



T.C.

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ADLİ BİLİMLER ANABİLİM DALI

**ADLİ OLAYLARDA ARAÇ İZ DELİLLERİNİN İNCELENMESİ VE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans

Züleyha KATRANCI

Çorum- 2022

**ADLİ OLAYLARDA ARAÇ İZ DELİLLERİNİN İNCELENMESİ VE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Züleyha KATRANCI

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Adli Bilimler Anabilim Dalı**

Yüksek Lisans

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Ebru GÖKMEŞE

Çorum 2022

Züleyha Katrancı tarafından hazırlanan “Adli Olaylarda Araç Boya İz Delillerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi.” adlı tez çalışması .../.../..... tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Nesrin ŞENER

.....

Prof.Dr. Ebru GÖKMEŞE

.....

Doç. Dr. Sevil ÖZKINALI

.....

Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun .../.../..... tarih ve sayılı kararı ile'ın Anabilim Dalında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Prof. Dr. Muhammed Asif Yoldaş

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Züleyha KATRANCI



ADLI OLAYLARDA ARAÇ İZ DELİLLERİNİN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Züleyha KATRANCI

ORCID: 0000-0001-8942-0164

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

Ocak 2022

ÖZET

Araç boyları araba kazalarının görüldüğü olay yeri incelemelerinde sık rastlanan iz delillerdendir. Araba boylarının Adli Bilimler açısından önemi, araba kazalarında bir arabadan diğerine, hırsızlık olaylarında veya vur-kaç durumlarında boya örneklerinin aktarılmasıyla dikkat çekmektedir. Araç boyları genel olarak FT-IR, Raman, Piroiliz-GC/MS ve SEM/EDX ile analiz edilebilir. Araç boylarının kalıntı olarak bulunduğu bütün vakalarda bu boyalar delil sayılmaktadır. Kullanılan analiz yöntemleri ile olaya karışan araçlardaki boyların temel karakteristik özellikleri belirlenebilir.

Bu çalışmada Çorum'daki oto sanayiden elde edilen beş farklı araca ait boya örnekleri toz haline getirilip, FT-IR Spektroskopisi ve SEM/EDX yöntemiyle analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı marka, model ve üretim yılına sahip olan araçların birbirlerinden farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Her araca ait analiz bilgilerinin farklılık göstermesi, araç izdelillerinin önemini ispatlamıştır. Aynı renge sahip olan boya numunelerinin bile farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Boyaların kimliklendirilmesi açısından önemli olan bu tür çalışmalar Adli Bilimlere katkı sağlayacaktır. Analizler bize araç iz delillerinin kanıt olarak önemini göstermiştir. Her araca ait analiz bilgileri ile kimliklendirme yapılabilir. Suça karışan araçlar görgü tanığı veya kamera kaydı olmasa da tespit edilebilecektir.

Ülkemizde araç veri tabanı oluşturulmasına ihtiyaç vardır. Bu çalışmanın ileride ülkemizde adli bilimlerde kullanılabilecek araç veri tabanı kütüphanesi için katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Anahtar Kavramlar: Araç Boyası, Adli Bilimler, İz Delil, FT-IR, SEM/EDX

Bilim Kodu: 20101, 20117

EXAMINATION AND EVALUATION OF VEHICLE PAINT TRACES IN FORENSIC CASES

Züleyha KATRANCI

ORCID: 0000-0001-8942-0164

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL

Master of Science Thesis

January 2022

ABSTRACT

Vehicle paints are one of the most common trace evidence in crime scene investigations where car accidents are seen. The importance of car paints in terms of Forensic Science draws attention with the transfer of paint samples from one car to another in car accidents, theft events or hit-and-run situations. Vehicle paints can generally be analyzed by FT-IR, Raman, Pyrolysis-GC/MS and SEM/EDX. In all cases where vehicle paints are found as residues, these paints are considered as evidence. With the analysis methods used, the basic characteristics of the paints on the vehicles involved can be determined.

In this study, paint samples of five different vehicles obtained from the auto industry in Çorum were pulverized and analyzed by FT-IR Spectroscopy and SEM/EDX method. As a result of the analysis, it has been observed that vehicles with different brands, models and production years give different results from each other. The fact that the analysis information of each vehicle differs has proven the importance of vehicle traces. It has been observed that even paint samples with the same color give different results. Such studies, which are important for the identification of paints, will contribute to Forensic Science. The analyzes have shown us the importance of vehicle trace evidence as evidence. Identification can be made with the analysis information of each vehicle. Vehicles involved in the crime can be detected even if there is no eyewitness or camera recording.

There is a need to create a vehicle database in our country. It is aimed that this study will contribute to the tool database library that can be used in forensic sciences in our country in the future.

Key Terms: Vehicle paint, Forensic Science, Trace Evidence, FT-IR, SEM/EDX

Science Code: 20101, 20117

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana yol gösteren, konu seçiminden araştırmanın yürütülmesine kadar emeklerini esirgemeyen danışmanlığımı üstlenen hocam Prof. Dr. Ebru Gkmeře' ye,

Araştırmada kullanılan analiz yöntemlerinde yardım eden görüş ve önerilerinden yararlandığım sayın Doç. Dr. Sevil zkınalı' ya,

Tez çalışmamın gerçekleştirilmesinde bana yardımcı olan tezim süresince yardımını esirgemeyen Dr. B. Burak İskefiyeli' ye,

Hayatım boyunca beni destekleyen, haklarımı asla ödeyemeyeceğim aileme teşekkür ederim.

Züleyha KATRANCI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
GİRİŞ.....	1
1. BÖLÜM	
İZ DELİL NEDİR?	
1.1. Delil Olarak Boya.....	3
2. BÖLÜM	
KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	
2.1. Boyanın Tarihçesi.....	5
2.2. Boyanın Bileşenleri.....	5
2.2.1. Pigmentler.....	5
2.2.2. Bağlayıcılar.....	7
2.2.3. Çözücüler.....	9
2.2.4. Katkı Maddeleri.....	9
2.3. Araç Boyaları.....	10
2.3.1. OEM (Original Equipment Manufacturer) boyaları.....	10
2.3.2. Tamir boyaları.....	10
2.3.3. Boya katmanları.....	10

2.4. Araç Boyalarının Adli Muayenesi.....	11
2.4.1. Taramalı elektron mikroskobu.....	12
2.4.2. FT-IR spektroskopisi.....	12
2.5. Kaynak Araştırması.....	13

3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal.....	17
3.2. Yöntem.....	17

4. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. FT-IR ile ilgili bulgular.....	19
4.2. SEM ile ilgili bulgular.....	28

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	33
-------------------------------	-----------

KAYNAKLAR.....	34
-----------------------	-----------

EKLER.....	37
-------------------	-----------

EK-1.....	37
------------------	-----------

TABLULAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Yaygın olarak kullanılan boya pigmentleri ile ilgili elementler	6
Tablo 2.2. Bağlayıcıların kullanıldığı yerler	7
Tablo 2.3. Ortak bağlayıcıların grup frekansları	8
Tablo 2.4. Katkı maddeleri ve kullanım amaçları	9
Tablo 3.1. Araştırmada kullanılan boya örneklerinin özellikleri	17
Tablo 4.1. Renault Toros marka 1997 model mavi renkli araç boyasının FT-IR spektrum çizelgesi	19
Tablo 4.2. Volkswagen Polo marka 2104 model kırmızı renkli araç boyasının FT-IR spektrum çizelgesi.....	21
Tablo 4.3. BMW 3 Series marka 2016 model beyaz renkli araç boyasının FT-IR spektrum çizelgesi.....	22
Tablo 4.4. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araç boyasının FT-IR spektrum çizelge	24
Tablo 4.5. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araca çarpan kırmızı araç boyasının FT-IR spektrum çizelgesi	25
Tablo 4.6. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araca çarpan kırmızı araç boyasının ve 2014 Volkswagen polo (kırmızı)FT-IR spektrum çizelgesi	26
Tablo 4.7. Renault Toros, Volkswagen Polo ve BMW 3 Series araç boyalarının elementel analiz sonuçları	30

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Renault Toros marka 1997 model mavi renkli boya numunesinin 4000-400 cm ⁻¹ arası FT-IR spektrumu.....	19
Şekil 4.2. Volkswagen Polo marka 2014 model kırmızı renkli boya numunesinin 4000-400 cm ⁻¹ arası FT-IR spektrumu	20
Şekil 4.3. BMW 3 Series marka 2016 model beyaz renkli boya numunesinin 4000-400 cm ⁻¹ arası FT-IR spektrumu.....	22
Şekil 4.4. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araç boyası numunesinin 4000-400 cm ⁻¹ arası FT-IR spektrumu.....	23
Şekil 4.5. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araca çarpan kırmızı araç boyasının 4000-400 cm ⁻¹ arası FT-IR spektrumu	25
Şekil 4.6. (2014) kırmızı Volkswagen polo ve kırmızı renkli marka ve modeli bilinmeyen araca ait FT-IR spektrumlar	25

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Araç üzerinde boya katmanları.....	11
Resim 2.2. Dört farklı kırmızı arabadan alınan dış boya katmanlarının FT-IR spektrumları..	13
Resim 4.1. Renault Toros marka 1997 model mavi renkli araç boyasının elektron mikroskobu görüntüleri	28
Resim 4.2. Renault Toros marka 1997 model mavi renkli boyanın EDX sonuçları.....	28
Resim 4.3. Volkswagen Polo marka 2014 model kırmızı renkli araç boyasının elektron mikroskobu görüntüleri.....	29
Resim 4.4. Volkswagen Polo marka 2014 model kırmızı araç boyasının EDX sonuçları.....	29
Resim 4.5. BMW 3 Series marka 2016 model beyaz renkli araç boyasının elektron mikroskobu görüntüleri.....	30
Resim 4.6. BMW 3 Series marka 2016 model beyaz araç boyasının EDX sonuçları.....	30
Resim 4.7. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araç boyasının elektron mikroskobu görüntüleri	31
Resim 4.8. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araca çarpan kırmızı araç boyasının elektron mikroskobu görüntüleri	31

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	Alüminyum
N	Azot
Cu	Bakır
Br	Brom
Fe	Demir
H	Hidrojen
Ca	Kalsiyum
C	Karbon
Cl	Klor
Mg	Magnezyum
O	Oksijen
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
Cm	Santimetre

Kısaltmalar

FT-IR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
LIBS	Lazer etkileşimli plazma spektroskopisi
OEM	Original equipment manufacturer
PDQ	Paint data query (boya veri tabanı)
Py-GC-MS	Piroliz – gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
UV-VIS	Ultraviyolu-görünür spektroskopisi
XRF	X ışını floresansı

GİRİŞ

Adli bilimin kullanımıyla ilgili kaydedilen ilk vaka, M.Ö 44 civarındadır. Julius Ceasar'ın 23 bıçak yarası aldığı davadır. Romalı hekim Antitius tarafından otopsi yapılmıştır. Bu otopsi raporu muhtemelen tıbbi bilginin bir cinayet soruşturmasına ilk kez uygulanması ve tarihte bir patoloğun uzman tanık olarak görüş bildirdiği ilk kayıttır. Akademik literatürde adli bilimlerin 19. Yüzyılın sonlarına kadar izlenebilir. Adli bilimin doğru kullanımı ile elde edilen kanıtlar mahkemede suçlarla mücadele için kullanılabilir (Loriam, 2018).

The Fox olarak bilinen Malcolm Fairley İngiltere 'de Bedfordshire, Buchinghamshire ve Hertfordshire bölgelerinde hırsızlık ve cinsel suçlar işleyen saldırganı. Yüzünü kapattığı için görgü tanıkları saldırganı tarif edememiştir. Polis suçlu hakkında iki önemli hayati bilgiye sahipti. Bunlardan biri solak olması diğeri kaçarken çalılıklarda kalan sarı boya örneğidir. Yapılan analiz sonucu sarı boyanın Austin Allegro marka araca ait olduğu bulunmuştur. Evinin önünde aracı yıkarken yakalanan suçlu tutuklanmıştır.

Green River katili olarak bilinen Gary Ridgway, Amerika Birleşik Devletleri'nde tarihindeki en tanınmış seri katillerindendir. 48 cinayetten ömür boyu hapis cezası alan Ridgway kendisi ile bağlantılı iki vakadaki kurbanların üzerinde iş giysisiyle uyumlu boyanın akrilik üretilen bileşimi olduğu bulunmuştur. Bu ürün Ridgway'in çalıştığı kamyonet fabrikasında kullanılan boya ile eşleşmiştir ve katil suçunu itiraf etmiştir. Ridgway'in avukatı basına açıklama yaparken boya kanıtının müvekkilinin fikrini değiştirmesinde çok önemli olduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla bu örnekler boyanın kanıt olarak değerini göstermektedir (Suzuki ve Ryland, 2012).

1900 yılların başından bugüne kadar karşılaşılan araç kazaları, vur-kaç olayları gibi durumları konu alan makaleler araç boyasının iz delil olarak önemini ortaya koymuştur.

Boya endüstrisinin boya analizi için kendi teknikleri vardır fakat bu teknikler üretim sürecini kontrol etmek veya incelemek gibi endüstriyel amaçlıdır. Tipik adli amaçta ise boya kanıtlarının aralarında ilişki olup olmadığını ve boyaların kökenlerini belirlemek için mikroskopik parçaların incelenmesi gerekir (Suzuki ve Ryland, 2012).

Boya parçaları ve boya kalıntıları, bir suç mahallinde bulunabilecek en yaygın iz kanıt türlerinden biridir. Boya transferinin en yaygın kullanımı otomobil kazası durumundadır. Ancak boyalı yüzeylerin bulunabileceği çok sayıda yer vardır. Kuru boyalı yüzeyler başka bir katı yüzeye temas ettiğinde bir miktar aktarım meydana gelir.

Sulu boyalardan kaynaklanan boya lekeleri başka bir kanıt kaynağıdır. Sulu boyadan gelen lekeler, ona dokunan her şeye bulaşabilir. Sulu boya, iyi bir saç, kıl ve lif kanıtı kaynağıdır. Sulu boyalar, boyaya işlenmiş parmak izi, avuç izi, kulak izi gibi kanıtları barındırabilir.

Boya çok katmanlı kompozit bir malzeme olduğundan dolayı örneklerin tüm boya katmanlarını içermesi gerekir. Tabakaların kalınlıkları ve dizileri arasındaki farklılıklar boyalı bir yüzeyde

ve kısa mesafelerde önemli olabilir. Yüzeyin fiziksel işlemlerden geçme durumu var ise ve farklılık olduğundan şüpheleniliyor ise çeşitli bölgelerden boya örnekleri toplamak gerekir (Doğan,2016).

Boya transferinin şüpheli olduğu kaplama yüzeyi mümkün olduğu kadar analize dahil edilmelidir. Olay yerindeki araca ait kapı, pencere, kapı kolları ve çamurluklar gibi parçaları dikkatle incelemek yararlı olabilir (Doğan, 2016).

