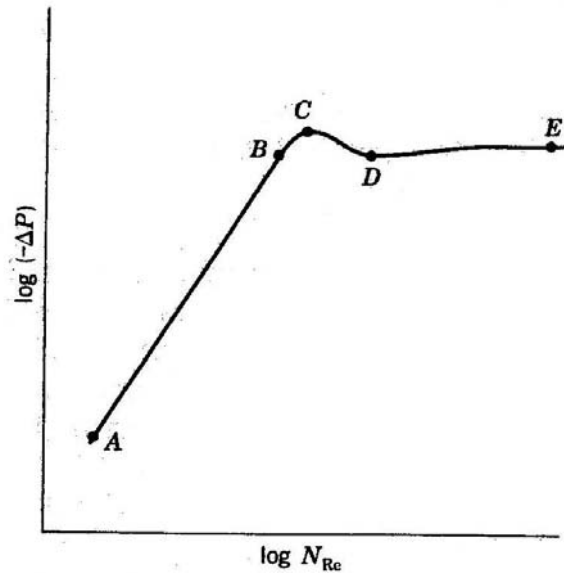
ayrı ayrı hesaplanarak denklem çözülmelidir. Yatak porozluluğu eşdeğer bir derecelendirme gösterecektir. Bu etki genellikle küçüktür. Ortalama ρ ve V_s değerleri kullanmak yeterli olacaktır. Bir çok endüstriyel uygulamada partikül çapı küçük ve V_{sm} değeri de küçüktür. Bu durumda 22.90'ın ikinci değeri ihmal edilebilir. Böylece;

$$\frac{150\mu V_{sm}}{(\rho_s - \rho)gD_p^2} = \frac{\epsilon^3}{(1 - \epsilon)} \quad (4.30)$$

(4.30) denklemi genişleyen veya sabit durum için yazılabilir. Bu iki durumun farkını ifade edebilmek için basınç düşüşünün bilinmesi gerekir. Bu iki durumun farkından ;

$$\frac{150\mu V_{sm}}{(\rho_s - \rho)gD_p^2} (V_{sm} - V_{sm}^0) = \frac{\epsilon^3}{(1 - \epsilon)} - \frac{(\epsilon^0)^3}{1 - \epsilon^0} \quad (4.31)$$

Burada 0 üssü yatağı genişletmeye yetmeyecek durumdaki akış hızı durumu ifade eder. (4.31) denklemi yatak porozluluğu ve buna bağlı olarak yatak genişlemesinin ortalama yüzeysel hız ile olan bağlantısını açıklar. Bu denklem basınç düşüşünün sabit ve yerçekimi kuvveti ile eşit olduğu ve partikül çaplarının küçük olduğu durumlarda geçerlidir.



Şekil 4.2 Katı partiküllü bir yatağın akışkanlaştırılması

Basınç düşüşü akış hızı arasındaki doğru orantı Şekil 4.2'de verilmiştir. A ve B noktaları arasında yatak stabil basınç düşüşü ve Reynolds sayısı arasındaki bağıntı (4.25)'deki gibidir. B noktasında basınç düşüşü katı partiküllerin ağırlığını dengelemiştir. B ve C noktaları arasında yatak stabil değildir. Partiküller akışa bir miktar dayanım göstermektedir. C noktası gerçekleştirilecek en serbest pozisyonudur. Partiküller birbirine temas eder. Bu noktanın ötesinde partiküller serbest olarak hareket etmektedir. Fakat rastgele dağılım göstererek

engellenmiş bir şekilde akarlar.

C noktası akışkanlaşma noktası olarak kabul edilir. D noktasında bütün partiküller hareket halindedir. Bu noktanın ilerisinde (Yatak genişlemeye devam ettiği ve partiküller daha hızlı ve bağımsız hareket ettiği için) N_{Re} değerindeki artışlar çok küçük $-\Delta P$ lere sebep olur. Nihai olarak partiküller akışkanla beraber akar. Ve yatak oluşumu durur. Bu olay E noktasında meydana gelir. Akışkan ile katı yoğunlukları arasında çok fark olmadığı, partiküllerin ufak ve hızın düşük olduğu durumlarda rölatif olarak serbest yolda hareket eden her partikül için yatak akışkanlaşır. Yoğun faz akışkanın özelliklerine benzerlik gösterir. Bu durum partikül akışkanlaştırması olarak kabul edilir. Akışkan ve katı partiküllerin yoğunlukları arasında çok büyük fark var ise veya partiküller çok büyük ise akış hızı relatif olarak yüksek olmalıdır. Bu durumda akışkanlaştırma eşit değildir ve akışkan yatak içerisinde büyük baloncuklar halinde devam etmektedir.

Burada yatak gaz fazında bir akışkanın baloncuklar halinde akışına benzer özellikler göstermektedir. Bu duruma kitlesel akışkanlaştırma adı verilir. Bu iki temel sınıfa ek olarak akışkan yataklarda hissedilir derecede bypass, tıkanma durumları gözlemlenerek stabil olmayan gaz baloncukları yatak üzerinde akabilmektedir.

Partikül veya kitlesel akışın sebepleri yatak üzerindeki yer çekimi kuvveti ve bununla beraber yatak içindeki akışkan partikül karışımının mekaniğidir. Yani Froude sayısı ($V^2 / D_p g$) olan kinetik enerjinin potansiyel enerjiye oranı bu durumda bir kriter halini alır. Temelde Froude sayısını daha detaylı incelediğimizde

$$(N_{Fr})(N_{Re})\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)\left(\frac{L}{D}\right) < 100 \quad (4.32a)$$

olduğu durumda partikül akışı benzer şekilde

$$(N_{Fr})(N_{Re})\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)\left(\frac{L}{D}\right) > 100 \quad (4.32b)$$

olduğu takdirde kitlesel akış meydana gelir.

(4.32) denkleminde N_{Fr} , N_{Re} ve L minimum akışkanlaştırma noktasından alınmalıdır.

Yukarıda belirtildiği gibi minimum akışkan noktası (C noktası) akıştan dolayı meydana gelen basınç düşüşünü yatak ağırlığını dengelediği takdirde gerçekleşir. Daha sonra partiküller minimum basınç düşüşüne imkan tanıyacak pozisyona gelirler.

Böylece C noktasında

$$\frac{-\Delta P_c}{L_c} = (1 - \epsilon_c)(\rho_s - \rho_G) \frac{g}{g_c} \quad (4.33)$$

Minimum akışkanlaştırma noktasındaki porozluluk ϵ_c paketlenmiş yatağa göre çok daha fazladır. Benzer şekilde L_c değeri de akış olmayan yatağa göre fazladır. ϵ_c ayrıca şekil yüzey karakteristiği katı partiküllerin boyutuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin yuvarlak kum için ($\Psi = 0,86$) $\epsilon_c \cong 0,42$ emisyon karbonu için $\epsilon_c \cong 0,72$ antrasit kömürü $\psi = 0,63$ $\epsilon_c \cong 0,60$

Akış hızı C'den E noktasına doğru arttığı taktirde yatak genişler. Bazı durumlarda bu genişleme 2,5 kata ulaşır. Yatak genişlemesinin miktarı distribütör tasarımı ve yatak çapına bağlıdır ve laboratuvar koşullarında ön görmek zordur. (4.31) denklemi partikül akışkanlaştırma durumunda duvar etkisi ve geri sirkülasyon etkileri göz önüne alınmadığı taktirde yatak genişlemesini tanımlayan bir yaklaşım verir.

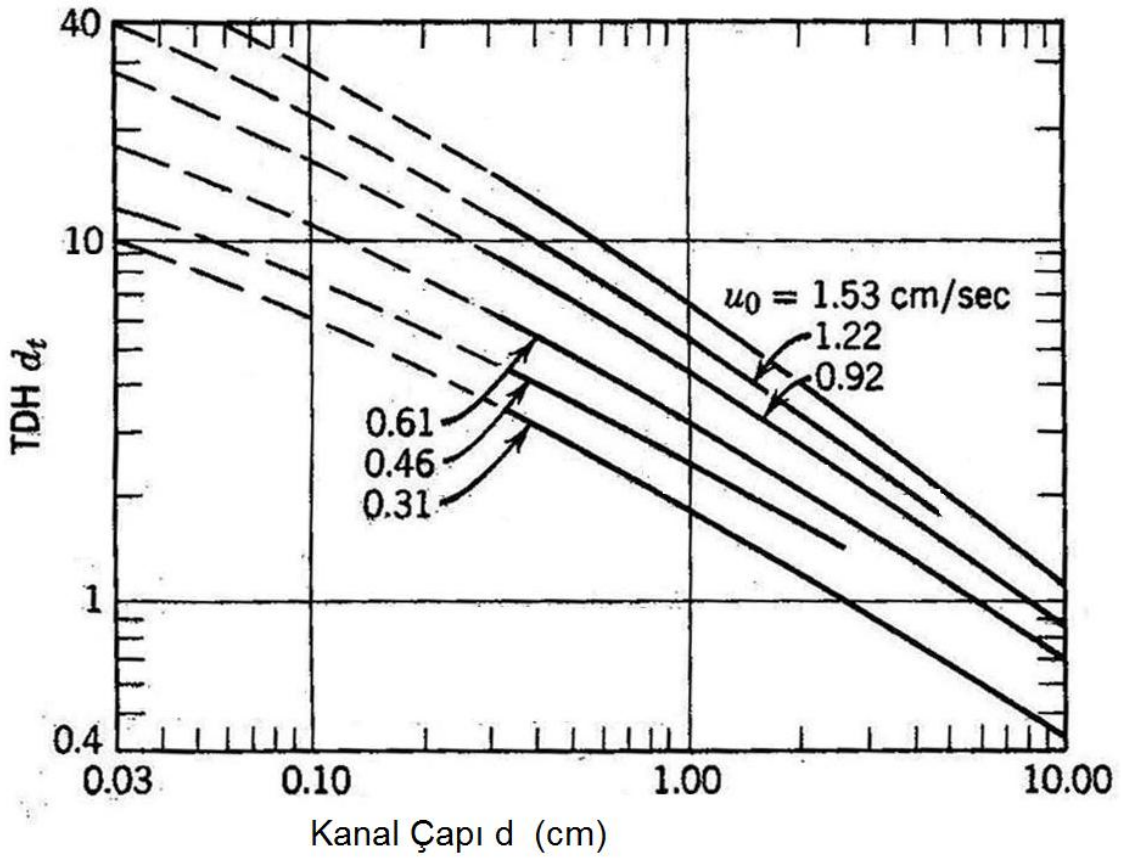
Bir akışkan yatak tasarımı yaparken mühendis bu genişleme ile birlikte taşıma ayrılma yüksekliği (TAY) için de gerekli yüksekliği pay olarak bırakmalıdır. Bu pay akışkan- katı karışımının karakteristiğine bağlıdır ve sayısal olarak henüz ifade edilememiştir. Şekil 4.3 (TAY) yaklaşımının bulunması için kullanılan ampirik bir grafikdir.

4.4 Katı akışkan pnömatik taşıma

Akışkan fazda akış hızı partiküllerin serbest hareket hızını geçtiği taktirde akışkan yatak özelliğini kaybeder. Bunun sebebi akışkan içerisinde katı partiküllerin taşınmasıdır. Bu sistem genellikle çimento üretim tesislerinde hava yoluyla kum taşınmasında kullanılır. Düşük taşıma maliyeti, temiz çalışma ve büyük miktarda malzemeyi hızlı bir şekilde taşıma avantajları vardır. Katı partiküllerin parçalanması ve akış kanalının korozyona uğraması ve aşınması gibi dezavantajları vardır.

Dikey gaz fazında olduğu gibi akışkanlaştırma bölgesinin akış hızından daha yüksek olduğu zaman akışkan malzeme hareketli akışkan yatak şeklinde davranır. Katı partiküller bu hareketli yatak içerisinde hareket eder. Buna “parçalı yoğun faz akışı” denir. Son olarak daha yüksek hızlarda (katı yatak bütün kohezyon kuvvetini kaybeder ve) partiküller birey olarak dağılmış bir şekilde akarlar. Bu durum seyrek faz akışı olarak tanımlanır.

Parçalı yoğun faz akışından seyrek faz akışı arasındaki geçiş bölgesine boğulma noktası denir. Genellikle bu geçiş anlık kısa şekilde olur. Bu geçiş bölgesindeki durumları %30 karşılayacak denklem Yang tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 4.3 Akışkan katalizörlü sistemler için taşıma ayrılma yüksekliği

$$V_s = (\epsilon_c V - V_t)(1 - \epsilon_c) \quad (4.34a)$$

$$(\epsilon_c V - V_t)^2 / 2gD = 100(\epsilon_c^{-0.47} - 1) \quad (4.34b)$$

V_s : Yüzeysel katı hızı

V_t : Yerçekimli alanda katı partikülün terminal hızı

V : Boğulma noktasındaki gaz hızı

ϵ_c : Boğulma noktasındaki fraksiyon boşluğu

(4.34a) ve (4.34b) eşitlikleri bilinen iki boğulma noktasındaki bilinmeyen hızlar ve boğulma noktasındaki fraksiyon belirlenebilir.

Ölçülen gaz debisi olduğunda yüzeysel katı hızı bilinmektedir. Bu durumda yukarıdaki denklemler simultane bir şekilde kullanıldığında boğulma noktasındaki gaz hızı ve fraksiyon boşluğu hesap edilebilir. Gaz hızının bilindiği durumda ise boğulma noktasındaki fraksiyon boşluğu direkt olarak (4.34b) denkleminde elde edilir.

Farklı boyutlarda partiküllerin olduğu durumlarda hacimsel fraksiyon katsayısı eklenmelidir.

$$X_{fi}V_s = X_{ii}(1 - \epsilon_c)(V_{\epsilon_c} - V_{ii}) \quad (4.35a)$$

$$\left[\sum X_{ii}(V_{\epsilon_c} - V_{ii}) \right]^2 = 200gD(\epsilon_c^{-0,47} - 1) \quad (4.35b)$$

$$\sum X_{ii} = \sum X_{fi} = 1 \quad (4.35c)$$

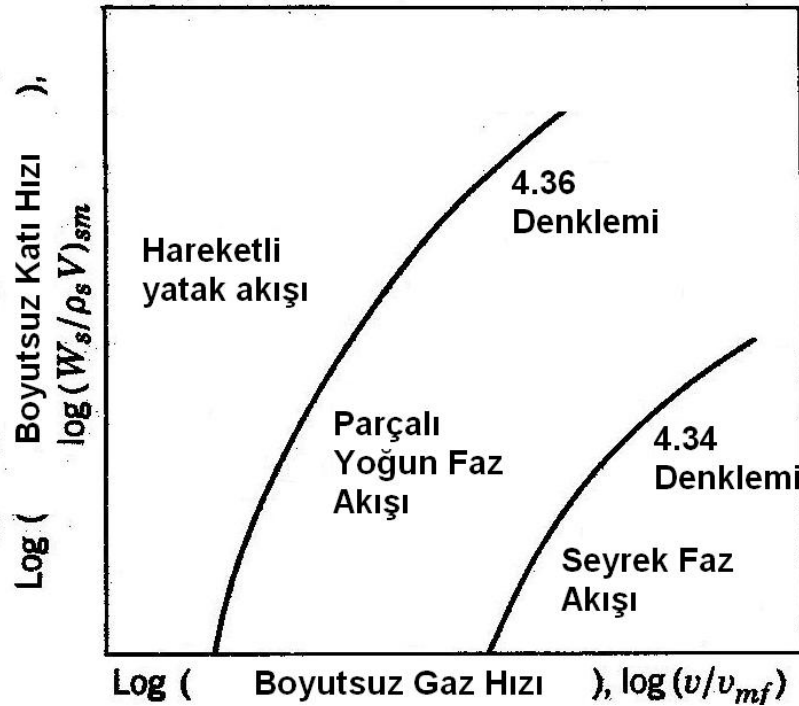
Burada;

$X_{fi} = V_{fi}$ terminal hızındaki besleme partiküllerinin hacimsel fraksiyonu

$X_{ii} = V_{ii}$ terminal hızındaki yataktan kalkan partiküllerin hacimsel fraksiyonu

Tipik bir fraksiyon boşluğu 0,45 olarak alındığında

$$0,55V_{\epsilon_c} - 0,45V_s = 0,55V_{mf} \quad (4.36)$$



Şekil 4.4 Dikey pnömatik taşımada nicel akış rejimleri

(Şekil 4.4)'te görüldüğü gibi (4.34) ve (4.36) denklemlerinin kullanımıyla dikey gaz katı taşıma olgusu 3 rejime ayrılır. Her bir farklı fiziksel durumları temsil ettiği için basınç düşüşü ayrı olarak hesap edilmelidir. Aşağıda bu üç farklı durum için basınç düşüşü korelasyonları verilmelidir.

4.4.1 Birinci Seyrek Faz akış rejimi

Bu rejim gaz ve katı partiküllerin birbirinden bağımsız sabit hızda aktığı bir rejimdir. Enerji dengesine göre yazılmış genel ifade aşağıdaki gibidir.

$$\Delta P = \left[\rho \epsilon V^2 + \frac{\rho_s V_s^2}{1-\epsilon} \right]^2 + g \int_0^2 [(1-\epsilon)\rho_s + \epsilon \rho] dt + 4\tau L / D \quad (4.37)$$

Burada denklemin sağ tarafında bulunan 3 eleman; ivme, yerçekimi ve duvar sürtünmesinden kaynaklanan basınç düşüşlerini temsil eder. Burada τ akışın gerçekleştiği duvarda meydana gelen yüzey gerilimidir. ΔP ' nin basınç ile değişiminin çok düşük olması, ivmenin gerçekleştiği alanın ihmal edilebilir olması ve gaz yoğunluğunun düşük olması kabulleri yapıldığında bu denklem aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir.

$$\Delta P = \frac{\rho_s V_s^2}{1-\epsilon} + (1-\epsilon)\rho_s gL + 4\tau L / D \quad (4.38)$$

Duvar sürtünmesi terimi akışkan sürtünmesi ve katı partikül akışı sürtünmesi olarak ikiye ayrılabilir.

$$4\tau L / D = \Delta P_{fg} + \Delta P_{fs} = \frac{fLV^2}{2g_c D} + \frac{2f_s L \rho_s V_s^2 D}{1-\epsilon} \quad (4.39)$$

Bu durumda f (chapter20) de tanımlanan sürtünme faktörü ve f_s ampirik olarak kabul edilecek olan partikül-duvar sürtünme faktörüdür. Partikül-duvar sürtünme faktörü genellikle ufak bir faktör olduğundan Leung ve Wile düşük basınçta taşımada kullanılacak sürtünme faktörü aşağıdaki ifade ile tanımlanmıştır.

$$f_s = 0,005(1-\epsilon)N_s \quad (4.40)$$

Buradaki sabit sayı boyutsal olduğundan V_s değeri m/s cinsinden olmalıdır. Yüksek basınçta taşıma sırasındaki sürtünme faktörü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$f_s = \left[0,02515(W_s / \rho V)^{0,0415} \left(\frac{V_s}{(1-\epsilon)V} \right)^{-0,859} \right] - 0,03 \quad (4.41)$$

4.4.2 Parçalı Yoğun faz akışı

Bu akış tipinde basınç düşüşünün tamamına yakın kısmı katı partiküllerin ağırlığından ortaya çıkar. (4.38) denklemini aşağıdaki gibi sadeleşebilir.

$$\Delta P = \rho_s (1-\epsilon)g_c L \quad (4.42)$$

Bu basit denklemin kullanımında dahi boşluk fonksiyonunun hesaplanması gerekir. Aşağıdaki denklem bu hesabı tanımlamak için geliştirilmiştir.

$$\frac{1-\epsilon}{1-\epsilon_{mf}} = \left[V_b + W_s / [\rho_s (1-\epsilon_{mf})] \right] / (V + V_b - V_{mf} + W_s / \rho_s) \quad (4.43)$$

$$V_b = 0,35\sqrt{gD}$$

4.4.3 Hareketli Yatak Akışı

Bu akış rejimi pratik uygulamalarda kısa mesafe taşımalar gibi çok özel durumlarda görülmektedir. Bu rejimde basınç düşüşü Ergun'un denkleminde uygun bir kayma hızı seçilerek hesaplanır.

$$\frac{\Delta P \cdot D_p \epsilon^3}{L_p \left(V - \frac{V_s}{1-\epsilon} \right) (1-\epsilon)} = 150 N_{Re_{si}} + 1,75 \quad (4.44)$$

$N_{Re_{si}}$ solid partiküllere relatif olarak gazın Reynolds sayısıdır ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$N_{Re_{si}} = \frac{D_p \left(V - \frac{V_s}{1-\epsilon} \right) \rho \epsilon}{\mu (1-\epsilon)} \quad (4.45)$$

Yukarıdaki yaklaşımlar ve denklemler dikey katı gaz taşıma sistemleri üzerine yapılan mantıksal hesaplamacılardan ortaya çıkmıştır. Ancak katı partiküllerin çeşitliliği dağılıma ve duvarlara yapışma eğilimi bu denklemlerine isabetliliğine etki etmektedir. Küresel ve serbest akan katı partiküllerin taşınmasında yukarıda verilen denklemlerin kullanımı yüksek isabetli sonuçlar vermektedir. Kömür ve liflerin taşıma gibi durumlarda gerçek durumun test edilmesi tavsiye edilmektedir.

