

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI BOR KİMYASALLARI VE GOMALAK İÇEREN İNŞAAT BOYALARININ
TERMAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ABDULLAH BİLAL ÖZTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HANİFİ SARAÇ**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI BOR KİMYASALLARI VE GOMALAK İÇEREN İNŞAAT BOYALARININ
TERMAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Abdullah Bilal ÖZTÜRK tarafından hazırlanan tez çalışması/...../2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hanifi SARAÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hanifi SARAÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Fatma KARACA
Marmara Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nil ACARALI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 2015-07-01-YL06.

ÖNSÖZ

Öncelikle bana bu çalışmada yer alma imkanını sunan, çalışmalarım boyunca engin bilgi birikiminden yararlandığım ve yararlanmaya devam ettiğim, çalışmamın her aşamasında önerileriyle bana yardımcı olan hayatım boyunca saygıyla hatırlayacağım kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Hanifi SARAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımın her aşamasında sonsuz emeği geçen, çalışmalarım boyunca yardımcı olan ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Nil ACARALI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Beni bu günlere getiren, bana her zaman güvenen ve inanan ve anlayışlarını benden esirgemeyen, hayatımın sonuna kadar yanımda olacaklarını bildiğim ve her şeyden çok sevdiğim aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmasını destekleyen Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2015-07-01-YL06 numaralı yüksek lisans projesine teşekkür ederim.

Aralık, 2015

Abdullah Bilal ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMALİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
BOYA.....	4
2.1 Boyaların Sınıflandırılması.....	5
2.1.1 Su Bazlı Boyalar.....	5
2.1.2 Solvent Bazlı Boyalar.....	6
2.1.3 Toz Boyalar	6
2.2 Boya Bileşenleri.....	7
2.2.1 Bağlayıcılar	7
2.2.2 Pigmentler	8
2.2.3 Çözücüler	8
2.2.4 Kimyasal Katkılar.....	9
2.2.5 Dolgu Maddeleri	10
2.3 Boya Testleri.....	11
2.3.1 Yapışma.....	11
2.3.2 Darbe Direnci	12
2.3.3 Tuzlu Su Sisi Testi	13
2.3.4 Kimyasal Maddelere Karşı Direnç.....	13

BÖLÜM 3

KATKI MADDELERİ	15
3.1 Bor	15
3.1.1 Bor Mineralleri.....	16
3.1.2 Bor Mineralinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	18
3.1.3 Bor Kullanım Alanları	21
3.1.3.1 Cam ve Cam Elyafı Sanayi	21
3.1.3.2 Seramik ve Emaye Sanayi	23
3.1.3.3 Sabun ve Deterjan Sanayi	23
3.1.3.4 Tekstil Sanayi	23
3.1.3.5 Metalurji Sanayi	23
3.1.3.6 Tarım Sanayi	24
3.1.3.7 Nükleer Sanayi	24
3.1.3.8 Enerji Depolama	25
3.2 Gomalak	25
3.2.1 Gomalağın Özellikleri.....	27
3.2.2 Gomalağın Kullanım Alanları	28
3.3 Zeolit	28
3.3.1 Kristal Yapısı.....	30
3.3.2 Fiziksel Özellikleri.....	32
3.3.3 Dünya’da ve Türkiye’de Zeolit	34
3.3.3.1 Dünya’da Durum.....	34
3.3.3.2 Türkiye’de Durum.....	35
3.3.3.3 Rezervler	35
3.3.4 Kullanım Alanları.....	36
3.3.4.1 Tarımsal Uygulamalar	37
3.3.4.2 Hayvancılık Uygulamaları	37
3.3.4.3 Uluslararası Ekolojik Dengenin Korunması.....	37
3.3.4.4 Enerji Alanındaki Uygulamalar	38
3.3.4.5 Madencilik ve Metalurji Uygulamaları	38
3.3.4.6 Sağlık Sektörü Uygulamaları	38
3.3.4.7 İnşaat Sektörü Uygulamaları	38
3.3.4.8 Deterjan Sektörü Uygulamaları	39
3.3.4.9 Peyzaj Mimarisi ve Bahçe Düzenleme Uygulamaları.....	39
3.3.4.10 Karayollarında ve Ulaşımda Buzlanmayı Engelleme Çalışmaları	39

BÖLÜM 4

LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	40
-----------------------------	----

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	42
5.1 Kullanılan Malzemeler ve Kimyasallar	42
5.2 Kullanılan Cihazlar	42
5.3 Taguchi Methodu ve Boyaların Hazırlanması	43
5.3.1 Taguchi Metodu.....	43

5.3.2	Boyaların Hazırlanması	46
5.4	Karakterizasyon	50
5.4.1	FT-IR Analizi	50
5.4.2	TG/DTA Analizi	50
5.5	Testler	51
5.5.1	Yapışma Testi	51
5.5.2	Hidrofobiklik Testi	52
5.5.3	Darbe Testi	52
5.5.4	Tuz Sisi Korozyon Testi	52
5.5.5	Kütle Kaybı Korozyonu	54
BÖLÜM 6		
DENEYSEL SONUÇLAR		55
6.1	FT-IR Sonuçları	55
6.1.1	Hammaddelerin FT-IR Sonuçları	55
6.1.2	Boyaların FT-IR Sonuçları	59
6.2	TG/DTA Sonuçları	62
6.3	Test Sonuçları	64
6.3.1	Yapışma Testi Sonuçları	64
6.3.2	Yapışma Testi Sonuçları	65
6.3.3	Darbe Testi Sonuçları	65
6.3.4	Tuz Sisi Korozyon Testi Sonuçları	69
6.3.5	Kütle Kaybı Korozyon Testi Sonuçları	70
6.4	Ekonomik Analiz	74
BÖLÜM 7		
SONUÇ VE ÖNERİLER		77
KAYNAKLAR		79
ÖZGEÇMİŞ		85

SİMGE LİSTESİ

A	Alan
d	Yoğunluk
t	Zaman
w	Kütle

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
amp-hr	Amper-saat
ASTM	Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurumu
atm	Atmosfer
°C	Santigrat
cm	Santimetre
dk	Dakika
DIN	Alman Standart Enstitüsü
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
°F	Fahrenheit
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
°K	Kelvin
kJ	Kilojoule
m	Metre
ml	Mililitre
mm	Milimetre
MN	Mega Newton
MPa	Mega paskal
MTA	Makine Tetkik ve Arama
nm	Nanometre
TG	Termal Gravimetri
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UOK	Uçucu Organik Kimyasal
UV	Ultraviyole
W	Watt
µm	Mikrometre

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Çapraz çizgi yöntemi ile tarama testi.....	12
Şekil 2.2 Tarama yöntemi ile yapışma testi.....	12
Şekil 3.1 Bor.....	15
Şekil 3.2 Farklı bor minerallerinin görünümü.....	18
Şekil 3.3 Doğal gomalak	25
Şekil 3.4 Gomalağın fiziksel görünümü.....	26
Şekil 3.5 Gomalağın kimyasal yapısı.....	27
Şekil 3.6 Zeolit kristal yapılarında yapı üniteleri.....	31
Şekil 3.7 Zeolit iskeletinin oluşumu	31
Şekil 3.8 Zeolit kristal yapısını oluşturan dörtyüzlülerin zincir bağlanmaları.....	32
Şekil 5.1 Primer ve sekonder kırıcılar.....	47
Şekil 5.2 Primer ve sekonder kırıcılar.....	47
Şekil 5.3 Karıştırma işlemi.....	48
Şekil 5.4 Mekanik karıştırıcı.....	48
Şekil 5.5 Aplikatör.....	49
Şekil 5.6 Otomatik film aplikatörü.....	49
Şekil 5.7 FT-IR cihazı	50
Şekil 5.8 TG/DTA cihazı	51
Şekil 5.9 Korozyon test cihazı	53
Şekil 5.10 Korozyon testi analiz şartları	53
Şekil 6.1 Boraks dekahidrat için FT-IR spektrumu	56
Şekil 6.2 Boraks pentahidrat için FT-IR spektrumu	57
Şekil 6.3 Zeolit için FT-IR spektrumu	57
Şekil 6.4 Gomalak için FT-IR spektrumu	58
Şekil 6.5 Çözücü bazlı referans boyanın FT-IR spektrumu	59
Şekil 6.6 Su bazlı referans boyanın FT-IR spektrumu	60
Şekil 6.7 9 numaralı çözücü bazlı boyanın FT-IR spektrumu	61
Şekil 6.8 18 numaralı çözücü bazlı boyanın FT-IR spektrumu	61
Şekil 6.9 5 numaralı su bazlı boyanın FT-IR spektrumu	62
Şekil 6.10 Su bazlı referans boyanın TG/DTA eğrisi.....	63
Şekil 6.11 % 6 boraks pentahidrat içeren su bazlı boyanın TG/DTA eğrisi.....	63
Şekil 6.12 % 10 boraks pentahidrat içeren su bazlı boyanın TG/DTA eğrisi.....	64
Şekil 6.13 Yapışma testinin uygulandığı yüzey.....	64
Şekil 6.14 Yapışma testi sonuçları.....	65
Şekil 6.15 Darbe testi.....	66
Şekil 6.16 Tuz sisi korozyon testi.....	70

Şekil 6.17	Farklı asit ortamlarında korozyon hızları.....	73
Şekil 6.18	Hazırlanan boyaların referans boyaya göre korozyon önleme verimlilikleri.....	74

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Ekonomik açıdan önemli bor mineralleri 17
Çizelge 3.2	Borun fiziksel özellikleri 19
Çizelge 3.3	Borun atomik yapısı 20
Çizelge 3.4	Borun kimyasal özellikleri 20
Çizelge 3.5	Ticari öneme sahip bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanım alanları..... 22
Çizelge 3.6	Doğal zeolitlerin oluşumları 30
Çizelge 3.7	Doğal zeolitin fiziksel özellikleri 33
Çizelge 3.8	Doğal zeolitin kimyasal bileşimi..... 34
Çizelge 3.9	Türkiye’de tespit edilmiş bulunan zeolit yatakları ve türleri 36
Çizelge 5.1	Parametreler ve deneylerin optimizasyon parametreleri seviyeleri..... 43
Çizelge 5.2	Çözücü bazlı boya için hazırlanan Taguchi L-9 ortogonal dizi (Boraks dekahidrat içerikli) 44
Çizelge 5.3	Çözücü bazlı boya için hazırlanan Taguchi L-9 ortogonal dizi (Boraks pentahidrat içerikli) 45
Çizelge 5.4	Su bazlı boya için hazırlanan Taguchi L-9 ortogonal dizi 46
Çizelge 6.1	Çözücü bazlı boyalar için test sonuçları (Boraks dekahidrat içerikli) 67
Çizelge 6.2	Çözücü bazlı boyalar için test sonuçları (Boraks pentahidrat içerikli) 68
Çizelge 6.3	Su bazlı boyalar için test sonuçları..... 69
Çizelge 6.4	Korozyon testi tartım değerleri 71
Çizelge 6.5	Korozyon hızları 72
Çizelge 6.6	Katkı maddeli boyaların korozyon önleme verimleri 73
Çizelge 6.7	Kullanılan malzemelerin birim fiyatları..... 75
Çizelge 6.8	Katkılı ve katkısız boyaların birim fiyatları 76

FARKLI BOR KİMYASALLARI VE GOMALAK İÇEREN İNŞAAT BOYALARININ TERMAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Abdullah Bilal ÖZTÜRK

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hanifi SARAÇ

Doğal veya sentetik malzeme olan boya günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Dekoratif yönünün yanı sıra malzemeyi koruma amacıyla kullanılan boyanın iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir. Bu çalışmada; boyaya zeolit, bor kimyasalları ve gomalak eklenerek fiziksel testler uygulanmıştır. Ayrıca enstrümental cihazlar kullanılarak boyanın karakterizasyonu incelenmiştir. Katkı maddesi seçiminde, maddeye ulaşım ve ülkedeki yıllık üretim etkili olan parametrelerdendir. Bu yüzden, zeolit ve bor kimyasalları kolay erişilebilirlik ve ülkemizdeki büyük miktarlardaki üretimi açısından katkı maddesi olarak uygun olmaktadır. Bor kimyasalları ile ilgili geçmiş çalışmalar, tekstil ürünlerinde alev geciktirici özelliğinin yanı sıra birçok kullanım alanına sahip olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, gomalağın metalik malzemelerde koruma ve izolasyonunda geniş kullanım alanına sahip olduğu geçmiş çalışmalardan görülmektedir. Zeolit ise çimento sektöründe yapışmayı artırma özelliği gösterdiği için boya içerisindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boya, zeolit, gomalak, bor kimyasalları.

**INVESTIGATION OF THERMAL AND PHYSICAL PROPERTIES FOR CONSTRUCTION DYES
CONTAINING DIFFERENT BORON CHEMICALS AND SHELLAC**

Abdullah Bilal OZTURK

Department of Chemical Engineering
MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Hanifi SARAC

Dyes, natural or synthetic substances, are used in most of area in daily life. Not only decorative effect but also protective purposes are lead to using of dyes. Studies about enhancing and strengthening of dyes are continued. In this study, zeolite, shellac and different boron chemicals were used as additive and physical tests were applied. Also, instrumental methods were used for characterization of dyes. Accessible of additives or yearly production amounts are become important issue at selection of materials. So, zeolite and boron chemicals are suitable selection in that easy access and has large amount of production in our country. Previous research about boron chemicals shows they have flame retardant effect on textile materials besides numerous usage areas. Also, from previous research, shellac was used widely for protection and insulation of metallic materials. Zeolite added to dye to increase adhesive effect of dye.

Key Words: Dye, zeolite, shellac, boron chemicals.

1.1 Literatür Özeti

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak insanların yaşam koşulları değişmekte ve ekolojik dengeye zarar vermemek için var olan olanakları daha verimli kullanma eğilimleri artmaktadır. Bu değişikliklere paralel olarak insanların yaşam alanları da değişmektedir. İnsanoğlu var olduğu günden beri bu yana her zaman en iyisini, en konforlusunu ve en verimlisini araştırmaya, bulmaya ve geliştirmeye çalışmış ve elde edilen bilgiyi uygulayarak yaşam kalitesini arttırmıştır. Bu bağlamda, mağaralar ile başlayan barınma ortamları ilerleme kaydederek günümüzdeki haline kavuşmuştur [1].

Bilinmektedir ki, bugün teknoloji, endüstri, ekonomi ve diğer herhangi bir alandaki ilerleme, enerji ve enerji kaynakları ile de bağlantılıdır. Yani, sürdürülebilir kalkınmanın temel taşı olan enerjinin; zamanında, kesintisiz, yeterli ve düşük maliyetle kullanımı, verim arttırıcı önemli bir mühendislik yaklaşımıdır [2]. Buradan yola çıkarak yapılacak bir yaklaşımla binalarda düşük enerji tüketimi, kullanılan malzemelerin ömrünün arttırılması önemli çalışma alanlarındandır [3].

Dekoratif yönünün yanında koruma amacıyla kullanılan ve tekstil ürünlerinden inşaat malzemelerine kadar hayatımızın her aşamasında neredeyse tüm malzemelerde karşımıza çıkan boyanın, üzerinde yıllardır süregelen çalışmalar ile koruma etkisi ve kullanım ömrü arttırılmaya çalışılmaktadır. Gerek iç cephe, gerekse dış cephede

boyaların en fazla kullanım gördüğü binalarda ise, insan sağlığına zarar vermeyen ve uzun süre yüzeyde bozulmadan kalarak binayı dış etmenlerden koruyacak boya üretimi günümüzde önemli çalışma alanlarından bir tanesidir. Birçok ülkede, geleneksel binalardan uzaklaşarak, iklim şartlarına en iyi cevap verecek binalar yapılmaya başlanmıştır [4].

İnsan sağlığına zarar vermeyecek katkı maddeleri veya doğal mineraller kullanılarak üretilen, daha üstün fiziksel ve termal özellikli boyalar ile ısı yalıtımı katkısıyla enerji, uzun süreli bina korumasıyla ekonomik tasarrufun sağlanmasının yanı sıra konforlu bir yaşam sağlanacaktır. Katkı maddesi seçiminde, insan sağlığına zarar vermemesinin yanı sıra, maliyeti düşük, ulaşılabilirliği yüksek, düşük yoğunluklu veya boya ile karışabildiğinde pozitif etkiler sağlaması gibi parametreler göz önünde bulundurulmaktadır, bu yüzden farklı ülkelerde ürün çeşitliliğinin değişkenliği sebebiyle farklı katkı maddeleri denenerek en verimli sonuçlar alınmaya çalışılmaktadır [4], [5]. Ülkemizde yapılan çalışmalarda ise ülkemizde üretimi yüksek olan doğal veya insan sağlığına zarar vermeyen katkı maddeleri kullanılmaktadır [6].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, boya sektörünün en geniş kullanım alanına sahip olan inşaatlarda kullanılan boyalara katkı maddeleri ekleyerek boyaların kullanım ömrünü arttırma, koruma gücünün arttırılmasıdır. Bu amaçla, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak boya içerisine bor kimyasalları, zeolit, gomalak eklenerek testler yapılacaktır. Yapılan testler sonucunda alınacak sonuçlara göre en iyi özellikli boya ve en uygun katkı maddeleri ile katkı madde oranları belirlenecektir. Ayrıca inşaat boyalarında kullanılan su bazlı boyalara ek olarak, çözücü bazlı boyalara da benzer testler uygulanacaktır.

1.3 Hipotez

Yapılan literatür taramalarında; boyalara farklı ülkelerde farklı katkı maddeleri eklenerek gerek yalıtım gerekse fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada da benzer amaçla ülkemizin bor mineralleri ve doğal zeolit bakımından zengin

olması ve korozyon korumasında kullanımı bulunan gomalağı ortak bir çalışmada kullanarak analizleri yapılacaktır. Çalışmanın özgün yönleri, henüz bir arada kullanılmamış maddelerin kullanılacak olması ve bu işlemler için Taguchi Optimizasyon methodunun kullanılacak olmasıdır. Bu yöntemle 3 farklı parametre ve 3 ayrı seviye için uygulanması gereken 27 deney yerine 9 deney ile optimum katkı maddesi oranları belirlenecektir.

BÖLÜM 2

BOYA

Bir materyale kendiliğinden veya uygun reaksiyon maddeleri sayesinde renk veren organik maddelere boya denir. Renk madde üzerine düşen ışınların absorpsiyon yansıma değerleri ile ortaya çıkar [7]. Boya molekülleri görünür ışığı (400-750 nm dalga boyunda) absorbe eden ve boyanın elyafın içine ve üzerine tutunmasına yarayan kromojen gruplar içerir. Kromojen gruplar 'kromofor' adı verilen grupları bünyesinde bulunduran aromatik yapılardır. Kromofor organik bir molekül içinde renkli görünümü sağlayan atom, atom grubu veya elektronlardır. Kromofor gruplar kimyasal yapılarına göre; nitro, nitroso, azo, etilen, karbon-azot, karbonil, kükürt grupları olmak üzere 7 gruba ayrılırlar [8]. Bir veya birden çok bağ içerirler. Bu bağlar ışığı absorblayarak boyanın parlak renkli görünüm kazanmasını sağlamaktadırlar. Azo sınıfı kromofor grubu boyalar yaygın olarak bulunan boyalardır [9].

Boya molekülünde, molecule elektrolitik çözünme özelliği kazandıran ve boya molekülünün tuz meydana getirmesini sağlayan 'Oksorom' kısmı bulunmaktadır. Oksorom denilen elektron verici amin, hidroksil, karboksil ve sulfo gibi birinci dereceden yer değiştiriciler ile anti oksorom denilen karbonil, nitroza gibi ikinci dereceden yer değiştiricilerin moleküle bağlanması sonucu molekül bileşik liflere karşı affinite kazanarak boya niteliği kazanır ve renk koyulaşır [10], [11]. Boyanın bazik veya asidik olduğunu oksorom grupları belirler ve bu gruplara örnek olarak $-NR^{2+}$, $-NH^{2+}$, $-OH$, $-Br^-$ ve $-Cl^-$ gösterilebilir [12]. Boyalar genel olarak, anyonik-direkt boyalar, asit ve reaktif boyalar, katyonik-bazik boyalar ve iyonik olmayan-dispers boyalar şeklinde

sınıflandırılabilir [13], [14].

2.1 Boyaların Sınıflandırılması

Boyalari son kullanım yerine, kullanılan reçinenin türüne, kuruma metoduna göre ve bunun gibi birçok kıstas göz önünde bulundurularak çeşitli şekillerde sınıflandırılırlar. Boya bileşenlerinin tipi ve oranı boyanın özelliğini belirtir. Aynı zamanda boyanın çeşitli bileşenleri boya üretiminde ve kullanımında oluşacak potansiyel çevre kirliliği mevcut atık yönetim seçeneklerini de belirler. Atık azaltılması ve kontrolü açısından boyalar içerdikleri çözücü temelinde sınıflandırılır. Bu yaklaşımla boyalar su bazlı, solvent bazlı ve toz boyalar olarak sınıflandırılabilir [15].

2.1.1 Su Bazlı Boyalar

Su bazlı kaplama sistemlerinde çözücü olarak belirlenen ölçüde su kullanılır. Bu grupta sulu emülsiyonlar (lateks), koloidal dispersiyonlar ve suyla inceltlen kaplamalar yer almaktadır. Emülsiyon veya lateks kaplamalar suda sentezlenen ve yüzey aktif madde içeren polimerlerden üretilmektedir. Emülsiyon boyalari, sıvı monomerin su içinde küçük polimerler şeklinde polimerleşmesi sonucu emülsiyon polimerizasyonu ile elde edilir. Bu kaplamalar sıvı ortamda dağılmış yüksek molekül ağırlıklı farklı partiküllerden oluşmaktadır. Emülsiyon boyalari farklı polimerik reçineler kullanılarak sentezlenirler. Emülsiyon reçinelerinde boya taşıyıcıları olarak stiren-bütadien kopolimerleri, akrilikler, polivinilasetat, alkidler ve polistiren kullanılır. Lateks, kauçuk partiküllerin emülsiyonundan oluşan emülsiyon boyalardır ve lateks kaplamalar mimari amaçlar için kullanılmakta, uygulamada karşılaşılan sorunlar sebebiyle endüstriyel son işlemlerde kabul görmemektedir. Suda çözünürlüğü sağlamak için polimerle birleşmiş polar grupları içeren suyla inceltlen kaplamalar lateks kaplamalara göre daha karmaşıktır ve etkin olarak çok geniş uygulama alanına sahiptir. Suyla inceltlen kaplamalarda alkol ve esterle gibi suyla karışan organik çözücülerde sentezlenen kopolimerler bulunur. Bu polimerlerle birlikte karboksilik asit içeren az oranda monomer de bulunmaktadır. Bu asit grupları suda çözünebilir ürün elde etmek için amonyak veya diğer aminler gibi

bazlarla nötrleştirilir. Suyla inceltileen kaplamalar, formülasyonuna göre belirli miktarda organik çözücü de içermektedir. Su, boya filminden uzaklaştıktan sonra polimerin birleşmesine yardımcı olan yüksek kaynama noktalı, suyla karışabilen bir organik çözücünün kullanılması gerekir. Birleştirici çözücü su buharlaştıktan sonra birikmiş boya filminin akışkanlık kazanarak pürüzsüz kurumasına olanak sağlar. Suyla inceltileen kaplamaların kuruması sırasında su, organik çözücü ve bazlar (amonyak veya aminler) buharlaşarak arkada suda çözünmeyen malzeme bırakırlar. Kaplama kururken polimerin çapraz bağlanmasına neden olan kimyasallar kaplamanın dayanıklılığını artırmak için eklenebilir [16].

2.1.2 Solvent Bazlı Boyalar

Solvent esaslı kaplama sistemlerinde temel çözücü olarak solvent bazlı çözücüler (tiner, tolüen vb.) kullanılır. Organik solvent esaslı boyalar yapıları gereği önemli miktarda uçucu organik kimyasal (UOK) içermektedir. Uçucu organik kimyasal içeriğini azaltabilmek için yüksek katı madde içerikli kaplamalar geliştirilmektedir. Yüksek katı madde içeriği kaplamanın daha az miktarda çözücüye gereksinim duymasını sağlarken, boyanın spreyl olarak uygulanması esnasında yüksek viskozitesi sebebiyle ekipmanların modifikasyonunu gerektirmektedir.