Bu çalışmanın amacı, SEM/EDX ve FT-IR spektroskopisi yöntemlerini kullanıp, kaza sonrası araçlardan alınan birkaç numune incelemesinde elementel düzeyde farklılıkları tespit etmektir.

.



1. BÖLÜM

İZ DELİL NEDİR?

Adli bilimler tarihi gibi iz kanıtlarının başlangıç tarihi de çok eski yıllara dayanmaktadır. İz kanıtlarının kullanımına ilişkin anekdot niteliğindeki açıklamaların bin yıl öncesine dayandığı söylenebilir. İz kanıtlarının ilk ifade edilen genel kabulü Sherlock Holmes'un kurgusal hikayelerinde ortaya çıkmıştır. Holmes'un hikayelerinin ortaya çıkmasından kısa bir süre sonra Avusturya Yargıcı Hans Gross, ceza soruşturmasında iz kanıtlarının kullanılmasına dair önerileri olan bir kitap yayınlamıştır. Daha sonra ABD'nde Edward Oscar Heinrich, Fransa'da Edmunt Locard ve Almanya 'da Georg Popp vaka çalışmalarında iz kanıtını ilk kullanan bilim adamları olmuşlardır (Forest, 2001).

Birçok adli soruşturmanın birincil amacı, kişiler yerler veya ilgili nesnelere arasında bağ kurulmasıdır. Bu bağlantılar genellikle fiziksel veya maddi kanıtlar kullanılarak desteklenir. Fiziksel kanıtların çoğu, belgeler giysiler veya silahlar gibi makroskobik öğelerdir. Bu kategori, parmak izleri, toprak, cam, boya, saç veya patlayıcı partikülleri içerebilen ve yaygın olarak 'iz kanıtı' olarak adlandırılan mikroskobik miktarlarda fiziksel maddeyi içerir (Sauzier, 2016).

Temas yoluyla oluşan iz kanıtı, desen kanıtı ve aktarılan materyal olmak üzere iki tür kanıt meydana getirir. Aktarılan materyalin önemli bir kanıt olması iki temel açıdan değerlendirilir. İlk olarak şüpheli kaynağı ile aktarılan materyal; ilişkilendirmenin kanıtı olabilir veya aktarılan materyal ile alındığı yüzey arasındaki ortak özelliklere bakılabilir. İkinci olarak temastan kaynaklanan iz kanıtı olarak kullanılabilir. Alıcı yüzeyindeki madde veya referans yüzeyinden çıkarılan maddenin esası önemlidir. Bu kanıtı çalışmak için karşılık gelen yüzeydeki bir modelle karşılaştırılarak menşei ortaklığı hakkında bilgi verir ya da sonuca ışık tutar (Forest, 2001).

1.1. Delil Olarak Boya

Boyalar veya teknik olarak adlandırıldıkları şekliyle yüzey kaplamaları, ahşap ve kâğıttan çeşitli metallere ve plastiğe kadar birçok yüzeye uygulanan malzemeler olarak kabul edilir. Genellikle boyaların korumak, güzelleştirmek ve kusurları gizlemek amacıyla kullanıldıkları bilinir (Bentley, 2001).

Mimari boyanın uygulanması için çok katı kurallar yoktur ve genellikle adli davalarda karşılaşılan mimari boyanın uygulandığı durumlar amatörler tarafından yapılabilir. Diğer taraftan araç boyası uygulamaları oldukça teknik işlemlerdir ve genellikle profesyoneller tarafından gerçekleştirilir (Kirkbride, 2016).

Delil olarak boya, diğer kanıt türlerinin yaptığı gibi kategorilere ayrılır. Boya kelimesi geldiği sınıfı gösterir. Otomobil boyası, ev boyası, mimari boya, resim boyası ve diğer boya türleri arasında ayırım yapmak anlamına gelebilir. Bu genellikle çeşitli boya katmanlarının çok detaylı kimyasal analizi ve boya özelliklerinin fiziki muayenesi ile yapılır. Çeşitli üreticiler aynı boya

tedarikçisini kullanıyor olsa da katmanlar ve renkler üreticiden üreticiye değişiklik gösterir (Saferstein, 2005).

Herhangi bir kanıtta olduğu gibi, nadiren birebir bir eşleşme vardır. Araştırmacının yapabileceği en iyi şey, iki numune arasında birçok benzerlik noktası kurmaktır. Böylece numunenin farklı kökenlere sahip olma olasılığı düşecektir.

Boya talaşı ve transferinin en yaygın kullanımı otomobil kazaları durumundadır. Boya transferi, bir eve veya araca girmek için kullanılan aletlerin üzerlerinde boya şeklinde izi bulunan hırsızlık durumlarında da kullanılmaktadır (Saferstein, 2005).



2. BÖLÜM

KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Boyanın Tarihçesi

İnsanlık tarihinde en eski boya örnekleri buzul çağına dayanmaktadır. Fransa Chauvet-pont-d'arc mağarası, İspanya'da Altamira ve yine Fransa Lascaux civarında mağara içlerinde bulunan resimler çok bilinen örneklerdir. Yapılan kimyasal analizlerde, kömür, bitki özütü, kan, böğürtlen gibi çeşitli renklerde çamurlar kullandıkları görülmektedir. Renklendirme çoğunlukla toprağa renk veren, sarı, kırmızı, kahverengi demir oksitlerle yapıldığı anlaşılmaktadır.

Boya ile ilgili ilk büyük ilerlemenin zamanımızdan 5.000 yıl öncesinden itibaren Eski Mısır Uygarlığı döneminde yaşandığı görülmektedir. Mısırlılar yeni pigment üretme teknikleri buldular ve carmine adında kırmızı renk ürettirler. Yunanlılar 19. yy'da titanyum dioksit bulunana kadar kurşun beyazını kullandılar. Yunanlılar resim için bal mumu bazlı çini boya tekniklerini kullandılar. Romalılar, Mısır ve Yunan pigmentlerinin yanı sıra İspanya 'da çıkarılan kırmızı vermilyon pigmentleri kullandılar. Akdeniz bölgesinde sanat eserlerinde bitkisel boyalar uygulanmıştır (Henning ve Lynch, t.y.).

Pigmentler minerallerden meydana gelir ve pigmentler incelendiği zaman köken olarak nereden geldiği, ustasıyla nasıl buluştuğu hakkında ipuçları sağlar. Teknolojik gelişmelerle boya yapımı, sentetik pigment ve kimyasal işlemlerle hızlanmıştır (Henning ve Lynch, t.y.).

Bağlayıcı olarak kazeinin kullanılmaya başlanıldığı; bakır oksit ve alüminadan yola çıkılarak yapılan bir mavi pigmentin, karbon siyahının, tebeşirin, kurşun beyazının, mangan oksitin, demir oksit karışımlarının, indigonun ve karmen gibi çeşitli böcek özütlerinin karışımlarıyla değişik renklerin elde edildiği arkeolojik bulgulardan anlaşılmaktadır. Bezir yağının M.Ö. IV. Yüzyılda boya yapımında kullanıldığına ilişkin belgeler mevcuttur. Günümüzde kullanılan en yaygın boya bağlayıcıları olan alkid reçineleri Kienle ve Fergusson tarafından geliştirilmiştir. 19. Yüzyılda yaşanan sanayi devrimi ile birçok kimyasal madde daha sanayide uygulama alanlarına girmiştir (Seymour, 1990).

2.2. Boya Bileşenleri

Boyalar dört ana bileşenden oluşur. Bunlar; pigmentler, bağlayıcılar, çözücüler ve katkı maddeleridir.

2.2.1 Pigmentler

Boyayı çekici hale getiren en önemli unsur rengidir. Boyaya ilave edilen boyarmaddenin kazandırdığı rengin insan gözüne güzel görünebilmesi için hem boyarmaddenin kendisinden hem de onun boyayı oluşturan bileşenler ile etkileşiminden kaynaklanan pek çok unsur, boyanın rengini belirlemektedir.

Pigmentler, küçük partiküller halinde olan bir çözücüde veya bir bağlayıcıda çözünmeyen boyanın temel taşlarından biridir. Organik veya inorganik yapıya sahip olan renkli veya renksiz bulunabilen ve herhangi bir tabaka oluşturmayan kimyasal maddelerdir (Kimya Teknolojisi Pigmentler, 2013). Organik pigmentler karbon içerirken inorganik pigmentler karbon içermezler. Organik pigmentler inorganik pigmentlerden daha parlak ve yüksek renk gücüne sahiptir fakat ışığa inorganik pigmentler kadar dayanıklı değildir.

Organik pigmentlere; azo pigmentler, diazo pigmentler, polisiklik pigmentler, ftalosiyanın pigmentler, kinakridon pigmentler örnek verilebilir. İnorganik pigmentlere; titanyum dioksit (beyaz), demir oksit (sarı tonları), krom oksit (yeşil), örnek verilebilir.

Bakır ftalosiyonin mavisi ve titanyum dioksit boyalarda kullanılan çok yaygın pigmentlerdendir. Boyada kullanılan pigmentlerin büyük çoğunluğu seçici absorpsiyon ile görünür ışığın belirli dalga boylarında seçici absorpsiyon ile renk üretir (Suzuki ve Ryland, 2012).

Birçok yaygın boya pigmenti birden fazla biçimi bulunur; birden fazla kristal yapıda meydana gelebilir ve bazı durumlarda iki aynı pigmentin farklı kristal yapıları oldukça farklı tonlar sergileyecektir. Titanyum dioksit, rutil, anataz ve brokit olmak üzere üç polimorfik formu sahiptir ancak bunlardan ilk ikisi boyalarda kullanılır. Pigment kullanımında, boya formülatorleri polimorfizm etkilerinin farkında olmalıdır (Suzuki ve Ryland, 2012).

Tablo 2.1. Yaygın olarak kullanılan boya pigmentleri ile ilgili elementler (Kirkbride, 2016)

Pigment	Ana elementler
Mica (muscovit)	Al, Si, K
Bentonit	Na, Al, Mg, Si
Talk	Mg, Si
Kaolin	Al, Si
Dolomit	Ca, Mg
Feldspat	Si, K, Na, Al
Nikel titanatlar	Ti, Ni (muhtemelen Sb veya Nb içerir)
Krom titanatlar	Ti, Cr (muhtemelen Sb veya Nb içerir)
Bizmut vanadat	Bi, V (muhtemelen stabilizör kaplamasından Mo, Al ve Zn içerir veya Si, Zn, P içerir. Pigment kapsüllenmişse Al)
Molibdat turuncusu	Mo, Pb, Cr, S
Krom sarısı	Pb, Cr, S (pigment kapsüllenmişse Si içerir)

C=O, NO₂, NO, C=C, CHO grupları bir maddede bulunursa, maddenin 400-800 nm arasında absorpsiyon yapmasına neden olur. Bu aralıkta absorpsiyon yapan maddeler, absorpladıkları rengin tamamlayıcısı olan renkte görünürler. Böyle gruplara kromofor gruplar denir. Bu

gruplar, gevşek bağlı elektron olması nedeniyle geçişleri düşük enerjyle gerçekleştirme özelliğine sahiptir (Anonim, t.y.).

NH₂, OH, SH gibi gruplar, kendileri renkli olmasalarda renkli maddelerde bulunurlarsa maddenin absorpsiyonunu uzun dalga boyuna kaydırır ve absorpsiyon şiddetini arttırlar. Bu gruplar ise oksokrom grup olarak adlandırılır. Oksokrom gruplar genellikle renk yardımcıları olarak bilinirler. Boya yapmak için birlikte kullanılan bu gruplar, oksokromun uygun bir kromofor gruba birleştirilmesi ile oluşur. Böylece malzemeye daha derin renk verilmiş olur (Anonim, t.y.).

2.2.2 Bağlayıcılar

Bağlayıcılar boyanın yüzeye tutunmasını sağlayarak boya içinde homojen olarak dağılan maddelerdir. Bağlayıcılar boyanın niteliğini belirler. Boyaların katmanları arası uyuşup uyuşmayacağı, dayanıklılığı, parlaklığı, uygulama biçimi, uygulandığı yüzeydeki davranışları karakteristik özellikleridir (Kimya Teknolojisi, 2011).

Boya bağlayıcıları olarak kullanılan polimerler arasında akrilikler, alkidler, polyesterler, üretanlar, epoksitler, viniller, selülozikler ve silikonlar sayılabilir (Morgans,1990; Ryland, 1995; Thornton 2002). Tablo 2.2' de bağlayıcıların kullanıldığı yerlere göre sınıflandırılması görülmektedir.

Tablo2.2. Bağlayıcıların kullanıldığı yerler (Kimya Teknolojisi 2011)

Kuruma Tipi	Bağlayıcı Tipi	Ürün Örneği
Çözücü buharlaşması ile	Selülozik reçineler Klor kauçuk reçineler Termoplastik reçineler Silikon reçineleri PVA; akrilik	Araç boyaları Deniz boyaları Autofine sistem Yüksek ısıya dayanıklı boyalar
Oksidasyon ile	Alkid ve modifiye alkid Kuruyan yağlarla Modifiye Fenolik, hidrokarbon ve kumaron reçineler	Ferrolin, alüminyum ve bazı deniz boyaları
Fırın kurumalı	Alkid amino Termoset akrilikler Epoksi aminolar Fenolik reçineler	Sanayi boyaları
Reaksiyon kurumalı	Epoksi-poliamin	

	Epoksi-poliamid Akrilik-izosiyanat Poliüretan-izosiyanat Poliester-izosiyanat Poliester-peroksit	Yat ve mobilya sistemleri
--	--	---------------------------

FT-IR spektrometri, boyanın incelenmesi için en iyi bilinen bir tekniktir. Farklı polimer sınıflarından kaynaklanan boyaların farklılaşması (alkidler, akrilikler gibi bağlayıcılar ve inorganik pigmentler) spektral veriler ile tanınabilir. Boyaların spektrumları karmaşık olmasına rağmen pikleri ayırt etmek mümkündür (Kirkbride, 2016).

