

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CEP TELEFONU VE BİLGİSAYAR PİLİNDEN GERİ
KAZANILAN BAZI METALLERİN EMAYE
FRİTLERİNDE KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilay PAR

Kimya Anabilim Dalı

Analitik Bilim Dalı

HAZİRAN 2025

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CEP TELEFONU VE BİLGİSAYAR PİLİNDEN GERİ
KAZANILAN BAZI METALLERİN EMAYE
FRİTLERİNDE KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilay PAR

Kimya Anabilim Dalı

Analitik Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin ALTUNDAĞ

HAZİRAN 2025

Dilay PAR tarafından hazırlanan “Cep Telefonu ve Bilgisayar Pilinden Geri Kazanılan Bazı Metallerin Emaye Fritlerinde Kullanılması” adlı tez çalışması 10.06.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Analitik Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Hüseyin ALTUNDAĞ (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Fatih SÖNMEZ**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Nuray CANIKOĞLU**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Hülya DEMİREL**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Celal CANER (Ortak Danışman)**
Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “CEP TELEFONU VE BİLGİSAYAR PİLİNDEN GERİ KAZANILAN BAZI METALLERİN EMAYE FRİTLERİNDE KULLANILMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(10/06/2025)

Dilay PAR



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve birikiminden faydalandığım, çalışmamın başından sonuna kadar ilgisini ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin ALTUNDAĞ' a, Deneysel çalışmalarımda her türlü destek ve yardım sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Celal CANER' e ve Gebze Teknik Üniversitesinden Doç. Dr. Murat EYVAZ'a teşekkürler ederim.

Bu yaşıma kadar hep yanımda olan, desteklerini hiç eksik etmeyen anneme, babama ve kardeşime, her koşulda destekleyen ve yanımda olan eşim Kaan BAYDAR'a tez aşamasının başından sonuna kadar her türlü bilgi birikimiyle destekleyip yol gösteren değerli AR&GE Direktörü Orhan ŞAHİN' e, her konuda yanımda olan bilgisiyle yönlendiren ve destekleyen değerli çalışma arkadaşım AR&GE Yöneticisi Tuğçe Nazlı KAYA' ya ve bu tez çalışması için her türlü imkân sunan ve deneysel çalışmalarım için laboratuvarımda yardımlarından dolayı Algotrio Kimya ekibine teşekkür ederim.

Dilay PAR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. FRİT	3
2.1. Frit Nedir	3
2.2. Frit İçerinde Kullanılan Hammaddeler	4
2.2.1. Sodyum oksit	4
2.2.2. Potasyum oksit	4
2.2.3. Kalsiyum oksit	4
2.2.4. Baryum oksit	4
2.2.5. Lityum oksit	5
2.2.6. Magnezyum oksit	5
2.2.7. Çinko oksit	5
2.2.8. Stronsiyum oksit	5
2.2.9. Amfoterler	5
2.2.9.1. Bor oksit	5
2.2.9.2. Alüminyum oksit	5
2.2.9.3. Bizmut oksit	5
2.2.10. Silisyum dioksit	6
2.2.11. Titanyum dioksit	6
2.2.12. Seryum oksit	6
2.2.13. Zirkon dioksit	6
2.2.14. Flor	6
2.2.15. Fosfor pentaoksit	6
2.2.16. Mangan oksit	6
2.2.17. Kobalt oksit	6
2.2.18. Nikel oksit	7
2.2.19. Bakır oksit	7
2.2.20. Demir oksit	7
2.2.21. Krom oksit	7
2.2.22. Antimon trioksit	7
2.2.23. Molibden trioksit	7
2.2.24. Yaş emaye değirmen katkıları	7
2.2.24.1. Kil	7