Solvent bazlı boyaların atıkları genel olarak tehlikeli ve yanıcıdır. Bununla birlikte çözücü bazlı atıkların çözücü geri döngüsü kolaylığı ve yüksek ısı içeriği ile atık geri döngüsü, yeniden kullanım veya yönetim gibi uygun alanlarda değerlendirilmesi mümkündür [15].

2.1.3 Toz Boyalar

Toz boyalar çözücü içermez; reçine, pigment, kuruma ajanları, güçlendirici, katalizörler, dolgu maddeleri, akış kontrol ajanları ve az miktarda diğer katkı maddelerinden oluşurlar. Toz boyalar elektrostatik püskürtme ve akışkan yatak teknikleri kullanılarak kuru olarak uygulanır. Her durumda toz sürekli film oluşturacak şekilde ısı uygulanıp eritilerek boyanacak nesnenin üzerine tutunur.

Toz kaplamaların yapısında organik çözücü bulunmadığından çevresel yönden avantajlıdır. Ayrıca yüksek aktarım verimi nedeniyle çok az miktarda katı veya sıvı atık üretilir. Toz kaplamaların en büyük dezavantajı uygulamada ortaya çıkmaktadır. Birçok kaplama uygulama yönteminde özellikle büyük ve ağır parçaların ısıtılması gerekmektedir. Ayrıca elektrostatik toz püskürtme sistemlerinde bazı geometrilerde boya tozunun düzenli birikimini engelleyebilecek elektrik alanları oluşmaktadır [15].

2.2 Boya Bileşenleri

Boya endüstrisinde kullanılan değişik boyaların bileşimleri farklı olmakla beraber genel olarak boya yapımında kullanılan kimyasallar; bağlayıcılar, pigmentler ve dolgu maddeleri, çözücüler ve katkı maddeleri olarak sınıflandırılmaktadırlar [17].

2.2.1 Bağlayıcılar

Bütün boyalar uygulandıkları yüzey üzerinde sürekli, sağlam ve yapışan bir film oluştururlar. Bundan dolayı tümünün formülünde bir film yapıcı yer alır. Film yapıcılar, bağlayıcılar olarak da adlandırılırlar ve boyanın ana malzemesi olup, tipine göre boyaya ismini verirler. Film yapıcılar ya da bağlayıcılar, boyaların tümünün omurgasını oluşturur, reaksiyon sonucu sıvı halden katı hale dönüşerek pigment parçalarını düzgün boya filmi oluşturmak üzere bağlar ve bunun yanında boyanın yüzeye yapışmasını sağlar. Boyaya, uygulanacak yüzeye iyi yapışma, sertlik, sağlamlık, parlaklık, hava koşullarına ve kimyasallara direnç gibi özelliklerini verirler [18].

Bağlayıcı olarak genellikle önceden polimerleştirilmiş organik moleküller kullanılır. Bunlar ya çok büyük moleküllerdir, dolayısıyla içinde bulundukları çözücü ya da su buharlaştığında sert ve sağlam bir film halinde yüzeyde kalırlar; ya da yine daha önce polimerleştirilmiş olmakla birlikte görece olarak da küçük moleküllerdir. Dolayısıyla yüzeyde sert bir film oluşturacak kadar büyümeleri için, yüzeye uygulandıktan sonra da büyümeye devam etmeleri için kimyasal tepkimeye sokulurlar. Bir de polimerik olmayan bağlayıcılar grubu vardır. Bunlar ya monomer ya da oligomer yapıları bağlayıcılardır. Diğer

bileşenlerle karıştırılırlar ve daha çok UV ışımalarının etkisinde polimerleştirilirler. Böylelikle sert bir film yapacak molekül büyüklüğüne erişmeleri sağlanır [15].

2.2.2 Pigmentler

Doğadan saflaştırılarak veya sentetik yollarla elde edilen, bağlayıcı ve çözücüler içinde çözünmeyen toz yapıdaki katı taneciklerdir. Pigmentler boyaların renklendirilmesi ve pas önleme işlevini kazanması için kullanılan hammadde grubudur. Pigmentler, yapısal olarak boyalarda kullanılan çözücülerde çözünmezler. Buna karşılık boya çözücü ve bağlayıcılarının oluşturduğu sıvı ortam içerisinde kararlı bir şekilde yayılmış mikron boyutlu katı asıtlar şeklinde bulunurlar. Pigmentlerin çözücü-bağlayıcı ortamında kararlı asıtlar halinde homojen biçimde yayılması boya üretiminin en kritik adımını oluşturur.

Pigmentlerin renk özelliklerini, öncelikle pigment molekülünün kimyasal yapısında bulunan renk verici gruplar (kromofor gruplar) ve yardımcı renk grupları (oksokrom gruplar) belirler. Ayrıca aynı kimyasal moleküllerden oluşan bir pigmentin temel tanecik büyüklüğünün değişmesi de birçok pigment özelliğini etkiler.

Pigmentler gibi renk verme özelliğinde olan diğer bir hammadde grubu da boyarmaddelerdir. Boyarmaddelerin pigmentlerden ana farkları, boya çözücülerinde çözünmeleridir. Boyarmaddeler pigmentlerden daha az dış dayanıma ve daha düşük ısı kararlılığına sahiptirler [15].

2.2.3 Çözücüler

Boyanın uçucu kısmını oluşturan kimyasal maddelerdir. Boyanın üretimi ve tatbikatı sırasında (uygulama kolaylığı için), kullanılan boyanın özelliklerinde değişiklik yaratmadan incelten sıvılardır. Boyaların gerek üretimi esnasında gerekse uygulamaları aşamasında akışkanlıklarının ayarlanmasına ihtiyaç duyulur. Bu nedenle kaplama formülünde yer alan bağlayıcıları inceltebilecek özelliklere sahip sıvılar kullanılır.

Boyada kullanılan çözücülerin ilk görevi boyaya sürülebilir veya püskürtülebilir bir kıvam sağlamak ve boyanın uygulanmasından sonra uçup giderek boyanın yüzeye ince bir tabaka halinde yapışmasına olanak sağlamaktır. Ayrıca çözücüler boyayı oluşturan farklı organik bileşenlerin birbirleri içinde çözünmelerini, boyanın düzgün yüzey oluşturmalarını, kuruma zamanını ve yüzeye yapışma kuvvetini etkiler. Ayrıca boyada kuruma sonunda oluşan patlaklar, renk bozulmaları gibi sorunlar da çözücülerden kaynaklanabilir [19].

2.2.4 Kimyasal Katkılar

Katkı maddeleri; boyanın bazı özelliklerini iyileştirmek, istenmeyen olumsuz değişimleri önlemek veya hızını yavaşlatmak amacıyla kullanılır. Boyada maksimum % 3 oranında yer alırlar. Çok pahalı malzemelerdir. Boyada firmalar arasındaki teknolojik fark bu bileşenlerde saklıdır.

Katkı maddeleri, boyanın cinsine ve kullanılış amacına göre boya performansını geliştirmek için ilave edilir. Bu maddeler boyaya yayılma sağlayıcı, kurutucu, matlık, isteğe göre parlaklık gibi üstün özellikler kazandıran kimyasallardır.

Bu grupta yer alan maddeler şu şekilde sınıflandırılır:

- ✓ Matlaştırıcılar; SiO₂, aerosil vb.,
- ✓ Kurutucular (Skatifler); oktanat, naftanat, metal tuzları,
- ✓ Çökmeyi engelleyiciler,
- ✓ Ultraviyole emiciler,
- ✓ Optik beyazlaştırıcılar,
- ✓ Stabilizatörler,
- ✓ Biyositler,
- ✓ Muhtelif zehirler,
- ✓ Kalınlaştırıcılar,
- ✓ Fungusitler,
- ✓ Mantar zehirleri,
- ✓ Islatıcılar; yüzey aktif silikon bileşikler,
- ✓ Köpük kesiciler; yüzey aktif silikon bileşikler,

- ✓ Yüzey düzelticiler; yüzey aktif silikon bileşikler,
- ✓ Kaymaklanmayı önleyiciler; ketoksimler,
- ✓ Katalizörler [20].

2.2.5 Dolgu Maddeleri

Dolgular, içinde bulunduğu ortamda çözünmeyen taneciklerden oluşan, temel kullanılma amacı boya maliyetini düşürmek olan, bununla birlikte boyanın bazı teknik özelliklerinin de iyileşmesine neden olabilen katı malzemelerdir. Önemli bir bölümü doğal, sınırlı bir bölümü sentetik olarak elde edilen dolgular 1 mikrometre ile 100 mikrometre arasında değişen tanecik boyutlarındadırlar.

Dolgularla pigmentleri ayıran temel özellik renk ve örtücülük özellikleridir. Dolguların renksiz olmaları ve boya filmi içinde saydam davranmaları gerekir. Örtücülükleri pigmentlere oranla çok daha azdır ve fiyatları daha düşüktür. Bundan dolayı dolgular bir boya sisteminde gereksiz pigment kullanımını önler, boyanın özelliklerini etkiler, fiyat azaltıcı bir rol oynar.

Boya formülasyonu açısından dolgu olarak kullanılacak girdilerin özellikle renk, kırma indisi, tane iriliği, yoğunluk, yüzey alanı veya yağ absorpsiyonu, dispers edilebilirlik, diğer boya girdileriyle ve boyanın sonradan maruz kalacağı kimyasallarla tepkime yatkınlığı ve sertlik özellikleri önemlidir.

En yaygın kullanılan dolgular aşağıda verilmiştir:

- ✓ Barit (doğal baryum sülfat),
- ✓ Blanc Fixe (sentetik baryum sülfat),
- ✓ Doğal ve sentetik kalsit,
- ✓ Mika,
- ✓ Silika dolgular,
- ✓ Tebeşir tozu,
- ✓ Dolomit,

- ✓ Talk,
- ✓ Kaolin [15].

2.3 Boya Testleri

Boya testleri; üreticinin her defasında aynı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip boyayı üretebilmesi, tüketicinin ise kullanacağı boyanın fiziksel ve kimyasal özelliklerini bilmesi ve seçmesi amacıyla gereklidir. Bu testlerin bir kısmının yapılabilmesi için özel cihazlar ve uzun süre gerekebilir. Bunun için testlerin tamamı ürün onay raporlarında bulunmayabilir. Yüzey hazırlama şekli, Test paneli cinsi, boya (kat) kalınlıkları, panelin bulunduğu ve testin yapıldığı ortam koşulları, kuruma şartları en önemli etkenler olarak sayılabilir ve test sonucunu büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle tekrar edilebilir ve güvenilir sonuçlar almak amacıyla bu etkenlerin sabit olması gerekir. Ayrı merkezlerde yapılan test sonuçlarının karşılaştırılabilir olması için ASTM, DIN, ISO, TSE’de test koşullarıyla ilgili olarak çok açık tanımlar yapılmıştır.

Boya üzerinde yapılan testler üç grupta toplanır:

- ✓ Yaş boya testleri,
- ✓ Kuru boya filmi üzerinde yapılan testler,
- ✓ Performans testleri (direnç özellikleri) [21].

2.3.1 Yapışma

Boyanın uygulandığı yüzeyle bir arada tutulduğu durumdur. Yüzeylerin bir arada tutulmasını kimyasal ve/veya fiziksel kuvvetler sağlar. Boyalarda yapışmanın ölçülmesi için, yapışmayı sağlayan bütün güçlerin toplamının ölçülmesi esasına dayanan yöntemler kullanılır ve ölçüleri boya filmini kaldırmak için gerekli olan kuvvettir. Kuru boya filminin yüzeyden kalkması farklı şekillerde olduğundan, yapışmanın ölçülmesinde boyanın kaldırılması için farklı yöntemler uygulanır.

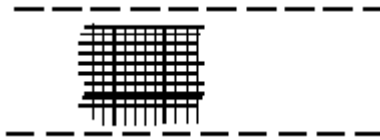
Yapışma testi (TS 4313, DIN 53151, ASTM 3359) iki şekilde yapılır:

a) Çapraz Çizgi Yöntemi: Boya filmi üzerinde 1.5-2 cm uzunluğunda 45° açılı iki çapraz çizgi çizilir. Çizgi üzerine yan kenarları 135°'lik açılarının karşısına gelecek şekilde güçlü bir yapışkan bant yapıştırılır. Bantla panel arasında kalan hava kabarcıkları parmakla ovularak giderilir. Yapışkan bandın bir ucu serbest bırakılarak bu ucundan tutulan bant ani bir hareketle yüzeye dik çekilir. Test için uygulanan yöntem Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Çapraz çizgi yöntemi ile tarama testi [21]

b) Tarama Yöntemi (Kareleleme): Genellikle kullanılan yöntem bu yöntemdir. Boya filmi üzerinde kuru film kalınlığı 60 mikrondan küçük ise 1 mm, 60-120 mikron ise 2 mm ve 120 mikrondan büyük ise 3 mm ara ile birbirini dik olarak kesen 7 yatay, 7 düşey çizgi çizilir. Böylece 1 cm²'lik alan 36 eşit parçaya bölünür. Yapışkan bant yukarıda tarif edildiği gibi uygulanarak değerlendirme yapılır. Test için uygulanan yöntem Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Tarama yöntemi ile yapışma testi [21]

2.3.2 Darbe Direnci

Darbe direnci (ASTM-D 2794, AWWA C 210/78) boya kuru filminin üzerine uygulanan ani kuvvetlere karşı gösterdiği dirençtir. Bu test, boyalar için yapılmış özel darbe cihazları ile yapılır.

Boya filminin üzerine sürüldüğü yüzeyle birlikte ani darbelere karşı direncinin ölçüldüğü bu testte ucu yarı küresel şekilde olan belirli bir ağırlık, yatay durumdaki boyalı panel üzerine dik olarak belirli bir mesafeden düşürülür. Bu işleme, boya filminde bir bozulma (çatlama, kabarma, pullanma gibi) meydana gelinceye kadar, her seferinde küresel ağırlığın yüksekliği biraz daha artırılarak devam edilir. Boya filminin herhangi bir bozulma göstermeden direnç gösterdiği en fazla yükseklik darbe direnci olarak alınır [21].

2.3.3 Tuzlu Su Sisi Testi

Bu test özellikle paslanmayı önleyecek boya sistemlerinin performansını ölçmek üzere geliştirilmiş bir testtir. Test ASTM B 117'ye göre yapılır ve ASTM D 714, ASTM D 610, ASTM D 1654'e göre raporlanır.

Özel olarak yapılmış bir kabini bulunan test cihazlarında, test plakalarına, % 5 derişimde sodyum klorür eriyiğı sis şeklinde püskürtölür. Kabin sıcaklığı 35⁰C'dir. Test panellerinin nem odası testinde tanımlandığı gibi kenar ve arkaları boya ile kaplanmalıdır. Köşegenler doğrultusunda panel X şekilde çizilmelidir. 48 saatte bir paneller kontrol edilir [21].

2.3.4 Kimyasal Maddelere Karşı Direnç

Boyaların kimyasal maddelere karşı direnci (TS 4314) genellikle çok basit ve kolaydır. Boyalar birçok kimyasal madde ile temastadır. Temas sürekli kimyasal maddenin kendisiyle veya kimyasal maddenin buharıyla olabilir. Zaman zaman sıçrama şeklinde de olabilir. Bu tür temas şekillerine göre boyalar temasta bulunacağı kimyasal maddelere direnci yönünden test edilmelidir. Ortam sıcaklığı 23±20⁰C'dir.

Kimyasallara karşı direnci ölçmek için üç genel yöntem vardır.

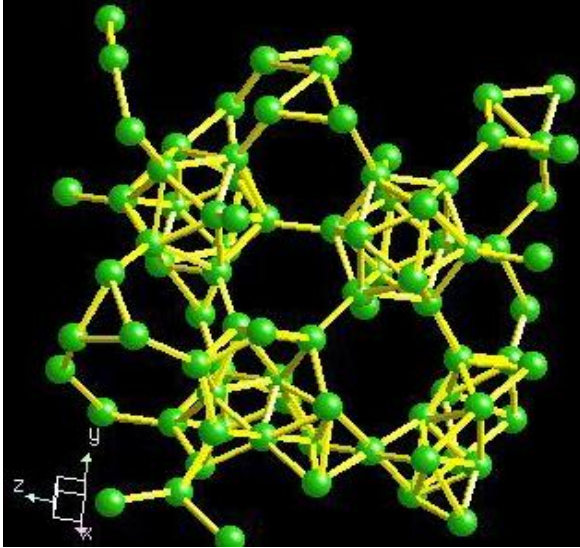
1. Daldırma yöntemi: Panellerin arkası ve yanları dayanıklı bir kaplama ile korunur. Boyalı panelin yarısı sıvı içinde kalacak ve aralarında 30 mm olacak şekilde daldırılır.
2. Damla yöntemi: Boyalı yüzeyin üzerine 0.1 ml hacimde, yeterli örnekleme yapacak sayıda, 20 mm aralıkta damlalar bırakılır. Belirlenen sürede panel hareket ettirilmeksizin, hava akımsız bir yerde bekletilir.

3. Emdirilmiş yüzeylerin teması metodu: 25 mm çapında 1.25 mm kalınlığında mukavvaya sıvı emdirilir. Aralıklarla yerleştirilen mukavvaların üştü saat camı ile örtölür [21].

KATKI MADDELERİ

3.1 Bor

Bor, kimyasal sembolü B, atom numarası 5, atom ağırlığı 10.811 olan metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir [22]. Bor mineralleri doğada nadir olarak bulunur ve neredeyse diğer tüm ametaller gibi element halinde bulunmamaktadır [23]. Boraks (tinkal) ve kernit en çok bulunan minerallerdir ve doğada yaklaşık 230 farklı bor mineralinin bulunduğu bilinmektedir [24]. Bor elementinin kristal yapısı ve fiziksel görünümü Şekil 3.1’de gösterilmektedir [25].



(a)



(b)

Şekil 3.1 Bor: (a) Kristal yapısı, (b) Görünümü [25]

Kristal bor, önemli ölçüde hafiftir, serttir, çizilmeye karşı mukavemetlidir ve ısıya karşı dayanıklıdır. Bor yüksek tutuşma sıcaklığı ile yanıcı özellik gösterir. Bu özelliğinin yanı sıra yanma sonrası çevreyi kirletecek emisyon çıkarmaması sebebiyle yakıt hücresi olarak da kullanılabilir.

Kimyasal olarak ametal yapıda bir element olan kristal bor, normal sıcaklıklarda su, hava ve hidroklorik/hidroflorik asit ortamlarında reaksiyon vermemekte ancak yüksek konsantrasyonlu nitrik asit ile sıcak ortamda borik asite değişim göstererek dönüşebilmektedir. Bor, yüksek sıcaklıklarda saf oksijen ile reaksiyona girerek bor oksit (B_2O_3) azot ile reaksiyona girerek bor nitrit, ayrıca bazı metaller ile magnezyum borit (Mg_3B_2) ve titanyum diborit (TiB_2) gibi endüstride kullanılan bileşikler oluşturabilmektedir [26].

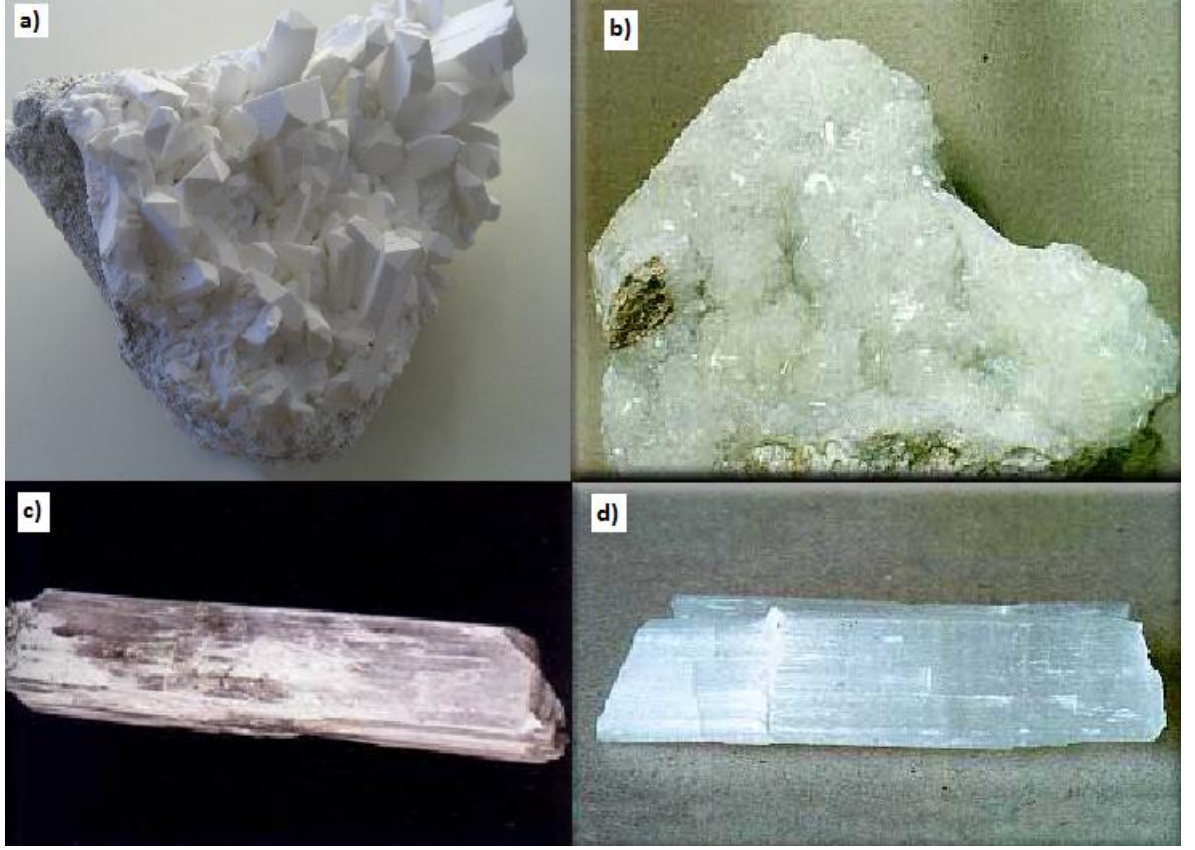
3.1.1 Bor Mineralleri

Doğada yaklaşık olarak 230 çeşit bor minerali mevcuttur fakat ekonomik açıdan önemli olanlar ise özellikle kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementleri ile hidrat bileşikleri halinde bulunan bor mineralleridir [27]. Bor mineralleri içeriğinde ne kadar fazla B_2O_3 bulundurursa değeri o kadar yüksek olmaktadır [28]. Çizelge 3.1’de ekonomik açıdan önemli olan bor mineralleri ve % B_2O_3 içerikleri verilmektedir [29].

Çizelge 3.1 Ekonomik açıdan önemli bor mineralleri [29]

Yapı	Mineral Adı	Kimyasal Formül	B ₂ O ₃ (%)	H ₂ O (%)
Sodyum borat	Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36.5	47.2
	Tinkalkonit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	48.8	30.9
	Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51.0	26.4
Kalsiyum borat	Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50.8	21.9
	İnyoit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .13H ₂ O	37.6	42.1
	Pandermit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .7H ₂ O	49.8	18.1
Sodyum-kalsiyum borat	Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43.0	35.6
	Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49.6	49.6
Magnezyum borat	Aşarit	Mg ₂ B ₂ O ₅ .5H ₂ O	41.4	10.7
Magnezyum-kalsiyum borat	Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50.5	26.1
Magnezyum-demir borat	Ludvigit	Mg ₂ FeBO ₅	17.8	-
Magnezyum klorür çifte tuzu	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62.2	-
Hidrojen borat	Sassolit	H ₃ BO ₃	56.4	43.6

Ticari olarak önemli bor minerallerinden bazıları Şekil 3.2’de verilmiştir [25].



Şekil 3.2 Farklı bor minerallerinin görünümü: (a) Boraks, (b) Kolemanit, (c) Kernit,

(d) Üleksit [25]

3.1.2 Bor Mineralinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Borun farklı metal ve ametal elementleri ile yaptığı bileşiklerin farklı özellikler göstermesi sebebiyle endüstride birçok kullanım alanı bulmuştur. Bor bileşik yapısında metal dışı bileşikler gibi davranırken, saf bor halinde ise karbon gibi elektrik iletkenliği gösterir. Kristal bor optik özellik ve görünüm açısından elmasa benzemektedir [30].