Tablo 2.3' de ortak bağlayıcılar için karakteristik grup frekansları gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Ortak bağlayıcılar için grup frekansları (Kirkbride, 2016)

Bağlayıcı	Orta Kızılötesi Absorbansı (cm ⁻¹)
Akrilik	1730, 1450, 1380, 1260, 1170, 1150
Ortoftalik alkid	1725, 1450, 1380, 1270, 1130, 1070, 740, 700
İzoftalik alkid	1725, 1475, 1375, 1305, 1237, 1135, 1074, 730
Tereftalik alkid	1725, 1270, 1250, 1120, 1120, 1105, 1020, 730
Epoksi	1510, 1240, 1180, 830
Nitroselüloz	1650, 1280, 840
Polivinil asetat	1735, 1235, 1370, 1025, 1110, 1435, 945
Poliüretan modifikasyonu	1690, 1460
Stiren modifikasyonu	1490, 1450, 760, 700
Üre modifikasyonu	1655
Melamin modifikasyonu	1550, 815
Benzoguanamin modifikasyonu	1590, 1540, 825, 780, 710
Silikon modifikasyonu	1020, 1100, 1260, 800

2.2.3. Çözücüler

Çözücüler boya ve boya malzemelerinin üretim aşamasından itibaren boyayı çözmek ve dağıtmak amacıyla kullanılan maddedir. Aynı zamanda; boyada kullanılan katı veya oldukça viskoz olan bağlayıcıları çözüp homojen bir faz oluşturan uçucu sıvılardır.

Boyaya akışkanlık ve homojen bir karışım özelliği kazandırır. Boya yüzeye uygulandıktan sonra çözücü buharlaşarak pigment ve bağlayıcının boya filmi oluşturmasını ve kurumasını sağlar.

Çözücüler boyayı çeşidine, özelliklerine göre uygun kalınlık kazandırabilecek şekilde uygulama kıvamına getirir. Bu kıvamı yakalayacak oranda çözücüler boyaya katılır. Karışım oranları üretici firmalar tarafından belirlenmiştir. Boya ve kaplamalarda kullanılan birçok çözücü türü vardır. Hidrokarbon çözücüler, ketonlar, esterler alkoller bunlardan bazılarıdır (Kimya Teknolojisi 2014).

2.2.4. Katkı maddeleri

Katkı maddeleri, boyanın cinsine ve üretim amacına göre boya verimini arttırmak amacıyla ilave edilir. Katkı maddeleri boyaya isteğe göre parlaklık, matlık, esneklik, dayanıklılık gibi boyaya özgün özellikler kazandırır.

Boyada az miktarda kullanılırlar ve üreticiler arası fark katkı maddelerinin farklı olmasından kaynaklanır. Katkı maddeleri; boyanın ömrünü uzatmak, boyanın kusurlarını ortadan kaldırmak ve olumsuzlukların gidermek için kullanılır (Kimya Teknolojisi 2012). Tablo 2.4.'de katkı maddeleri ve kullanım amaçlarına örnek verilmiştir.

Tablo 2.4. Katkı maddeleri ve kullanım amaçları

Katkı Maddeleri	Kullanım Amaçları
Dispersanlar	Pigmentlerin dağılmamasını sağlamak
Yüzey ajanları	Yüzeyi pürüzsüz hale getirmek
Plastikleştiriciler	Boyadaki kaplamaların esnekliğini sağlar
Alev geciktiriciler	Yangına dayanıklılık sağlar
Fungusitler	Mantar ve bakterileri öldürmek
Kurutucular	Boyanın kırılmasını ve kabuklaşmasını önlemek
Antifiriz	Donmayı engellemek

2.3. Araç Boyaları

Hem dekoratif kaplama hem işlevsel bir kaplama olan otomotiv boyası yüzey kaplaması olarak da adlandırılabilir. Alt tabakayı gizleyerek göze hoş görünür, metal ve plastiği korur, ultraviyole ışınları, tuz, taş ve diğer arabalarla temastan kaynaklanan yaralanmalardan korur (McIntee, 2002).

Araba boyalarını genel olarak orijinal araç üretiminde uygulanacak boyalar otomotiv OEM (orijinal ekipman üreticileri) boyaları ve araç tamir boyaları olarak ikiye ayrılırlar.

2.3.1. OEM (Original Equipment Manufacturer) boyaları

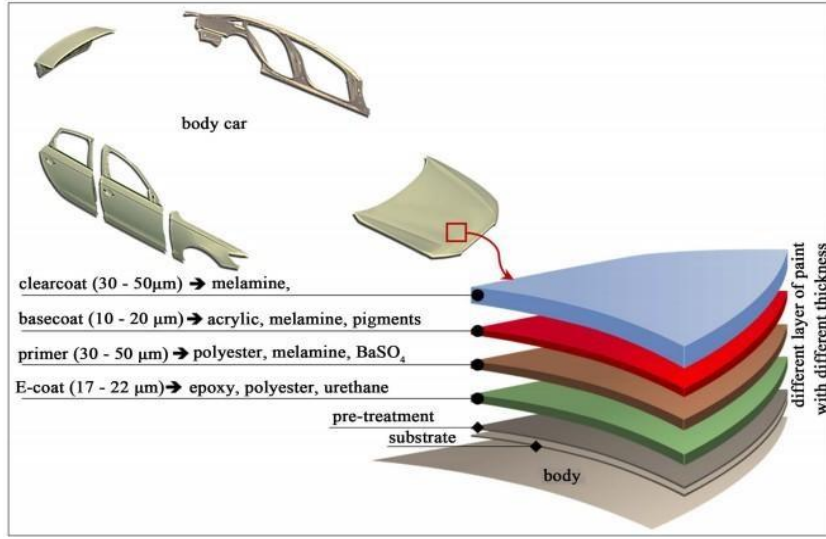
Arabaların üretimleri sırasında uygulanacak boyalara “OEM Boyaları” denilmektedir. Uygulanan OEM (Original Equipment Manufacturer) boyaları sonucu araba üzerindeki boya kaplamaların tamamına boya gamı denilmektedir. Binek araçların boyanma işlemi, araç gövde iskeletinin üretilmesi sonrası yapılan ilk uygulamadır. Araçlarda gövde montajı, araçların boyama işleminin tamamlandıktan sonra yapılmaktadır (Bayram, 2015).

2.3.2. Tamir boyaları

Araçlara tamir boyaları, kaza sonucu, bölgesel boya hasarı, kişisel istekler v.b. gibi çoğaltılabilecek farklı nedenlerden ötürü uygulanmaktadır. Tamir boyalarında da boya, OEM boyalarındaki gibi farklı aşamalar sonucu oluşmaktadır. Bu aşamalar araca yapılmak istenen işleme göre değişiklik gösterir. Bu aşamalar; zımparalama, macunlama, plastik astar, astar, renkli bazkat ve verniktir (Bayram, 2015).

2.3.3. Boya katmanları

Araç üretimi tamamlandıktan sonra aracın korozyona, hava koşullarına, kimyasal etkilere karşı korumak ve uzun süreli dayanıklılık özellikleri tek bir katman boya ile karşılanmaz. O yüzden öncelikle aracın çelik gövdesine uygulanan, paslanmaya karşı dirençli olan elektrocoat astar çekilir. Üzerine aracın dikiş ve kusurlarını gizleyen yüzeyi düzleştiren primer yüzey kaplayıcı uygulanır. Bazkat- renkli kaplama (esas katman) da ise farklı katkı maddeleri ile efektler eklenir. Bu farklı efektler üç kategoriye ayrılır. Bunlar ışıltı etkisi olmayan en kolay boya türü olan katı boyalar, metalik görüntü ve ışıltı etkisi veren metalik boyalar, genellikle ‘inci’ olarak adlandırılan yanardöner pigmentler içeren sedefli boyalardır (Anonim, 2021). Aracın en üst yüzeyine ise pigmentsiz katman olan parlaklığı dayanıklılığı ve görünümü iyileştiren clear coat katman çekilir ve tipik bir otomotiv kaplama süreci tamamlanmış olur (Resim 2.1.).



Resim2.1. Araç üzerindeki boya katmanları

2.4. Araç Boyalarının Adli Muayenesi

Boya kırıntıları ve lekeler, sık sık vur kaç olaylarında, olay mahallerinde ve ayrıca bir araçtan diğerine veya bir araçtan vurulan kişiye aktarılabilen diğer kaza vakalarında fiziksel kanıt olarak bırakılır. Boya delillerini toplamak ve muhafaza etmek, suç mahallinin güvenliğini sağlamakla başlar. Bir boya numunesi alınmadan önce, numuneyi içeren alanın kanıtı bozmadan fotoğrafı çekilir. Bu nedenle görevli kişilerin olay yeri alanındaki herhangi bir bozulmanın, boya kanıtlarını potansiyel olarak kirletebileceğine dikkat etmelidirler. Olay yeri inceleme ekipleri daha sonra boyayı bulunduğu yüzey alanından dikkatlice kazıyarak veya soyarak boya numunesini toplarlar. Bu nedenle araştıran görevli boya kanıtlarını toplamada yetkin ve etkili olmalı ve fiziksel kanıt olarak boyanın öneminin farkında olmalıdır. Toplama işlemi sırasında cımbız gibi aletler kullanılabilir (Kumar, 2018).

Boya toplama işlemi sırasında alınan boya yongaları, boya katmanlarının hepsini (mümkünse) içermelidir. Toplanan fiziksel deliller (boya örneği içeren cam, far, gibi) plastik poşet veya cam şişeler yardımıyla laboratuvara gönderilirken, giysiler üzerinde boya yongaları varsa temiz bir kâğıda sarılıp gönderilir.

Olay yerinden laboratuvara getirilen kuru boya çipleri analiz için bir dizi işlemde geçirilir. Kullanılan yöntemin seçimi, ürün miktarına ve durumuna bağlıdır.

Laboratuvara getirilen delillere analistin bilgileri ve tarih yazılır. Analiz başlayana kadar delil güvende saklanır.

Analizi yapılacak boya çipine ilk olarak görsel muayene yapılır. Numune makroskobik olarak değerlendirilir. Eğer numune boya çipi değilse rapor tutulur ve inceleme tamamlanır. Makroskobik muayene sonucunda boya çipi ise inceleme devam eder.

Mikroskop yardımı ile boya numunesinin katman sayısı ve sırası belirlenir. Referans bir boya numunesi varsa karşılaştırma yapılır. Fiziksel eşleşme sağlanırsa rapor tutulur. Fiziksel eşleşme yoksa analitik yaklaşım için örnek değerlendirilir. Kullanılacak yöntem uygun numune hazırlanır. Analist isteğe bağlı boya çipine çözücü testleri uygular. Çözücü testleri ile boyanın şişerek, kıvrılır, yumuşayarak veya diğer şekillerde reaksiyon verip vermediğine bakar. Boyaların; tüm katmanlarının bağlayıcı analizleri, pigment analizi, katkı maddelerinin analizi yapılabilir.

Boya numunesinin analizi mikrotom yardımıyla ince bir kesit alınarak veya toz haline getirilerek yapılabilir. Boya çipinin enstrümental analizi; FT-IR spektroskopisi, SEM, PC/GC-MS, raman spektroskopisi ile analiz edilerek sonuca ulaşılabilir. Elde edilen sonuçlar rapor edilir. Boya çipinin kanıt olarak mahkemeye sunulması için iki analiz yönteminin birbirine paralel sonuçlar vermesi gerekmektedir.

2.4.1. Taramalı elektron mikroskobu

İnsanların küçük detayları görebilme olasılıkları sınırlıdır. Bu yüzden daha küçük ayrıntıları görebilme imkânı sağlayan cihazlar geliştirilmiştir. Optik sistemler ve elektroniğin bir arada kullanılmasıyla materyal üzerinde analiz ve işlem yapabilmemize olanak sağlayan görüntülerin elde edildiği cihazlar kullanılmaktadır. Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope- SEM), bu amaca hizmet eden cihazlardan birisidir. Enerji Dağılımlı X Işını Analizörü (EDX veya EDA), temel tanımlama ve niceliksel kompozisyon bilgisi sağlamak için de kullanılır.

SEM, biyoloji, tıp, kimya ve yeryüzü bilimlerinden elde edilen örnekleri büyütülerek yüzey yapılarını görüntüleyerek yüzeyde meydana gelen farklılıkları değerlendirir. Üç boyutlu bir görüntü oluşturur. SEM'in kullanım alanları arasında cam parçaları, metal kalıntıları, boya ve mürekkep, ateş artıkları gibi maddeleri karşılaştırmada veya saç, lif, iplik gibi maddeleri inceleyerek kriminal laboratuvarlarda delilleri araştırmada kullanılabilir (Terim Kapakin, 2006).

Karşılaştırılan boya örnekleri benzer olduğunda SEM/EDX çok faydalı bir yöntemdir. En önemli avantajı boya örneğine tahribatının olmamasıdır. Boya örneği daha sonraki incelemeler için saklanabilir. Elde edilen sonuçlar SEM/EDX tarafından uygun kemometrik analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilir (Koscielniak ve ark., 2008).

2.4.2. FT-IR spektroskopisi

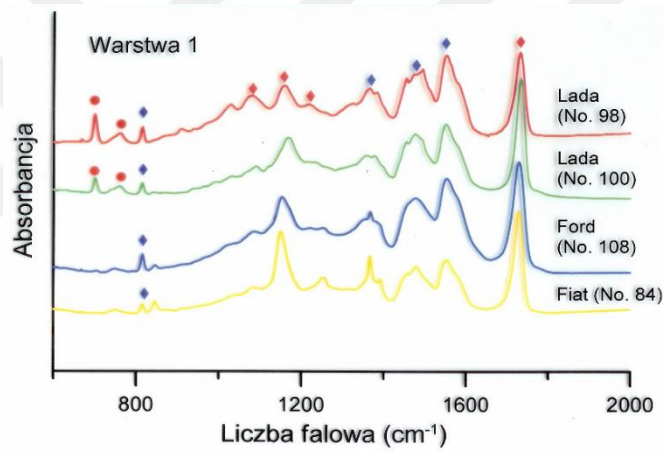
FT-IR spektroskopisi, adli bilimler tarafından bir malzemenin kimyasal bileşimi hakkında doğrulayıcı kanıt sağlamak için gereken yüksek ayırt edici gücü sahip olduğu düşünülen analitik tekniklerden biridir. Tipik adli uygulamalar arasında tekstil liflerinin, küçük boya parçalarının veya lekelerinin, ilaçların, lazer yazıcı ve fotokopi tonerlerinin, polimerlerin ve

çeşitli bilinmeyen maddelerin analizleri bulunur. FT-IR spektroskopisinin özellikle kullanıldığı alanlar arasında otomotiv boya parçacıklarının analizi dikkat çeker.

Hemen hemen tüm maddeler seçici olarak FT-IR radyasyonunu emer ve karakteristik FT-IR spektrumlar oluştururlar. FT-IR yöntemi, küçük numunelerin bile az miktarda incelenmesini mümkün kılar. Analiz için numuneler kirlenme, aşınma etkilerini önlemek için orta katmandan elde edilir (Koscielniak ve ark., 2008).

1995 yılında iki farklı boya üreticisi tarafından üretilen farklılaştırılmış kırmızı OEM akrilik melaminleri aynı marka ve modelde ayırım yapmak mümkündür (Ryland, 1995; Ryland ve ark., 2001). Titanyum dioksit ve demir oksitler hariç inorganik pigmentler, orta kızılötesi aralıkta güçlü karakteristik absorbanlar verirler (Kirkbride, 2016).

