KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EPOKSİ VE ÜRETAN HİBRİT MODİFİYELİ ALKİD REÇİNE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ŞENOL DEMİR

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EPOKSİ VE ÜRETAN HİBRİT MODİFİYELİ ALKİD REÇİNE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ŞENOL DEMİR

Prof. Dr. Ayşe AYTAÇ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Ahmet ERDEM
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Dr. Öğr.Üyesi İkrime ORKAN UÇAR
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler …….tarafından…..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Şenol DEMİR

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır. Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.
Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
☐Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
☒Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Şenol DEMİR

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, "Epoksi ve Üretan Hibrit Modifiyeli Alkid Reçine Üretimi ve Karakterizasyonu" konusu araştırılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında beni yönlendiren, bilgi ve deneyimlerini esirgemeden paylaşan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşe AYTAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı yapabilmem için Arge laboratuvarlarında her türlü imkânı kullanmamı sağlayan, değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşarak destek veren Serkim Reçine Kimya San. Ltd. Şti. Ceo'su Sayın Serdar ÇOLAK'a, Arge ve Kalite Kontrol Müdürü Gökalp YILDIZ'a, çalışma arkadaşım Zeynel TURNA'ya teşekkür ederim.
Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında desteğini üzerimden hiç eksik etmeyen, beni motive eden, her konuda sabrı ve anlayışı ile yanımda olan sevgili eşim Arş. Gör. Gülşen KURT DEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak – 2022 Şenol DEMİR

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
TABLOLAR DİZİNİ viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ÖZET x
ABSTRACT xi
1. GİRİŞ 1
2. GENEL BİLGİLER 3
2.1. Alkid Reçineler 3
2.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler 4
2.2.1. Yağ Asidleri 4
2.2.2. Polialkoller 5
2.2.3. Dikarboksilik (Dibazik) Asitler 7
2.2.4. İzosiyanat Monomerler 8
2.2.5. Kurutucular 10
2.2.6. Solventler 12
2.3. Alkid Reçine Üretim Yöntemleri 13
2.3.1. Yağ Asidi Yöntemi 13
2.3.2. Alkoliz Yöntemi 14
2.4. Alkid Reçine Modifikasyonları 15
2.4.1. Epoksi Modifiyeli Alkid Reçine 17
2.4.2. Üretan Modifiyeli Alkid Reçine 18
2.5. Karakterizasyon Yöntemleri 19
2.5.1. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC) 19
2.5.2. Termogravimetrik Analiz (TGA) 20
2.5.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi (FTIR) 21
2.6. Literatür Taraması 21
3. MALZEME VE YÖNTEM 25
3.1. Malzemeler 25
3.2. Yöntem 27
3.2.1. Epoksi Ester Reçine Üretimi 27
3.2.2. İzosiyanatlar ile Modifikasyon 28
3.2.3. Reçine Verniklerinin Hazırlanması 30
3.2.4. Boyanın Hazırlanması 30
3.3. Analizlerde Kullanılan Yöntem ve Cihazlar 31
3.3.1. Katı Madde Miktarı Testi 31
3.3.2. Viskozite Testi 31
3.3.3. Asit Sayısı Testi 31
3.3.4. Renk Testi 32
3.3.5. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) 33
3.3.6. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) 33
3.3.7. Termogravimetrik Analiz (TGA) 34

3.3.8. Yüzde Jel İçeriği Testi 34
3.3.9. Kuruma Testi 35
3.3.10. Parlaklık Testi 35
3.3.11. Sertlik Testi 36
3.3.12. Yapışma (Aderans) Testi 36
3.3.13. Alkali, Asit ve Tuz Dayanımı Testi 37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 38
4.1. Fiziksel Özellikler 38
4.2. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Sonuçları 39
4.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Sonuçları 42
4.4. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları 44
4.5. Yüzde Jel İçeriği Testi Sonuçları 47
4.6. Kuruma Testi Sonuçları 47
4.7. Parlaklık Testi Sonuçları 52
4.8. Sertlik Testi Sonuçları 54
4.9. Yapışma (Aderans) Testi Sonuçları 59
4.10. Alkali, Asit ve Tuz Dayanım Testi Sonuçları 61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 64
KAYNAKLAR 66
EKLER 70
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 82
ÖZGEÇMİŞ 83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Poliester glyptal reçinesi 3
Şekil 2.2. Yağ asidi metodu ile alkid reçine üretimi 4
Şekil 2.3. Trigliseridlerin monogliseride dönüştürülmesi 5
Şekil 2.4. En çok kullanılan polioller 6
Şekil 2.5. En çok kullanılan glikoller 7
Şekil 2.6. En çok kullanılan dibazik asitler 7
Şekil 2.7. Benzoik asit yapısal formülü 8
Şekil 2.8. 2,4-TDI ve 2,6-TDI yapısal formülleri 9
Şekil 2.9. PMDI'nın yapısal formülü 9
Şekil 2.10. 4,4'-MDI'nın yapısal formülü 10
Şekil 2.11. IPDI (izoforon diizosiyanat) yapısal formülü 10
Şekil 2.12. Reçine ve boyalarda kullanılan kurutucular 10
Şekil 2.13. Ksilenin yapısal formülü 12
Şekil 2.14. Yağ asidi yöntemi ile ilgili tepkime denklemi 13
Şekil 2.15. Monogliserid yöntemi ile alkid reçine tepkimesi 15
Şekil 2.16. Epoksi ester üretimi ile ilgili tepkime 17
Şekil 2.17. Üretan alkid üretimi ile ilgili tepkime 18
Şekil 2.18. Bir polimerin tipik DSC eğrisi 20
Şekil 2.19. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı 20
Şekil 2.20. FTIR cihazının çalışma şeması 21
Şekil 3.1. Epoksi ester üretiminde kullanılan 6 kg'lık cam reaktör 27
Şekil 3.2. Modifikasyonlarda kullanılan 2 kg'lık cam reaktör 29
Şekil 3.3. Boya üretiminde kullanılan dispermat cihazı 30
Şekil 3.4. Renk ölçüm cihazı 32
Şekil 3.5. Analizlerde kullanılan FTIR cihazı 33
Şekil 3.6. Analizlerde kullanılan DSC cihazı 33
Şekil 3.7. Analizlerde kullanılan TGA cihazı 34
Şekil 3.8. Kuruma kayıt cihazı 35
Şekil 3.9. Trigloss parlaklık cihazı 36
Şekil 3.10. König sertlik cihazı 36
Şekil 3.11. Yapışma (Aderans) cross-cut aleti 37
Şekil 3.12. Salt-sprey korozyon test cihazı 37
Şekil 4.1. AYA/EPJ epoksi ester reçineye ait FTIR spektrumu 40
Şekil 4.2. AYA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu 41
Şekil 4.3. AYA/EPJ ve TDI modifikasyonuna ait FTIR spektrumu 42
Şekil 4.4. AYA/EPJ ve IPDI modifikasyonuna ait DSC eğrileri 43
Şekil 4.5. AYA/EPJ ve TDI modifikasyonuna ait DSC eğrileri 43
Şekil 4.6. AYA/EPJ ve IPDI modifikasyonuna ait TGA eğrileri 45
Şekil 4.7. AYA/EPJ ve TDI modifikasyonuna ait TGA eğrileri 46
Şekil 4.8. Yüzde jel içeriği testi sonuçları 47
Şekil 4.9. AYA/EPJ vernik filmlerin dokunma kuruması testi sonuçları 48
Şekil 4.10. AYA/EPY vernik filmlerin dokunma kuruması testi sonuçları 49
Şekil 4.11. TOFA/EPJ vernik filmlerin dokunma kuruması testi sonuçları 49
Şekil 4.12. TOFA/EPY vernik filmlerin dokunma kuruması testi sonuçları 50
Şekil 4.13. Boya filmlerin dokunma kuruma testi sonuçları 51
Şekil 4.14. Boya filmlerin cihaz kuruma testi sonuçları 52

Şekil 4.15. AYA/EPJ vernik filmlerin sertlik testi sonuçları 54
Şekil 4.16. AYA/EPY vernik filmlerin sertlik testi sonuçları 55
Şekil 4.17. TOFA/EPJ vernik filmlerin sertlik testi sonuçları 56
Şekil 4.18. TOFA/EPY vernik filmlerin sertlik test sonuçları 56
Şekil 4.19. Cam panelde IPDI modifiyeli boya filmlerin sertlik testi sonuçları 57
Şekil 4.20. Cam panelde TDI modifiyeli boya filmlerin sertlik testi sonuçları 58
Şekil 4.21. Metal panelde IPDI modifiyeli boya filmlerin sertlik testi sonuçları 58
Şekil 4.22. Metal panelde TDI modifiyeli boya filmlerin sertlik testi sonuçları 59
Şekil 4.23. Yapışma (Aderans) testi referans sınıflandırması 60
Şekil 4.24. Yapışma (Aderans) GT0 ve GT2 performans örneği 60
Şekil 4.25. Daldırma ve salt-sprey yöntemi ile tuz dayanımı testi 62
Şekil 4.26. Tuz, alkali ve asit dayanımı 15.gün görünümü 63
Şekil A.1. AYA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu.....71
Şekil A.2. AYA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu.....71
Şekil A.3. TOFA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu 72
Şekil A.4. TOFA/EPJ ve TDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu 72
Şekil A.5. TOFA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu.....73
Şekil A.6. TOFA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu.....73
Şekil A.7. AYA/EPY epoksi ester reçineye ait FTIR spektrumu.....74
Şekil A.8. TOFA/EPJ epoksi ester reçineye ait FTIR spektrumu 74
Şekil A.9. TOFA/EPY epoksi ester reçineye ait FTIR spektrumu.....75
Şekil B.1. AYA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri.....76
Şekil B.2. AYA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri.....76
Şekil B.3. TOFA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri 77
Şekil B.4. TOFA/EPJ ve TDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri.....77
Şekil B.5. TOFA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri 78
Şekil B.6. TOFA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri 78
Şekil C.1. AYA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri 79
Şekil C.2. AYA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri.....79
Şekil C.3. TOFA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri 80
Şekil C.4. TOFA/EPJ ve TDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri 80
Şekil C.5. TOFA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri 81
Şekil C.6. TOFA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri.....81

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Kuruyan, yarı kuruyan ve kurumayan yağlar 5
Tablo 2.2. Modifiye edilmiş reçinelerin özelliklerinin karşılaştırılması 16
Tablo 3.1. Malzemeler 25
Tablo 3.2. Çalışmada üretilen reçine ve kodları 28
Tablo 4.1. Epoksi ester reçinelerin fiziksel özellikleri 38
Tablo 4.2. TDI modifiyeli hibrit reçinenin fiziksel özellikleri 39
Tablo 4.3. IPDI modifiyeli hibrit reçinenin fiziksel özellikleri 39
Tablo 4.4. Sentezlenen reçinelerin T_g değerleri 44
Tablo 4.5. Sentezlenen reçinelerin TGA verileri 45
Tablo 4.6. IPDI modifiyeli vernik filmlerinin parlaklık sonuçları 53
Tablo 4.7. TDI modifiyeli vernik filmlerinin parlaklık sonuçları 53
Tablo 4.8. Boya filmlerinin cam ve metal panellerde parlaklık testi sonuçları 53
Tablo 4.9. Boya filmlerinin cam ve metal panellerde yapışma testi sonuçları 60
Tablo 4.10. TDI modifiyeli boyaların alkali, asit ve tuz dayanım testi sonuçları 61
Tablo 4.11. IPDI modifiyeli boyaların alkali, asit ve tuz dayanım testi sonuçları 62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

F : Çözeltinin faktörü
M : Alınan numunenin ağırlığı, (g)
MA : Molekül ağırlığı, (g/mol)
N : Çözeltinin normalitesi
S : Çözelti sarfiyatı, (ml)
T_{endset} : Bozunmanın sona erdiği sıcaklık, (°C)
T_g : Camsı geçiş sıcaklığı, (°C)
T_m : Erime sıcaklığı, (°C)
T_{max} : Bozunma hızının maksimum olduğu sıcaklık, (°C)
T_{onset} : Bozunmanın başladığı sıcaklık, (°C)
X_c : Kristalinite, (%)
ΔH : Entalpi değişimi, (J/g)
ΔH_c : Kristalizasyon entalpisi, (J/g)
ΔH_f : Erime entalpisi, (J/g)

Kısaltmalar

ASTM : American Society for Testing Materials (Amerikan Test Materyalleri Topluluğu)
AYA : Ayçiçek yağ asidi
DEG : Dietilen glikol
DSC : Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
EG : Etilen glikol
EPJ : Jana SR5097 epoksi reçinesi
EPY : YD014 epoksi reçinesi
FTIR : Fourier Transform Infrerad Spectroscopy (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)
IPDI : İzoforon diizosiyanat
ISO : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
MDI : Metilen difenil diizosiyanat
NPG : Neopentil glikol
PENTA : Pentaeritritol
PG : Propilen glikol
PMDI : Polimerik metilen difenil diizosiyanat
TDI : Toluen diizosiyanat
TGA : Thermal Gravimetric Analysis (Termal Gravimetrik Analiz)
THF : Tetrahidrofuran
TMP : Trimetilolpropan
TOFA : Tall oil fatty acid (Uzun yağlı yağ asidi)

EPOKSİ VE ÜRETAN HİBRİT MODİFİYELİ ALKİD REÇİNE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Epoksi modifiyeli ve üretan modifiyeli reçine türlerinin birbirine göre üstünlükleri ve eksiklikleri bulunmaktadır. Örneğin, epoksi modifiyeli alkid reçinelerin kimyasal dirençleri ve alifatik çözücüler ile uyumu, üretan modifiyeli reçinelere göre daha üstündür. Buna karşın esneklik, ısı direnci, renk (görünüm) koruma ve yapısal bozulma direnci üretan bazlı alkid reçinelerde öne çıkan özelliklerdendir. Ayrıca, epoksi fonksiyonlu ürünlerin yüksek maliyeti göze çarpmaktadır. Bu çalışmada üretan ve epoksi fonksiyonel grup içeren hibrit modifiye alkid reçine türleri üretilmiştir. Böylece epoksi ve üretan gruplarının üstünlükleri bir araya toplanarak, eksikliklerinin giderilmesine çalışılmıştır. Tez çalışmasında, iki farklı yağ asidi ile (ayçiçek yağ asidi- uzun yağlı yağ asidi (TOFA)), bisfenol A bazlı iki farklı epoksi reçinenin tepkimesinde oksiran halkalarının açılması sonucu elde edilen epoksi ester reçinelerin hidroksi grupları ile izosiyanatların (Toluen diizosiyanat (TDI), İzoforondiizosiyanat (IPDI)) tepkimesinden faydalanılarak hibrit alkid reçineleri üretilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen deneysel geliştirme süreçlerindeki polimerizasyon tepkimeleri genel olarak esterleşme mekanizması üzerinden yürütülmüştür. Öncelikle, epoksi ester reçine üretimi yapılmış, sonrasında izosiyanatlar ile modifikasyon yapılarak reçine üretimi sonlandırılmıştır. Üretilen reçinelerin ısıl özellikleri, Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ve Termogravimetrik Analizi (TGA) ile belirlenmiştir. Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre (FTIR) kullanılarak reçinelerin kimyasal yapı analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, üretilen reçineler ile vernik ve boya hazırlanarak, hazırlanan ürünlere kuruma, parlaklık, sertlik, yapışma, alkali, asit ve tuz dayanımı testleri ile asit değeri, viskozite ve renk ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışma ile, hibrit reçinelerin kuruma, parlaklık, sertlik, yapışma, alkali, asit ve tuz dayanımı, ısıl özelliklerinde iyileşme sağlandığı ve istenilen özelliklerde hibrit reçinelerin üretilebileceği anlaşılmıştır. Test sonuçları değerlendirildiğinde, genel olarak TOFA/EPJ/TD5 hibrit reçinenin en üstün performansı sergilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Epoksi, Epoksi Ester, Hibrit Reçine, Üretan.

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF EPOXY AND URETHANE HYBRID MODIFIED ALKYD RESINS

ABSTRACT

Epoxy and urethane modified alkyd resin types have their advantages and disadvantages. For example, the chemical resistance of epoxy functional alkyd resins and their compatibility with aliphatic solvents are superior to that of urethane modified resin. In contrast, flexibility, heat resistance, color (appearance) protection and structural deterioration resistance are prominent features in urethane-based alkyd resins. In addition, the high cost of products with epoxy function stands out. The modified alkyd resin produced in this study is a hybrid resin type containing urethane and epoxy functional group. Thus, the advantages of the epoxy and urethane groups are gathered, and the deficiencies are tried to be eliminated. In the thesis study, epoxy ester resins were obtained from opening of oxirane rings in the reaction of two different fatty acids (sunflower fatty acid - long fatty acid (TOFA)) and two different epoxy resins based on bisphenol A. Then, hybrid alkyd resins were produced by utilizing the reaction of the hydroxy groups of these epoxy resins and isocyanates (Toluene diisocyanate-TDI), Isophorondiisocyanate-IPDI). The polymerization reactions in the experimental development processes carried out in the study were generally carried out through the esterification mechanism. Then, epoxy ester resin production was made, then resin production was terminated by modification with isocyanates. Firstly, the thermal properties of the resins were characterized by Differential Scanning Calorimeter (DSC), and Thermogravimetric Analysis (TGA). Fouirer Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) were used to determine chemical structure of the produced resin. The required tests (drying, gloss, hardness, adhesion, alkali, acid, salt resistance, acid value, viscosity, color) were realized by preparing varnish and paint with the resins produced. With this study, it was understood that the drying, brightness, hardness, adhesion, alkali, acid and salt resistance, thermal properties of hybrid resins were improved and hybrid resins with desired properties could be produced. When the test results were evaluated, it was seen that the TOFA/EPJ/TD5 hybrid resin exhibited the best performance in general.

Keywords: Epoxy, Epoxy Ester, Hybrid Resin, Urethane.

1. GİRİŞ

Korozyon dayanımı yüksek boya ve kaplama hammaddesi olarak kullanılmak üzere geliştirilecek olan hibrit modifiye reçine tez çalışmasının ana konusunu oluşturmaktadır. Günümüzde; literatürde ve reçine piyasasında epoksi, vinil, akrilat, üretan, stiren, fenolik ve silikon modifiye reçineler ile ilgili çok sayıda ürün ve çalışma bulunmaktadır. Ayrıca, bu konudaki araştırmalar halen devam etmektedir. Yapılan tüm çalışmaların çıkış noktası, istenilen teknik özelliklerde ürünü mümkün olan en düşük maliyet ile piyasaya sunmaktır. Tez çalışması kapsamında geliştirilecek olan reçine türünün, korozyon direncinin önemli olduğu alanlardan özellikle endüstriyel boya ve kaplama ürünlerinde kullanılması amaçlanmıştır. Söz konusu modifiye alkid reçine üretan ve epoksi fonksiyonel grup içeren hibrit bir reçine türüdür. Böylece epoksi ve üretan gruplarının üstünlükleri bir araya toplanarak dezavantajları ise elimine edilmeye çalışılmıştır. Örneğin, izosiyanat modifiyeli reçineler ahşap üzerine uygulamalarda çok sık kullanılsa da sararma dirençleri düşüktür. Özellikle bahçe mobilyaları ya da açık alanda bulunacak boyalı yüzeyler kısa zamanda sararmaya uğramaktadır. İzosiyanat modifiyeli reçinelerden üretilen endüstriyel boyalarda da sararma söz konusudur. Parlaklıklarının iyi olması ve bu kadar olumsuz özellikleri olmasına rağmen daha iyi başka bir alternatif olmadığından, reçine piyasasında mecburen izosiyanat modifiyeli reçineler tercih edilmektedir.

Gemi veya yat boya ve vernikleri korozyon direncinin çok önemli olduğu ürünlerdir. Bu durumda epoksi ester reçineleri tercih edilmektedir ve bu reçineler kaplama olarak kullanıldığında korozyon direncini oldukça artırırlar. Ancak dolgu özellikleri yüzeye göre değişkenlik göstermektedir. Ayrıca epoksi reçinelerin fiyatı da oldukça yüksektir. Bu nedenle geliştirilmesi planlanan hibrit ürünlerin, birçok sektörde kullanılabilecek, kullanılmakta olan ürünlerin yerine geçerek daha yüksek performans verecek ve aynı zamanda da eski ürünlerin istenmeyen özelliklerini en aza indirecek bir ürün olması hedeflenmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, epoksi ve üretan modifiyeli hibrit alkid reçine üretmektir. Bu kapsamda, farklı yağ asitlerinin farklı bisfenol A bazlı epoksi reçine ile tepkimesinden elde edilen epoksi ester reçinenin farklı yapılarda izosiyanat prepolimerler ile tepkimesinden epoksi üretan hibrit modifiye reçine elde edilmiştir. Farklı yağ asitlerinin ve izosiyanatların (aromatik, alifatik vs.) son ürün özelliklerine etkisi araştırılırken

belirlenen bazı metal tuzları kürlenme ajanı olarak kullanılmıştır. Yağ asidi, izosiyanat ve metal tuzlarının kimyasal yapılarının son ürün üzerindeki etkileri incelenerek optimum değerlere sahip hibrit reçine geliştirilmiştir. Elde edilen numunelere önce katı, asit, viskozite, yoğunluk ve renk gibi kalite testleri yapılmıştır. Daha sonra vernik ve boya üretilerek kuruma, sertlik, parlaklık, aderans ile solvent, asit, alkali ve korozyon dayanımı gibi performans testleri birbiriyle karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, termal dayanımı ölçmek için TGA, camsı geçiş sıcaklığını (T_g) öğrenmek için DSC ve baz polimere bağlanan modifikasyonların bağ yapılarını incelemek için FTIR testleri gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Tezin giriş bölümünde modifiye alkid reçinelerine duyulan gereksinim ve yapılacak çalışmanın amacına değinilmiştir. Bölüm 2'de alkid reçine üretimi, reçine modifikasyonu, reçine üretim yöntemleri ve alkid reçine karakterizasyonunda kullanılan yöntemler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca bu bölümde yapılan literatür araştırması sonucu literatürde bulunan çalışmalar özetlenmiştir. Bölüm 3'te kullanılan malzemeler, tez çalışmasında kullanılan reçine üretimi ve reçine/kaplama/boya karakterizasyonunda kullanılan yöntemlere değinilmiştir. Bölüm 4'te yapılan karakterizasyon testleri sonucu elde edilen bulgular literatürle karşılaştırılarak açıklanmıştır. Bölüm 5'te ise tez çalışması ile elde edilen sonuçlar derlenmiştir.

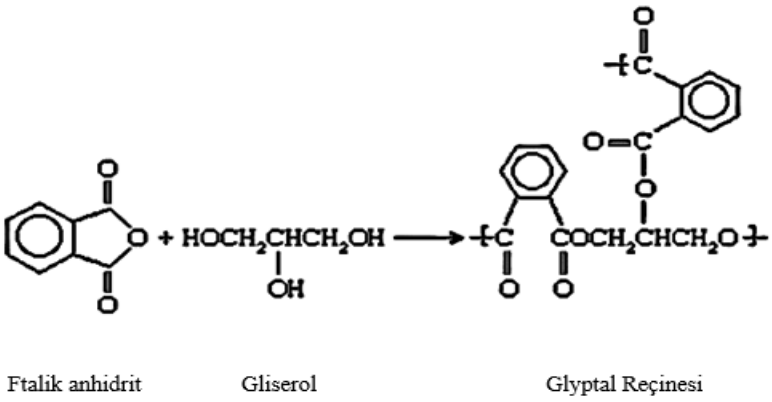
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Alkid Reçineler

Boya reçetelerinde yaygın bir şekilde bağlayıcı bileşeni olarak kullanılan alkid reçineleri, yağ veya yağ asitleri ile modifiye edilmiş poliesterlerdir. Alkid reçineleri, boya ve vernik üretiminde en çok kullanılan reçine türleri arasında yer almaktadır. Düşük maliyetli olması, depolama süresi boyunca yüksek kararlılık göstererek bozunmaması, ürünlerde istenilen özellikleri elde etmek için gerekli olan modifikasyonların kolaylıkla yapılabilmesi nedeniyle en çok tercih edilen ve kullanılan reçinelerden birisidir.

Alkol ve asitten oluşan alkid adlandırması, genel olarak gliserol gibi bir alkol ve bir dikarboksilik asit veya bunun bir anhidriti (örneğin, ftalik veya maleik anhidrit) arasındaki polimerizasyon tepkimesine dayanan reçinenin kimyasal kökenini göstermektedir.

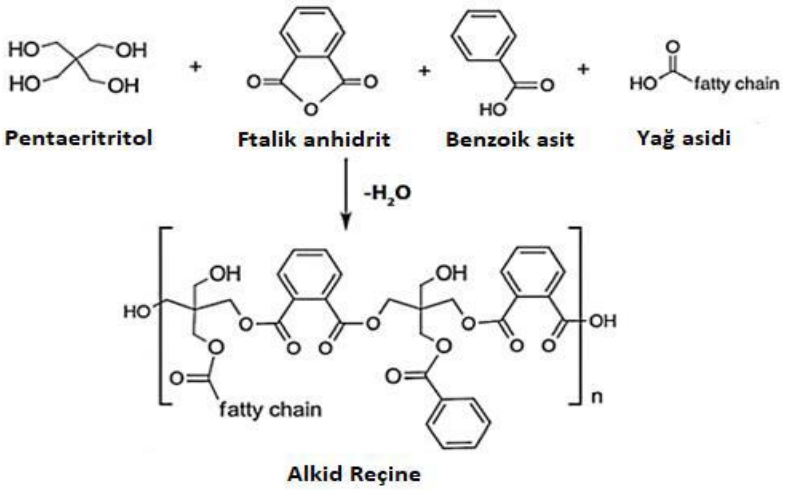
Örneğin; gliserol (glycerol) ve ftalik anhidrit (phthalic acid), "polyester glyptal" oluşturmak üzere tepkimeye girmektedir. Orijinal alkidler, Glyptal adıyla bilinen gliserol ve ftalik asit bileşikleridir. Ftalik anhidrit ve gliserol kullanılarak gerçekleşen Glyptal reçinesinin sentez tepkimesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Poliester glyptal reçinesi (URL-1)

Alkid reçineler poliester reçineleridir ve ana zincirlerinde tekrarlayan ester bağları bulunur. Poliester ve alkid reçinelerin her ikisi de polikondenzasyon tepkimesi ile elde edilen reçinelerdir (Paksoy, 2000). Alkid reçineler, doymamış poliesterlerden çift bağların bulunduğu yer bakımından ayrılırlar. Doymamış poliesterlerde çift bağlar ana

zincir üzerinde yer alırken, alkid reçinelerde ise yan gruplarda yer almaktadır (Saçak, 2010). Pentaeritritol, ftalik anhidrit, benzoik asit ve yağ asidinden meydana gelen tipik bir alkid reçinenin polikondenzasyon tepkimesi Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Sonnati ve diğ., 2014).



Şekil 2.2. Yağ asidi metodu ile alkid reçine üretimi (Sonnati ve diğ., 2014)

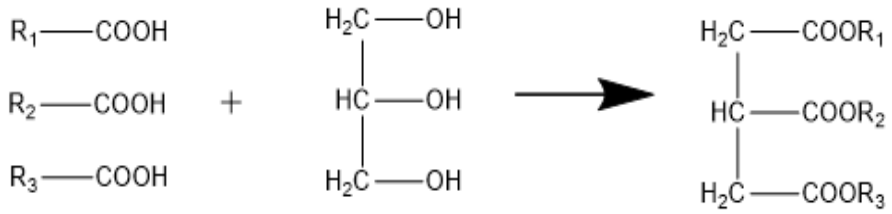
Alkid reçine reçetelerinde kullanılan yağ yüzdesi yağ uzunluğu olarak adlandırılır. Yağ uzunluklarına göre;

- %20-%45 arası kısa yağlı alkid reçine,
- %45-%55 arası orta yağlı alkid reçine,
- %55-%70 arası uzun yağlı alkid reçine olarak sınıflandırılır (Kurt, 2012).

2.2. Alkid Reçine Üretiminde Kullanılan Malzemeler

2.2.1. Yağ Asidleri

Yağlar, uzun zincirli yağ asidlerinin trigliseridleridir. 1 mol gliserin ve 3 mol yağ asidinin bağlanması ile elde edilirler (Torlakoğlu, 2008). Alkid reçine üretiminde en çok kullanılan yağlar ve yağ asitleri; ayçiçek yağı, soya yağı, keten yağı, hint yağı, tung yağı, laurik asit, miristik asit, palmitik asit, stearik asit, oleik asit, linoleik asit vb. olarak sıralanabilir. Yağlar (trigliseridler), bitkisel ve hayvansal kaynaklardan elde edilmektedirler (Paksoy, 2000). Şekil 2.3'te trigliseridlerin monogliseridlere dönüştürülmesi gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Trigliseridlerin monogliseride dönüştürülmesi (Paksoy, 2000)

Trigliserid yapıda görülen R1, R2, R3 yağ asidi radikalleridir. Yağ asitleri yapısal olarak bazı farklılıklar gösterirler. Bu farklılıklar;

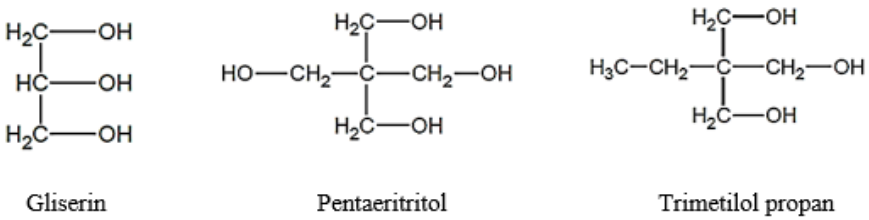
- C=C çift bağ sayısı (Doymamışlık derecesi)
- Çifte bağların göreceli pozisyonu (Konjugasyon derecesi)
- Karbon iskeletinde polar grupların olup olmadığıdır.
- Kuruyan Yağlar: iyot indisi 130'dan büyük olan yağlardır. Kuruyan yağlara örnek olarak, bezir yağı verilebilir.
- Yarı Kuruyan Yağlar: iyot indisi 90-130 arasında yağlardır. Yarı kuruyan yağlara örnek olarak, mısır yağı verilebilir.
- Kurumayan Yağlar: iyot indisi 90'ın altında olan yağlardır. Örnek olarak, koko yağı verilebilir (Paksoy, 2000). Tablo 2.1'de kuruyan, yarı kuruyan ve kurumayan yağlar verilmiştir.

Tablo 2.1. Kuruyan, yarı kuruyan ve kurumayan yağlar

Kuruyan yağlar	**Yarı kuruyan yağlar**	**Kurumayan yağlar**
Keten yağı	Susam yağı	Hint yağı
Kendir yağı	Soya yağı	Koko yağı
Bezir yağı	Ayçiçek yağı	Zeytinyağı
Çin yağı	Mısır yağı	Fıstık yağı

2.2.2. Polialkoller

Alkid reçinelerin üretiminde polialkol (poliol) olarak kullanılan kimyasal bileşenlerdir. Gliserin, pentaeritritol (PENTA), trimetilol propan (TMP), neopentil glikol (NPG), etilen glikol (EG), propilen glikol (PG) ve dietilen glikol (DEG), yaygın olarak kullanılan önemli polialkollerdir. En çok kullanılan polioller Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4. En çok kullanılan polioller

Gliserin (Gliserol); İki adet primer, bir adet sekonder hidroksil grubuna sahip bir trialkoldür. Alkid reçinesinin yapısında esneklik sağlamak için kullanılır. Pentaeritritole göre daha ucuz, esnek ve düşük viskoziteli ürünler vermektedirler (Paksoy, 2000; Deligny ve Tuck, 2001; Güçlü, 2016).

Trimetilolpropan (TMP); TMP olarak kısaltılan trimetilolpropan, yapısında reaktivitesi çok yüksek olan üç adet primer hidroksil grubuna sahiptir. Genel olarak kısa ve orta yağlı alkid reçinelerinin sentezinde kullanılmaktadır. TMP içeren alkid reçineler; UV ışınlarına, hava şartlarına ve ısıya maruz kaldıkları zaman renk ve parlaklık özelliklerini korumaktadırlar. Su ve alkaliye karşı dayanıklıdırlar. Çözücüsüz proseslerde, TMP ve PENTA, gliserine göre daha başarılı sonuçlar vermektedir (Deligny ve Tuck, 2001; Tuna, 2011; Güçlü, 2016).

Pentaeritritol; PENTA olarak da adlandırılan pentaeritritol'ün yapısında dört adet hidroksil grubu bulunmaktadır ve tüm gruplarının reaktivitesi aynıdır. Gliserinden sonra, en çok çapraz bağ oluşturan ve kullanımı en yaygın olan polialkoldür. Hızlı kuruyan, suya dayanımı yüksek ve yüksek viskoziteli ürünlerin elde edilmesin sağlamaktadır. Reçineye üstün yapışma (aderans), parlaklık ve renk kazandırmaktadır. Ayrıca hava şartlarına ve kimyasallara karşı dayanıklılık da sağlamaktadır. Kısa yağlı alkid reçetelerinde kullanıldığında, jelleşme eğilimi artabileceğinden genellikle uzun yağlı alkid reçetelerinde tercih edilmektedir (Deligny ve Tuck, 2001; Tuna, 2011; Büyükyonga, 2016).