Borun fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’de, atomik yapısı Çizelge 3.3’te, kimyasal özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir [31].

Çizelge 3.2 Borun fiziksel özellikleri [31]

Atomik Kütlesi	10.811	
Kaynama Noktası	4275 K - 4002°C - 7236°F	
Termal Genleşme Katsayısı	0.0000083 cm/°C (0°C)	
Kondüktivite	0.274 W/cm.K	
Yoğunluk	2.34 g/cm ³ (300 K)	
Görünüş	Sarı-Kahverengi ametal kristal	
Atomizasyon Entalpisi	573.2 kJ/mol (25°C)	
Füzyon Entalpisi	22.18 kJ/mol	
Buharlaştırma Entalpisi	480 kJ/mol	
Sertlik	Mohs: 9.3	Vickers: 49000 MN m ⁻²
Buharlaştırma Isısı	489.7 kJ/mol	
Ergime Noktası	2573 K - 2300°C - 4172°F	
Molar Hacmi	4.68 cm ³ /mol	
Fiziksel Durumu	Katı (20°C ve 1 atm)	
Spesifik Isısı	1.02 J/g.K	
Buhar Basıncı	0.348 Pa (2300°C)	

Çizelge 3.3 Borun atomik yapısı [31]

Atomik Çapı	1.17 Å
Atomik Hacmi	4.6 cm ³ /mol
Kristal Yapısı	Rhombohedral
Elektron Konfigürasyonu	1s ² 2s ² p ¹
İyonik Çapı	0.23 Å
Elektron Sayısı (Yüksüz)	5
Nötron Sayısı	6
Proton sayısı	5
Valans Elektronları	2s ² p ¹

Çizelge 3.4 Borun kimyasal özellikleri [31]

Elektrokimyasal Eşdeğer	0.1344 g/amp-hr		
Elektronegativite (Pauling)	2.04		
Füzyon Isısı	50.2 kJ/mol		
İyonizasyon potansiyeli	Birinci: 8.298	İkinci: 25.154	Üçüncü: 37.93
Valans Elektron Potansiyeli (-eV)	190		

3.1.3 Bor Kullanım Alanları

Çok çeşitli sektörlerde kullanılan bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları giderek artmaktadır. Üretilen bor minerallerinin yaklaşık % 10'u konsantre bor olarak doğrudan tüketilirken geriye kalan kısmı bor ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır.

Bor ürünleri başlıca; tarım, cam sanayi, kimya ve deterjan sektörü, seramik, , elektronik ve iletişim sektörü, uzay ve hava araçları, nükleer uygulamalar, askeri araçlar, yakıtlar ve polimerik malzemeler, nanoteknolojiler, otomotiv ve enerji sektörü, metalurji ve inşaat gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [32], [33].

3.1.3.1 Cam ve Cam Elyafı Sanayi

Bor bileşikleri cam sanayinde, hammaddenin ergime noktasını, ergimiş ortamın viskozitesini, camın termal genişleme katsayısını düşürmesi ayrıca camın kırılma indisini ve saydamlığını/parlaklığını artırması özellikleri sebebiyle kullanılmaktadır. Bor, pencere camı, şişe camı vb. üretiminde ender hallerde kullanılmasına rağmen özel camlarda borik asit kullanımı oldukça fazla olup, rafine sulu/susuz boraks, borik asit veya kolemanit/boraks gibi doğal haliyle kullanılmaktadır.

Her türlü yalıtmadan bilişim sektörüne kadar birçok alan ve birçok farklı amaç için kullanılan cam elyafının (fiberglas) temel hammaddelerinden birini bor oluşturmaktadır. Nem direnci, kristalleşme eğiliminin düşüşü ve lif dayanıklılığının artması gibi yararları sebebiyle cam elyafına bor katılmaktadır [34].

Ticari öneme sahip bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanım alanları detaylı olarak Çizelge 3.5'te verilmiştir [26].

Çizelge 3.5 Ticari öneme sahip bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanım alanları [26]

Kullanım Alanı		Mineral/Bileşik
Cam Sanayii	İzolasyon cam elyafı	Tinkal cevheri, üleksit, boraks, tinkalkonit, susuz boraks, borik asit
	Tekstil cam elyafı	Kolemanit
	Borosilikat camları	Tinkal cevheri, üleksit, probertit, kolemanit, tinkalkonit, susuz boraks
Temizleme ve Ağartma Sanayi	Sabun, deterjan	Sodyum perboratlar
	Kağıt hamuru	Sodyum borhidrür
Zirai Uygulamalar	Gübre	Boraks, tinkalkonit, susuz boraks, borik asit, kolemanit
	Böcek öldürücüler	Boraks, tinkalkonit, borik asit, disodyumoktoborat, glikol boratlar
Alev Geciktiriciler	Selülozik yalıtım malzemeleri	Boraks, tinkalkonit, susuz boraks, borik asit
	Plastik malzemeler	Çinko boratlar, baryum metaborat, sodyum pentaborat
Metalurjik Uygulamalar	Borürleme	Bor halojenürler
	Demir esaslı ve demir dışı borlu alaşımlar	Susuz boraks, bor oksit, boratlar

3.1.3.2 Seramik ve Emaye Sanayi

Bor bileşikleri, seramiklerin sırlanmasında ve emaye sanayinde, sırn kıvamlılığını ve gerilimini düşürmesi, parlaklığını ve saydamlığını arttırılması nedeniyle kullanılmaktadır [26].

3.1.3.3 Sabun ve Deterjan Sanayi

Sabun ve deterjanlara mikrop öldürücü, su yumuşatıcı ve beyazlatıcı etkisi arttırmak amacıyla belirli miktarlarda boraks ve sodyum perborat katılmaktadır. Çamaşır yıkamada kullanılan deterjanlara katılan sodyum perborat ($\text{NaBO}_2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcıdır. Sodyum perboratın bu özelliği sayesinde kumaş çok az yıpranıp renkleri solmamakta ve düşük sıcaklıklarda da etkin sonuç vermektedir. Ayrıca makinalarda çeliğin aşınmasını ve matlaşmasını azaltması yönüyle olumlu etkileri vardır [26].

3.1.3.4 Tekstil Sanayi

Tekstil sanayinde, nişastalı yapıştırıcıların viskozitelerinin istenilen değerlere getirilmesinde, kazeinli yapıştırıcıların çözücülerinde, proteinlerin ayrıştırılmasında yardımcı madde olarak kullanılmaktadır. Ayrıca boraks, boru ve tel çekmede akıcılığı sağlayıcı madde, dericilikte kireç çöktürücü madde olarak da kullanılmaktadır.

Yanmayı geciktirici özelliğinden yararlanmak amacıyla, cam elyafı halinde, tekstil üretiminde kullanılmaktadır. Buna ek olarak, koruyucu özelliğinden dolayı kumaş boyalarında ve apre işleminde kullanılmaktadır [26].

3.1.3.5 Metalurji Sanayi

Boratlar metalürji sanayiinde birçok amaç için kullanılmaktadır. Ergime sıcaklığını düşürülmesi, cürufun akışkanlığını arttırılması, çeliğin sertleştirilmesi, fırın tuğlalarının aşınmasının azaltılması gibi işlemlerde boratlar metalurji sanayindeki ana

hammaddelerden birisini oluşturmaktadır. Boratlar yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz, bir sıvı oluşturma özellikleri sebebiyle demir dışı metal sanayiinde koruyucu bir cüruf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır. Metalurjide bor türevlerinin kendisinin ya da çelik ile oluşturdıkları alaşımlarının yüksek sertliği sebebiyle aşındırıcı ve kesici aletlerde kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak kaplama sanayinde kullanılan elektrolitlerin oluşturulmasında ve lehimleme işlemlerinde de bor bileşikleri kullanılmaktadır [26].

3.1.3.6 Tarım Sanayi

Bor mineralleri bitki örtüsünün gelişmesini artırmak veya bozulmaları önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bor, farklı miktarlarda olacak şekilde birçok bitkinin temel besin maddesidir. Yumru köklü bitkiler (şeker pancarı vb.) kaba yoncalar, meyve ağaçları, üzüm, zeytin, kahve, tütün ve pamuk bor eksikliği görülen bitkilerdendir. Bu gibi hallerde susuz boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) ve tinkalkonit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) içeren karışık bir gübre kullanılmaktadır. Bu da, suda çok eriyebilen sodyum pentaborat ($\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) veya disodyum okta boratın ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}$) tarım ürününün üzerine püskürtülmesi ile uygulanmaktadır. Bor, sodyum klorat ve bromosol gibi bileşiklerle birlikte otların temizlenmesi veya toprağın sterilizasyonunun gerektiği koşullarda da kullanılmaktadır [26].

3.1.3.7 Nükleer Sanayi

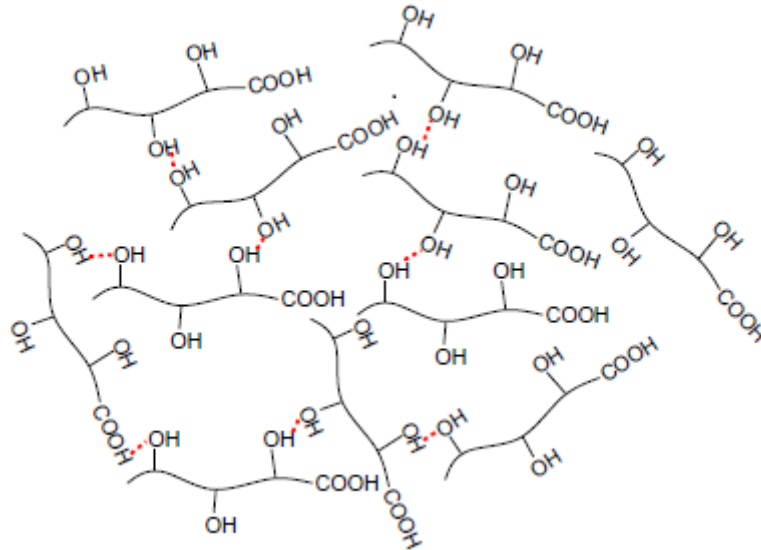
Bor mineral ve bileşikleri B_{10} ve B_{11} izotoplarını içerirler. B_{10} 'un nötron emme gücü çok yüksektir. Bor izotopları nükleer reaksiyon sırasında denetim kurulmasına imkân vermesine ek olarak, dimetil eter, elementer bor, zenginleştirilmiş borik oksit, borik asit veya ferroboron haline dönüştürüldüğünde nükleer reaktörün kontrol çubuklarının yapımında da kullanılmaktadır. Bu çubuklar % 2 bor içeren çelik/alüminyum alaşımlarıdır. B_{10} nükleer reaktörlerde koruyucu kabuk yapımında kullanılmaktadır [26].

3.1.3.8 Enerji Depolama

Günümüzde farklı hidrojen taşıma yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden biri olan sodyum borhidrür ile taşıma, günümüzde önem kazanan yöntemlerden bir tanesidir. Sodyum borhidrür çözeltisinden katalitik olarak elde edilen hidrojen gazı yakıt pilinde kullanılarak enerjiye dönüştürülebilir [26].

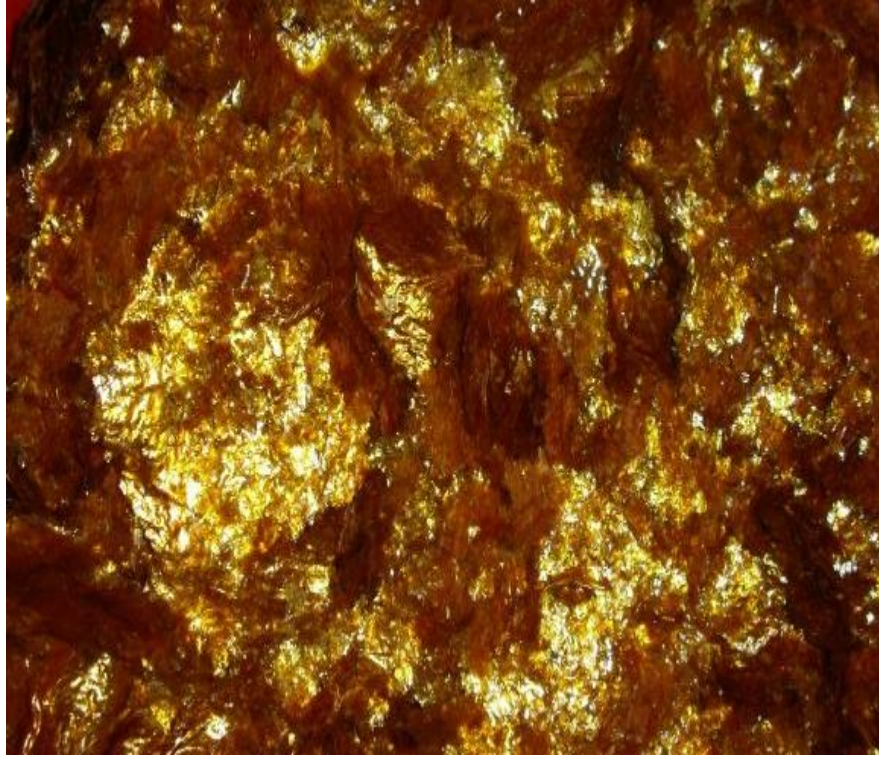
3.2 Gomalak

Gomalak, Lacciferlacca böceğinin salgısı ile oluşan özel doğal bir polimerdir. Bu böcek çoğunlukla Hindistan ve Tayland gibi sıcak bölgelerde ağaçlardan toplanmaktadır [35]. Gomalak hidroksil ve karboksil grupları içeren tekli ve çoklu esterlerin sert ve yumuşak reçinelerinden oluşmaktadır [36]. Şekil 3.3'te gomalağın doğal yapısı gösterilmektedir. Genel olarak alkolde ve alkali çözeltilerde yüksek çözünürlük özelliği ve üstün film oluşturma ajanı, güçlü koruma bariyeri özellikleri ile katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [37]. Düşük su geçirgenliği, düşük asit geçirgenliği, parlaklık ve doğal kaynaklı olması gibi özellikleri sayesinde; tarım, gıda üretimi, ilaç sektörlerinde kullanılmaktadır [38], [39].



Şekil 3.3 Doğal gomalak [37]

Gomalak, alkolde çözdürölüp yüzeylere uygulanmadan önce pul yapısında görünmektedir. Fiziksel görüntüsü ise Şekil 3.4’te gösterilmektedir.

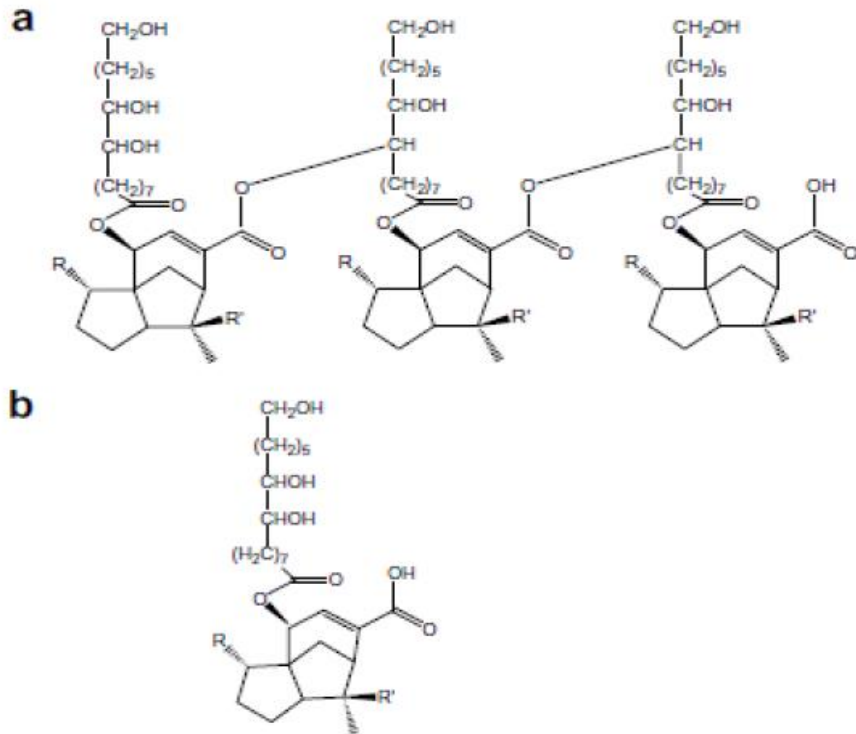


Şekil 3.4 Gomalağın fiziksel görünümü [37]

Artan çevre ve sağlık şartları ile ilgili endişeler ve uçucu organik bileşiklerin kaplamada kullanımının yasaklanması, çevre dostu bir kaplama maddesi geliştirmeyi acil ve gerekli kılmıştır. Epoksi, poliüretan gibi birçok geleneksel kaplama maddeleri, yapılarak insanlara ve çevreye zararları mümkün olduğu kadar azaltılmıştır. Yine de, sentetik polimerlerin birçoğu, biyo-bozunur olmadığı için çevresel kirliliğe yol açmakta ve ciddi ekolojik problemlere sebep olmaktadır. Bu yüzden, çevre ile uyumlu, biyo-bozunur paketleme ve koruyucu kaplama malzemesi arayışları artmaktadır [40]. Hindistan, Tayland ve Çin gibi ülkelerden elde edilen gomalak, doğal bir polimer olarak; yapıştırıcılarda, termoplastiklerde, yalıtım ve kaplama malzemelerinde, gıda ve ilaç endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptir [39]. Ancak, düşük stabilite ve mekanik kırılabilirlik özellikleri kullanım alanlarını kısıtlayan etmenlerdir [41].

3.2.1 Gomalağın Özellikleri

Gomalak genellikle düşük mekanik dayanım ve kırılabilirlik özelliklerine sahiptir. Doğal gomalak filminin delinme gerilmesi 1.0-2.0 MPa ve % uzama değeri yaklaşık % 1-3 aralığında olmak üzere diğer doğal polimerlere göre daha düşüktür. Mekaniksel özelliklerin artırılması konusunda, plastiklerle birleştirilmesi, tuz ve hidrolize gomalak formunun düzenlenmesi gibi birçok çalışmalar yapılmaktadır. Ancak, tüm bu çalışmalar gomalığın yalnızca esnekliğini geliştirmiştir, yüksek dayanım ile ilgili henüz sonuç alınamamıştır [37], [38], [39]. Poliester ve tekli ester yapısında bulunan gomalak, içerdiği karboksil grubu sayısına göre gomalak filminin fizikokimyasal özelliklerinde önemli etkiler görülmektedir. Bu, molekül başına toplam karboksil grubu olarak açıklanan asit değerini oluşturmaktadır [37]. Şekil 3.5'te gomalığın tekli ve çoklu ester yapıları görülmektedir. Polimerleşme, fonksiyonel grupların esterleşmesi ile meydana gelebilmektedir, bu gomalığın kararsız yapıda olmasına sebep olur.



Şekil 3.5 Gomalağın kimyasal yapısı: (a) Poliester, (b) Tekli ester [42]

3.2.2 Gomalağın Kullanım Alanları

Gomalak, gıda ve tarım ürünlerinde, su, gaz, lipid ve mikrobiyal bozunmalara karşı korumalarda ve raf ömrünü arttırma amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır [43], [44]. İlaç endüstrisinde; ilaçların neme karşı korunmasında, kontrollü ilaç salımında ve kaplanmasında kullanılmaktadır [37], [38], [39].

Gomalak Tayland'ın kuzeyinde geleneksel olarak pamuklar için boya ve özellikler ipek elbiselerde kullanılmaktadır. Özgün yapısı ile gomalak, soluk sarıdan, koyu turuncu-kırmızıya kadar birçok renk sağlamaktadır.

Gomalak; amonyak, sodyum borat, sodyum karbonat ve sodyum hidroksit gibi alkali çözeltelerde ve birçok organik çözücüde çözünmektedir. Bunlarda çözüldüğü zaman, gomalak dayanıklılık ve sertlik özellikleri kazanır ve mobilyalarda vernik olarak kullanılır. Hatta; boyalamalarda, cilalamalarda, mürekkep üretiminde ve sızdırmazlık mumu yapımında kullanılmaktadır [45].

3.3 Zeolit

Zeolit mineralleri, alkali ve toprak alkali metallerin kristal yapıya sahip sulu alüminyum silikatlarıdır. 1950 yılına kadar, çoğu zeolit oluşumlarının volkanik kayaçların, özelliklerin bazaltların, boşluklarında oluştuğu bilinmekteydi. Günümüzde ise zeolitlerin, düşük dereceli metamorfik ve üçüncü zaman tortul kayaçların önemli mineralleri olduğu anlaşılmıştır. Tortul kayaçlar içerisindeki zeolitler çok ince kristalli oldukları zaman, tortul kayaçları diğer minarelerden ayırt edilmedikleri için kayaç görünümünde önemli bir değişiklik oluşturmazlar. Bu nedenle zeolitçe zengin kayaç görünümleri ile tanımlanamazlar. Ancak son yıllarda X-ışınları difraksiyonu ile tortul kayaçları oluşturan ince kristalli minerallerin tanımlanması kolaylaştığı için sayısız zeolit yataklarının bulunması mümkün olmuştur [46].

Zeolitler, değişik ortamlarda, diğer bütün silikat mineralleri gibi değişik ortam şartları altında tortul kayaçları oluşturabilirler. Tortul zeolit kayaçlarını oluşturan başlıca zeolit mineralleri; analsim, şabazit, klinoptilolit, eriyonit, hölandit, mordenit ve flipsittir. Bu

minerallerden tortul kayaçlar içinde en fazla bulunanlar analsim ve klinoptilolittir. Tortul kayaçlardaki zeolitlerin neredeyse tamamı, tortulların gömülmesinden sonra alimina silikatların gözenek suyu ile tepkimesi sonucu oluşurlar. Volkanik camların çoğu, zeolitlerin oluşmasına en uygun olan alümina silikatlardır. Bunun dışında kilmineralleri feldspatlar, feldspatlar ve Al-Si jelleri uygun ortam şartlarında zeolitlere dönüşebilirler. Doğal zeolit yataklarının oluşumu (izelge 3.6), ortamlarına göre altı grupta toplanmıştır [47]. Bunlar;

- ✓ Kapalı (suyu tuzlu) gllerde volkanik malzemenin birikip gl suyu ilereaksiyonu ile oluşan yataklar,
- ✓ Açık (tatlı veya tuzlu) gllerde volkanik malzemenin birikip gl suyu ile kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan yataklar,
- ✓ Düşük ısılı gömülme metamorfizması sonucunda, Al-Si’lu sedimanter veya volkanik malzemelerden oluşan zeolit yatakları,
- ✓ Hidrotermal veya sıcak kaynak sularının Al-Si’lu malzemeye etkisi ile bu malzemenin bozulması sonucu oluşan zeolit yatakları,
- ✓ Derin deniz ortamlarında veya kıyıda biriken volkanik malzemenin deniz suyu ile reaksiyonu sonucu oluşan yataklar,
- ✓ çoğunlukla ikinci zaman tortuları arasında görülen ve orijinlerinin volkanik olup olmadığının belirlenemediği glssel ve denizel ortamlarda oluşan zeolit yatakları.