FT-IR spektrometri hem pigmente hem bağlayıcıya duyarlıdır her ikisi de boya ayırt etmeye yardımcı olur. Ancak pikler oldukça geniş ve karbon yoğun olabileceğinden bazı kritik tanısal spektral özellikler birbirini maskeleyebilir (Kirkbride, 2016).



Resim 2.2. Dört farklı arabadan alınan dış boya katmanlarının FT-IR spektrumları (Koscielniak ve ark., 2008)

Resim 2.2'de görülen küçük pikler pigmentlerden ve dolgu maddelerinden gelen en yoğun sinyallerdir. Birçok pigmentten gelen sinyaller, bağlayıcılar için karakteristik olan sinyallerle örtüşür. Çoğu durumda karakteristik polimer türü, elde edilen spektrumlar ile otomotiv veri tabanındaki bilgiler karşılaştırılır. Resim 2.2.'de aynı renge sahip, aynı markanın farklı modellerinde FT-IR spektrumları farklı çıkmıştır (Koscielniak ve ark., 2008).

2.5. Kaynak Araştırması

Yıllardır kullanılan standart yöntem olan analitik piroliz gaz kromatografisi ile çok sayıda ile analiz yapılmıştır. Çalışmada 100 numune alınmıştır, toplam 300 pirogram için üç kopya halinde analiz edilmiştir. Bilgisayar destekli veri yorumlaması Py-GC-MS verileri otomobil boya parçalarının tanımlanmasını kolaylaştırılır. Otomotiv boya ayırtmak

mümkündür. Bilinmeyen örnekler haritalara yerleştirilir ve bilinen örneklerle yakınlarına göre sınıflandırılabilir (Kochanowski ve Morgan, 2000).

Adli boya karşılaştırmalarının en zor yönü bulguların değerlendirilmesidir. 260 araç boyasının birbirleri ile standart muayene teknikleri kullanılarak karşılaştırılan ve gerektiğinde optik mikroskopi ve FT-IR yer aldığı bir çalışmada, iki örnek çift hariç tüm olasılıklar birbirinden ayrılmıştır. Ayrılamayan boya çiftlerinin aynı montaj fabrikasında aynı yıl üretilen araçların boyaları olduğu tespit edilmiştir. Böylece adli boya uzmanlarına konu ile ilgili bilgi sağlamıştır. Bu sonuçların otomotiv boyasının değerini ortaya koymak için kullanılabilir (Edmonstone ve ark., 2004).

Suç mahallinde ortaya çıkan araba boya parçalarının araştırılması müfettişlerin olayın seyri hakkında sonuçlara varmasına yardımcı olabilir. Optik mikroskop kullanılarak bir araba boyası örneğinin morfolojisi ve kimyasal bileşimi, IR ve UV/VIS mikro spektrometresi ve elementel analiz yöntemleri kanıtlar arasındaki benzerlik derecesini etkili şekilde değerlendirilmesine genellikle yardımcı olur. Fizikokimyasal sonuçlara göre bir aracın tanımlanmasında başarı, boyaların incelenmesi ve numune toplama yöntemine bağlıdır. Bir aracın boya kaplaması tüm araç gövdesinde aynı renk olmasına rağmen farklı yerlerinde farklı yapıya sahip olabilir. Bu yüzden boya heterojenliği göz önüne alınarak boyanın tüm katmanlarını kapsayacak şekilde örnek alınır. İncelemenin güvenli olabilmesi için örnek sayısı karşılaştırma arttırılarak yapılır (Zieba -Palus ve Trzcinska, 2001).

Raman spektroskopisinin adli araç boyası örneklerinin analizi için, olası katkılarını değerlendirmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Boyalar karşılaştırılarak kolaylıkla ayırt edilebilir. Farklı boyaların ayırt edilmesi bantların varlığı ve yokluğu ile mümkündür. Aynı renkte bile farklı pigmentlerin mevcut olduğu düşünüldüğünde, sınırlı sayıda örnekle yapılan bu çalışmada Raman spektrometresinin otomotiv boyasının adli analizine önemli katkılar sağladığı görülmüştür (Gelder ve ark., 2005).

Infrared spektroskopisi ile otomotiv boya yongaları üzerinde bir çalışma yapılmıştır, çok katmanlı otomotiv boya çiplerinin her katmanından gelen kızılötesi spektrumlar çipin her katmanından aynı anda tek seferde elde edilebilir. İki boya çipinin tüm spektrumları çok değişkenli istatistikler ile karşılaştırılıp ve karşılık gelen katmanlar arasındaki kimyasal farklılıkları veya benzerlikler incelenmiştir (Tahtouh ve ark., 2007).

Skenderovska ve arkadaşlarının Makedonya' da yaptıkları çalışmada farklı kökenlere sahip otomotiv son kat boyaları araştırılmıştır. Dört farklı adli vur-kaç olayında boya analizleri mikro- Raman ve FT-IR yöntemleri ile yapılmıştır. Yöntemin hızlı ve tekrarlanabilir olması, tahribatsız olması, çok küçük numunelerle çalışma tekniğinin avantajları arasındadır. Sadece vur-kaç olaylarında değil birçok adli olayda kullanılabileceğini de ifade etmişlerdir (Skenderovska ve ark., 2008).

Fiziksel kanıt olarak araba boyası adli tıp laboratuvarlarında çalışılan örnekler arasındadır. Adli soruşturma genellikle olay yerinden alınan boya ile şüpheli boyayı tanımlama veya sınıflandırma yapılır. Boya kaplamasının her bir katmanı farklı bileşenlerden oluşur. Boyanın adli muayenesinde mikroskop, FT-IR, SEM/EDX, Py-GC-MS gibi analitik yöntemlerle muayene edilir ve olayı çözme sürecini kolaylaştırırlar. Mevcut olan en büyük sorun, araba boyası üreticileri ve adli tıp laboratuvarları arasındaki iş birliğinin yeterli olmadığı şeklinde belirtilmiştir (Koscielniak ve ark., 2008).

Yeni ve boyanmış arabalardan (Lada, VW, Opel, Citroen, Fiat, Mazda, Renault) alınan 10 boya parçası 3'er defa incelenmiştir. Bu çalışmada Py-GC-MS, benzer IR spektrumu üreten boyalar arasında ayırım yapılmasına yardımcı olmuştur. Py-GC-MS tekniği ile boyanın kimyasal bileşiği hakkında bilgi edinilmiş ve yöntem adli boya muayenesi için potansiyel olarak uygun görülmüştür (Zieba-Palus ve ark., 2009).

Koscielniak ve Zieba-Palus, VIS mikro spektrometresi ile otomobil boya izlerinin renklerini incelemek için yeni araçlardan ve boyanmış arabalardan alınmış 18 katı ve metalik boya örneği incelemiştir. Her numune geçirgenlik modunda ölçülmüştür. Yapılan incelemeler, VIS mikro spektrometresinin görsel tahminin zorlaştığı durumlarda (yani, örnek çok küçük veya renkleri birbirine çok benziyor ise) boya numunelerinin renk benzerliğini tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermiştir (Koscielniak ve Zieba-Palus, 2010).

Trafik kazası durumlarında karmaşık boya örneklerinin kalitatif analizleri genellikle FT-IR veya Py-GC-MS ile yapılırken, kantitatif kanıtların toplanması hala zordur. Boya tariflerinde yaygın olarak kullanılan bileşenlerden polistirenin benzersiz piroliz özelliklerine dayanan yöntem tasarlanmıştır. Bu yöntemin validasyonu, gereklilikleri uluslararası yeterlilik testlerini iki kez başarıyla tamamlamış ve yöntemin araç boya izlerini adli amaçlar için uygulanabilirliğini göstermiştir (Yang ve ark., 2012).

Bir dizi otomobil üreticisini temsil eden 75 araçtan gelen boya örneklerinin kimyasal çeşitliliğini karakterize etmek ve değerlendirmek için FT-IR mikro spektroskopisi kullanılarak primer yüzey katlardan önemli çeşitlilikler bulunmuştur. Ana bileşen analizi kullanılarak yapılan sınıflandırmada, imalat ülkesi, imalat tesisi, aracın üretim yılı gibi bilgiler elde edilmiştir. Bu bilgilerin elde edilmesinin, bir suç mahallinde veya kurbanın kıyafetinde bulunan sorgulanmış otomotiv boya örneklerinin analizinden araştırma yollarının geliştirilmesine yardımcı olacağı görülmüştür (Maric ve ark., 2014).

Adli bilimlerde otomotiv boya parçaları önemli bir yer aldığından araç boya örneklerinin analiz edilebilmesi için prosedürler tanımlanmıştır. Görüntü elde etmeyi kullanarak görsel analizi otomatikleştirmek için yeni bir metodoloji önerilmiştir. Bir boya örneğinin mikroskopik görüntüsünden yola çıkılarak renk ve doku bilgileri elde edilerek boya veri tabanı için aynı özellikli boyalar ile karşılaştırılmıştır. Deneyler önerilen metodolojinin geçerli olduğunu ve

hem boya örnekleri ile hem de veri tabanında olduğu gibi aynı pigment türünün mevcut olduğunu göstermiştir (Thoonen ve ark., 2015).

PDQ, bilinmeyen bir vakada, kaynağını belirlemeye yardımcı olmak için geniş bir bilgi koleksiyonuna sahip bir veri tabanıdır. PDQ, olay mahallinde geride bırakılan boya kanıtlarına dayanarak olası şüpheli araçların belirlenmesine yardımcı olmak için adli tıp bilimcileri tarafından geliştirilmiştir. Bir boya çipinin aracın olası markasını, modelini ve yıl aralığını belirlemeye olanak tanıyan benzersiz kombinasyonlar oluşturur. Otomotiv boya örneğinin analizi yapılırken; Her boya tabakası ayrılır ve kızılötesi analiz için iki elmas arasına yerleştirilir. Her bileşenin kızılötesi spektrum olarak bilinen karakteristik bir parmak izi vardır. Bundan yola çıkarak her boyanın renk açıklamaları, her katmanın kimyasal bileşimi ve her spektrumun görüntülerini içeren katman dizisi bilgileriyle birlikte her numune için eksiksiz kaynak bilgileri içerir (Anonim, t.y.).



3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Otomobil sanayi bölgesinden araç boya örnekleri temin edildi. Bu örneklerden incelemeye uygun olanları seçildi ve laboratuvar ortamında incelendi. Numunelerin FT-IR ile analizi yapılarak SEM/ EDX görüntüleri alındı.

Tablo 3.1. Araştırmada kullanılan boya örneklerinin özellikleri

Sıra	Araç Marka, Model	Üretim Yılı	Renk
1	Renault Toros	1997	Mavi
2	Volkswagen Polo	2014	Kırmızı
3	BMW 3	2016	Beyaz
4	Kia Sportage	2017	Gri
5	-	-	Kırmızı

3.2. Yöntem

Madde ve ışın etkileşmesinden yararlanarak, ışının madde tarafından soğurulması ya da yayılması durumlarına bağlı olarak spektroskopik yöntemler geliştirilmiştir. Işının madde üzerine etkisi, bu ışının enerji içeriğine ve maddenin cinsine bağlıdır. Adli Bilimler kimyasal maddeler için düşük enerjilerdeki ışına maruz kalma durumunu inceler. Görünür bölge ve kızılötesi ışınlar kanıtları karakterize etmede önemlidirler (Doğan, 2016).

Oto sanayi bölgesinden temin edilen beş adet araca ait boya örnekleri toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen numuneler üzerinde direkt olarak çalışılmıştır.

FT-IR Spektroskopisi

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR): Thermo scientific Nicolet 6700 cihazı ile analiz yapılmıştır.

FT-IR spektroskopisi, elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölgesiyle ilgilenir. FT-IR spektroskopisi bir molekül tarafından emilen kızılötesi ışığın frekanslarını belirler. Her fonksiyonel grup, farklı atomlardan ve bağ kuvvetlerinden oluştuğu için titreşimler fonksiyonel gruba özgüdür.

FT-IR mikrospektrometreler daha az maliyetli ve kullanımı çok kolay olduğu için adli örneklerde rutin olarak uygulanabilir. Çoğu boya 1650-1750 cm^{-1} arasında güçlü soğurma

(karbon- oksijen çift bağ gerilmesi, bazen poliüretanlar için bir dublet) ve 1000 ile 1300 cm^{-1} arasında çoklu absorbanlar (karbon- oksijen tek bağ esnemeleri) gözlenir. Boyalar oldukça karmaşık olmasına rağmen basit akrilik, PVAc, poliüretan ve alkid boya ları gözle ayırt etmek önemlidir. Pikler 815 cm^{-1} ve 1550 cm^{-1} melamin çapraz bağlanmasının varlığını gösterir (Kirkbride, 2016).

SEM (Taramalı elektron mikroskobu)

SEM tekniği, adli bilimler üzerinde çalışanlara numune incelemede büyük kolaylık ve daha geniş uygulama alanı sağlar. Nanometre ölçeğinde çözünürlüğe sahip görüntüler üretilir ve yorumlamamıza olanak tanır. Taramalı elektron mikroskobunda canlı veya cansız materyallerden alınan örneğin yüzeyinden alınan bilgilere ulaşmak için elektron demeti ve materyal arasındaki etkileşimden yararlanır (Büken ve ark., 2001).

Taramalı elektron mikroskobunun çalışma prensibi örnek yüzeyinden yansıyan elektronların bir toplayıcıda birikmesi ve biriken elektronların yansıtıcı aletler aracılığı ile görüntü haline dönüştürülmesidir. Numune, SEM' de yüksek enerjili elektron ışınına maruz bırakılır ve numunenin morfolojisi, topografyası, kristalografik bilgiler vb. hakkında bilgi verir. Burada en önemli sorun alınan materyalin yüzeyinde elektronların birikerek görüntü yitirilmesine neden olması veya elektron demetinin materyalden yeteri miktarda yansımamasıdır. Bu sorun, numune hazırlanma sırasında kullanılan kaplama maddeleri ile engellenmektedir. Kaplayıcı olarak alüminyum, altın, gümüş, paladyum ve karbon kullanılabilir. Özellikle hassas materyallerin elektron demetinin oluşturduğu akım gücü altında hasar görmesi (büyük büyütme lerde önemli ölçüde görüntü kaybına sebep olmaktadır) kaplama metoduyla engellenmektedir (Büken ve ark., 2001).

EDX veya EDS analizi, numunelerden yayılan karakteristik X- ışınlarını kullanarak nicel bilgiler sağlar. X-ışınının enerjisi elemente özgüdür. Ölçülen yoğunluklar elementin bileşimi ve dağılımı hakkında bilgi verir. X-ışınları numunede bulunan farklı elementleri (demir, bakır, karbon, kurşun vb) tanımlayan, değişen spektral yoğunlukta ki tepe noktalarına dönüştülür ve yorumlanır. Analizi yapılacak numune katı olmalıdır. Yalıtkan numuneler kaplanarak analiz yapılır. Numunenin kimyasal bileşimi hakkında bilgi veren EDX analizi tahribatsız bir yöntemdir.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM): Jeol JSM- 5600 ile analiz yapılmıştır.