Bununla beraber yatay taşıma (4.38) denkleminin partikül ağırlığını katmadan yazılmasıyla modellenebilir. Temel olarak kısa yatay akışlarda böyle bir prosedür uygundur ve sonuçlarda ortaya çıkan basınç düşüşleri dikey iletme göre düşüktür. Düşük gaz hızları kullanıldığında problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle katıların hareket eğilimleri gaz akış hızını belirler.

Dirsek kayıpları da hesaba katılmalıdır. Dirsek kayıpları $0,5 - 1,5(V_{\rho_m}^2 / 2g)$ aralığında büküm çapı genişledikçe sabit azalma şeklinde tanımlanmıştır. Burada ρ_m akan karışımın yoğunluğu, $\rho_m = \rho_s (1-\epsilon) + \rho \epsilon$

Pnömatik taşıma sisteminde taşınacak malzemenin katılaşma, kırılabilme, patlayıcılık ve basınç sıcaklık katı gaz oranı gibi işlem koşulları iyi incelenmelidir.

Fiziksel olarak sistem bir hava üfleyici, katıların hava akışına yükleme sistemi ve son olarak

katı partiküllerin ayrıştırılmasında kullanılan filtreleme sistemi olarak tanımlanabilir. Evlerde kullanılan vakumlu elektrik süpürgeleri bu sisteme örnek olarak verilebilir. Özellikle yüklenecek katılar ve gidecekleri nihai bölge atmosferik basınçta olduğu taktirde bu şekilde bir vakum sistemi büyük ölçekte de uygulanabilir.

Kamyonların ve mavnaları boşaltmada bu tip sistemler kullanılmaktadır. Benzer şekilde polimer üretim tesislerinde de malzemelerin yüklenmesi bu şekilde olmaktadır. Genellikle katı malzeme vidalı yükleme sistemleri veya yıldız yükleyici gibi mekanik bir sistem vasıtasıyla gaz akışına iletilir. Yıldız yükleyici ufak küreklerden oluşan dönel bir setten oluşmaktadır ve yatay bir silindir içerisinde hareket eden bir sistemdir. Katı partiküllerin havadan ayrılması için genellikle siklon ayırıcılar kullanılmaktadır. Siklon ile fan arasına bir hava filtresi yerleştirilerek fanı koruma altına almak gereklidir.

Fan sistemi katı yüklemeye göre daha yüksek bir pozisyonda ise bu durumda basınçlı bir sistem gerekmektedir. Bu sistemin bir avantajı katı partiküllerin pompaya girmesi engellenmiştir. Ancak bu sisteme katı malzeme yüklenmesi daha güç hale gelir. Basınçlı bir sisteme yapılan yükleme dikey fan ve yıldız yükleme sistemi kombinasyonu ile yapılabilir. Ancak katı malzeme yükledikçe basınç düşüşü meydana gelebilir. Diğer bir olasılık ise besleyici üzerinden akış meydana getirmektir. Bu sistem yıldız yükleyici ile benzer şekilde çalışır. Ancak hava akımı malzemenin transfer edildiği kanalda gerçekleşir. Bir diğer alternatif ise vidalı yükleyici sistemdir. Malzeme ufak bir huni üzerinden sabit veya değişken hatveli bir vida ile taşınır. Hatve azaldığı taktirde vidanın kanallarında sıkışan malzeme gerekli basıncı oluşturarak çek valfin açılmasını sağlar bu sayede katı malzeme akış kanalına taşınmış olur.

Katı malzemeleri yüksek basınçta sürekli olarak beslemek kimyasal proseslerde uygulaması güç olan bir prostestir. Kömürün yüksek basınçlı reaktörlere yüklenmesi kömür dönüşüm prosesini engelleyen temel problemlerden biridir. En başarılı yöntemler yarı sürekli yöntemlerdir. Bu yöntemde katı partiküller öncelikle ara kanala yüklenir. Daha sonra basınçsız ortamda basınçlandırılırlar. Yüksek akış hattı ile katı partiküller malzeme arasındaki valfin açılmasını sağlar. Açılan valf katı partiküllerin basınç hattına beslenmesini sağlar. Sürekli yükleme istendiği anda 2 tanka ihtiyaç duyulur. Biri dolum yapılan ve basınçlandırma yapılan tank diğeri ise taşıma sistemini besleyen tanktır. Diğer besleme mekanizmaları katı partikülleri basınç çemberi içerisinde akışkanlaştırarak akışkan yatağın tepe ve dip noktalarından uzaklaştırırlar.

Bu tip akış sistemlerinde daima statik enerji oluşumu ile kıvılcım meydana gelme riski vardır. Bu sebeple gerekli önlemler alınmalıdır.

4.4.4 Akışkan Yatak Tasarımında Basınç Düşüşü ve Boyutlandırma

Akışkan yatak boyutlarında en büyük kesit çapı $D_i = 192mm$ en küçük kesit çapı $D_d = 50mm$ 'dir. Kullanılacak kayın talaşının yığın yoğunluğu $\rho_t = 0.224g/cm^3$ partikül boyutu $600\mu m$ ve doluluk oranı 0.55 'tir. Bu durumda ρ_s değeri hesap edilir.

$$\rho_s = \frac{\rho_{yu}}{1 - dolulukoranı} \quad \rho_s = \frac{0.224}{1 - 0.55} = 0.497g/cm^3 = 497kg/m^3$$

Hedeflenen 300 kg/saat'lik bir tesiste %80 oranında talaş kullanılması durumunda kütleli debi olarak 240 kg/h talaş transferine ihtiyaç duyulur. Bu durumda yüzeyel hız;

$$V_s = \frac{\dot{m}}{\rho_s} \frac{1}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{D_i}{D_d} \right)^2} \quad V_s = \frac{240}{497} \times \frac{1}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{50}{192} \right)^2} \times \frac{1}{3600} \quad V_s = 2,51 \cdot 10^{-3} m/s$$

Kullanılacak olan endüstriyel tip fanın teknik verileri şunlardır: $1000m^3/h$, 161 V gerilim , 52 Db gürültü değeri, 2620 rpm açısız hız, 196 Pa basınç üretimi.

Hava yoğunluğu $\rho_{hava} = 1.3kg/m^3$ ($20 C^0$) olarak hesap edilmiştir.

Seçilen fanın debisine göre hava hızı:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1000m^3/h}{3600s/h} \times \frac{1}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{50}{192} \right)^2} \quad V = 5.21m/s$$

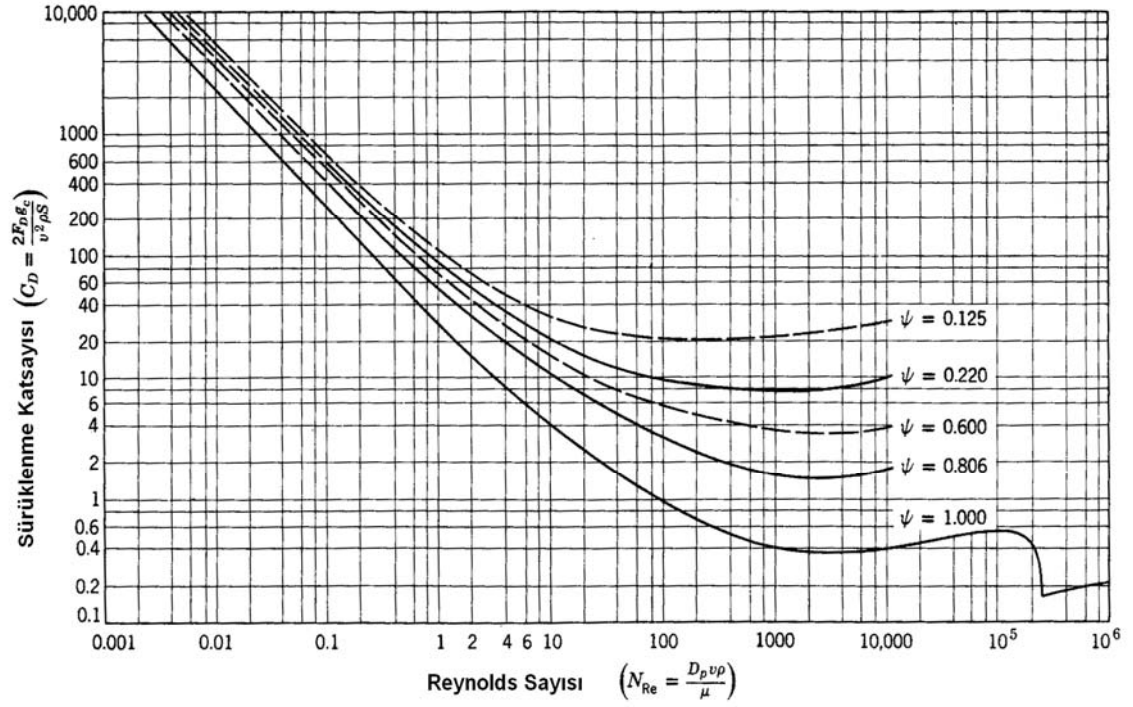
$\log C_D = -2 \log N_{RE} + \log \left[\frac{4gD_p^3 \rho (\rho_s - \rho)}{3\mu^2} \right]$ denkleminin 2. elemanı ayrı olarak hesap

edilmiştir. Havanın viskozitesi $\mu_{hava} = 0.00002Ns/m^2$ alınmıştır.

$$\frac{4gD_p^3 \rho (\rho_s - \rho)}{3\mu^2} = \frac{4.9,8.(600.10^{-6})^3 \cdot 1.3(497 - 1.3)}{3.(0,00002)^2} = 4546$$

Talaş partiküllerinin küresel olduğu kabulü ile yüzey katsayısı

$$\psi = \frac{\pi \left(\frac{6V_p}{\pi} \right)^{2/3}}{A_p} = 1 \quad \text{olarak seçildiğinde Şekil 4.5 üzerinden enterpolasyon ile Reynolds}$$



Şekil 4.5 Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak sürüklenme katsayısı sayısı 50 olarak okunur.

$$\text{Re}_{Ne} = \frac{D_p V_t \rho}{\mu} \quad V_t = \frac{\text{Re}_{Ne} \mu}{D_p \rho} = \frac{50.0,00002}{600.10^{-6} \cdot 1,3}$$

$$V_t = 1,28 \text{ m/s}$$

(4.34a) denklemini kullanarak

$$V_s = (\epsilon_c V - V_t)(1 - \epsilon_c)$$

$$2,51.10^{-3} = (\epsilon_c \cdot 5,21 - 1,28)(1 - \epsilon_c)$$

$$\epsilon_c = 0,24$$

(4.34b) denklemini ile kontrol edildiğinde

$$\frac{(\epsilon_c V - V_t)^2}{2gD} = 100(\epsilon_c^{-0,47} - 1)$$

$$(0,24 \cdot 5,21 - 1,28)^2 / 2 \cdot 9,8(50/192) = 100(0,24^{-0,47} - 1)$$

$$1,74.10^{-4} \neq 95,56$$

(4.34a), (4.34b) ve Şekil 4.4 dikkate alınarak yapılan hesaplamalara göre boğulma (tıkanma)

meydana gelmediği ve akışın seyrek faz bölgesinde olduğu görülmüştür Bu durumda basınç düşüşünü hesaplamak için (4.38), (4.39) ve (4.40) denklemleri kullanılacaktır. (4.40) denklemini kullanabilmek için boşluk fraksiyonu ϵ gereklidir. Bu değer yüzey gaz ve katı hızları ve terminal hız yardımıyla hesaplanır.

$$V_s = V_s^*(1 - \epsilon) \quad V - V_s^* = V_t$$

$$V_s^* = 5,21 - 1,28 = 3,93 \text{ m/s}$$

$$1 - \epsilon = 2,51 \cdot 10^{-3} / 3,93 \quad 1 - \epsilon = 6,38 \cdot 10^{-4} \text{ (Seyrek faz akışı olduğunu ispatlar)}$$

(4.40) denkleminde

$$f_s = 0,005(1 - \epsilon) / V_s \quad f_s = 1,27 \cdot 10^{-3}$$

Akış duvarındaki sürtünme faktörü Şekil 4.6'dan okunur.

$$N_{Re} = \frac{DV\rho}{\mu} = \frac{(50/192) \cdot 5,21 \cdot 1,3}{0,00002} \quad N_{Re} = 88190$$

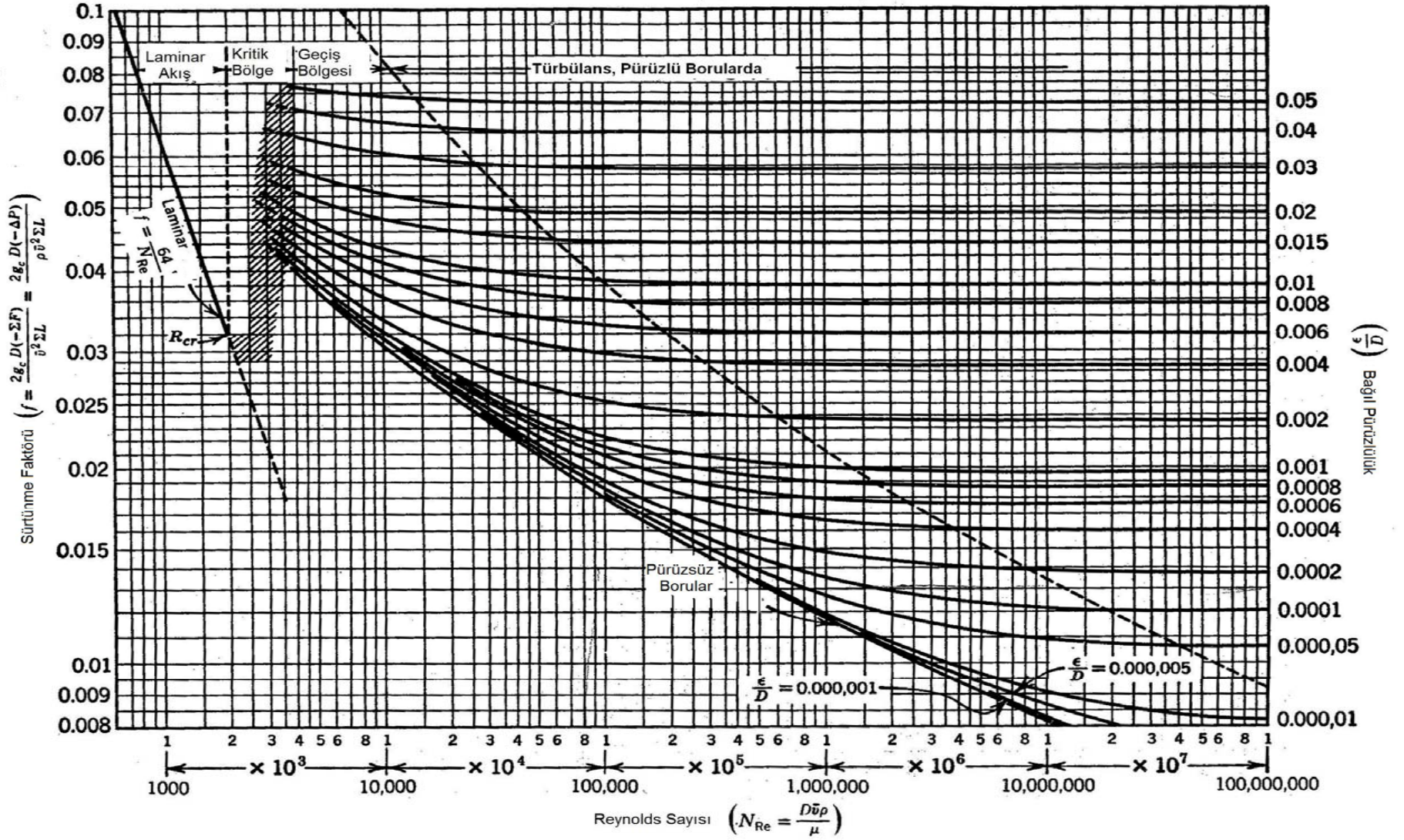
Standart çelik boru için pürüzlülük $\epsilon = 0,0002$

Tablodan $f = 0,014$ okunur.

(4.39) denklemi (4.38) denklemindeki duvar sürtünmesi iadesini bulmakta kullanılabilir:

$$\begin{aligned} 4T/D &= \frac{fV^2}{2g_c D} + \frac{2f_s \rho_s V_s^2 D}{1 - \epsilon} \\ &= \frac{0,014 \cdot 2,51^2}{2 \cdot 9,8 \cdot (50/192)} + \frac{2 \cdot 1,27 \cdot 10^{-3} \cdot 497 \cdot (2,51 \cdot 10^{-3})^2 (50/192)}{6,38 \cdot 10^{-4}} \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