Çizelge 3.6 Doğal zeolitlerin oluşumları [48]

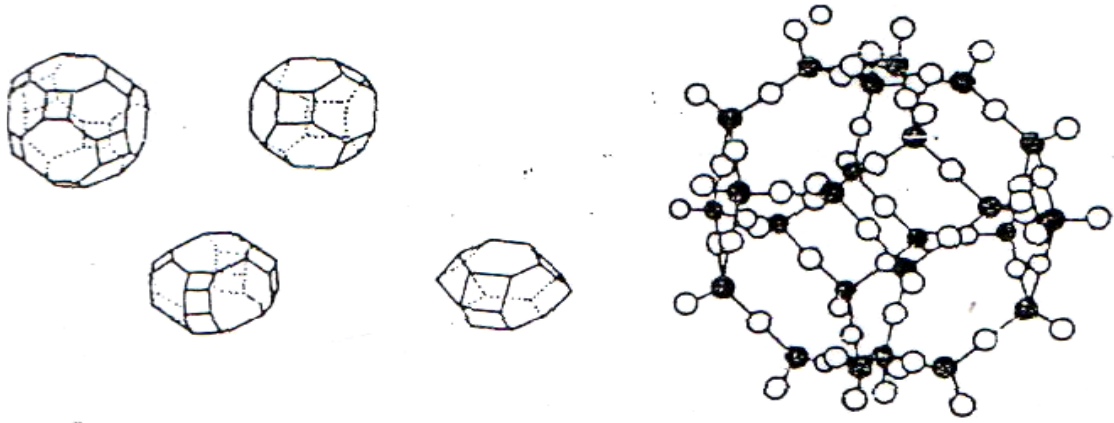
Oluşum Tipi	Sıcaklık (°C)	Cinsi
Derin deniz çökeltileri Bozunma	4-50	Flipsit, Klinoptilolit, Analsim Flipsit, Klinoptilolit, Şabazit, Erionit
Alkali ve tuzlu göller Süzülen yeraltı suları (bazik tefra) Süzülen yeraltı suları (asidik tefra)	20-50	Gismondin, Fojasit, Gonardit, Natrolit Hölandit Filipsit, Şabazit, Eriyonit, Mordenit
Sığ gömülme diyajenizi (Düşük ısıli hidrotermal)	25-100	Skolesit, Hölandit, Stilbit
Deniz gömülme diyajenizi (Orta ısıli hidrotermal)	100	Lamondit, Analsim
Düşük metamorfizma Birincilmağmatik	200	Warakit, Yugovaralit, Analsim Analsim

3.3.1 Kristal Yapısı

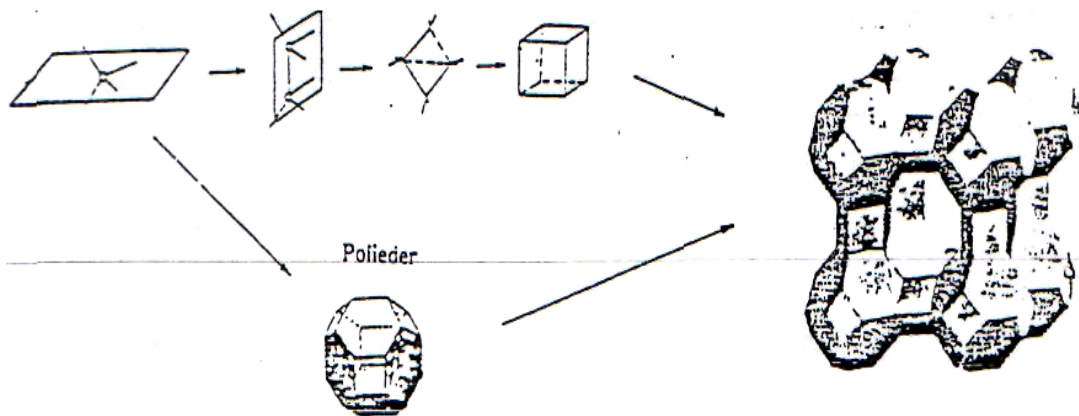
Zeolitler, kuvars ve feldispatlar gibi kristalini oluşturan en küçük yapı birimi SiO_4 ve AlO_4 dörtyüzlülerinin üç boyutta sonsuz bağlanmaları ile oluşmaktadırlar. Temelsilikat yapısına sahiptirler. Bu dörtyüzlü yapının merkezinde ise oksijenden çok daha küçükolan silisyum ve alüminyum iyonu ve köşelerde oksijen iyonları bulunmaktadır. Si ve Al dört yüzlülerinin oluşturduğu birincil yapı üniteleri kristal yapısının temel ögesi olmaktadır. Bunların kendi aralarında birleşmesi ile tek ve çift halkalı ikincil yapı üniteleri ve yüksek simetrlili dörtyüzlü meydana gelmektedir. (Şekil 3.6). Bu dörtyüzlü ikincil yapı ünitelerinin

üç boyutta farklı geometrilerde dizilmesi ile de mikro gözeneklere sahip zeolit iskeleti meydana gelir (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8). Poliederler ve bunları birbirine bağlayan ikincil yapı üniteleri arasında yer alan bu mikro gözenekler, mikro pencereler ile birleşip bir, iki veya üç boyutlu boşluk sistemleri veya kanalları oluştururlar. Bu sebeple zeolit minerallerinin yoğunluğu oldukça düşüktür. Bu boşluk kanallarının oluşturduğu boşluk miktarı, toplam hacminin % 20'si ile % 50'si arasındadır.

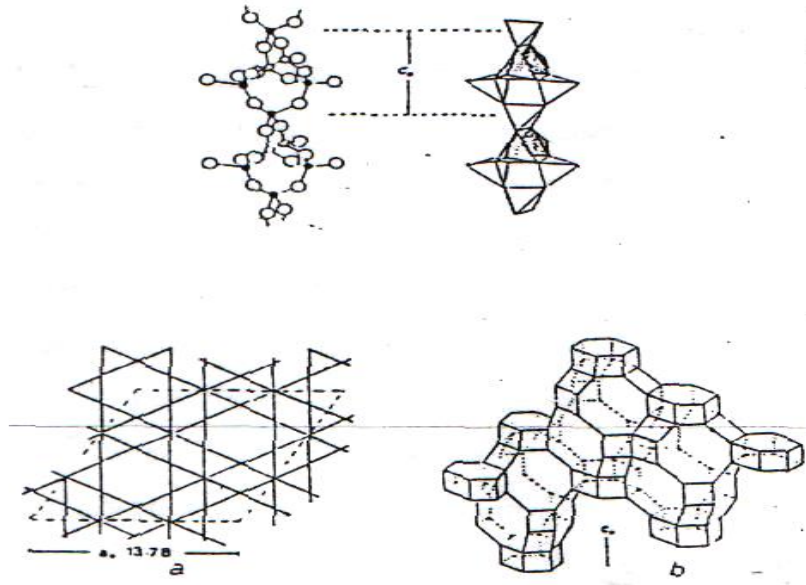
Çok yüzlüler ve ikincil yapı ünitelerinin farklılığı veya aynı yapı ünitelerinin üç boyutlu olarak farklı şekilde bağlanmaları, değişik kristal yapısına sahip zeolit türlerin çıkmasına sebep olmaktadır. Kristal yapısının bu şekilde değişmesi ise benzer kristal kimyasına sahip zeolit minerallerin fizikokimyasal özelliklerin değişmesine neden olur.



Şekil 3.6 Zeolit kristal yapılarında yapı üniteleri [48]



Şekil 3.7 Zeolit iskeletinin oluşumu [48]



Şekil 3.8 Zeolit kristal yapısını oluşturan dörtyüzlülerin zincir bağlanmaları [48]

3.3.2 Fiziksel Özellikleri

Doğada yaklaşık 40 çeşit zeolit minerali, büyük miktarlarda ve oldukça saf rezervler halinde bulunmaktadır. Bunlardan sodyum ve kalsiyumlu olanlar çok daha yaygındır. Doğal zeolitlerin sahip olduğu fiziksel özellikler Çizelge 3.7’de topluca verilmiştir.

Çizelge 3.7 Doğal zeolitin fiziksel özellikleri [49]

Yapı	İşinsal, iğnemsiz ve lifsiz
Görünüm	Tebeşir görünümünde, hafif yumuşak tabakalı
Gözenek Boyutları	4-8 Å
Gözenek Hacmi	% 15-50
Yoğunluk	2.0-2.4 g/cm ³
Renk	Sarımsı kahverengi, açık yeşil

Zeolitler, geniş uygulama alanları için spesifik kullanımı sağlayan, birtakım karakteristik özelliklere sahiptirler. Bu özellikleri sıralarsak;

- ✓ Yüksek hidratasyon enerjisi,
- ✓ Hidrate oldukları zaman sahip oldukları düşük yoğunluk ve boşluk hacmi,
- ✓ Katyon değişim özellikleri,
- ✓ Dehidrate olmuş kristaller içerisindeki düzgün moleküler boyutlu kanal sistemi,
- ✓ Elektriksel iletkenlik,
- ✓ Gaz ve su buharı adsorpsiyonu,
- ✓ Katalitik davranışları şeklinde özetlenebilir [50].

Zeolitlerin başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan; iyon değişikliği yapabilme açıkrenkli olma, hafiflik, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarını sağlayan özelliklerdendir [51]. Doğal zeoliti oluşturan bileşenler ve oranları Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Doğal zeolitin kimyasal bileşimi [51]

Kimyasal Bileşenler	Miktar (%)
SiO ₂	62.17
Al ₂ O ₃	9.76
Fe ₂ O ₃	2.02
CaO	1.43
MgO	0.75
SO ₃	0.07
KK	14.06
Na ₂ O	0.46
K ₂ O	3.72
Toplam	94.44

3.3.3 Dünya’da ve Türkiye’de Zeolit

3.3.3.1 Dünya’da Durum

Dünya zeolit toplam rezervlerini tam olarak tespit edilmiş rakamlarla vermek mümkün değildir. Dünyada zeolit oluşumları 1950’li yıllardan sonra tespit edilmeye başlanmış ve hemen hemen tüm kıtalarda yaygın olarak bulunduğu görülmüştür. Yeryüzünde, sedimanter kayalarda en fazla klinoptilolit oluşumları mevcut olmakla birlikte en az onun kadar ticari değeri olan mordenit, filipsit, şabazit, eriyonit ve analsim minerallerine de sıklıkla rastlanmaktadır. Zeolitlerin ekonomik kullanımı dünyada gün geçtikçe

artmaktadır. 1983 yılında 250 000 ton olan yıllık zeolit üretimi 1990 yılında 800 000 tona yükselmiştir. Bunun yanı sıra, Eski Rusya'nın da Çernobil Nükleer Reaktörü'nün yarattığı radyoaktif atıkların temizlenmesi için 1 000 000 tondan fazla zeolit tükettiği düşünülmektedir [52].

Zeolit minerali tüm kıtalarda yaygın olarak bulunmakla birlikte önemli miktarda çıkarılan ülkeler başlıca; Japonya, ABD, Güney Afrika, Macaristan, Bulgaristan ve İtalya ve Rusya'dır [53].

3.3.3.2 Türkiye'de Durum

Ülkemizde zeolit minerali olarak ilk defa 1971 yılında Gölpazarı-Göynük civarında analsim oluşumları saptanmıştır. Daha sonra Ankara'nın batısında analsim ve klinoptilolit yatakları bulunmuştur. Volkanik tortu oluşumlarının gözlenebildiği ülkemizde daha çok klinoptilolit ve analsim türleri çoğunlukta olup, diğer türlere çok az rastlanılmıştır [52].

3.3.3.3 Rezervler

Türkiye'de detaylı olarak rezerv etüdü yapılmış tek zeolit sahası Manisa-Gördes civarındaki M.T.A. ruhsatlı sahadır. Sahada 18 milyon ton görünür zeolit rezervi ve 20 milyon ton zeolitik tüf rezervi bulunmaktadır.

Balıkesir-Bigadiç bölgesinde ise, Türkiye'nin en önemli zeolit oluşumları tespit edilmiş olup kolaylıkla işletilebilir nitelikte toplam 500 milyon ton rezerv tahmin edilmektedir. Diğer bölgelerde detaylı bir çalışma yapılmamış ancak ülkemiz genelinde toplam rezervin 50 milyar ton dolaylarında bulunduğu tahmin edilmektedir.

Türkiye'de tespit edilmiş olan zeolit yatakları ve türleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Türkiye’de tespit edilmiş bulunan zeolit yatakları ve türleri [52]

Zeolit Yatakları	Türleri
Bahçecik, Gölpazarı, Göynük	Analsim
Polatlı, Mülk, Oğlakçı, Ayaş	Analsim
Nallıhan, Çayırhan, Beypazarı, Mihalıççık	Analsim
Kalecik, Çandır, Şabanözü, Hasayaz	Analsim
Balıkesir, Bigadiç	Klinoptilolit
Emet, Yukarı Yoncağağaç	Klinoptilolit
Kütahya-Şaphane	Klinoptilolit
Gediz-Hisarcık	Klinoptilolit
Manisa-Gördes	Klinoptilolit
İzmir-Urla	Klinoptilolit
Kapadokya Bölgesi (Tuzköy-Kayseri)	Klinoptilolit, Şabazit, Mordenit, Erionit
Konya	Eriyonit, Hölandit, Lömantit

3.3.4 Kullanım Alanları

Zeolitlerin endüstriyel alanlarda kullanabilirliği üzerine 1940’lı yıllarda çalışmalar yapılmasına rağmen, tali mineral olarak volkanik kayaçların boşluk ve çatlaklarında bulunduğu bilinmesi kullanımlarını sınırlamıştır. Ancak 1950’li yıllardan sonra denizel ve gölsel tüflerin de zeolit içerdiklerinin saptanması ile doğal zeolitler endüstriyel alanlarda daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Zeolitler; iyon değişim işlemlerinde

gösterdikleri yüksek seçicilik, asit ortam dayanımları, adsorpsiyon ve moleküler elek özellikleri, düşük kullanım maliyetleri silis içeriği açık renkli olma, hafiflik ve küçük kristalin gözenek yapısı gibi önemli özellikleri nedeniyle, günümüzde birçok endüstriyel proseste ana veya yan madde olarak kullanılmaktadır [52].

3.3.4.1 Tarımsal Uygulamalar

Zeolit, tarımsal uygulamalarda verim arttırmak için hazırlanan gübre, tarımsal alanlarda ki iyileştirme çalışmalarında, toprak kirliliği ve kontrol uygulamalarında, ormancılık sektöründe kurak ve fakir alanlarda fidan yetiştirilmesinde, sebze ve meyvelerin çürümesini engellemede, hububat ambarlarında nem ve haşere kontrolü sağlamak için ve sebze ve meyvelerin çimlenmesi işlemlerinde kullanılmaktadır [54].

3.3.4.2 Hayvancılık Uygulamaları

Besicilik ve hayvan yemlenmesinde, hayvansal atıklarda koku giderilmesinde, hayvan çiftliklerinde koşullarının geliştirilmesinde, balık çiftlikleri ve su kültüründe oksijen üretiminde zeolitten yararlanılmaktadır [54].

3.3.4.3 Uluslararası Ekolojik Dengenin Korunması

Ekolojik dengeyi en çok etkileyen unsur olan endüstriyel atıkların temizlenmesinde kullanımı amacıyla zeolit; çevresel kirliliğe neden olan sanayi fabrikalarının atıklarında, çevresel yalıtım, izolasyon sağlanmasında, petrol sızıntılarının temizlenmesinde, baca gazlarının temizlenmesinde, radyoaktif atıkların temizlenmesinde, çöp ve katı atık alanlarının çevresel zararlarını absorbe etmede kullanılmaktadır.

Endüstriyel atıkların temizlenmesindeki kullanımının yanı sıra, zeolit endüstriyel atık suların arıtılmasında da kullanılmaktadır. Atık suların arıtılması amacıyla zeolit; çöp alanlarındaki sızıntı suyunun adsorbe edilmesinde, atık sulardaki amonyakın filtre edilmesinde, , endüstriyel alanlarda bakır, kurşun, arsenik gibi alaşımların sertleşmesi,

boya, cam, tekstil, pigment uygulamalarında atık sulara karışan arseniğin absorbe edilmesinde kullanılmaktadır [54].

3.3.4.4 Enerji Alanındaki Uygulamalar

Zeolitin enerji alanında kullanımı oldukça fazladır. Elektrik enerjisi üretimi için kömür yakılması ile oluşan oksijensiz ortama ve patlayıcı gazlara engel olmak ortama oksijen sağlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca karbondioksit açığa çıkaran ortamlarda absorbe yeteneğiyle saflaştırma uygulamalarında, petrol ve gazların rafine edilmesinde, güneş enerjisi uygulamalarında, beyaz eşya üretiminde katalizör ve kurutma amaçlı kullanıldığında enerjiden % 25 tasarruf ve daha kaliteli kurutma sağlamak amacıyla kullanım bulmaktadır [54].

3.3.4.5 Madencilik ve Metalurji Uygulamaları

Madencilik sektöründe maden aramalarında ve yapılan işlemler sonrasında arıtma işlemlerinde kullanılmaktadır [54].

3.3.4.6 Sağlık Sektörü Uygulamaları

Sağlık uygulamalarında, diğer alanlarda olduğu gibi absorpsiyon işlemleri için kullanılmaktadır. Bu amaçla zeolit ülser ve ishalin tedavisinde, tendeki kesik, yaraların iyileştirilmesinde ve bakterilerin absorbe edilmesinde ameliyathanelerde kullanılmaktadır [54].

3.3.4.7 İnşaat Sektörü Uygulamaları

Zeolit, çimento ve beton üretiminde daha dayanıklı yapılaşma sağlamak için özellikle çimento katkı maddesi olarak kullanılır [54].

3.3.4.8 Deterjan Sektörü Uygulamaları

Deterjan üretiminde fosfat kullanımının çevreye verdiği zarar anlaşılarak, bu alanda zeolit kullanımı artmıştır [54].

3.3.4.9 Peyzaj Mimarisi ve Bahçe Düzenleme Uygulamaları

Tarım ilacı kullanım miktarını azaltması, toprağın geçirgenliğinin (su ve hava) artması, toprağın katyon değiştirme kabiliyetini arttırması, gübrenin daha uzun süre ortamda kalmasını dolayısıyla gübre kullanımını azaltarak çevre kirliliğini önlemesi bakımından zeolit bahçe düzenleme uygulamalarında kullanım görmektedir [54].

3.3.4.10 Karayollarında ve Ulaşımda Buzlanmayı Engelleme Çalışmaları

İyon değişimi ve absorpsiyon yeteneği sayesinde buzlanmayı kalıcı olarak engeller ve bu amaçla karayollarında kullanılmaktadır [54].

LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Wang ve arkadaşları, doğal bir ürün olan gomalak ile çevre dostu kaplama işlemi ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada alifatik diamini çapraz bağlama ajanı ve etanolü de çözücü olarak kullanarak gomalak hazırlamışlardır. 60 saatlik tuzlu su testi sonuçlarına göre; bakır, gomalak ile kaplanmış bakır, modifiye edilmiş gomalak ile kaplanmış bakır yüzeylerinin renk değişimleri göz önüne alındığında hazırlanan maddenin anti korozyon etkiyi arttırdığı görülmüştür. 0.5 M'lık NaCl çözeltisine 24 saatlik daldırma ile yapılan elektrokimyasal empedans spektroskopisi deneyi sonuçlarına göre, iyonik Cl⁻ ve su bakır elektroda ulaşmıştır ve gomalak bakıra karşı koruma etkisini kaybetmiştir. Modifiye edilmiş gomalakta ise, bağ yapısı ve gomalakta hidroforik alifatik grup sayesinde klor ve suyun hızı yavaşlamış ve bakırın yüzeyine ulaşması gecikmiştir [41].

Gemci R. ve Gülşen G., bor kimyasallarının alev geciktirici özellikleriyle ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada, % 100 polyester dokuma perdesine alev dayanım özelliği kazandırmayı amaçlamışlardır. Çalışmada kullanılan metod ise; polyester dokumaları HY boyama makinesinde emdirme yöntemiyle boyamıştır. Bu proseste, farklı konsantrasyonlarda bor kimyasalları (borik asit veya boraks dekahidrat) boyaya eklenmiştir. Son olarak, dikey yanma testi, ışık ve yıkama sabitliği testi yapılmıştır ve numunelerin renk ölçümleri spektrofotometre ile yapılmıştır. Aldıkları test sonuçlarına göre, maksimum alev geciktirici özellik, 30 g/L borik asit içeren numunede görülmüştür. Renk ölçüm sonuçlarına göre ise, renklerin standart ürünle en yakın olduğu numune 20

g/L borik asit içeren numune olmuştur. Işık ve yıkama sabitliği testlerinde ise numuneler arasında belirgin farklar gözlemlenmemiştir [55].

Calabrese ve arkadaşları, alüminyum üzerindeki anti korozif silan-zeolit kaplamasının yapışma özelliklerini incelemişlerdir. Kaplama sol-jel yöntemi ile elde edilmiştir. Zeolit içeriği kütlece % 60-90 aralığında olacak şekilde 4 farklı bileşim oluşturulmuştur. Temas açısı ölçüm cihazı kullanılarak kaplamaların hidrofobik davranışları incelenmiş ve sonuçlara göre yüksek hidrofobik özellik görülmüştür (125° ve 140°). Ayrıca yüksek yapışma özeli gözlenmiştir. En iyi sonuçlar zeolitinin düşük konsantrasyonlu olduğu numunede görülmüştür [56].

Mayuri ve arkadaşları, yumuşak çelik üzerine uyguladığı Zeolite ZSM-5 kaplamasının, asetik asit, formik asit, sitrik asit gibi organik asitlere karşı korozyon dirençleri incelenmiştir. Değişik konsantrasyonlarda yapılan deneylerde sıcaklık 60°C altında tutularak durgun ve karıştırma ortamlarında kütle kaybı yöntemleri uygulanmıştır. Zeolit kaplaması deneylerinde 6 saatlik asit kaplama etkileşimi ile korozyon önleme verimliliğinde % 98'e kadar ulaşılmıştır. 7 günlük deneylerde de benzer sonuçlar alınmıştır. Alınan sonuçlara göre, yumuşak çeliğin uğradığı korozyon formik asit > sitrik asit > asetik asit şeklinde sıralanmıştır. Aynı zamanda, beklenildiği gibi; korozyon dayanımı sıcaklık ve asit konsantrasyonu artışı ile azalmıştır. Zeolit kaplamalı yüzeylerde yapılan mikrobiyal test sonuçlarına göre ise, zeolit korozyon dayanımı yüksek kaplama özelliğinin yanı sıra, anti mikrobiyal özellikte göstermiştir [57].

Calabrese ve arkadaşları alüminyum üzerinde korozyon önleyici kaplama çalışması yapmışlardır. Bu kaplama, yüzey üzerinde amin modifiyeli hidrotermal sentez ile zeolit Y filmi büyümesinden oluşmuştur. Özellikle, trietanolamin (TEA) varlığında, değişik sentez süresi ve kuruma sıcaklıklarında kaplama performansı incelenmiştir. Morfolojik analiz sonuçlarına göre, film homojen yapıda olup 120 µm kalınlığa ulaşabilmektedir. Soyma testi, tüm numunelerin yüksek yapışma özellikte olduğunu göstermektedir. Son olarak, % 3.5 NaCl ve Ca(OH)₂ doygun çözeltilerinde yaptıkları elektrokimyasal test sonuçlarına göre bu tip kaplama güçlü bariyer özelliği göstermektedir. Düşük kuruma sıcaklığı, trietanolamini zeolit yapısının içerisine sıkıştırmış ve bu durum korozyon önleme davranışını olumlu yönde etkilemiştir [58].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Kullanılan Malzemeler ve Kimyasallar

- ✓ Doğal zeolit (Rota Madencilik)
- ✓ Su bazlı boya (Kayalar Kimya San. ve Tic. A.Ş., Düfa Boya)
- ✓ Çözücü bazlı boya (Kayalar Kimya San. ve Tic. A.Ş., Düfa Boya)
- ✓ Boraks dekahidrat (Eti Maden İşletmeleri)
- ✓ Boraks pentahidrat (Eti Maden İşletmeleri)
- ✓ Gomalak (Umut Gomalak, pul yapıda)
- ✓ Plaka (5x5 cm alüminyum-5x5 cm plastik)

5.2 Kullanılan Cihazlar

- ✓ Aplikatör (TQC-Bird Film Applicators 4- Sided)
- ✓ FT-IR (Bruker-Ogus, Alpha-P)
- ✓ DTA-TG (Perkin Elmer)
- ✓ Korozyon Cihazı (Q-Lab)
- ✓ Birincil kırıcı (Özel imalat)
- ✓ İkincil kırıcı (Özel imalat)
- ✓ Mekanik karıştırıcı (Pendraulık)
- ✓ Kül Fırını (Nüve)

5.3 Taguchi Methodu ve Boyaların Hazırlanması

5.3.1 Taguchi Metodu

Taguchi metodu, kısmi faktöriyel deney tasarımı yöntemine dayanan, sağlam tasarım ve ortogonal dizinler ile kaliteyi geliştirme prensibini temel alan deney tasarımına metodudur [59]. Taguchi dizaynı ve analiz sonuçları Minitab Release 13.20 Statistical Software ile belirlenmiştir. Klasik metotlarda bir parametre, diğer parametreler sabitken çeşitlendirilmiştir. Bu süreçte her işlem oldukça kapsamlı ve sayısının çokluğu nedeniyle zahmetlidir. Taguchi yaklaşımı kontrol faktörler ve bunların düzeyleri sayısına bağlı olarak uygun bir ortogonal dizi seçmek için bir fırsat sağlar. Bir kısmi faktöriyel yaklaşım kullanmanın yararı, deneylerin sayısının radikal azaltılmasıdır [60].