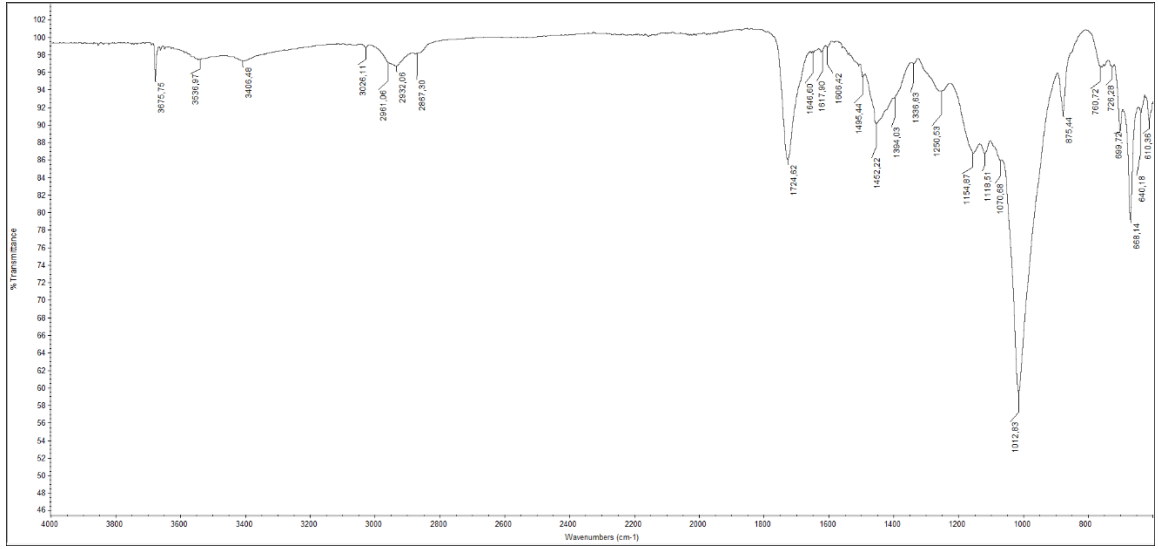
EDX analizleri: FEI marka quanta FEG 250 model ile yapılmıştır. EDX analizleri yapılırken yalıtkan olan araç boya ları altın paladyum kaplama ile kaplanmış ve analiz edilmiştir.

4. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. FT-IR ile ilgili bulgular

Aşağıda beş adet araca ait boya parçalarının her biri için sırasıyla, FT-IR ile aldığımız spektrumları ve bu spektrumlarda molekül içerisindeki fonksiyonel gruplara karşılık gelen pikler görülmektedir



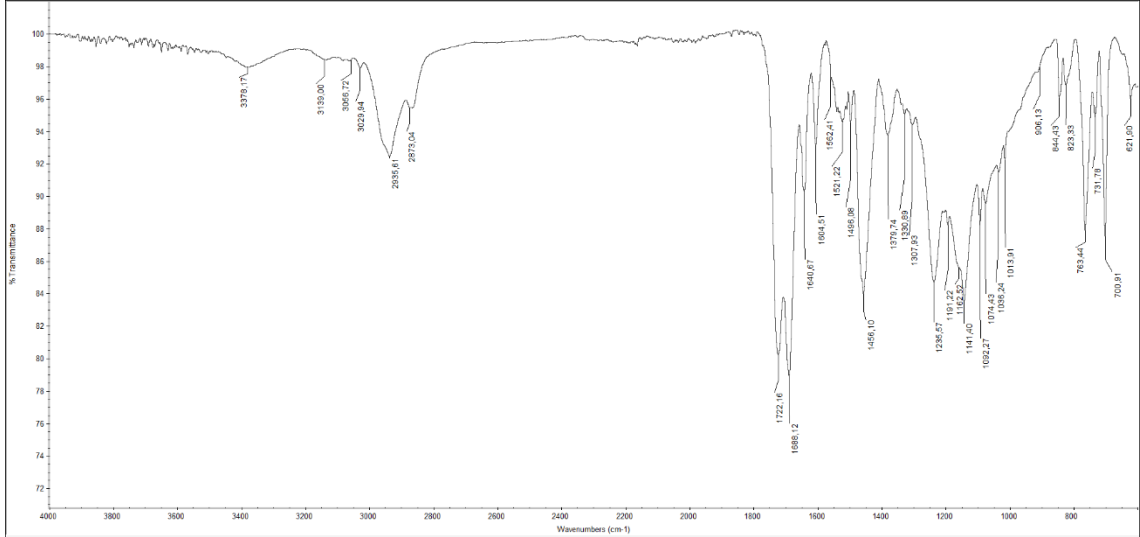
Şekil 4.1. Renault Toros marka 1997 model mavi renkli araç boya numunesinin 4000-400 cm^{-1} arası FT-IR Spektrumu

Tablo 4.1. Renault Toros marka 1997 model mavi renkli araç boyasının FT-IR spektrum çizelgesi

Frekans cm^{-1}	Bağ	Fonksiyonel Grup
3500-3200 (s,b)	O-H gerilme, H bağlı	Alkol, Fenol
3300-2500 (m)	O-H gerilme	Karboksilik Asit
3000-2850 (m)	C-H gerilme	Alkan
1740-1720 (s)	C=O gerilme	Aldehit, Doymuş alifatik
1730-1715 (s)	C=O gerilme	α , β doymamış ester
1680-1640 (m)	-C=C- gerilme	Alken
1650-1580 (m)	N-H eğilme	1° amin
1550-1475 (s)	N-O asimetric gerilme	Nitro bileşikleri

1600-1500 (m)	C=C gerilme (halkada)	Aromatik
1470-1450 (m)	C-H eğilme	Alkan
1370-1350 (m)	C-H eğilme	Alkan
1360-1290 (m)	N-O simetrik gerilme	Nitro bileşikleri
1335-1250 (s)	C-N gerilme	Aromatik amin
1320-1000 (s)	C-O gerilme	Alkol, Karboksilik asit, Ester, Eter
1300-1150 (m)	C-H eğilme (-CH ₂ X)	Alkil halojenür
1250-1020 (m)	C-N gerilme	Alifatik amin
1000-650 (s)	=C-H eğilme düzlem dışı	Alken
910-665 (s,b)	N-H eğilme	1°, 2° amin
900-675 (s)	C-H düzlem dışı eğilme	Aromatik
850-550 (m)	C-Cl gerilme	Alkil halojenür
700-610 (s,b)	-C≡C-H: C-H eğilme	Alkin
690-515 (m)	C-Br gerilme	Alkil halojenür

m=medium, s=strong, b=broad

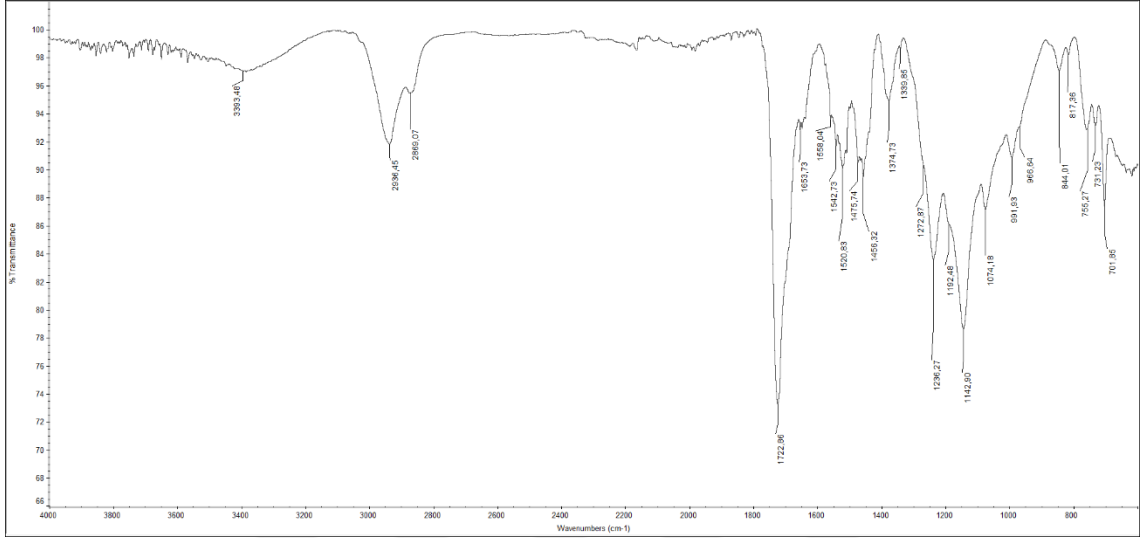


Şekil 4.2. Volkswagen Polo marka 2014 model kırmızı renkli boya numunesinin 4000-400 cm⁻¹ arası FT-IR spektrumu

Tablo 4.2. Volkswagen Polo marka 2014 model kırmızı renkli araç boyasının FT-IR spektrum çizelgesi

Frekans cm^{-1}	Bağ	Fonksiyonel Grup
3500-3200 (s,b)	O-H gerilme, H bağlı	Alkol, Fenol
3400-3250 (m)	N-H gerilme	1°,2° amin,amid
3300-2500 (m)	O-H gerilme	Karboksilik Asit
3100-3000 (s)	C-H gerilme	Aromatik
3100-3000 (m)	=C-H gerilme	Alken
3000-2850 (m)	C-H gerilme	Alkan
1760-1665 (s)	C=O gerilme	Karbonil (genel)
1760-1690 (s)	C=O gerilme	Karboksilik asit
1740-1720 (s)	C=O gerilme	Aldehit, Doymuş alifatik
1730-1715 (s)	C=O gerilme	α , β doymamış ester
1710-1665 (s)	C=O gerilme	α , β -doymamış aldehit, keton
1680-1640 (m)	-C=C- gerilme	Alken
1650-1580 (m)	N-H eğilme	1° amin
1550-1475 (s)	N-O asimetric gerilme	Nitro bileşikleri
1500-1400 (m)	C-C gerilme (halkada)	Aromatik
1470-1450 (m)	C-H eğilme	Alkan
1370-1350 (m)	C-H eğilme	Alkan
1360-1290 (m)	N-O simetrik gerilme	Nitro bileşikleri
1335-1250 (s)	C-N gerilme	Aromatik amin
1320-1000 (s)	C-O gerilme	Alkol, Karboksilik asit, Ester, Eter
1300-1150 (m)	C-H eğilme (-CH ₂ X)	Alkil halojenür
1250-1020 (m)	C-N gerilme	Alifatik amin
1000-650 (s)	=C-H eğilme	Alken
950-910 (m)	O-H eğilme	Karboksilik asit
910-665 (s,b)	N-H eğilme	1°, 2° amin
900-675 (s)	C-H düzlemdışı eğilme	Aromatik
850-550 (m)	C-Cl gerilme	Alkil halojenür
700-610 (s,b)	-C≡C-H: C-H eğilme	Alkin

690-515 (m)	C–Br gerilme	Alkil halojenür
-------------	--------------	-----------------

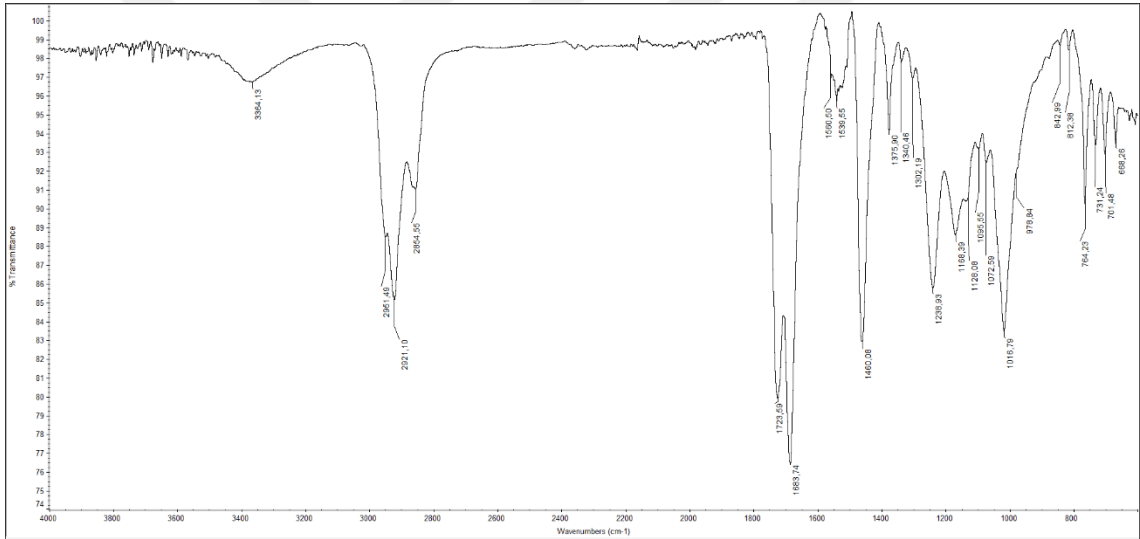


Şekil 4.3. BMW 3 Series marka 2016 model beyaz renkli boya numunesinin 4000-400 cm^{-1} arası FT-IR Spektrumu

Tablo4.3. BMW 3 Series marka 2016 model beyaz renkli boyasının FT-IR spektrum çizelgesi

Frekans cm^{-1}	Bağ	Fonksiyonel Grup
3500-3200 (s,b)	O–H gerilme, H bağlı	Alkol, Fenol
3400-3250 (m)	N–H gerilme	1°,2° amin, amid
3300-2500 (m)	O–H gerilme	Karboksilik Asit
3000-2850 (m)	C–H gerilme	Alkan
1760-1665 (s)	C=O gerilme	Karbonil (genel)
1760-1690 (s)	C=O gerilme	Karboksilik asit
1740-1720 (s)	C=O gerilme	Aldehit, Doymuş alifatik
1730-1715 (s)	C=O gerilme	α , β doymamış ester
1710-1665 (s)	C=O gerilme	α , β -doymamış aldehit, keton
1680-1640 (m)	C=C gerilme	Alken
1550-1475 (s)	N–O asimetrik gerilme	Nitro bileşikler
1500-1400 (m)	C–C gerilme (halkada)	Aromatik
1470-1450 (m)	C–H eğilme	Alkan