Akış kanalı olarak sadece dik akışkan yatak göz önüne alınmıştır. Burada yatay



Şekil 4.6 Reynolds Sayısı ve bağıl pürüzlülüğe göre sürtünme faktörü

Malzeme kanalı helezonik mil vasıtasıyla hareket ettirildiğinden bu kesimde akışkan yatak prensipleri uygulanmamıştır. Akışkan yatak uzunluğu dikey olarak 665 mm uzunluğunda St37 sacdan imal edilecektir. (4.38) denklemi kullanılarak:

$$\Delta P_v = \frac{\rho_s V_s^2}{1 - \epsilon} + (1 - \epsilon) \rho_s g L + 4T / DL$$

$$\Delta P_v = 6,986 \text{ kg} / m^2$$

Tasarımda 3 adet dirsek bulunmaktadır. Dirsek kayıpları hesap edilir:

$$\begin{aligned} \Delta P_B &= [\rho_s (1 - \epsilon) + \rho \epsilon] V^2 / 2g \\ &= [497 \cdot (6,38 \cdot 10^{-4}) + 1,3 \cdot 0,999] 5,21^2 / 2 \cdot 9,8 \end{aligned}$$

$$\Delta P_B = 2,237 \text{ kg} / m^2$$

$$\sum \Delta P_v = 3 \Delta P_B = 6,713 \text{ kg} / m^2$$

Toplam basınç kaybı

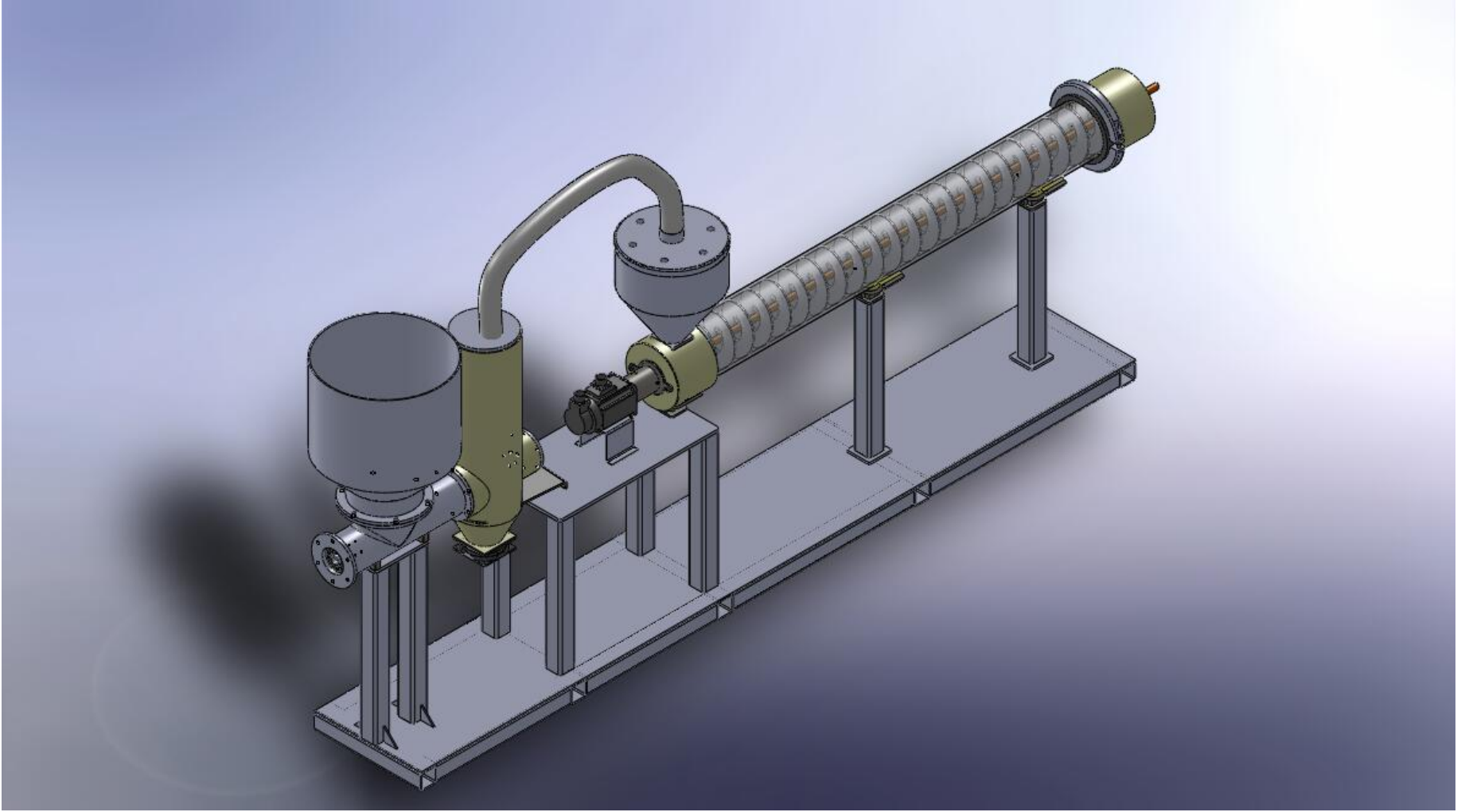
$$\Delta P = 6,986 + 6,713$$

$$\Delta P = 13,7 \text{ kg} / m^2 \cong 127,5 \text{ Pa}$$

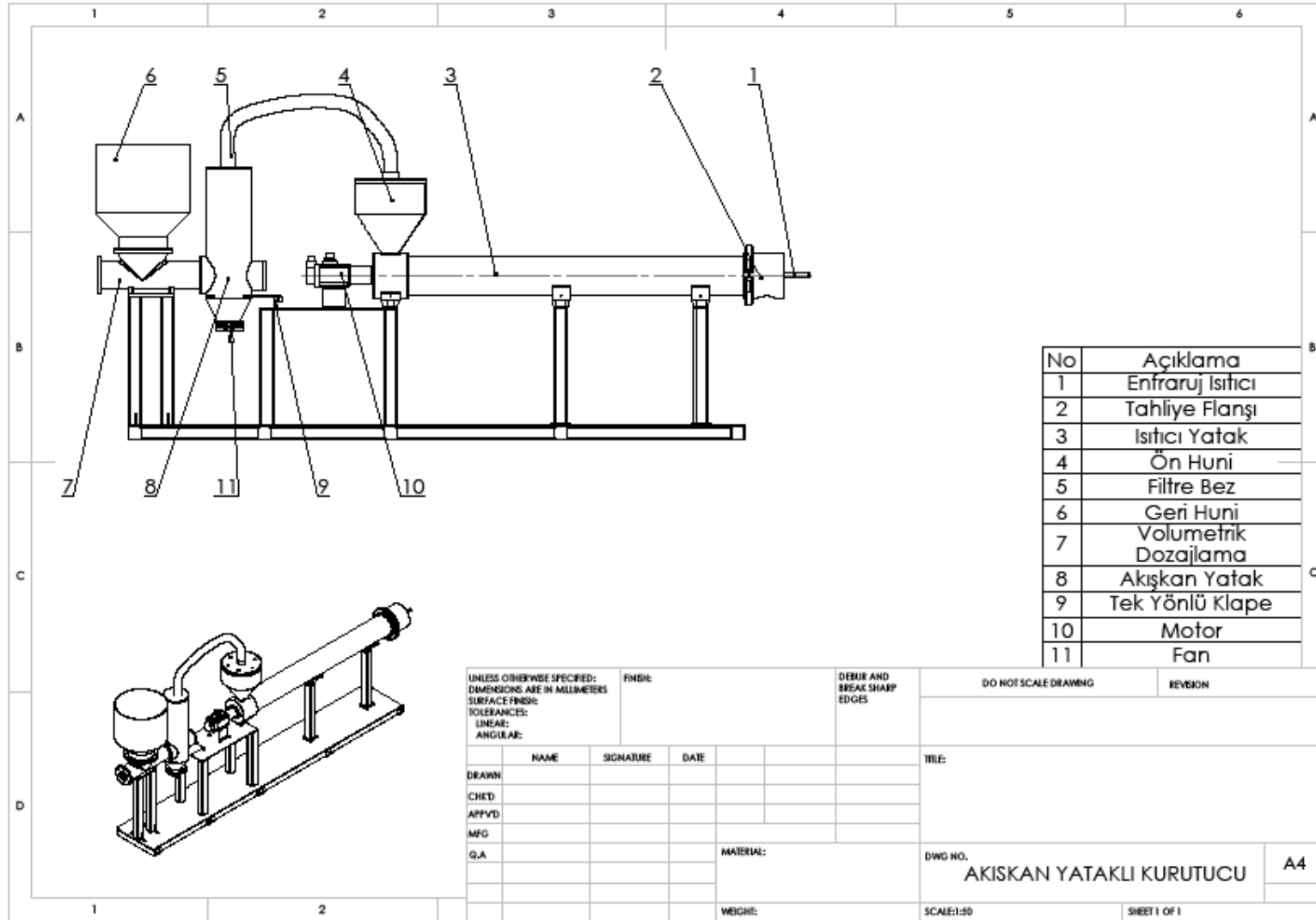
Toplam basınç kaybı 127,5 Pa seviyesinde olup seçilen fan basıncı 196 Pa'dır. Bu durumda sistem basıncı 68 Pa seviyesindedir.

4.4.5 Akışkan Yataklı Kurutucu Sisteminin Genel Çalışma Mantığı

Şekil 4.7 ve 4.8'de görüldüğü kurutulacak olan malzeme temel olarak 3 istasyonda hareket etmektedir. Birinci istasyon geri huni adını verdiğimiz makine üzerinde ufak bir hammadde silosu görevini yapan kısımdır. Şekil 4.8'de 6 numarayla gösterilmiştir. Geri huninin altında daralan hatveli vidalı konveyör sistem vardır. Bu vidalı konveyör sisteminin görevi malzemeyi bir sonraki istasyona iletmektir. İhtiyaç duyulan hammadde miktarına göre vidalı konveyör hızı değiştirilerek kısmi kapasite kontrolü yapılabilmektedir. İkinci istasyon basınç düşümü hesaplarının akışkan yatak bölgesidir. Akışkan yatak içerisine veyahut dışarısına ısı kontrollü bir rezistans yerleştirilmek suretiyle akışkan hava ısınımsı artırarak ihtiyaç duyulan kuru hava ortamını sağlanabilmektedir. Ancak Akışkan yatak içerisindeki sıcaklıkların ahşabın bozunma sıcaklığından çok daha düşük olması gerekmektedir. Aksi takdirde



Şekil 4.7 Akışkan yataklı kurutma sisteminin 3 boyutlu modeli



Şekil 4.8 Akışkan Yataklı Kurutucu Elemanları

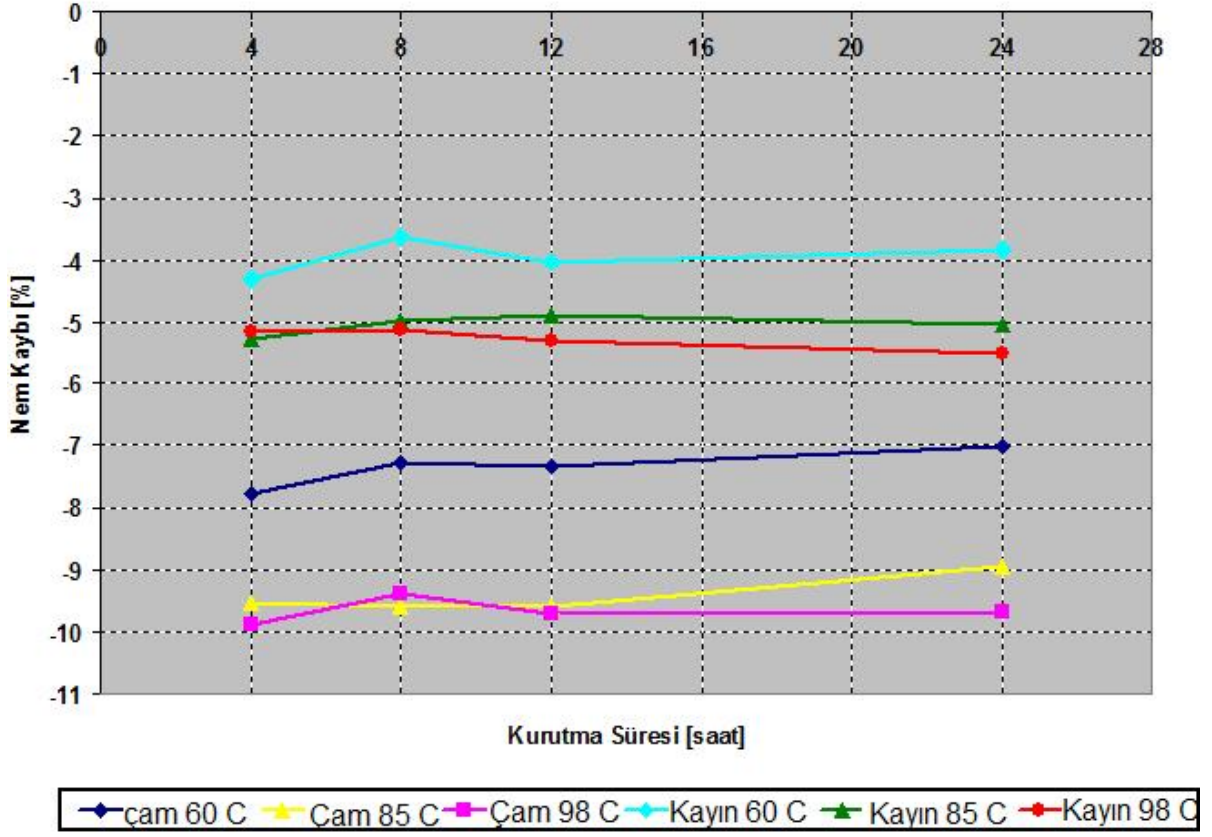
istenmeyen yanmalar ve kül oluşumu meydana gelebilir. Bu istasyon Şekil 4.8'de 8 numara ile gösterilmiştir. 11 numara ile gösterilen fan akışkan yataktaki katı partiküllerin yukarı hareketini sağlar. Üretilen fazla hava bez iletim kanalı üzerinden geçerek dışarı verilir. Malzeme 4 numara ile gösterilen ön huniye gelmiş olur. Burada sabit hatveli bir helezonik mil vasıtasıyla cam akış borusu içerisine malzeme tahliye edilir. Bahsedilen sabit hatveli helezonik milin içerisine bir enfraruj ısıtıcı yerleştirilmiştir. Bu enfraruj ısıtıcı sıcaklığı 95-105 C° arasında sabit olarak tutulmaktadır. Cam akış kanalının içerisine fazla nem ve yabancı partiküllerin uzaklaştırılması amacıyla azot gazı enjekte edilir. Cam akış kanalının sonunda poliamidden üretilen özel bir flanş ile çıkış kanalı akış kanalına bağlanmıştır. Kurutma işlemi tamamlanan katı partiküller bu çıkış kanalından sevk edilirler.

5. UYGULAMA ÇALIŞMASI

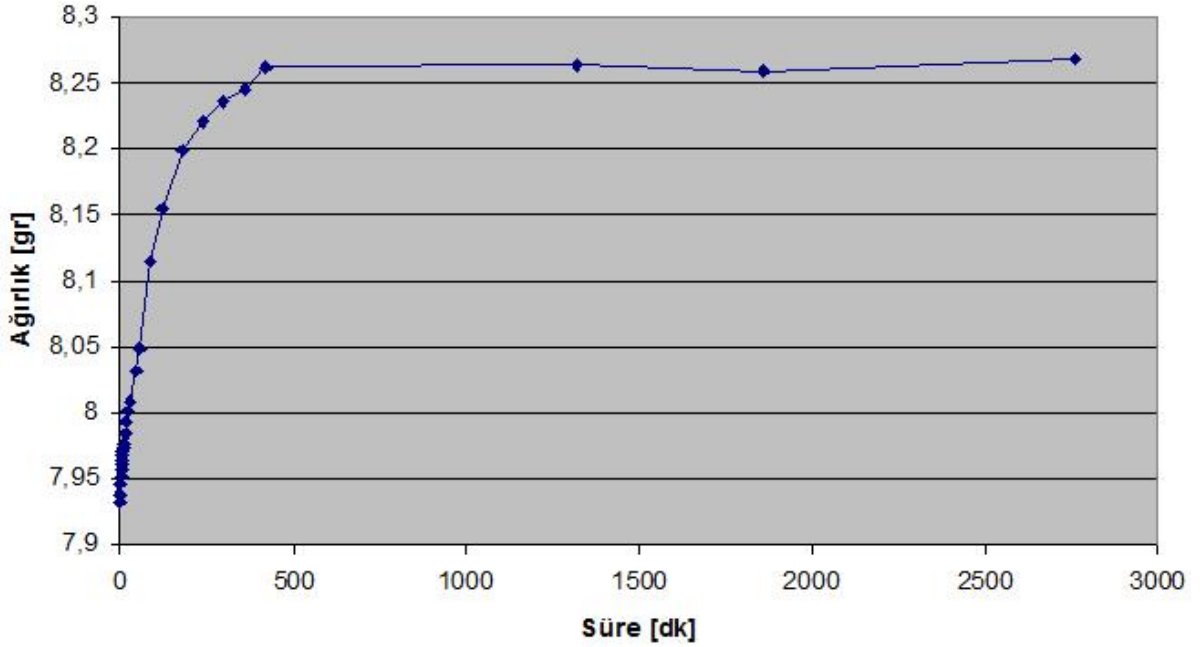
Bu bölümde optimum ahşap polimer kompozit üretim prosesinin belirlenmesi için gerekli temel çalışma koşulları, prosesin gerçekleşeceği üretim akış şeması ve kullanılacak malzeme gibi parametreleri tayin etmek için gerekli uygulama ve analiz çalışmaları yapılmıştır.

5.1 Ahşap Talaşı Üzerine Yapılan Uygulamalar

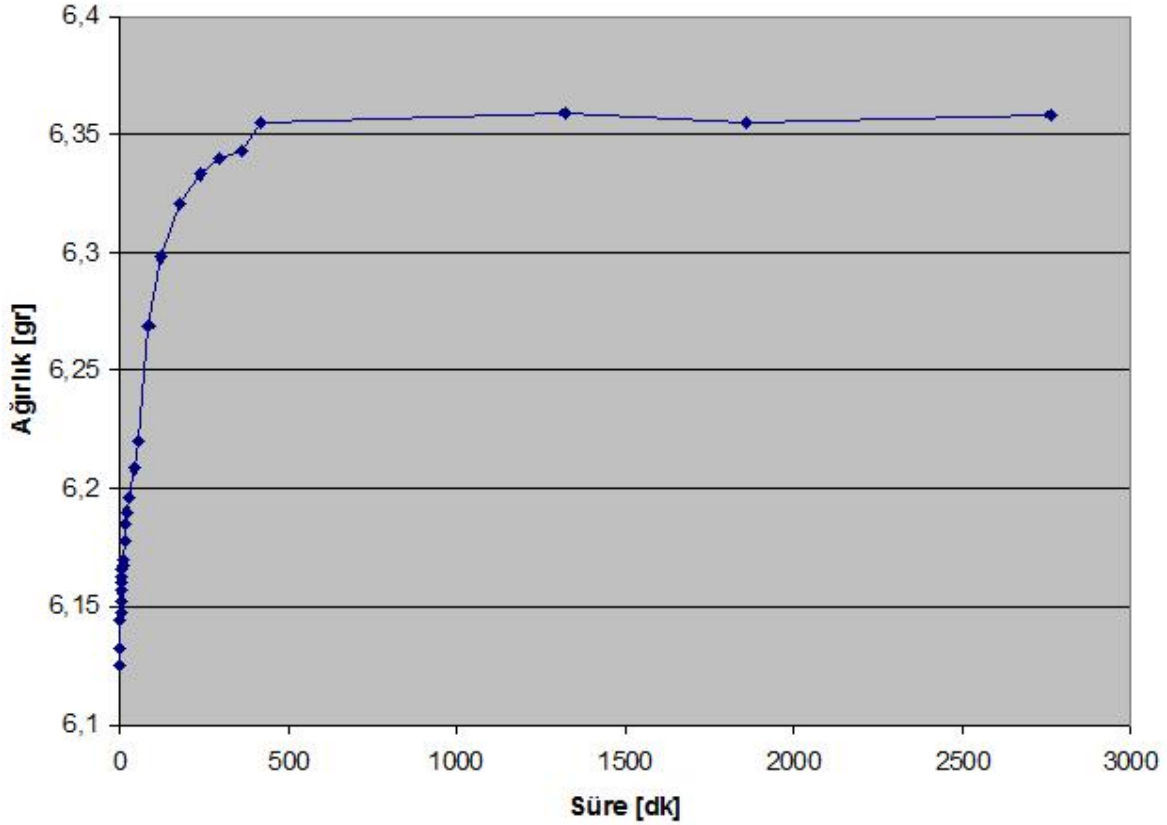
Eşit ağırlıklarda çam ve kayın talaşı hazırlanılarak yine eşit sürede sarsak elek sistemi makinesinde elenme işlemi yapılarak her bölmede kalan malzeme ağırlıkları ölçülmüştür. Sistemin her bölümü farklı bir partikül boyut aralığını tutmaktadır. 1. Kat 1200-800 µm, 2.Kat 800-400 µm, 3.Kat 400 µm> aralıkta eleme işlemi yapmaktadır. Her bölmede elenen malzeme tartılarak partikül boyut dağılımı belirlenmiştir. Bu sonuçlar bölüm 3.9.1 'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Sonuçlara göre çam talaşı, kayın talaşına göre daha ufak partikül boyut dağılına sahiptir. Eleme analizleri sonucunda ince partiküllü ahşap tozlarında çalışılması için yüksek kapasiteli eleme sistemlerine ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır. İkinci aşamada ahşap partiküllerinin nem alma hızı ve kurutma performansları üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada çam talaşı ve kayın talaşı farklı sıcaklıklarda etüv fırınında kurularak belirli zaman aralıklarında ağırlıkları ölçülmüştür. Kullanılan etüv sıcaklıkları 60 C°, 85 C°, 98 C°'dir. Kurutma süreleri 4, 8, 12, 24 saattir. 98 C° sıcaklıkta 24 saat kurutulan (tam kuru olarak kabul edilen) çam talaşı ve kayın talaşı numuneleri, 23 C°, 30 %RH ortamında hassas terazide bekletilmiş ve tekrar nem almasıyla oluşan ağırlık artışı tayin edilmiştir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi sonuç olarak çam ve kayın talaşını kurutmak için 4 saat 85 C° sıcaklıkta kurutmak yeterlidir. 60 C° sıcaklık istenilen nem oranı için yeterli olmamalıdır. Sirkülasyonlu etüvde kurutma işlemi, kurutma süresini statik etüve göre 1 saat kısaltabilmektedir. Çam talaşı ağırlıkça %10, kayın talaşı ağırlıkça %5 nem tutmaktadır. Tutulan nem ürünün yüzey kalitesini olumsuz etkilediği için etkili bir kurutmanın yapılması gerekmektedir. Şekil 5.2



Şekil 5.1 Ahşap tozunun tamana bağlı nem değişimi



Şekil 5.2 Çam talasının zamana bağlı ağırlık değişimi



Şekil 5.3 Kayın talaşının zamana bağlı ağırlık değişimi

ve Şekil 5.3'te çam ve ayın talaşlarının kurutulma işlemi tamamlandıktan sonra serbest ortamda ağırlık değişimleri incelenmiştir. Bu yapılan incelemelere göre kurutulmuş talaşlar 7 saat sonra bıraktığı nemi tekrar almaktadır. Kurumuş kayın talaşının ağırlık artışı ilk 5 dakikada %0,5, ilk yarım saatte %1 ve ilk bir saatte %1,5 değerindedir. Kurutulmuş çam talaşının ağırlık artışı ilk 5 dakikada %0,5, ilk yarım saatte %1 ve ilk bir saatte %3,6 değerindedir. Çam talaşının ufak partiküllü olması sebebiyle tekrar nem alması daha hızlı gerçekleşmektedir. Deneme ahşap-polimer kompozit üretimi yapılan bir firmadan alınan ahşap-kompozit profillerinin 80x10x4 mm'lik 5 adet numune 24 saat su içerisinde bekletilmiş, ağırlık ve boyut değişimi incelenmiştir. 24 saat sonunda su çeken numuneler boyutsal olarak %0,2 büyümekte, ağırlık olarak %5 oranında artmaktadır.