2.2.24.2. Sodyum nitrit.....	7
2.2.24.3. Boraks.....	8
2.2.24.4. Kuvars	8
2.2.24.5. Pigment.....	8
3. EMAYE	9
3.1. Emaye Nedir	9
3.2. Emaye Tarihi	9
3.3. Emaye Kullanım Alanları.....	10
3.4. Emaye Üretimi.....	10
4. PİL	11
4.1. Lityum İyon Piller	11
4.2. Lityum İyon Pillerde Kullanılan Malzemeler.....	12
4.2.1. Katot Malzemeler	12
4.2.2. Anot Malzemeler.....	12
5. MATERYAL VE METOT	13
5.1. Atık Pillerin Deşarj İşlemi.....	13
5.2. Pillerin Mekanik Ayrılması	13
5.3. Pillerin Kalsinasyon İşlemi.....	13
5.4. XRF Analizi.....	13
5.5. XRD Analizi	14
5.6. SEM Analizi	14
5.7. AAS Analizi	15
5.8. Elektrostatik Toz Emaye Uygulaması	15
5.9. Yaş Emaye Uygulaması	16
5.10. Renk Ölçümü.....	17
5.11. Sitrik Asit Testi.....	17
5.12. Yapışma Testi	17
5.13. ETC Testi.....	17
5.14. Akışkanlık Testi.....	17
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI	19
6.1. Atık Pillerin Deşarj İşlemi.....	19
6.2. Pillerin Mekanik Ayrılması	20
6.3. Pillerin Kalsinasyon İşlemi.....	20
6.4. XRF Sonuçları	21
6.5. Frit Ergitme	22
6.6. Toz Emaye Uygulaması	23
6.7. Yaş Emaye Uygulaması	24
6.8. Renk Ölçümü.....	26
6.9. Yapışma Testi	26
6.10. Sitrik Asit Test Sonuçları	27
6.11. Akışkanlık Test Sonuçları	27
6.12. ETC Testi Sonuçları	27
6.13. Plaka Yüzey Kontrolü	27
6.14. XRD Analizi	27
6.15. SEM Görüntüleri	29
7. TARTIŞMA VE SONUÇ	31
KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ	37

KISALTMALAR

AAS : Atomik Absorpsiyon Spektrometresi

ETC : Kolay temizlenebilir yüzey

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

V : Volt

XRD : X ışınları difraktometresi

XRF : X-ışını Floresansı





SİMGELER

Al	: Alüminyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
F	: Flor
Li	: Lityum
mm	: Uzunluk Birimi
Mn	: Mangan
Ni	: Nikel
OC	: Sıcaklık Birimi
Si	: Silisyum
Zn	: Çinko



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Avrupa ülkelerinin atık pil toplama oranları.	2
Tablo 4.1. Li-iyon pillerin avantajları ve dezavantajları [25].	11
Tablo 6.1. Saf suda bekletilen pillerin deşarj değerleri.	19
Tablo 6.2. %10'luk tuzlu suda bekletilen pillerin deşarj değerleri.....	19
Tablo 6.3. Kalsinasyon sonucu ortalama değerleri.	20
Tablo 6.4. 500 °C'de kalsinasyon değerleri.	20
Tablo 6.5. XRF ve AAS analiz sonuçları.	21
Tablo 6.6. Yaş emaye değirmen katkıları ve oranları.	24
Tablo 6.7. Renk ölçüm sonuçları.....	26
Tablo 6.8. Yapışma Değerleri.	26
Tablo 6.9. Asit Değerleri.	27
Tablo 7.1. Frit ergitildiğinde gelen metal oksit miktarı.....	31
Tablo 7.2. Pillerden gelen % metal oksit değerleri.	32



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Ergitme işlemi (Algotrio Kimya, 2023).	3
Şekil 3.1. Emaye kullanım alanlarına örnekler.	10
Şekil 3.2. Emaye kaplama oluşum aşamaları.	10
Şekil 5.1. XRF cihazı (Algotrio Kimya, 2025).	14
Şekil 5.2. AAS cihazı (Algotrio Kimya, 2025).	15
Şekil 5.3. Öğütme değirmeni (Algotrio Kimya, 2025).	16
Şekil 5.4. Kül fırını (Algotrio Kimya, 2025).	16
Şekil 6.1. Kalsinasyon işlemi bittikten sonraki görüntüsü.	21
Şekil 6.2. Frit ergitme potası (Algotrio Kimya, 2023).	22
Şekil 6.3. Boncuk frit (Algotrio Kimya, 2025).	22
Şekil 6.4. Standart toz emaye görüntüsü.	23
Şekil 6.5. Bilgisayar pili toz emaye.	23
Şekil 6.6. Cep telefonu pili toz emaye.	24
Şekil 6.7. Standart yaş emaye.	25
Şekil 6.8. Cep telefonu pili yaş emaye.	25
Şekil 6.9. Bilgisayar pili yaş emaye.	26
Şekil 6.10. Bilgisayar pili XRD sonucu.	28
Şekil 6.11. Cep telefonu pili XRD sonucu.	28
Şekil 6.12. Bilgisayar pili sem görüntüsü.	29
Şekil 6.13. Cep telefonu pili SEM görüntüsü.	29