1370-1350 (m)	C-H eğilme	Alkan
1360-1290 (m)	N-O simetrik gerilme	Nitro bileşikleri
1335-1250 (s)	C-N gerilme	Aromatik amin
1320-1000 (s)	C-O gerilme	Alkol, Karboksilik asit, Ester, Eter
1300-1150 (m)	C-H eğilme (-CH ₂ X)	Alkil halojenür
1250-1020 (m)	C-N gerilme	Alifatik amin
1000-650 (s)	=C-H eğilme	Alken
910-665 (s,b)	N-H eğilme	1°, 2° amin
900-675 (s)	C-H düzlemdışı eğilme	Aromatik
850-550 (m)	C-Cl gerilme	Alkil halojenür

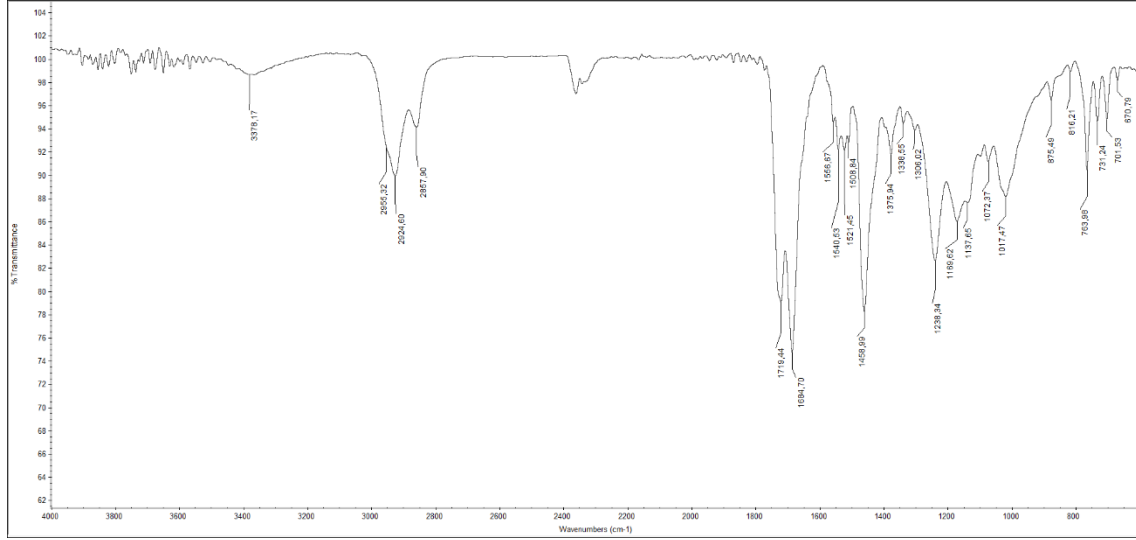


Şekil 4.4. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araç boyası numunesinin 4000-400 cm⁻¹ arası FT-IR Spektrumu

Tablo 4.4. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araç boyasının FT-IR spektrum çizelgesi

Frekans cm ⁻¹	Bağ	Fonksiyonel Grup
3500-3200 (s,b)	O-H gerilme, H bağlı	Alkol, Fenol
3400-3250 (m)	N-H gerilme	1°, 2° amin, amid
3300-2500 (m)	O-H gerilme	Karboksilik Asit
3000-2850 (m)	C-H gerilme	Alkan

1760-1665 (s)	C=O gerilme	Karbonil (genel)
1760-1690 (s)	C=O gerilme	Karboksilik asit
1740-1720 (s)	C=O gerilme	Aldehit, Doymuş alifatik
1730-1715 (s)	C=O gerilme	α , β doymamış ester
1710-1665 (s)	C=O gerilme	α , β -doymamış aldehit, keton
1550-1475 (s)	N-O asimetric gerilme	Nitro bileşikleri
1500-1400 (m)	C-C gerilme (halkada)	Aromatik
1470-1450 (m)	C-H eğilme	Alkan
1370-1350 (m)	C-H eğilme	Alkan
1360-1290 (m)	N-O simetric gerilme	Nitro bileşikleri
1335-1250 (s)	C-N gerilme	Aromatik amin
1320-1000 (s)	C-O gerilme	Alkol, Karboksilik asit, Ester, Eter
1300-1150 (m)	C-H eğilme ($-\text{CH}_2\text{X}$)	Alkil halojenür
1250-1020 (m)	C-N gerilme	Alifatik amin
1000-650 (s)	$=\text{C}-\text{H}$ eğilme	Alken
910-665 (s,b)	N-H eğilme	1°, 2° amin
900-675 (s)	C-H düzlemsiz eğilme	Aromatik
850-550 (m)	C-Cl gerilme	Alkil halojenür
700-610 (b,s)	$-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$: C-H eğilme	Alkin
690-515 (m)	C-Br gerilme	Alkil halojenür

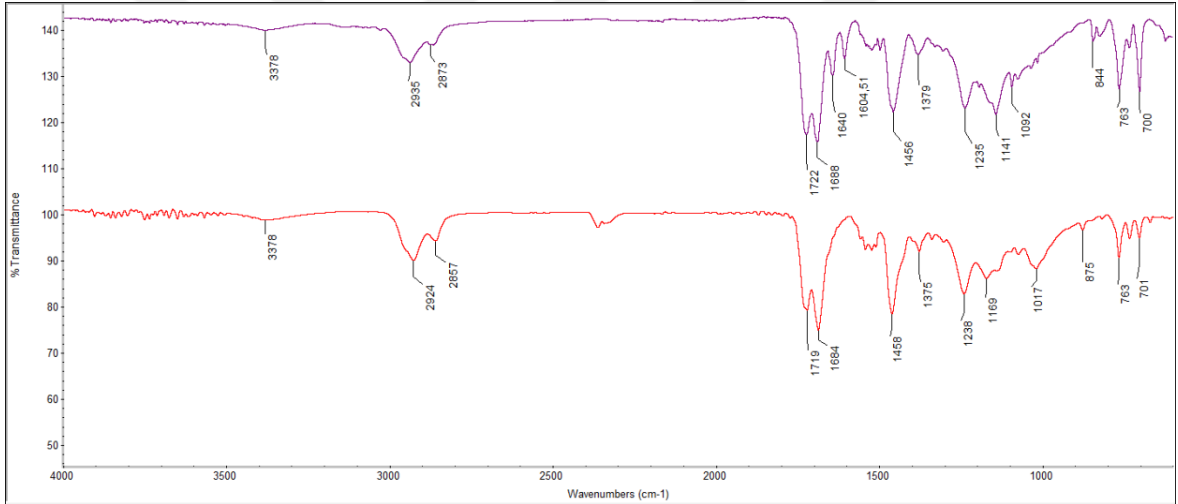


Şekil 4.5. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araca çarpan kırmızı araç boyasının 4000-400 cm^{-1} arası FT-IR Spektrumu

Tablo 4.5. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araca çarpan kırmızı araç boyasının FT-IR spektrum çizelgesi

Frekans cm^{-1}	Bağ	Fonksiyonel Grup
3500-3200 (s,b)	O-H gerilme, H bağlı	Alkol, Fenol
3400-3250 (m)	N-H gerilme	1°,2° amin, amid
3300-2500 (m)	O-H gerilme	Karboksilik Asit
3000-2850 (m)	C-H gerilme	Alkan
1760-1665 (s)	C=O gerilme	Karbonil (genel)
1760-1690 (s)	C=O gerilme	Karboksilik asit
1730-1715 (s)	C=O gerilme	α , β doymamış ester
1710-1665 (s)	C=O gerilme	α , β -doymamış aldehit, keton
1550-1475 (s)	N-O asimetrik gerilme	Nitro bileşikleri
1500-1400 (m)	C-C gerilme (halkada)	Aromatik
1470-1450 (m)	C-H eğilme	Alkan
1370-1350 (m)	C-H eğilme	Alkan
1360-1290 (m)	N-O simetrik gerilme	Nitro bileşikleri
1335-1250 (s)	C-N gerilme	Aromatik amin

1320-1000 (s)	C–O gerilme	Alkol, Karboksilik asit, Ester, Eter
1300-1150 (m)	C–H eğilme (–CH ₂ X)	Alkil halojenür
1250-1020 (m)	C–N gerilme	Alifatik amin
1000-650 (s)	=C–H eğilme	Alken
910-665 (s,b)	N–H eğilme	1°, 2° amin
900-675 (s)	C–H düzlem dışı eğilme	Aromatik
850-550 (m)	C–Cl gerilme	Alkil halojenür
700-610 (b,s)	–C≡C–H: C–H eğilme	Alkin
690-515 (m)	C–Br gerilme	Alkil halojenür



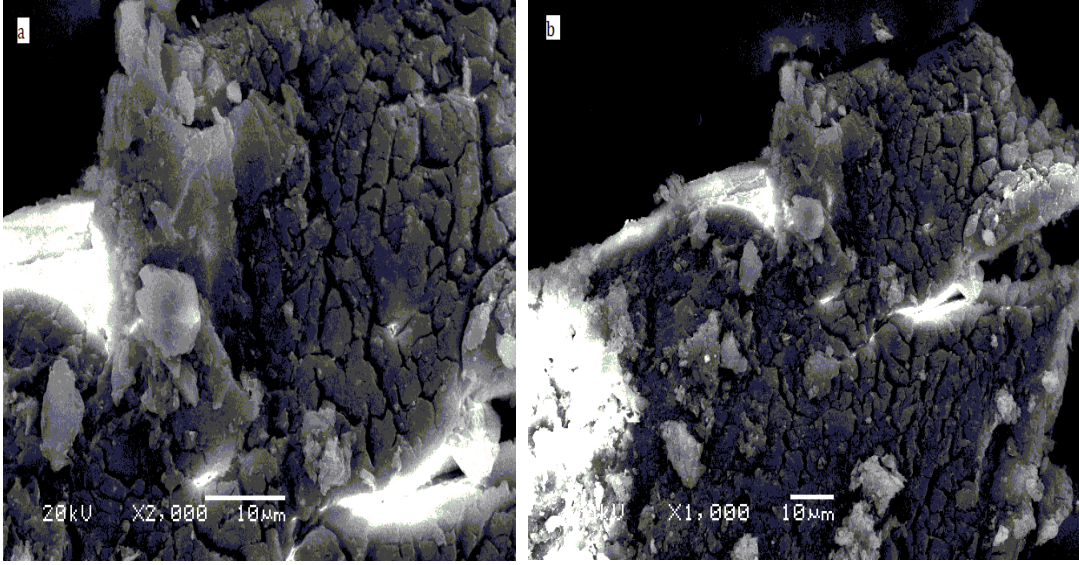
Şekil 4.6. Yukarıdan aşağıya mor renkli (2014) Volkswagen polo, kırmızı renkli ise marka ve modeli bilinmeyen araca ait spektrumlar

Tablo 4.6. Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araca çarpan kırmızı araç boyasının ve 2014 Volkswagen polo (kırmızı) FT-IR spektrum çizelgesi

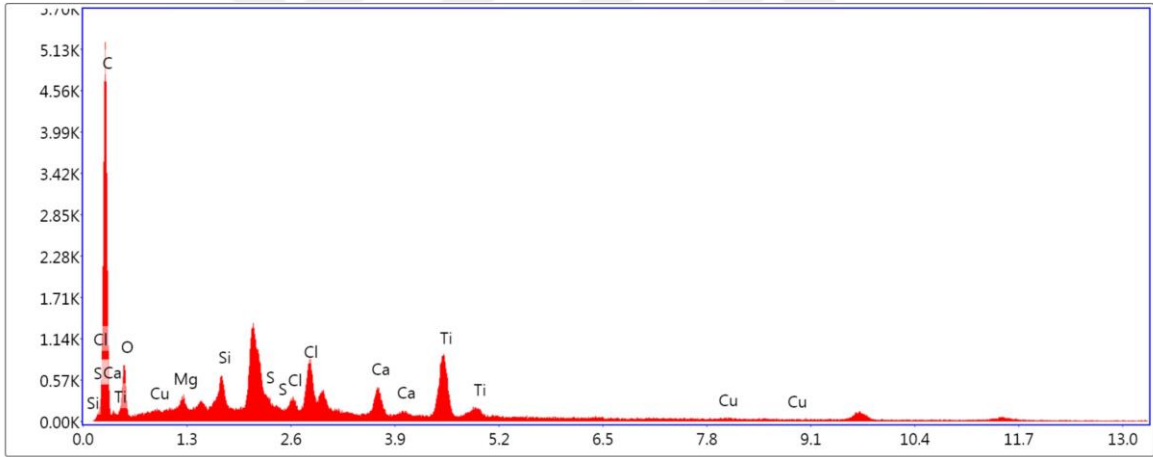
Frekans cm ⁻¹	Bağ	Fonksiyonel Grup	2014 Volkswagen Polo (kırmızı)	2017 Kia sportage çarpan araç (kırmızı)
3500-3200 (s,b)	O–H gerilme, H bağlı	Alkol, Fenol	X	X
3400-3250 (m)	N–H gerilme	1°, 2° amin, amid	X	X

3300-2500 (m)	O-H gerilme	Karboksilik Asit	X	X
3100-3000 (s)	C-H stretch	Aromatik	X	
3100-3000 (m)	=C-H gerilme	Alken	X	
3000-2850 (m)	C-H gerilme	Alkan	X	X
1760-1665 (s)	C=O gerilme	Karbonil (genel)	X	X
1760-1690 (s)	C=O gerilme	Karboksilik asit	X	X
1740-1720 (s)	C=O gerilme	Aldehit, Doymuş alifatik	X	
1730-1715 (s)	C=O gerilme	α , β doymamış ester	X	X
1710-1665 (s)	C=O gerilme	α , β -doymamış aldehit, keton	X	X
1680-1640 (m)	-C=C- gerilme	Alken	X	
1650-1580 (m)	N-H eğilme	1° amin	X	
1550-1475 (s)	N-O asimetric gerilme	Nitro bileşikleri	X	X
1500-1400 (m)	C-C gerilme (halkada)	Aromatik	X	X
1470-1450 (m)	C-H eğilme	Alkan	X	X
1370-1350 (m)	C-H eğilme	Alkan		
1360-1290 (m)	N-O simetric gerilme	Nitro bileşikleri	X	X
1335-1250 (s)	C-N gerilme	Aromatik amin	X	X
1320-1000 (s)	C-O gerilme	Alkol, Karboksilik asit, Ester, Eter	X	X
1300-1150 (m)	C-H eğilme (-CH ₂ X)	Alkil halojenür	X	X
1250-1020 (m)	C-N gerilme	Alifatik amin	X	X
1000-650 (s)	=C-H eğilme	Alken	X	X
950-910 (m)	O-H eğilme	Karboksilik asit	X	
910-665 (s,b)	N-H eğilme	1°, 2° amin	X	X
900-675 (s)	C-H düzlemdışı eğilme	Aromatik	X	X
850-550 (m)	C-Cl gerilme	Alkil halojenür	X	X
700-610 (s,b)	-C≡C-H: C-H eğilme	Alkin	X	X
690-515 (m)	C-Br gerilme	Alkil halojenür	X	X