5.2 Ksilen Kullanımı ile Ahşap Polimer Kompozit Hazırlama

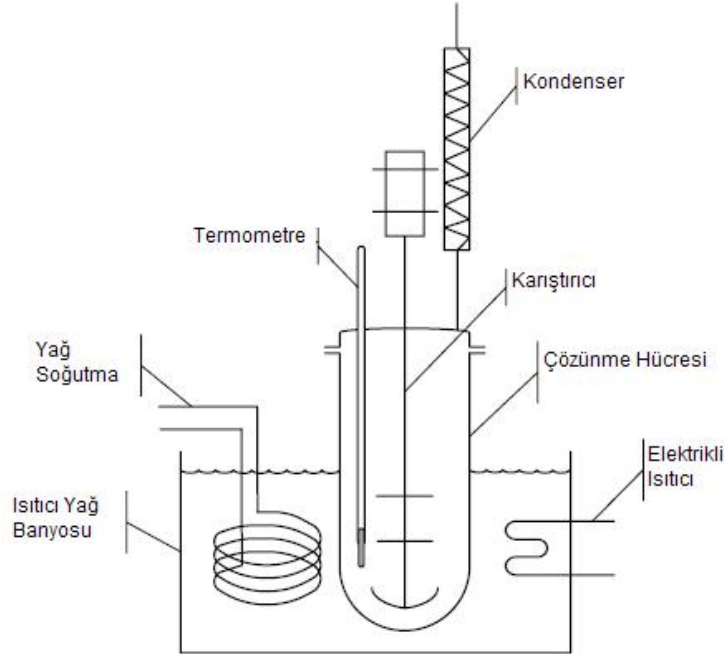
Bu yöntem aslen %99 saflıkta selülöz olan gazete kağıtları ile PE'den kompozit malzeme üretme yöntemi baz alınarak deneme yapılmıştır. Çalışma 2 kademede incelenebilir.

5.2.1 Lignoselülozik Malzeme Üzerinde Ön Uygulama

Lignoselülozik malzeme (LM) toz halinde mekanik karıştırıcıda karıştırılıp öğütüldükten sonra LM'in doyurulma işlemine geçilir. Doyurulma işleminde %1.2 NaOH, %1.0 H₂O₂, %2.5 Na₂SiO₃, %0.7 Etil Alkol (w/w) çözeltisi hazırlanır. Bu çözeltiliye %15 toz LM katılır. Oluşan karışım 15 dakika 45 C°'de bekletilir. Bu karışım daha sonra %5 seyreltilerek 30 dakika sürekli karıştırma işlemine tabi tutulur. Karışım bez filtre üzerinde süzülüp oda sıcaklığında kurutma işlemine tabi tutulur.

5.2.2 Polimerin Ksilen ile Çözülmesi

Şekildeki sistemde cam kap içerisi %95 Ksilen, %5 YYPE doldurularak 90 C° sıcaklığa ulaşılır. Bu sıcaklıkta 20 dakika sabit tutulan sistemde yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) jel haline gelir. Jel halindeki YYPE üzerine LM eklenir. Bu işlem esnasında sürekli yüksek devirli karıştırma yapmak gereklidir. Çözücü olarak kullanılan Ksilenin bir kısmı kondenser vasıtasıyla geri kazanılır. Ürün olarak ortaya çıkan KM_x vakum ortamında filtre edilir. KM_x üzerinde kalan nem ve Ksilenden tamamen arındırılması için fırında 100 C° sıcaklığa tabi tutulması gerekmektedir. Ancak bu uygulamada nem ve uçucu maddelerden arındırma işlemi gerçekleştirilmemiştir.



Şekil 5.4 YYPE'nin Ksilen ile çözündürme deneğinin şematik gösterimi



Şekil 5.5 YYPE'in Ksilen ile çözdürme yöntemi ile üretilen kompozit ürünün görüntüsü



Şekil 5.6 YYPE'nin Ksilen ile çözdürme deneğinin uygulama resmi

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi lignoselülözük madde bu yöntemde homojen dağılımı gerçekleştirilememiştir. Yüzey üzerinde bulunan lignoselülözük madde kopma eğilindedir. Uygulanan yöntem yüksek oranda YYPE ile gerçekleştirilebilir. Aksi takdirde Şekil 5.5'te görüldüğü gibi lignoselülözük malzeme yüzeyden koparak dağılmaktadır.

Ksilen ile üretilen KM_x büyük ölçekte üretildiği takdirde yüksek miktarda Ksilen tüketimi olduğu için fizibil bir yöntem değildir. Bununla beraber Ksilen maddesinin kanserojen etkisi olduğu göz önüne alınırsa bu yöntemin uygulanabilir bir proses olarak kabul görmesi için sistem dizaynının havaya karışmayacak şekilde tasarlanıp son ürün olan KM_x 'in de bünyesinde bağlı veya serbest Ksilen barındırmayacak şekilde üretilmesi gerekmektedir. KM_x in zaman içerisinde uçucu bir madde olan Ksilen salınımı yapmaması gerçekleştirilebilir hale getirilmelidir.

5.3 Lignoselulozik Malzemenin Sodyum Sülfid ile iyileştirilmesi

Bu uygulama yöntemi sadece LM üzerinde yapılan işlemlerden ibarettir. LM çeşitli metotlarla hamur haline getirilebilir.

Bu çalışmada uygulanan yöntem sodyum sülfid (Na_2SO_3) banyosuna tutma işlemidir. Birinci

aşamada LM farklı boyutlarda temin edilebilmektedir. Bu malzeme 1200 µm'luk elekte elenerek tane boyutu üniform hale getirilir. LM'yi hamur hale getirmek için gerekli çözelti hazırlanır. Bu çözelti %20 Na₂SO₃ (w/w) içerir. LM malzeme Na₂SO₃ çözeltisinde 95 °C de yaklaşık 30 dakika tutulur. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan ürün filtre kağıdı üzerinde yıkanılıp normal koşullarda kurutmaya bırakılır. Yaklaşık 48 saat sonunda malzemenin nem oranının stabil hale gelir. Bu durumda malzeme toprak halindedir. Bu haldeki malzeme 1500 rpm devirdeki karıştırıcı/öğütücünden geçirilir. Bu durumda elde edilen malzeme içerisinde nem barındırmaktadır. Elde edilen LM %40 LM ve %60 YYPE olmak üzere mekanik karıştırma işlemine tabi tutulup toz halde numune oluşturulur. Bu numune daha sonra eş dönüşlü boya ekstruderine granül kafası bağlanarak üretim geliştirilir. Makinenin rejim halindeki çalışma değerleri aşağıda verilmiştir. Kullanılan ekstruderin motor gücü 33.8 kW, akım şiddeti 82 A 'dir. 2. Pratik uygulamada yüksek sıcaklık değerinden dolayı malzemede ısıl bozunum gözlenmiştir. Bu sebeple 1. Pratik uygulamada üretilen kompozit malzeme granül hale getirilerek gerekli testler yapılmıştır. Proses sonucunda üretilen numunelerin MFI testleri yapılmıştır. Elde edilen test değerleri Tablo 5.2'de görülmektedir. Yapılan MFI testleri sonucunda elde edilen ürünün daha akıcı özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ancak temel mekanik muayeneler malzemenin esnekliğinde azalma olduğunu göstermektedir.

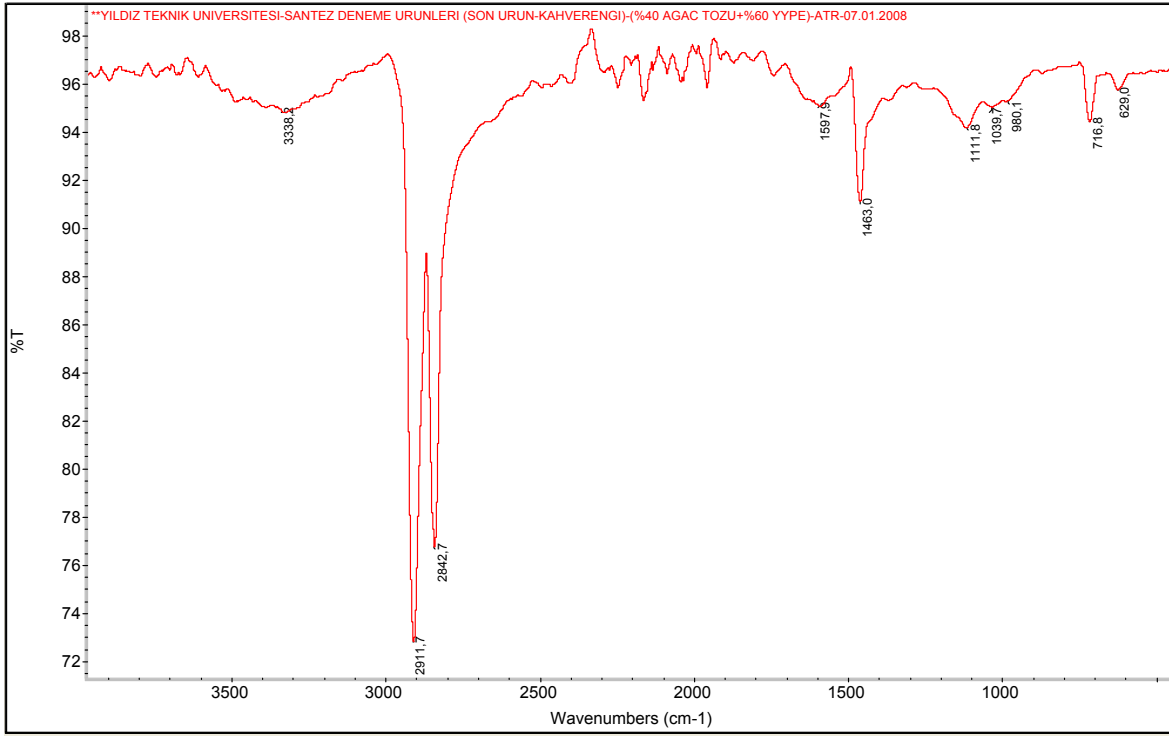
Şekil 5.8'de üretilen numunenin FTIR/ATR spektrometresi görülmektedir. FTIR cihaz yazılımının veri tabanındaki malzeme değerleri ile karşılaştırıldığında KM %84.39 oranında

Çizelge 5.1 Kompozit malzeme üretimi pratik çalışma verileri

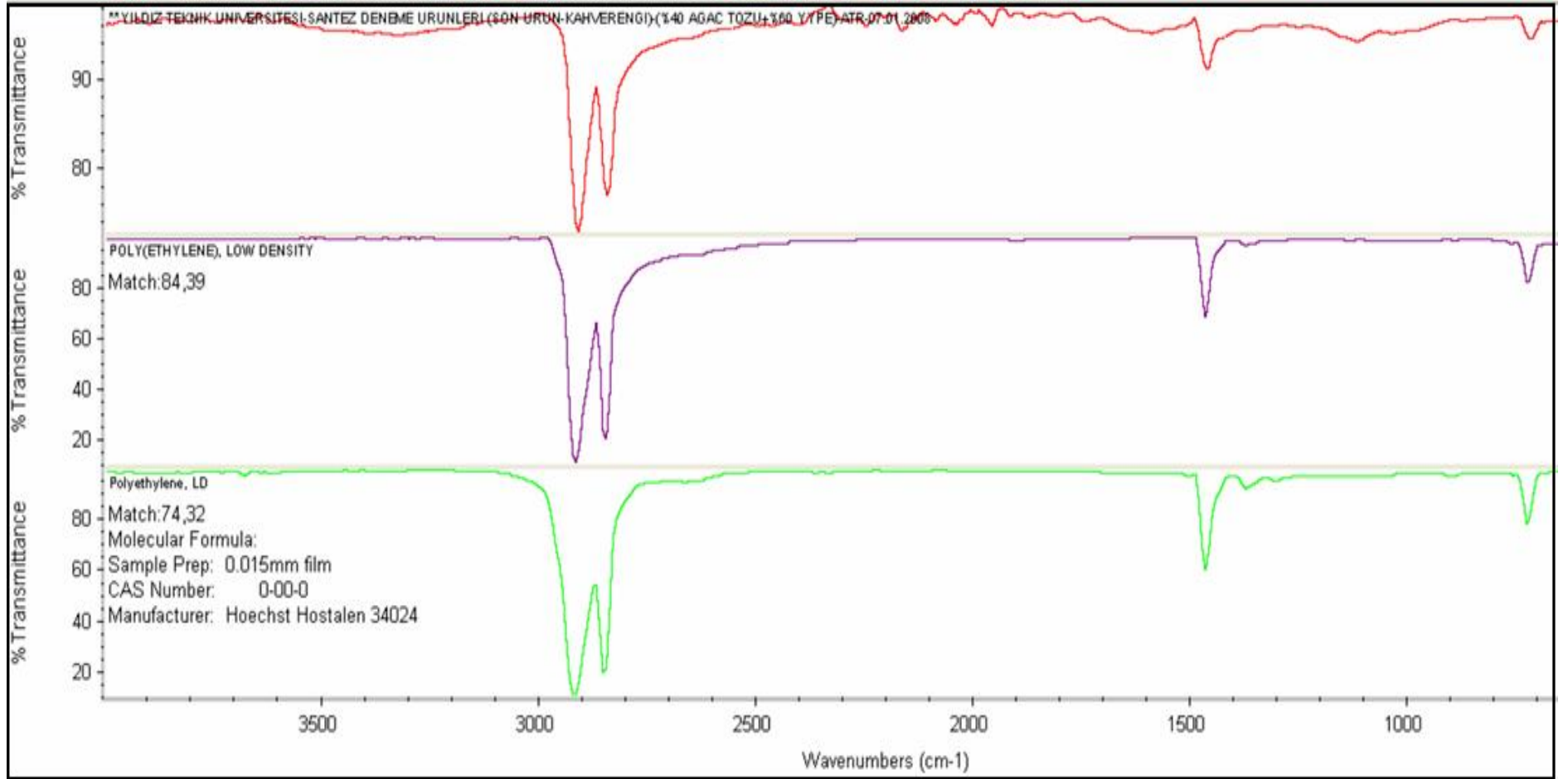
PRATİK ÇALIŞMA MAKİNE DEĞERLERİ			
		1.Deneme	2.Deneme
ISI BÖLGELERİ C°	I	120	120
	II	150	160
	III	155	160
	IV	155	180
	V	150	180
	VI	150	170
	VII	155	174
	VIII	155	190
	IX	160	195
	X	160	195
	XI	165	195

Çizelge 5.2 Kompozit malzeme MFI test sonuçları

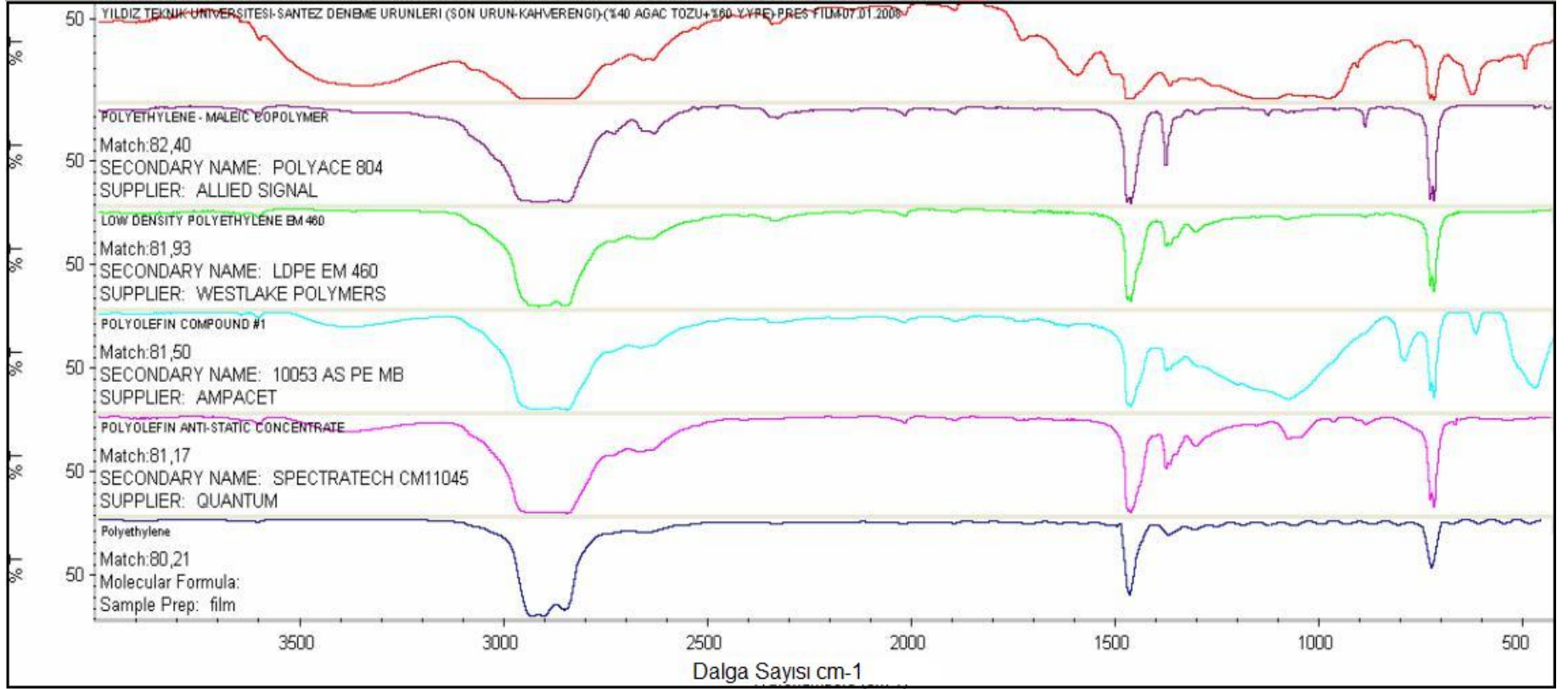
MFI VERİLERİ	
YYPE	0.1 gr/10 dk 10 kg'da 190 C°
KM 1	0.76 gr/10 dk 10 kg'da 190 C°
KM 2	0.85 gr/10 dk 10 kg'da 190 C°