Neopentil glikol; NPG olarak kısaltılan neopentil glikol, poliester endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılan, ancak alkid reçine endüstrisinde daha az bilinen bir dioldür. Merkez karbon atomunu koruyan iki tane metil grubu sayesinde hidrolize karşı çok iyi direnç

göstererek reçinelerin dış koşullara karşı çok iyi dayanım özellikleri elde edilmesini sağlamaktadır (Deligny ve Tuck, 2001).

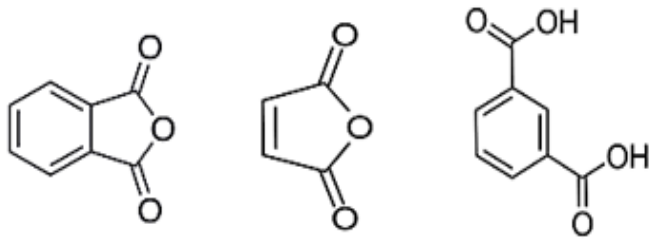
Glikoller; Poliester ve alkid reçine üretiminde en çok kullanılan glikoller; Etilen glikol (EG), Propilen glikol (PG) ve Dietilen glikol (DEG)'dür. Glikolün, hidroksil grupları arasındaki zincir uzunluğu arttıkça daha düşük viskoziteli ve esnek ürünler elde edilmektedir (Tuna, 2011; Deligny ve Tuck, 2001). En çok kullanılan glikollerin kimyasal yapısı Şekil 2.5'te gösterilmektedir.

$HO\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}OH$	Etilen glikol
$HO\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}OH$	Propilen glikol
$HO\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}O\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}OH$	Dietilen glikol

Şekil 2.5. En çok kullanılan glikoller

2.2.3. Dikarboksilik (Dibazik) Asitler

Dikarboksilik asitler arasında kullanımı en çok tercih edilen aromatik asitler; ftalik asit izomerleri (izoftalik asit, tereftalik asit, trimellitik anhidrit) ve ftalik anhidrittir. Doymamış grup içeren, maleik anhidrit ve fumarik asit de alkid reçinelerinin üretiminde kullanılan önemli dikarboksilik asitlerdir (Güçlü, 2016). En yaygın olarak kullanılan maleik anhidrittir (Torlakoğlu, 2008). Doymamış grup içeren çeşitli dibazik asitlerin kimyasal yapıları Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Ftalik anhidrit Maleik anhidrit İzoftalik asit

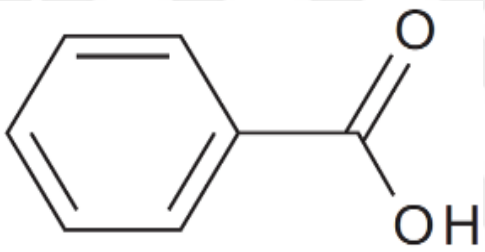
Şekil 2.6. En çok kullanılan dibazik asitler

Ftalik anhidrit; Alkid reçine ve poliester üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Anhidrit yapısında olduğu için, tepkime sırasında su çıkışı daha az olmakta ve süreç daha

kolay hale gelmektedir. Ayrıca, ucuz olması maliyeti de düşürmektedir (Akgün, 2016; Güçlü, 2016)

İzoftalik asit; Alkid reçinelerin ısı, alkali dayanımını ve film sertliğini arttıran dibazik asittir. Daha hızlı kuruyan ve viskozitesi daha yüksek olan ürünler elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Çözünürlüğünün düşük olması, yüksek erime noktası ve uzun tepkime sürelerine neden olması gibi eksiklikleri bulunmaktadır (Tuna, 2011; Kurt, 2012; Güçlü, 2016).

Benzoik Asit; Alkid reçinelerde zincir sonlandırıcı olarak etki gösterdiğinden molekül ağırlığının kontrol edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Benzoik asit kullanıldığında, reçine filmlerinin ilk kuruması hızlı gerçekleşmekte ve dış şartlarda film parlaklığını uzun süre korumaktadır (Tuna, 2011). Benzoik asit kimyasal yapısı Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



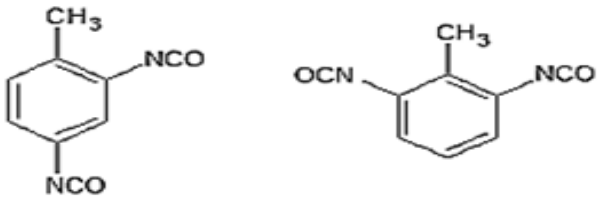
Şekil 2.7. Benzoik asit yapısal formülü

2.2.4. İzosiyanat Monomerler

Toluen diizosiyanat (TDI); Genellikle aromatik poliüretanların sentezinde kullanılan, toluen diizosiyanat (TDI) önemli bir başlangıç maddesidir (Paksoy, 2000). Sanayide en çok kullanılan TDI'nın ticari şekli, orto ve para izomerlerinin bir karışımıdır. Karışımın %80'i 2,4-TDI, %20'si 2,6-TDI şeklindedir (Gündüz, 2005). TDI'ın 2,4 ve 2,6 izomerlerinin yapısal formülleri Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

TDI yapısında olan para konumundaki izosiyanat grubu orto grubundan daha kolay tepkimeye girer. Bunun nedeni, metil grubunun orto pozisyonundaki izosiyanat grubuna sterik engel yaratmasıdır. Buna bağlı olarak; para pozisyonunda NCO grubu içeren 2,4-TDI, 2,6-TDI'dan daha reaktiftir ve ortamdaki hidroksil grupları ile düşük sıcaklıklarda tepkimeye girmektedir. Yüksek sıcaklıklarda ise sterik engellemenin etkisi azalmaktadır (Gündüz, 2005). Aromatik izosiyanatlar, alifatik izosiyanatlara göre daha aktiftirler.

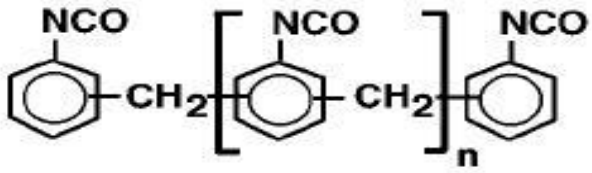
Aromatik halkaya bağlı ikinci bir NCO grubunun olması, birinci grubun reaktivitesini yükseltmektedir (Güçlü, 2015; Gündüz, 2005).



Şekil 2.8. 2,4-TDI ve 2,6-TDI yapısal formülleri

Boya üretiminde, başlangıç maddesi olarak TDI kullanılması maliyet avantajı sağlamakta ancak, atmosferik şartlar altında, parlaklığın sınırlı olması ve sararma direncinin düşük olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Aromatik yapıdaki TDI sararma direnci düşük ürünlerin oluşumuna neden olduğu için genellikle sararmanın önemli olmadığı astar ve ahşap boyaların üretiminde kullanılmaktadır (Paksoy, 2000).

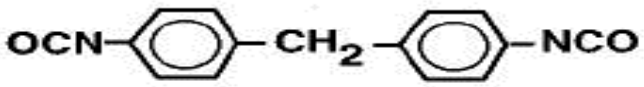
Polimerik metilen difenil diizosiyanat (PMDI); Polimer halinde bulunan izosiyanatlardan PMDI'lar, poliaminlerin fosgenle tepkimesi sonucunda elde edilmektedir ve fonksiyonel grup sayıları 2.5-3 arasında değişmektedir. İzosiyanat miktarı ve molekül ağırlıkları arttıkça viskoziteleri de artmaktadır (Gündüz, 2005). PMDI'nın kimyasal yapısı Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. PMDI'nın yapısal formülü

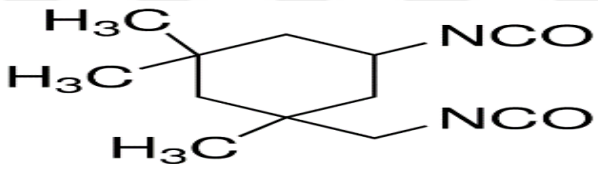
Metilen difenil diizosiyanat (MDI); 4,4'-metilen bis(fenil izosiyanat) veya difenilmetan 4,4-diizosiyanat olarak da bilinmektedir. Sahip olduğu NCO grupları aynı reaktiviteyi göstermektedir ve TDI'ya göre reaktivitesi daha düşüktür. MDI'nın tercih edilmesinin nedeni, fiziksel ve mekanik özelliklerden daha çok, TDI'ya göre sağlığa zararlı etkilerinin daha az olmasıdır. Oda sıcaklığında uzun depolama süresi boyunca dimerizasyon eğilimi göstermektedir. MDI'nın büyük bir kısmı, difenilmetan 4,4 diizosiyanat (4,4'-MDI) olup,

içinde az miktarda 2,2’ izomeri de bulunmaktadır. MDI genellikle solventsiz poliüretanlarda, bir ve iki komponentli sistemlerde kullanılmaktadır (Paksoy, 2000; Gündüz, 2005). 4,4 MDI’nın yapısal formülü Şekil 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. 4,4’-MDI’nın yapısal formülü

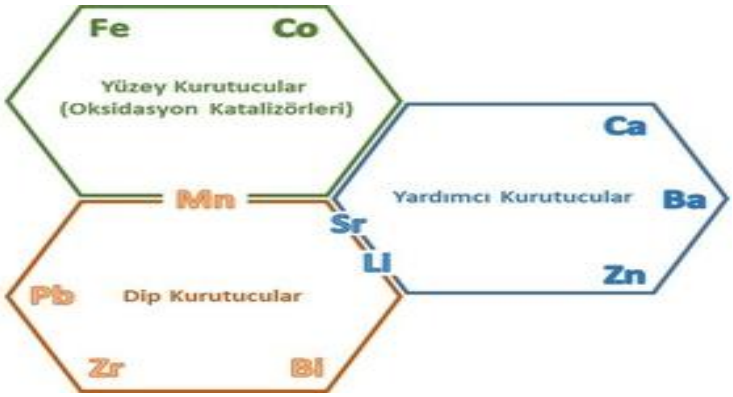
İzoforon diizosiyanat (IPDI); İzosiyanat grupları çok reaktiftir ve birçok tepkimeye girebilirler. Bu tepkimeler çeşitli poliüretan sistemlerinde kullanılır. Reaktif H içeren bileşikler ile katılma tepkimeleri, siklo katılma tepkimeleri, kondenzasyon gibi tepkimeler bulunmaktadır. Bu tepkimeler, kullanım alanlarını genişletmek amacıyla, siyanatların modifiye edilerek kullanılmasını sağlar (Boyoğlu, 2009). IPDI’nın yapısal formülü Şekil 2.11’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.11. IPDI (izoforon diizosiyanat) yapısal formülü

2.2.5. Kurutucular

Alkid reçinelerde ve alkid reçine bazlı boyalarda kullanılan kurutucular; yüzey, dip ve yardımcı kurutucular olarak üç gruba ayrılmaktadırlar. Solvent bazlı alkid reçine ve boyalarda kullanılan kurutucular Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Reçine ve boyalarda kullanılan kurutucular

Yüzey kurutucular; demir ve kobalt bazlı kurutuculardır. Dip kurutucular; mangan, kurşun, zirkonyum, bizmut bazlı kurutuculardır. Yardımcı kurutucular; stronsiyum, lityum, çinko, baryum ve kalsiyum bazlı kurutuculardır.

Kalsiyum bazlı kurutucular; en yaygın kullanılan yardımcı kurutuculardır. Tek başlarına zayıf kurutma performansına sahip olmalarına karşın, birincil ve ikincil kurutucuların pigmentler tarafından emilimini azaltarak, bu kurutucuların performanslarının artmasını sağlarlar. Kalsiyum bazlı kurutucular, özellikle nötral olanları, üstün pigment ıslatma özellikleri ile dispersiyon ajanı olarak işlev görür ve kullanıldıkları sistemin parlaklık ve sertlik özelliklerinin artmasını sağlarlar. Kalsiyum bazlı kurutucular, boyanın üretiminden uzun süre sonra kuruma performansının kaybı olarak nitelenen "loss of dry" değerinin azalmasını ve kuruma performansının uzun süre kalıcı olmasını sağlar. Kalsiyum bazlı kurutucular, genel olarak kobalt, mangan, zirkonyum, kurşun bazlı yüzey ve dip kurutucular ile kullanılır (URL-2).

Kobalt bazlı kurutucular; bilinen en güçlü ve aktif kurutucu türüdür. Hava kurumalı boyalarda yardımcı kurutucular ile kullanılır. Formülasyonlara bağlı olarak, kurşun veya zirkonyum ve kalsiyum ile kullanılarak, solvent bazlı boyaların dip kuruma ve yüzey kuruma performansını arttırır (URL-3).

Kurşun bazlı kurutucular; sarı renkli ve yüksek viskoziteli, organik çözücü içeren sistemlerdir. Kurşun bazlı kurutucular, kaplanmış filmin tüm tabakalarında işlev gördükleri için dip kurutucu olarak da adlandırılırlar. Kaplama filminin genel dayanımını ve esnekliğini arttırırlar. Kurşun bazlı kurutucular, kobalt ya da mangan ve çoğu zaman kalsiyum bazlı kurutucular ile çökelmeyi önlemek için kullanılırlar. Katı reçinenin %0,08'i ile %0,6 aralığında kullanımları mevcuttur (URL-4).

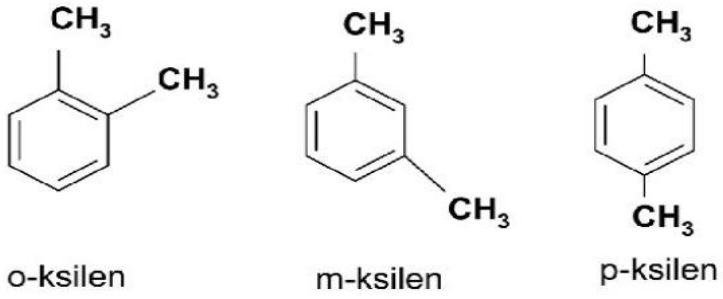
Zirkonyum bazlı kurutucular; kurşun bazlı kurutuculardan sonra bilinen en etkili ikinci çapraz bağlanma ajanıdırlar. Kurşun bazlı kurutuculara getirilen kısıtlamalar nedeniyle, çevreci bir alternatif olan zirkonyum bazlı kurutucuların kullanımı yaygınlaşmıştır. Kurşun bazlı kurutucular ile kıyaslandığında, daha iyi renk tutuşu ve parlaklık performansı vermesine rağmen, düşük sıcaklık ve yüksek nem gibi olumsuz koşullarda kurşun bazlı kurutucular kadar etkili kurutma yapamazlar. Zirkonyum bazlı kurutucular, sertlik ve etkili yapışma performansı veren güçlü çapraz bağlanma ajanıdırlar. Kobalt ve

kalsiyum bazlı kurutucular ile kullanıldığında sararma eğilimini azalttığından, beyaz boyalarda kullanımları yaygındır (URL-5).

2.2.6. Solventler

Toluen; Toluen, renksiz, suda çözünmeyen bir sıvıdır. Toluen formülü C_7H_8 şeklindedir ve yapısında fenil grubuna bağlı $-CH_3$ bileşiğini bulundurmaktadır. Toluen benzen maddesinin bir türevidir bu yüzden uluslararası sistematik ismi metil benzen olarak da bilinmektedir ayrıca toluen bir aromatik hidrokarbondur. Toluenin kaynama noktası +111 °C ve erime noktası ise -98 °C'dir. Kanserojen etki oluşturmaması nedeniyle, sanayide benzenden daha çok tercih edilir. Genellikle boya ve petrokimya endüstrisinde çözücü olarak kullanılmaktadır (URL-6).

Ksilen; benzene iki adet metil grubu bağlanmasıyla oluşan ve $C_6H_4(CH_3)_2$ kapalı formülü ile gösterilen bir bileşiktir. Orto ksilen, meta ksilen ve para ksilen olmak üzere üç çeşittir. Ksilen disübstitüe benzen olduğundan adlandırılması da benzerdir. Toluenle yapısal formülleri birbirine yakındır. Uçucu organik bileşiklerdendir. m-Ksilen diğerlerine kıyasla daha kolay bulunur. Ksilen renksiz, kolayca alevlenebilen ve zehirli bir sıvıdır. Alkol, eter ve diğer organik çözücülerde çözünür. Boya, lif, vernik ve kauçuk endüstrisinde kullanılır. Şekil 2.13'te ksilenin üç türünün yapısal formülü gösterilmiştir (URL-7).



Şekil 2.13. Ksilenin yapısal formülü

White spirit; boya inceltici olarak kullanılan sentetik tiner adıyla bilinmektedir, petrol türevi berrak bir sıvıdır. Genelde çok uzun olmayan 7-12 karbon arası alifatik ve alisiklik hidrokarbonlar içerir. Sentetik bazlı boya, vernik ve temizlik fırçaları için yaygın olarak boya inceltici ve diğer uygulamalarda organik çözücü olarak kullanılır.

Kullanılan uygulama yüzeyi üzerine buğu tabakası bırakmaz, ürünün iyi yayılmasını sağlar, inceltmede kullanıldığı ürünlerde yağ bırakmaz, uzun yağlı alkid reçinenin kullanıldığı sistemlerde çözücü solvent, su bazlı emülsiyon boyalarda yüzey gerilimi ve çatlamaları engeller (URL-8).

2.3. Alkid Reçine Üretim Yöntemleri

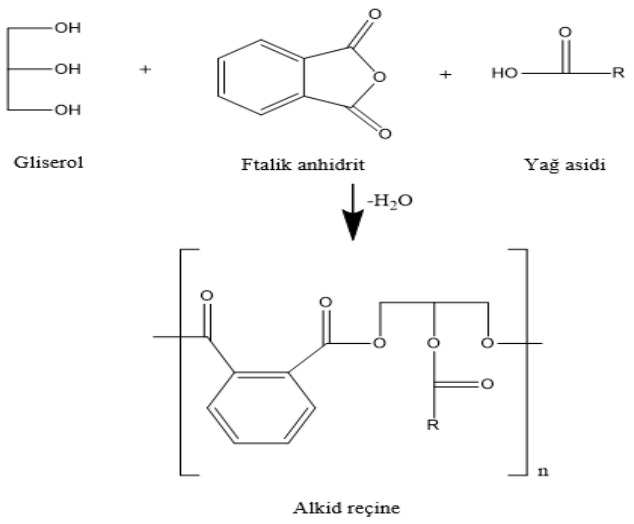
Alkid reçineleri, başlangıç hammaddesi olarak yağ veya yağ asidinin kullanılmasına göre iki farklı yöntem ile üretilmektedir (Güçlü, 2016). Bu yöntemler;

(I) yağ ile başlayan ve "alkoliz" ile "esterleşme" olmak üzere iki kademede gerçekleşen "monogliserid (alkoliz) yöntemi",

(II) yağ asidi ile başlayan ve tek kademede gerçekleşen "yağ asidi yöntemi"dir.

2.3.1. Yağ Asidi Yöntemi

Yağ asidi yönteminde, monofonksiyonel aktif karboksil grubu içeren yağ asitleri kullanılır. Yağ asidi, polialkol ve dibazik asit hammaddelerinden oluşan karışım reaktöre yüklenir ve azot ortamında sürekli olarak karıştırılarak 200-240 °C'de istenilen özelliklere ulaşıncaya kadar tepkimeye devam edilir. Alkoliz aşamasını gerektirmeyen bu yöntemde, tüm hammaddeler tepkimeye girerek polikondenzasyon tek kademede gerçekleşir. Sentezlenen alkid reçinenin molekül ağırlığı dağılımı çok geniş olmaktadır (Bulak, 2011; Tahmaz, 2013). Şekil 2.14'te örnek tepkime denklemi gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Yağ asidi yöntemi ile ilgili tepkime denklemi

Bu yöntemin avantajları ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır (Paszun ve Spychaj, 1997).

Avantajları:

- Reçine tek aşamada üretilmektedir.
- Süreç zamanı daha kısadır.
- Doğal ya da sentetik yağ asitleri kullanılabilmektedir.
- Poliol seçimi mümkündür.
- Açık renkte ürünler elde edilmektedir.
- Performansı yüksek ürünler elde edilebilmektedir.

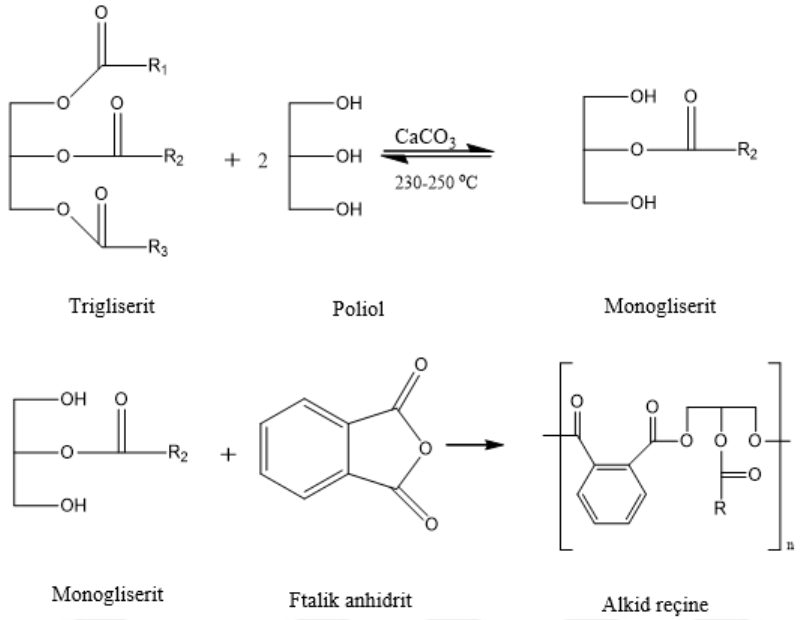
Dezavantajları:

- Yağ asitleri yağlara göre daha pahalıdır.
- Yağ asitlerinin bileşimindeki doymuş grupların oranı arttığı için kuruma esnasında ısıya gereksinim duyulmaktadır.
- Asit grubu içermesi nedeniyle depolama tanklarının paslanmaz çelikten veya aside dayanıklı malzemeden yapılması gerekmektedir.
- Tepkimede daha fazla su açığa çıktığı için verim düşmektedir.

2.3.2. Alkoliz Yöntemi

Alkoliz (Monogliserid) yönteminde üretim, “alkoliz” ve “esterleşme” olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir.

Alkoliz Aşaması; Yağlar, esterifikasyon işlemini sağlayacak aktif gruplara sahip olmadıkları için, dibazik asit veya polibazik asit ile direkt tepkime verememektedirler. Bu nedenle, yağlar önce polihidrik alkol ile 230-250 °C’de katalizör eşliğinde, alkoliz tepkimesi gerçekleştirilerek aktif duruma getirilmekte, böylece yağ ve poliol arasında gerçekleşen ester değişim (transesterifikasyon) tepkimesi ile monogliserid (kısmi esterler) hazırlanmaktadır (Güçlü, 2016; Bulak, 2011). Monogliserid üretimi ile ilgili tepkime Şekil 2.15’te gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Monogliserid yöntemi ile alkid reçine tepkimesi

Yağların alkolizinde, çoğunlukla bazik karakterli katalizörler veya metal tuzları kullanılmaktadır. En çok kullanılan bazik katalizörler; kurşun oktaat, monobütil oksit, sodyum hidroksit, lityum hidroksit, kalsiyum hidroksit ve dibütiltin dilaurattır. Katalizörler, yağa göre %0,1-0,01 oranında kullanılmaktadır ve kullanılan katalizörün türü, tepkime performansını etkilemektedir (Mecit, 2001; Yürekli, 1995; Tahmaz, 2013).

Alkoliz aşamasının tamamlanması, yağın metanolde çözünmemesine karşılık, oluşan monogliseridin hacminin iki katı kadar metanolde çözünmesi ile anlaşılmaktadır. Esterleşme Aşaması; İkinci aşamada, yağ ve poliolden bir önceki aşamada elde edilen monogliserid'in serbest OH grupları, polibazik asit veya mono asitlerle tepkimeye girerek polikondenzasyon ürünlerini oluşturmaktadır. Bu aşamada, alkoliz tepkimesinin tamamlanmasından sonra, sıcaklık hemen 180-190 ^{o}C'ye düşürülmekte ve dibazik asit ilavesi yapılmaktadır. Daha sonra sıcaklık tekrar 200-240 °C'ye çıkarılmakta ve bu sıcaklıkta ürün istenilen özelliklere (istenilen asit indisi ve viskozite değerleri) ulaşıncaya kadar tepkimeye devam edilmektedir (Yürekli, 1995; Bulak, 2011; Ünlü, 2017).

2.4. Alkid Reçine Modifikasyonları

Polialkoller ile polifonksiyonel asitlerin kondenzasyon tepkimeleri sonucunda elde edilen alkid reçinelerinin kullanım alanları sınırlıdır.

Alkid reçineleri, çeşitli katkı maddeleri ile karıştırılarak ya da farklı kimyasallar ile tepkimeye tabi tutularak modifiye edilebilir ve istenilen özelliklere sahip reçinelerin üretimi gerçekleştirilebilir.

Alkid reçinelerin zayıf olan özelliklerinin iyileştirilmesi için ya da farklı uygulamalarda kullanılmak üzere reçinede istenilen özelliklerin elde edilmesi amacıyla çeşitli modifikasyonlar yapılabilmektedir. Böylece, alkid reçineleri, çeşitli katkı maddeleri ile karıştırılarak ya da farklı kimyasallar ile tepkimeye tabi tutularak modifiye edilebilir ve istenilen özelliklere sahip reçinelerin üretimi gerçekleştirilebilir (Saçak, 1998).

Alkid reçineleri; stiren, vinil toluen, metil metakrilat, akrilonitril, fenolikler, benzoik asit ve türevleri, epoksi, silikonlar ve izosiyanatlarla modifiye edilebilmektedir (Saçak, 1998). Modifiye edilmiş alkid reçinelerin genel özellikleri Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Modifiye edilmiş reçinelerin özelliklerinin karşılaştırılması (Paksoy, 2000)

Modifikasyon	**Avantajları**	**Dezavantajları**
Üretan modifiye	Çabuk kuruma, iyi elastikiyet ve yapışma, aşınmaya, suya ve kimyasallara daha iyi dayanıklılık	Sararma yatkınlığı (keten/soya yağı alkidlerine göre nispeten daha az)
Akrilik modifiye	Çabuk kuruma, yüksek sabunlaşma direnci, artan yapışma karakteri, daha iyi atmosferik korozyon direnci	Düşük solvent direnci, Düşük çizilme direnci
Fenolik modifiye	Çabuk kuruma, sert film, daha iyi kimyasal dayanıklılık, iyi yapışma ve daha iyi parlaklık	Sararmaya yatkınlık, Daha az atmosferik korozyon dayanıklılığı
Vinil modifiye	Çabuk kuruma, yüksek sabunlaşma direnci, artan yapışma karakteri	Düşük solvent direnci, Düşük çizilme direnci
Silikon modifiye	Uzun süreli yüksek sıcaklık direnci, sararma, atmosferik korozyon ve kimyasallara karşı direnç, sert film oluşturma ve iyi aşınma dayanımı	Yüksek fırınlama sıcaklığı, daha yüksek fiyat
Epoksi modifiye	Yüksek elastikiyet, parlaklık, yapışma, alkali ve asitlere karşı iyi direnç, daha yüksek aşınma dayanımı	Alifatiklerde, aromatiklerde ve alkollerde sınırlı çözünme ve tebeşirlenme

2.4.1. Epoksi Modifiyeli Alkid Reçine

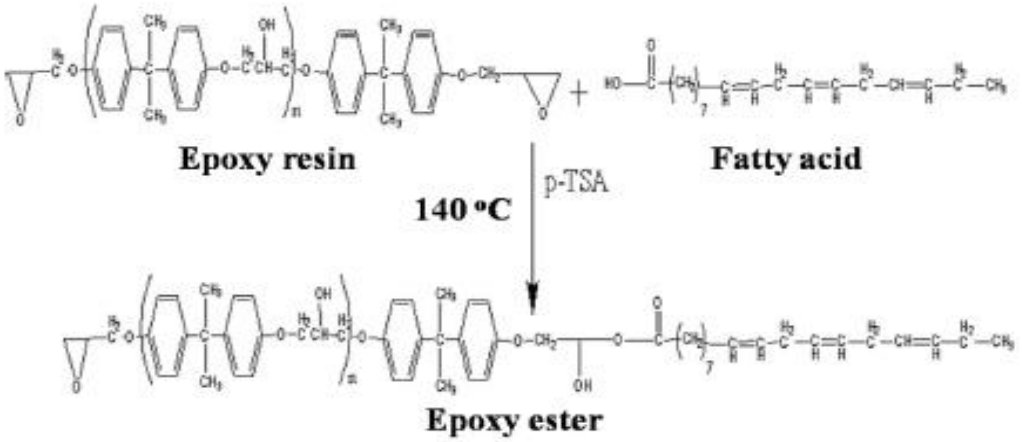
Yapılarındaki iki veya daha fazla yüksek reaktifliğe sahip epoksi grupları içeren çapraz bağlı oligomerlere ya da polimerlere "epoksi reçineler" denir.

Epoksi esterleri ise, epoksi reçineleri ile doymuş ve doymamış yağ asitleri arasındaki tepkime sonucu elde edilirler (Çam, 2015).

Epoksi esterler, epoksi kaplamalara göre daha düşük maliyete sahip olduğu için korozyon önleyici boyalarda kullanılırlar. Metal yüzeylere çok iyi yapışma, korozyona karşı mükemmel direnç ve ucuz olmaları gibi avantajlarının yanında çok fazla epoksi bileşeni olduğu durumlarda epoksideki bisfenol A bileşeninin UV ışığındaki bozulmaya olan duyarlılığı nedeniyle parlaklık kaybı olabilmektedir (Deligny ve Tuck, 2001).

Epoksi modifiyeli alkid reçine üretiminin temeli, alkid reçinenin üretimi için gerekli olan poliol veya dibazik asitin uygun bir epoksi reçine ile kısmen değiştirilmesi esasına dayanmaktadır. Modifiye reçinelerin elde edilmesinin bir başka yolu ise; epoksi reçinenin, alkid reçine ile kimyasal olarak bağlanmasıdır.

Beklendiği gibi, nihai ürünün özelliklerinde, modifikasyon için kullanılan reçineye doğru bir kayma gerçekleşmektedir. Modifikasyon sonunda; adhezyonda iyileşme, yüksek sabunlaşma direnci ve sertlik sağlanması yanı sıra, eğer epoksi reçinesi olarak aromatik eter tipleri kullanılmışsa, ışık haslığında bozulmalar gözlenmektedir (Goldschmidt ve Streitberger, 2003). Epoksi ester üretimi ile ilgili tepkime Şekil 2.16'da gösterilmektedir.



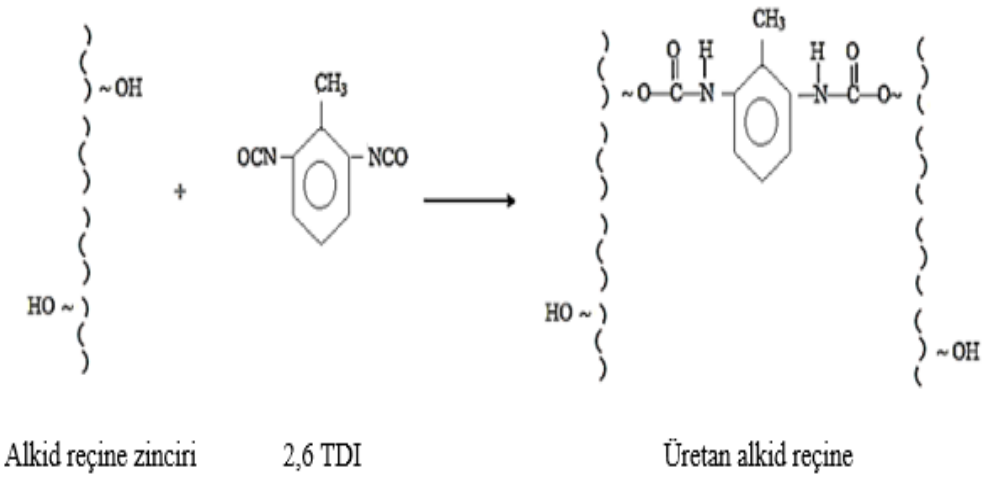
Şekil 2.16. Epoksi ester üretimi ile ilgili tepkime

Epoksi modifiye alkid reçineleri çoğunlukla su bazlı sistemlerde kullanılmaktadır. Bu konuda literatürde çok sayıda patent bulunmaktadır. Su ile dağıtılabilir epoksi modifiye alkid reçineler; yağ (veya yağ asidi), polihidrik alkol, monobazik asit, polibazik asit (veya anhidrit), polioksi alkilen glikol ve epoksi bileşiği kullanılarak; bir, iki veya üç aşamada sentezlenebilmektedir (Meltzer, 1981).

2.4.2. Üretan Modifiyeli Alkid Reçine

Üretan alkidler, uralkidler veya üretan yağları olarak da adlandırılmaktadır. Diizosiyanatlı (genellikle TDI) alkid reçineleridir. TDI, alkidlerin hazırlanmasında kullanılan ftalik anhidritin kısmen veya tamamen yerine geçmektedir.