Bu çalışmada, Taguchi L-9 ortogonal dizi, üç parametre ve üç seviye için deney tasarımı yapılmıştır. 3 parametre 3 seviye için optimizasyon yöntemi kullanılmadığında 27 deney gerekir ama kısmi faktöriyel kullanılarak L-9 ortogonal dizindeki deney sayısı 9'a indirgenir. Deneylerin optimizasyon parametreleri seviyeleri % 0-6 aralığındadır. (Çizelge 5.1)

Çizelge 5.1 Parametreler ve deneylerin optimizasyon parametreleri seviyeleri

Parametreler		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
1	Gomalak	G1	G2	G3
2	Boraks dekahidrat	D1	D2	D3
	Boraks pentahidrat	P1	P2	P3
3	Zeolit	Z1	Z2	Z3

Su ve çözücü bazlı boyalar için toplam 27 numune hazırlanmıştır. Hazırlanmış 3 setin seviyeleri sırası ile Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.2 Çözücü bazlı boya için hazırlanan Taguchi L-9 ortogonal dizi (Boraks dekahidrat içerikli)

No	Boraks Dekahidrat	Zeolit	Gomalak
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Çizelge 5.3 Çözücü bazlı boya için hazırlanan Taguchi L-9 ortogonal dizi (Boraks pentahidrat içerikli)

No	Boraks Pentahidrat	Zeolit	Gomalak
10	*	*	*
11	1	2	2
12	1	3	3
13	2	1	2
14	2	2	3
15	2	3	1
16	3	1	3
17	3	2	1
18	3	3	2

*Taguchi L-9 ortogonal dizisinde 1. numune katkı maddesi olmayan referans çözücü bazlı boya olduğu için Çizelge 5.2'deki 10 numara ile kodlanan, yani o setin 1 numaralı numunesi, katkı maddesi olarak kütlece % 4 gomalak içermektedir.

Çizelge 5.4 Su bazlı boya için hazırlanan Taguchi L-9 ortogonal dizi

No	Boraks Pentahidrat	Zeolit
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

5.3.2 Boyaların Hazırlanması

Taguchi optimizasyon metoduna göre katkı maddesi oranları belirlenerek su ve çözücü bazlı boyalar hazırlanmıştır. Katkı maddeleri uygun boyut ve yapıya getirilerek, piyasadaki boyalara eklenmiştir.

Pul yapısında olan gomalak, manyetik karıştırıcı kullanılarak 96°C’de etil alkol çözeltisinde (% 9 w/w) çözülmüştür. Farklı boyutlarda bulunan; zeolit, boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat ise birincil ve ikincil kırıcılarda küçük boyutlara getirilip, bilyalı öğütücüde öğütülerek, boya içerisine ilave edilmeye hazır hale getirilmiştir. Birincil ve ikincil kırıcı Şekil 5.1’de; bilyeli öğütücü Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Birincil ve ikincil kırıcılar



Şekil 5.2 Bilyeli öğütücü

250 gram boyaya, Taguchi metoduna göre belirlenen katkı maddeleri eklenerek karışımlar hazırlanmıştır. Katkı maddesi miktarları boya içerisinde % 0-6 (w/w) aralığında değişmektedir. Homojen karışım elde edebilmek için, boyalar 1000 devir/dk'da 3 dakika boyunca karıştırılmıştır. Bu karıştırma işlemi Şekil 5.3'te, kullanılan mekanik karıştırıcı ise Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Karıştırma işlemi



Şekil 5.4 Mekanik karıştırıcı

Bu karıştırma işlemi sonucunda hazırlanan su ve çözücü bazlı boyalar, çekme kalınlığı 150 µm olacak şekilde alüminyum veya plastik levhalara çekilmiştir. Uygulamada kullanılan aplikatör Şekil 5.5'te ve otomatik film aplikatörü Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Aplikatör



Şekil 5.6 Otomatik film aplikatörü

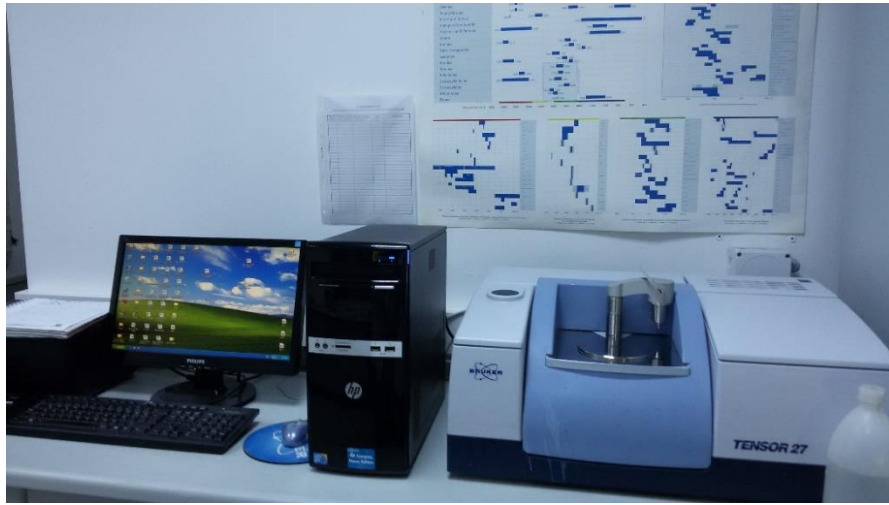
Yüzeyle uygulanmış boyaların kuruması için çözücü bazlı numuneler 72 saat, su bazlı numuneler ise 24 saat bekletilmiştir.

5.4 Karakterizasyon

Boyaların ve hammaddelerin karakterizasyonunu belirlemek için FT-IR ve TG/DTA analizleri yapılmıştır.

5.4.1 FT-IR Analizi

FT-IR, kimyasal bağların tayinini yapmaya yarayan analiz türüdür. Titreşim spektroskopisi olarak da bilinen FT-IR spektroskopisi, maddenin infrared ışınlarını absorplaması veya saçması üzerine kurulmuş olan bir spektroskopi dalıdır. Işınların dalga boylarıyla değil, dalga sayılarıyla belirlenir [61]. Moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak; katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel grupları, iki bileşiğin aynı olup olmadığını, yapıdaki bağların durumunu, bağlanma yerlerini ve yapının aromatik ya da alifatik olup olmadığını saptayabilen Bruker markalı Tensor 27 modeline sahip FT-IR cihazı (Şekil 5.7), kullanılan hammaddelerin ve hazırlanan boyaların yapılarının tespiti için kullanılmıştır.



Şekil 5.7 FT-IR cihazı

5.4.2 TG/DTA Analizi

Maddelerin yanma sıcaklığı ve ısıya karşı dayanımını belirlemek için kullanılan cihazlardan biri de TG/DTA cihazıdır [62].

Bu amaçla boyaların TG/DTA analizi yapılmıştır ve kullanılan Perkin Elmer TG/DTA cihazı Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Deney şartları olarak; O₂ atmosferinde, 10°C/dk ısıtma hızı ile 40-500°C sıcaklık aralığı seçilmiştir. Elde edilen eğrilerden boyaların bozunma sıcaklıklarının katkı maddelerine bağlı olarak değişip değişmediği kontrol edilmiştir.



Şekil 5.8 TG/DTA cihazı

5.5 Testler

27 farklı boyanın plakalara uygulanmasından sonra, her bir boyanmış plakaya, yapışma, hidrofobiklik, darbe ve korozyon testleri yapılmıştır. Hidrofobiklik, yapışma, tuz korozyonu ve darbe testleri için alüminyum levhalar kullanılırken, kütle kaybı korozyonu testi için eş boyuttaki plastik levhalar kullanılmıştır.

5.5.1 Yapışma Testi

Yapışma testinde, 5x5 cm’lik alüminyum levhalara su ve çözücü bazlı boyalar uygulanarak, kuru boya filmi üzerinde dikey ve yatay çizgiler çizilmiştir ve film üzerine yapışkan bant yapıştırılmıştır. Bantla panel arasında kalan hava kabarcıkları parmakla

ovularak giderilmiştir. Yapışkan bandın bir ucu serbest bırakılarak bu ucundan tutulan bant, ani bir hareketle yüzeye dik olarak çekilmiştir. Boyanın yüzeyde ya da bantta kalıp kalmadığı incelenmiştir.

5.5.2 Hidrofobiklik Testi

Hidrofobiklik testi, kuru boya filmi üzerine pipet yardımıyla 0.1 ml hacminde su damlası bırakılmış ve bir süre bekletilmiştir. Levhalar, yavaşça dik konuma getirilerek suyun boya filmi üzerinde akışı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda kuru boya film yüzeyinde; renk değişimi, kırışma, kalkma, yumuşama olup olmadığı gözlenmiştir.

5.5.3 Darbe Testi

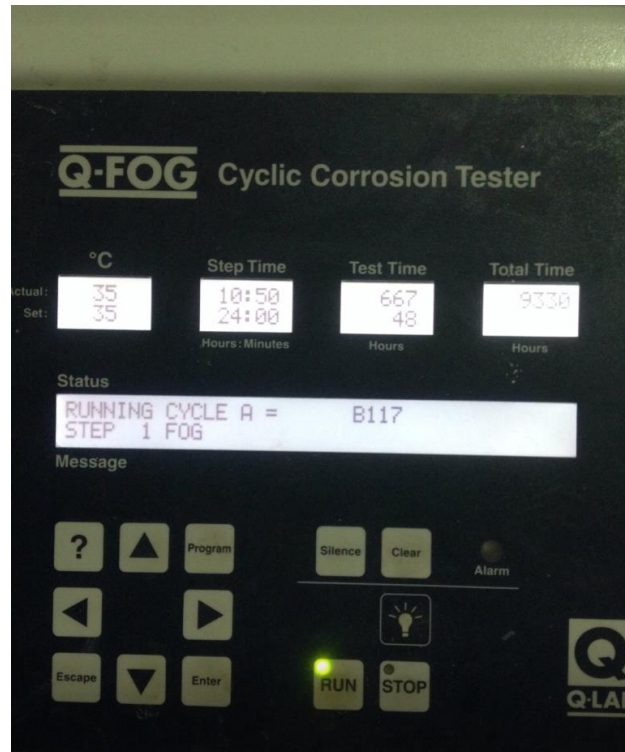
Darbeye direnç testi, kuru boya film üzerine demir bilye ile ani kuvvet uygulanarak boyaların darbeye karşı dirençli olup olmadığı kontrol edilmiştir.

5.5.4 Tuz Sisi Korozyon Testi

Tuz sisi korozyon testi paslanmayı önleyecek boya sistemlerinin performansını ölçmek üzere geliştirilmiş bir testtir. Bu test için kullanılan Q-Lab markalı korozyon test cihazı Şekil 5.9’da, analiz şartları ise Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Test panellerinin tek yüzü boya ile kaplanmıştır. Köşegenler doğrultusunda panel X şekilde çizilmiştir. Özel olarak yapılmış bir kabin bulunan test cihazlarında, test plakalarına % 5 derişimde sodyum klorür eriyiğı sis şeklinde püskürtülmüştür. Kabin sıcaklığı 35°C olarak ayarlanmıştır. Makinede ayarlanan programda paneller 4 saat buhar ortamında tutulup, daha sonra 15 dakika boyunca panellere tuzlu su püskürtülmüştür. Paneller 240 saatin sonunda makineden çıkartılmıştır.



Şekil 5.9 Korozyon test cihazı



Şekil 5.10 Korozyon testi analiz şartları

5.5.5 Kütle Kaybı Korozyonu

Boyaların asit ortamındaki dayanımlarını kontrol etmek için uygulanan test yöntemidir. Kütle kaybı korozyon testinde asitle metalin reaksiyona girmemesi için plastik levhalar kullanılmıştır. Asit konsantrasyonunun teste etkisini incelemek için her boya 3 ayrı plastik levhaya uygulanarak % 5, % 10 ve % 15'lik HCl ortamında 2 saat bekletilmiştir.

$$Korozyon\ Hızı(mm/y) = \frac{87.6 * W}{A * t * d} \quad (5.1)$$

Eşitliği kullanılarak korozyon hızı hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte W, mg birimi ile kütle kaybını, A cm² biriminde yüzey alanı, t saat olarak süreyi ve d ise g/cm³ birimi ile yoğunluğu vermektedir.

Korozyon engelleme verimliği hesabı için ise,

$$\% Verimlilik = \frac{w_b - w_i}{w_b} * 100 \quad (5.2)$$

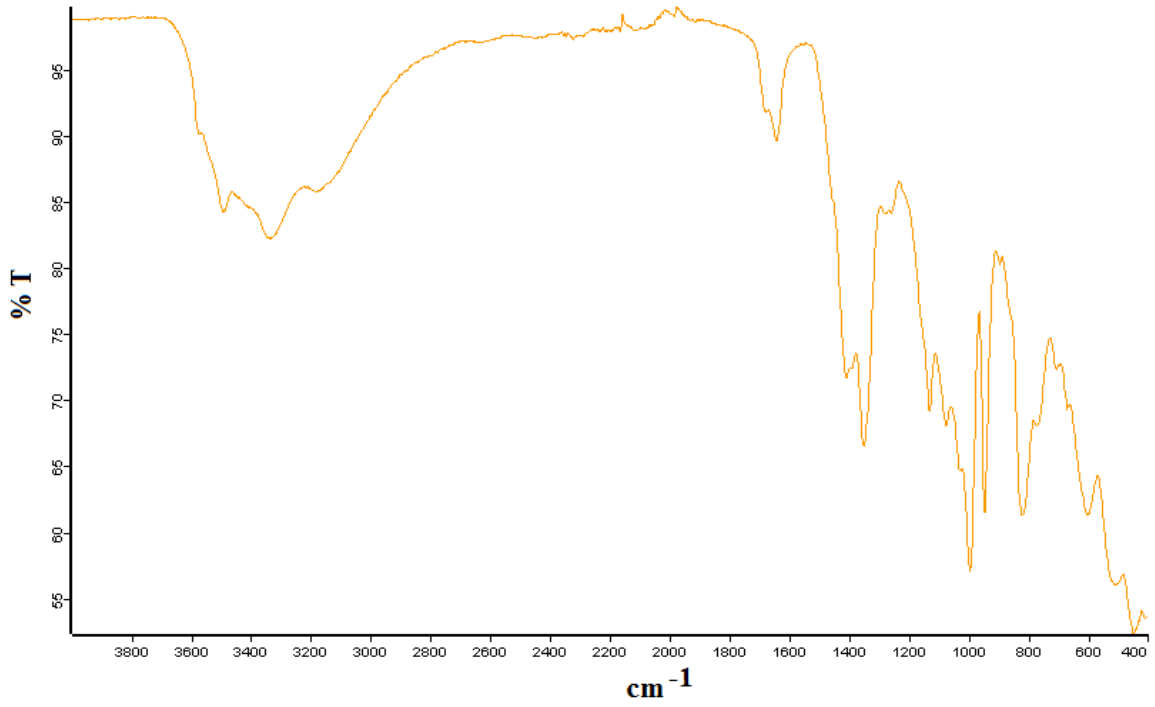
formülü kullanılmıştır. W_b katkı maddesi olmayan boyanın kütle kaybı, W_i katkı maddeli boyanın kütle kaybını temsil etmektedir [63].

DENEYSEL SONUÇLAR

6.1 FT-IR Sonuçları

6.1.1 Hammaddelerin FT-IR Sonuçları

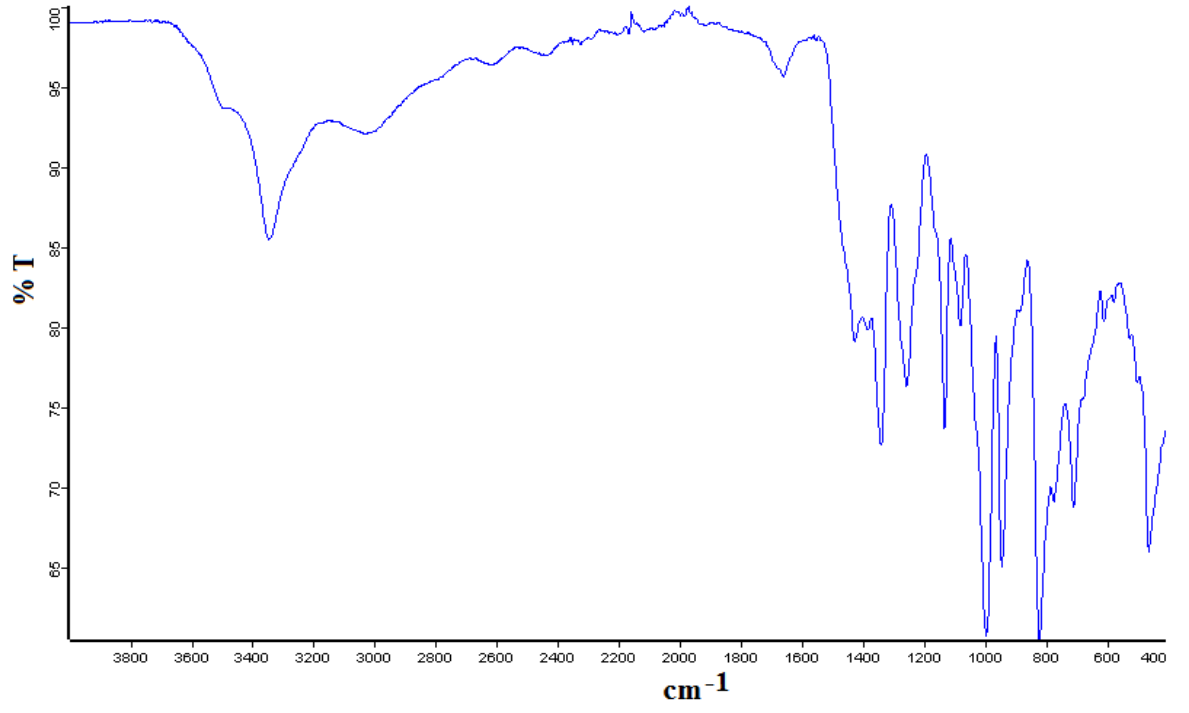
FT-IR, yapıdaki bağların tayini için yapılan analiz türüdür. Numune karakterizasyonu için kızıl ötesi ışın kullanılır. Her kimyasal bağın farklı kırınımından yararlanarak madde içindeki bağlar tayin edilmektedir [61]. Deneylerde kullanılan hammaddelerin FT-IR analizleri yapılmıştır, literatür çalışmalarından yararlanarak spektrumlar yorumlanmıştır. Hammaddeler için yapılan FT-IR analiz sonuçları boraks dekahidrat için Şekil 6.1’de, boraks pentahidrat için Şekil 6.2’de, zeolit için Şekil 6.3’te ve gomalak için Şekil 6.4’te verilmiştir.



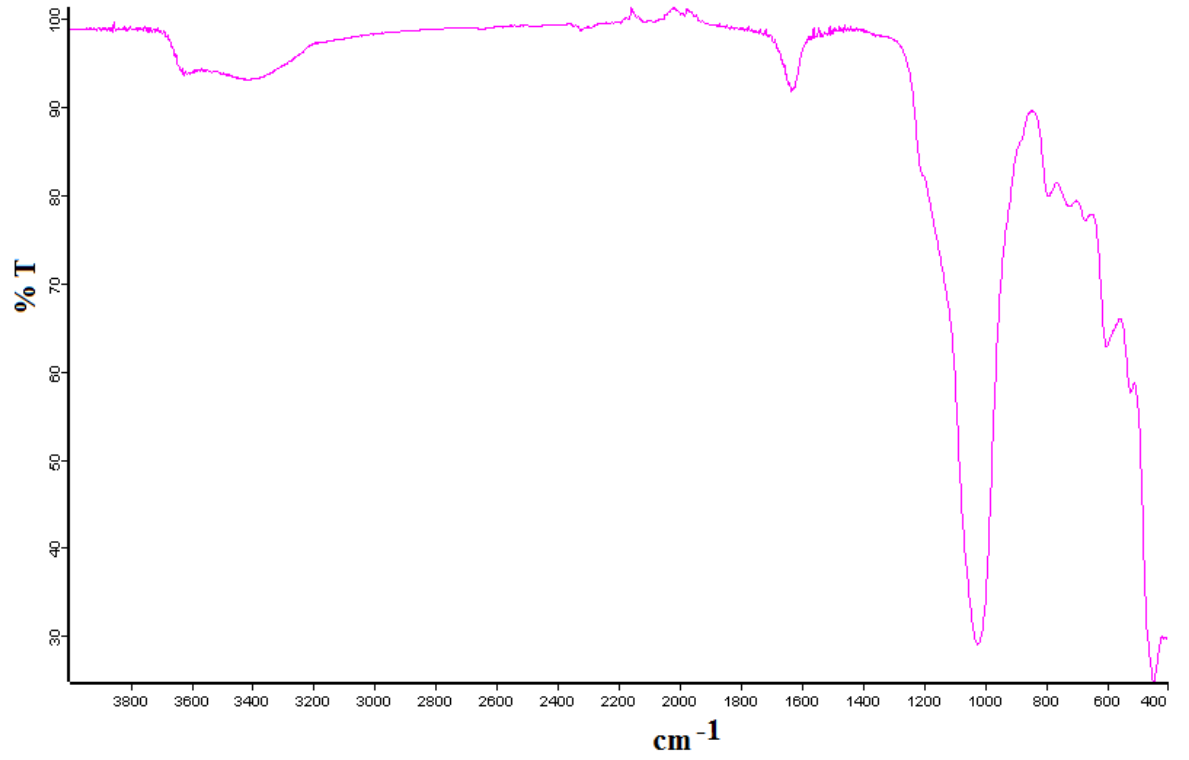
Şekil 6.1 Boraks dekahidrat için FT-IR spektrumu

Boraks dekahidratın FT-IR spektrumu Şekil 6.1’de görülmektedir. Spektrumda görülen pikler ile geçmiş çalışmalar karşılaştırıldığında $3600\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında O-H gerilmesi vardır [64]. 1630 cm^{-1} dalga boyu H-O-H bükülmesini ifade etmektedir bu da bileşiğin kristal su içerdiğini gösterir [65]. $1450\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$ dalga boylarındaki pik, B(3)-O’ün asimetrik gerilmesini ifade edebilmektedir [66]. 1090 ve 980 cm^{-1} dalga boyları arasında yer alan pik 4’lü B’un O ile asimetrik gerilmesine denk gelmektedir [67]. Son olarak, 870 cm^{-1} dalga boyundaki pik, B(4)-O’ ün simetrik gerilmesini ifade eder [65].

Şekil 6.2’deki boraks pentahidrat için elde edilen spektrum incelendiğinde 3349 cm^{-1} dalga boyunda O-H gerilmesi görülmektedir [64]. 2880 cm^{-1} dalga boyu, yine hidrojen bağı kaynaklı O-H gerilmesini göstermektedir [68]. Bileşiğin içinde su olduğunu gösteren H-O-H bükülmesi 1630 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir [65]. $1450\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$ B(3)-O’ün asimetrik gerilmesi ve 1100 ile 788 cm^{-1} dalga boyları sırasıyla B(4)-O’nun asimetrik ve simetrik gerilmesi olarak görülmektedir [66]. 560 cm^{-1} ise pentaborat anyonunun karakteristik simetrik titreme pikidir [68].