CEP TELEFONU VE BİLGİSAYAR PİLİNDEN GERİ KAZANILAN BAZI METALLERİN EMAYE FRİTLERİNDE KULLANILMASI

ÖZET

Frit cam yapılı ara bir mamüldür. Kobalt, lityum, mangan, nikel, demir, bakır gibi hammaddelerin belirli oranlarda reçetesinin hazırlanıp tartıldıktan sonra yüksek sıcaklıkta ergitilip oluşan camsı yapılara frit denir. Eğer eriyen frit soğuk suyun içine boşaltılırsa boncuk frit, soğuk silindirler arasından geçerek ani şoklama yapılırsa pul frit denir. Bu fritlerin ise farklı farklı oranlarda birbirleriyle karıştırılmasıyla da emaye oluşur.

Emayeye özellik kazandıran ana hammadde frittir. Emayeler Na, K, Ba, Li, Ca, Mg gibi elementlerin oksitlerinin tercih edildiği emayeden beklenen özelliğe göre Al, Ti, Zr, F gibi elementlerin de oksitlerini içeren borosilikat yapısının toz ve yaş olarak kullanılan kaplama malzemesidir. Oluşan fritlerin farklı katkılarıyla değirmenlerde belirli boyutlarda öğütülmesiyle emaye oluşur. Oluşan emayeler uygun yöntemlere göre belirlenen sıcaklık ve sürelerde pişirilerek yüzeylere yayılır.

İstenilen özelliklere göre emaye çeşitleri; Astar kat emaye, sitrik asit dayanıklı emaye, ETC direkt emaye, buhar dayanıklı pirolitik emaye, taransparan emaye, katalitik emaye, sıcak su dayanıklı emaye, ızgara ve bek kapağı emaye, kendinden renkli ikinci kat emayeler gibi kullanım alanları ve ihtiyaçlara göre çeşitleri vardır.

Öğütme işlemi bu proseste önemli rol oynamaktadır. Öğütme inceliğinin aynı sürede olması değirmene yüklenecek olan fritin ağırlığıda önemlidir. Eğer frit miktarı fazla olursa değirmenin fritleri öğütme süresi artar fakat değirmene yüklenen frit miktarı az olursa içindeki bilyelerin birbirine sürtünmesiyle bilyeler aşınır bu da istenilen bir durum değildir.

Emaye kaplanmış ürünler mutfak eşyaları, ocak, fırın, fırın tepsileri, beyaz eşya, soba, küvet, kimya endüstrisi gibi çok geniş çaplı uygulama alanları vardır. Bu kadar geniş çaplı kullanılmasının sebebi hijyeniklik, buhar dayanımı, aside dayanıklı, neme ve kimyasal maddelere ve ısıya dayanımı olması, temizleme kolaylığı, çizilme ve aşınmaya karşı sert bir yüzeyinin olması, koku ve tad vermeyen yüzey oluşturması, estetik görünüm sağlaması gibi olumlu özellikleri vardır. Emayeler hem elektrostatik toz hemde yaş olarak uygulamaları yapılabilir.

Malzemelerin ömrünün tükenmiş olması atık durumunda olduğunu göstermektedir. Günümüzde oluşan genel problemde oluşan bu atıklardan kaynaklanmaktadır. Atık miktarının artması da günümüzde atık ekonomisi oluşturur. Dünyada olan atık miktarı ciddi oranda artış göstermiştir. Atıkların ciddi boyutlara gelmiş olduğu bu zamanda atık pil sorunu dünyanın önemli bir problemi olmuştur.

Lityum iyon piller, lityum iyonlarının batarya içinde hareket ederek depolandığı bir türdür. Pil şarj edildiğinde lityum iyonları negatif yönden pozitif yöne doğru hareket eder pil deşarj olurken de bu işlem tam tersi gerçekleşir.

Lityum iyon pil kullanımının avantajları yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler, hızlıca sarj olurlar ve uzun ömürlülerdir. Dezavantajları ise aşırı sıcaklar lityum iyon pillerinin çalışma kapasitelerini düşürüp güvenlikle ilgili riskler oluşturabilirler. Diğer bir dezavantajı ise maliyetleri diğer üretilen pil çeşitlerine göre daha yüksektir.