Uralkidlerin başlıca üstünlükleri, alkid kaplamalardan daha iyi aşınma dayanımı ve daha iyi hidroliz dayanımıdır. Eksiklikleri ise, özellikle TDI kullanıldığında, filmlerin renginin zamanla koyulaşması ve alkidlerden daha pahalı olmalarıdır. Uralkidler, alifatik diizosiyanatlarla (IPDI) sentezlendiğinde, renklerinin zamanla koyulaşması azalmakta fakat bu da maliyeti arttırmaktadır (Acar, 1996; Wicks, 1992). Üretan alkid üretimi ile ilgili tepkime Şekil 2.17'de gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Üretan alkid üretimi ile ilgili tepkime

Avantajları,

- Hızlı kuruma özelliği
- Nemden daha az etkilenmesi

- Kimyasal etkilere dayanımının yüksek olması
- Ahşap yüzeylerde oldukça parlak film oluşumu sağlaması
- Diğer filmler üzerine uygunluk göstermesi

Dezavantajları,

- Sararma eğilimlerinin yüksek olması,
- Açık renkli ve beyaz boyalar için çok uygun olmaması
- Renk kalıcılığı ve fırça uygulanabilirlik özellikleri zayıf
- Akışkanlığının düşük olması
- Alkidlerden biraz daha pahalı olmaları (Yürekli, 1995).

Kullanım alanları;

- İnşaat boyaları, mobilya boyaları, parke ve yat sistemleridir (Wicks ve diğ., 1992).

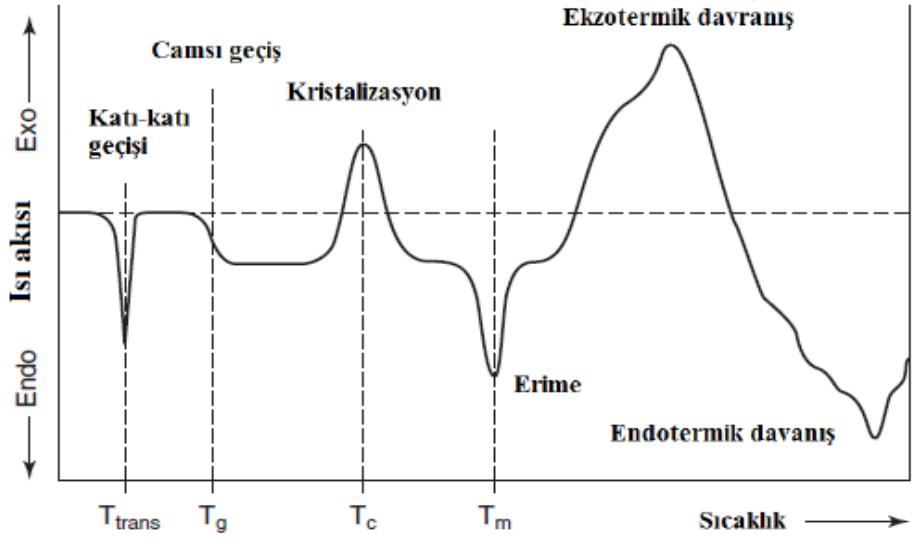
2.5. Karakterizasyon Yöntemleri

2.5.1. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), numune ve referans arasındaki ısı akış hızı farkını, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak inceleyen bir ısıl karakterizasyon yöntemidir.

Bu yöntemde numune ile referansın sıcaklıklarının aynı tutulması istendiği için, numune ve referans arasında ortaya çıkan sıcaklık farkı, örneğin bulunduğu taraftaki ısıtıcıya daha fazla elektrik akımı (ısı) uygulanarak giderilmeye çalışılır. Analiz sırasında numune sıcaklığı, referans sıcaklığından yüksek olduğunda (endotermik) pozitif bir sinyal elde edilirken; referans sıcaklığı, örnek sıcaklığından yüksek olduğunda (ekzotermik) negatif bir sinyal elde edilir (Nairn, 2003).

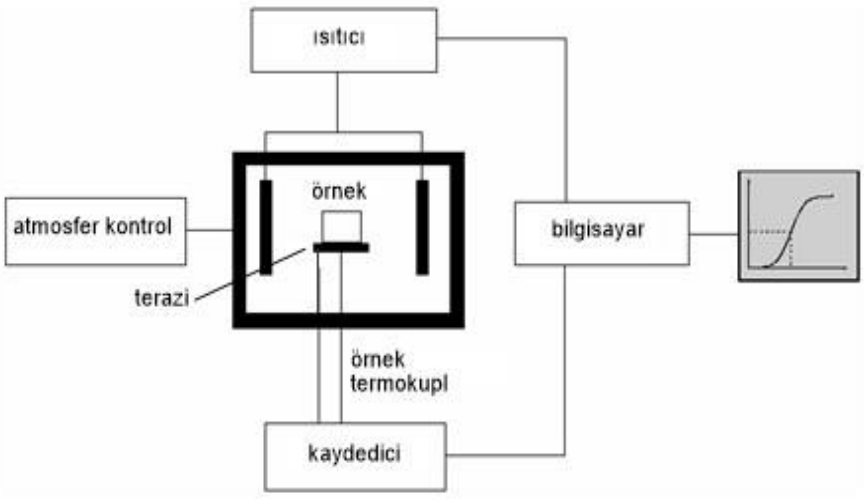
DSC ile malzemenin termal geçişlerdeki entalpi değişimi (ΔH), camsı geçiş sıcaklığı (T_g), erime sıcaklığı (T_m) ve kristallenme sıcaklığı (T_c) termal bozunma sıcaklığı ve çapraz bağlanma sıcaklığı ölçülebilir (Nosal ve diğ., 2015). Şekil 2.18'de bir polimerin DSC termogramından elde edilen ısıl geçişler gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Bir polimerin tipik DSC eğrisi (Stuart, 2003)

2.5.2. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz (TGA), kontrollü bir atmosferde (hava, azot, oksijen) numunelerdeki ağırlık değişimini ve hızını sıcaklık veya zamanın fonksiyonu olarak veren bir ısıl karakterizasyon yöntemidir. Ölçüm sırasında kroze içindeki örnek, cihazın hassas terazine yerleştirilir ve istenilen sıcaklık aralığında analiz gerçekleştirilir. Örneğin oda sıcaklığındaki başlangıç ağırlığı ölçülür ve daha sonra sıcaklık arttırıldıkça, ağırlığındaki değişimler kaydedilir. TGA ile bir örneğin saflığı, bileşimi, bozunma davranışı ve kimyasal kinetiği incelenebilir (Skoog, 1981). Termogravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı Şekil 2.19'da gösterilmiştir.

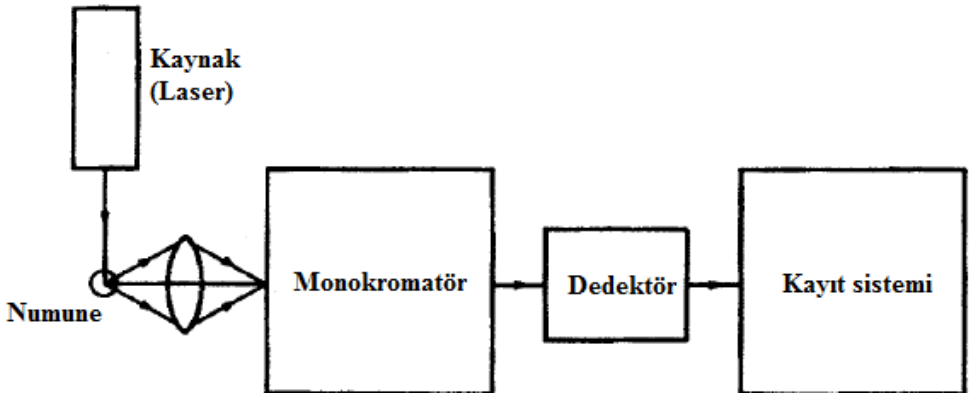


Şekil 2.19. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı

2.5.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), malzeme kimyasal yapısı içindeki fonksiyonel grup türlerinin belirlenmesinde kullanılan spektroskopik analiz yöntemidir. Bu teknikte molekül içindeki rotasyonel enerjinin yanı sıra belli atom veya atom gruplarının titreşim enerjilerine karşılık gelen örnek spektrumu referans spektrumu ile karşılaştırılarak bileşenler tanımlanır (Burches, 2005).

Bir malzemenin kızılötesi spektrumu, numune içinden kızılötesi ışını geçirilerek belirli bir aralıkta her frekansta absorbe edilen fraksiyonlar belirlenerek oluşturulabilmektedir. Belirli titreşimden gelen ışın frekansı, belirli moleküler titreşim frekansına eşitse molekül ışını absorbe eder. Buna bağlı olarak absorpsiyon spektrumunda görülen her pike karşılık gelen frekans numunedeki moleküllerin normal titreşim frekanslarından birine eşittir. FTIR cihazında tüm dalga uzunlukları örnek üzerinden aynı anda dedektöre geçer. Dedektör çift demetli girişim ölçerde bulunan aynaların birinin yer değiştirmesinin bir fonksiyonu olarak toplam iletilen yoğunluğu ölçer. Daha sonra çeşitli dalga boylarının ayırımı bir bilgisayar kullanılarak matematiksel olarak Fourier dönüşümü ile gerçekleştirilir (Şekil 2.20) (Bower, 2002).



Şekil 2.20. FTIR cihazının çalışma prensibi (Bower, 2002)

2.6. Literatür Taraması

Bu bölümde tez çalışmasının amacına yönelik literatürde araştırılan bilimsel çalışmalar sunulmuştur.

Wazarkar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, farklı kurutucular yani çapraz bağlayıcı maddeler kullanımının reçine performansına etkilerini incelemiştir. Genel olarak

çalışmada, poliüretanlar diizosiyanat ve diol bileşiklerinden sentezlenir. İzosiyanat bileşikleri ile ilgili toksisite ve tehlikeler, araştırmacıları zorladığı için izosiyanat içermeyen poliüretan sistemi geliştirme durumu göz önünde bulundurarak, propilen karbonatın etilen diamin ile tepkimesi ile üretan bağını içeren hidroksi üretan monomeri sentezlenmiştir. Bu monomer ayrıca hibrit epoksi-üretan reçine elde etmek için ticari epoksi monomer ile tepkimeye tabi tutulmuştur. Sentezlenen reçine daha sonra izoforon diamin (IPDA), Jeffamine T-403 ve diaminodifenil metan (DDM) gibi çeşitli yapısal aminler ile çapraz bağlanarak sertleştirilmiştir. Elde edilen hibrit epoksi üretan kaplamalar, mekanik, kimyasal, ısıl ve antikorozif özelliklerinin belirlenmesi için karakterize edilmiştir. Hibrit kaplamalar, ticari epoksi kaplamalar ile karşılaştırıldığında mükemmel parlaklık, sertlik, esneklik, aşınma direnci, kimyasal direnç ve ısıl kararlılık sergilemiştir. Korozyon direncinin ticari epoksi kaplamalarla karşılaştırıldığında biraz daha düşük olduğu görülmüştür. DSC ve TGA analizi, hibrit kaplamaların camsı geçiş sıcaklığının, ısıl kararlılığının ve kül veriminin ticari epoksi kaplamalardan daha yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır (Wazarkar ve diğ., 2016).

Ramesh ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yüksek performanslı su bazlı boyaların epoksi ester reçinesi ile sentezi gerçekleştirilmiştir. Boyalar farklı pigmentler ile renklendirilmiş ve pigment konsantrasyonlarının fiziksel ve kimyasal özellikler üzerinde etkileri incelenmiştir. Tüm kaplamaların, yüksek pigment konsantrasyonlarında bile, çok iyi mekanik özellikler ve ayrıca iyi asit, alkali ve solvent dayanım özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Epoksi polyester reçinesinde aşındırıcıya ortama 1200 saat maruz kaldıktan sonra, hiçbir pas lekesinin oluşmadığını gözlemlemişlerdir. Suda çözünebilen epoksi ester filmler, yumuşak çelik üzerinde korozyon koruyucu bir kaplama olarak kullanılabilmektedir. Bu çalışma sonucunda, solvent bazlı epoksi boyaların yerini su bazlı boyaların mükemmel bir antikorozif performansla alabileceği raporlanmıştır (Ramesh ve diğ., 2009).

Velayutham ve arkadaşlarının çalışmalarında, farklı yağ uzunluğunun ve farklı izosiyanat oranlarının reçinelerin performansına etkilerinin incelenmesi konusunda bilgi edinilmiştir. Poliüretan (PUR) kaplamaların hazırlanmasında çeşitli oleik asit içerikli polyester polioller kullanmışlardır. Poliesterlerin çeşitli NCO/OH oranlarının ve oleik asit içeriğinin PUR kaplamalarının fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

En düşük oleik asit içeriğine sahip kaplamaların, en iyi fiziksel ve kimyasal özellikleri gösterdiğini gözlemlemişlerdir. En yüksek oleik asit içeriği yüzdesine sahip PUR'un, daha yumuşak ve daha düşük antikorozif özelliklerde olduğunu bulmuşlardır. Aynı zamanda, ortam sıcaklığında sertleşmesinin daha uzun süre aldığını belirtmişlerdir. Kaplamaların NCO/OH oranı arttıkça, fiziksel, mekanik ve antikorozif özelliklerinin geliştiğini bildirmişlerdir (Velayutham ve diğ., 2009).

Saravari ve arkadaşlarının çalışmasında, hint yağı/jatropha yağı karışımı esaslı üretan alkidler hazırlanmış ve ticari üretan alkidleri ile karşılaştırılmıştır. Hint yağı/jatropha yağı bazlı üretan alkidin daha düşük moleküler ağırlığına ve viskoziteye, daha düşük sertliğe ve daha uzun kuruma süresine sahip olduğu görülmüştür. Ancak film özelliklerinin benzer olduğu ve mükemmel yapışma ile yüksek darbe dayanımı gösterdikleri belirlenmiştir. Suya ve aside karşı mükemmel dayanım sergilemişlerdir. Hint yağının, alkali dayanımı ve mükemmel sertlik gerektirmeyen uygulamalarda jatropha yağı ile alternatif hammadde olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Saravari ve Praditvatanakit, 2013).

Takeshita ve arkadaşlarının çalışmasında, su bazlı üretan ve epoksi kaplamaların su absorblama özellikleri, su ve kaplama arasındaki etkileşimleri incelenmiştir. Kaplamalar iki gün boyunca su içerisinde bekletilerek testler yapılmıştır. DSC testinde, suyun büyük bir kısmının polar fonksiyonel gruplar ile H bağları oluşturarak polimer ağına güçlü bir şekilde bağlı olduğu ve suyun geri kalan kısmının zayıf bir bağ ile polimer ağına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. FTIR sonuçlarından, su ile hidrojen bağları oluşturabilen yüksek polar fonksiyonel grupların yoğunluk ve dağılımlarındaki farklılıklar gözlenmiştir (Takeshita ve diğ., 2014).

Ling ve arkadaşları, farklı yağ asitleri kullanarak, yag asidi türünün reçinelerin performansına etkisini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Palm yağı bazlı, soya yağı bazlı, ayçiçek yağı bazlı, palm-soya yağı bazlı, palm-ayçiçek yağ bazlı poli (alkid-üretan) reçineler sentezlemişlerdir. Viskozite, çözünürlük, iyot sayısı, jel içeriği, kuruma süresi testi, yapışma testleri, darbe dayanımı, sertlik ve kimyasal dayanımı testlerini yapmışlardır. Palm yağı bazlı poli (alkid-üretan) reçinenin 270 °C'de sadece %5 ağırlık kaybı ile en iyi ısıl kararlılığa sahip olduğunu raporlamışlardır. Kuruma testlerinde, en iyi kuruma özellikleri sırasıyla ayçiçeği, soya yağı, yağ karışımı ve palm

yağı bazlı poli (alkid-üretan) reçinelerde elde edilmiştir. Genel olarak, bütün poli (alkid-üretan) reçinelerin iyi mekanik performans ve kimyasal dayanım özellikleri gösterdiklerini ve kaplama performanslarının geliştiğini bildirmişlerdir (Ling ve diğ., 2014).

Zuo ve arkadaşlarının çalışmalarında, epoksi ester kaplamaları farklı oranlarda titanyum iyon kürleme ajanı ile çapraz bağlanmış ve korozyon direnci performansı araştırılmıştır. Ağırlıkça %2-8 arası kürleme ajanı kullanılmıştır. Kaplamaların korozyon direnci, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve asetik asit-tuz sprey testi ile incelenmiştir. Titanyum iyonu kürleme ajanı kullanılan epoksi ester kaplamaların korozyon direncinin arttığı gözlenmiştir. Asetik asit-tuz sprey testinde, kürleme ajanı içeriği ağırlıkça %5 olduğunda, kaplamanın tamamen çapraz bağlanmış olduğu ve en iyi korozyon direncini gösterdiği tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, kürleme ajanı kullanımının iyi koruma performansı ve dayanıklılık sağladığı raporlanmıştır (Zuo ve diğ., 2018).

Singh ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, farklı yağ asitleri (LOFA, TOFA, DCOFA) ve bisfenol A kullanılarak suda çözünebilen epoksi ester reçine üretmişlerdir. Korozyon dayanımı özellikleri tuz spreyi, deniz suyuna daldırma ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi testleri ile incelenmiştir. Yapışma, çekme, sertlik ve darbe dayanımları testleri de yapılmıştır. TOFA kullanılarak hazırlanan epoksi ester reçinelerin, daha iyi yapışma ve kuruma özellikleri ile daha iyi mekanik ve antikorozif özellikler sergilediği belirtilmiştir (Singh ve diğ., 2015).

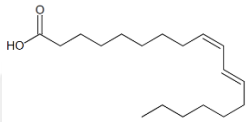
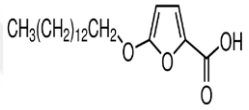
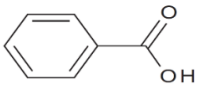
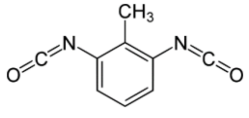
Malshe ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, farklı epoksilerin kullanılmasının boyanın kötü hava şartlarında aşınma performansına etkisinin görülmesi konusunda bilgi edinilmiştir. Farklı epoksi reçineler (bisfenol A (DGEBPA), bisfenol F (DGEBPF), bis 2,6-ksilenol F (DGEBXF), bis 2,6-ksilenol S (DGEBXS) and bis 2,6-ksilenol (DGEBX)) ve epoksi esterleri kullanılarak, TiO_2 içeren boyalar hazırlanmış ve çevresel hava koşullarına maruz bırakılarak özellikleri karşılaştırılmıştır. Epoksi ester boyaların aşınma özelliklerinin, epoksi boyalardan daha iyi olduğu, dehidratize edilmiş hint yağı asidi (DCOFA) ile modifiye edilmiş, kobalt ve kurşun oktaat ile kürlenen bisfenol A (DGEBPA) ile hazırlanan boyada, en yüksek sararma direnci ve parlaklığın görüldüğü saptanmıştır. DGEBPA-DCOFA boyasının aşınma özellikleri, diğer epoksi ester boyaların özelliklerine göre belirgin bir gelişme göstermiştir (Malshe ve Waghoo, 2006).

3. MALZEME VE YÖNTEM

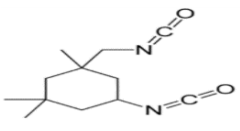
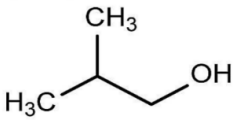
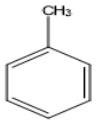
3.1. Malzemeler

Tez çalışması kapsamında ve reçine sektöründe en çok kullanılan hammaddeler hakkında detaylı teorik bilgiler, Bölüm 2'de verilmiştir. Tablo 3.1'de deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin firma bilgileri, özellikleri ve kimyasal yapıları gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Tez çalışmasında kullanılan malzemeler

Malzeme	Ticari Adı ve Firma	Özellikleri	Kimyasal Yapısı
Ayçiçek yağ asidi	Alem115 / Cargill	Molar kütle: 240 g/mol Asit Sayısı: 202 mg KOH/g İyot Sayısı: 128 g I_2/100 g	
Tofa	Sylfat2 / Krotan	Molar kütle: 324,45 g/mol Asit Sayısı: 196 mg KOH/g İyot Sayısı: 125 g I_2/100 g	
Benzoik asit	Eigenmann / Veronelli	Erime noktası: 122,3 °C Molar kütle: 122,12 g/mol Kaynama noktası: 249,2 °C Yoğunluk: 1,27 g/cm³	
Epoksi reçine	SR5097 / Jana	Ekivalent ağırlık:1500-1900 g/eq Yumuşama noktası: 100-118 °C Yoğunluk: 1,2 g/cm³	---
Epoksi reçine	YD014 / Kukdo	Ekivalent ağırlık: 900-1000 g/eq Yumuşama noktası: 91-102 °C Yoğunluk: 1,18 g/cm³	---
Epoksi reçine	YD014ER / Kukdo	Ekivalent ağırlık: 800-950 g/eq Yumuşama noktası: 88-102 °C Yoğunluk: 1,18 g/cm³	---
TDI (Toluen diizosiyanat)	p-Toluenesulfonnyl isocyanate / Sigma Aldrich	Molar kütle: 174,2 g/mol Yoğunluk: 1,21 g/cm³ Erime noktası: 21,8 °C Kaynama noktası: 251 °C	

Tablo 3.1. (Devam) Tez çalışmasında kullanılan malzemeler

IPDI (İzoforon diizosiyanat)	Vencorex Chemical	Molar kütle: 222,3 g/mol Yoğunluk: 1,062 g/cm³ Erime noktası: -60 °C Kaynama noktası: 159 °C	
Ksilen	Altıntel	MA: 106,16 g/mol Kaynama noktası: 139 °C Yoğunluk: 862 kg/m³	
İzobütanol	Kolsuzlar Kimya A.Ş.	MA: 74,12 g/mol Yoğunluk: 802 kg/m³ Kaynama noktası: 108 °C	
Toluen	Arkem Kimya A.Ş.	MA: 92,14 g/mol Yoğunluk: 867 kg/m³ Kaynama noktası: 110,6 °C	
Kurşun oktaat	EGEDry KurşunOkt, Ege Kimya	% 24'lük, White spirit içinde	---
Kalsiyum oktaat	EGEDry KalsiyumOkt, Ege Kimya	% 5'lik, White spirit içinde	---
Kobalt oktaat	EGEDry KobaltOkt, Ege Kimya	% 6'lık, White spirit içinde	---
Zirkon oktaat	EGEDry ZirkonOkt, Ege Kimya	% 12'lik, White spirit içinde	---
Sodyum klorür	ZagNaCl, Bereket Kimya	MA:58,44 g/mol	NaCl
Sodyum hidroksit	ZagNaOH, Bereket Kimya	MA:40 g/mol	NaOH
Sülfirik asit	Tekkim Kimya	MA:98 g/mol	H_2SO_4

3.2. Deneysel Yöntem

3.2.1. Epoksi Ester Reçine Üretimi

Bu çalışmada iki farklı yağ asidi, iki farklı epoksi reçine ve iki farklı izosiyanat türü kullanılmıştır. Hibrit reçinenin bazını oluşturan epoksi ester reçine sentezinde, Şekil 3.1'de verilen 5 boyunlu 6 kg hacminde cam reaktör sistemi kullanılmıştır. Boyunlardan sisteme, mekanik karıştırıcı, termometre, azot gazı sistemi, dean-stark aparatı ve bullu geri soğutucu bağlanmıştır. Son boyun ise tepkime sırasında numune almak için kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Epoksi ester üretiminde kullanılan 6 kg'lık cam reaktör

Karıştırma IKA marka mekanik karıştırıcı ile 200-220 devir/dk aralığında, ısıtma ise ISOLAB marka kontrollü ısıtıcı yardımıyla ±2 °C hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan reçetelerde Ayçiçek yağ asidi/TOFA, dibazik asit grubundan benzoik asit ve tepkimenin kontrol edilmesi için %12'lik zirkon oktaat katalizörü cam reaktöre yüklenmiştir. Cam reaktör epoksi reçinenin daha kolay erimesi için 150-160 °C ye ısıtılmıştır ve sonrasında katı epoksi reçine yavaş yavaş ilave edilmiş ve 240 °C ye kadar ısıtılarak tepkimeye devam edilmiştir. Tepkimede benzoik asit ve yağ asidinden gelecek

olan suyun uzaklaşmasını sağlamak amacıyla yükleme miktarının %5'i kadar geri döngü çözücüsü (riflaks solvent) olarak ksilen ilave edilerek tepkime başlatılmıştır. Asit sayısındaki düşme ve riflaks hızına göre tepkime sırasında ksilen ilave edilmiştir. Su çıkışından 4 saat sonra ilk numune alınarak asit ve viskozite takip edilmiştir. Asit sayısı 12 ve viskozitesi gardner-holdt tüpünde 20-30 sn/25°C değerine ulaşıncaya kadar tepkime takibi yapılmıştır. İstenilen viskozite ve asit sayısı aralığına gelindiğinde cam reaktör soğutmaya alınmış ve 150 °C'nin altında elde edilen reçineye katı değeri %60 olacak şekilde ksilen ilave edilmiştir.

3.2.2. İzosiyanatlar ile Modifikasyon

Hibrit reçinenin bazını oluşturan epoksi ester reçinenin diizosiyanatlar ile modifikasyonu Şekil 3.2'de görüldüğü gibi 5 boyunlu 2 kg hacminde cam reaktör sistemi kullanılarak yapılmıştır. Boyunlardan sisteme mekanik karıştırıcı, termometre, azot gazı sistemi, dozlama hunisi ve geri soğutucu bağlanmıştır. İlk aşamada üretilen epoksi reçineden yaklaşık 700 gr cam balona ilave edilmiş ve 100 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Toplam katı miktarı üzerinden %3, %5 ve %7 oranında TDI ya da IPDI verilerek tepkime başlatılmış ve 100-105 °C aralığında devam edilmiştir. Tepkime hızı çok yüksek olduğu için her 15 dakikada numuneler alınarak viskozitesi gardner-holdt tüpünde 60-100 sn/25 °C aralığında elde edilene kadar takip edilmiştir. Daha sonra cam reaktör soğutmaya alınmıştır. Tepkimeyi sonlandırmak için kullanılan diizosiyanat miktarının %20'si kadar izobütanol verilerek tepkime sonlandırılmıştır. Üretilen hibrit reçineler kullanılan yağ asidi türü, epeosi reçine türü ve izosiyanat türü ve içeriğine göre kodlanmıştır. Örneğin, ayçiçek yağ asidi, jana epoksi reçine ve %3 TDI ile modifiye edilme işleminde AYA/EPJ/TD3 kodu verilmiştir. Tez çalışması kapsamında 28 tane farklı fonksiyonelliğe sahip hibrit reçineler üretilmiştir. Üretilen tüm hibrit reçine ve kodları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çalışmada üretilen reçine ve kodları

Numune No	Reçine Kodu	Yağ Asidi Türü	Epoksi Reçine Türü	İzosiyanat Türü	İzosiyanat Yüzdesi
1	**AYA/EPJ**	AYÇİÇEK	JANA	-	-
2	AYA/EPJ/TD3	AYÇİÇEK	JANA	TDI	%3
3	AYA/EPJ/TD5	AYÇİÇEK	JANA	TDI	%5
4	AYA/EPJ/TD7	AYÇİÇEK	JANA	TDI	%7

Tablo 3.2. (Devam) Çalışmada üretilen reçine ve kodları

5	AYA/EPJ/IP3	AYÇİÇEK	JANA	IPDI	%3
6	AYA/EPJ/IP5	AYÇİÇEK	JANA	IPDI	%5
7	AYA/EPJ/IP7	AYÇİÇEK	JANA	IPDI	%7
8	**AYA/EPY**	AYÇİÇEK	YD014	-	-
9	AYA/EPY/TD3	AYÇİÇEK	YD014	TDI	%3
10	AYA/EPY/TD5	AYÇİÇEK	YD014	TDI	%5
11	AYA/EPY/TD7	AYÇİÇEK	YD014	TDI	%7
12	AYA/EPY/IP3	AYÇİÇEK	YD014	IPDI	%3
13	AYA/EPY/IP5	AYÇİÇEK	YD014	IPDI	%5
14	AYA/EPY/IP7	AYÇİÇEK	YD014	IPDI	%7
15	**TOFA/EPJ**	TOFA	JANA	-	-
16	TOFA/EPJ/TD3	TOFA	JANA	TDI	%3
17	TOFA/EPJ/TD5	TOFA	JANA	TDI	%5
18	TOFA/EPJ/TD7	TOFA	JANA	TDI	%7
19	TOFA/EPJ/IP3	TOFA	JANA	IPDI	%3
20	TOFA/EPJ/IP5	TOFA	JANA	IPDI	%5
21	TOFA/EPJ/IP7	TOFA	JANA	IPDI	%7
22	**TOFA/EPY**	TOFA	YD014	-	-
23	TOFA/EPY/TD3	TOFA	YD014	TDI	%3
24	TOFA/EPY/TD5	TOFA	YD014	TDI	%5
25	TOFA/EPY/TD7	TOFA	YD014	TDI	%7
26	TOFA/EPY/IP3	TOFA	YD014	IPDI	%3
27	TOFA/EPY/IP5	TOFA	YD014	IPDI	%5
28	TOFA/EPY/IP7	TOFA	YD014	IPDI	%7



Şekil 3.2. Modifikasyonlarda kullanılan 2 kg'lık cam reaktör

3.2.3. Reçine Verniklerin Hazırlanması

%3, %5 ve %7 oranında hem TDI hem de IPDI ile modifiye edilmiş hibrit reçinelere yüzde katı oranı üzerinden, bazını oluşturan epoksi ester reçinenin teknik bilgi formunda (TDS) belirtilen oranlarda %0,6 kurşun oktaat ve %0,04 oranında kobalt oktaat eklenmiştir. Hazırlanan bu verniklerden aplikatör yardımıyla % jel içeriği, dokunma kuruması, cihaz kuruması, sertlik, parlaklık ve yapışma testi için cam panellere filmler çekilmiştir. Aynı epoksi ve aynı yağ asidi kullanılan reçinelerde izosiyanat miktarının performansa etkisi gözlenmiştir. TDI veya IPDI ile modifiye edilmiş hibrit reçinelerden en yüksek performansa sahip olan reçine kombinasyonları seçilerek boya üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.2.4. Boyanın Hazırlanması

Farklı yüzdelerde izosiyanat verilerek hazırlanan hibrit reçinelerden en iyi performansa sahip AYA/EPJ, AYA/EPY ve TOFA/EPY epoksi ester reçinelerin %7 oranında hem TDI hem de IPDI ile modifiye edilenler ile TOFA/EPJ epoksi esterin ise %5 oranında hem TDI hem de IPDI modifiye edilen hibrit reçinelerin boya örnekleri üretilmiştir. Şekil 3.3'te boya hazırlamada kullanılan dispermat cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Boya üretiminde kullanılan dispermat cihazı

Öncelikle hibrit reçine, çinko fosfat, kalsit, talk ve ıslatma ajanı ilave edilerek 2000 rpm hızında su soğutmalı dispermat ile 45 dk boyunca tozların ezilerek tanecik boyutunun

küçülmesi ve reçine ile karışması sağlanmıştır. İlk karıştırma işlemi bittikten sonra bütil glikol, solvent olarak ksilen, pigment olarak demir oksit, kabuk önleyici olarak metil etil ketoksim, çökme önleyici olarak benton ve kurutucu olarak kurşun oktaat, kalsiyum oktaat, zirkon oktaat ve kobalt okaat verilerek 1000 rpm hızında 30 dk karıştırılarak boya üretim işlemi tamamlanmıştır. Üretilen bu boyalardan dokunma kuruması, cihaz kuruması, sertlik, parlaklık, yapışma, alkali dayanımı, tuz dayanımı ve asit dayanımı testleri için hem cam hem de metal panellere aplikatör yardımıyla filmler çekilmiştir.

3.3. Analizde Kullanılan Yöntem ve Cihazlar

3.3.1. Katı Madde Miktarı Testi

Alkid reçinelerin katı madde miktarı ölçümleri ISO 3251 standardına uygun olarak yapılmıştır. Viskozite ve asit testi için ksilen ile %60 oranına seyreltilen reçinelerden 1-1,5 g kadar alüminyum kaplara alınmış ve tartılmıştır. İyi çözünmesi ve iyi bir film tabakası oluşturması için alüminyum tartım kabına 2 g kadar toluen ilave edilmiştir. Daha sonra alüminyum kaplar 160±2 °C'de 15 dk bekletilmiş ve çıkartılarak desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Tekrar tartılan reçinelerin katı madde oranları Denklem (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemde m_1 ilk tartımı, m_2 ise son tartımı göstermektedir.

$$\% \text{ Katı madde miktarı} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (3.1)$$

3.3.2. Viskozite Testi

Viskozite testi için %60'a seyreltilen reçine gardner-holdt tüpüne koyulmuştur. 25 °C'de su banyosunda dengeye gelmesi için yaklaşık 5 dakika bekletilmiştir. Sonrasında 72 mm uzunluğundaki iki çizgi arasındaki mesafede aktığı süre saniye cinsinden ölçülmüştür.

3.3.3. Asit Sayısı Testi

Alkid reçinelerin tepkime süresince asit sayısı takibi ISO 2114 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Epoksi ester reçine sentezi esnasında cam balondan belli aralıklarla numune alınmıştır. Asit sayısı testinde izobütanol-toluen karışımına %1 oranında asetonda çözünmüş fenolftalein indikatörü ilave edilerek tampon çözeltisi hazırlanmıştır.