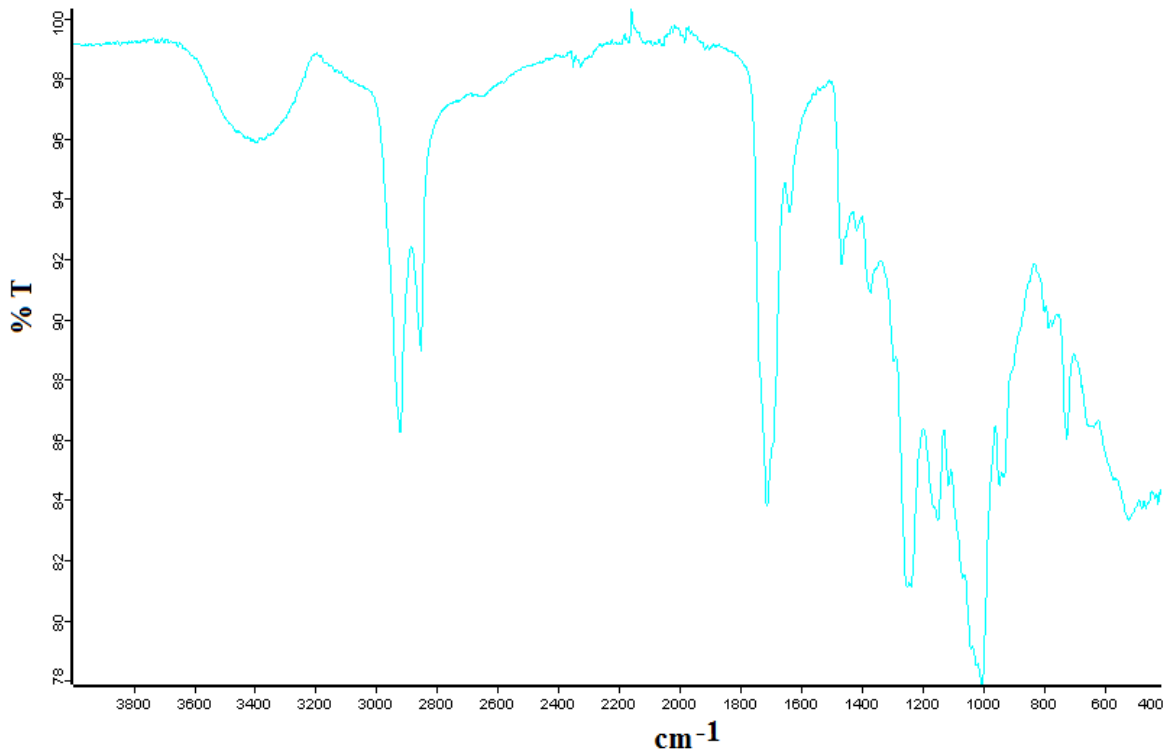


Şekil 6.2 Boraks pentahidrat için FT-IR spektrumu



Şekil 6.3 Zeolit için FT-IR spektrumu

Şekil 6.3'teki FT-IR sonuçlarına göre zeolit önemli ölçüde su içermektedir. 3500 ve 1640 cm^{-1} dalga boylarında su absorpsiyon bandı görülmektedir. 3445 cm^{-1} dalga boyunda merkezi bulunan bandın 1640 cm^{-1} dalga boyu kafes yapısındaki Ca ve Na'lu su moleküllerini ifade etmektedir [69]. Diğer bantlar yaklaşık 1070, 795 ve 470 dalga boylarında görülmektedir. 1070 cm^{-1} dalga boyu TO_4 dörtyüzlüsündeki T-O bağının asimetrik gerilmesini ifade etmektedir (T=Si ve Al). 795 ve 470 cm^{-1} dalga boyları ise sırasıyla geilme ve O-T-O grubundaki T-O bükülmesini ifade eder [70]. Elde edilen bu sonuçlar literatürdeki diğer kaynaklarla da örtüşmektedir [71], [72].

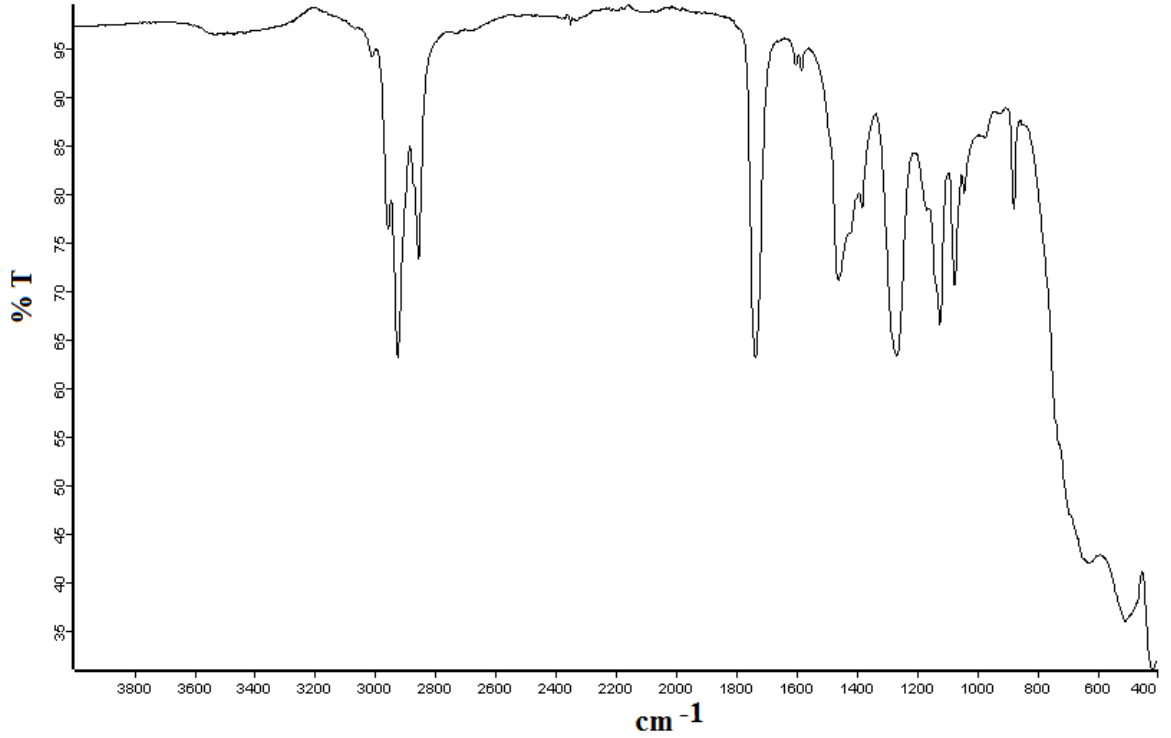


Şekil 6.4 Gomalak için FT-IR spektrumu

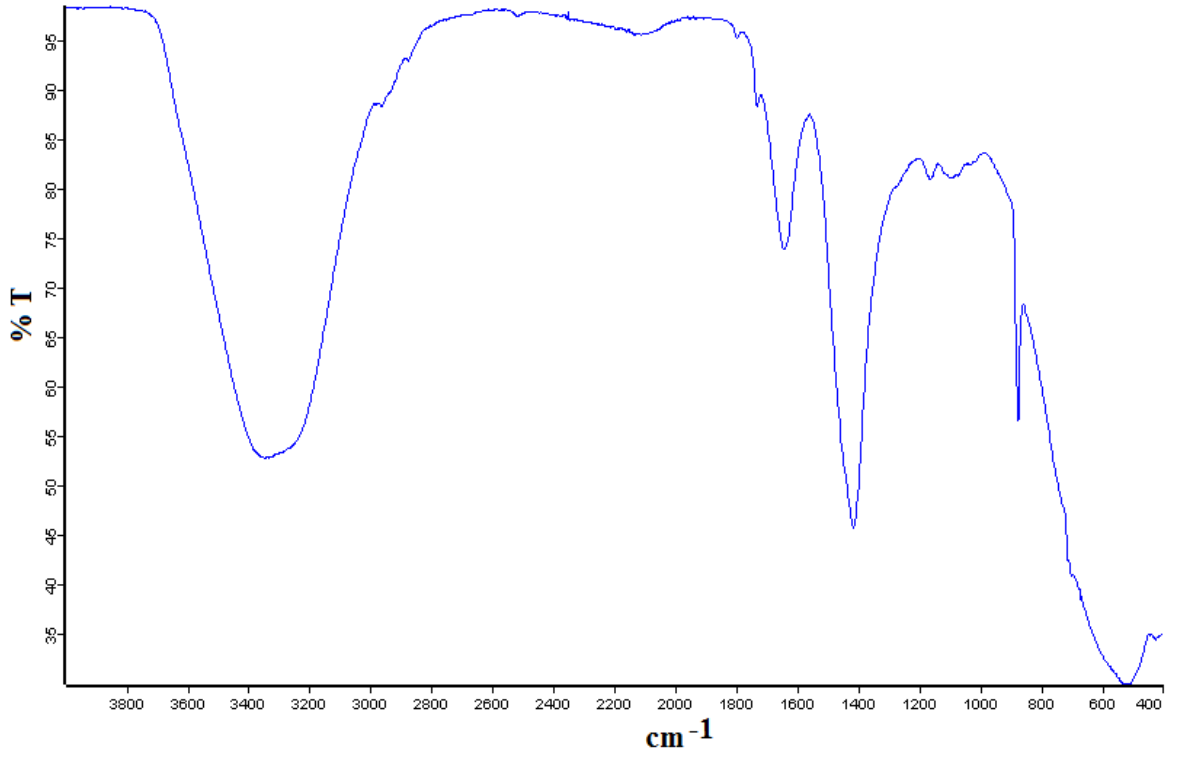
Şekil 6.4'te görülen spektrumda 3400 cm^{-1} dalga boyu civarında O-H gerilmesi görülmektedir. Karbonil gerilmesi 1710 cm^{-1} ve C-O gerilme bandı 1250 cm^{-1} dalga boylarındaki bağları temsil etmektedir ve 920 cm^{-1} dalga boyunca C-O gerilmesi görülmektedir [73], [74].

6.1.2 Boyaların FT-IR Sonuçları

Su bazlı ve çözücü bazlı boyaların FT-IR spektrumları sırasıyla Şekil 6.5'te ve Şekil 6.6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 2875 ve 2920 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler, sırasıyla etilen dioksit içindeki CH_2 'in simetrik ve asimetrik gerilmesi göstermektedir. 1115 cm^{-1} dalga boyundaki orta genişlikteki pik polietilen oksit grubundaki C-O gerilmesini ifade etmektedir. 1035 cm^{-1} dalga boyundaki pik ise boya ara yüzeyine penetre eden aseton nitril çözücüsünü vermektedir [75]. 1085 cm^{-1} dalga boyu literatürdeki çalışmalara göre C-OLi⁺ dizilimindeki C-O titreşimini göstermektedir [76], [77].

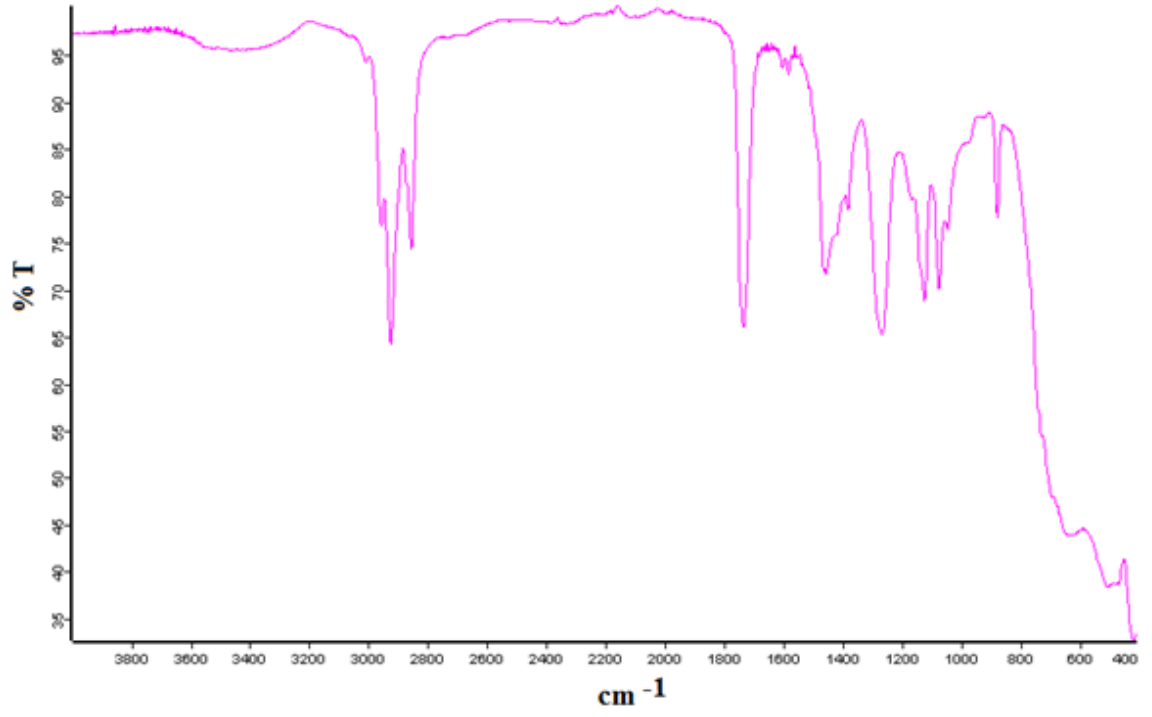


Şekil 6.5 Çözücü bazlı referans boyanın FT-IR spektrumu

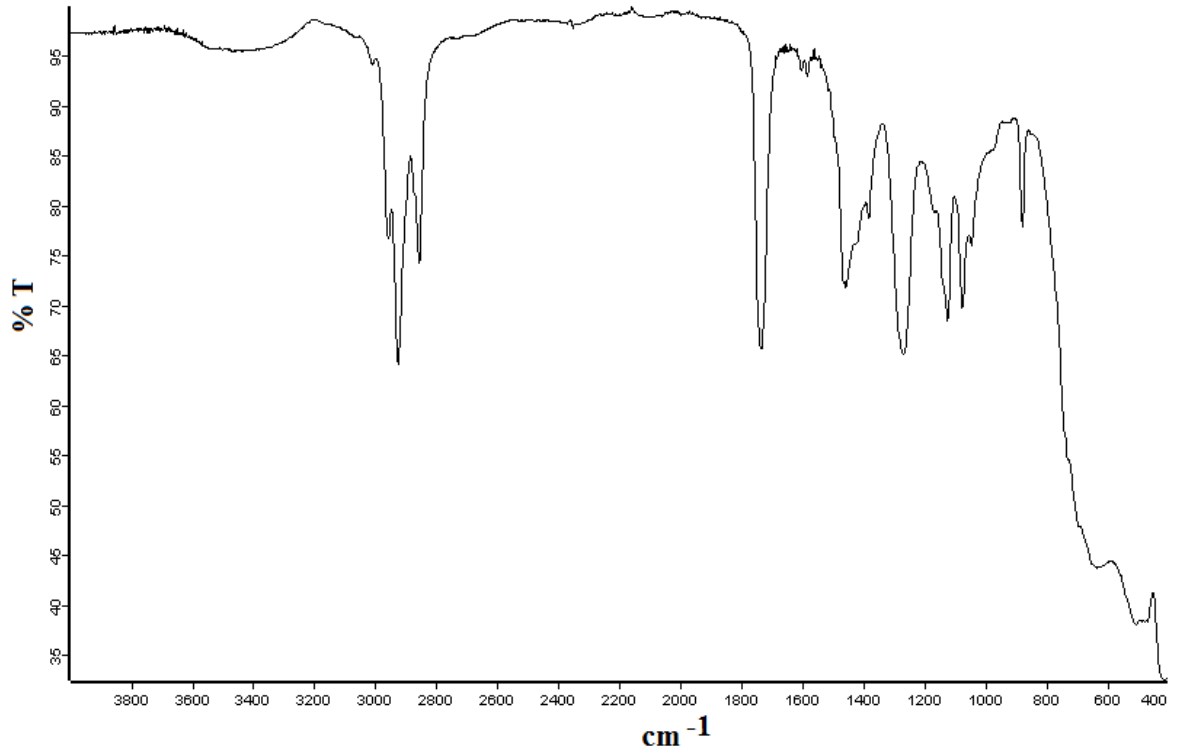


Şekil 6.6 Su bazlı referans boyanın FT-IR spektrumu

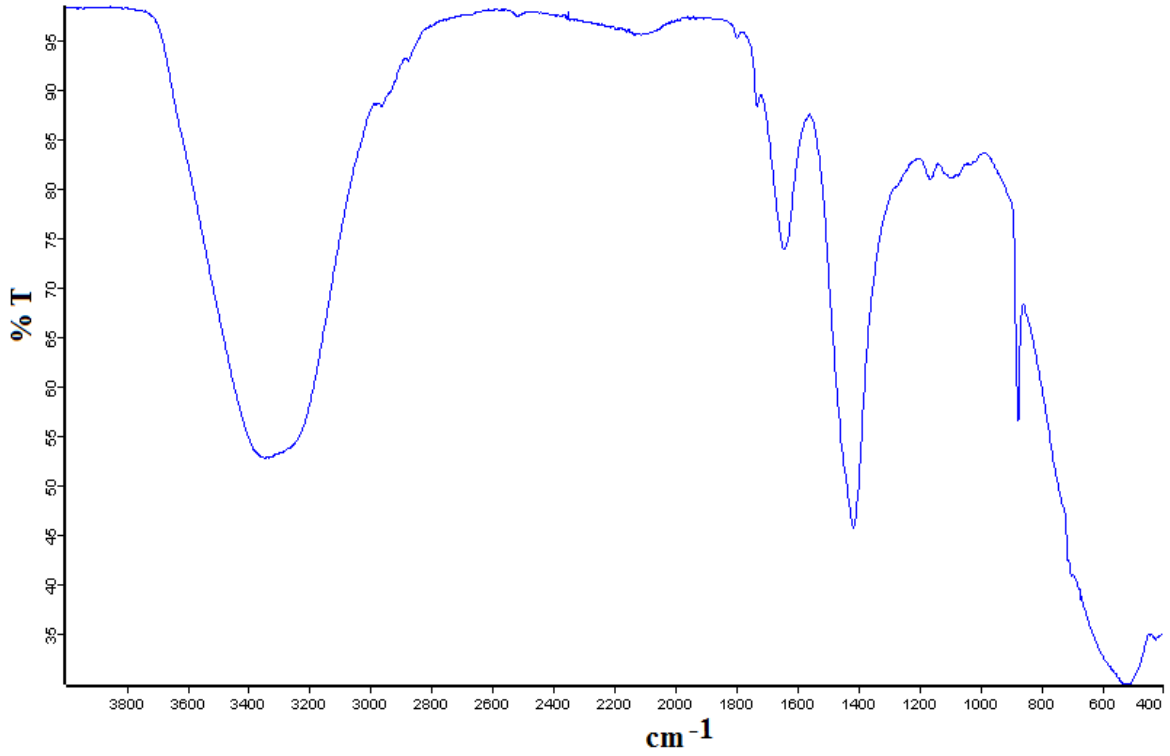
Katkılı boyalar ve referans boyalar birlikte incelendiğinde FT-IR spektrumlarının değişmediği yani boyaya katılan katkı maddelerinin boya ile fiziksel olarak karıştığı ve ek bir kimyasal bağın oluşmadığı Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da verilen FT-IR spektrumlarında görülmektedir.



Şekil 6.7 9 numaralı çözücü bazlı boyanın FT-IR spektrumu



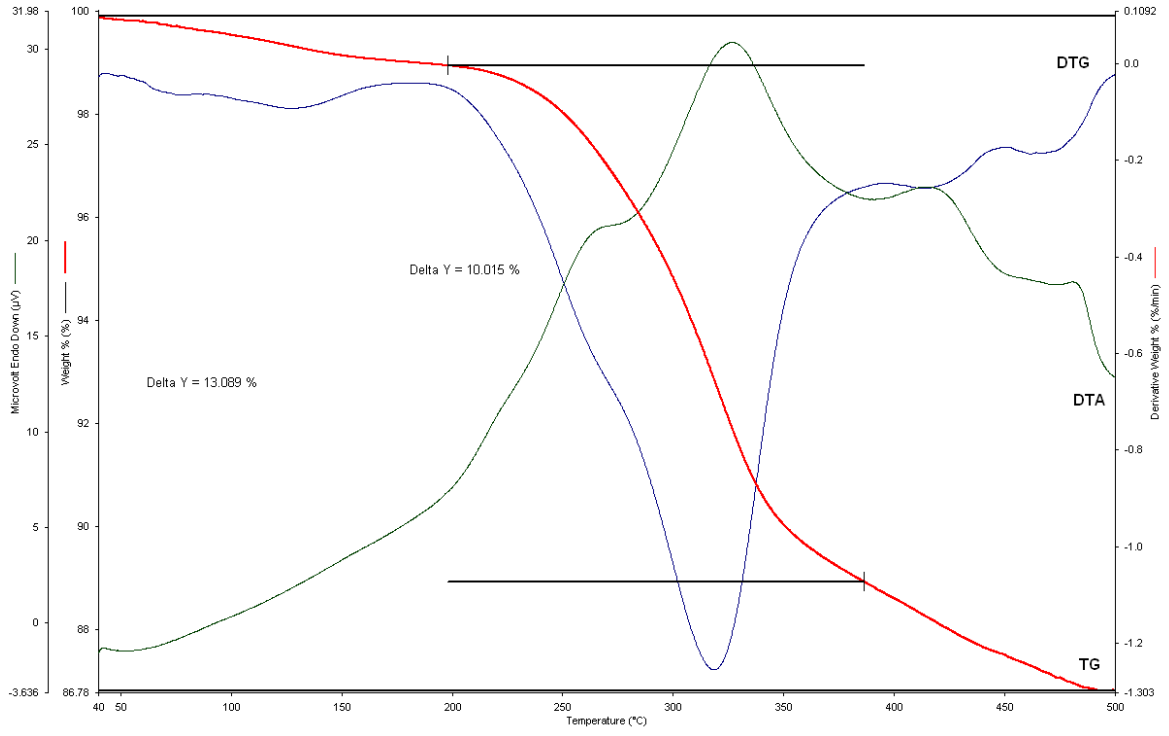
Şekil 6.8 18 numaralı çözücü bazlı boyanın FT-IR spektrumu



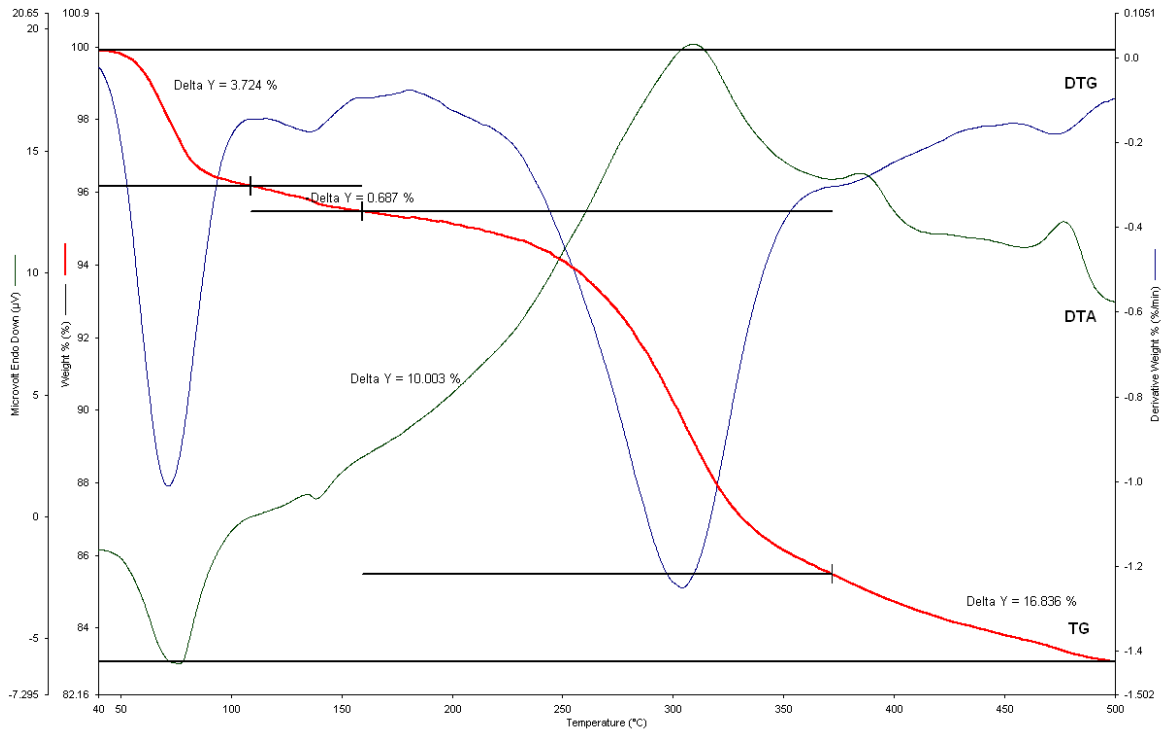
Şekil 6.9 5 numaralı su bazlı boyanın FT-IR spektrumu