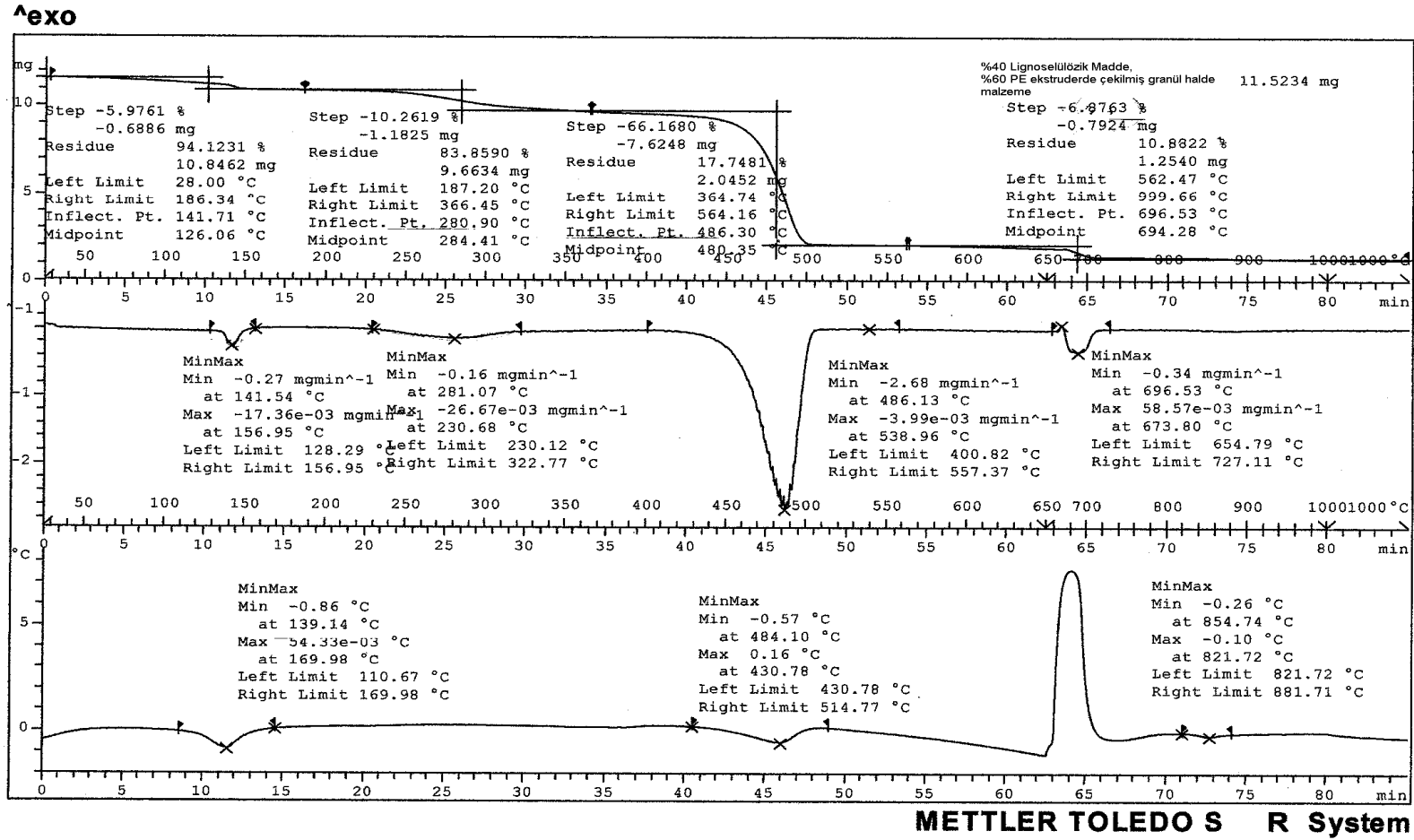
Şekil 5.7 Münferit kompozit malzeme ATR-FTIR spektrometresi: Geçirgenlik yüzdesi/dalga sayısı değişim grafiği



Şekil 5.8 KM FTIR spektrometresinin diğer malzeme spektrometreleri ile karşılaştırılması



Şekil 5.9 %40 LM %60 YYPE KM eğrisinin diğer malzemeler ile karşılaştırılması



Şekil 5.10 %40 LM %60 YYPE KM 'nin TGA Eğrileri

düşük Yoğunluklu Polietilen ile uyuşmaktadır. Bu uyuşmanın temel sebebi LM malzemenin düşük moleküler yoğunluğudur. Şekil 5.7 'de %40 LM, %60 YYPE oranlı KM'nin FTIR/ATR grafiği verilmiştir. Grafikte Selülöz ve YYPE e ait malzeme piklerine rastlanmıştır.

Şekil 5.9'da %40 LM %60 YYPE KM'nin diğer malzeme eğrileri ile karşılaştırılması görülmektedir. Bu karşılaştırmada KM'nin PE + Maleik Kopolimer ile %82 benzer geçirgenlik (Transmittency) yüzdesine sahip olduğu gözlenmiştir. Maleik Anhidrit Polipropilen'in (MAPP) Lignoselülözlik kompozitlerde katkı maddesi olarak kullanılması[6], pratik uygulamada elde edilen ürüne uygulanan ön işlemlerin, ürüne pozitif etki sağladığı sonucuna varılabileceğini göstermektedir.



Şekil 5.11 %40 LM %60 YYPE KM 'nin film hale getirilmiş görüntüsü (6x büyültme)

Şekil 5.11'de görülen görüntüde 4 adet KM granülü (KMG) numune presinde film haline getirilerek hazırlanmıştır. Bu 4 adet KMG'nin malzeme sınırları 4 eşit parça halinde KM filmi (KMF) üzerinde kolaylıkla görülebilmektedir. KMF ışığa tutulduğu zaman yarı saydam haldeki PE malzeme ve bu saydam malzeme üzerinde rasgele dağılmış LM partikülleri görülmektedir. Malzeme üzerinde yoğun kutuplaşma ve partikül toplanmaları (aglomerasyonlar) olmamakla beraber homojen bir dağılıma ulaşılamamıştır. Homojen dağılıma ulaşılamama sebebi LM ve YYPE'nin birbirinden farklı molekül ağırlık ve geometrilerine sahip olması ve üretimde kullanılan eş dönüşlü ekstruderin vida geometrisinin yeterli miktarda dağıtıcı karıştırma (dispersive mixing) özelliği olmaması olarak yorumlanabilir. Bu üretilen KM' de herhangi bir kimyasal katkı maddesi iç veya dış kaydırıcı kullanılmamıştır. Malzeme üzerindeki kısmi aglomerasyonların giderilmesi için polimer

üretiminde kullanılan katkı maddelerinin kullanımı söz konusu olduğunda daha homojen bir üretim elde edilebilir.

Grafik Şekil 5.10'da %40 LM %60 YYPE KM'nin TGA eğrileri görülmektedir. En üstte bulunan eğri %40 LM %60 YYPE KM 'nin sabit sıcaklık artışında ağırlık zaman $\left(\frac{m}{t}\right)$ bu denklemin birinci türevi $\left(\frac{dm}{dt}\right)$ ve DTA olarak tanımlanan ikinci türevi $\left(\frac{d^2m}{dt^2}\right)$ yer almaktadır.

$\left(\frac{m}{t}\right)$ Eğrisinin pikleri malzeme veri tabanları ile karşılaştırıldığında pikler yorumlanmıştır. Bu TGA analizinde 11.5234 mg KM kullanılmıştır. Birinci pik sonucunda %5.9761 oranında, 0.6886 mg ağırlığında kütleli kayıp meydana gelmiştir. Bu pikin orta noktası 126.06 C°'dir. Bu derecede meydana gelen kütleli kayıp uçucu maddeleri temsil etmektedir. Bu uçucu maddeler arasında su da bulunmaktadır. İkinci pik sonucunda %10.2619 oranında, 1.1825 mg ağırlığında, kütleli kayıp meydana gelmiştir. Bu pikin orta noktası 284.41 C°'dir. Bu sıcaklık değeri lignoselülözük maddelerin bozunma sıcaklığına tekabül etmektedir. Üçüncü pik noktası sonucunda %66.1680 oranında, 7.6248 mg ağırlığında kütleli kayıp meydana gelmiştir. Bu pikin orta noktası 480.35 C°'dir. Bu sıcaklık değeri PE'nin bozunma sıcaklığını ifade etmektedir. Son pik %6.8763 oranında, 0.7924 mg ağırlığında kütleli kayıp meydana gelmiştir. Bu pikin orta noktası 694.20 C°'dir. Bu sıcaklık değeri CO₂ nin bozunma sıcaklığını ifade etmektedir. İşlem sonucunda %10.8822 inorganik oksit (kül) artık olarak kalmıştır. KM yüksek oranda inorganik oksit barındırmaktadır. Bu inorganik oksitler piyasada granül halde temin edilebilen APK'nin inorganik oksit oranlarına göre çok yüksektir. Bu oranın yüksek olma sebebi Na₂SO₃ ile yapılan uygulama sonucunda olma ihtimali vardır. Bu konu ileriki araştırmalara ışık tutacak seviyede kullanılabilir.

Eş dönüşlü ekstruderde üretilen KM mevcut plastik üretim yöntemlerinin belirli seviyede LM'e göre dizayn edilmesi durumunda kullanılabilir olacağını göstermektedir. Ancak bu çalışmada yapılan TGA analizinde görüldüğü gibi LM malzemelerle üretilen KM in bünyesinde nem ve diğer uçucu maddeler barındırılmaktadır. Bu uçucu maddelerin uzun vadede (3-5 yıl) KM'in bünyesinde bulunması durumunda KM'e olan etkileri ileriki bir araştırma konusu olarak belirlenmelidir. Bu çalışmada daha önceki çok düşük nem oranında çalışma zorunluluğu ifadesi gerçekleşmiştir. Üretilen KM'in esnekliğinde azalma olduğu ancak malzeme akışında artış olduğu gözlenmiştir. Film halindeki KM numunesindeki kısmi topaklaşma (aglomerasyonun) malzemenin genelinde gözlenmiştir. Bu uyumsuzluk KM üretim prosesinde yüksek dağıtıcı karıştırma özelliğine sahip olan ekstruder vidalarının ve uygun kimyasal

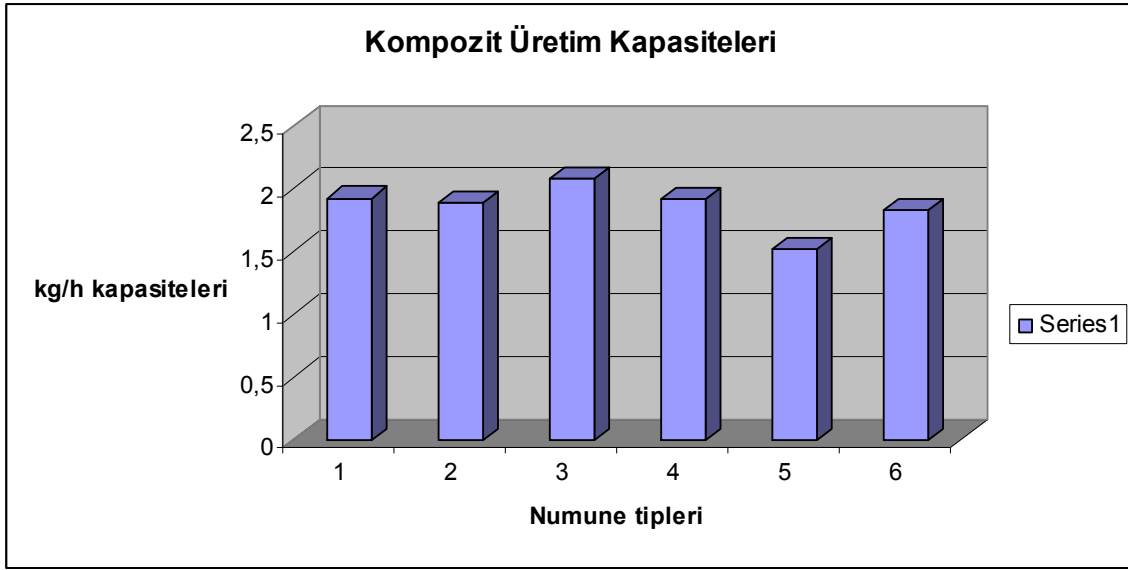
kaydırıcı malzeme seçimlerinin yapılmasının önemli bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

5.4 Ekstruderde Temel Denemeler

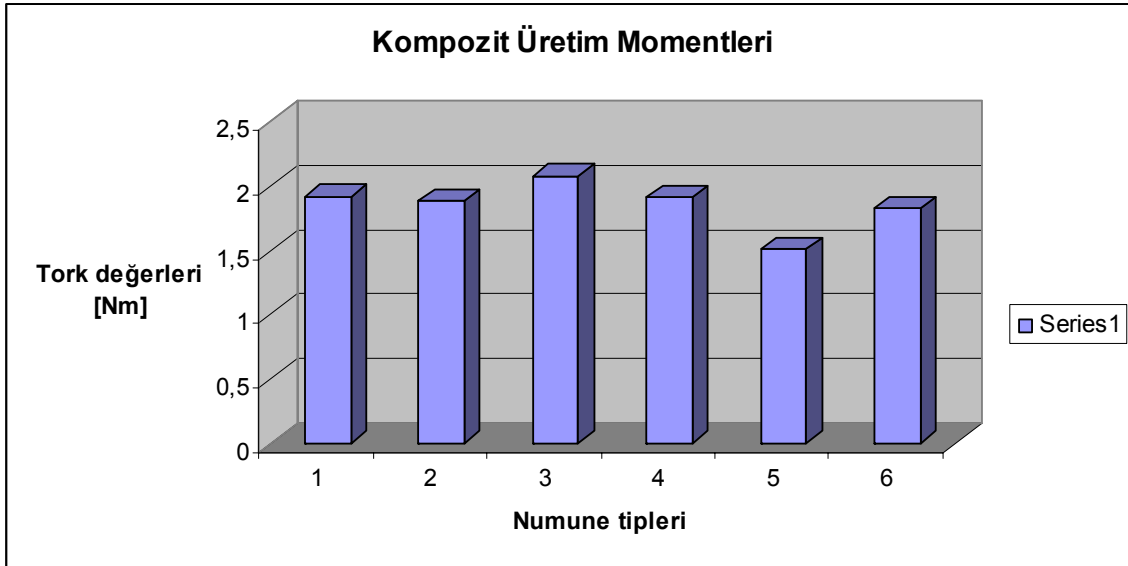
Yukarıda yapılan ön denemeler sonucunda farklı iki adet iyileştirme metodu ve yine iki farklı adet LM üzerinde yoğunlaşmıştır. Kullanılan iyileştirme metotları sodyum sülfid ile LM'nin hamur haline getirilmesi işlemi ve 5.2.1 başlığında tanımlanan alkol bazlı kimyasal uygulamadır. Bu uygulamalara ek olarak kullanılacak LM'in su ile yıkanıp tekrar kurutulma işlemi de bu iyileştirme metotlarının bağıl etkisini gözlemlemek amacıyla ayrı bir numunede uygulanması kararlaştırılmıştır. Yine bu işlemlerin hangi odun talaşı tipinde ne derece etkisi olduğunu gözlemlemek için çam ve kayın talaşlarında ayrı ayrı bu iyileştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler sıcaklık kontrollü fırında 110 °C sıcaklıkta 8 saat kurutmaya bırakılıp vakumlu kaplarda saklanmıştır. Toplamda hazırlanan 6 adet numune ticari adı "PETİLEN I22-19T" AYPE ile %50 oranında mekaniksel karışım yapılmıştır. Kullanılan AYPE'nin erime akış indeksi (MFR) 17-29 g/10 d'dır. (2160g, 190 °C, ASTM D-1238). Testte kullanılan AYPE'nin ölçülen MFI değeri 20 g/10 d'dır. Yoğunluğu 0,917-0,921 g/cm³'tür. (ASTM D-1505). Ürün pellet haldedir. Bu karışımın ağırlıkça %2.5 değerinde Maleik Anhidrit Polipropilen bazlı DuPont Fusabond M613-05 iç kaydırıcı ürünü eklenmiştir. Bu ürünün erime akış indeksi 49 gr/10 dak. (190°C ve 1 kg) ve erime noktası 162 °C'dir. Hazırlanan 6 adet numune laboratuvar ekstruderinde çekilerek granül hale getirilmiştir. Kullanılan laboratuvar ekstruderi Brabender PL 2000-3 konik çift vidalı ölçüm ekstruderidir, Efektif vida uzunluğu 330 mm, zıt dönüşlü, 0-350 °C sıcaklık aralığında çalışan, 3 adet ısı bölgesi, max tork değeri 200 Nm, 50/60 Hz, 4,3 kW motor gücü ve 18A akım şiddetine sahiptir. Çekilen granül haldeki malzemelerin DSC, TGA, MFI ve çekme dayanım testleri yapılmıştır.

Çizelge 5.3 Ekstruder Çalışma Verileri

Uyg.	Sıcaklık Bölgeleri				Açısal Hız	Kapasite	Moment	Açıklama
	I	II	III	IV	rpm	kg/h	Nm	
1	119	134	139	140	30	1,92	42,1	Kayın-Alkol
2	120	133	140	140	30	1,89	40,3	Kayın Sodyum Sülfid
3	120	133	140	140	30	2,08	41	Kayın-Su
4	120	134	141	140	30	1,91	22	Çam-Su
5	120	133	140	140	30	1,51	32,6	Çam-Sodyum Sülfid
6	121	135	141	140	30	1,83	45	Çam-Alkol



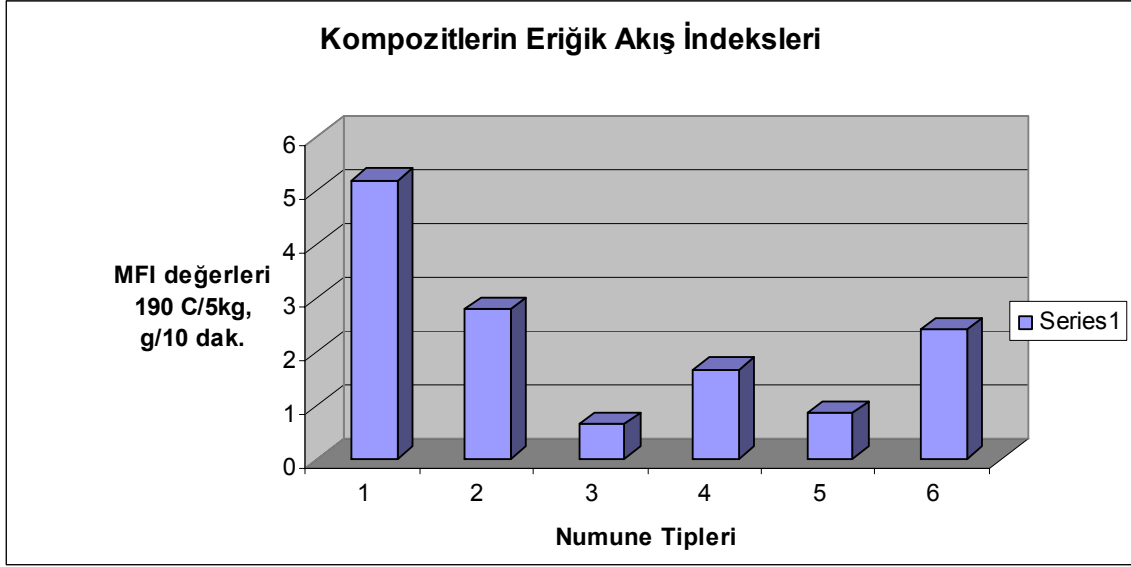
Şekil 5.12 Kompozit Üretim Kapasiteleri



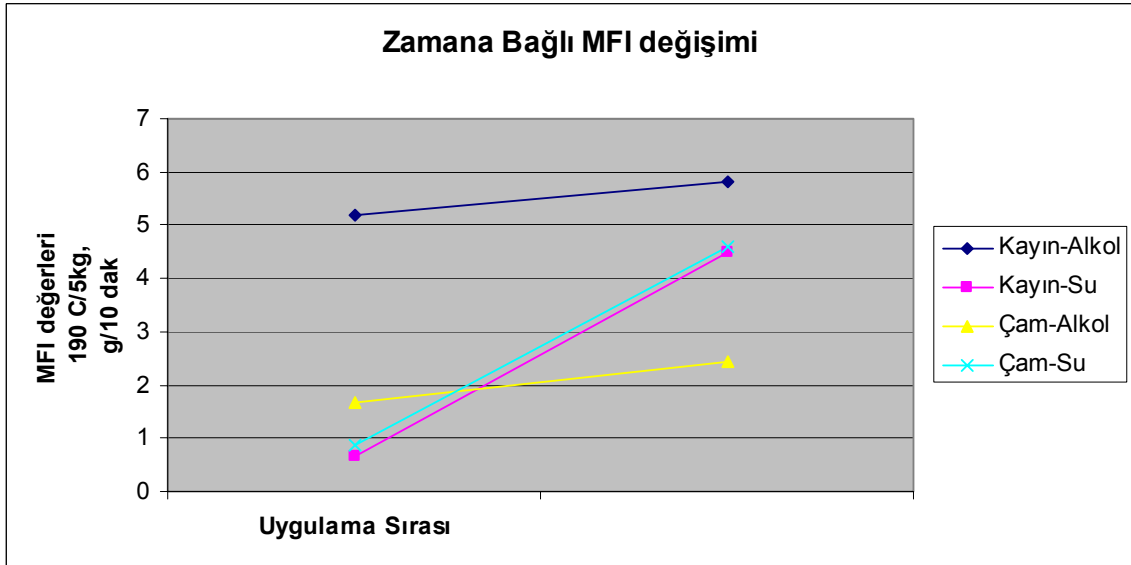
Şekil 5.13 Kompozit Üretim Momentleri

Şekil 5.14'te ASTM D 1238 normuna göre MFI testleri yapılmıştır. Bu testlerle karşılaştırma olması açısından ticari olarak satılan Helmholtz marka ahşap polimer kompozit granüllerinin MFI testleri yapılmıştır. Bu yapılan test sonuçlarına göre %70 talaş içeren PP granülleri için yapılan MFI ölçümlerinde 190°C / 2,16-5-10-12,5 ve 15 kg yüklerde numunenin akmadığı gözlenmiştir. Düz PP'nin MFI değeri ise 190°C ve 2,16 kg yükte 3,83 gr/10', 190°C ve 5 kg yükte 16,25 gr/10' olarak ölçülmüştür. Helmholtz talaşlı PP granülleri ile 230°C / 2,16 ve 5 kg yüklerde akış olmamıştır. 230°C / 10 kg yükte ise MFI değeri 13,63 gr/10' ölçülmüştür fakat