4.2. SEM ile ilgili bulgular

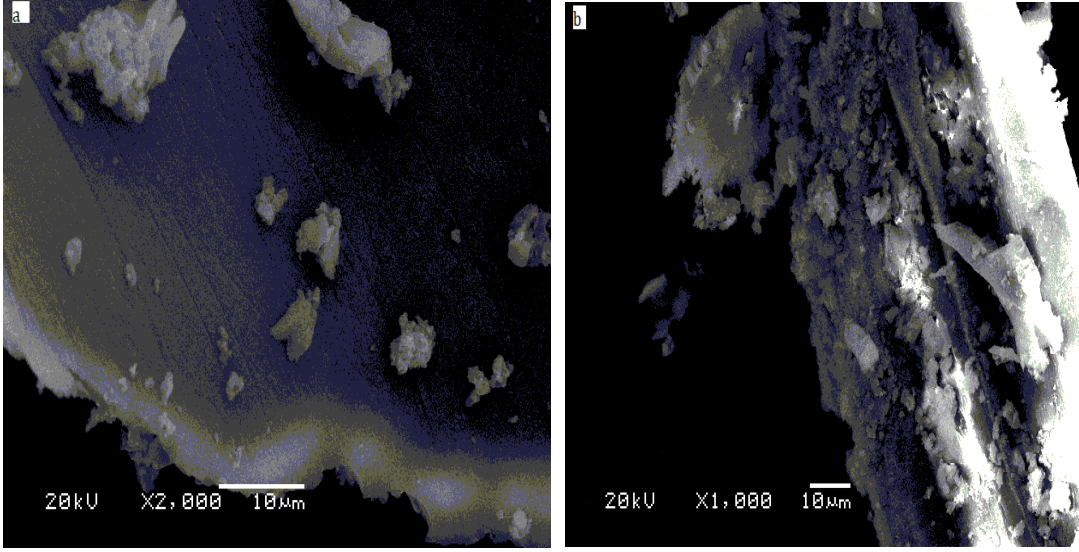


Resim 4.1. (a ve b) Renault Toros marka 1997 model mavi renkli boyasının elektron mikroskobu görüntüleri

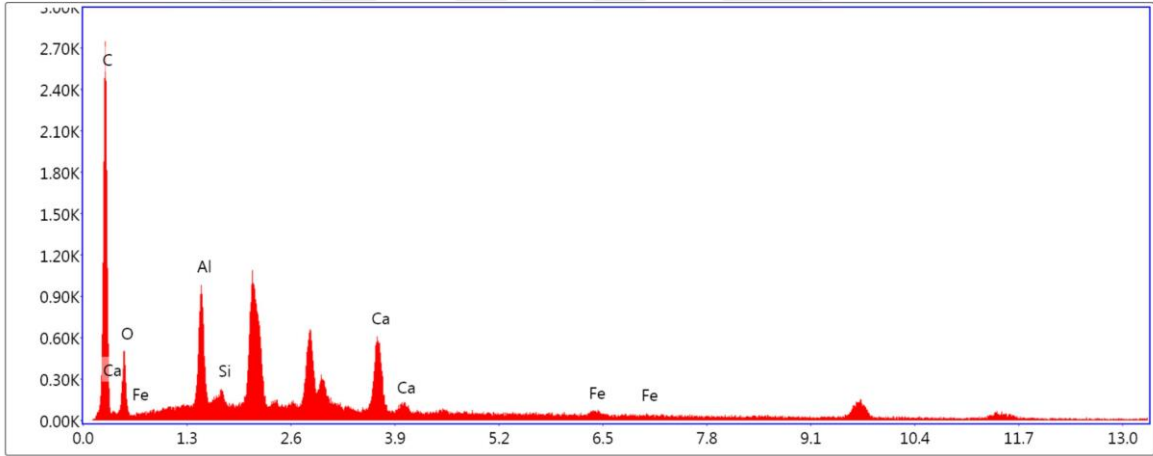


Lsec: 29.2 0 Cnts 0.000 keV Det: Octane Pro Det

Resim 4.2. Renault Toros marka 1997 model mavi renkli boyanın EDX sonuçları

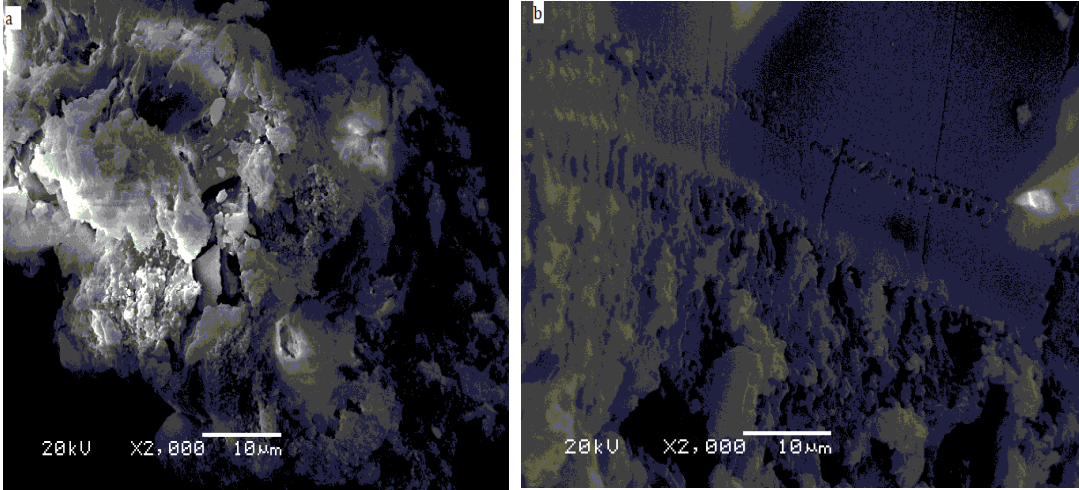


Resim 4.3. (a ve b) Volkswagen Polo marka 2014 model kırmızı renkli araç boyasının elektron mikroskobu görüntüleri

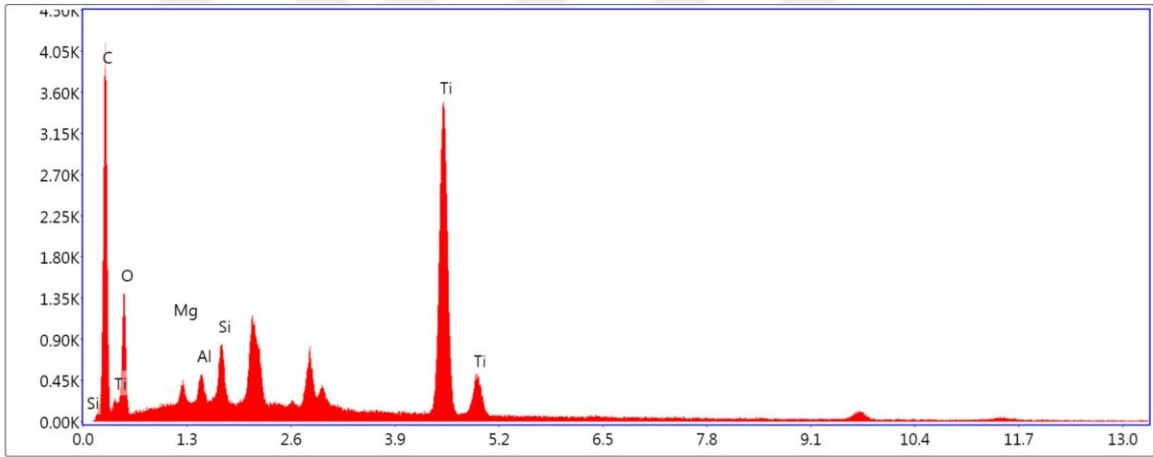


Lsec: 29.3 0 Cnts 0.000 keV Det: Octane Pro Det

Resim 4.4. Volkswagen Polo marka 2014 model kırmızı araç boyasının EDX sonuçları



Resim 4.5. (a ve b) BMW 3 Series marka 2016 model beyaz renkli araç boyasının elektron mikroskobu görüntüleri

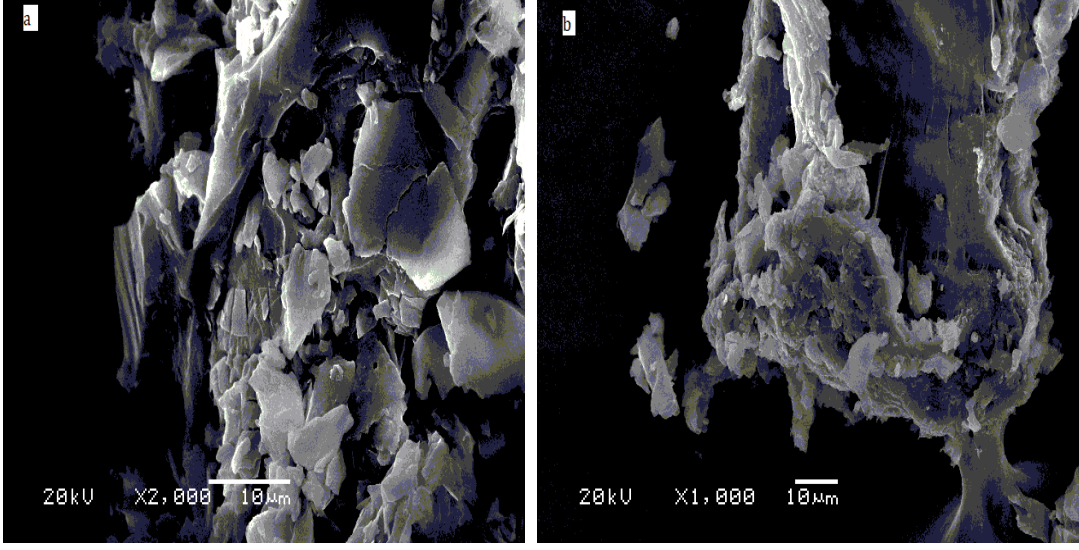


Lsec: 29.2 0 Cnts 0.000 keV Det: Octane Pro Det

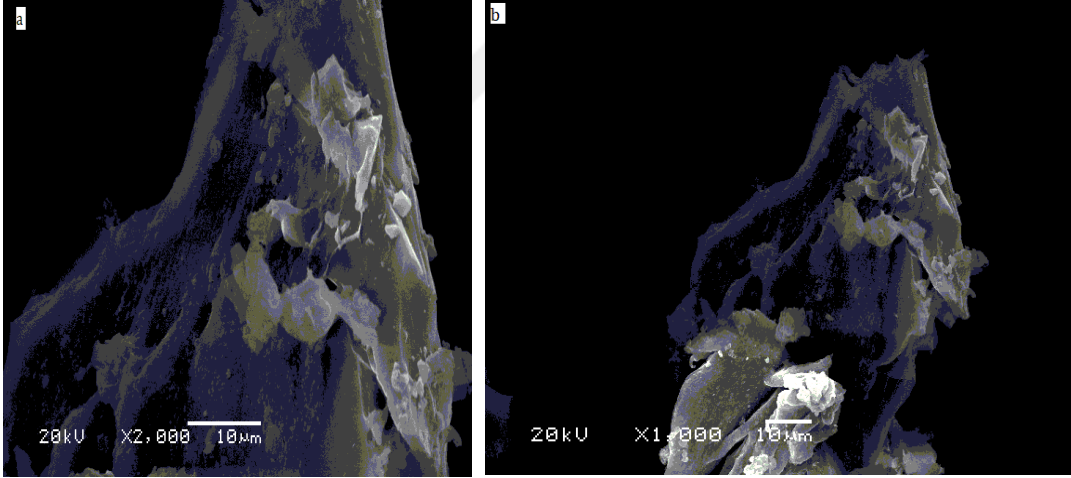
Resim 4.6. BMW 3 Series marka 2016 model beyaz araç boyasının EDX sonuçları

Tablo 4.7. Renault Toros, Volkswagen Polo ve BMW 3 Series araç boyalarının elementel analiz sonuçları

Sıra	Araç Marka, Model	Renk	Üretim Yılı	Elementel Analiz Oranları (%)									
				C	O	Al	Mg	Si	Ca	Ti	Fe	Cu	Cl
1	Renault Toros	Mavi	1997	68,23	16,58		0,41	1,16	1,88	6,38		0,40	0,68
2	Volkswagen Polo	Kırmızı	2014	65,29	22,44	4,76		0,35	6,81		0,35		
3	BMW 3	Beyaz	2016	45,72	27,20	1,08	1,11	1,84		23,05			



Resim 4.7. (a ve b) Kia Sportage marka 2017 model gri renkli boyasının elektron mikroskobu görüntüleri



Resim 4.8. (a ve b) Kia Sportage marka 2017 model gri renkli araca çarpan kırmızı araç boyasının elektron mikroskobu görüntüleri

Yaptığımız çalışmada boya gamlarında ortak spektrumlar bulunmaktadır. 1730 cm^{-1} 'de görülen bant büyük olasılıkla modern boyalarda kullanılan alkid reçinelerindedir. Yine bütün boya örneklerinde 3600 cm^{-1} ve 1000 cm^{-1} civarı gözlenen bantlar talk varlığını göstermektedir.

Talk yüksek kaliteli boyada çok kullanılan dolgu maddesidir. Talk dolgulu bileşikler kimyasal inertliği nedeniyle yaygın boya genişletici, pigmentlerin araç yüzeyine yapışmasını sağlar ve dayanıklılığı artırır.

Alkid reçinesi, otomotiv endüstrisinde çok kullanılan bağlayıcıdır. Bir polihidrolik alkol ve dibazik asit (veya ftalik anhidrit) arasında yoğunlaşma reaksiyonu (su salımı) ile yapılan sentetik bir reçinedir. Alkid reçinelerinin polimer yapısı, onları farklı spesifik özelliklere sahip emayeler ve boyalar için bir temel olarak kullanılmaya uygun hale getirir. Yapının molekülleri, hava koşullarına ve aşınmaya karşı koruma sağlayarak her türlü yüzeyi kaplayabilen filmlerin oluşumunu içeren güçlü yapısal etkileşimler oluşturur.

Tablo Ek-1.1 ile FT-IR beş adet boya numunesinin molekül yapıları hakkında bilgi edindik. Bu sayede boyaların hangi spektrumlarda hangi bağları yaptığını gözlemledik.

Yaptığımız çalışmada SEM görüntüleri, beş boya numunesinin yüzey topografyası hakkında bilgi vermiştir.

2017 model Kia Sportage araca çarpan markası bilinmeyen kırmızı aracın, analizini yaptığımız 2014 model kırmızı Volkswagen Polo olmadığını söyleyebiliriz. FT-IR spektrumları ve SEM görüntüleri birbirinden farklı olduklarını saptadık.