Cam balondan alınan numune %60 katıya seyreltildikten sonra erlene 1-2 g numune alınmıştır ve üzerine hazırlamış olduğumuz tampon çözeltisinden 100 ml alınarak reçinenin çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra 0,1 N alkolde çözünmüş KOH ile titre edilmiştir. Asit sayısı Denklem (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Asit\ sayısı\ \left(\text{mg}\frac{\text{KOH}}{\text{g}}\right) = \frac{M_A * N * F * S}{m} \quad (3.2)$$

M_A: KOH molekül ağırlığı
N: KOH çözeltisinin normalitesi
F: Çözeltinin faktörü
S: KOH çözeltisi sarfiyatı
m: Alınan numunenin ağırlığı

3.3.4. Renk Testi

Renk testi için ISO 4630-2 standartlarına uygun olarak Lovibond EC 2000 Gardner renk test çihazı kullanılmıştır. Elde edilen reçineler %50'ye seyreltildikten sonra gardner-holdt tüpüne koyulmuştur. Şekil 3.4'te gösterilen renk test cihazında su ile sıfırlama yapıldıktan sonra numunenin rengi ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.4. Renk ölçüm cihazı

3.3.5. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

FTIR analizleri Perkin Elmer Spectrum 100 model infrared spektroskopisi (Şekil 3.5) kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen reçinelerin kimyasal yapılarını ve modifikasyon ile değişimlerini incelemek için 650-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığının taranmasıyla FTIR spektrumları elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Analizlerde kullanılan FTIR cihazı

3.3.6. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

Elde edilen reçinelerin ısıl davranışlarını incelemek için Mettler Toledo DSC 1 Star cihazı kullanılmıştır. Cihazın genel görünümü Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Analizlerde kullanılan DSC cihazı

Epoksi ester reçine farklı yüzdelerde izosiyanat ile modifiye edilerek elde edilen hibrit reçinelerin DSC testleri azot atmosferi altında 25 ^{o}C-180 ^{o}C aralığında 10 ^{o}C/dk hızla gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerin ardından paket program yardımıyla numunelerin camsı geçiş sıcaklığı değerleri (T_g) belirlenmiş ve izosiyanat yüzdeleri ile T_g değerleri arasındaki ilişki gözlemlenmiştir.

3.3.7. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Sentezlenen hibrit reçinelerin ısıl kararlılıklarını belirlemek için Metler Toledo TGA 1 cihazı kullanılmıştır. Testler azot atmosferi altında, 20 °C/dk ısıtma hızıyla 25 °C ile 600 °C aralığında gerçekleştirilmiştir. Bozunma eğrisi çözücü olarak kullanılan ksilen ve hibrit reçinenin bozunma sıcaklıklarının farklı olması nedeniyle iki aşamalı olmuştur. Örneklerin başlangıç bozunma sıcaklığı (T_{onset}), bozunmanın bittiği sıcaklık (T_{endset}), maksimum bozunma sıcaklıkları (T_{max}) ve kalan kül miktarları belirlenmiştir. Kullanılan TGA cihazı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Analizlerde kullanılan TGA cihazı

3.3.8. Yüzde Jel İçeriği Testi

Hibrit reçinelerin çapraz bağ yoğunluğunun ölçülmesi için ASTM D 2765 standardına uygun olarak jel içeriği testi yapılmıştır. Öncelikle reçinelerden toplam katı miktarı üzerinden %0,04 kobalt oktaat ve %0,6 kurşun oktaat verilerek vernik hazırlanmıştır. Bu verniklerden cam panellere 120 mikron kalınlığında filmler çekilmiştir. Bu filmler 160 °C'deki etüvde 30 dakika bekletilerek kürlenmesi sağlanmıştır. Etüvden çıkarılan cam

paneller desikatörde oda koşullarına getirilmiştir. Erlen içine bu kürlenmiş reçineden yaklaşık 1-1,5 g alınarak üzerine 100 g THF eklenmiş ve 24 saat bekletilmiştir. 24 saatin sonunda süzgeç kâğıdı ile süzülen reçine, darası alınmış süzgeç kâğıdı ile etüvde solvent uçurularak tartılmış ve aşağıdaki Denklem (3.3) kullanılarak jel içeriği hesaplanmıştır.

$$(\%)\ \text{Jel içeriği} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \qquad (3.3)$$

m_1: Başlangıç ağırlığı

m_2: Son ağırlık

3.3.9. Kuruma Testi

Kuruma zamanı testi TS EN ISO 9117-4 standartlarına uygun yapılmıştır. Kuruma zamanı testi için cam şeritlere aplikatör yardımıyla 76 mikron kalınlığında filmler çekilmiştir. Cam levhalar B.K. Drying Recorder marka kuruma kayıt cihazına zaman ölçümü için konulmuş ve 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Cihazın 24 saat boyunca boya ve vernik filmlerini çizmesi takip edilerek kuruma zamanı belirlenmiştir. Kullanılan test düzeneği Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Kuruma kayıt cihazı

3.3.10. Parlaklık Testi

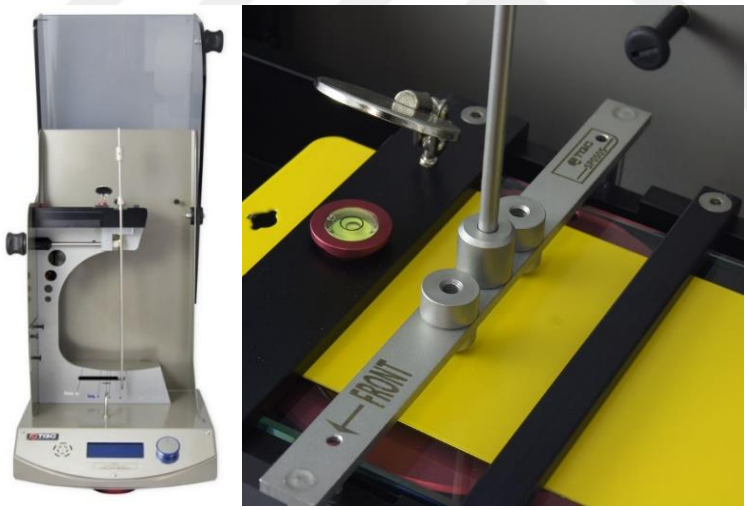
Parlaklık testi için cam panellere çekilmiş 60 mikronluk filmler laboratuvar ortamında 24 saat kürlendirildikten sonra 3 gün boyunca her gün parlaklık ölçümü gerçekleştirilmiş ve kayıt altına alınmıştır. Ölçümler Rhopoint Iq Goniyofotometre Glossmetre model parlaklık ölçüm cihazı kullanılarak 60° ve 85° açı değerleri için gerçekleştirilmiştir. Kullanılan cihaz Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Trigloss parlaklık cihazı

3.3.11. Sertlik Testi

Sertlik testi için cam panellere çekilmiş 60 mikronluk filmler laboratuvar ortamında 24 saat kürlendirildikten sonra 3 gün boyunca her gün sertlik ölçümü gerçekleştirilmiş ve kayıt altına alınmıştır. Ölçümler için TQC Pendelum marka sarkaç sertlik cihazı kullanılmıştır. Test, ISO 1522'de belirtilen şekilde König metoduna göre yapılmıştır. Kullanılan cihaz Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

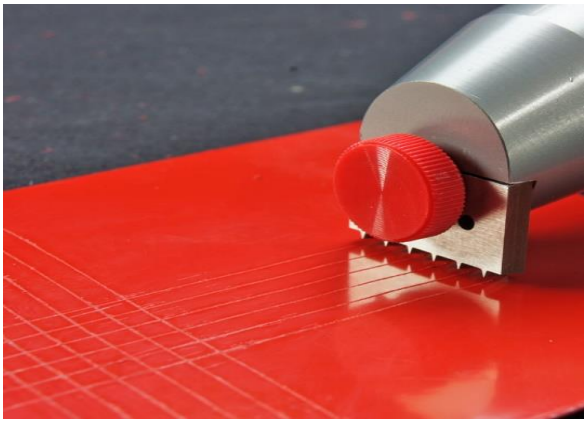


Şekil 3.10. König sertlik cihazı

3.3.12. Yapışma (Aderans) Testi

Yapışma testi için TQC Cross-Cut Adhesion Test CC1000 cihazı kullanılmıştır. Yapışma ölçümleri için cam panellere çekilmiş 60 mikronluk filmler labotatuvar ortamında 72 saat kürlendirildikten sonra ASTM D3359 uygun olarak 1 mm kesme aralığında, cross-cut ile filme çapraz çizikler atılmış ve bant yardımıyla reçinenin cam filme yapışma performansına bakılmıştır. Standarda göre yapışma ölçümlerine GT0-GT5 arasında

puanlama yapılmıştır. Standartta GT0 çok iyi, GT5 çok kötü anlamına gelmektedir. Yapışma için kullanılan cross-cut cihazı Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Yapışma (Aderans) cross-cut aleti

3.3.13. Alkali, Asit ve Tuz Dayanımı Testi

Sentezlenen hibrit reçinelerden boya üretilmiş ve bu boyalardan 120 mikron kalınlığında cam ve metal panele filmler çekilmiştir. Boya filmleri plastik bir kapta yarısı içeride kalacak şekilde daldırılmıştır. Alkali dayanım testi için %3'lük NaOH, asit dayanımı için %3'lik H_2SO_4 ve tuz dayanımı için ise %5'lik NaCl çözeltisi kullanılarak 15 gün boyunca beklenerek testler gerçekleştirilmiştir. Daldırma yöntemi ile yapılan tuz dayanımı testinin yanı sıra, ayrıca 45 °C ve 1,2 bar basınçta salt-sprey korozyon test cihazında 15 gün boyunca tuz çözeltisi püskürtülerek boyanın tuz dayanımı gözlenmiştir. Korozyon testi için Biuged Instruments BGD 880/S cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.12'de cihazın genel resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Salt-sprey korozyon test cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Fiziksel Özellikler

Sentezlenen tüm reçinelerin tepkime süresi boyunca asit sayısı, viskozite ve % katı miktarı takibi yapılarak istenilen spekt aralığına ulaşılmaya çalışılmıştır. Öncelikle, uzun yağlı yağ asidi (TOFA), Ayçiçek yağ asidi ve iki farklı epoksi reçine (JANA/YD014) kullanılarak hibrit reçinenin bazını oluşturan epoksi ester reçine üretimi yapılmıştır. %60 katıda viskozite aralığı 20-30 sn ve asit sayısı 12'nin altında bir değere ulaşılmaya çalışılmıştır. Baz alkid olan epoksi ester reçinelerin fiziksel özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Daha sonra, üretilen bu epoksi ester reçineler %3, %5 ve %7 oranında TDI ve IPDI ile modifiye edilmiştir. Her iki tepkime çok hızlı olduğu için tepkime başlangıcından 15 dk sonra numune alınmaya başlanmıştır. Hızlı tepkimeden dolayı jel olmaması için sık sık numune alınmıştır. TDI izosiyanatın tepkimedeki aktivitesi IPDI'ya göre daha yüksektir. Aynı şekilde JANA epoksi reçinenin epoksi ekivalent değeri ort. 1500 g/eq, YD014'ün ise ort. 1000 g/eq'dir. Bundan dolayı JANA epoksi reçinenin tepkimedeki aktivitesi daha yüksektir.

Hem JANA hem de TDI ile üretilen reçineler çok hızlı tepkime göstermiş ve sentezlenen reçinelerin viskoziteleri diğer hibrit reçinelere göre daha yüksek değer göstermiştir. Katı üzerinden verilen izosiyanatın %20'si kadar tepkimeyi sonlandırmak için verilen izobütanol miktarı %25-30'a kadar çıkmaktadır, bundan dolayı hızlı giden

TDI modifiyeli alkidlerin katısı verilen fazla izobütanolden dolayı biraz daha düşüktür. Hibrit reçinelerin fiziksel özellikleri Tablo 4.2-4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Epoksi ester reçinelerin fiziksel özellikleri

	AYA/EPJ	**AYA/EPY**	**TOFA/EPJ**	**TOFA/EPY**
Katı (%)	60,4	60,5	60,7	60,3
Viskozite((s.) GBT/25 ºC)	29	20	24	22
Asit Sayısı (mg KOH/g)	11,2	10,0	10,8	9,8
Renk (Gardner -% 50 katı)	4,8	4,1	4,6	4,7

Tablo 4.2. TDI modifiyeli hibrit reçinelerin fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler	%3 TDI	%5 TDI	%7 TDI
AYA/EPJ/TD			
Katı (%)	60,0	59,8	59,7
Viskozite((s.) GBT/25 ºC)	72	87	93
AYA/EPY/TD			
Katı (%)	60,3	60,1	59,7
Viskozite((s.) GBT/25 ºC)	70	81	89
TOFA/EPJ/TD			
Katı (%)	60,2	60,0	59,6
Viskozite((s.) GBT/25 ºC)	71	77	88
TOFA/EPY/TD			
Katı (%)	59,9	59,6	59,3
Viskozite((s.) GBT/25 ºC)	69	74	80

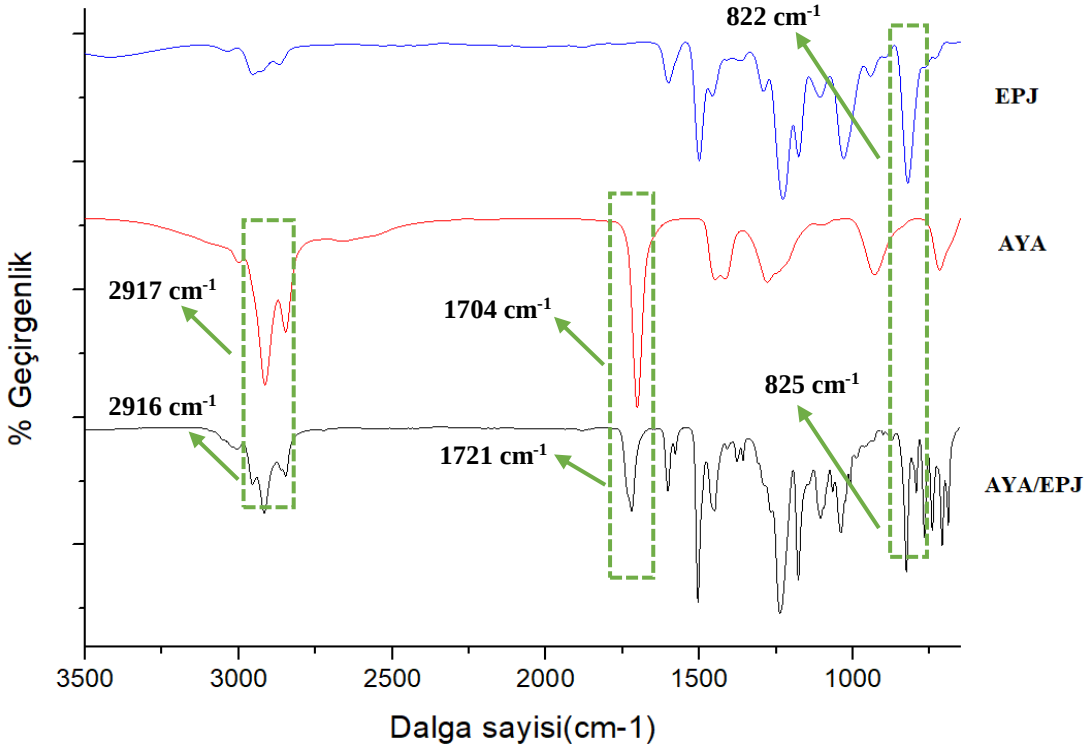
Tablo 4.3. IPDI modifiyeli hibrit reçinelerin fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler	%3 IPDI	%5 IPDI	%7 IPDI
AYA/EPJ/IP			
Katı (%)	60,2	60,3	59,9
Viskozite((s.) GBT/25 ºC)	76	82	89
AYA/EPY/IP			
Katı (%)	60,2	60,0	59,7
Viskozite((s.) GBT/25 ºC)	60	67	71
TOFA/EPJ/IP			
Katı (%)	60,3	60,2	59,9
Viskozite((s.) GBT/25 ºC)	62	71	78
TOFA/EPY/IP			
Katı (%)	60,0	59,4	59,6
Viskozite((s.) GBT/25 ºC)	62	69	73

4.2. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Sonuçları

AYA/EPJ epoksi ester reçineye ait FTIR spektrumunda Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Diğer epoksi ester reçinelere ait FTIR spektrumları Ek A'da verilmiştir. AYA'da 1704 cm^{-1} ve 2917 cm^{-1} dalga boylarında görülen C=O ve C-H pikleri karakteristik olarak AYA'nın yapısında bulunan ester bağlarının varlığını göstermektedir. EPJ'de 822 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik ise karakteristik olarak EPJ'nin yapısındaki epoksi halkalarında bulunan (C-O, C-C) varlığından kaynaklanmaktadır (Singh ve diğ., 2015). EPJ'de 1608 cm^{-1}, 1500 cm^{-1} ve 1456 cm^{-1} dalga boylarındaki tepe noktaları benzen halkasının iskelet titreşimidir. Literatürde yapılan çalışmalarda, 910 cm^{-1} dalga boyunda bulunan epoksi

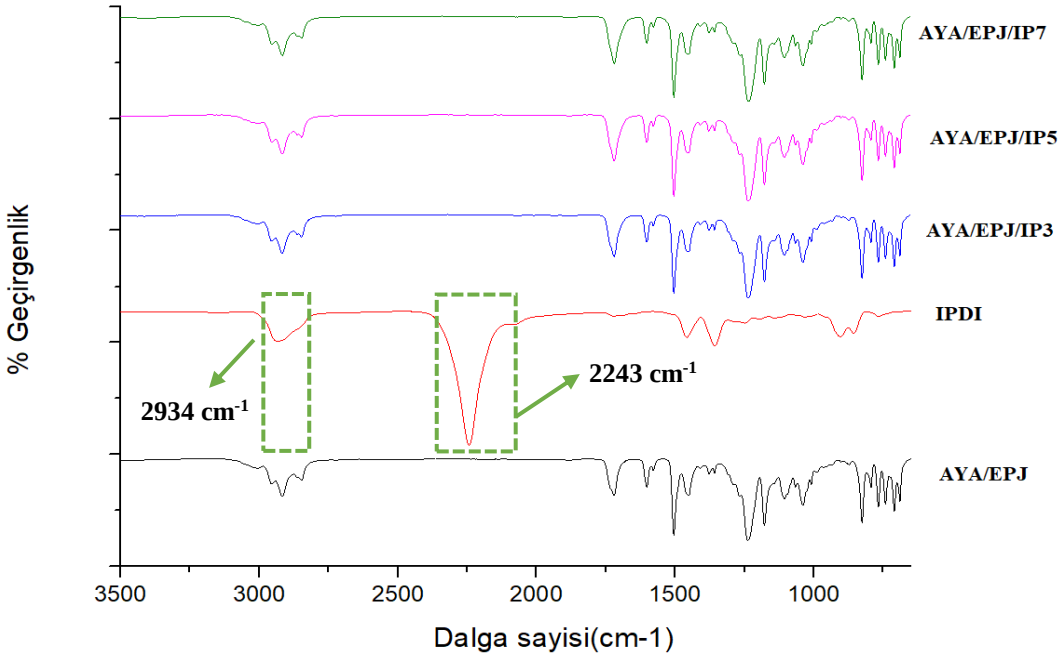
halkasının halka açılması ile yok olması epoksi modifiye alkid reçine sentezinin gerçekleştiğini gösterdiği belirtilmektedir (Ma ve diğ., 2020). Şekil 4.1'de de AYA/EPJ de epoksi pikinin yok olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, AYA/EPJ'de 1721 cm^{-1} ve 825 cm^{-1} dalga boylarında görülen piklerdeki değişim ise, AYA ve EPJ arasında gerçekleşen tepkimede oksiran halkasının açılması sonucu oluşmuştur. Buna ek olarak, 2916 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik oksiran halkasının açılması sonucunda oluşan C-H bağlarını belirtmektedir. Epoksi ester reçinesinin oluşumu, asit değeri ölçülerek de doğrulanmıştır (Singh ve diğ., 2015). Tüm epoksi ester reçineleri için hesaplanan asit değeri, epoksi esterlerdeki asit gruplarının azalmasını gösteren 11,2 KOH/mg'nin altında bulunmuştur.



Şekil 4.1. AYA/EPJ epoksi ester reçineye ait FTIR spektrumu

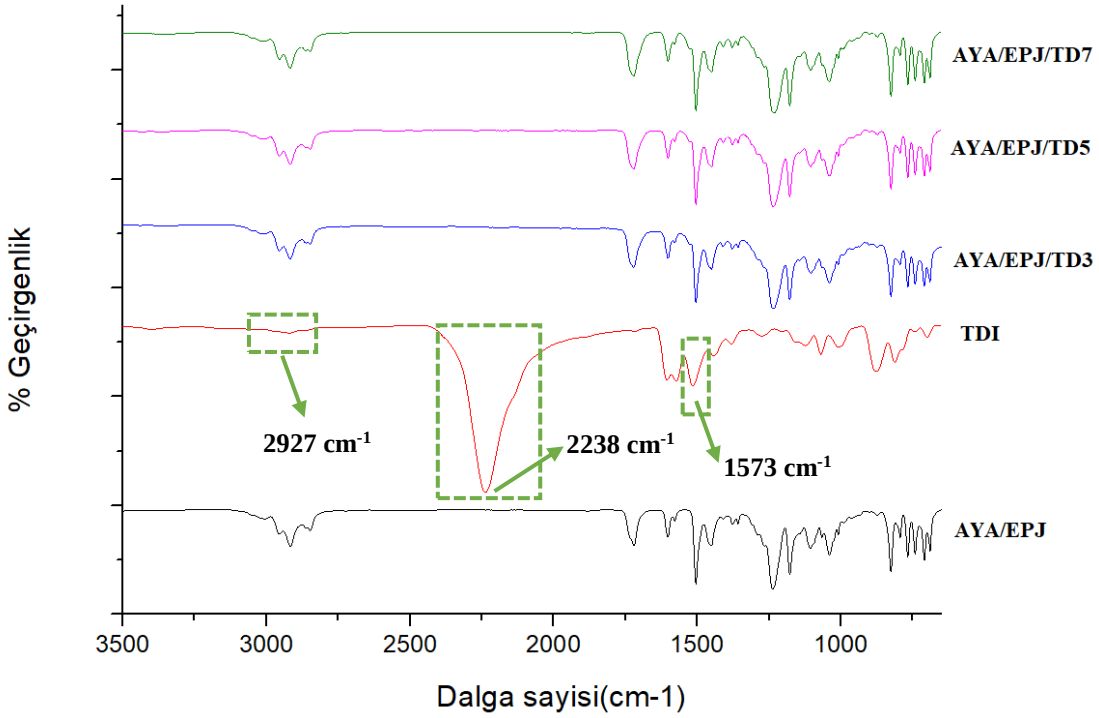
Şekil 4.2'de AYA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumunda 2243 cm^{-1}'de görülen pik karakteristik olarak IPDI'nın yapısında bulunan izosiyanat grubuna ait N=C=O gerilme titreşimlerini göstermektedir. Ayrıca 2934 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik C-H gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır (Hosseinpourpia ve diğ., 2018; Solymosi ve Rasko, 1980; Sultan ve diğ., 2011). Hibrit reçine üretiminin ardından oluşabilecek yapısal değişiklikleri görebilmek amacı ile FTIR spektrumları karşılaştırıldığında, IPDI'dan gelen N=C=O gerilme titreşimi piklerinin hibrit reçinelerde

kaybolduğu görülmüştür. Hibrit reçine üretilirken IPDI ile AYA/EPJ arasında mkimyasal tepkimelerin oluştuğu ve IPDI'ın reaktif gruplarınının harcandığı tahmin edilmektedir. Benzer durumlar, diğer hibrit reçinelerde de gözlendiği için EK A'da FTIR spektrumları verilmiştir.



Şekil 4.2. AYA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu

Şekil 4.3'te AYA/EPJ ve TDI modifikasyonuna ait FTIR spektrumunda 2238 cm^{-1}'de görülen pik karakteristik olarak TDI'ın yapısında bulunan izosiyanat grubuna ait N=C=O gerilme titreşimlerini göstermektedir. Ayrıca 1573 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik imin grubuna ait C=N gerilme titreşiminden ve 2927 cm^{-1} dalga boyunda görülen C-H gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır (Solymosi ve Rasko, 1980; Kaya ve diğ., 2011; Sultan ve diğ., 2011). Hibrit reçine üretiminin ardından oluşabilecek yapısal değişiklikleri görebilmek amacı ile spektrumlar karşılaştırılmıştır. FTIR spektrumunda TDI'dan gelen N=C=O ve C=N gerilme titreşimi piklerinin hibrit reçinelerde kaybolduğu belirlenmiştir. Hibrit reçine üretimi sırasında, TDI ile AYA/EPJ arasında kimyasal etkileşimlerin meydana geldiği ve TDI'ın reaktif gruplarının harcandığı anlaşılmaktadır. Benzer durumlar, diğer hibrit reçinelerde de gözlendiği için EK A'da FTIR spektrumları verilmiştir.



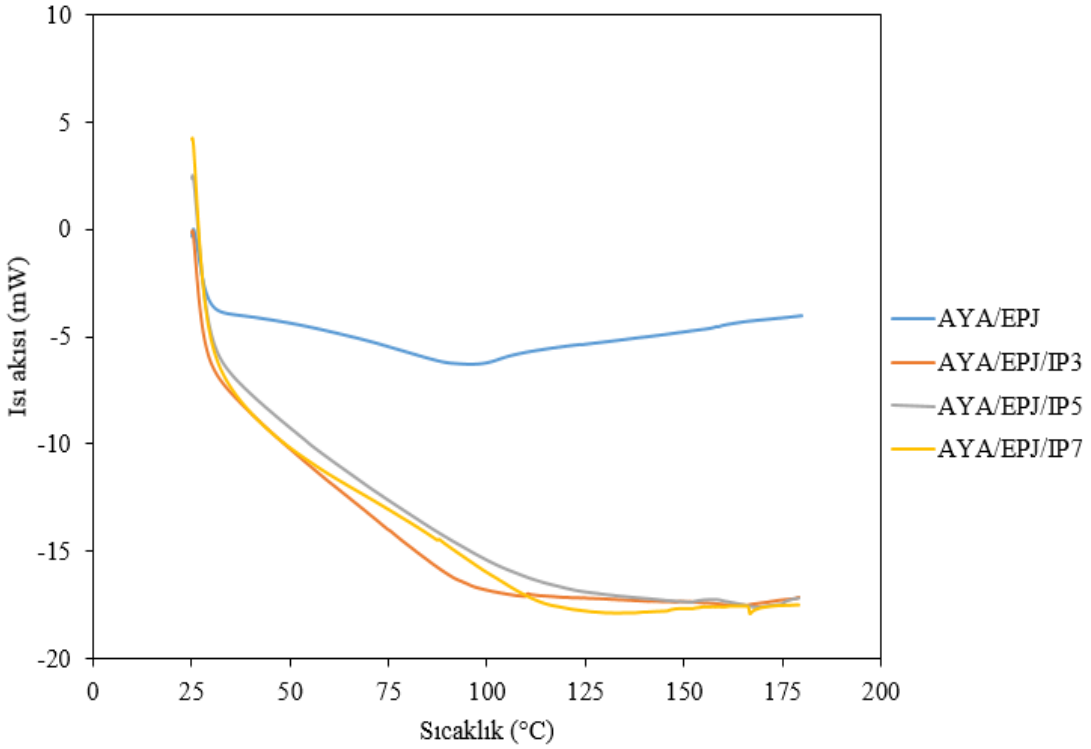
Şekil 4.3. AYA/EPJ ve TDI modifikasyonuna ait FTIR spektrumu

4.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Sonuçları

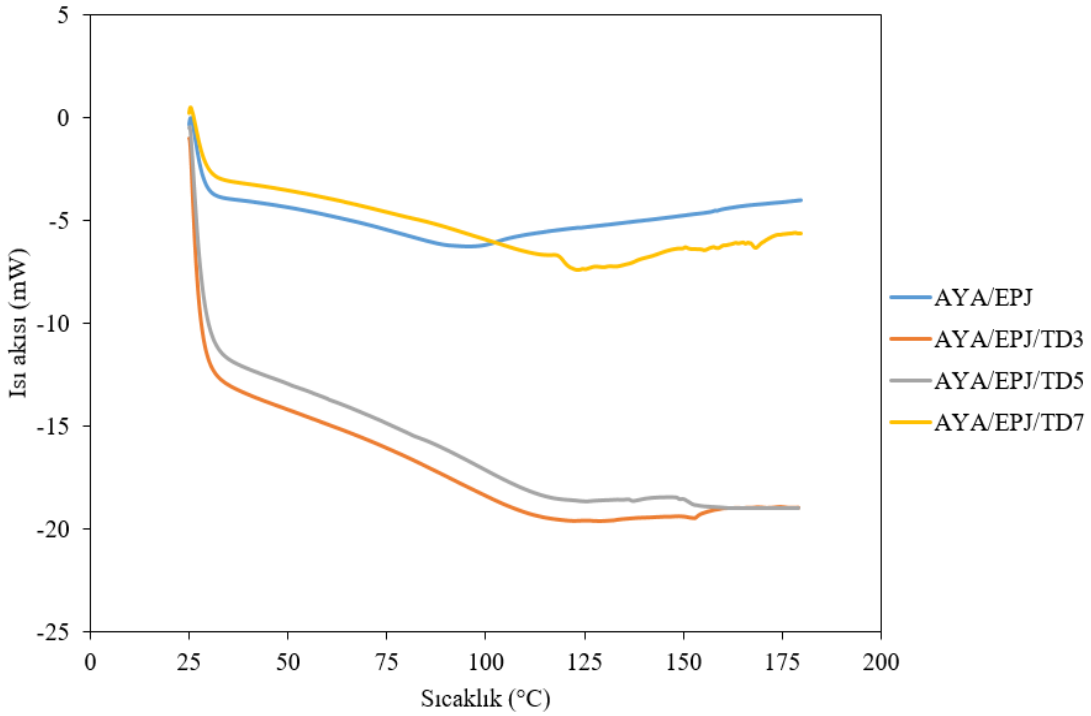
Hibrit reçinelerin ısıl özelliklerini belirlemek amacı ile DSC ölçümleri yapılmış ve camsı geçiş sıcaklıkları (T_g) belirlenmiştir. AYA/EPJ, IPDI ve TDI modifiyeli hibrit reçinelerinin DSC eğrileri Şekil 4.4-4.5'te gösterilmiştir. Diğer hibrit reçinelerin DSC eğrileri EK B'de verilmiştir. Eğrilerden elde edilen veriler Tablo 4.4'te özetlenmiştir.

Tablo incelendiğinde, AYA/EPJ, AYA/EPY ve TOFA/EPY epoksi esterlerin hem TDI hem de IPDI yüzdelerinin artmasıyla T_g değerlerinin arttığı gözlenmiştir. TOFA/EPJ epoksi esterlerin hem TDI hem de IPDI %5 oranında kullanıldığında T_g değerlerinin en yüksek olduğu görülmüştür. Jel içeriği ve sertlik testi sonuçları incelendiğinde de benzer durumların olduğu tespit edilmiştir ve DSC testinden elde edilen sonuçları desteklemektedir.

Jel içeriği testi sonuçlarında, çapraz bağ yoğunluğu arttıkça jel içeriği değerlerinin de arttığı gözlenmiştir. Ayrıca sertlik testi sonuçlarında da çapraz bağ yoğunluğu arttıkça, reçinenin yapısının gittikçe daha rijit hale geldiği ve buna bağlı olarak da T_g değerlerinin de artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Wazarkar ve diğ., 2016).