6.2 TG/DTA Sonuçları

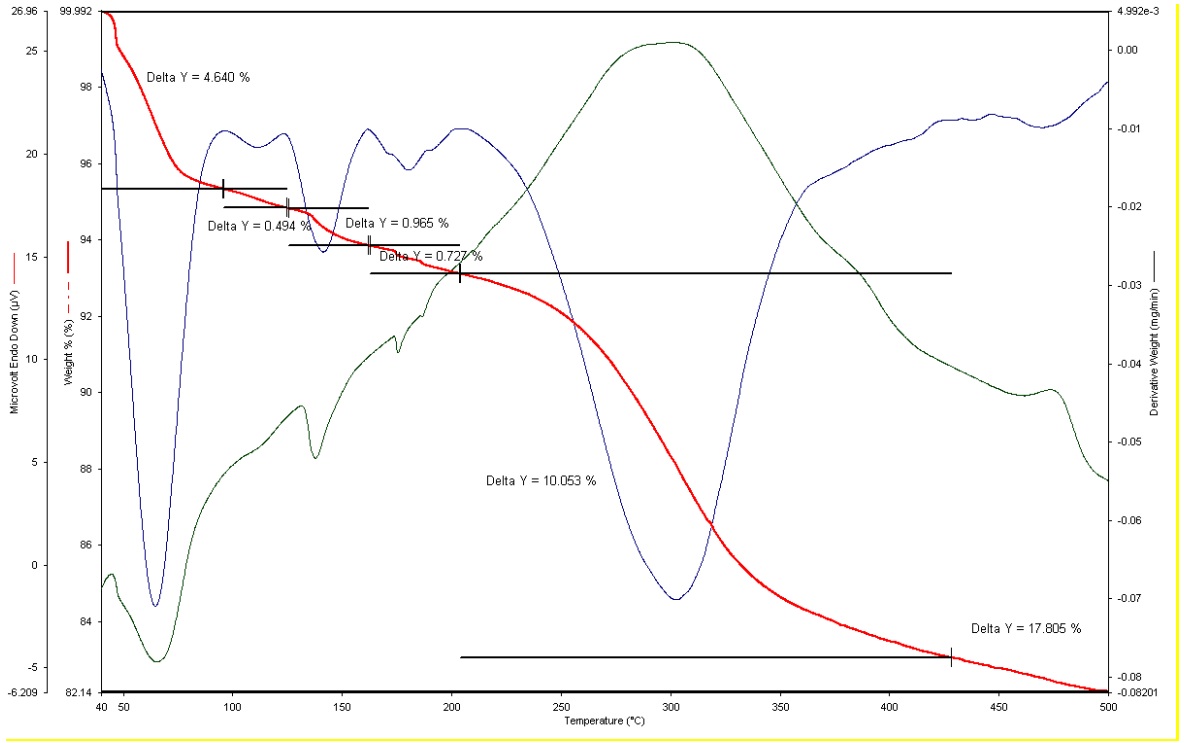
Katkı maddesi olmayan su bazlı boya ile içerisinde farklı oranlarda boraks pentahidrat bulunan boya numunelerinin DTA-TG eğrileri incelendiği zaman, ana bozunmanın hem referans boyada hem de katkılı boyalarda 300-310°C arasında olduğu gözlenmektedir. Bozunma sıcaklığını daha yüksek sıcaklıklara çekme, boyayı koruma amacıyla kullanılan boraks pentahidratın boyalarımızda menfi yönde bir etkisi olmadığı görülmektedir. Su bazlı referans boyanın DTA-TG eğrisi Şekil 6.10'da, kütlece % 6 boraks pentahidrat içeren su bazlı boyanın DTA-TG eğrisi Şekil 6.11'de ve kütlece % 10 boraks pentahidrat içeren su bazlı boyanın DTA-TG eğrisi Şekil 6.12'de görülmektedir.



Şekil 6.10 Su bazlı referans boyanın TG/DTA eğrisi



Şekil 6.11 % 6 boraks pentahidrat içeren su bazlı boyanın TG/DTA eğrisi

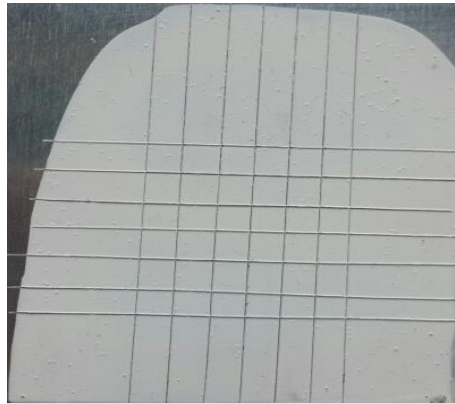


Şekil 6.12 % 10 boraks pentahidrat içeren su bazlı boyanın TG/DTA eğrisi

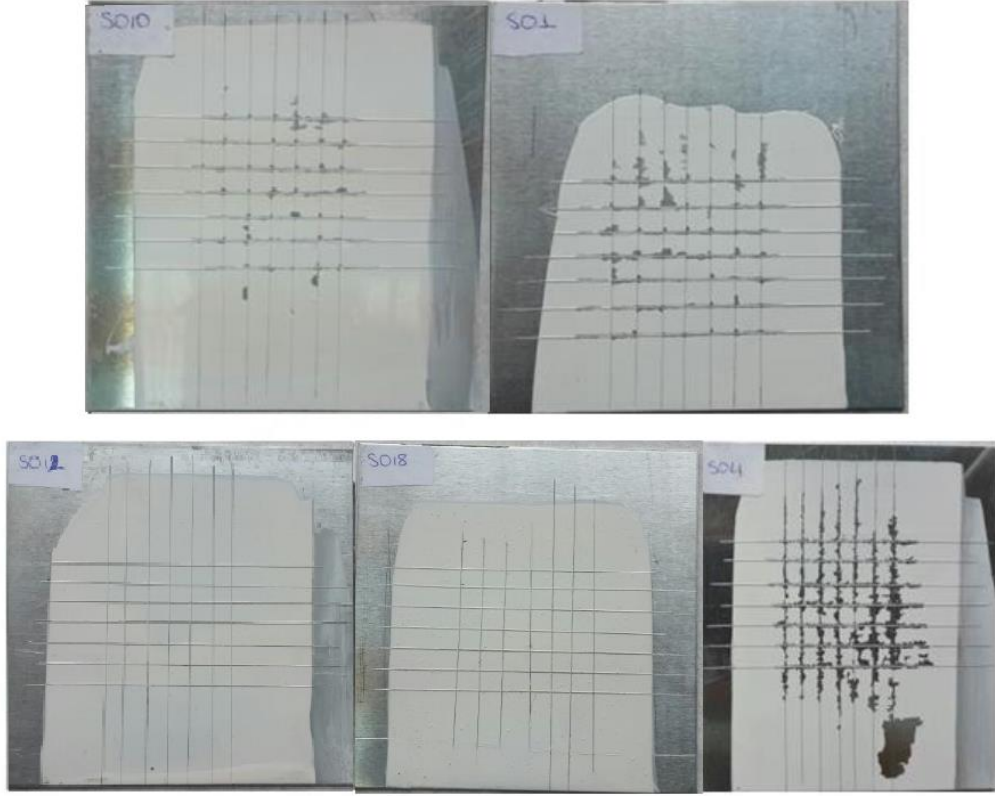
6.3 Test Sonuçları

6.3.1 Yapışma Testi Sonuçları

Boyanın yüzeyde tutunma gücünü görmek amacıyla, 5x5 cm boyutundaki alüminyum plakalara uygulanmış boyalara yapışma testi uygulanmıştır. Yapışma testinin uygulandığı yüzey Şekil 6.13'te, sonuçlar ise Şekil 6.14'te gösterilmiştir.



Şekil 6.13 Yapışma testinin uygulandığı yüzey



Şekil 6.14 Yapışma testi sonuçları

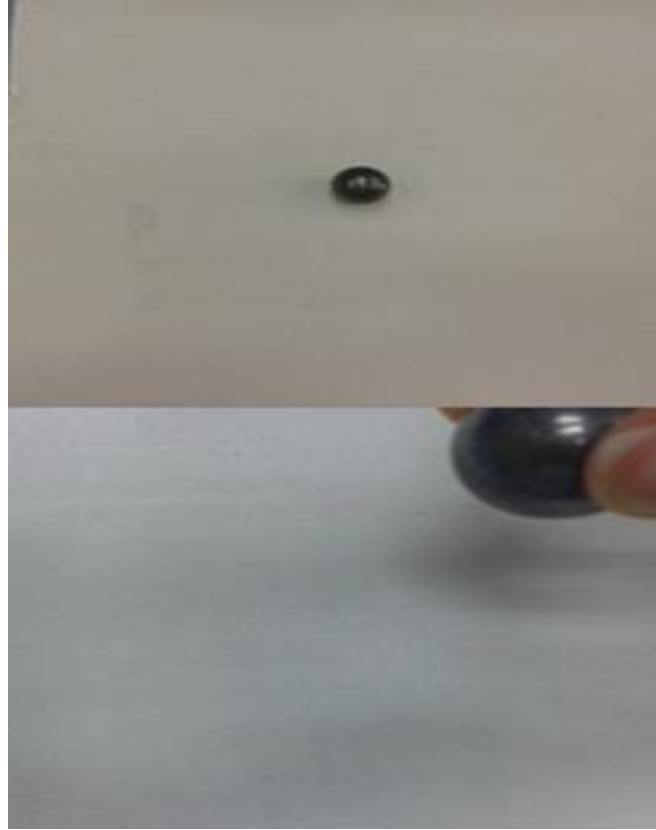
Test sonuçlarına göre kütlece % 4 gomalak içeren 10 numaralı numune ve katkı maddesi içermeyen 1 numaralı numune birlikte incelendiğinde, gomalağın yapışma direncine önemli ölçüde etkisi olmadığı görülmektedir. En yüksek yapışma direnci gösteren numune ise kütlece % 6 gomalak ve % 6 zeolit içeren 12 numaralı numune olmuştur. Ayrıca çözücü bazlı boyalarda boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat içeren setler karşılaştırıldığında boraks pentahidrat içeren numunelerin yüksek yapışma direnci gösterdiği görülmüştür. Yapışma testinde en kötü sonucu veren numune ise kütlece % 3 boraks dekahidrat ve % 3 gomalak içeren 4 numaralı numune olmuştur. Zeolit içeren 18 numaralı numune ve diğer zeolit içerikli numunelerin gösterdiği yüksek yapışma direnci ise literatürdeki çalışmalar ile örtüşmektedir [54].

6.3.2 Hidrofobiklik Testi Sonuçları

Katkı maddesi olmayan referans boya ve katkı maddesi içeren tüm boyalarda, görsel olarak yapılan hidrofobiklik testine göre, boyaların özelliklerinde iyileşme ya da olumsuz bir sonuç gözlemlenmemiştir.

6.3.3 Darbe Testi Sonuçları

Uygulanan darbe testinin ardından, su ve çözücü bazlı boyaların uygulandığı yüzeylerde herhangi bir ezilme, boya kalkması veya kabarma gözlemlenmemiştir. Katkı maddelerinin boyaya olumlu ya da olumsuz etkisi olmamıştır. Darbe testi Şekil 6.15'te gösterilmiştir.



Şekil 6.15 Darbe testi

Tüm boya numuneleri için yapılan yapışma, hidrofobiklik ve darbe testi sonuçları sırasıyla Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.1 Çözücü bazlı boyalar için test sonuçları (Boraks dekahidrat içerikli)

No	Katkı Maddeleri			Test Sonuçları		
	Boraks Dekahidrat	Zeolit	Gomalak	Yapışma	Hidrofobiklik	Darbe
1	1	1	1	-	+	+
2	1	2	2	+	+	+
3	1	3	3	+	+	+
4	2	1	2	-	+	+
5	2	2	3	+	+	+
6	2	3	1	+	+	+
7	3	1	3	+	+	+
8	3	2	1	+	+	+
9	3	3	2	-	+	+

Çizelge 6.2 Çözücü bazlı boyalar için test sonuçları (Boraks pentahidrat içerikli)

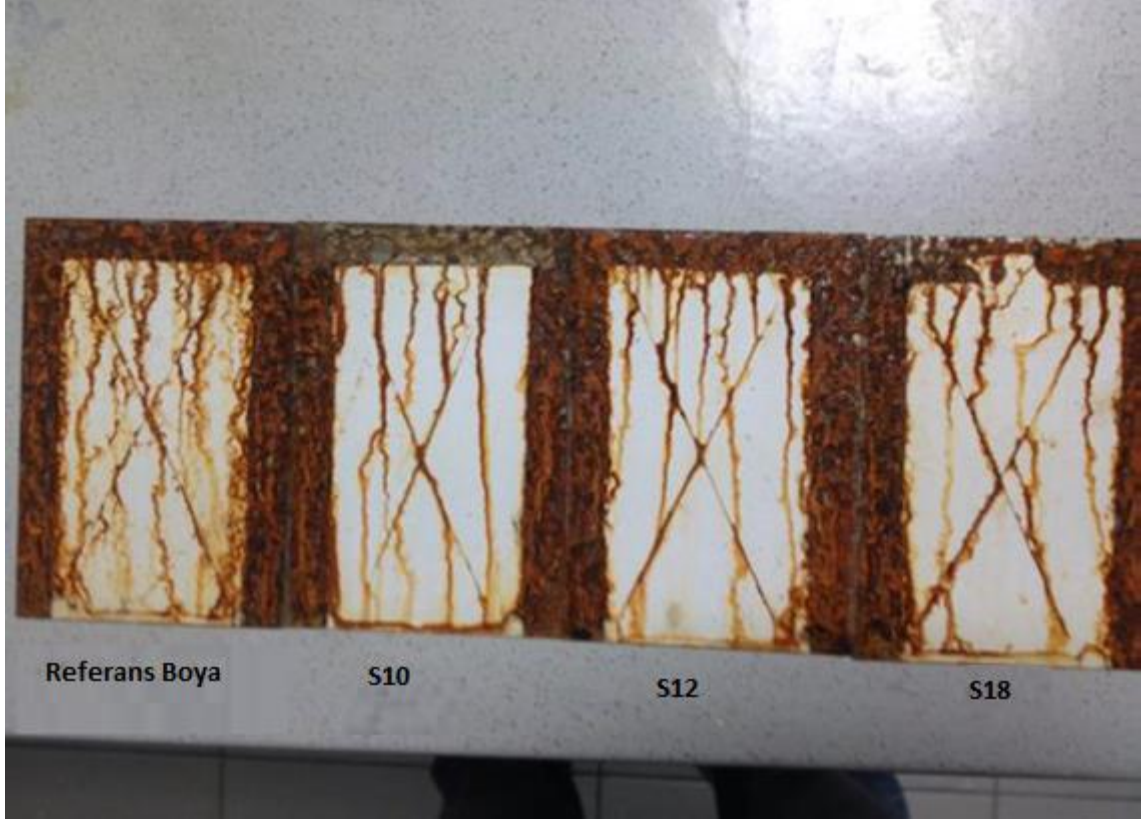
No	Katkı Maddeleri			Test Sonuçları		
	Boraks Pentahidrat	Zeolit	Gomalak	Yapışma	Hidrofobiklik	Darbe
10	*	*	*	-	+	+
11	1	2	2	+	+	+
12	1	3	3	+	+	+
13	2	1	2	+	+	+
14	2	2	3	+	+	+
15	2	3	1	+	+	+
16	3	1	3	+	+	+
17	3	2	1	+	+	+
18	3	3	2	+	+	+

Çizelge 6.3 Su bazlı boyalar için test sonuçları

No	Katki Maddeleri		Test Sonuçları		
	Boraks Pentahidrat	Zeolit	Yapışma	Hidrofobiklik	Darbe
1	1	1	+	+	+
2	1	2	+	+	+
3	1	3	+	+	+
4	2	1	+	+	+
5	2	2	+	+	+
6	2	3	+	+	+
7	3	1	+	+	+
8	3	2	+	+	+
9	3	3	+	+	+

6.3.4 Tuz Sisi Korozyon Testi Sonuçları

Boyanın uygulandığı alüminyum paneller, tuz sisi korozyonu testi için, cihazda 240 saat bekletilmiş ve test bu süre boyunca döngü halinde uygulanmıştır. Uygulanan test sonucunda bazı numuneler için elde edilen sonuçlar Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



Şekil 6.16 Tuz sisi korozyon testi

Tuz sisi korozyon testinde alınan sonuçlara göre, katkı maddesi olmayan referans boya en çok korozyona uğrayan boya olmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi gomalak içerikli boyalarda tuz sisi korozyonu önemli ölçüde engellenmiştir. 10, 12 ve 18 numaralı numunelerde sırasıyla kütlece % 4, % 6 ve % 3 gomalak bulunmaktadır. Zeolit ve boraks pentahidrat içerikli numunelerde ise standart boyaya göre göze çarpan bir değişim gözlemlenmemiştir.

6.3.5 Kütle Kaybı Korozyon Testi Sonuçları

Uygulanan test metoduna göre elde edilen tartım sonuçları Çizelge 6.4'te verilmiştir. İlk ve son tartım farklarından yararlanarak hesaplanan farklı korozyon hızları ise Çizelge 6.5'te gösterilmiştir.

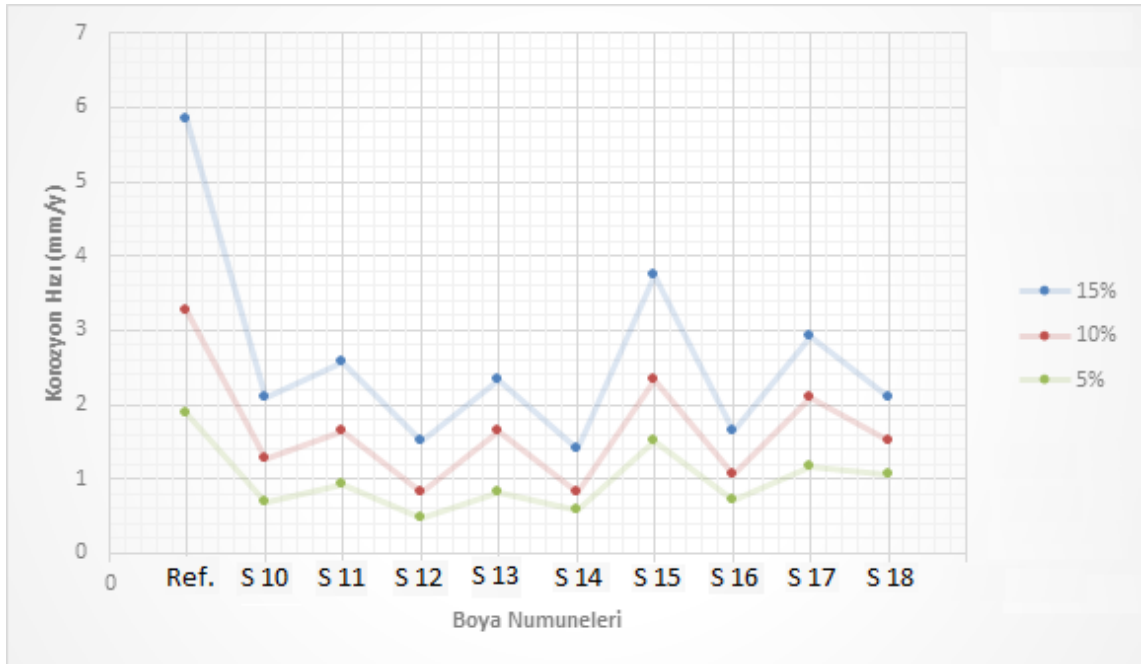
Çizelge 6.4 Korozyon testi tartım değerleri

Kütle Kayıpları	% 15 HCl			% 10 HCl			% 5 HCl		
	İ.T. (g)	S.T. (g)	W (mg)	İ.T. (g)	S.T. (g)	W (mg)	İ.T. (g)	S.T. (g)	W (mg)
Standart	7.3128	7.3078	5.0	7.2367	7.2339	2.8	6.9986	6.9980	1.6
10	7.4267	7.4249	1.8	7.4868	7.4857	1.1	7.6847	7.6841	0.6
11	6.3862	6.3840	2.2	7.4306	7.4292	1.4	6.8748	6.8740	0.8
12	6.6825	6.6812	1.3	7.2553	7.2546	0.7	6.4054	6.4050	0.4
13	8.5696	8.5676	2.0	7.0101	7.0087	1.4	7.2735	7.2728	0.7
14	7.4155	7.4143	1.2	7.3252	7.3245	0.7	6.1966	6.1961	0.5
15	7.4365	7.4333	3.2	7.9073	7.9053	2.0	8.1442	8.1429	1.3
16	5.8684	5.8670	1.4	5.9535	5.9526	0.9	7.3571	7.3565	0.6
17	7.3068	7.3043	2.5	7.1794	7.1776	1.8	7.3852	7.3842	1.0
18	9.0576	9.0558	1.8	8.3797	8.3784	1.3	7.6348	7.6339	0.9

Çizelge 6.5 Korozyon hızları

	Korozyon Hızı (mm/y)			Korozyon Hızı (g/m ² .gün)		
% HCl	% 15	% 10	% 5	% 15	% 10	% 5
Standart	5.84	3.27	1.87	24.00	13.44	7.68
10	2.10	1.28	0.70	8.64	5.28	2.88
11	2.57	1.64	0.93	10.56	6.72	3.84
12	1.52	0.82	0.47	6.24	3.36	1.92
13	2.33	1.64	0.82	9.60	6.72	3.36
14	1.40	0.82	0.58	5.76	3.36	2.40
15	3.74	2.34	1.52	15.36	9.60	6.24
16	1.64	1.05	0.71	6.72	4.32	2.88
17	2.92	2.10	1.17	12.00	8.64	4.80
18	2.10	1.52	1.05	8.64	6.24	4.32

Referans boya ve hazırlanan boyalar için elde edilmiş korozyon hız değerleri (mm/y) Şekil 6.17’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre asit derişimi arttıkça korozyon hızı artmaktadır. En düşük korozyon hızları ise gomalağın içinde kütlece % 10 bulunduğu 10 numaralı numune ile kütlece % 15 bulunduğu 12 numaralı numunelerde gözlenmiştir. Genel olarak diğer katkı maddelerin fark edilir seviyede menfi yönde katkısı gözlenmemiştir.