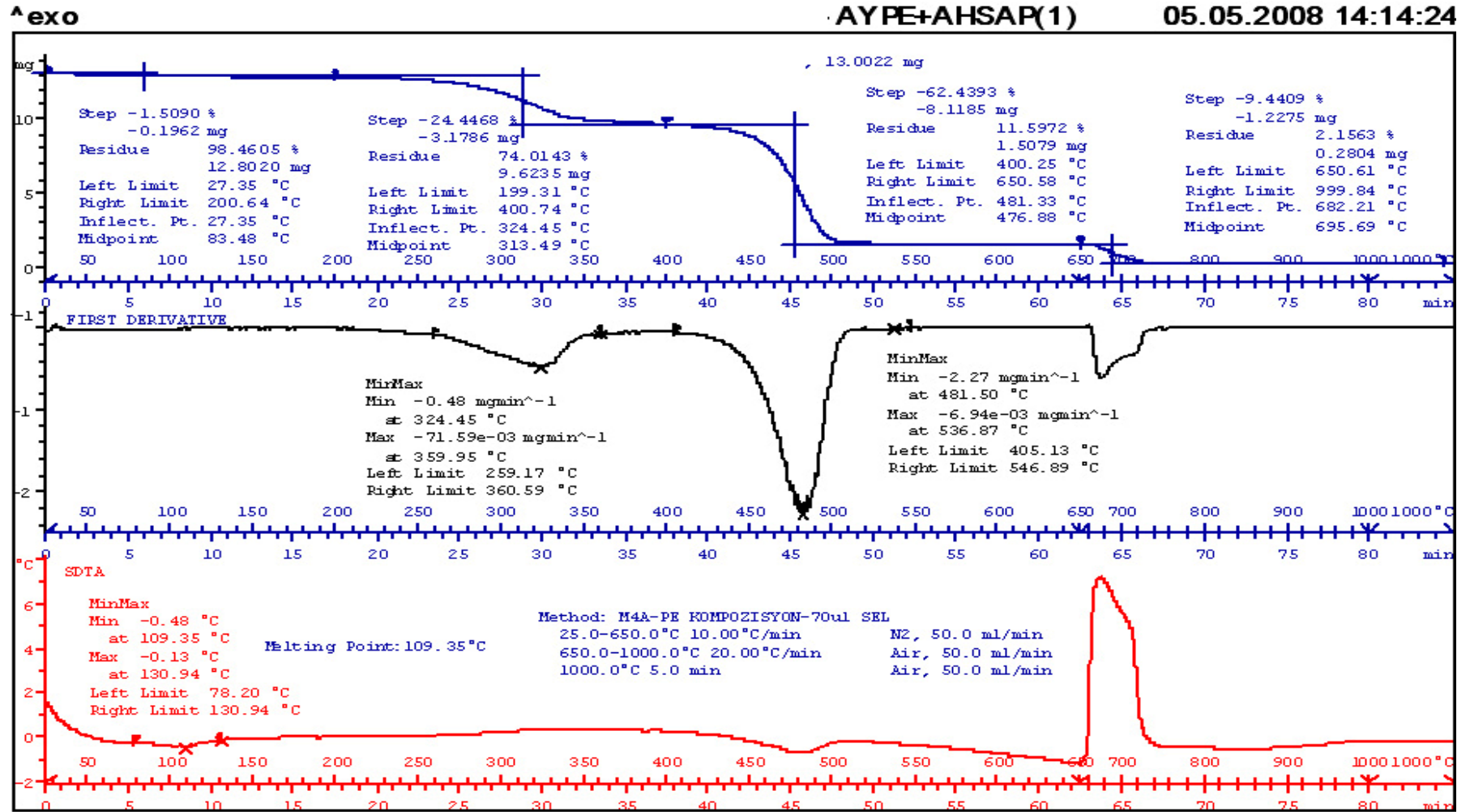
bu sıcaklıkta talaşlar yanmaktadır. Türkiye’de üretilen deneme amaçlı ahşap profillerin kırması ile yapılan MFI ölçümlerinde akış için minimum sıcaklık ve yük değerleri 190°C / 12,5 kg olarak belirlenmiştir. Bu değerde MFI değeri 2,6 gr/10’ bulunmuştur. Kırma işlemi ile polimer zincirleri kırılmış olduğu için kırma malzemenin daha kolay akması zaten beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5.14 Kompozitlerin Erişik Akış İndeksleri



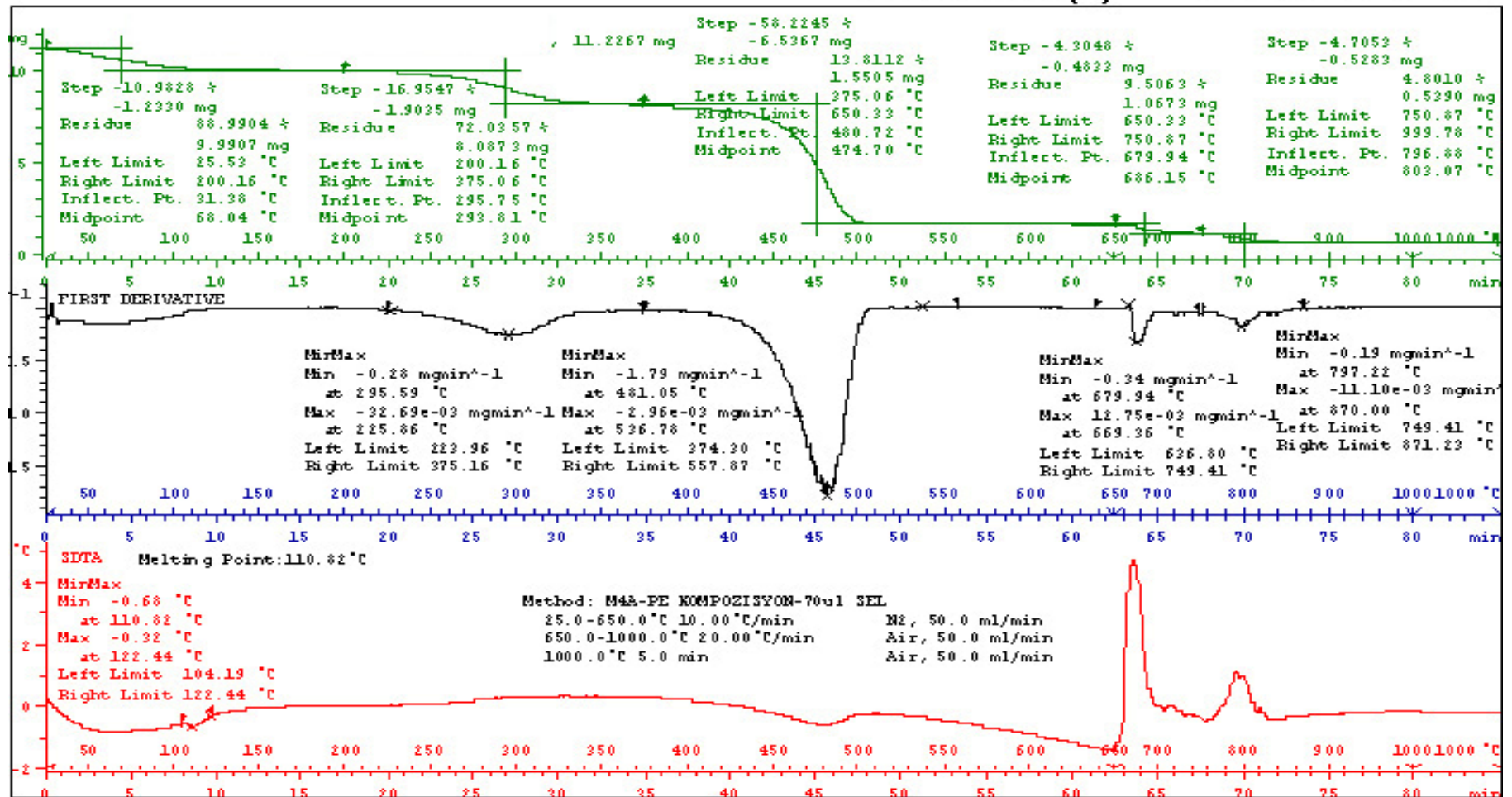
Şekil 5.15 Zamana Bağlı MFI değişimi



Şekil 5.16 Kayın talaşı-alkol iyileştirmesi TGA eğrisi

AYFE+AHSAP(2)

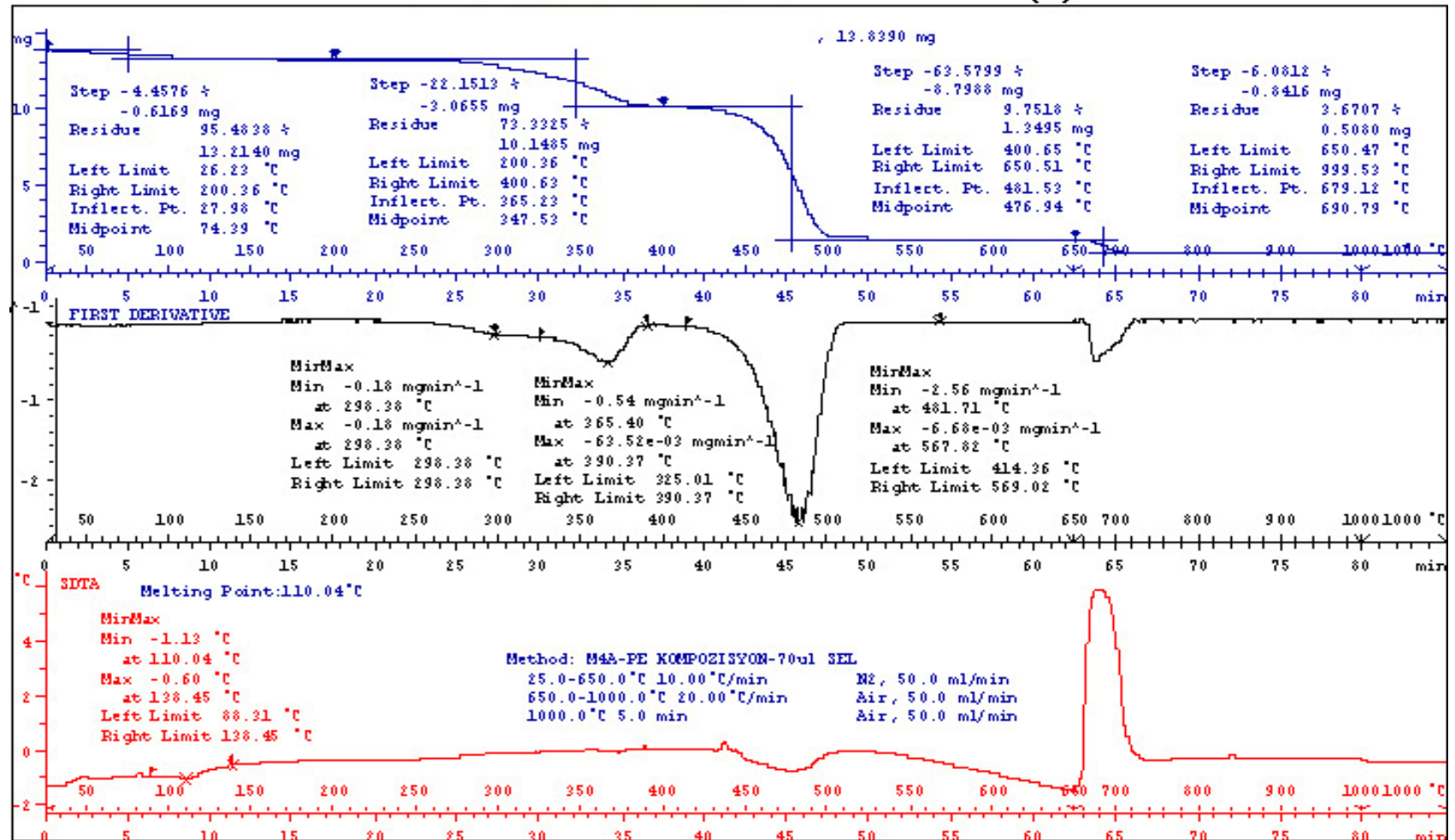
05.05.2008 14:19:32



Şekil 5.17 Kayın talaşı-Sodyum Sülfid iyileştirilmesi TGA eğrisi

AYRE+AHSAF(3)

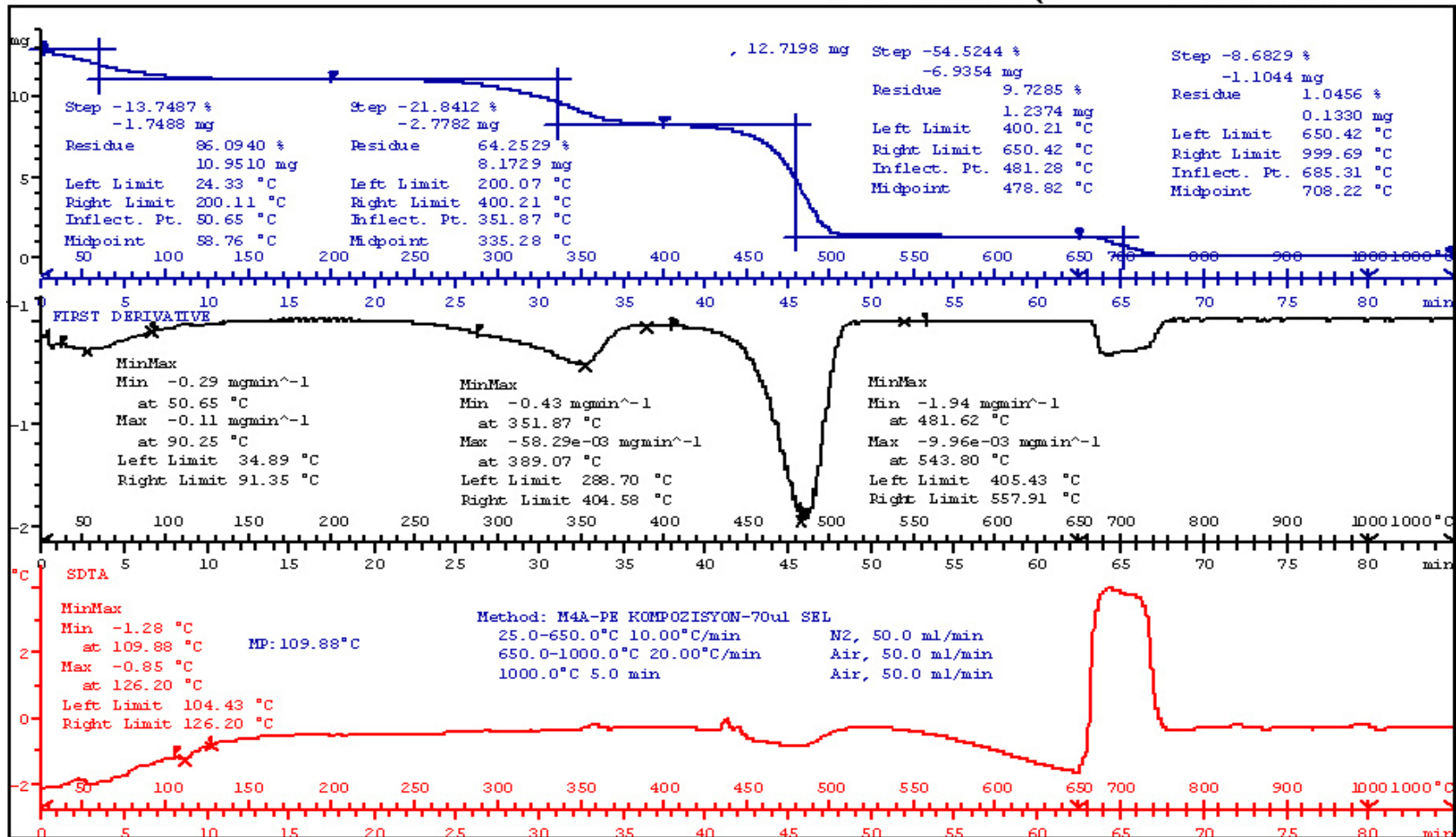
05.05.2008 14:09:54



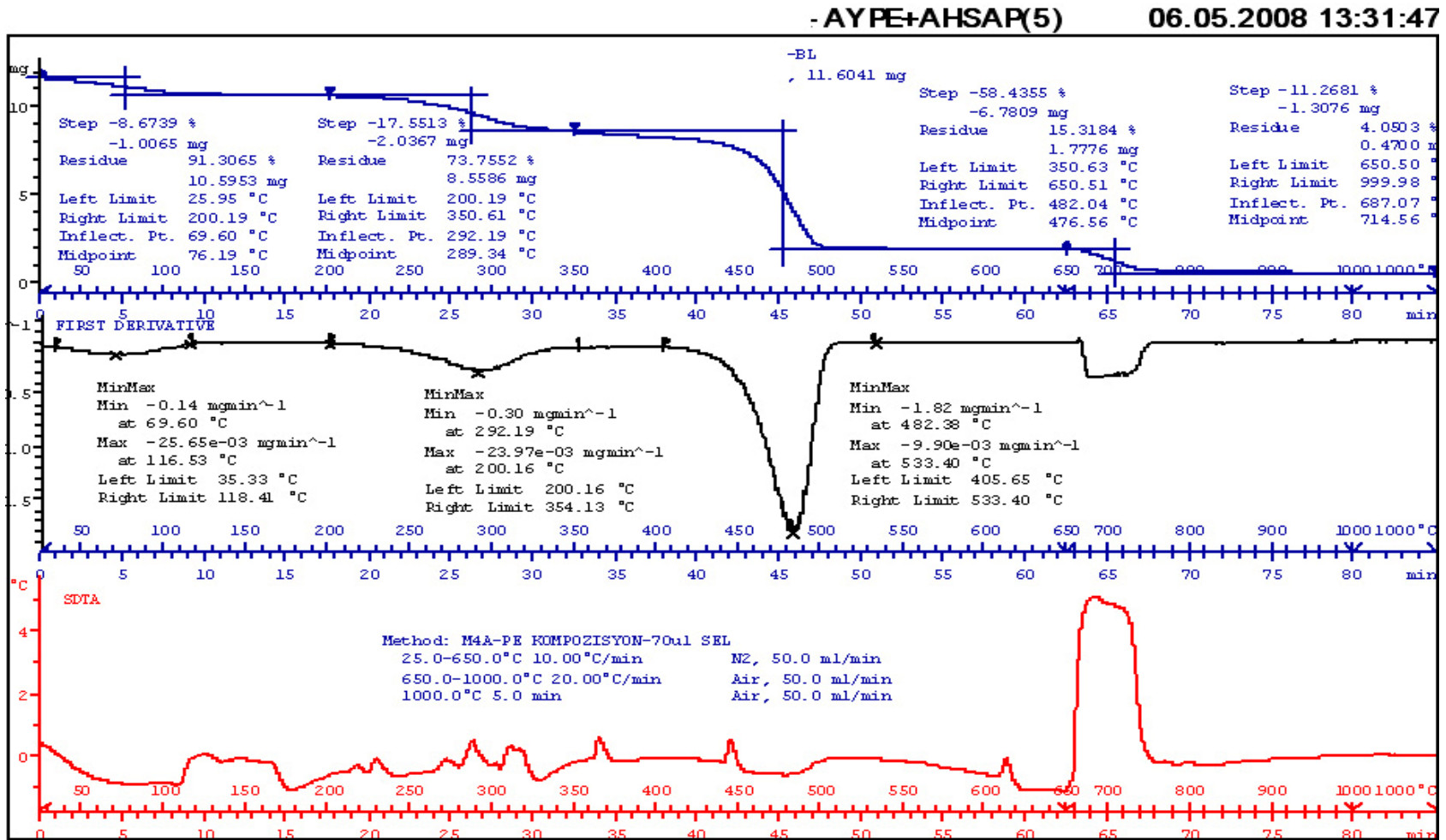
Şekil 5.18 Su ile yikanmış kayın talaşı TGA eğrisi