Şekil 4.4. AYA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri



Şekil 4.5. AYA/EPJ ve TDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri

Tablo 4.4. Sentezlenen reçinelerin T_g değerleri

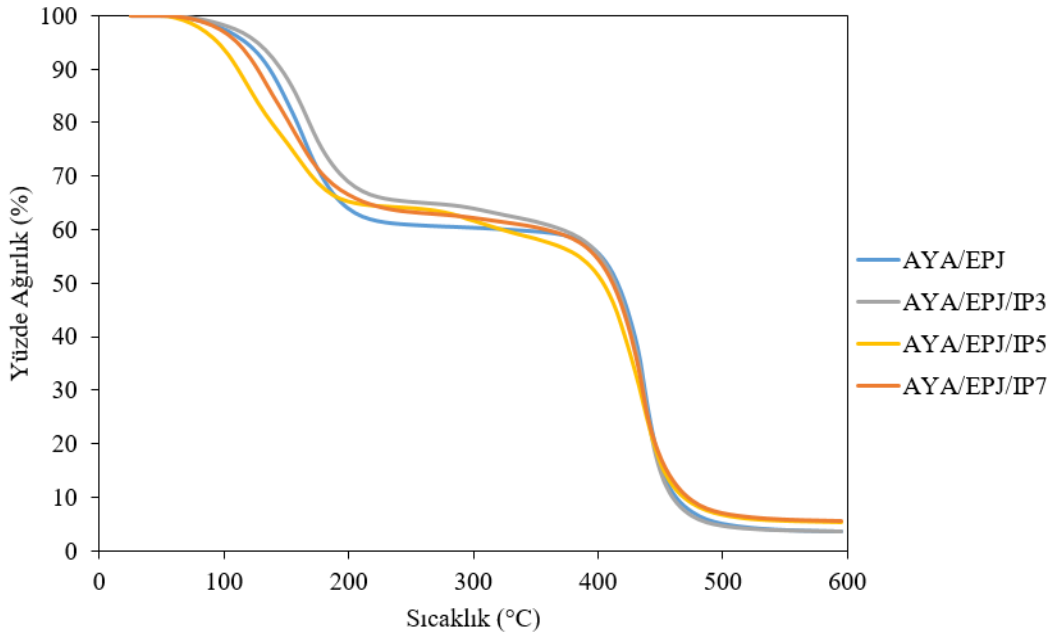
Numune Adı	T_g		Numune Adı	T_g	
	T_{onset} (°C)	**$T_{midpoint}$ (°C)**		**T_{onset} (°C)**	**$T_{midpoint}$ (°C)**
AYA/EPJ	92,0	95,7	TOFA/EPJ	103,0	120,1
AYA/EPJ/IP3	93,6	99,8	TOFA/EPJ/IP3	92,3	106,7
AYA/EPJ/IP5	94,6	112,5	TOFA/EPJ/IP5	**98,1**	112,3
AYA/EPJ/IP7	**104,8**	118,1	TOFA/EPJ/IP7	**81,0**	103,0
AYA/EPJ/TD3	97,5	112,2	TOFA/EPJ/TD3	92,7	112,6
AYA/EPJ/TD5	99,6	114,2	TOFA/EPJ/TD5	**124,8**	125,6
AYA/EPJ/TD7	**120,6**	124,5	TOFA/EPJ/TD7	84,4	96,4
AYA/EPY	112,4	117,9	TOFA/EPY	102,6	119,8
AYA/EPY/IP3	92,0	99,7	TOFA/EPY/IP3	96,6	111,3
AYA/EPY/IP5	93,6	110,6	TOFA/EPY/IP5	112,6	113,7
AYA/EPY/IP7	100,6	118,2	TOFA/EPY/IP7	**87,7**	120,6
AYA/EPY/TD3	89,7	108,6	TOFA/EPY/TD3	92,4	110,9
AYA/EPY/TD5	96,8	118,4	TOFA/EPY/TD5	111,5	114,6
AYA/EPY/TD7	**115,0**	121,0	TOFA/EPY/TD7	**118,2**	128,5

4.4. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

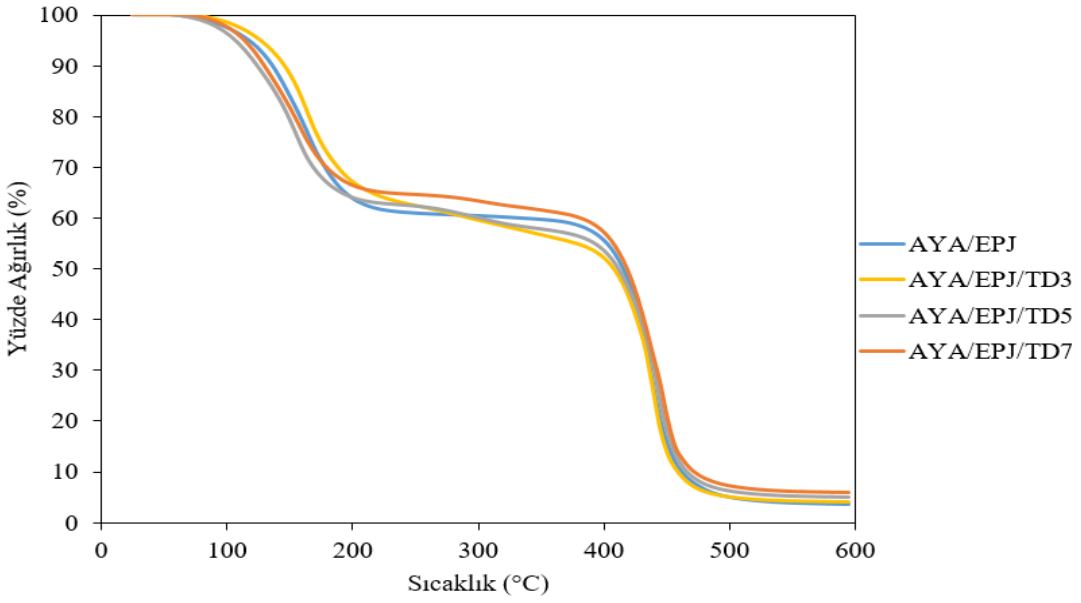
Hibrit reçinelerin ısıl özellikleri TGA ile incelenmiştir. AYA/EPJ, IPDI ve TDI modifiyeli hibrit reçinelerinin TGA eğrileri Şekil 4.6-4.7'de gösterilmiştir. Diğer hibrit reçinelerin DSC eğrileri EK C'de verilmiştir. Bütün reçinelerde genel olarak iki basamaklı bozunmanın gerçekleştiği gözlenmiştir. 1.bozunma eğrisi çözücü olarak kullanılan ksilenin buharlaşmasından kaynaklanmıştır. Ksilen kaynama noktası olan 139°C ve üzerinde tamamen buharlaşarak reçineden uzaklaşmaktadır. 2.bozunma eğrisi ise, reçinenin bozunmasından kaynaklanmıştır (Li ve diğ., 2020). Wazarkar ve diğerleri tarafından çalışmada hibrit epoksi üretan reçinelerin özellikleri incelenmiştir. TGA sonuçlarında, T_{onset} bozunma sıcaklıkları 359-374°C aralığında değişirken, bu çalışmada ise T_{onset} bozunma sıcaklıklarının 402-424°C aralığında değiştiği görülmüştür (Wazarkar ve diğ., 2016).

TGA eğrilerinden elde edilen veriler Tablo 4.5'te listelenmiştir. AYA/EPJ epoksi ester reçine kullanıldığında kül yüzdesi %3,6 çıkarken, izosiyanat olarak IPDI ile modifiye edildiğinde IPDI yüzdesinin arttırılmasıyla %5,6'ya yükselmiş, izosiyanat olarak TDI ile modifiye edildiğinde TDI yüzdesinin arttırılmasıyla %6'ya yükselmiştir. Aynı epoksi

reçine kullanıldığında AYA/EPJ ve TOFA/EPJ reçinelerinde 1.eğrinin T_{onset} değerleri sırasıyla 127°C ve 128°C, AYA/EPY ve TOFA/EPY reçinelerinde 1.eğrinin T_{onset} değerleri 115°C olarak birbirine çok yakın çıkmıştır. Yağ asidinin değiştirilmesinin T_{onset} değerlerinde değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Aynı yağ asidi kullanıldığında AYA/EPJ ve AYA/EPY reçinelerinde 1.eğrinin T_{onset} değerleri 127 ve 115°C olarak çıkmıştır.



Şekil 4.6. AYA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri



Şekil 4.7. AYA/EPJ ve TDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri

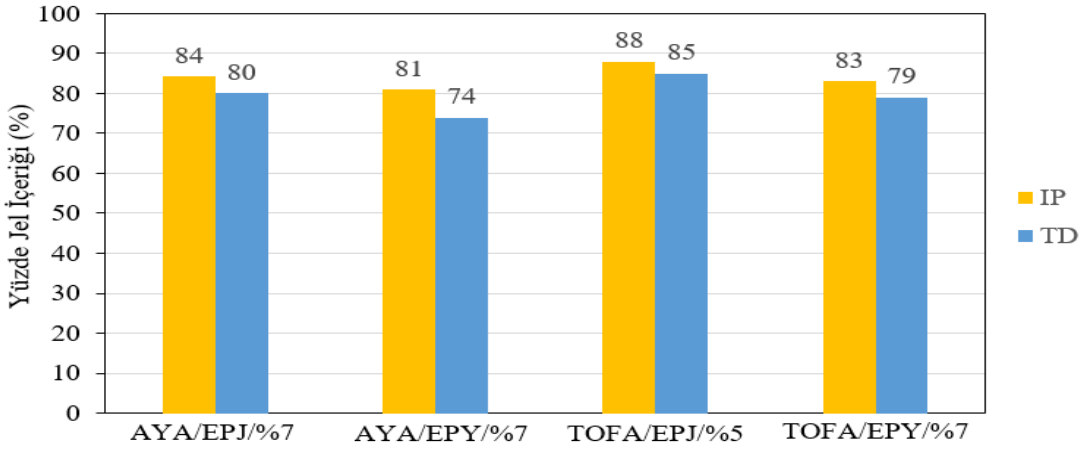
Jana epoksi reçinenin epoksi ekivalent değeri YD014 epoksi reçineden daha yüksek olduğu için, daha iyi çapraz bağlanma sağladığı ve böylece daha yüksek sıcaklıkta bozunmaya başladığı anlaşılmıştır. Kül yüzdeleri incelendiğinde, baz olarak ayçiçek yağ asidi kullanıldığında %3,6 ile %3,9 arasında, TOFA yağ asidi kullanıldığında %4 ile %4,5 arasında değişmiştir. Çapraz bağlama yapıldıkça genel olarak kül yüzdelerinin arttığı görülmüştür. AYA/EPY ve TOFA/EPJ reçinelerinde IPDI kullanıldığında ise, kül yüzdelerinde lineer bir değişim izlenmemiştir.

Tablo 4.5. Sentezlenen reçinelerin TGA verileri

Numune Adı	**1.Eğri T_{onset} (°C)**	**1.Eğri T_{max} (°C)**	**2.Eğri T_{onset} (°C)**	**2.Eğri T_{max} (°C)**	**Kül Yüzdesi (%)**
AYA/EPJ	127	160	418	437	**3,6**
AYA/EPJ/IP3	102	147	402	433	3,7
AYA/EPJ/IP5	130	166	421	436	5,4
AYA/EPJ/IP7	86	117	424	434	5,6
AYA/EPJ/TD3	112	155	420	438	4,0
AYA/EPJ/TD5	117	158	422	442	4,9
AYA/EPJ/TD7	135	164	425	442	6,0
AYA/EPY	115	144	421	441	**3,9**
AYA/EPY/IP3	98	138	410	438	5,7
AYA/EPY/IP5	94	133	401	434	2,2
AYA/EPY/IP7	100	149	413	438	1,5
AYA/EPY/TD3	89	121	411	440	0,4
AYA/EPY/TD5	103	159	421	441	0,9
AYA/EPY/TD7	118	140	421	440	1,1
TOFA/EPJ	128	161	416	436	**4,5**
TOFA/EPJ/IP3	96	121	405	431	5,2
TOFA/EPJ/IP5	110	153	419	436	3,5
TOFA/EPJ/IP7	139	169	419	441	0,1
TOFA/EPJ/TD3	102	145	411	435	0,1
TOFA/EPJ/TD5	132	162	421	438	3,2
TOFA/EPJ/TD7	111	150	414	438	3,7
TOFA/EPY	115	142	417	439	**4,0**
TOFA/EPY/IP3	128	162	419	440	0,1
TOFA/EPY/IP5	141	167	421	440	0,8
TOFA/EPY/IP7	122	160	422	445	1,3
TOFA/EPY/TD3	85	116	408	436	4,1
TOFA/EPY/TD5	132	155	414	437	4,2
TOFA/EPY/TD7	116	164	419	439	5,0

4.5. Yüzde Jel İçeriği Testi Sonuçları

Şekil 4.8'de en iyi performans gösteren AYA/EPJ, AYA/EPY ve TOFA/EPY epoksi ester reçinelerin %7 oranında hem TDI hem de IPDI ile modifiye edilenler ile TOFA/EPJ epoksi esterin ise %5 oranında hem TDI hem de IPDI modifiye edilen hibrit reçinelerin yüzde jel içeriği testi sonuçları gösterilmiştir. Aynı yağ asidi ile aynı epoksi üretilen hibrit reçinelerin IPDI ile modifiye edilmiş reçinenin jel içeriğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı yağ asidi ve aynı izosiyanat kullanıldığında JANA epoksi reçinesi YD014 reçinesine göre yüksek jel içeriği sonuçları vermiştir. Aynı epoksi reçine ve aynı izosiyanat kullanıldığında TOFA yağ asidi ile üretilen hibrit reçinenin jel içeriği, Ayçiçek yağ asidi ile üretilen hibrit reçineye göre daha yüksektir. Sertlik ve kuruma testi sonuçları ile yüzde jel içeriği testi sonuçları karşılaştırıldığında, çapraz bağ yoğunluğu yüksek olan reçinelerin yüzde jel içeriği sonuçlarında da daha yüksek sonuçlar verdiği ve genel olarak reçineler arasında benzer eğilimlerin olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, en yüksek çapraz bağ yoğunluğuna sahip hibrit reçinenin TOFA/EPJ/IP5 olduğu söylenebilir (Wazarkar ve diğ., 2016).

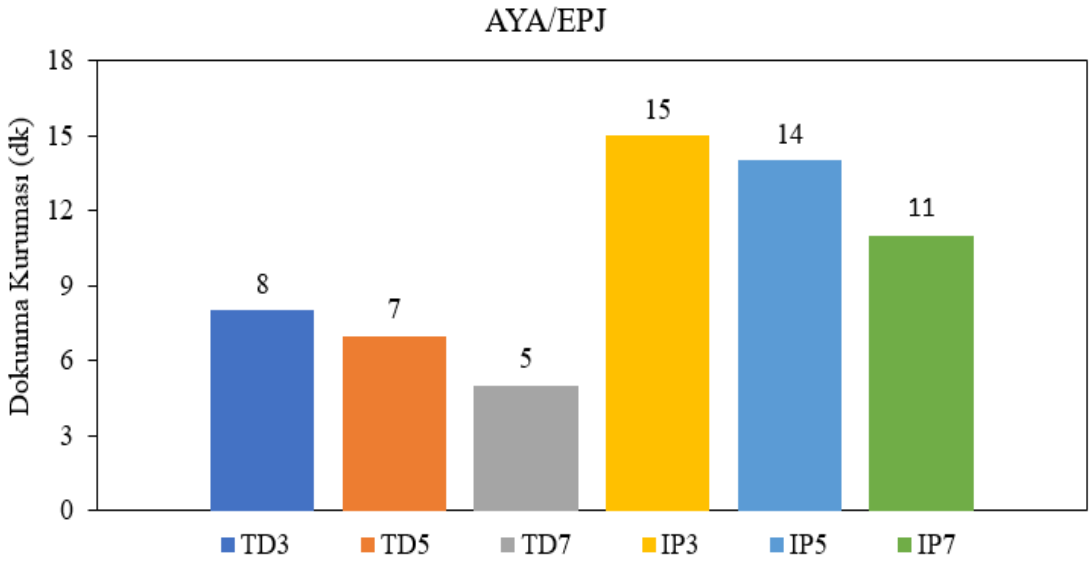


Şekil 4.8. Yüzde jel içeriği testi sonuçları

4.6. Kuruma Testi Sonuçları

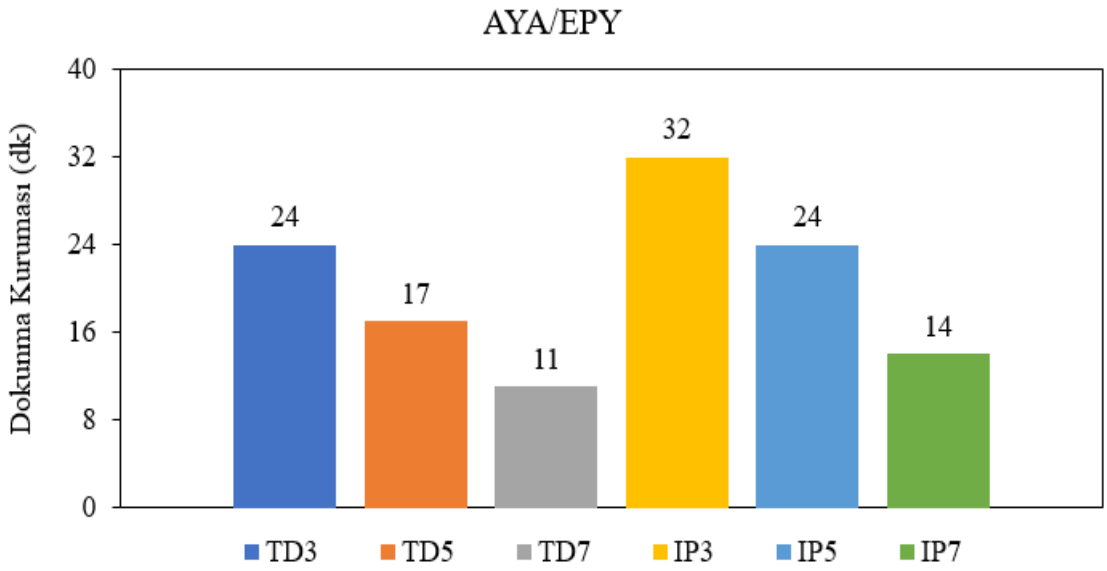
Ayçiçek yağ asidi ve JANA epoksi reçine ile üretilen epoksi ester AYA/EPJ hem TDI hem de IPDI ile %3, %5 ve %7 oranında modifikasyon işlemi yapılmıştır. Şekil 4.9'da kuruma testi sonuçları görülmektedir. TDI ve IPDI ile yapılan modifikasyonlarda kendi içinde izosiyanat miktarının artmasıyla kuruma performansında iyileşme görülmüştür. %3 TDI kullanılarak üretilen AYA/EPJ/TD3 hibrit reçinenin 30 mikron dokunma

kuruması 8 dk iken izosiyanat miktarının artması ile %7 TDI kullanılarak üretilen AYA/EPJ/TD7 hibrit reçinenin kuruması 5 dk'ya düşerek kuruma performansında iyileşme meydana gelmiştir. Aynı şekilde %3 IPDI kullanılarak üretilen AYA/EPJ/IP3 hibrit reçinenin kuruması 15 dk iken, %7 IPDI kullanılarak üretilen AYA/EPJ/IP7 hibrit reçinenin kuruması 11 dk'ya düşerek iyileşme göstermiştir. Sonuç olarak, aynı yağ asidi ve aynı epoksi reçine kullanıldığında, TDI ile modifiye edilen reçinenin kuruma performansı IPDI'a göre daha iyi çıktığı gözlenmiştir.



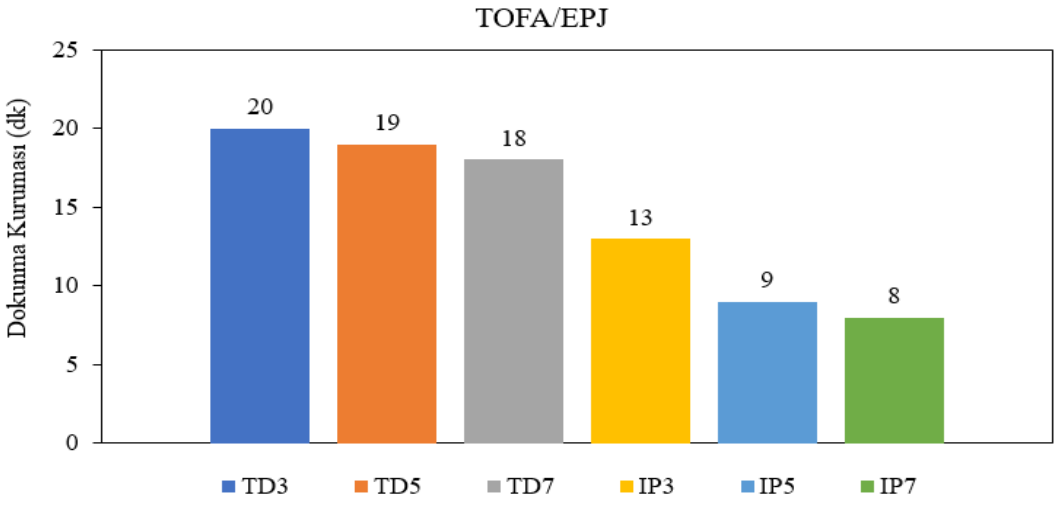
Şekil 4.9. AYA/EPJ vernik filmlerin dokunma kuruması testi sonuçları

Ayçiçek yağ asidi ve YD014 epoksi reçine ile üretilen epoksi ester AYA/EPY hem TDI hem de IPDI ile %3, %5 ve %7 oranında modifikasyon işlemi yapılmıştır. Şekil 4.10'da kuruma testi sonuçları görülmektedir. %3 TDI kullanılarak üretilen AYA/EPY/TD3 hibrit reçinenin 30 mikron dokunma kuruması 24 dk iken, izosiyanat miktarının artması ile %7 TDI kullanılarak üretilen AYA/EPY/TD7 hibrit reçinenin kuruması 11 dk'ya düşerek iyileşme göstermiştir. Aynı şekilde %3 IPDI kullanılarak üretilen AYA/EPY/IP3 hibrit reçinenin kuruması 32 dk iken, %7 IPDI kullanılarak üretilen AYA/EPY/IP7 hibrit reçine 14 dk'ya düşerek iyileşme göstermiştir. Aynı yağ asidi ve aynı epoksi reçine kullanıldığında TDI ile modifiye edilen reçinenin IPDI'a göre kuruma performansının biraz daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca, aynı yağ asidi ve aynı izosiyanat kullanıldığında JANA epoksi reçinesi kullanılarak üretilen hibrit reçinenin dokunma kuruma performansı YD014 kullanılarak üretilen hibrit reçineye göre daha iyi çıkmıştır.



Şekil 4.10. AYA/EPY vernik filmlerin dokunma kuruması testi sonuçları

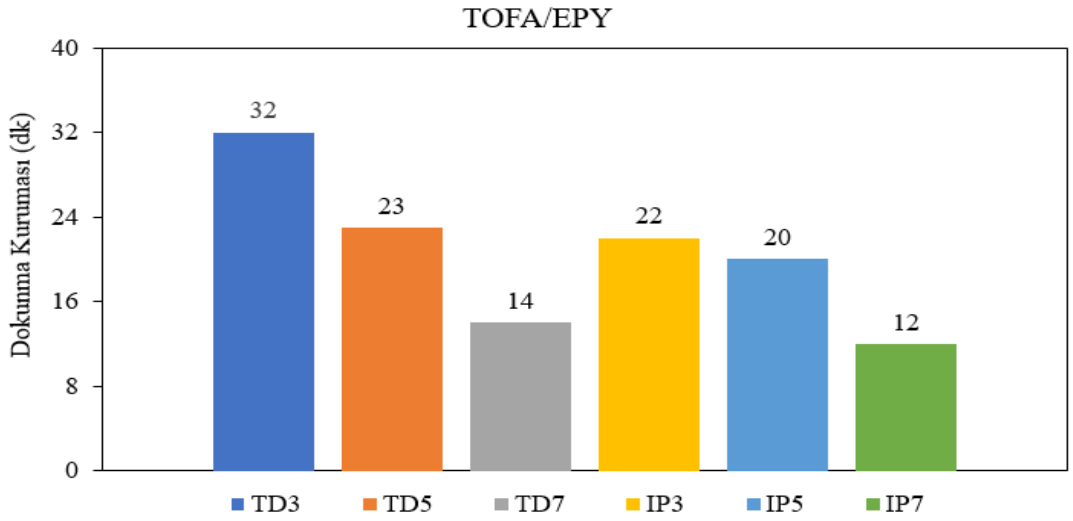
TOFA (uzun yağlı yağ asidi) ve JANA epoksi reçine ile üretilen epoksi ester TOFA/EPJ hem TDI hem de IPDI ile %3, %5 ve %7 oranında modifikasyon işlemi yapılmıştır. Şekil 4.11'de kuruma testi sonuçları görülmektedir. %3 TDI kullanılarak üretilen TOFA/EPJ/TD3 30 mikron dokunma kuruması 20 dk iken izosiyanat miktarının artması ile kuruma performansında çok fazla bir değişiklik olmamakla birlikte, %7 TDI modifiyeli TOFA/EPJ/TD7'da dokunma kuruması 18 dk'ya düşerek çok az bir iyileşme göstermiştir. Aynı şekilde %3 IPDI kullanılarak üretilen TOFA/EPJ/IP3'te 13 dk iken, %7 IPDI modifiyeli TOFA/EPJ/IP7'de 8 dk olarak iyileşme göstermiştir.



Şekil 4.11. TOFA/EPJ vernik filmlerin dokunma kuruması testi sonuçları

Aynı yağ asidi ve aynı epoksi reçinenin kullanıldığı IPDI ile modifiye edilen reçinenin TDI'a göre kuruma performansı daha iyi çıkmıştır. JANA epoksi reçine kullanılarak üretilen hibrit reçine aynı izosiyanat kullanıldığında kuruma performansı TOFA yağ asidi kullanıldığında IPDI öne çıkarken, ayçiçek yağ asidi kullanıldığında ise TDI öne çıkmıştır.

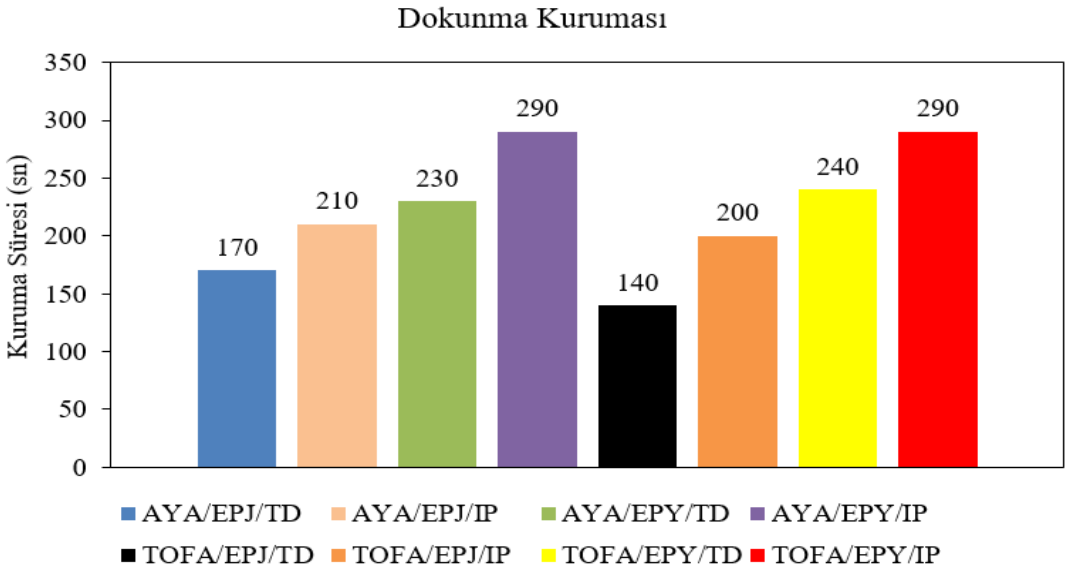
TOFA (uzun yağlı yağ asidi) ve YD014 reçine ile üretilen epoksi ester TOFA/EPY hem TDI hem de IPDI ile %3, %5 ve %7 oranında modifikasyon işlemi yapılmıştır. Şekil 4.12'de kuruma testi sonuçları görülmektedir. %3 TDI kullanılarak üretilen TOFA/EPY/TD3 hibrit reçinenin 30 mikron dokunma kuruması 32 dk iken izosiyanat miktarının artması ile kuruma performansı %50'den fazla iyileşerek %7 TDI modifiyeli TOFA/EPY/TD7 hibrit reçinede 14 dk'ya düşerek iyileşme göstermiştir. Aynı şekilde %3 IPDI kullanılarak üretilen TOFA/EPY/IP3 hibrit reçine 22 dk iken, %7 IPDI modifiyeli TOFA/EPY/IP7 hibrit reçine 12 dk olarak iyileşme göstermiştir. Aynı yağ asidi ve aynı epoksi reçine kullanıldığında IPDI kullanılarak üretilen hibrit reçinin kuruma performansı TDI'a göre daha iyi çıkmıştır. TOFA yağ asidi ve aynı izosiyanat kullanılarak üretilen hibrit reçinelerde JANA epoksi reçine YD014' e göre kuruma performansının daha iyi olduğu belirlemiştir.



Şekil 4.12. TOFA/EPY vernik filmlerin dokunma kuruması testi sonuçları

Vernik performansı kendi grubunda en iyi olan AYA/EPJ, AYA/EPY ve TOFA/EPY bazlı epoksi ester reçinelerin %7 TDI ve IPDI modifiyeli hibrit reçine ile TOFA/EPJ bazlı epoksi reçinenin %5 TDI ve IPDI hibrit reçinelerden boya üretilmiştir.

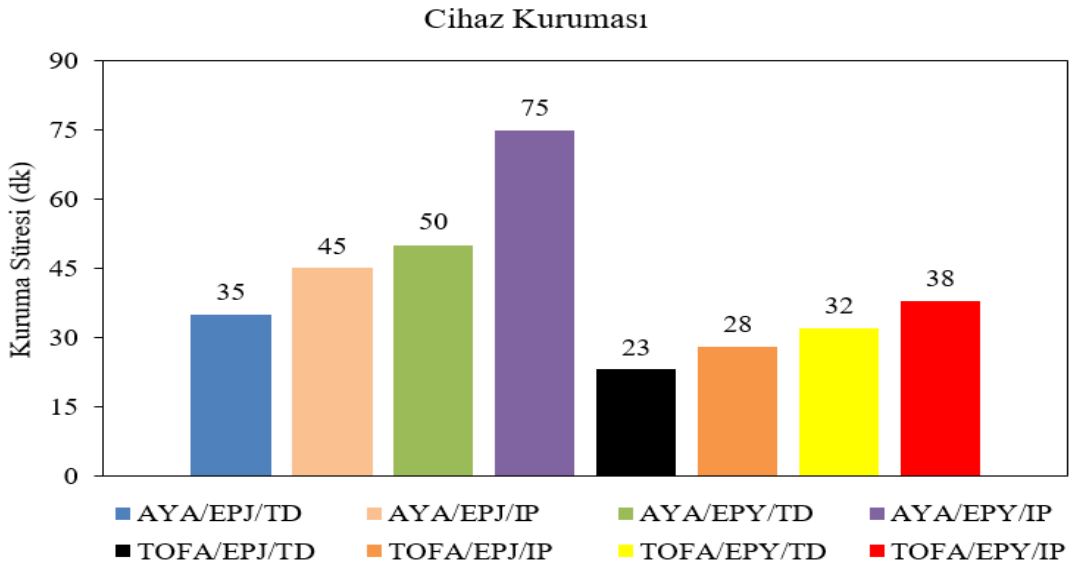
Üretilen boyaların öncelikle dokunma kuruma performansına bakılmıştır. Şekil 4.13'te gösterildiği gibi 30 mikron dokunma kurumasında performansı en yüksek olan ayçiçek yağ asidi kullanılarak üretilen boyalarda 170 sn ile en iyi performans AYA/EPJ/TD'de, TOFA yağ asidi ile üretilen boyalarda ise 140 sn ile TOFA/EPJ/TD'de olduğu görülmüştür. Her iki yağ türünde JANA epoksi reçinesi kullanıldığında ve TDI ile modifiye edildiğinde performansı daha yüksek çıkmıştır. Aynı izosiyanat ve aynı epoksi reçine kullanıldığında TOFA yağ asidi ile üretilen reçinenin ayçiçek yağ asidine göre dokunma kuruma performansının daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.13. Boya filmlerin dokunma kuruması testi sonuçları

Şekil 4.14'te vernik performansı iyi olan hibrit reçinelerden üretilen boyaların dokunma kuruması testinden sonra cihaz kuruması testi ile elde edilen kuruma süreleri gösterilmiştir. Cam şerit panellere 76 mikron çekilen filmlerde en iyi performansa sahip hibrit reçinenin, ayçiçek yağ asidi kullanılarak üretilen boyada 35 dk ile AYA/EPJ/TD7 olduğu, TOFA yağ asidi ile üretilen boyada ise 23 dk ile TOFA/EPJ/TD5 hibrit reçine olduğu görülmüştür.

Her iki yağ türünde JANA epoksi reçinesi kullanıldığında ve TDI ile modifiye edildiğinde kuruma performansı daha yüksek çıkmıştır. Aynı izosiyanat ve aynı epoksi reçine kullanıldığında TOFA yağ asidi ile üretilen reçinenin, ayçiçek yağ asidi ile üretilen reçineye göre cihaz kuruma performansının daha yüksek çıktığı belirlenmiştir.



Şekil 4.14. Boya filmlerinin cihaz kuruma testi sonuçları

4.7. Parlaklık Testi Sonuçları

TOFA ve ayçiçek yağ asitinin hem JANA hem de YD014 epoksi reçinesi ile üretilen reçineler TDI ve IPDI ile %3, %5 ve %7 oranında modifiye edilmiştir. Elde edilen hibrit reçinelerden vernik hazırlanarak 60 mikron cam panellere filmler çekilmiştir. 72 saat sonunda parlaklık cihazında yarı parlak 60^{o} ve mat açısı 85^{o} için parlaklık değerleri Tablo 4.6-4.7'de verilmiştir. 85^{o} açıda parlaklık değerinde yağ türü, izosiyanat miktarı veya epoksiye bağlı olarak belirgin bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Yarı parlak 60^{o} ile karşılaştırma yapılmıştır. Üretilen hibrit reçinelerin parlaklıkları %3 IPDI kullanımda AYA/EPY/IP3'te 138 gloss çıkarken, artan izosiyanat yüzdesiyle birlikte, %7 IPDI kullanımda AYA/EPY/IP7'de 147 gloss değerine ulaşmıştır. Aynı yağ asidi ve aynı izosiyanat kullanıldığında, TOFA/EPY/TD7 139 gloss çıkarken, TOFA/EPJ/TD7 hibrit reçinenin parlaklığı 142 gloss ile daha parlak çıkmıştır. Aynı izosiyanat ve aynı epoksi reçine kullanıldığında ise, ayçiçek yağ asidi ile üretilen hibrit reçinelerin parlaklık değeri TOFA'ya göre daha yüksek çıkmıştır. Örneğin, AYA/EPY/IP7 hibirt reçinenin parlaklığı 147 gloss, TOFA yağ asidi ile üretilen TOFA/EPY/IP7 143 gloss gelmiştir. Aynı yağ asidi ve aynı epoksi reçine kullanıldığında ise, TDI ile üretilen reçinelerin sararma eğiliminin yüksek olması nedeniyle 145 gloss çıkarken, IPDI ile üretilen reçinelerin parlaklığı 156 gloss ile daha yüksek çıkmıştır. Tablo 4.6-4.7'ye bakılarak ayçiçek yağ asidi, JANA epoksi reçine ve %7 IPDI kullanımında 156 gloss değeri ile en yüksek parlaklık veren kombinasyon AYA/EPJ/IP7 hibrit reçinesi olmuştur.