Bu çalışmada, kullanım ömrünü tamamlamış cep telefonu ve bilgisayar pillerinden geri dönüşüm yoluyla elde edilen ikincil hammaddenin, emaye sektöründe yaygın olarak kullanılan emaye frit reçetelerinde ne ölçüde değerlendirilebileceği araştırılmıştır. Çalışma, hem sürdürülebilirlik hem de ekonomik verimlilik ilkeleri doğrultusunda, atıkların yeniden işlenerek katma değerli bir ürüne dönüştürülmesini hedeflemektedir. Geri dönüşüm işlemi sonucunda elde edilen toz yapıdaki malzemenin kimyasal bileşimi detaylı analizlerle belirlenmiş; ardından bu veriler doğrultusunda emaye üretiminde kullanılabilecek biçimde oranlanarak reçetelere dahil edilmiştir. Böylece hem üretim maliyetlerini düşürme potansiyeli olan alternatif bir kaynak elde edilmesi, hem de çevreye zararlı olabilecek atık pillerin faydalı bir şekilde değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Emaye frit reçetelerinde sıklıkla yer verilen bazı stratejik metal oksitler, özellikle nikel oksit (NiO), kobalt oksit (CoO), mangan oksit (MnO) ve lityum oksit (Li_2O) gibi geleneksel olarak piyasadan saf bileşikler şeklinde yüksek maliyetlerle temin edilmektedir. Bu maddeler aynı zamanda lityum-iyon pillerin içeriğinde doğal olarak bulunan ve geri kazanılabilir nitelikteki temel bileşenlerdir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında değerlendirilen yaklaşım sayesinde, lityum pillerin içeriğinden doğrudan elde edilen bu metal oksitlerin geri dönüşüm yoluyla üretime entegre edilmesi, geleneksel yöntemlere kıyasla ciddi maliyet avantajı sunmaktadır.

Hurdaya çıkmış cep telefonu ve bilgisayar pillerinin geri dönüştürülmesine, öncelikle pilin deşarj işlemi ile başlanır. Bu işlem güvenlik açısından oldukça önemlidir, zira içeriğinde hala gerilim ihtiva eden pillerin güneşin altında bırakılması veya proseste kırılması esnasında patlaması riski vardır. Tuzlu su çözeltisi ile gerilim değeri 1 Volt 'un altına düşürülen piller, kırıcıdan geçirilerek parçalara ayrılır ve toz haline getirilir. Toz haline gelen malzeme, içeriğindeki kaba malzemelerin uzaklaştırılması amacıyla elenir ve farklı sıcaklıklarda kalsine edilerek organik maddeler uzaklaştırılır. Kalsinasyon sonucu oluşan toz halindeki malzemeye XRF, XRD, SEM ve AAS cihazları yardımıyla enstrümental analizler yapılarak kimyasal analizi ve fazları belirlenir. Analiz sonuçlarına göre oluşan bu yeni hammaddenin, kobaltlı emaye fritlerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Hali hazırda üretilen ETC ve sitrik asit dayanıklı siyah emaye fritlerde, pilde bulunması muhtemel olan kobalt, nikel, lityum ve mangan oksitlerin tamamı bulunmaktadır. Bu metal oksitler, kobalt oksit, nikel oksit, lityum karbonat ve mangan karbonat hammaddelerinin emaye friti reçetesinde tartılıp ergitilmesi sonucu oluşan emaye friti içeriğinde bulunmaktadır. Pillerin içeriğine göre emaye fritinin oksidik kompozisyonundaki bu metal oksitler hesaplanarak pilden geri dönüştürülen bu hammaddeden maksimum miktarda kullanılabilirliği gözlemlenmiştir.

Geri dönüşümle elde edilen hammaddenin analizine göre; bilgisayar pilinde, CoO miktarı %69,989, NiO miktarı %0,505, MnO miktarı %0,224, Li_2O miktarı %19,16'tir. Cep telefonu pilinde; CoO miktarı %58,480, NiO miktarı %0,899, MnO miktarı %0,770 ve Li_2O miktarı %18,61'tir. Bu analiz sonuçlarına göre, ETC Siyah frit ve asit dayanıklı siyah fritlerin reçeteleri hesaplanarak ergitme yapılmıştır. Ergitme sonucunda fritlerin plaka yüzey görüntüsü, rengi, yapışma özelliği, akışkanlığı, sitrik asit testi, ETC testleri yapılmıştır ve aynı fritlerin standartları ile

karşılaştırılmıştır. Alınan olumlu sonuçlar karşısında atık cep telefonu ve bilgisayar pillerinin ETC ve asit dayanımlı siyah fritlerde kullanılabilir olduğu gözlenmiştir. Bu hammaddeyi, aynı oranlara sahip standart hammaddeler ile karşılaştırdığımızda ortalama beş kat maliyet farkı olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık, standart hammaddeler kullanılarak yapılan fritler ile karşılaştırıldığında maliyet açısından %15 – 20 fayda sağladığı görülmüştür.