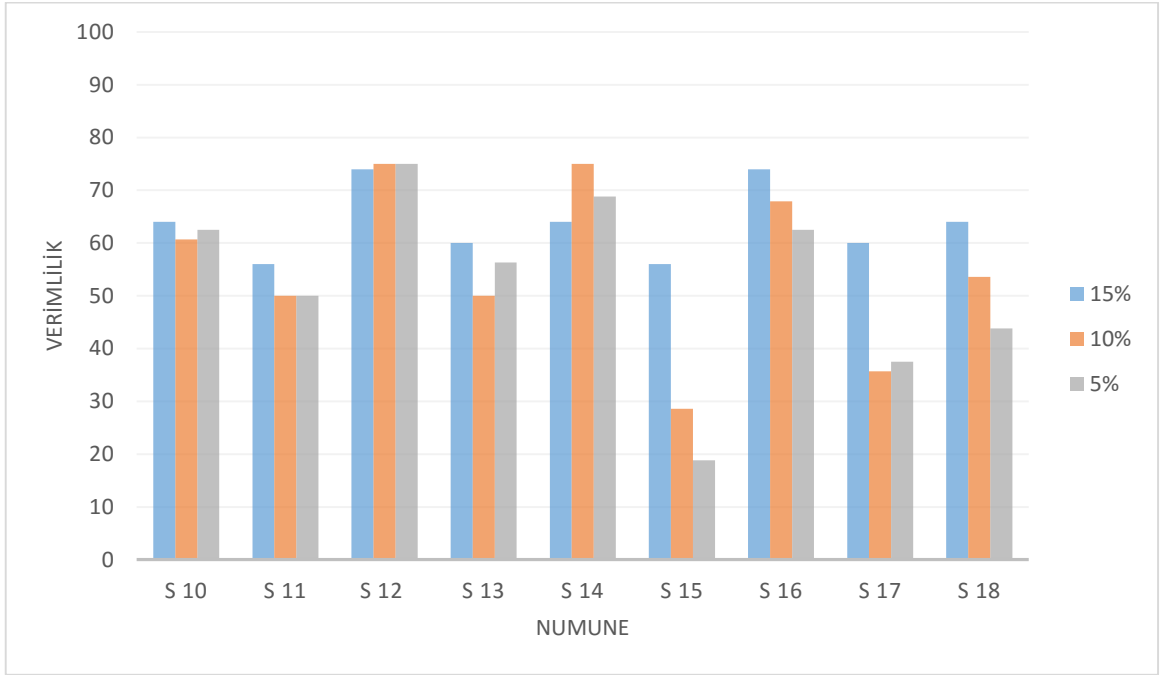
Şekil 6.17 Farklı asit ortamlarında korozyon hızları

Referans boyanın korozyon değerinden yararlanarak, diğer boyalar için hesaplanan korozyon engelleme verimleri Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6 Katkı maddeli boyaların korozyon önleme verimleri

Boya No	% 15 HCl	% 10 HCl	% 5 HCl	Boya No	% 15 HCl	% 10 HCl	% 5 HCl
	% Verim				% Verim		
Standart	0	0	0	14	64	75	68.8
10	64	60.7	62.5	15	56	28.6	18.8
11	56	50	50	16	74	67.9	62.5
12	74	75	75	17	60	35.7	37.5
13	60	50	56.3	18	64	53.6	43.8

Elde edilen korozyon önleme verimlilik verileri Şekil 6.18'deki grafikte verilmiştir. Grafikte görülen verilere göre farklı asit ortamlarında korozyon önleme verimliliklerinde değişkenlikler olup lineer değişim gözlemlenmemiştir.



Şekil 6.18 Hazırlanan boyaların referans boyaya göre korozyon önleme verimlilikleri

6.4 Ekonomik Analiz

Deneyisel çalışmada 1 kg boya üzerinden temel alındığında % 1 (w/w) katkı maddesi içeren boya, 990 gram boya ve 10 gram katkı maddesi içermektedir. Kullanılan boya ve katkı maddelerinin birim fiyatları Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 Kullanılan malzemelerin birim fiyatları

Malzeme	Fiyat(TL/kg)
Su Bazlı Boya	10
Çözücü Bazlı Boya	14
Boraks Dekahidrat	6.4
Boraks Pentahidrat	6.5
Zeolit	15
Gomalak	85
Etil alkol	10.1

Gomalak, etil alkol çözeltisi içinde çözülmüştür (ağırlıkça % 9). 1 kg karışım, 910 gram etil alkol ve 90 gram gomalak içermektedir. Gomalak çözeltisinin toplam maliyeti ise 16.84 TL/kg olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamalar:

- ✓ % 1 boraks dekahidrat içerikli su bazlı boya için,
 $10 \text{ TL/kg} * 0.99 + 6.4 \text{ TL/kg} * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) * 10 \text{ g} = 9.964 \text{ TL/kg},$
- ✓ % 1 boraks dekahidrat içerikli çözücü bazlı boya için,
 $14 \text{ TL/kg} * 0.99 + 6.4 \text{ TL/kg} * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) * 10 \text{ g} = 13.924 \text{ TL/kg},$
- ✓ % 1 boraks pentahidrat içerikli su bazlı boya için,
 $10 \text{ TL/kg} * 0.99 + 6.5 \text{ TL/kg} * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) * 10 \text{ g} = 9.965 \text{ TL/kg},$
- ✓ % 1 boraks pentahidrat içerikli çözücü bazlı boya için,
 $14 \text{ TL/kg} * 0.99 + 6.5 \text{ TL/kg} * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) * 10 \text{ g} = 13.925 \text{ TL/kg},$
- ✓ % 1 zeolit içerikli su bazlı boya için,
 $10 \text{ TL/kg} * 0.99 + 15 \text{ TL/kg} * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) * 10 \text{ g} = 10.05 \text{ TL/kg},$

✓ % 1 zeolit içerikli çözücü bazlı boya için,

$$14 \text{ TL/kg} * 0.99 + 15 \text{ TL/kg} * (1 \text{ kg/1000 g}) * 10 \text{ g} = 14.01 \text{ TL/kg},$$

✓ % 1 gomalak içerikli su bazlı boya için,

$$10 \text{ TL/kg} * 0.99 + 16.84 \text{ TL/kg} * (1 \text{ kg/1000 g}) * 10 \text{ g} = 10.068 \text{ TL/kg},$$

✓ % 1 gomalak içerikli çözücü bazlı boya için,

$$14 \text{ TL/kg} * 0.99 + 16.84 \text{ TL/kg} * (1 \text{ kg/1000 g}) * 10 \text{ g} = 14.028 \text{ TL/kg},$$

olarak elde edilmiştir.

Yapılan hesaplamalardan yararlanılarak tüm boyaların birim kilogram fiyatları hesaplanarak Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8 Katkılı ve katkısız boyaların birim fiyatları

Özellik	Su Bazlı Boya (TL/kg)	Çözücü Bazlı Boya (TL/kg)
Katkısız	10	14
% 1 zeolit içerikli	10.05	14.01
% 1 gomalak içerikli	10.068	14.028
% 1 boraks pentahidrat içerikli	9.965	13.925
% 1 boraks dekahidrat içerikli	9.964	13.924

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, gomalak, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat ve zeolite boya içerisinde katkı maddesi olarak kullanılarak, boyaya testler uygulanmıştır. Uygulanan alev geciktiriciliği, farklı tipte korozyon engelleme verimliliği ve fiziksel testler (yapışma, hidrofobisite) sonucunda, katkı maddeli boyaların referans boyaya göre herhangi bir özellikte artış olup olmadığı incelenmiştir. Bu amaçla; boya ve katkı maddeleri, Taguchi Optimizasyon Metoduna göre hazırlanmış ve testler uygulanmıştır. Alınan en etkin sonuç korozyon engelleme testlerinde olmakla birlikte, tüm test sonuçları sıralanmıştır.

- ✓ Yapışma testi sonuçlarına göre; zeolit ve boraks pentahidrat katkılı boyalar, referans boya ile birlikte incelendiğinde, bu katkı maddelerinin, boyanın uygulandığı yüzeye yapışmasını önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür.
- ✓ Gomalak ve boraks dekahidrat içeren numunelerde ise yapışma testi için önemli ölçüde olumlu sonuçlar alınamamıştır.
- ✓ Tüm katkı maddeleri, boyanın hidrofobik özelliğini korumuştur.
- ✓ Tuz sisi korozyon testine göre katkı maddeli boyalar referans boyaya göre daha etkin sonuçlar vermiştir ve korozyonu engellemişlerdir. Gomalak ise katkı maddeleri arasında korozyonu en fazla önleyen madde olmuştur.
- ✓ Numunelerin asit ortamına karşı dayanımlarını görmek için yapılan kütle kaybı korozyon testi hidroklorik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tuz sisi korozyonu testinde olduğu gibi bu korozyon testinde de katkı maddeli boyalar referans boyaya göre korozyona karşı daha dirençli oldukları gözlemlenmiştir.

- ✓ Her iki korozyon testinde de katkı maddelerinden farklı oranlarda olumlu sonuçlar alınmıştır. İki testte de birbiri ile uyumlu sonuçlar alınmıştır. Ancak gomalak kütle kaybı korozyon testinde de korozyonu en çok engelleyen katkı maddesi olmuştur.
- ✓ Boya numunelerinin ısı etkisine karşı davranışlarını, kütle kayıplarını görmek için yapılan TG-DTA deneylerinde referans boya ve katkı maddeli boyalar arasında önemli ölçüde farklar görülmemiştir. Referans boya ve bor katkılı boyaların bozunma sıcaklıkları neredeyse aynı değerlerde olmuştur.

Sonuç olarak, kullanılacak boyanın ortam şartlarına dayanımı düşük olduğu durumlarda uygun miktarlarda eklenecek gomalak, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat ve zeolit, boyanın ortam şartlarına dayanımını ve kalıcılığını arttırarak boya ömrünü uzatacaktır. Bu çalışmanın devamı olarak, boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat harici diğer bor kimyasalları ve farklı katkı maddeleri farklı seviyelerde su ve çözücü bazlı boyalarda kullanılarak boyaların dayanım ve özelliklerinde iyileştirmeler yapılabilir. Yapışma ve korozyonda daha etkin sonuçlar alınabilir. Bu çalışmanın bu alanda geleceğe ışık tutup, bu alandaki yapılacak yeni çalışmalara yön vereceği umulmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Akıncı, H., (2007). Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [2] Kandilci, H.G., (2013). Çimento Sektöründe Ekserji Analizi Yaparak Enerji Verimliliğinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Azematia, A.A., Hadavandc, B.S., Hosseinib, H. ve Tajarrodd, A.S., (2013). “Thermal Modeling of Mineral Insulator in Paints for Energy Saving”, Energy and Buildings, 56:109-114.
- [4] Panyakaew, S. ve Fotios, S., (2011). “New Thermal Insulation Boards Made from Coconut Husk and Bagasse”, Energy and Buildings, 43:1732-1739.
- [5] Kymalainen, H.R. ve Sjöberg, A.M., (2008). “Flax and Hemp Fibres as Raw Materials for Thermal Insulations”, Building and Environment, 43:1261-1270.
- [6] Öztürk, M., (2012). Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- [7] Aksu, Z. ve Tezer, S., (2000). “Equilibrium and Kinetic Modeling of Biosorption of Remazol Black B by Rhizopus Arrhizus in a Batch System: Effect of Temperature”, Process Biochem, 36:431-439.
- [8] Vandevivere, P.C., Bianchi, R. ve Versaete, W., (1998). “Treatment and Reuse of Wastewater From The Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies”, Chem. Technol. Biotechnol, 72:289-302.
- [9] Sarıoğlu, M. ve Dean, C., (1998). “Tekstil Atık Sularından Renk Giderimi için UASB (Yukarı Akışlı Çamur Yatağı) Reaktörünün Kullanılması Örneği”, 6. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, 37-42, İstanbul.
- [10] Yakartepe, M. (1998). Genel Tekstil Terbiyesi, Tekstil Konfeksiyon Araştırmaları Merkezi Yayınları, 12:520-600, İstanbul.

- [11] Tatlı, A.İ., (2003). Çeşitli Tekstil Boyarmaddelerinin Adsorpsiyon Biyosorpsiyonunun Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] Temiz, A. (1994). Genel Mikrobiyoloji Uygulama Teknikleri, Şafak Matbaacılık, 86-89, Ankara.
- [13] Mishra, G. ve Tripathy, M., (1993). "A Critical Review of the Treatment for Decolourization of Textile Effluent", Colourage, 40:35-38.
- [14] Fu, Y. ve Viraraghavan, T., (2001). "Fungal Decolourization of Waste Waters: A Review", Bioresource Technology, 79:251-262.
- [15] Camcıoğlu, Ş., (2010). Su Bazlı Boya Üretim Tesislerinin Atık Sularının Arıtılmasında Genelleştirilmiş Minimum Değişmeli Algoritma ile pH Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [16] Körbahti, B.K., (2003). Boya Endüstrisi Su Bazlı Boya Atık Suyu ve Tekstil Endüstrisi Atık Suyunun Elektrokimyasal Olarak Arıtılması için Sistem Tasarlanması ve Proses Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [17] Paksoy, A.S., (1999). Boya El Kitabı, Kimya Mühendisleri Odası, Ankara.
- [18] Milli Eğitim Bakanlığı Eğitim Modülü, (2010). Kimya Teknolojisi, Bağlayıcılar-1, 1-19, Ankara.
- [19] Gündüz, G., (2002). Boya Bilgisi, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, 242-418, Ankara.
- [20] Milli Eğitim Bakanlığı Eğitim Modülü, (2009). Kimya Teknolojisi Katkı Maddeleri, 3-7, Ankara.
- [21] Boya Testleri, <http://www.atalars.com>, 23 Mayıs 2015.
- [22] Berkeley Üniversitesi, Boraks, <http://nature.berkeley.edu>, 26 Ocak 2015.
- [23] Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bor Elementi, <http://www.etimaden.gov.tr>, 26 Ocak 2015.
- [24] Bor, <http://www.resourcesandenergy.nsw.gov.au>, 27 Ocak 2015.
- [25] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Bor Elementi, <http://www.boren.gov.tr>, 20 Şubat 2015.
- [26] Kantürk, A., (2006). Borakstan Sodyum Borhidrür Üretimi ve Üretimi Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Etimaden İşleri Genel Müdürlüğü, (2014). Bor Sektör Raporu, Mayıs, 1-6.
- [28] Kılıç, A.M., (2004). "Bor Madeninin Türkiye Açısından Önemi ve Gelecekteki Yeri", II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 31-41, Eskişehir.
- [29] Pişkin, S., (1983). Hidrate Bor Minerallerinin Termik Özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, İstanbul.

- [30] Etimaden İşleri Genel Müdürlüğü, (2013). Bor Sektör Raporu, 4 Mayıs.
- [31] Balıkesir Üniversitesi, Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, <http://bor.balikesir.edu.tr/bor>, 25 Mart 2015.
- [32] Kalafatoğlu, İ.E. ve Örs, S.N., (2003). “21. Yüzyılda Bor Teknolojileri ve Uygulamaları”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5:59-72.
- [33] Helvacı, C., (2004). “Türkiye Borat Yatakları, Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası”, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- [34] Etimaden, Bor Uygulama Alanları, <http://www.etimineusa.com/en/applications>, 05 Nisan 2015.
- [35] Krause, K.P. ve Müller, R.H., (2001). “Production of Aqueous Shellac Dispersions by High Pressure Homogenisation”, Int. J. Pharm., 223(1-2):89-92.
- [36] Singh, A.N., Upadhye A.B., Mhaskar, V.V. ve Dev, S., (1974). “Chemistry of Lac Resin-VI Components of Soft Resin”, Tetrahedron Letters, 30(7): 867-874.
- [37] Limmatvapirat S., Limmatvapirat C., Luangtana-anan M., Nunthanid J., Oguchi T., Tozuka Y., Yamamoto K. ve Puttipatkhachorn S., (2004). “Modification of Physicochemical and Mechanical Properties of Shellac by Partial Hydrolysis”, International Journal of Pharmaceutics, 278(1):41-49.
- [38] Porter S.C. ve Lieberman H.A., (1990). “Pharmaceutical Dosage Forms”, International Journal of Pharmaceutics, 77(1):160.
- [39] Pearnchob N., Dashevsky A. Ve Bodmeier R., (2004). “Improvement in the Disintegration of Shellac-coated Soft Gelatin Capsules in Simulated Intestinal Fluid”, Journal of Controlled Release, 94(2-3):313-321.
- [40] Alamara, K., Saber-Samandari, S., Stoddart, P.R. ve Berndt, C.C. (2011). “Effect of Substrate Temperature on the Splat Formation of Flame Sprayed Polypropylene”, Surface & Coatings Technology, 206:1180-1187.
- [41] Wang J., Chen L. ve He Y., (2008). “Preparation of Environmental Friendly Coatings Based on Natural Shellac Modified by Diamine and its Applications for Copper Protection”, Materials Science and Engineering, 62:307-312.
- [42] Li X., Vasavada R.C., Rowe R.C., Sheskey P.J. ve Weller P.J., (2003). Handbook of Pharmaceutical Excipients, Pharmaceutical Press, London.
- [43] Hagenmaier, R.D. ve Baker, R.A., (1993). “Reduction in Gas Exchange of Citrus Fruit by Wax Coatings”, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 41(2):283-287.
- [44] Valencia-Chamorro, S.A., Pérez-Gago, M.B., Del Río, M. ve Palou L., (2009). “Effect of Antifungal Hydroxypropyl Methylcellulose (HPMC)-Lipid Edible Composite Coatings on Postharvest Decay Development and Quality

Attributes of Coldstored Valencia' Oranges", Postharvest Biology and Technology, 54(2):72-79.

- [45] <http://www.naturalhandyman.com/iip/infpai/shellac.html>, 25 Mayıs 2015.
- [46] Sariiz, K. ve Nuhoğlu, İ., (1992). Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, Anadolu Üniversitesi, 636, Eskişehir.
- [47] Köktürk, U., (1995). "Zeolit Madenciliği ve Çevre Sağlığına Etkileri", Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 293-301, İzmir.
- [48] Çelik, N., (2005). Doğal Zeolitlerin Bakır Gideriminde Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [49] Sabah, Y., (1997). Doğal Zeolitlerin Su Yumuşatımında Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [50] Kurama, H. Ve Kaya, M. (1995). "Doğal Klinoptilolitin İyon Değişim Özellikleri, Pb^{++} , Cu^{++} , Cd^{++} , Hg^{++}/Na^{+} Dengesi", Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 313-321, İzmir.
- [51] Karaüç, E., (2008). Uçucu Kül ve Zeolitin Kendiliğinden Yerleşen Betonlara Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [52] Pala, A., (2006). Doğal Zeolitlerin Atıksuda Kurşun Gideriminde Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [53] Hanson, A., (1995). "Natural Zeolites", Industrial Minerals, 40-55.
- [54] Engin, M., (2010). Yerli Zeolit (Klinoptilolit) Dolgu Maddesinin Kağıt Nitelikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [55] Gemci R. ve Gülşen G., (2010). "Uses of Boron Compounds for Improving Fire Resistance Property of the Fabrics", Electronic Journal of Textile Technologies, 4(1):1-10.
- [56] Calabrese, L., Bonaccorsi, L., Capri, A. ve Proverbio, E., (2014). "Adhesion Aspects of Hydrophobic Silane Zeolite Coatings for Corrosionprotection of Aluminium Substrate", Progress in Organic Coatings, 77:1341-1135.
- [57] Katariya, M.N., Jana, A. ve Parikh, P., (2013). "Corrosion Inhibition Effectiveness of Zeolite ZSM-5 Coating on Mild Steel Against Various Organic Acids and its Antimicrobial Activity", Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 19:286-291.
- [58] Calabrese, L., Bonaccorsi, L., DiPietro, D. ve Proverbio, E., (2014). "Effect of Process Parameters on Behaviour of Zeolite Coatings Obtained by Hydrothermal Direct Synthesis on Aluminium Support", Ceramics International, 40:12837-12845.

- [59] Bayrak, Z., (1996), Taguchi Yönteminin Kalite Kontrolüne Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [60] Canıyılmaz, E., (2001), Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [61] <http://www.derilkim.com/urunler/analitik-cihazlar/ftir-spektrometresi/ftir-spektroskopi-nedir/>, 28 Ağustos 2015.
- [62] Ravisankar, R., Naseerutheen, A., Rajalakshmi, A., Raja Annamalai, G. ve Chandrasekaran, A., (2014). "Application of Thermogravimetry-Differential Thermal Analysis (TG-DTA) Technique to Study the Ancient Potteries from Vellore Dist", Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc., 129:201-208.
- [63] <http://frictioncalculator.com/corrosion-rate-formula>, 27 Ağustos 2015.
- [64] Gumus, O.Y., Unal, H.I., Erol, O. ve Sari, B., (2010). "Synthesis, Characterization, and Colloidal Properties of Polythiophene/Borax Conducting Composite", Polymer Composites, 32(3):418-426.
- [65] Eltepe, H.E., (2004). The Development of Zinc Borate Production Process, Master of Science Thesis, Izmir Institute of Technology Graduate Schools of Engineering and Sciences, Izmir.
- [66] Mergen A., İpek Y., Bölek H. ve Öksüz M., (2012). "Production of Nano Zinc Borate ($4\text{ZnO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) and Its Effect on PVC", Journal of the European Ceramic Society, 32(9):2001-2005.
- [67] Kipcak, A.S., Senberber, F.T., Yuksel, S.A., Deruna, E.M. ve Piskin, S., (2015). "Synthesis, Characterisation, Electrical and Optical Properties of Copper Borate Compounds", Materials Research Bulletin, 70:442-448.
- [68] Gonen, M., (2009). Nanosized Zinc Borate Production, Doctorate Thesis, Izmir Institute of Technology Graduate Schools of Engineering and Sciences, Izmir.
- [69] Wilson, M.J., (1994). Clay Mineralogy: Spectroscopic and Chemical Determinative Methods, Chapman and Hall, New York.
- [70] Tanaka, H., Yamasaki, N., Muratani, M. ve Hino, R., (2003). "Structure and Formation Process of (K, Na) Clinoptilolite", Mater. Res. Bull., 38:713-722.
- [71] Olad, A. ve Naseri B., (2010). "Preparation, Characterization and Anticorrosive Properties of a Novel Polyaniline/Clinoptilolite Nanocomposite", Prog. Org. Coatings, 67:233-238.
- [72] Perraki, T. ve Orfanoudaki, A., (2004). "Mineralogical Study of Zeolites from Pentalofos Area", Appl. Clay Sci., 25:9-16.
- [73] Limmatvapirat, S., Limmatvapirat, C., Puttipipatkachorn, S., Nuntanid, J. ve Luangtana-anan, M., (2007). "Enhanced Enteric Properties and Stability of

Shellac Films through Composite Salts Formation”, *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 67(3):690-698.

- [74] Ortega-Aviles, M., Vandenabeele, P., Tenorio, D., Murillo, G., Jimenez-Reyes, M. ve Gutierrez, N., (2005). “Spectroscopic Investigation of a ‘Virgin of Sorrows’ Canvas Painting: A Multi-Method Approach”, *Anal. Chim. Acta*, 550(1-2):164-172.
- [75] Kuang, D., Klein, C., Ito, S., Moser, J.E., Humphry-Baker, R., Zakeeruddin, S.M., Grätzel, M., (2007). “High Molar Extinction Coefficient Ion-Coordinating Ruthenium Sensitizer for Efficient and Stable Mesoscopic Dye-Sensitized Solar Cells”, *Adv. Funct. Mater.*, 17:154-160.
- [76] Kuang, D., Klein, C., Snaith, H.J., Moser, J.E., Humphry-Baker, R., Comte, P., Zakeeruddin, S.M., Grätzel, M., (2006). “Ion coordinating sensitizer for high efficiency mesoscopic dye-sensitized solar cells: influence of lithium ions on the photovoltaic performance of liquid and solid-state cells”, *Nano Lett.*, 6(4):769-773.
- [77] Wieczorek, W., Lipka, P., Zukowska, G. ve Wycislik, H., (1998). “Ionic Interactions in Polymeric Electrolytes Based on Low Molecular Weight Poly(ethylene glycol)s”, *J. Phys. Chem.*, 102(36):6968-6974.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Abdullah Bilal ÖZTÜRK
Doğum Tarihi ve Yeri :Edremit 27.08.1990
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :bozturk@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Kimya Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	2013
Lise	Sayısal	Bandırma Anadolu Öğretmen Lisesi	2008

YAYINLARI

Bildiri

1. Ozturk, A.B., Acarali, N., Ozgunduz, H.I., Kandilci, H.G. ve Sarac, H., (2015). "Investigation of Additives' Corrosion Inhibition Effects on Dye", ICCEA 2015:17th International Conference on Chemical Engineering and Applications, 7-8 September, Geneva.
2. Kandilci, H.G., Öztürk, A.B. ve Saraç, H., (2015). "Çimento Sektöründe Ekserji Analizi ile Enerji Verimliliğinin Araştırılması", 3.Anadolu Enerji Sempozyumu, 1-3 Ekim, Muğla.
3. Öztürk, A.B., Acaralı, N., Özgündüz, H.İ., Kandilci, H.G. ve Saraç, H., (2015). "Farklı Bor Kimyasalları ve Gomalak İçeren İnşaat Boyalarının Termal ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi", 27. Ulusal Kimya Kongresi, 23-28 Ağustos, Çanakkale.