En iyi performans gösteren AYA/EPJ, AYA/EPY ve TOFA/EPY epoksi ester reçinelerin %7 oranında hem TDI hem de IPDI ile modifiye edilenler ile TOFA/EPJ epoksi esterin ise %5 oranında hem TDI hem de IPDI modifiye edilen hibrit reçinelerden boyalar hazırlanmıştır. Hazırlanan boyalardan 60 mikron hem cam hem de metal panellere filmler çekilmiştir. Genellikle metal panellerde parlaklık değerleri cam panellere göre biraz daha yüksek çıkmıştır. Metal panellerde en yüksek parlaklık AYA/EPJ/IP hibrit reçine çıkarken, cam panelde ise TOFA/EPY/IP hibrit reçinesinin parlaklığı en yüksek çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 4.8'de gösterilmektedir.

Tablo 4.6. IPDI modifiyeli vernik filmlerinin parlaklık testi sonuçları

Yağ ve Epoksi türü	**Parlaklık (gloss) 60º ve 85º**		
	%3 IPDI	**%5 IPDI**	**%7 IPDI**
AYA/EPJ	146 -110	151-111	156-111
AYA/EPY	138-106	141-109	147-110
TOFA/EPJ	139-107	142-109	146 -112
TOFA/EPY	130-106	134-106	143-107

Tablo 4.7. TDI modifiyeli vernik filmlerinin parlaklık testi sonuçları

Yağ ve Epoksi türü	**Parlaklık (gloss) 60º ve 85º**		
	%3 TDI	**%5 TDI**	**%7 TDI**
AYA/EPJ	134-108	142-108	145-109
AYA/EPY	130-101	134-106	137-108
TOFA/EPJ	138-107	140-106	142-109
TOFA/EPY	134-107	137-106	139-109

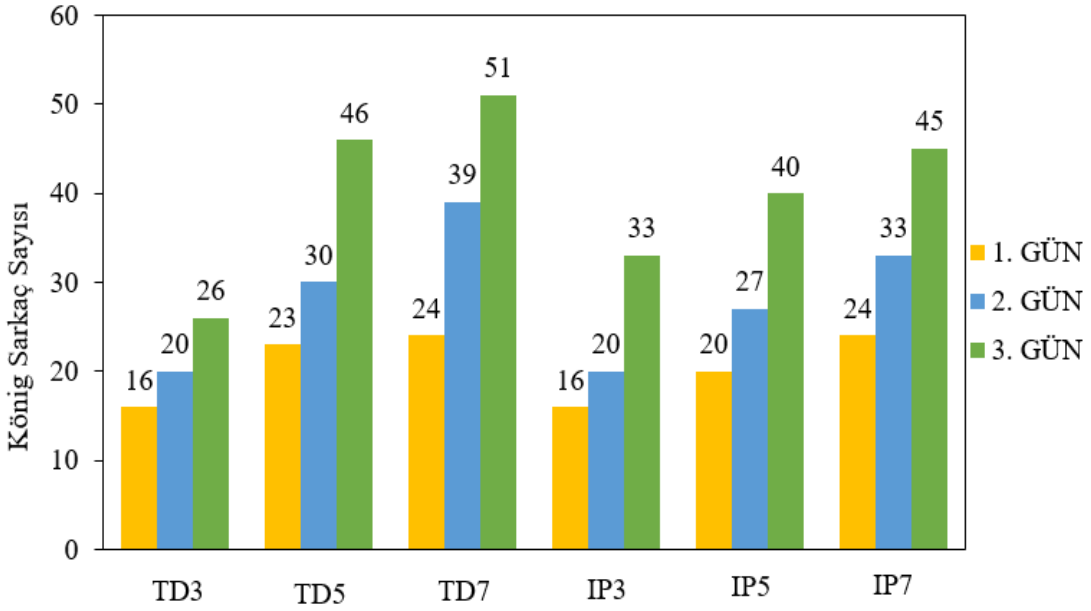
Tablo 4.8. Boya filmlerinin cam ve metal panellerde parlaklık testi sonuçları

Yağ, Epoksi ve İzosiyanat Türü	**Parlaklık (gloss) 60º ve 85º**	
	Cam yüzey	**Metal yüzey**
AYA/EPJ/TD7	13-16	20-26
AYA/EPJ/IP7	15-17	25-36
AYA/EPY/TD7	14-18	15-18
AYA/EPY/IP7	16-20	15-20
TOFA/EPJ/TD5	14-18	15-18
TOFA/EPJ/IP5	15-21	16-19
TOFA/EPY/TD7	15-16	15-18
TOFA/EPY/IP7	18-23	24-33

4.8. Sertlik Testi Sonuçları

Şekil 4.15'te Ayçiçek yağ asidi ve JANA epoksi reçinenin oluşturduğu epoksi ester AYA/EPJ reçinesi TDI ve IPDI ile modifiye edildiğinde izosiyanat miktarının artmasıyla birlikte sertliğin de arttığı görülmüştür. %3 TDI ile modifiye edilen reçinenin sertliği 26 iken, %7 TDI ile modifiye edildiğinde 51'e yükselmiştir. %3 IPDI ile modifiye edildiğinde 33 olan sertlik, %7 IPDI ile modifiye edildiğinde ise 45 değerine ulaşmıştır. Aynı yağ asidi ve aynı epoksi reçine kullanıldığında TDI kullanılarak üretilen hibrit reçinelerin performansı, IPDI kullanılarak üretilen hibrit reçinelerden daha yüksek çıkmıştır.

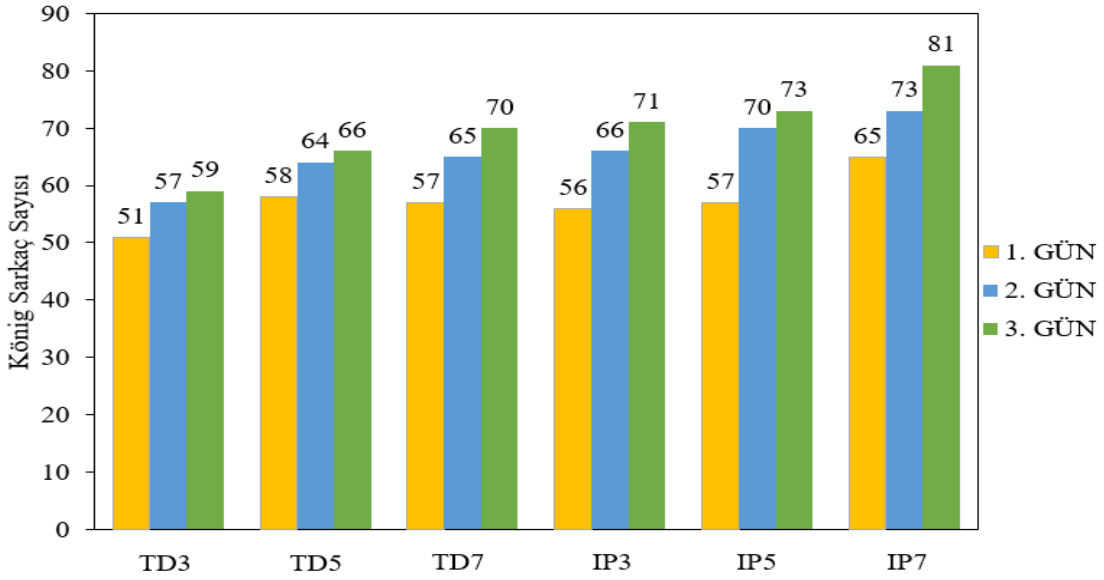
Bu durum kuruma performansında da benzer olduğu için kuruma testindeki sonuçlar sertlik sonuçlarını desteklemiştir. Kurumanın hızlı olmasıyla birlikte reçinelerin daha hızlı kürlendiği ve daha fazla çapraz bağ oluşturarak daha rijit bir yapı oluşturduğu görülmüştür.



Şekil 4.15. AYA/EPJ vernik filmlerin sertlik testi sonuçları

Şekil 4.16'da Ayçiçek yağ asidi ve YD014 epoksi reçine kullanılarak üretilen epoksi ester reçinelerden üretilen 60 mikron filmlerin sertlik test sonuçları gösterilmiştir. Şekil 4.15'e benzer şekilde süre geçtikçe ve izosiyanat miktarının artmasıyla birlikte sertlik değerleri artmıştır. %3 TDI kullanılarak üretilen hibrit reçinenin könig sertliği 59 çıkarken, %7 TDI

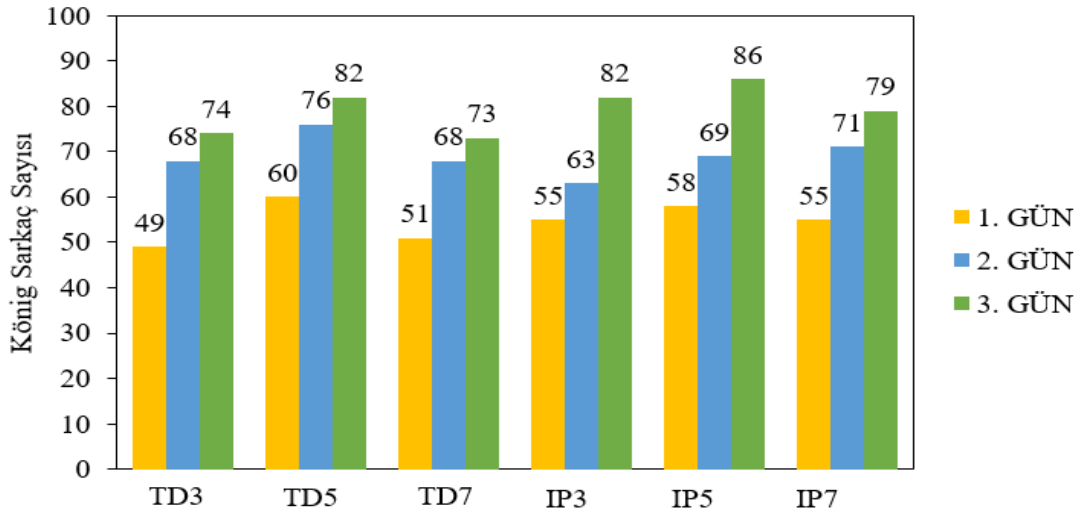
kullanıldığında ise sertlik değeri 70'e yükselmiştir. %3 IPDI kullanıldığında ise 71 çıkan sertlik değeri, %7 IPDI kullanıldığında ise 81'e yükselmiştir. Aynı epoksi reçine ve aynı yağ asidi kullanıldığında IPDI ile modifiye edilen epoksi reçinenin TDI ile modifiye edilen epoksi reçineye göre %10-15 oranında daha sert çıktığı gözlenmiştir. Aynı yağ asidi ve aynı oranda izosiyanat kullanıldığında ise sertlik değerleri, YD014 epoksi reçinesi JANA epoksi reçineye göre daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.16. AYA/EPY vernik filmlerin sertlik testi sonuçları

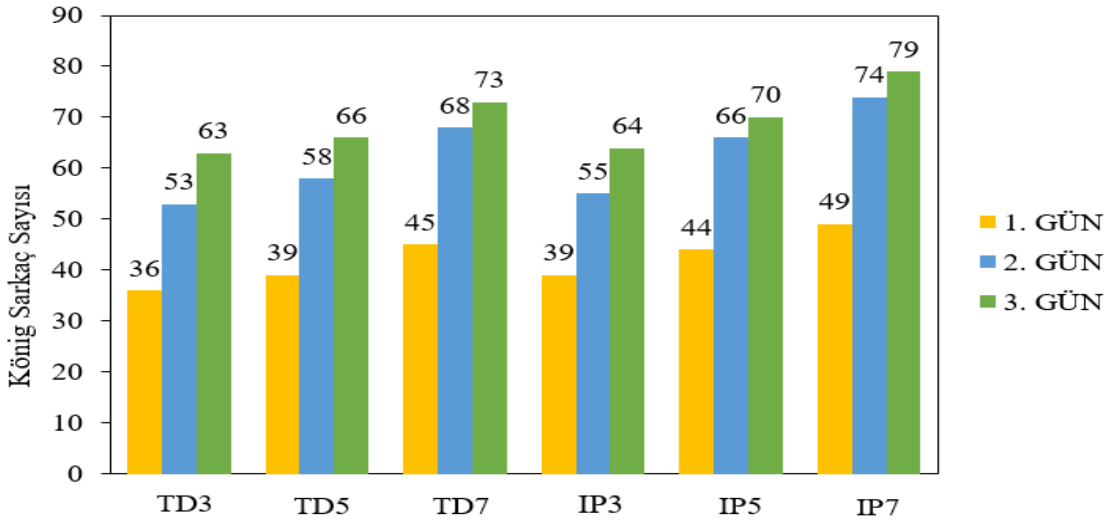
Şekil 4.17'de TOFA yağ asidi ve JANA epoksi reçine kullanılarak üretilen epoksi ester reçinelerden üretilen 60 mikron vernik filmlerin performans verileri artan süreye ve izosiyanat miktarının artmasına bağlı olarak sertlik değerlerinin önce arttığı sonrasında azaldığı görülmektedir. %3 TDI kullanılarak üretilen hibrit reçinenin könig sertliği 73 çıkarken, %5 TDI kullanıldığında ise bu değer yükselerek 82'ye çıkmış, sonrasında %7 TDI kullanıldığında sertlik değeri 73'e inmiştir. Benzer olarak, %3 IPDI kullanıldığında 82 olan sertlik, %5 IPDI kullanıldığında 86 sertliğe çıkmış, sonra da %7 IPDI kullanıldığında ise 79 sertliğe inmiştir.

Her iki izosiyanat türünde %5 oranı kullanıldığında optimum setlik değeri elde edilmiş ve sonrasında oran %7'ye çıktığında azalmıştır. Aynı epoksi reçine ve aynı yağ asidi kullanıldığında IPDI ile modifiye edilen epoksi reçinenin TDI ile modifiye edilen epoksi reçineye göre biraz daha sert çıktığı görülmüştür.



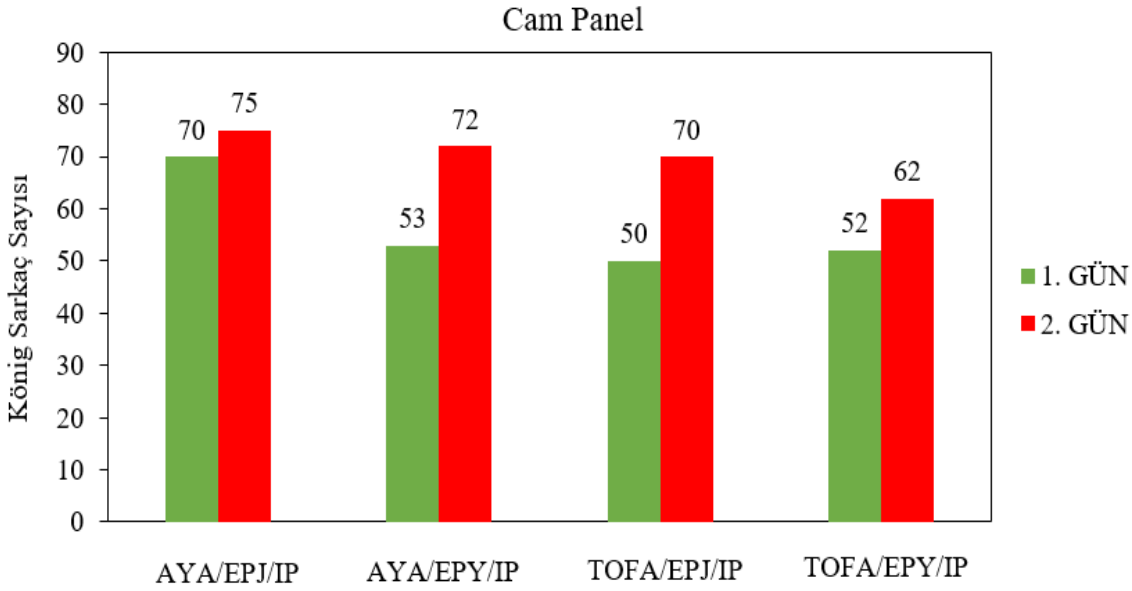
Şekil 4.17. TOFA/EPJ vernik filmlerin sertlik testi sonuçları

Şekil 4.18'de TOFA yağ asidi ve YD014 epoksi reçine kullanılarak üretilen epoksi ester reçinelerden üretilen 60 mikron vernik filmlerin süre geçtikçe ve izosiyanat miktarının artmasıyla sertlik değerlerinin arttığı gösterilmiştir. %3 TDI kullanılarak üretilen hibrit reçinenin könig sertliği 63 çıkarken, %7 TDI kullanıldığında ise sertlik değeri 73'e yükselmiştir. %3 IPDI kullanıldığında ise 64 çıkan sertlik, %7 IPDI kullanıldığında 79'a çıkmıştır. Aynı epoksi reçine ve aynı yağ asidi kullanıldığında IPDI ile modifiye edilen epoksi reçinenin TDI'ya göre biraz daha sert çıktığı görülmüştür. Aynı izosiyanat ve aynı yağ asidi kullanıldığında ise, JANA epoksi reçine kullanılarak üretilen hibrit reçinenin sertliğinin YD014 epoksi reçinesi kullanılarak üretilen reçineden daha yüksek çıktığı belirlenmiştir.



Şekil 4.18. TOFA/EPY vernik filmlerin sertlik testi sonuçları

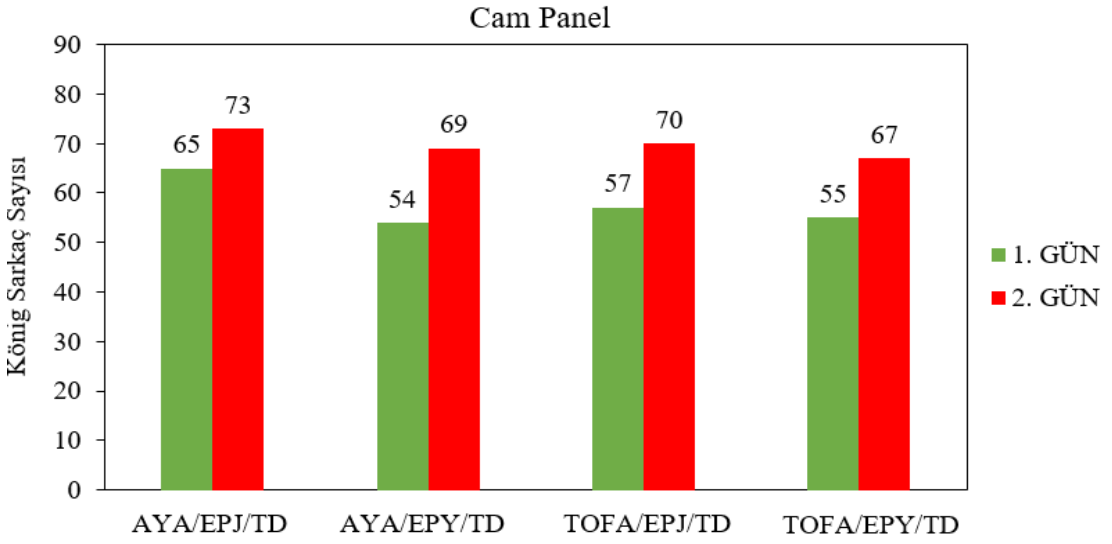
Şekil 4.19'da en iyi performansa sahip IPDI modifiyeli alkidlerden üretilen boyalardan cam panele 60 mikron çekilen filmlerin sertlik test sonuçları gösterilmiştir. Çekilen filmlerden 24 saat ve 48 saat sonrasında könig sertlik bakılmıştır. TOFA, Ayçiçek yağ asidi ve IPDI kullanılarak üretilen boyaların performansında, en iyi sertlik performansının 75 sertlik değeri ile AYA/EPJ/IP hibrit reçinesi, sırasıyla 72 sertlik ile AYA/EPY/IP, 70 sertlik ile TOFA/EPJ/IP ve son olarak 62 sertlik değeri ile TOFA/EPY/IP hibrit reçinesinin çıktığı görülmüştür. Aynı yağ asidi üretilen boyalarda JANA epoksi ile üretilen hibrit reçinenin performansı YD014 epoksi reçinesine göre biraz daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.19. Cam panelde IPDI modifiyeli boya filmlerin sertlik testi sonuçları

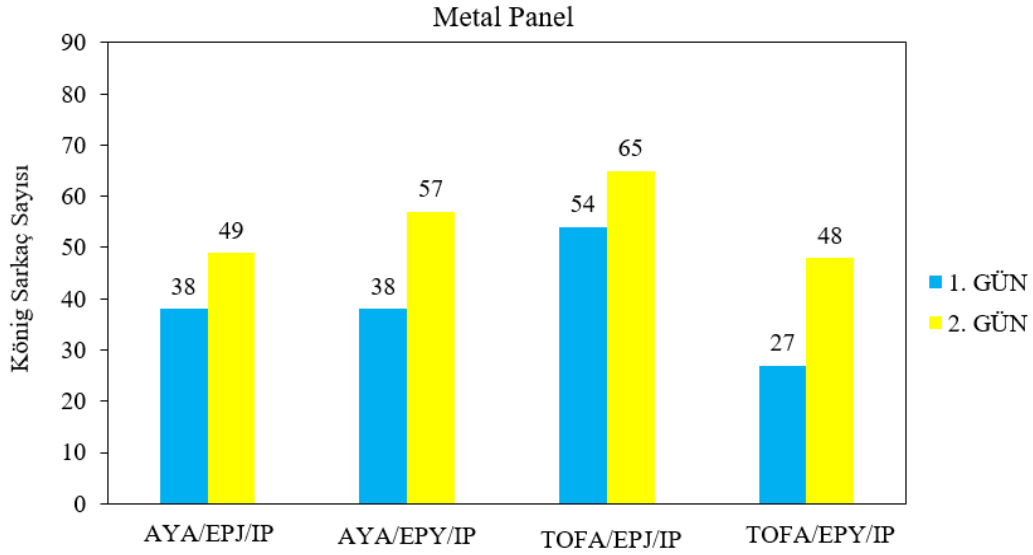
Şekil 4.20'de TOFA, ayçiçek yağ asidi ve TDI kullanılarak üretilen boyalardan cam panele 60 mikron çekilen filmlerin sertlik test sonuçları gösterilmiştir. 73 sertlik değeri ile AYA/EPJ/TD en iyi çıkarken, onu sırasıyla 70 sertlik ile TOFA/EPJ/TD, 69 sertlik ile AYA/EPY/TD ve son olarak 67 sertlik değeri ile TOFA/EPY/TD çıkmıştır.

Aynı yağ asidi üretilen boyalarda JANA epoksi ile üretilen hibrit reçinenin performansı YD014 epoksi reçinesine göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak aynı yağ asidi ve aynı epoksi reçine kullanıldığında ise, IPDI ile modifiye edilen hibrit reçinenin performansı, TDI ile modifiye edilen hibrit reçinenin performansından genel olarak daha yüksek çıkmıştır.



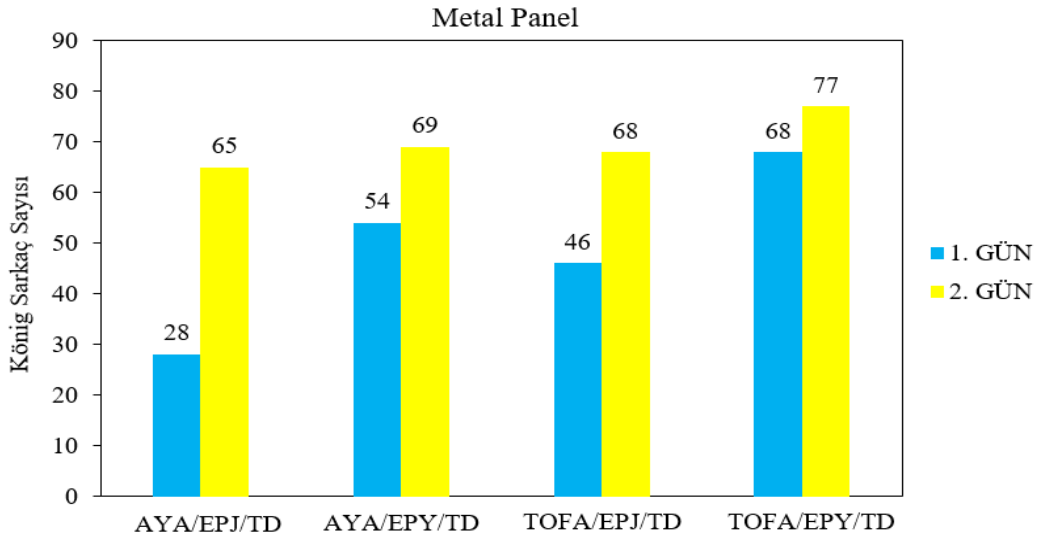
Şekil 4.20. Cam panelde TDI modifiyeli boya filmlerin sertlik testi sonuçları

Şekil 4.21'de en iyi performansa sahip IPDI modifiyeli alkidlerden üretilen boyalardan metal panele 60 mikron çekilen filmlerin sertlik testi sonuçları gösterilmiştir. Çekilen filmlerden 24 saat ve 48 saat sonrasında könig sertlik bakılmıştır. TOFA, ayçiçek yağ asidi IPDI kullanılarak üretilen boyaların performansında 65 sertlik değeri ile TOFA/EPJ/IP en iyi çıkarken, onu sırasıyla 57 sertlik ile AYA/EPY/IP, 49 sertlik ile AYA/EPJ/IP ve son olarak küçük farkla 48 sertlik değeri ile TOFA/EPY/IP takip ettiği görülmüştür. Ayçiçek yağ asidi üretilen boyalarda YD014 epoksi ile üretilen hibrit reçinenin, TOFA yağ asidi ile üretilen boyalarda ise JANA epoksi reçinenin performansının daha yüksek çıktığı gözlenmiştir.



Şekil 4.21. Metal panelde IPDI modifiyeli boya filmlerin sertlik testi sonuçları

Şekil 4.22'de en iyi performansa sahip TDI modifiyeli alkillerden üretilen boyalardan metal panele 60 mikron çekilen filmlerin sertlik testi sonuçları gösterilmiştir. Çekilen filmlerden 24 saat ve 48 saat sonrasında könig sertlik bakılmıştır. TOFA, ayçiçek yağ asidi ve TDI kullanılarak üretilen boyaların performansında 77 sertlik değeri ile en iyi sertlik performansı TOFA/EPY/TD çıkarken, onu sırasıyla 69 sertlik ile AYA/EPY/TD, 68 sertlik ile TOFA/EPJ/TD ve son olarak 65 sertlik değeri ile AYA/EPJ/TD takip ettiği görülmüştür. TDI ile modifiyeli edilmiş hem TOFA hem de ayçiçek yağ asidi ile üretilen boyalarda YD014 epoksi ile üretilen hibrit reçinenin JANA epoksi reçine ile üretilen boyanın performansına göre daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Aynı yağ asidi ve aynı epoksi reçine kullanıldığında TDI ile modifiye edilen reçinenin sertlik performansı IPDI ile modifiye edilene göre daha yüksek çıkmıştır.

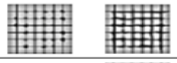
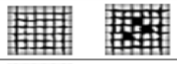


Şekil 4.22. Metal panelde TDI modifiyeli boya filmlerin sertlik testi sonuçları

4.9. Yapışma (Aderans) Testi Sonuçları

Vernik testlerinde en iyi performansa sahip olan hibrit reçinelerden boya üretilerek boyanın hem cam yüzeylerde hem de metal yüzeylerde yapışma performansının ölçülmesi için 60 mikron filmler çekilmiştir. 48 saat sonra cross-cut aleti ile çapraz çizikler atılarak bant yardımıyla filmlerin yapışma performansı belirlenmiştir. Bunun için Şekil 4.23'te gösterilen referans kareler sayesinde, GT0 en iyi, GT5 ise en kötü olacak şekilde puanlama yapılmıştır. Ayçiçek ve TOFA yağ asidi ile üretilen hibrit reçinelerin yapışma performansında Tablo 4.9'da gösterildiği gibi her iki izosiyanat türünde JANA epoksi reçine ile üretilen boyanın yapışma performansı cam yüzeyde, YD014 epoksi

reçine ile üretilen boyada ise metal panelde diğerine göre daha yüksek çıkmıştır. Boya filmlerinin GT0 ve GT2'e örnek sonuçları Şekil 4.24'te gösterilmektedir

Kesik görüntüsü	Tanımlama	Sınıflandırma
	kayıp yok (%100 adhezyon)	0
	< %5 kayıp	1
	%5-15 kayıp	2
	%15-35 kayıp	3
	%35-65 kayıp	4
	> %65 kayıp	5

Şekil 4.23. Yapışma test referans sınıflandırması

Tablo 4.9. Boya filmlerinin cam ve metal panellerde yapışma testi sonuçları

Modifikasyon Türü	Yapışma (Aderans) Sınıflandırma	
	Cam Yüzey	Metal Yüzey
AYA/EPJ/TD7	**GT0**	GT2
AYA/EPJ/IP7	GT1	GT2
AYA/EPY/TD7	GT2	**GT0**
AYA/EPY/IP7	GT2	**GT0**
TOFA/EPJ/TD5	**GT0**	GT2
TOFA/EPJ/IP5	GT1	GT2
TOFA/EPY/TD7	GT1	**GT0**
TOFA/EPY/IP7	GT2	**GT0**



Şekil 4.24. Yapışma (Aderans) GT0 ve GT2 performans örneği

4.10. Alkali, Asit ve Tuz Dayanım Testi Sonuçları

Günlük hayatta kullanılan boyalar çeşitli kimyasallara ve kötü hava şartlarına maruz kalmaktadır. Örneğin yat ve gemi gibi araçların dış cephe kaplamasında deniz suyuna uzun süre dayanması beklenir. Bu sebeple tüm alkid reçinelerin asit, baz ve tuz dayanımları incelenmiş ve sonuçlar Tablo 4.10-4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.10. TDI modifiyeli boyaların alkali, asit ve tuz dayanım testi sonuçları

Süre	Alkali Dayanımı (%3'lük NaOH)	Asit Dayanımı (%3'lük H_2SO_4)	Tuz Dayanımı (%5'lik NaCl)	Salt Sprey Tuz Testi (%5'lik NaCl)
AYA/EPJ/TD Hibrit Reçine				
1.Gün	3	2	3	3
3.Gün	3	1	3	3
5.Gün	2	0	3	3
10. Gün	2	0	3	3
15. Gün	2	0	3	2
AYA/EPY/TD Hibrit Reçine				
1.Gün	3	2	3	3
3.Gün	3	1	3	3
5.Gün	3	0	3	3
10. Gün	3	0	3	3
15. Gün	3	0	3	3
1.Gün	3	2	3	3
3.Gün	3	1	3	3
5.Gün	2	0	3	3
10. Gün	2	0	3	3
15. Gün	2	0	3	2
TOFA/EPY/TD Hibrit Reçine				
1.Gün	3	2	3	3
3.Gün	3	1	3	3
5.Gün	2	0	3	3
10. Gün	2	0	3	3
15. Gün	2	0	3	3

Not: 0; tamamen kalktı, 1; kısmen kalktı, 2; az etkilendi, 3; hiç etkilenmedi

Daldırma yöntemi (Şekil 4.25) ile yapılan %5'lik tuz dayanım testinde 15 gün sonunda bozulma olmadığı ve bütün filmlerin sağlam olduğu görülmüştür. Salt-sprey yöntemi ile 45 °C ve 1,2 bar basınçta yapılan testlerde 15 gün sonunda JANA epoksi reçine ile üretilen hibrit reçinede çok az bir bozulma görülmüştür. %3'lük alkali dayanımı testinde ise, genellikle 24 saat sonrasında bozulma olmadığı, fakat 5.günden itibaren az da olsa bozulmaya başladığı ve 15.gün sonunda boya filmlerinde kısmen kabarcıklar halinde çok küçük kalkmaların olduğu görülmüştür. Fakat ayçiçek yağ asidi ve YD014 epoksi reçine ile üretilen hibrit reçinelerinde alkali dayanımının iyi çıktığı ve boya filminde bozulmalar

olmadığı gözlenmiştir. %3'lük asit dayanımı testinde, 24 saat sonrasında bozulmaların başladığı ve 5.günden itibaren tamamen bozulduğu görülmüştür. Boya filmlerinin %3'lük H_2SO_4 çözeltisine karşı çok iyi performans gösteremediği gözlenmiştir. Şekil 4.26'da hiç etkilenme olmayan %5'lük tuz dayanımı, kabarcıklar halinde az bozulma olan %3'lük alkali ve tamamen filmlerin bozulduğu %3 lük asit dayanımında kullanılan filmlerin 15 gün sonunda resimleri görülmektedir.