Tüm bu sonuçlar doğrultusunda, atık cep telefonu ve bilgisayar pillerinden geri dönüştürülen toz malzemenin, özellikle siyah emaye frit üretiminde hem teknik hem de ekonomik olarak kullanılabilir olduğu kanıtlanmıştır. Bu yaklaşım, hem sanayide alternatif ve yerli hammadde kaynaklarının değerlendirilmesine imkân tanımakta hem de çevresel atık yükünün azaltılmasına katkı sağlayarak sürdürülebilir üretim anlayışına doğrudan hizmet etmektedir.





USE OF CERTAIN METALS RECOVERED FROM MOBILE PHONE AND COMPUTER BATTERIES IN ENAMEL FRITTS

SUMMARY

Frit is an intermediate product with glass structure. The glassy structures formed by melting raw materials such as cobalt, lithium, manganese, nickel, iron and copper at high temperature after the recipe is prepared and weighed in certain proportions are called frit. If the melted frit is poured into cold water, it is called bead frit, and if it passes between cold cylinders and sudden shocking is performed, it is called flake frit. Enamel is formed by mixing these frits with each other in different ratios.

The main raw material that gives enamel its properties is frit. Enamels are powder and wet coating materials of borosilicate structure containing oxides of elements such as Na, K, Ba, Li, Ca, Mg, where oxides of elements such as Na, K, Ba, Li, Ca, Mg are preferred, and oxides of elements such as Al, Ti, Zr, F according to the feature expected from the enamel. Enamel is formed by grinding the formed frits to certain sizes in mills with different additives. The formed enamels are baked at temperatures and times determined according to the appropriate methods and spread on the surfaces.

Enamel types according to the desired properties; primer coat enamel, citric acid resistant enamel, ETC direct enamel, steam resistant pyrolytic enamel, transparent enamel, catalytic enamel, hot water resistant enamel, grill and burner cover enamel, self-colored second coat enamels.

The grinding process plays an important role in this process. The weight of the frit to be loaded into the mill is also important for grinding fineness in the same time. If the amount of frit is high, the grinding time of the mill increases, but if the amount of frit loaded into the mill is low, the balls will wear out due to the friction of the balls inside the mill, which is not desirable.

Enameled products have a wide range of applications such as kitchen utensils, cookers, ovens, baking trays, white goods, stoves, bathtubs, chemical industry. The reason why it is used so widely is its positive features such as hygienic, vapor resistance, acid resistance, resistance to moisture and chemicals and heat, ease of cleaning, having a hard surface against scratches and abrasion, creating a surface that does not smell and taste, and providing an aesthetic appearance. Enamels can be applied both as electrostatic powder and wet.

The fact that the life of the materials is exhausted shows that they are in a waste state. The general problem that occurs today is caused by these wastes. The increase in the amount of waste also creates a waste economy today. The amount of waste in the world has increased significantly. At a time when waste has reached serious dimensions, the problem of waste batteries has become an important problem of the world.

Lithium ion batteries are a type of battery in which lithium ions are stored by moving through the battery. When the battery is charged, the lithium ions move from negative to positive and vice versa when the battery is discharged.

The advantages of using lithium ion batteries are high energy density, fast charging and long life. The disadvantages are that extreme temperatures can reduce the working capacity of lithium-ion batteries and pose safety risks. Another disadvantage is that their cost is higher than other battery types.

In this study, the extent to which secondary raw materials obtained from end-of-life cell phone and computer batteries through recycling can be utilized in enamel frit recipes widely used in the enamel industry was investigated. The study aims to reprocess waste into a value-added product in line with the principles of both sustainability and economic efficiency. The chemical composition of the powdery material obtained as a result of the recycling process was determined by detailed analysis; then, in line with this data, it was included in the recipes by proportioning it in a way that it can be used in enamel production. Thus, it is aimed both to obtain an alternative resource with the potential to reduce production costs and to utilize waste batteries that may be harmful to the environment in a beneficial way.