Boyaların elementel analiz sonucunda; mavi renkli Renault Toros, kırmızı renkli Volkswagen Polo ve beyaz renkli BMW 3 Series araçlarda ortak olarak en çok C elementine, O elementine ve Si elementine rastlanmıştır. Beyaz renkli BMW de ve mavi renkli Renault Toros Mg ve Si FT-IR sonuçları ile bulduğumuz talk ı doğrular niteliktedir. Kırmızı renkli Volkswagen de bulunan Fe elementi kırmızı demir oksit varlığını gösterir. Volkswagen Polo ve Renault Toros araç boyalarında rastlanan Ca elementi kalsiyum karbonatla ilişki olabilir. Kalsiyum karbonat çok küçük partikül boyutuna sahiptir. Aracı kum çakıl gibi darbelere karşı korumak amacıyla uygulanır.

Sonuç olarak, hazırladığımız tez çalışmamız da 5 farklı araca ait boya numunelerini inceledik. Farklı renk, marka, model ve üretim yıllarına ait araçların molekül yapılarının birbirlerinden farklı olduğunu saptadık. Aynı renk gibi görünen iki kırmızı araç boyasının mikroskopik görüntülerinin ve FT-IR bantlarının farklı olduklarını gördük. Adli olaylarda sık karşılaşılan iz delillerden boyanın analizini yaparak ileride oluşturulmak istenirse boya veri tabanına katkı sağlamaya çalışılmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmamızda beş farklı araç boyasının FT-IR spektroskopisi ve SEM analizleri yapılmıştır. Üç farklı araç boyasının EDX analizleri yapılmıştır. Araç boyası örneklerinin FT-IR analizleri ile boyalarda ortak olarak alkid reçinesi ve talk dolgusuna rastlanmıştır. SEM görüntüleri ile boya numunelerinin topografik yapılarının her birinin farklı olduğu gözlenmiştir. Üç farklı renkte olan 1997 model mavi Renault Toros, 2014 model kırmızı Volkswagen Polo ve 2016 model beyaz BMW 3 Series araçların EDX analizlerinde karbon, oksijen, magnezyum, silisyum, titanium, alüminyum, demir, kalsiyum, bakır ve klor elementlerine rastlanmıştır. 2017 model gri Kia Sportage marka araca çarpan markası bilinmeyen kırmızı aracın FT-IR spektrumları ve SEM görüntülerine bakılarak 2014 model kırmızı Volkswagen Polo olmadığı söylenebilir.

Brian K. Kochanowski (2000), 5 farklı renkte 100 araç boyasını Py-GC-MS ile analiz edip yorumlamıştır. 2009 senesinde Zieba-Palus, boya lekelerini analiz etmiş ve benzer FT-IR spektrumları üreten boyalar arasında ayırım yaparken Py-GC-MS yönteminin kullanılabileceğini ifade etmiştir. Erin McIntee (2008), 110 otomobil boyası ile LIBS (lazer etkileşimli plazma spektroskopisi), FT-IR ve SEM/EDS ile analizler yapmış ve örneklerin %88 ini ayırt etmiştir. Zieba-Palus (2010), 18 adet yeni ve yeniden boyanmış katı ve metalik boyaları incelemiştir. Maja Skenderovska (2008) yılında 4 farklı vur-kaç kazasını, Raman ve FT-IR spektrometreleri ile inceleyerek polis soruşturmasına katkı sağlamıştır. Joke De Gelder (2005), boya pullarını raman spektroskopisi ile analiz etmiş ve adli bilimlere katkısını değerlendirmiştir. Mark Tahtouh çok katmanlı araç boyasında FT-IR ile görüntüleme yapmıştır. Mark Mariç (2014), 75 aracın baz katlarını analiz edip yorumlamıştır. Hasan Bayram (2015), 18 araç boyasının pigment analizini yapmıştır. Terzija Vodsek (2018), araç boyaları üzerindeki UV etkisine ilişkin bir çalışma yapmıştır. Piriyanika Verma (2019), Hindistan'da Maruti firmasına ait otomobil boya örneklerini ayırt etmek amacıyla yaptığı çalışmada çözünürlük testleri ve UV spektrofotometresi ile 20 adet boya analizi yapmıştır.

Biz yaptığımız bu çalışmada literatürden farklı olarak daha önce çalışılmamış araç boyaları üzerinde çalışarak boya talaşı değiştirme olasılığı yüksek olan vur-kaç durumlarında FT-IR ve SEM/EDX bize yardımcı olabileceğini gözlemledik.

KAYNAKÇA

- Anonim, (t.y.). Mesele: Taramalı elektron mikroskobu. Erişim tarihi: 6 Nisan 2021. <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=61082>
- Anonim, (t.y.). Mesele: Kromofor gruplar. Erişim tarihi: 10 Aralık 2020. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/7905/mod_resource/content/0/7.%20hafta.pdf
- Anonim, (2011). Mesele: Reçineler. *Kimya Teknolojisi*. Erişim tarihi: 16 Mayıs 2021. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Re%C3%A7ineler.pdf
- Anonim, (2012). Mesele: Katkı maddeleri. *Kimya Teknolojisi*. Erişim tarihi: 16 Mayıs 2021. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Katk%C4%B1%20Maddeleri.pdf
- Anonim, (2013). Mesele: Pigmentler. *Kimya Teknolojisi*. Erişim tarihi: 16 Mayıs 2021. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Pigmentler.pdf
- Anonim, (2014). Mesele: Boya solventleri. *Kimya Teknolojisi*. Erişim tarihi: 16 Mayıs 2021. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Boya%20Solventleri.pdf
- Anonim, (t.y.). Mesele: Paint data query. Erişim tarihi: 30 Mart 2021. <https://www.nist.gov/document/hodgkins-pdq-intlforensicautomotivedbpdf>
- Anonim, (t.y.). Mesele: Automotive paint. Erişim tarihi: 30 Mart 2021. https://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_paint
- Bayram, H., (2015). *Kriminal amaçlı olarak araba boyalarının pigment analizi*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul: Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Büken B., Üner B., Çetinkaya Ü., Çağdır A. S., Kirangil ŞB., (2001). Adli tıp'da taramalı electron mikroskobu (SEM) uygulamaları. *Adli Tıp Bülteni* 2001, 6(1), 23-31.
- Edmondstone, G., Hellman, J., Elçi, K., Vardy, G.L. (2004). An assessment of the evidential value of automotive paint comparasions. *Journal of Canadian Society of Forensic Science*, 37(3), 147-153.
- Forest, P. R., Bentley, J., Willis, S. McCullough, J., Mcdermott, S. (2001). *Forensic examination of glass and paint analysis and interpretation*. Ed. B. Caddy, London.
- Gelder, J.D., Vandenabeele, P., Govaert, F., Moens, L. (2005). Forensic analysis of automotive paints by raman spectroscopy. *Journal of Raman Spectroscopy*, 36, 1059-1067.
- Henning, J., Lynch, H, (t.y.). Mesele: The Colorful history of paint. *EarthDate.org* Erişim tarihi:20 Ekim 2021. <https://www.earthdate.org/colorful-history-of-paint>
- Houck, Max M., Siegel, Jay A. (2015). *Fundamentals of forensic science*, çev. Y. Doğan (Ankara: Nobel Yayınları, 2016), 391-429.
- Kirkbride, P. (2016). *Paint and coatings examination. Forensic Chemistry Fundamentals and Applications*. Editor: J.A. Siegel. Oxford, UK, 116-182.
- Kochanowski, B.K., Morgan, S.L. (2000). Forensic discrimination of automotive paint samples using pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry with multivariate statistics. *Journal of Chromatographic Science*, 38.
- Koscielniak, P., Zadora, G., Zieba-Palus, J., Milczarek, J.M. (2008). *Forensic examination of car paints*.
- Kumar, A. (2018). Exchange of paint in hit-run collisions and its significance as forensic evidence. *Journal of Forensic Sciences*, 8(1).
- Lorliam, A. (2018). Fundamental computing forensics for Africa. A case study of the science in Nigeria. *Springer briefs in computer science, Makurdi, Nigeria*, 21.

- Maric, M., Bronswijk, W., Lewis, S.W., Pitts, K. (2014). Synchrotron FT-IR characterisation of automotive primer surfacerpaint coatings for forensic purposes. *Talanta*, 118, 156-161.
- McIntee, E. M. (2002). *Forensic analysis of automobile paints by atomic and molecular spectroscopic methods and statical data analyses*, (Degree of Master), Florida: University of Florida.
- Milczarek, J.M., Dziadosz, M., Zieba-Palus, J. (2009). *Way to distinguish car paint traces based on epoxy primer layers analiysis by pyrolysis-gs chromatography-mass spectrometry*.
- Raymond B. S., Herman F. M. (1990). *Organic Coatings Their Origin and Development*. Miami Beach, Florida, USA,
- Rostron, P., Gaber, S., Gaber, D., (2016). Raman spectroscopy review. *International Journal of Engineering and Technical Reserch*, 6(1).
- Ryland, S. (1995). Infrared microspectroscopy of forensic paint evidence, Ed. Humecki, H. J. *Practical Guide to Infrared Microspectroscopy, Practical Spectroscopy*, 19, New York: Marcel Dekker Inc.
- Ryland, S., Bishea, G., Brun-Conti, L., et al. (2001) Discrimination of 1990s original automotive paint systems: A collaborative study of black nonmetallic base coat/clear coat finishes using infrared spectroscopy. *Journal of Forensic Sciences*, 46(1), 31-45.
- Saferstein, R., Butler, J.M., Brettell, T.A., (2005). Forensic science. *Analytical Chemistry*, 77(12), 3839-3860.
- Sauzier, G.Y., (2016). Applications of chemometrics to the analysis and interpretation of forensic physical evidence, (Degree of Doctor), Australia: Curtin Universty.
- Skenderovska, M., Sukarova, B.M., Andreeva, L. (2008). Application of micro-raman and FT-IR spectroscopy in forensic analysis of automotive topcoats in the republic of Macedonia. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 2728497424228497(1), 9-17.
- Suzuki, E.M., Ryland, S.G., (2012). *Forensic Chemistry Handbook: Analysis of paint evidence*. Ed: L. Kobilinsky, (ss,131-224), USA: Published by John Wiley & Sons.
- Seymour, R.B., Mark, F.B., (1990), *Organic Coatings: Their Origin and Development*, Elsevier Science Publ., Newyork
- Tahtouh, M., Flynn, K., Walker, S., Roux, C., Reedy, B., (2007). Mesele: FT-IR spectral imaging applications in trace evidence. Erişim tarihi: 20 Ekim 2020. <https://projects.nfstc.org/trace/docs/Trace%20Presentations%20CD-2/Tahtouh.pdf>
- Terim Kapakin, K.A., (2006). Scaning- taramalı elektron mikroskobu. *Yüzüncüyıl Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 17(1-2), 55-58.
- Thoonen, G., Nys, B., Haeghen, Y.V., Roy, G.D., Scheunders, P., (2015). Automatic forensic analysis of automotive paints using optical microscopy. *Forensic Science İnternational* 259(2016), 210-220.
- Verma P, kaur M, Kaur N., (2019). Forensic analysis of automobile paint of Indian company. *Int J Forensic Med Toxicol Sci* 2019; 4(3), 74-81.
- Vodisek, Terezija, (2018). Testing of the UV light effect on the automotive paints by FTIR spectroscopy, (Master's thesis), Split: University of Split.
- Yang, S., Shen, J.Y., Chang M.S., Wu, G.J. (2012). Quantification of vehicle paint components containing polystyrene using pyrolysis-gas chromatography/ mass spectrometry-analytical methods. *Analytical Metods*, 7.
- Zieba-Palus, J., Trzcinska, B.M., (2001). Paint as evidence- selected cases. *Problems of Frorensic Sciences* 47, 143-153.

Zieba-Palus, J., Koscielniak, P. (2010). Comparative analysis of car paint traces in terms of color by VIS micro spectrometry for forensic needs. *Analytical Letters*, 43(3), 436-445.



EKLER



Tablo Ek-1.1. Beş adet boya numunesinin spektrum tablosu

Frekans cm ⁻¹	Bağ	Fonksiyonel Grup	1997 Renault Toros	2014 Volkswagen Polo	2016 BMW 3	2017 Kia sportage	2017 Kia sportage çarpan araç
3500-3200 (s,b)	O—H gerilme, H bağlı	Alkol, Fenol	X	X	X	X	X
3400-3250 (m)	N—H gerilme	1°,2° amin, amid		X	X	X	X
3300-2500 (m)	O—H gerilme	Karboksilik Asit	X	X	X	X	X
3100-3000 (s)	C—H gerilme	Aromatik		X			
3100-3000 (m)	=C—H gerilme	Alken		X			
3000-2850 (m)	C—H gerilme	Alkan	X	X	X	X	X
1760-1665 (s)	C=O gerilme	Karbonil (genel)		X	X	X	X
1760-1690 (s)	C=O gerilme	Karboksilik asit		X	X	X	X
1740-1720 (s)	C=O gerilme	Aldehit, Doymuş alifatik	X	X	X	X	
1730-1715 (s)	C=O gerilme	α, β doymamış ester	X	X	X	X	X
1710-1665 (s)	C=O gerilme	α, β-doymamış aldehit, keton		X	X	X	X
1680-1640 (m)	—C=C— gerilme	Alken	X	X	X		
1650-1580 (m)	N—H eğilme	1° amin	X	X			
1550-1475 (s)	N—O asimetrik gerilme	Nitro bileşikleri	X	X	X	X	X
1500-1400 (m)	C—C gerilme (halkada)	Aromatik	X	X	X	X	X
1470-1450 (m)	C—H eğilme	Alkan	X	X	X	X	X
1370-1350 (m)	C—H eğilme	Alkan	X				
1360-1290 (m)	N—O simetrik gerilme	Nitro bileşikleri	X	X	X	X	X
1335-1250 (s)	C—N gerilme	Aromatik amin	X	X	X	X	X
1320-1000 (s)	C—O gerilme	Alkol, Karboksilik asit, Ester, Eter	X	X	X	X	X
1300-1150 (m)	C—H eğilme (—CH ₂ X)	Alkil halojenür	X	X	X	X	X
1250-1020 (m)	C—N gerilme	Alifatik amin	X	X	X	X	X
1000-650 (s)	=C—H eğilme	Alken	X	X	X	X	X
950-910 (m)	O—H eğilme	Karboksilik asit		X			
910-665 (s,b)	N—H eğilme	1°, 2° amin	X	X	X	X	X
900-675 (s)	C—H düzlem dışı eğilme	Aromatik	X	X	X	X	X

850-550 (m)	C-Cl gerilme	Alkil halojenür	X	X	X	X	X
700-610 (s,b)	-C≡C-H: C-H eğilme	Alkin	X	X		X	X
690-515 (m)	C-Br gerilme	Alkil halojenür	X	X		X	X