AYPE-AHSAR(4

16.05.2008 11:49:55



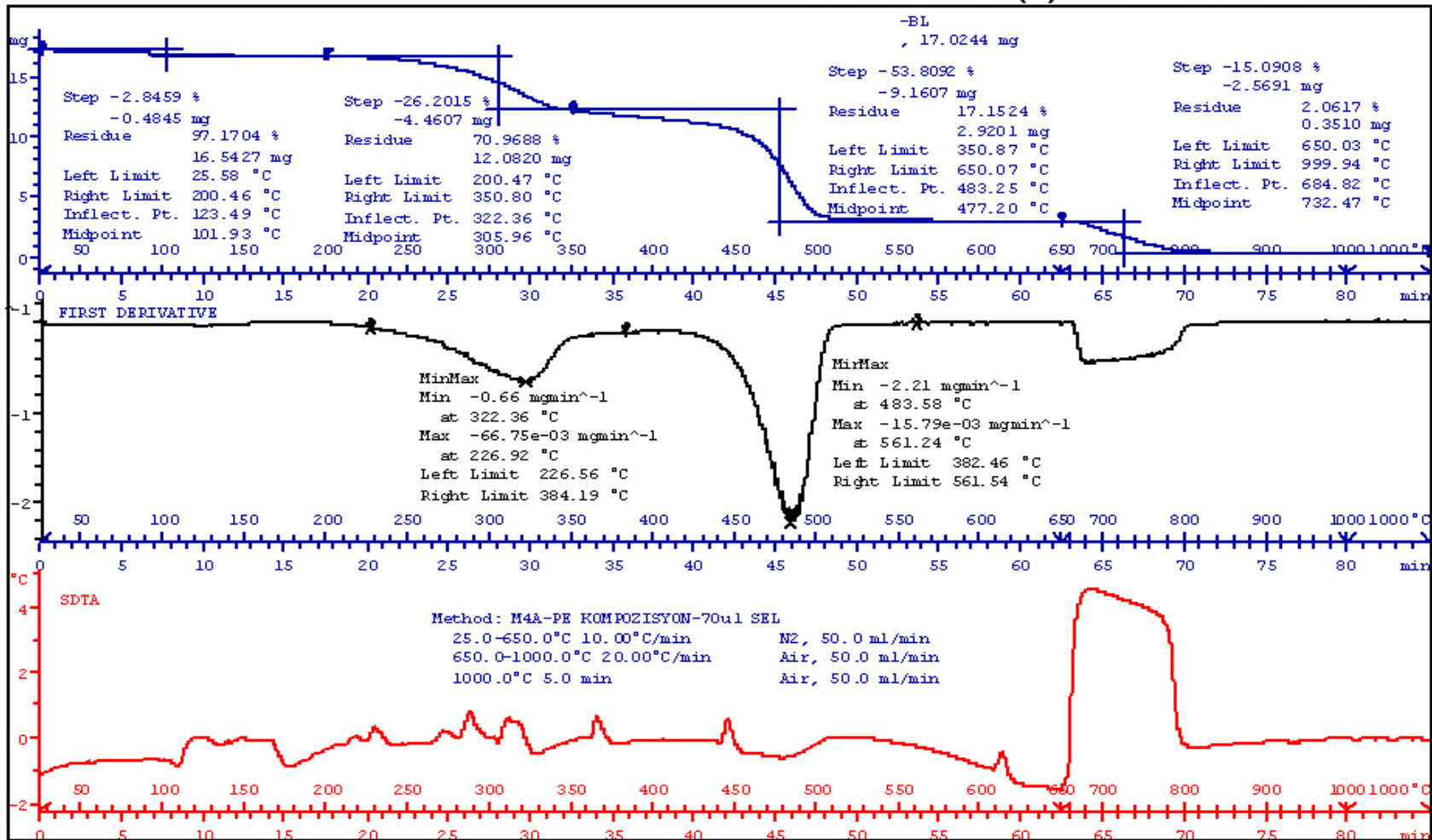
Şekil 5.19 Su ile yıkanmış çam talaşı TGA eğrisi



Şekil 5.20 Çam talaşı-Sodyum Sülfid iyileştirilmesi TGA eğrisi

·AYPE+AHSAP(6)

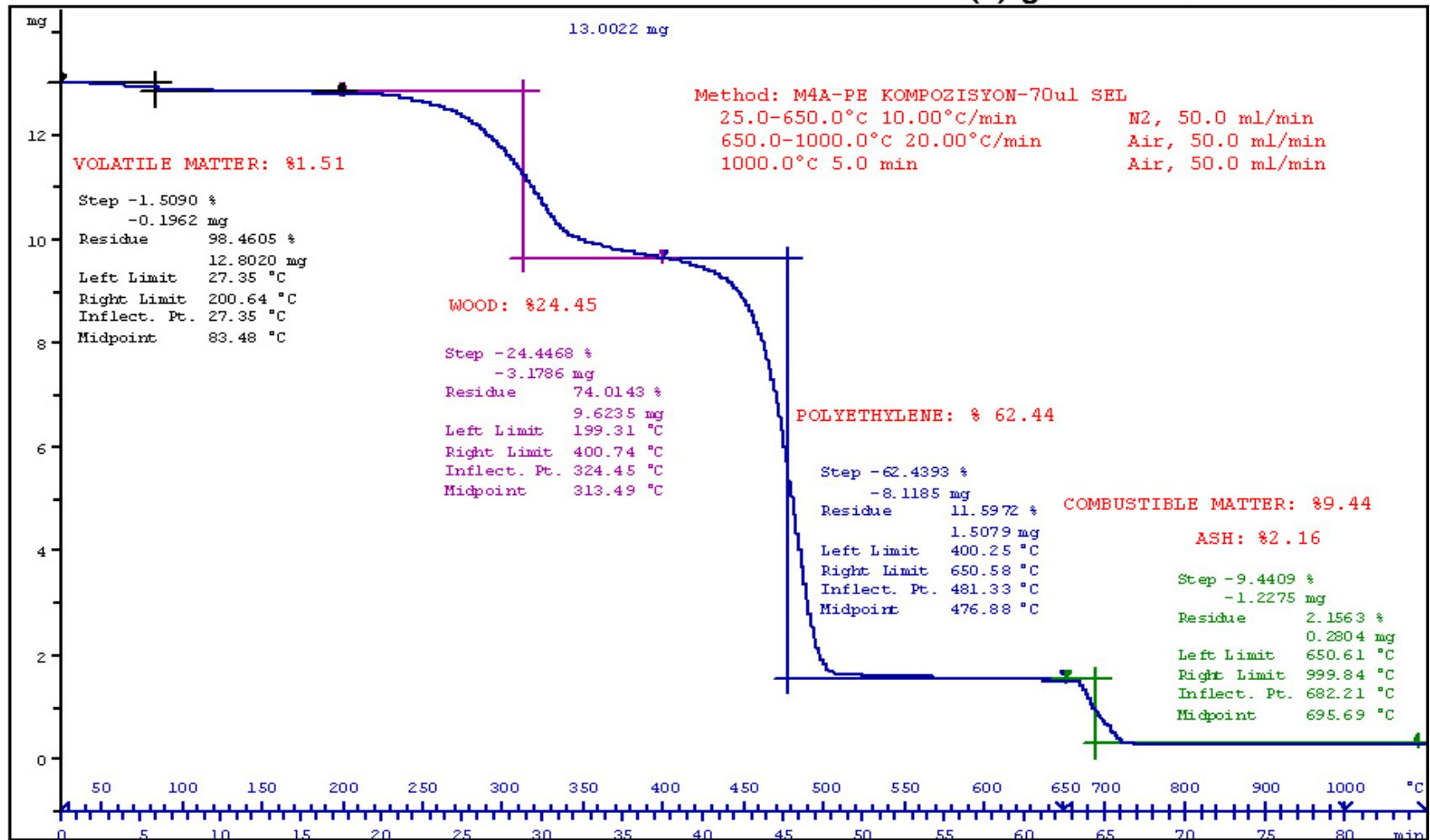
06.05.2008 14:47:26



Şekil 5.21 Çam talaşı-alkol iyileştirme TGA eğrisi

AHSAP(1)tga

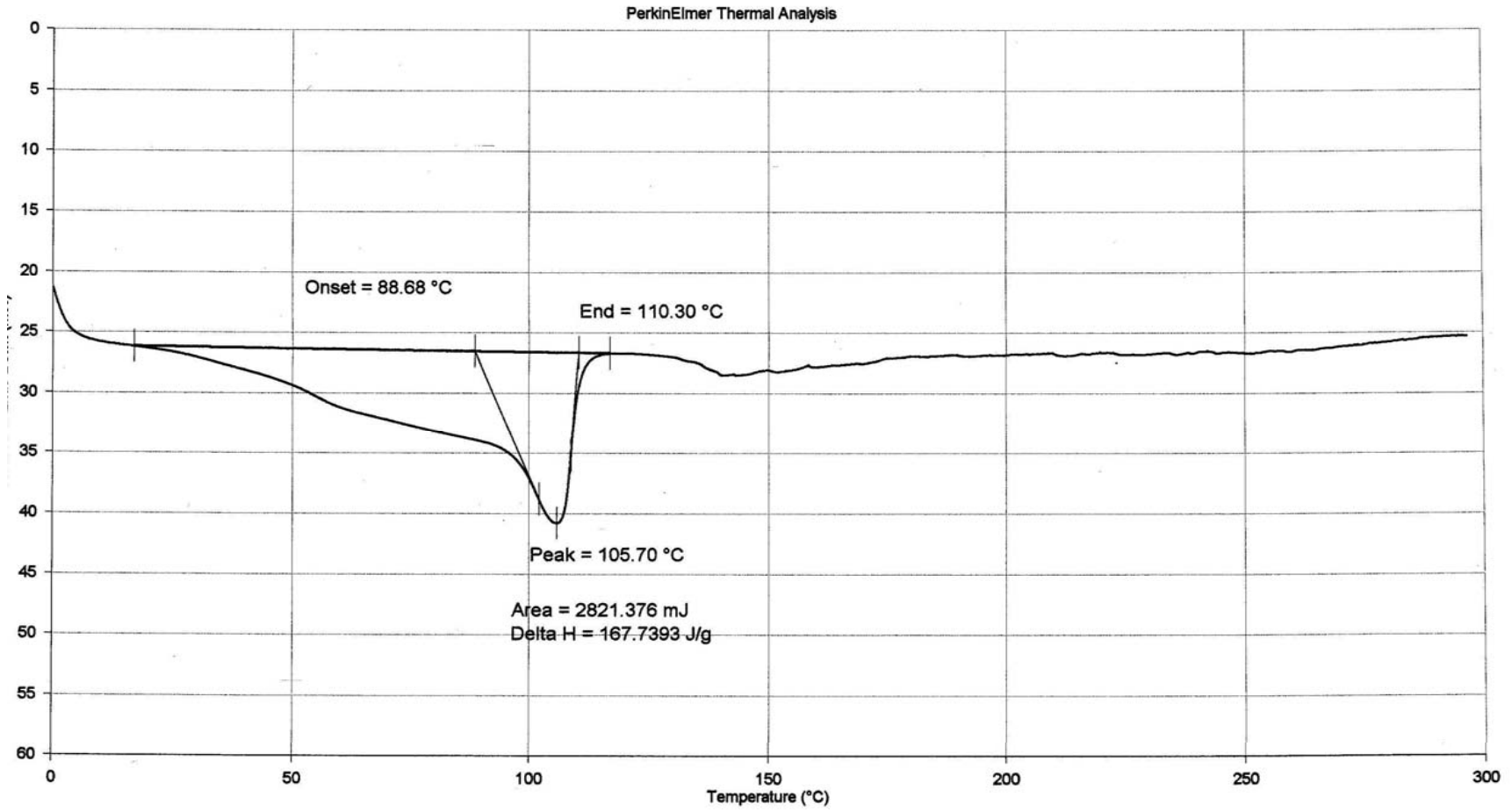
16.05.2008 17:58:18



Şekil 5.22 Kayın talaşı-alkol iyileştirmesi TGA piklerinin yorumlanması

Çizelge 5.4 Üretilen ahşap polimer kompozitlerin çekme dayanım test sonuçları

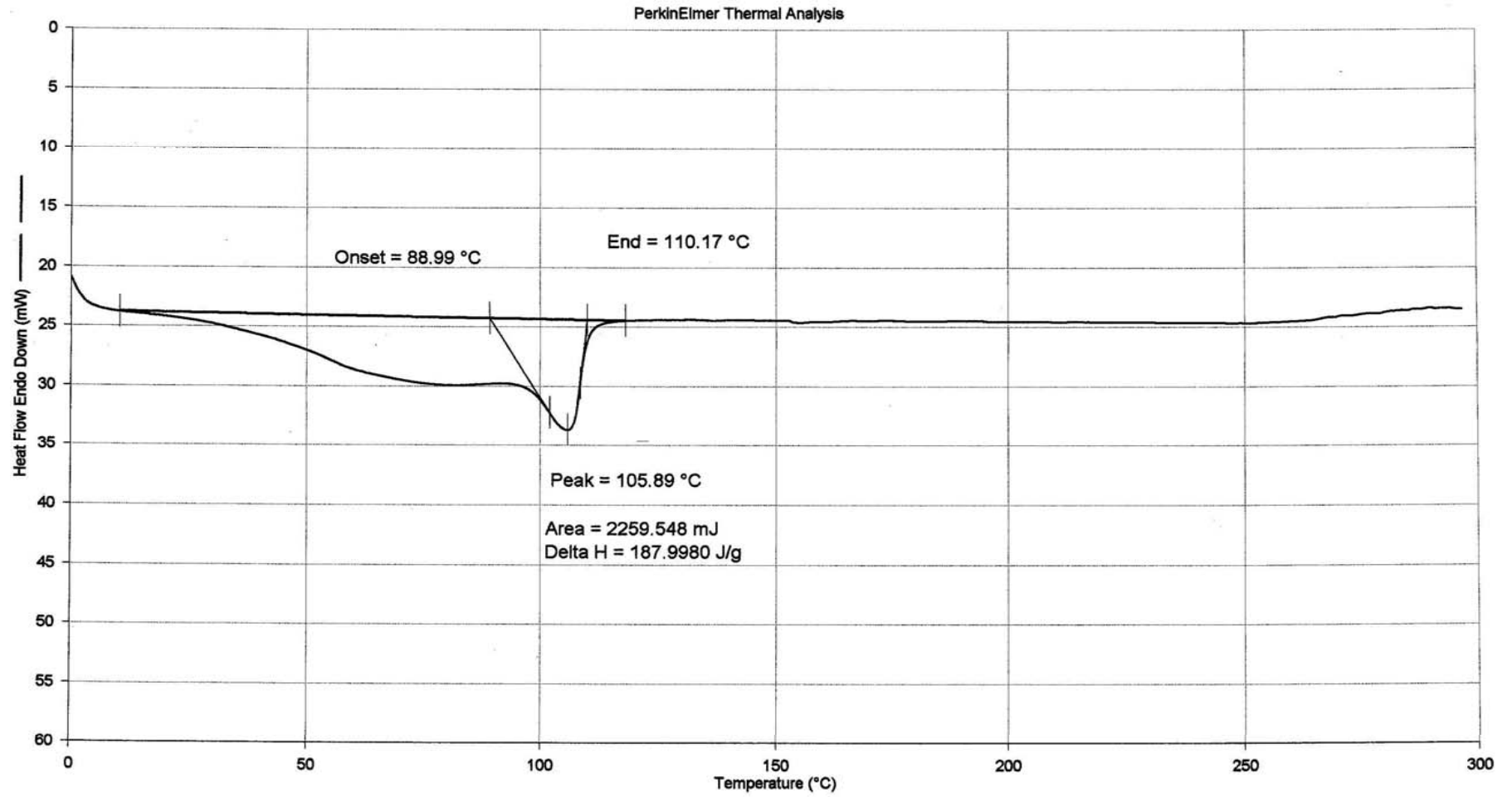
NUMUNE NO	KALINLIK (mm)	KOPMADA GER.DAY. (kg/cm ²)	KOPMADA UZAMA (%)	NUMUNE NO	KALINLIK (mm)	KOPMADA GER.DAY. (kg/cm ²)	KOPMADA UZAMA (%)
1	1,684	63	2	4	1,777	48	1
	1,623	66	2		1,779	48	2
	1,639	68	4		1,774	54	3
	1,750	58	3		1,831	48	4
ORTALAMA	1,674	64	3	ORTALAMA	1,790	50	3
2	1,721	48	4	5	1,770	44	2
	1,623	54	1		1,639	53	2
	1,600	54	3		1,642	52	2
	1,717	43	2		1,739	47	2
ORTALAMA	1,665	50	3	ORTALAMA	1,698	49	2
3	1,742	56	4	6	1,817	38	0,5
	1,720	60	4		1,860	63	2
	1,788	59	4		1,785	65	2
	1,721	59	2		1,831	62	2
ORTALAMA	1,743	59	4	ORTALAMA	1,823	57	2
				I22-19T	1,875	60	141
				LOT NO:	1,954	63	159
				80130005	1,919	65	149
					1,910	65	182
				ORTALAMA	1,915	63	158