Tablo 4.11. IPDI modifiyeli boyaların alkali, asit ve tuz dayanım test sonuçları

Süre	Alkali Dayanımı (%3'lük NaOH)	Asit Dayanımı (%3'lük H_2SO_4)	Tuz Dayanımı (%5'lik NaCI)	Salt Sprey Tuz Testi (%5'lik NaCI)
AYA/EPJ/IP Hibrit Reçine				
1.Gün	3	2	3	3
3.Gün	3	1	3	3
5.Gün	2	0	3	3
10. Gün	2	0	3	3
15. Gün	1	0	3	2
AYA/EPY/IP Hibrit Reçine				
1.Gün	3	2	3	3
3.Gün	3	1	3	3
5.Gün	3	0	3	3
10. Gün	3	0	3	3
15. Gün	3	0	3	3
TOFA/EPJ/IP Hibrit Reçine				
1.Gün	3	2	3	3
3.Gün	3	1	3	3
5.Gün	2	0	3	3
10. Gün	2	0	3	3
15. Gün	2	0	3	2
TOFA/EPY/IP Hibrit Reçine				
1.Gün	3	2	3	3
3.Gün	3	1	3	3
5.Gün	2	0	3	3
10. Gün	2	0	3	3
15. Gün	2	0	3	3

Not: 0; tamamen kalktı, 1; kısmen kalktı, 2; az etkilendi, 3; hiç etkilenmedi



Şekil 4.25. Daldırma ve salt-sprey yöntemi ile tuz dayanımı testi



Şekil 4.26. Tuz, alkali ve asit dayanımı 15.gün görünümü

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, korozyon dayanımı yüksek boya ve kaplama hammaddesi olarak kullanılmak üzere üretan ve epoksi fonksiyonel grup içeren hibrit modifiyeli reçineler üretilmiş ve üretilen reçinelerin karakterizasyonu yapılmıştır. Böylece epoksi ve üretan gruplarının avantajları bir araya toplanarak dezavantajları ise elimine edilmeye çalışılmıştır. Tez çalışmasında, iki farklı yağ asidi ile (ayçiçek yağ asidi ve TOFA), bisfenol A bazlı iki farklı epoksi reçinenin tepkimesinde oksiran halkalarının açılması sonucu elde edilen epoksi ester reçinelerin hidroksi grupları ile izosiyanatların (TDI ve IPDI) tepkimesinden faydalanılarak hibrit alkid reçineleri üretilmiştir. Öncelikle epoksi ester reçine üretimi yapılmış, sonrasında izosiyanatlar ile modifikasyon yapılarak reçine üretimi sonlandırılmıştır. Üretilen reçinelerin ısıl özellikleri, Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ve Termogravimetrik Analizi (TGA) ile belirlenmiştir. Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre (FTIR) kullanılarak reçinelerin kimyasal yapı analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, üretilen reçineler ile vernik ve boya hazırlanarak hazırlanan ürünlerin kuruma, sertlik, parlaklık, yapışma, korozyon direnci, kimyasal direnç, asit değeri, viskozite ve renk ölçümleri yapılmıştır.

Üretilen hibrit reçinelerin yapısal özellikleri FTIR ile incelenmiş ve ilk adımda yağ asidi ve epoksi reçine kullanılarak epoksi ester reçine üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu reçinelerin FTIR spektrumlarında ester grubunda ve epoksi pikinde ortaya çıkan değişim tepkimede oksiran halka açılmasının gerçekleştiğini göstermiştir. Daha sonra reçineler izosiyanatlar ile modifiye edildiğinde, hibrit reçinelerde karakteristik N=C=O ve C=N reaktif gruplarının tepkimeye katılarak kaybolduğu tespit edilmiştir.

Üretilen hibrit reçinelerin ısıl özellikleri DSC ve TGA ile incelenmiştir. DSC testleri sonucunda, izosiyanat olarak hem TDI hem de IPDI yüzdelerinin artmasıyla T_g değerlerinin artma eğiliminde olduğu ve buna bağlı olarak reçinelerin daha rijit hale geldiği gözlenmiştir. Reçinelerin ısıl kararlılığı TGA testleri ile değerlendirildiğinde, izosiyanat miktarının artmasıyla çapraz bağlanma oranın artmasından dolayı, genel olarak kül yüzdelerinin arttığı ve daha yüksek sıcaklıkta bozunmaya eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Kuruma testleri sonucunda ise, verniklerde izosiyanat miktarlarının artmasıyla genel olarak kuruma sürelerinde azalma gözlenmiştir. AYA/EPJ/TD7 hibrit reçinesi en iyi kuruma performansını sergilemiştir. Üretilen boyalarda ise, TOFA/EPJ/TD5'in kuruma performansının en iyi olduğu belirlenmiştir.

Sertlik testi sonuçları incelendiğinde, verniklerde TOFA/EPJ/IP5'te en yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Üretilen boyalar ile cam panelde test yapıldığında AYA/EPJ/IP7'nin, metal panelde test yapıldığında ise TOFA/EPY/TD7'nin en yüksek sertlik değerlerini sergilediği gözlenmiştir.

Parlaklık testi sonuçlarında ise, TDI'ın sararma eğilimi daha yüksek olduğu için IPDI ile üretilen reçinelerin parlaklığı daha yüksek çıkmıştır. AYA/EPJ/IP7'nin en yüksek parlaklık değerine sahip olduğu görülmüştür.

Yapışma testi sonuçları incelendiğinde ise, genel olarak reçinelerin iyi yapışma performansı sergilediği gözlenmiştir.

Alkali, tuz ve asit dayanım testleri sonucunda, %5'lik tuz çözeltisinde 15 gün boyunca tüm reçinelerin etkilenmediği, %3'lük NaOH çözeltisinde 5.günden sonra az etkilendiği ve %3'lük H_2SO_4 çözeltisinde 5.günden sonra filmlerin kalkarak bozulmaya başladığı görülmüştür.

Jel içeriği testi sonuçlarında, çapraz bağ yoğunluğu arttıkça jel içeriği değerlerinin de artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca sertlik testi sonuçlarında da, çapraz bağ yoğunluğu arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı ve reçinenin yapısının gittikçe daha rijit hale geldiği ve buna bağlı olarak da T_g değerlerinin de artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma ile, epoksi ester reçinelerin izosiyanatlar ile modifiye edilmesi sonucunda üretilen hibrit reçinelerin kuruma, parlaklık, sertlik, yapışma, alkali, asit ve tuz dayanımı, ısıl özelliklerinde iyileşme sağlandığı ve istenilen özelliklerde hibrit reçinelerin üretilebileceği görülmüştür. Tüm test sonuçları değerlendirildiğinde, genel olarak TOFA/EPJ/TD5 hibrit reçinenin en üstün performansı sergilediği görülmüştür. İleriye dönük olarak kullanılan yağ asiti, izosiyanat ve epoksi reçineleri değiştirilerek farklı kombinasyonlarda istenilen özelliklere sahip hibrit reçine üretimi yapılabilir.

KAYNAKLAR

Acar, I. (1996). Polietilen Tereftalat Atıklarının Hidroksiaminlerle Reaksiyon Ara Ürünlerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 56099.

Akgün, N. (2016). Atık PET'in 1,3-Propandiol Glikoliz Ürünlerinden Su Bazlı Akrilik Modifiye Alkid Reçinelerin Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 431952.

Bower, D.I. (2002). *An Introduction to Polymer Physics* (1st ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Boyoğlu, C. (2009). Metalize Olmuş Esnek Ambalaj Malzemelerinde Poliüretan Esaslı Bağlayıcılarının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 238921.

Bulak, E. (2011). Atık Poli(Etilen Tereftalat)'ın Aminolizi ve Aminoliz Ürünlerinin Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 305343.

Burches, B.J. (2005). *Encyclopedia of polymer science and technology* (1st ed.). Chichester: John Wiley and Sons Inc.

Büyükyonga, Ö.N. (2016). Atık PET'in Farklı Glikoliz Ürünlerinden Su Bazlı Akrilik Modifiye Alkid Reçinelerin Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 434075.

Civan, F., Özaltun, D., Acar, I., Güçlü, G. (2016). Üretan Modifiye Alkid Reçineler, *Turkcoat (Boyatürk), 65,* 18-26.

Çam, Ç., Bal, A., Güçlü, G. (2015). Synthesis and Film Properties of Epoxy Esters Modified with Amino Resins from Glycolysis Products of Postconsumer PET Bottles. *Polym. Eng. Sci., 55,* 2519-2525.

Deligny, P., Tuck, N. Oldring, P.K.T. (2001). *Alkyds & Polyesters in Resins for Surface Coatings* (2nd ed.). London: John Wiley and Sons.

Goldschmidt, A., Streitberger, H.J. (2003). *BASF Handbook on Basics of Coating Technology* (3rd ed.). Hannover: Vincentz Network.

Güçlü, G. (2015). *Boya ve Bileşenleri, Lisans Ders Notları*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü.

Güçlü, G. (2016). *Boya Bağlayıcıları ve Reçine Üretim Teknolojileri, Yüksek Lisans Ders Notları*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü.

Gündüz, G. (2005). *Boya Bilgisi* (1.baskı). Ankara: Kimya Mühendisleri Odası.

Hosseinpourpia, R., Echart, A.S., Adamopoulos, S., Gabilondo N., Eceiza A. (2018). Modification of pea starch and dextrin polymers with isocyanate functional groups, *Polymers, 10*(9), 1-12.

Kaya I., Yıldırım M., Avcı A., Kamacı M. (2011). Synthesis and thermal characterization of novel poly(azomethine-urethane)s derived from azomethine containing phenol and polyphenol species. *Macromol Res., 19*(3), 286-293.

Kurt, İ. (2012). Nanopartikül Katkılı Su ile Seyreltilebilen Alkid Reçinelerin Üretimi ve Film Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 316381.

Li, H., Pokhrel, S., Schowalter, M., Rosenauer, A., Kiefer, J., Mädler, L. (2020). The gas-phase formation of tin dioxide nanoparticles in single droplet combustion and flame spray pyrolysis. *Combust Flame, 215*, 389-400.

Ling, J.S., Mohammed, A.I., Ghazali, A., Khairuddean, M. (2014). Novel poly(alkyd-urethane)s from vegetable oils: Synthesis and properties. *Ind. Crops. Prod*., 52, 74-84.

Ma, Y., Lei, R., Jiang, Y. (2020). Synthesis and characteristics of Zanthoxylum bungeanum seed oil-based alkyd resin modifed by epoxy resin and their blends with HMMM. *Polymer Bulletin, 77*, 4697–4711.

Malshe, V.C., Waghoo, G. (2006). Weathering characteristics of epoxy-ester paints. *Prog. Org. Coatings, 56*(2-3), 131-134.

Mecit, O. (2001). Atık Poli(Etilen Tereftalat)'tan Özel Blok Kopolimerler ve Çevre Dostu Alkid Reçine Üretimi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 112206.

Meltzer, Y.L. (1981). *Water Soluble Polymers: Developments since 1978* (1st ed.). New Jersey: Noyes Data Corporation.

Nairn, J.A. (2003). *Polymer Structure and Characterization* (1st ed.). Oregon: Oregon State University.

Nosal, H., Nowicki, J., Warzala, M., Nowakowska-Bogdan, E., Zarebska, M. (2015). Synthesis and Characterization of Alkyd Resins Based on Camelina Sativa Oil and Polyglycerol. *Progress in Organic Coatings, 86*, 59-70.

Paksoy, A.S. (2000). *Boya El Kitabı* (1.baskı). İstanbul: Kimya Mühendisleri Odası.

Paszun, D., Spychaj, T. (1997). Chemical Recycling of Poly(Ethylene Terephthalate). *Ind. Eng. Chem. Res., 36*, 1373-1383.

Ramesh, D., Vasudevan, T. (2009). Synthesis and physico-chemical evaluation of water-soluble epoxy ester primer coating. *Prog. Org. Coatings, 66*(2), 93-98.

Saçak, M. (1998). *Polimer Kimyasına Giriş* (2.baskı). Ankara: A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları.

Saçak, M. (2010). *Polimer Teknolojisi* (2.Baskı). Ankara: Gazi Kitabevi.

Saravari, O., Praditvatanakit, S. (2013). Preparation and properties of urethane alkyd based on a castor oil/jatropha oil mixture. *Prog. Org. Coatings*, *76*(4), 698-704.

Singh, A.P., Gunasekaran, G., Suryanarayana, C., Baloji Naik, R. (2015). Fatty acid based waterborne air drying epoxy ester resin for coating applications. *Prog. Org. Coatings*, *87*, 95-105.

Skoog, D.A. (1981). *Principles of Instrumental Analysis* (2nd ed.). New York: Academic Press.

Solymosi, F., Rasko, J. (1980). An Infrared Study on the Formation of Isocyanate in the NO+CO Reaction on Supported Ir Catalyst. *J. of Catalysis*, *63*, 217-225.

Sonnati, M.O., Leclair, A., Romand, A., Choule, O., Coggio, W.D., Florent, N. (2014). Development of Low-Color Alkyd Resins with High Content of Biobased Succinic Acid. *Paint & Coatings Industry*, 99678, 22-30.

Stuart, B. H. (2003). *Polymer Analysis* (1st ed.). New York: John Wiley and Sons Inc.

Sultan, M., Khalid, M., Z., Bhattia, N.H., Jamil, T., Hussain R., Zuber M. (2012). Modification of cellulosic fiber with polyurethane acrylate copolymers. Part I: Physicochemical properties, *Carbohydrate Polymers, 87*(1), 397-404.

Tahmaz, M. (2011). Organo Kil İçeren Uzun Yağlı Alkid Reçinelerinin Hazırlanması ve Film Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 337149.

Takeshita, Y., Becker, E., Sakata, S., Miwa, T., Sawada, T. (2014). States of water absorbed in water-borne urethane/epoxy coatings. *Polymer, 55*(10), 2505-2513.

Torlakoğlu, A. (2008). Atık Pet'den Üretilen Kısa Yağlı Alkid Reçinelerinin Amino Reçineleri ile Modifikasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 232567.

Tuna, Ö. (2011). Atık PET'in Hidroliz Ürünlerinin Alkid Reçinelerinin Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 305486.

URL-1: https://www.britannica.com/science/alkyd-resin/, (Ziyaret tarihi: 8 Kasım 2021).

URL-2: https://www.egekimya.com/urunler/egedry-kobalt-polimer-serisi-6.html/, (Ziyaret tarihi: 9 Kasım 2021).

URL-3: https://www.egekimya.com/urunler/egedry-kobalt-7.html/, (Ziyaret tarihi: 9 Kasım 2021).

URL-4: https://www.egekimya.com/urunler/egedry-kursun-11.html/, (Ziyaret tarihi: 9 Kasım 2021).

URL-5: https://www.egekimya.com/urunler/egedry-zirkonyum-10.html/, (Ziyaret tarihi: 9 Kasım 2021).

URL-6: https://prosafety.com.tr/toluen/, (Ziyaret tarihi: 9 Kasım 2021).

URL-7: https://prosafety.com.tr/ksilen-ozellikleri/, (Ziyaret tarihi: 9 Kasım 2021).

URL-8: http://www.brtr.com.tr/white-spirit/141/, (Ziyaret tarihi: 9 Kasım 2021).

Ünlü, K. (2017). Kullanılmış PET Su Şişelerinin Glikoliz Ara Ürünlerinden Alkid Esaslı Sentetik Boya Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 480595.

Velayutham, T.S., Majid, W.H.A., Ahmad, A.B., Kang, G.Y., Gan, S.N. (2009). Synthesis and characterization of polyurethane coatings derived from polyols synthesized with glycerol, phthalic anhydride and oleic acid. *Prog. Org. Coatings*, *66*(4), 367-371.

Wazarkar, K., Kathalewar, M., Sabnis, A. (2016). Development of epoxy-urethane hybrid coatings via non-isocyanate route. *Eur. Polym. J.*, *84*, 812-827.

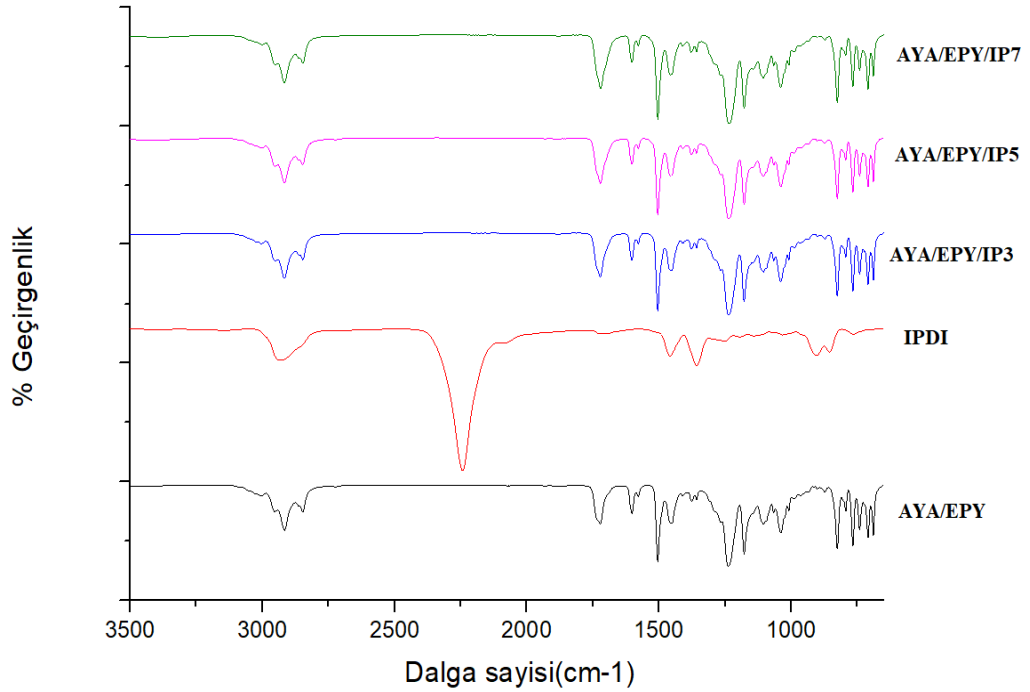
Wicks, Z.W., Jones, F.N., Pappas, S.P. (1992). *Organic Coating Science and Technology* (1st ed.). New York: John Wiley & Sons Inc.

Yürekli, Ş. (1995). *Reçine ve Boya Teknolojisi* (1.baskı). İstanbul: Kimya Mühendisleri Odası.

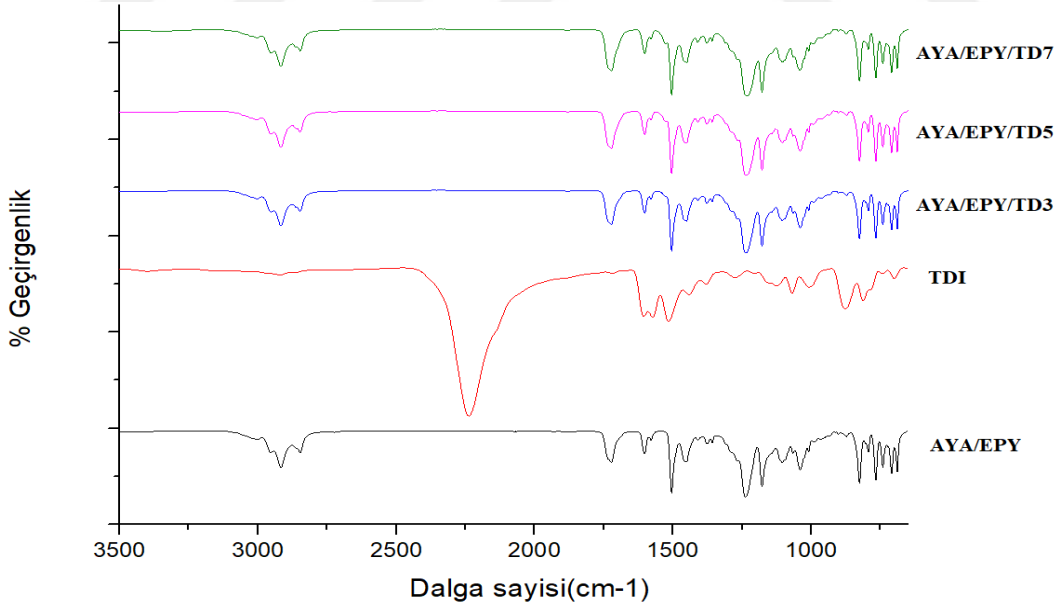
Zuo, Y., Chen, L., Shi, X., Gao, Y. (2018). Study on corrosion resistance of epoxy ester coating cross-linked by a new type of titanium ion curing agent. *Prog. Org. Coatings*, *115*, 86-93.

EKLER

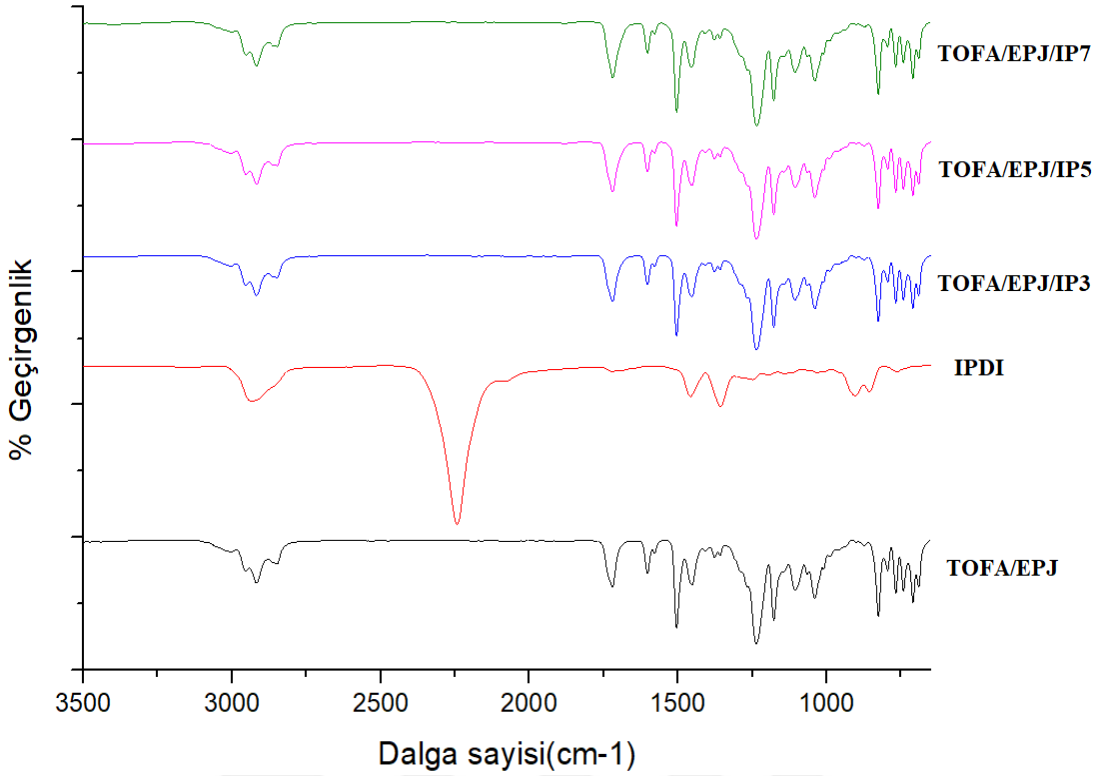
Ek-A



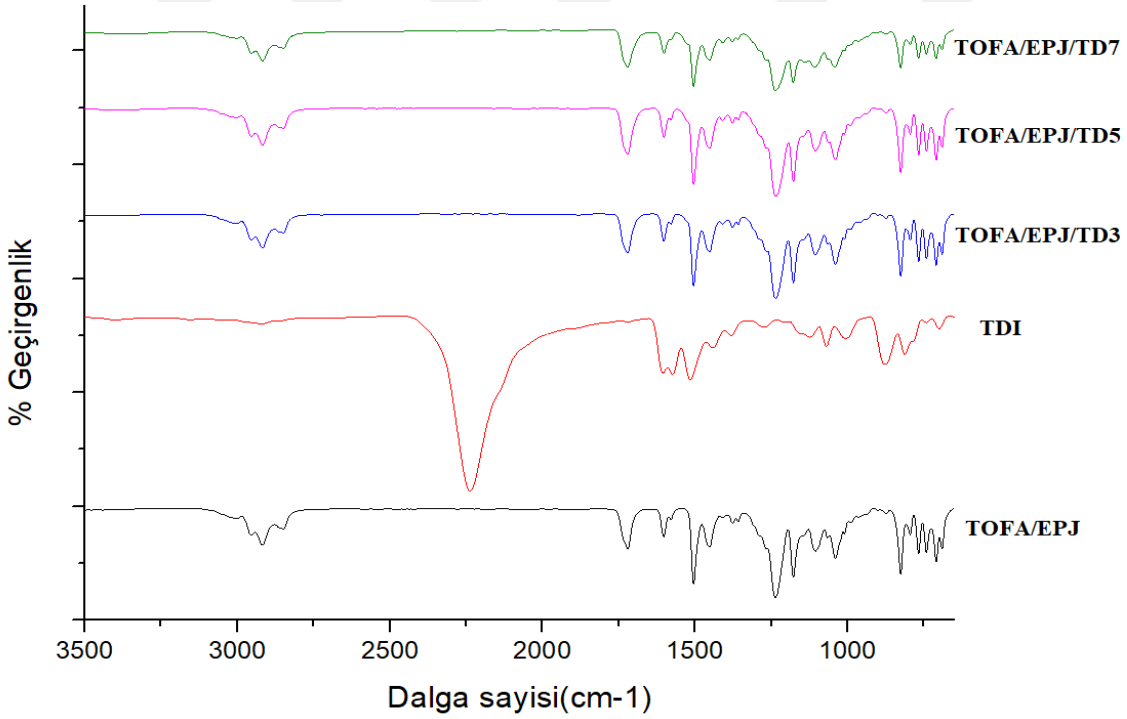
Şekil A.1. AYA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu



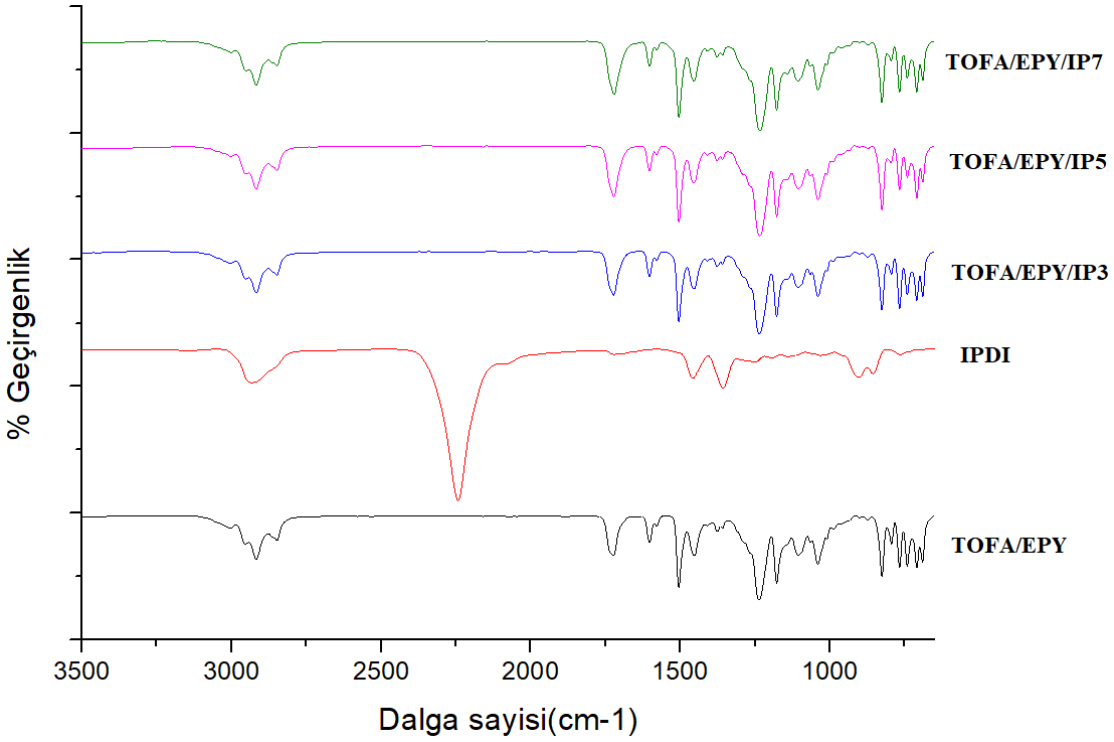
Şekil A.2. AYA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu



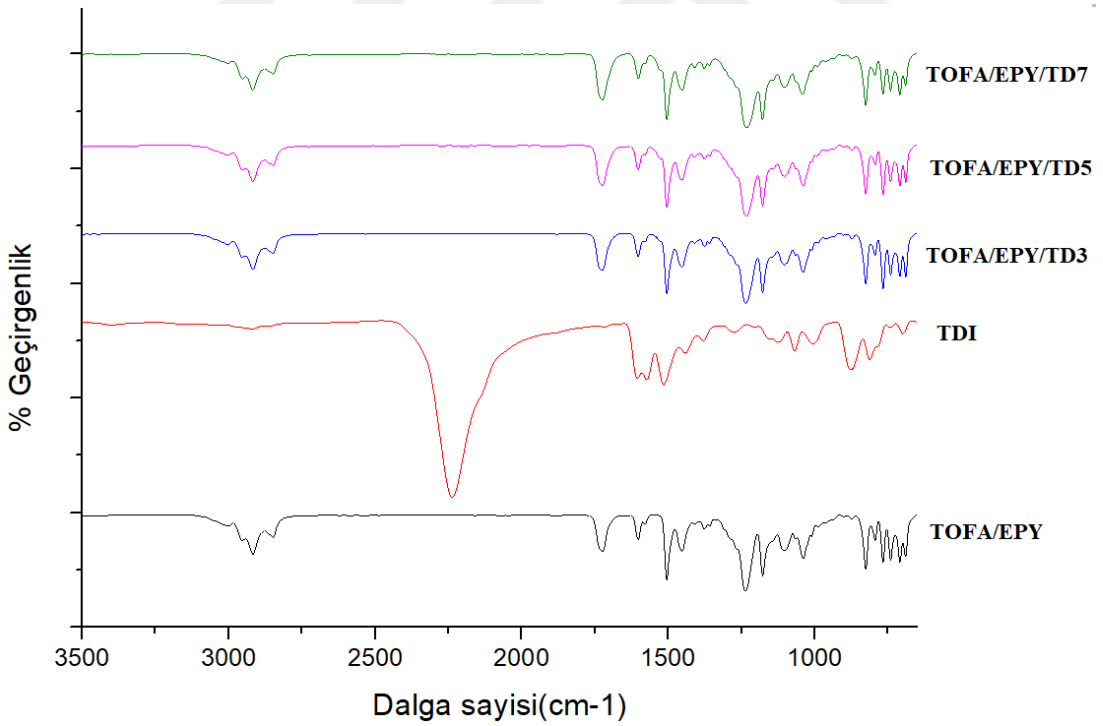
Şekil A.3. TOFA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu



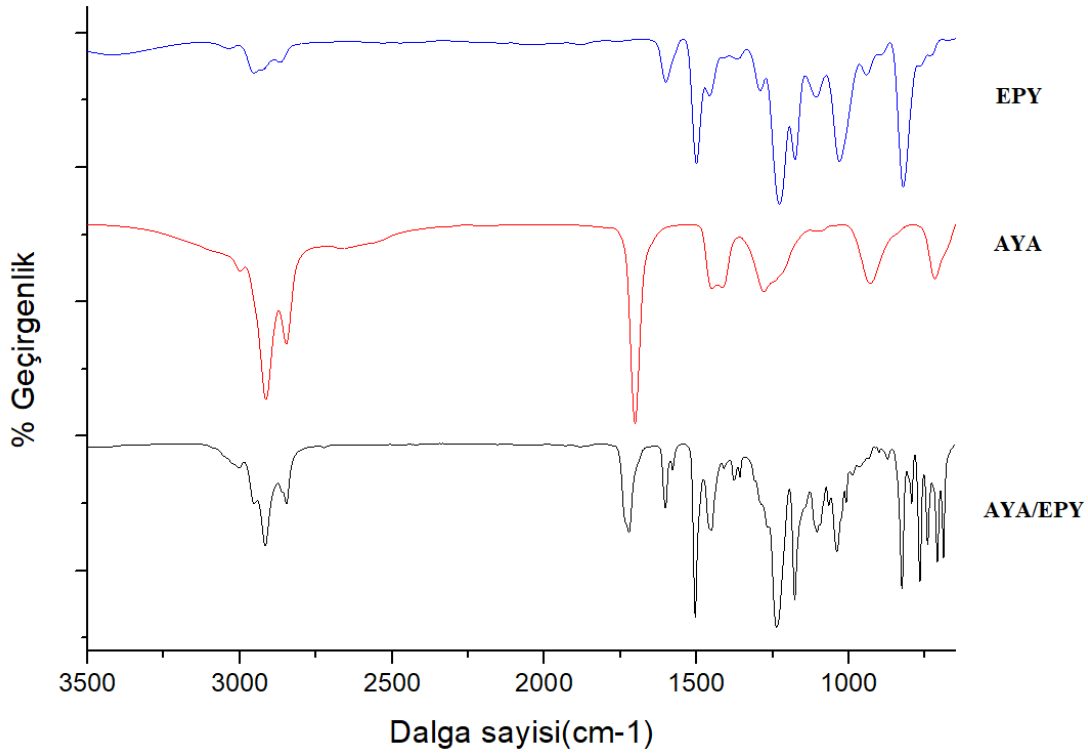
Şekil A.4. TOFA/EPJ ve TDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu



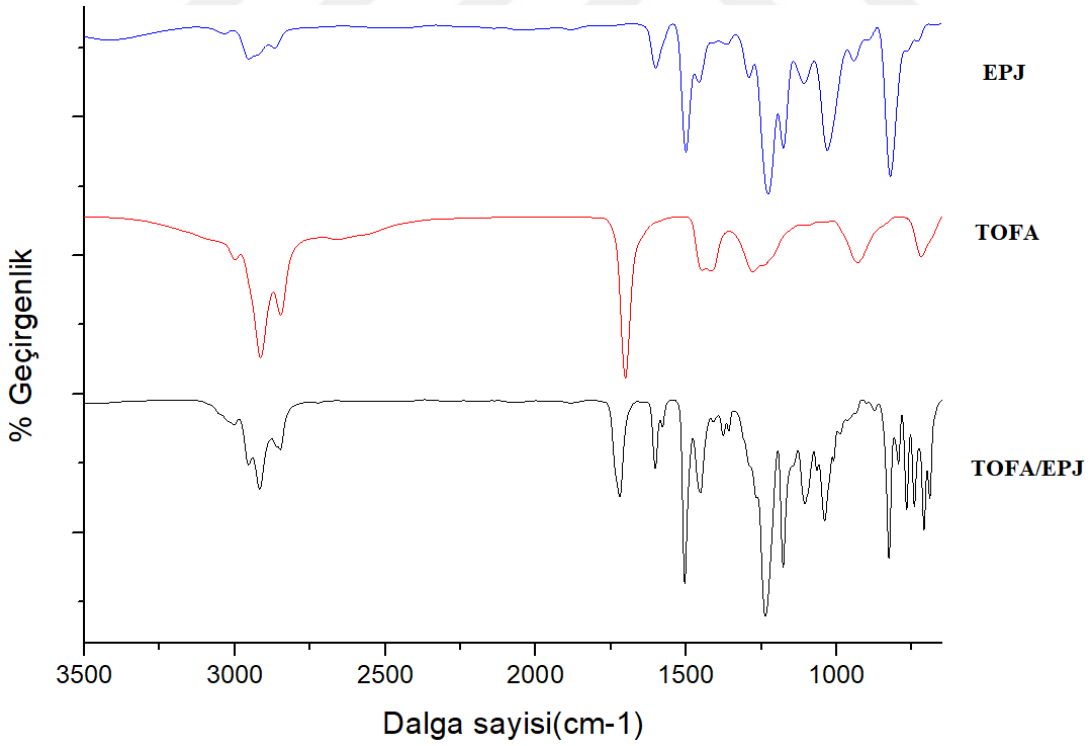
Şekil A.5. TOFA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu



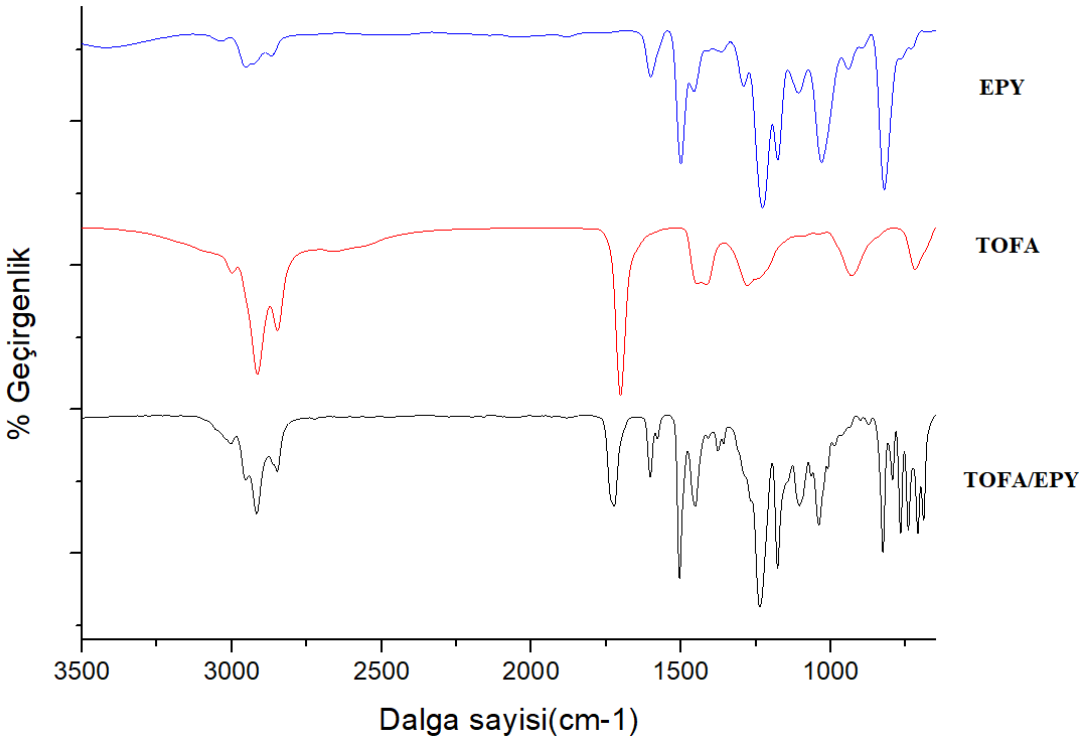
Şekil A.6. TOFA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait FTIR spektrumu



Şekil A.7. AYA/EPY epoksi ester reçineye ait FTIR spektrumu

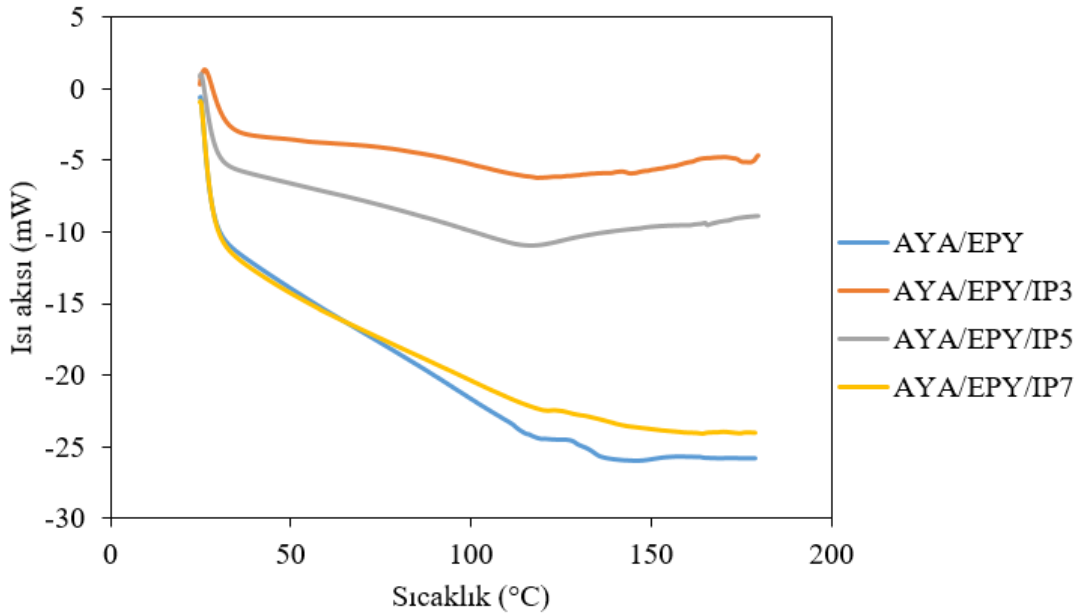


Şekil A.8. TOFA/EPJ epoksi ester reçineye ait FTIR spektrumu

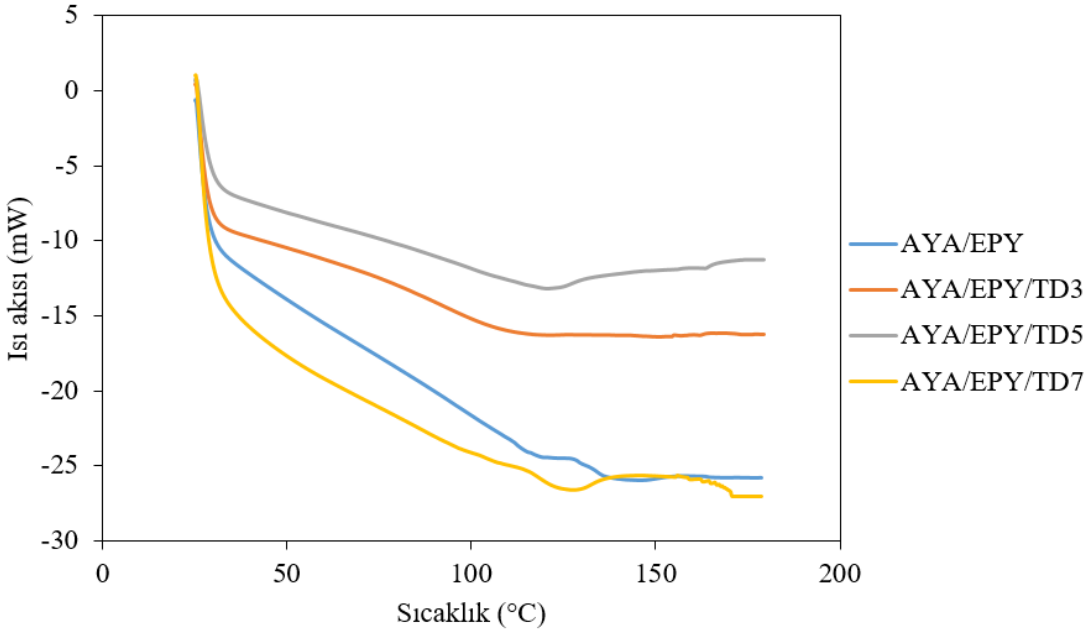


Şekil A.9. TOFA/EPY epoksi ester reçineye ait FTIR spektrumu

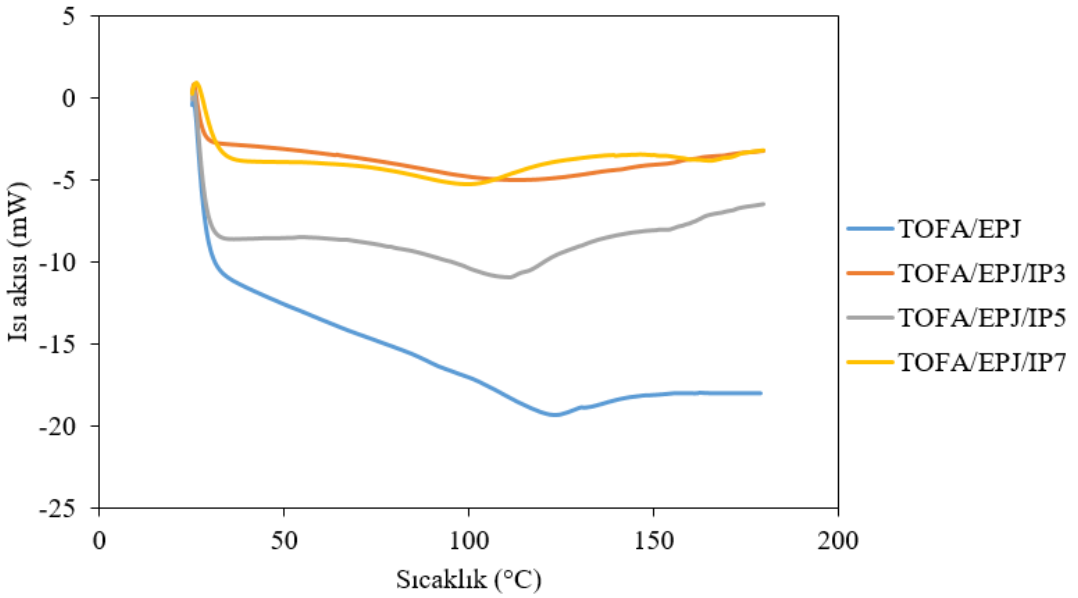
Ek-B



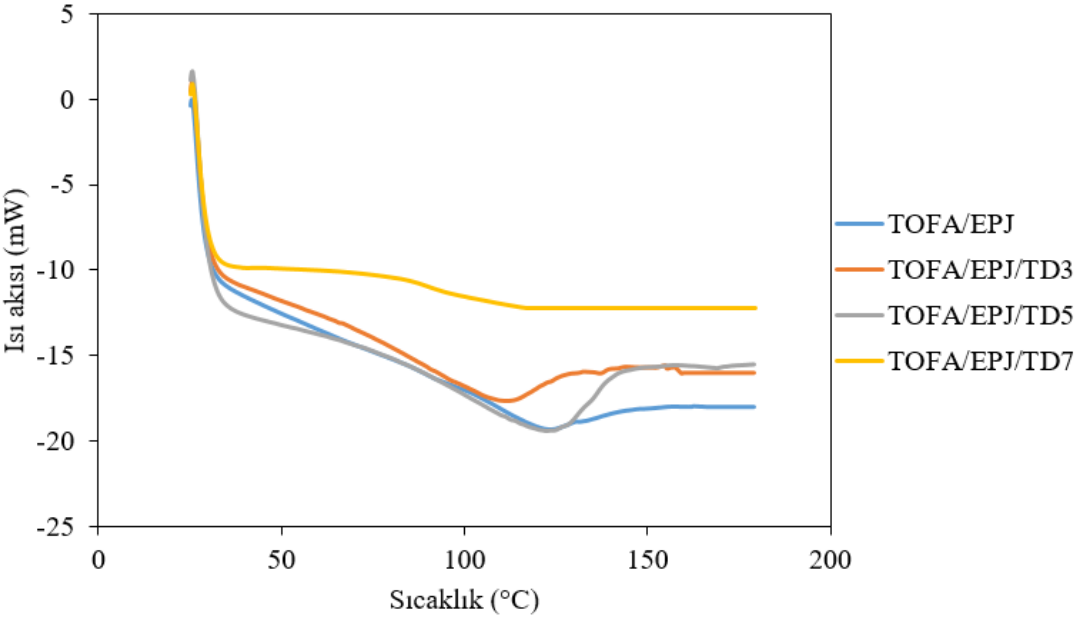
Şekil B.1. AYA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri



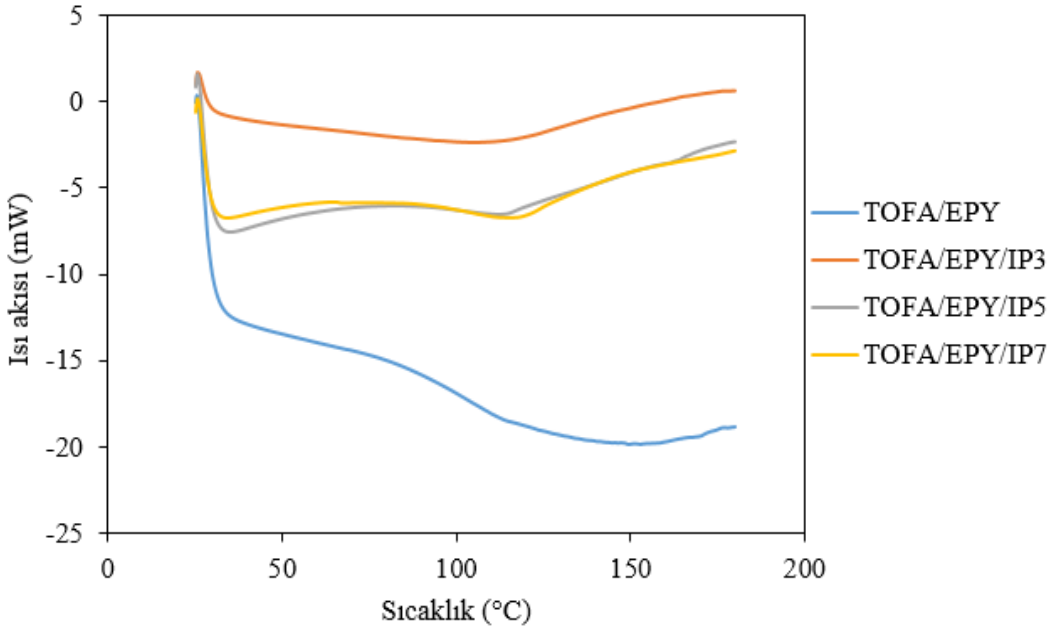
Şekil B2. AYA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri



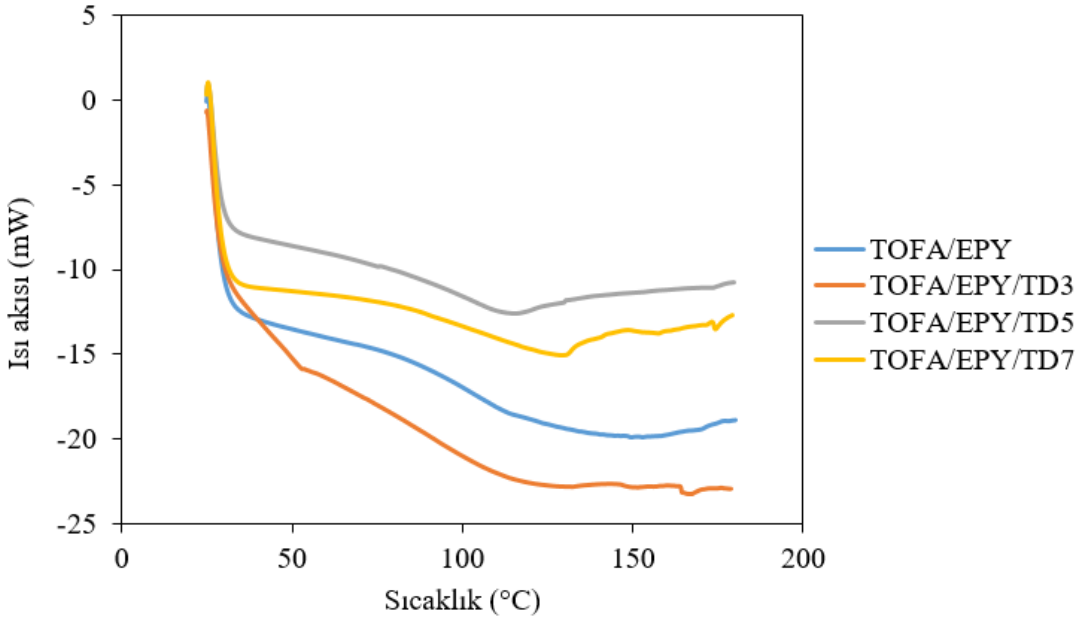
Şekil B.3. TOFA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri



Şekil B.4. TOFA/EPJ ve TDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri

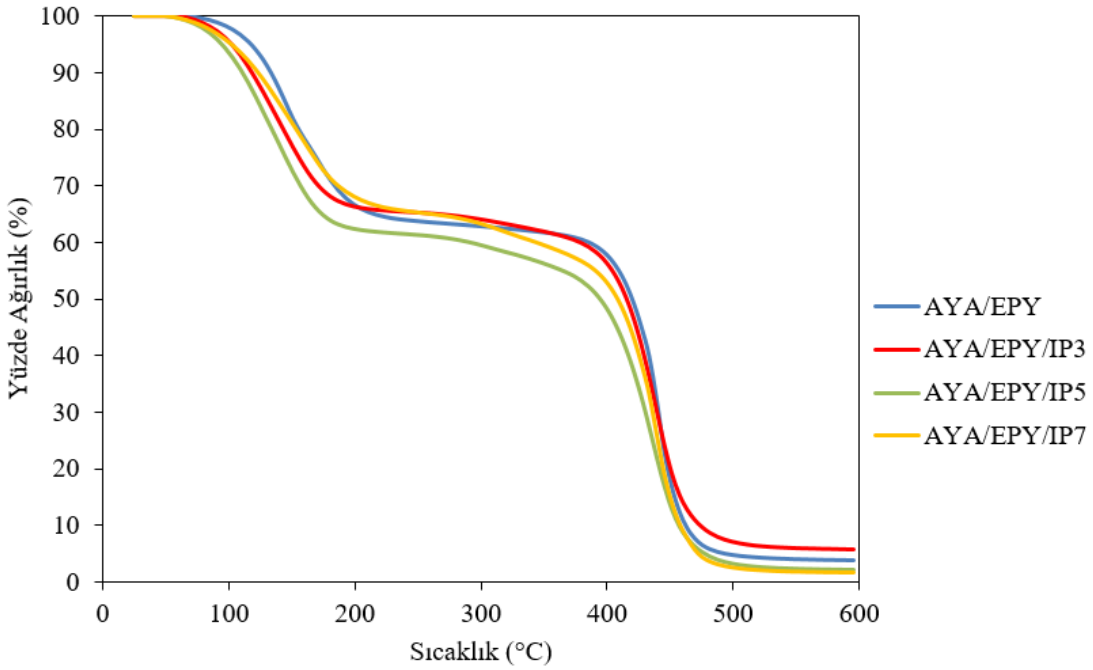


Şekil B.5. TOFA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri

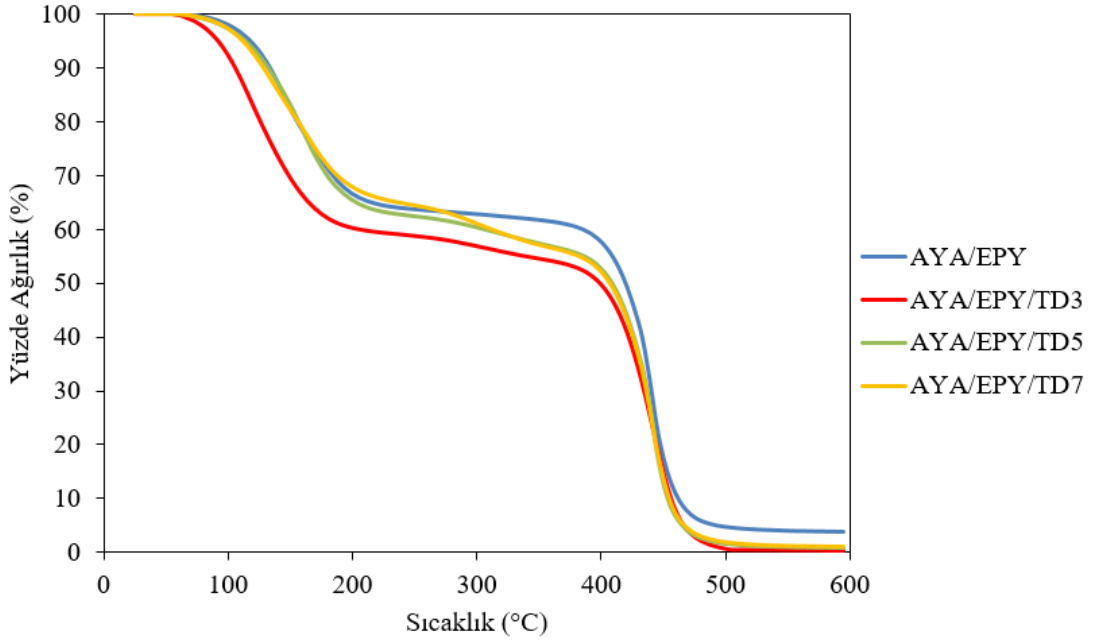


Şekil B.6. TOFA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait DSC eğrileri

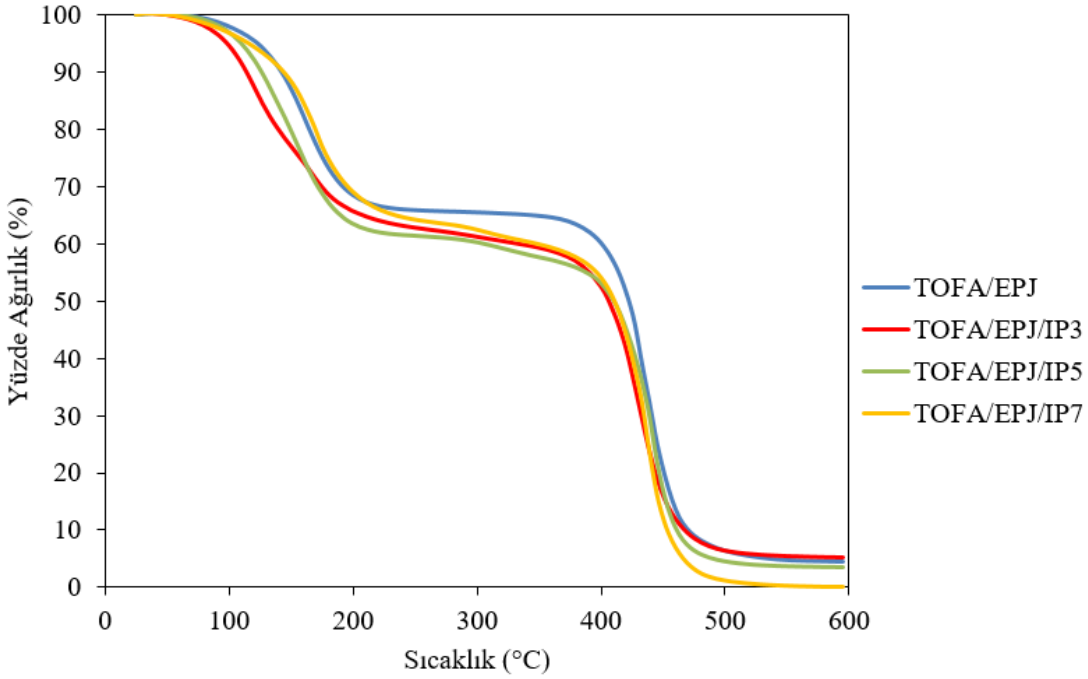
Ek-C



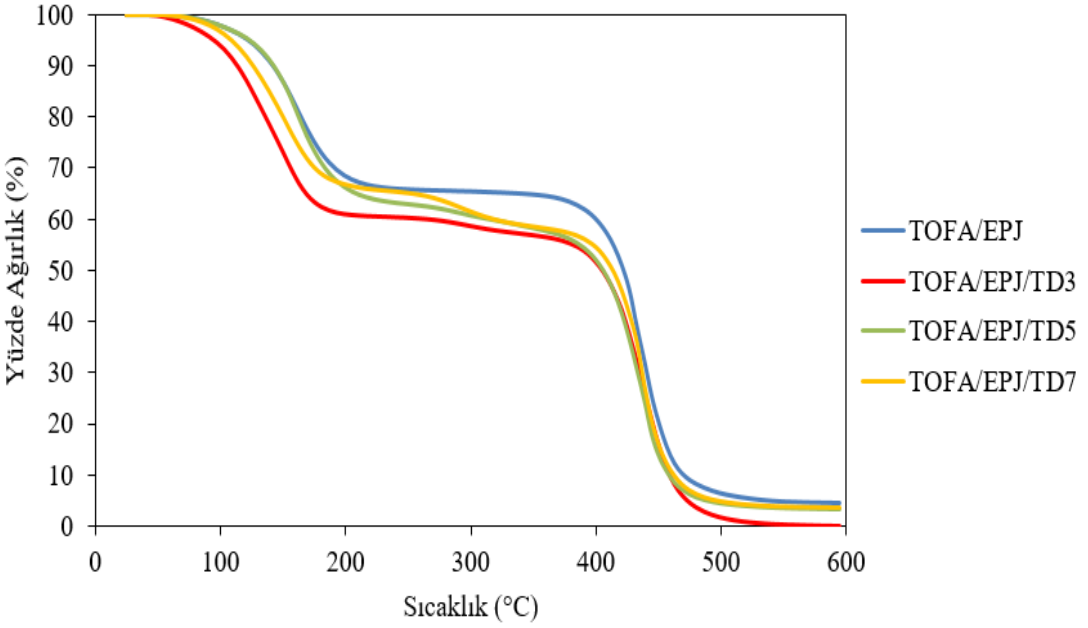
Şekil C.1. AYA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri



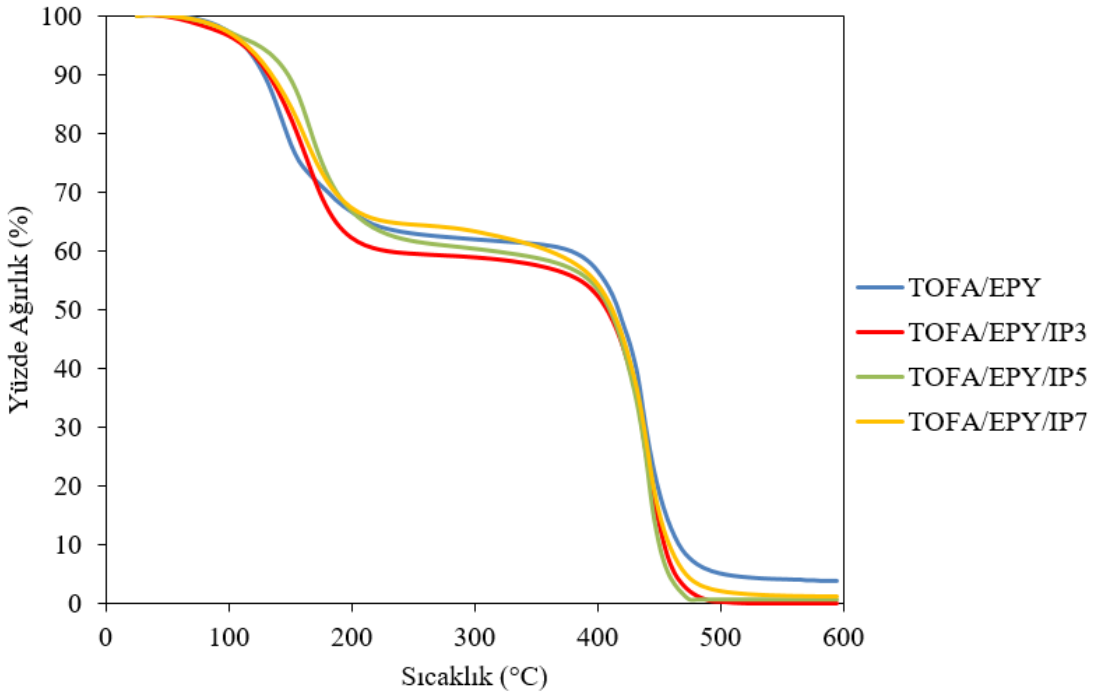
Şekil C.2. AYA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri



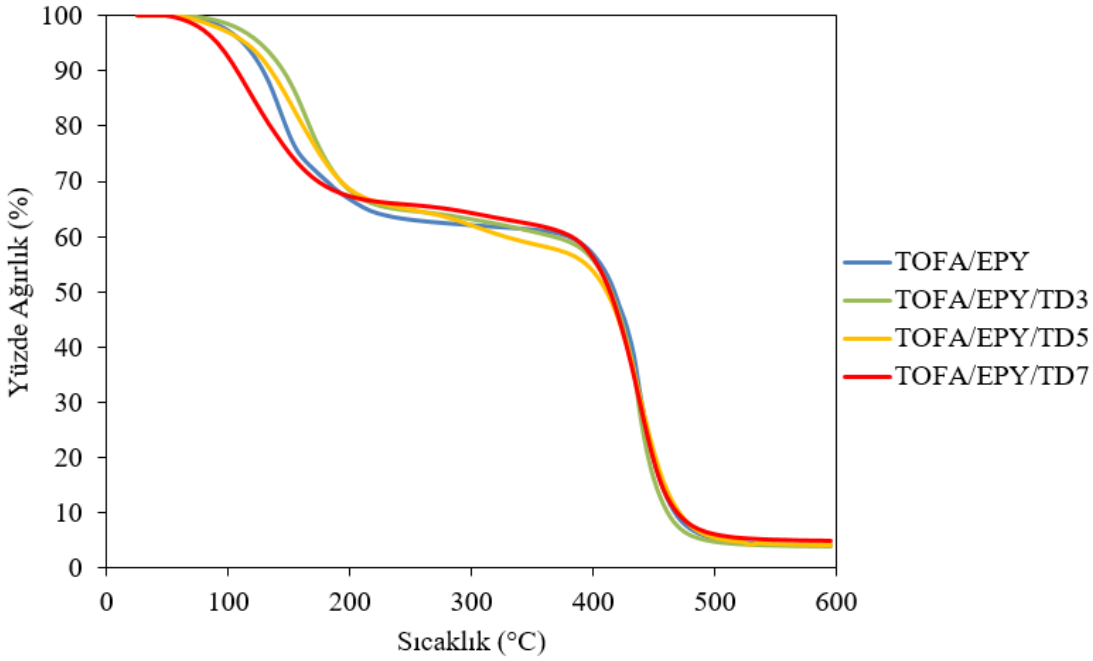
Şekil C.3. TOFA/EPJ ve IPDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri



Şekil C.4. TOFA/EPJ ve TDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri



Şekil C.5. TOFA/EPY ve IPDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri



Şekil C.6. TOFA/EPY ve TDI modifikasyonlarına ait TGA eğrileri

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Demir, Ş., Aytaç, A., Epoksi ve Üretan Hibrit Modifiyeli Alkid Reçine Üretimi ve Karakterizasyonu, *14.Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, Konya, 10-12 Haziran 2021.

ÖZGEÇMİŞ

2004 yılında Adnan Menderes Lisesinden mezun olduktan sonra 2007 yılında Ege Üniversitesi Aliağa Meslek Yüksek Okulu Kimya Teknolojisi Bölümünü bitirdi. 2008 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. Lisans eğitimini 2012 yılında bitirdi ve 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir. 2017 yılından beri Serkim Reçine Kimya San. Ltd.Şti.'de Arge Sorumlusu olarak çalışmaktadır.