5/2/2008 4:54:13 PM

Heat from 0.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

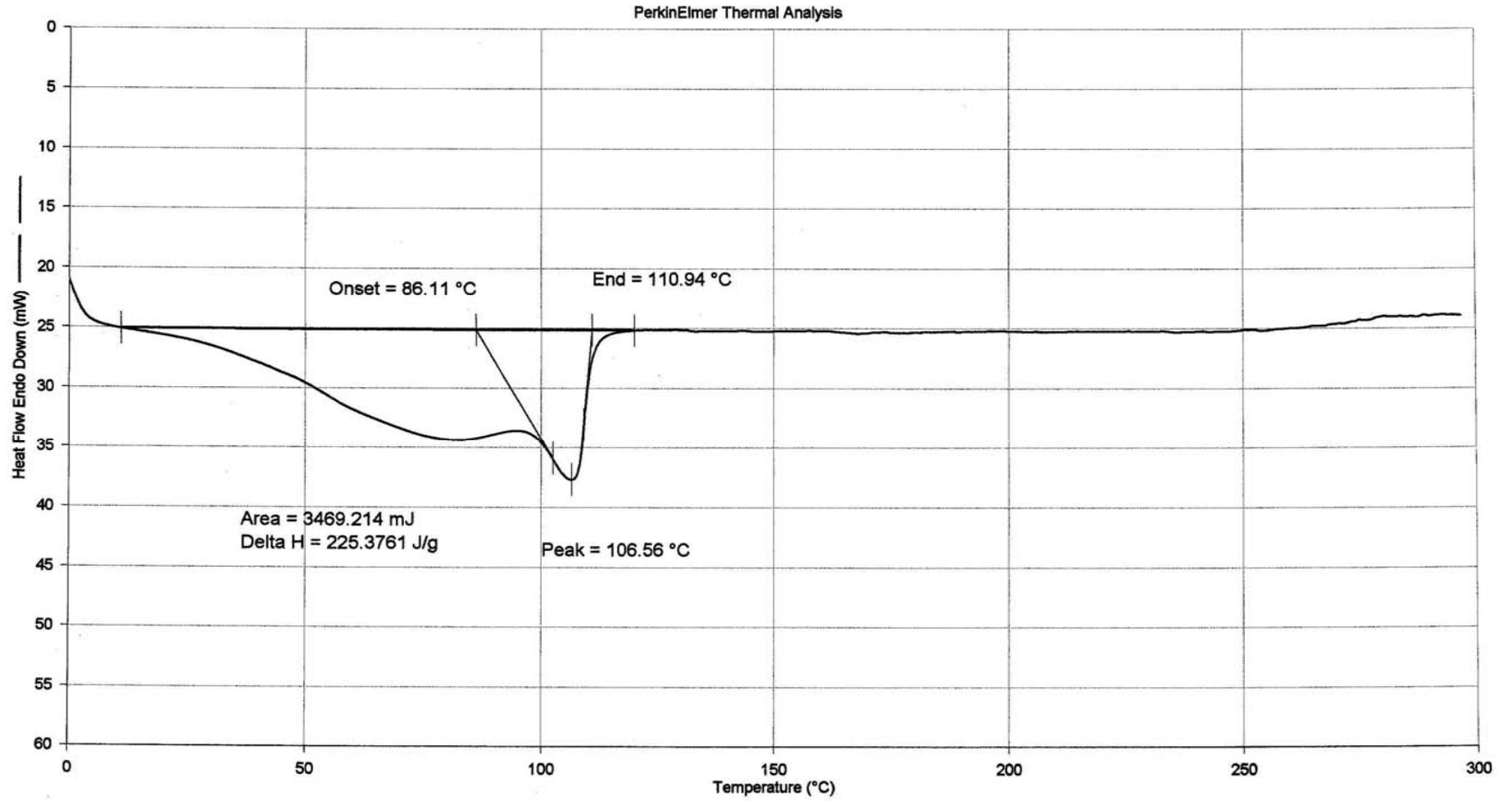
Şekil 5.23 Kayın talaşı-alkol iyileştirilmesi DSC eğrisi



5/2/2008 6:41:40 PM

1) Heat from 0.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

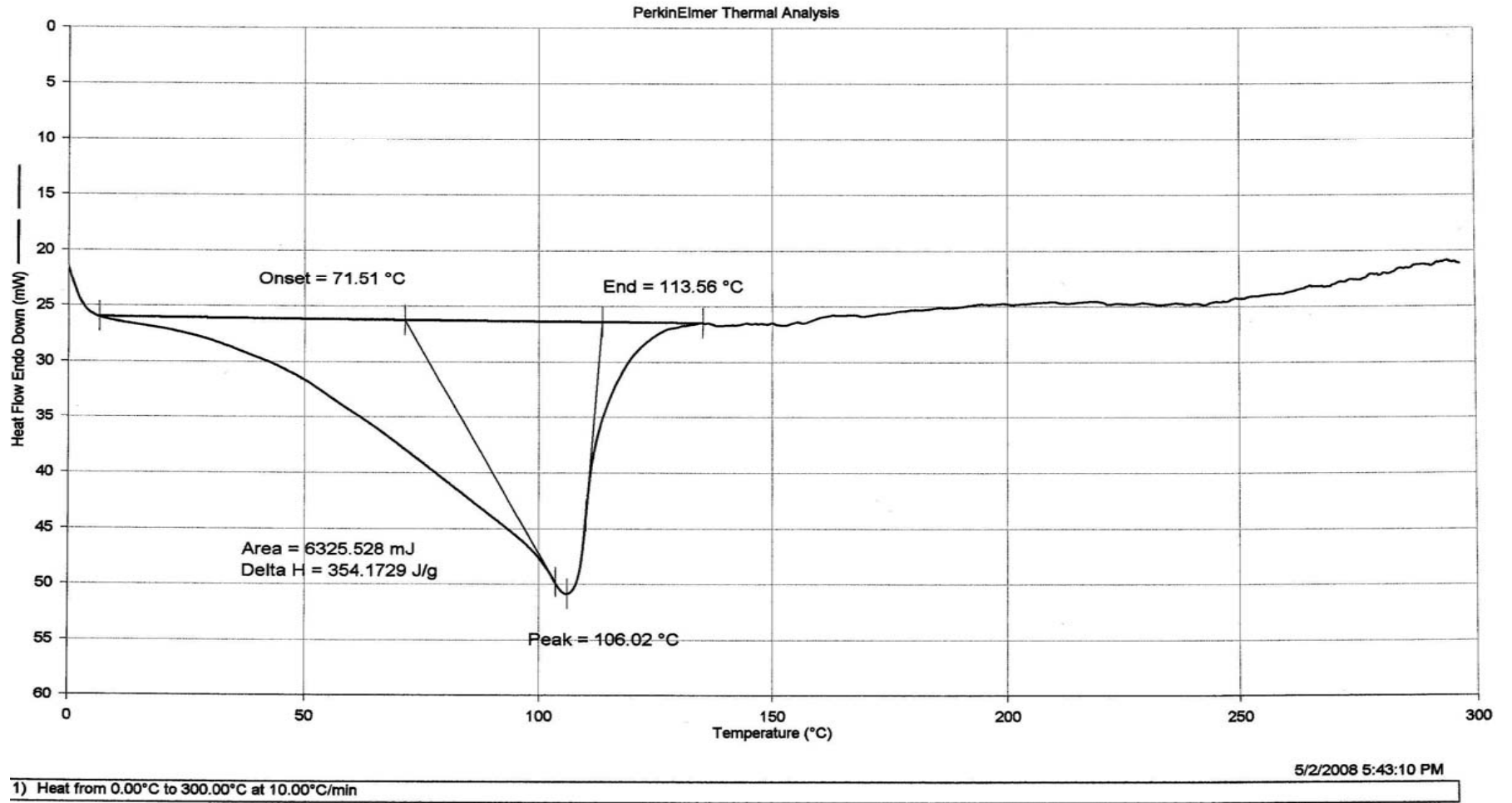
Şekil 5.24 Su ile yıkanmış kayın talaşı DSC eğrisi



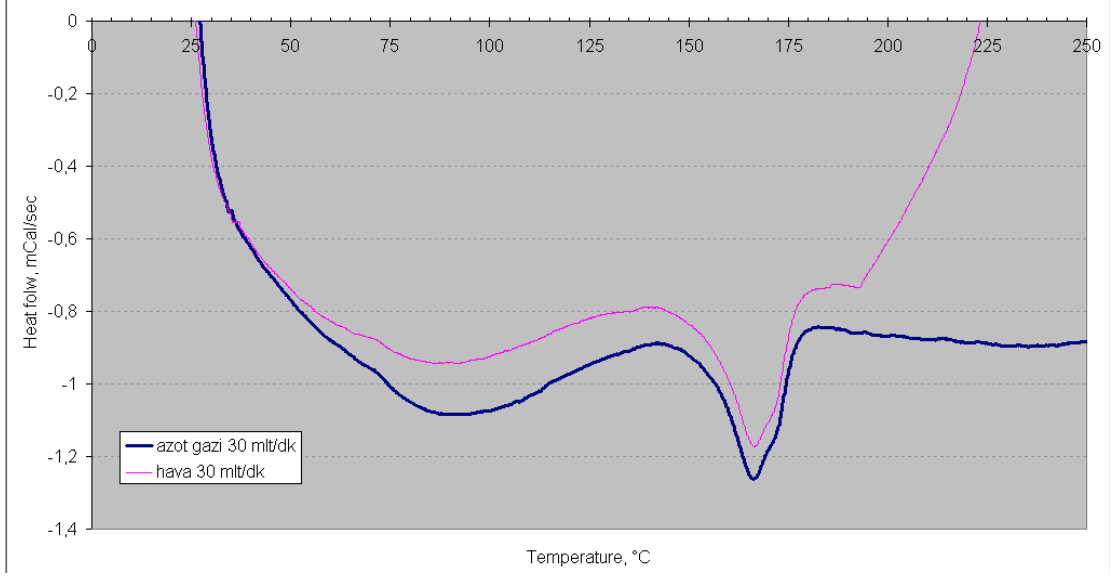
5/2/2008 7:25:12 PM

1) Heat from 0.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

Şekil 5.25 Su ile yıkanmış çam talaşı DSC eğrisi



Şekil 5.26 Çam talaşı-Sodyum Sülfid iyileştirmesi DSC eğrisi



6. **Şekil 6.1** Helmholz firmasının ticari olarak ürettiği ahşap polimer kompozit granülleri DSC eğrisinin ticari olarak ürettiği ahşap polimer kompozit granülleri DSC eğrisi

SONUÇLAR ve YORUM

Yapılan laboratuvar ekstruderi çekim uygulamasında belirli birim zamanlarda malzeme ağırlığı ölçülmüş ve ekstruder panelinden tork değerleri okunmuştur. Ancak bu okunan değerler zamanla farklılık göstermektedir. Bu sebeple birden çok sayıda veri alınmış ve bu verilerin aritmetik ortalaması alınarak sonuçlar dengelenmiştir. Okunan datalardaki bu tutarsızlık farklı geometrik formda olan ahşap talaşı (toz), ve AYPE'nin (granül), birbiriyle tam anlamıyla karışamamasından kaynaklanmaktadır. Bu göstermektedir ki denemede kullanılan standart bir konik ekstruder geometrisine paralel klasik bir vida tasarımı ahşap polimer üretimine uygun değildir.

Genellikle ilaç ve boya sektörü gibi farklı özellikteki ısıya hassas ürünlerin imalatında kullanılan karıştırıcı pime sahip yüksek devirli vidalı üretim sistemleri farklı yapıdaki bu iki maddenin birbirine bağlanarak kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

Şekil 5.12'de görüldüğü gibi en yüksek kapasiteli üretim kayın-su ve bu değere çok yakın olan kayın alkol uygulamasında elde edilmiştir. Özellikle kayın talaşından elde edilen yüksek kapasite bu ürünün moleküler yapısındaki reçine yapışkanlığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Aslen kayın talaşının nem tutma oranı düşük olmasına rağmen bu çalışmada yüksek basınç oluşumu olmadığı için iki talaş arasındaki nem farkının karışım viskozitesine olan etkisi ihmal edilebilir mertebededir.

Şekil 5.12 ve 5.13 birlikte incelendiği zaman aradaki benzerlik açık olarak görülmektedir. Buradan çıkan sonuç üretilen malzeme miktarı ile ihtiyaç duyulan tork şiddetinin birbiri ile bağıntılı olduğudur. Tablo 5.3'te görüldüğü gibi bu operasyonda 140°C'nin üzerine çıkılmamıştır. Ahşap polimer kompozitlerinde kullanılan poliolefinler(PO) viskoz özellikte malzemeler iken LM'lerin sürtünme sonucu kazandıkları ısı, bu malzemelerin viskozitesini azaltıcı bir etki yaratmamaktadır. Bu uygulamada gözlenildiği gibi ekstrüzyon işleminin başından sonuna kadar LM üzerine sürtünme enerjisi vermek gereksiz enerji sarfiyatı olduğu gibi LM'nin kimyasal bozunumuna da sebep olabilmektedir. Bu nedenle ahşap polimer kompozitleri üretiminde polimerlerin üretiminden farklı bir üretim modeli gerçekleştirilmelidir. Bu modelde bir tek vidalı ekstruder vasıtasıyla PO malzemeye ısı verilerek viskozitesi minimuma indirildikten sonra toz halindeki LM basınçlı bir şekilde PO akış kanalına bir vidalı konveyör vasıtasıyla iletilir. Daha sonra düşük sıkıştırma ve yüksek karıştırma özelliklerine sahip 2.bir vidalı sistemde PO ile LM homojen bir şekilde karıştırılır. Son aşamada bir dişli pompa vasıtasıyla karışım basınçlandırılıp son şekil hazırlanmak üzere bir profil veya enjeksiyon kalıbına basılarak üretim gerçekleştirilir.

Elde edilen 6 adet numunenin MFI değerlerinin piyasada ticari olarak satılan ahşap polipropilenden(Helmholz) daha yüksek olması, üretilen numunelerin akışkan bir granül tipi olarak üretildiğini göstermektedir. Bu sonucun olası sebebi kullanılan AYPE'nin çok akışkan bir PE tipi olmasıdır. Aynı zamanda ticari olarak satılan granüllerde talaş yüzdesinin daha yüksek olması akışkanlığının düşük olmasını sağlayan bir faktördür. Şekil 5.14'te görülen farklı numunelerin erişik akış indeksleri incelendiğinde en yüksek erişik akış indeksinin Kayın-Alkol iyileştirilmesi olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç tork ve kapasite grafikleriyle de uyumaktadır. Ancak burada görülen 3 numaralı su ile yıkanmış kayın talaşı numunesinin MFI değeri kritik derecede düşük çıkmıştır. Bu tutarsızlığın sebebinin deneyin gerçekleştirildiği numune örneklerinin izafi nem farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Üretilen bu farklı numunelerin MFI testleri 3 ay sonra tekrarlanmıştır. 3 numaralı su ile yıkanmış kayın talaşı kritik değerlerden uzak tutarlı MFI sonuçları vermiştir ki bu durum nem yüzdesi oturmuş malzemelerde MFI farklarının fazla olmadığı tezini destekler niteliktedir.

Şekil 5.1'e bakıldığında farklı kayın iyileştirmelerinin ve farklı çam iyileştirmelerinin MFI değişim eğrilerinin birbirine eşit olduğu görülmektedir. Bu durum LM'nin zamana bağlı MFI değişimi ve buna paralel nem alma indekslerinin bir bitki türünden diğerine göre farklılık gösterebildiğini ortaya çıkarmaktadır.

Şekil 5.22'de Kayın talaşı alkol iyileştirmesi ile üretilen kompozit malzemesinin TGA piklerinin temsil ettiği malzemeler gösterilmektedir. Bu yapılan TGA analizine göre malzeme bünyesinde %1,5 oranınca uçucu madde bulunmaktadır. Bu uçucuların sadece bir kısmının nem olması kabulüyle %1,51 gibi bir nem oranı hidrofilik yapıda bir malzeme için başarılı bir orandır. Uygulanan alkol bazlı kimyasal işlemin malzemenin nem tutuculuğunu azaltmış olması söz konusu olabilir ancak bu konuda daha detaylı bir çalışma yapılmalıdır. TGA analizinde çıkan sonuçlara göre %62 gibi bir PE yüzdesi görülmektedir. Bu sonuç daha önce yapılan TGA analizleriyle uyumaktadır. Bu göstermektedir ki standart bir vida ve polimer üretim yöntemiyle ulaşılabilecek ahşap yüzdesi kısıtlıdır ve bu kullanılan deney sisteminde %40'ı geçmemektedir. Daha yüksek oranlara ulaşabilmek için özel vida geometrileri ve kimyasal katkı maddeleri gibi farklı uygulamalar yapılması kaçınılmazdır.

Tablo 5.4'te üretilen ahşap polimer kompozitlerinin çekme dayanım test sonuçları verilmiştir. Bu deneyde elde edilen sonuçlar incelendiğinde kayın-alkol ve kayın-sodyum sülfid iyileştirmeleri ile üretilen ahşap polimer kompozitlerinin gerilme dayanımı kullanılan AYPE'ye göre daha yüksektir. Yani üretilen sonuç malzeme daha mukavimdir. Ancak kopma uzama yüzdesi kritik oranda azalmış malzeme esnekliğini kaybetmiş sünek bir hal almıştır. Çam numunelerinde kopma dayanımı kayın numunelerine göre daha azdır. Ancak aradaki fark

çok fazla değildir. Çam numunelerinde kopma uzama yüzdesi kayına göre daha azdır.

Şekil 5.23, 5.24, 5.25 ve 5.26'da 4 farklı numunenin DSC eğrileri verilmiştir. Bu eğrilerde kayının ΔH değerinin daha düşük olması sebebiyle daha çok ısıl bozunma eğiliminde olduğu söylenebilir. Fakat sonuç pik değerleri birbirine yakındır. Ortaya çıkan sonuçlar LM'lerin ısıya duyarlı olduğu ve bu sebeple hassas ısı kontrolü altında kullanılmaları gerektiğini işaret eder.

Bu yapılan uygulama, tasarım, test ve analizler sonucunda ahşap polimer kompozit üretiminin yapılacağı tesis tasarımında ihtiyaç duyulan temel parametrelerin birçoğuna ulaşma olanağı sağlamış farklı malzemelerin performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda kayın talaşının bu üretim prosesine daha uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalar çam talaşının özelliklerinin kurutma sistemleri ve kimyasal düzenleyicilerle kullanılabilir hale getirilebileceğini ortaya çıkarmıştır.

KAYNAKLAR

- Akhtar M., Scott G., Swaney R., Shipley D. (2000) Biomechanical Pulping: A mill Scale evaluation.
- Balasuriya P.W., Ye L., Mai Y.-W., (2001), *Composites: Part A*, 32, 619 – 629.
- Baroulaki I., Karakasi O., Pappa G., Tarantili P., Economides D. (2005) Preparation and Study of Plastic Compound containing Polyolefins and Post used Newspapers.
- Covas J.A., Maia J.M., Machado A.V., Costa P., (2007), On-line rotational rheometry for extrusion and compounding operations, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* Article in Press
- Foust A., Wenzel F., Clamp C., Maus L., Andersen L. (1980) Principles of unit operation 22;611-651
- Gordon W.A., Van Tyne C.J., Moon Y.H., (2007) A model for an adaptable axisymmetric extrusion die with a bearing length, *Journal of Materials Processing Technology* 191 11–15.
- Huang Y., Gentle C.R., Lacey M., Prentice P. (2000) Analysis and improvement of die design for the processing of extruded plastic pipes, *Materials and Design*.465-475
- J. Stasiak., Design features optimize twin screw plasticizing system for polypropylene extrusion, (2004) *Plastics Additives & Compounding*, ISSN1464-391X/04, 44-49.
- Keener T.J., Stuart R.K., Brown T.K., (2004), *Composites: Part A*, 35, 357 – 362
- Kumar A., Ganjyal G.M., Jones D.D., Hanna M.A., (2006) Digital image processing for measurement of residence time distribution in a laboratory extruder, *Journal of Food Engineering*, 75 237–244.
- Law K., Kokta B., Mao C. (2000) Fibre Morphology and Soda Sulphite Pulping of Switchgrass.
- Li T.Q., Wolcott M.P., (2004), *Composites: Part A*, 35, 303 – 311
- McHenry E., Stachurski Z.H., (2003), *Composites: Part A*, 171 – 181.
- Previdi F., Savaresi S.M., Panarotto A., (2006) Design of a feedback control system for real-time control of flow in a single-screw extruder *Control Engineering Practice* 14 1111–1121.
- Rauwendaal C., *Plastics Additives & Compounding*, (2005), ISSN1464-391X/05, 36-39.
- Roos E., Steffens M., and Zimmermann D., (2004) *Plastics Additives & Compounding*, ISSN1464-391X/04, 38-41.
- Rosen S. (1993) *Fundamental Principles of Polymeric Material* 15;244-261
- Santos W., (2007) Test Method, Thermal properties of polymers by non-steady-state techniques *Polymer Testing* 26 556–566
- Smith D.E., Tortorelli D.A., Tucker C.L., (1998) Optimal design for polymer extrusion. Part I: Sensitivity analysis for nonlinear steady-state systems, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 167 283-302.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	08.05.1983	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1998-2001	Hüseyin Avni Sözen Anadolu Lisesi
Lisans	2001-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programı