Some strategic metal oxides that are often included in enamel frit recipes, notably nickel oxide (NiO), cobalt oxide (CoO), manganese oxide (MnO) and lithium oxide (Li_2O), are traditionally available from the market as pure compounds at high costs. These substances are also naturally occurring and recoverable key components in lithium-ion batteries. In this context, thanks to the approach evaluated within the scope of the study, integrating these metal oxides directly obtained from the content of lithium batteries into production through recycling offers significant cost advantages compared to conventional methods.

The recycling of scrapped cell phone and computer batteries starts with the battery discharge process. This process is very important in terms of safety, as there is a risk that batteries that still contain voltage may explode when left under the sun or broken in the process. The batteries, whose voltage value is reduced below 1V with saline solution, are crushed into pieces and pulverized by passing through a crusher. The powdered material is sieved to remove the coarse materials in its content and calcined at different temperatures to remove organic substances. The powdered material formed as a result of calcination is instrumentally analyzed by XRF, XRD, SEM and AAS devices to determine its chemical analysis and phases. According to the analysis results, the usability of this new raw material in cobalt enamel frits was investigated. Currently produced ETC and citric acid resistant black enamel frits contain all of the cobalt, nickel, lithium and manganese oxides that are likely to be present in the battery. These metal oxides are contained in the enamel frit content formed by weighing and melting cobalt oxide, nickel oxide, lithium carbonate and manganese carbonate raw materials in the enamel frit recipe. By calculating these metal oxides in the oxidic composition of the enamel frit according to the content of the batteries, the maximum amount of this raw material recycled from the battery was observed.

According to the analysis of the raw material obtained by recycling; in the computer battery, the amount of CoO is 69.989%, the amount of NiO is 0.505%, the amount of MnO is 0.224% and the amount of Li_2O is 19.16%. In cell phone battery; CoO content is 58.480%, NiO content is 0.899%, MnO content is 0.770% and Li_2O content is 18.61%. According to these analysis results, the recipes of ETC Black frit and acid resistant black frit were calculated and melted. As a result of the melting, the plate

surface appearance, color, adhesion, fluidity, citric acid test, ETC tests were performed and compared with the standards of the same frits. The positive results showed that waste cell phone and computer batteries can be used in ETC and acid resistant black frits. When we compared this raw material with standard raw materials with the same proportions, it was observed that there was an average cost difference of five times. On the other hand, when compared to frits made using standard raw materials, it was observed that it provided 15 - 20% cost benefit.

In line with all these results, it has been proven that the powder material recycled from waste cell phone and computer batteries can be used both technically and economically, especially in black enamel frit production. This approach not only enables the utilization of alternative and domestic raw material resources in the industry, but also directly serves the concept of sustainable production by contributing to the reduction of environmental waste burden.





1. GİRİŞ

Frit, toz halde olan hammaddelerin verilen reçeteye göre tartılarak karıştırıp yüksek sıcaklıkta ergitilmesi ve eritilen tartımın ani soğutulmasıyla oluşan pul veya granül şeklindeki camsı yapıya denir. Frit yapılacak olan emayenin ana hammaddesidir. Emayenin istenilen özelliğe göre frit reçetelerinde kullanılan inorganik hammaddelerde değişiklik yapılır. Fritlerin öğütülerek toz veya sulu yöntemle hazırlanmasına emaye denir [1].

Emayeyi oluşturmak için gereken hammaddesine “frit” denir. Frit, kendisini oluşturan anorganik hammaddelerin 1000-1500°C’de ergitilip, soğuk su ile ani şoklanıp elde edilen camsı granül ya da pullardır. Her emaye için üretilen fritlerin kimyasal bileşimi, istenilen emaye çeşitlerine göre farklılık göstermektedir [2].

Emayeler, ETC özellikte, asit dayanıklı, buhar dayanımlı özellikte olabilirler. Emaye kullanım yerleri mutfak ürünlerinde, soba, ocak, fırın, fırın tepsilerinde, küvet gibi çeşitli yerlerde kullanılmaktadır [3].

Kullanılan madde ve malzemelerin artık ömrünü tamamlamış olması malzemelerin “atık” konumunda olduğunun göstergesidir. Dünyamızda oluşan genel problemde oluşan bu atıklardan kaynaklanmaktadır. Atık miktarının artması da günümüzde atık ekonomisi oluşturmuştur. Dünyada olan atık miktarı ciddi oranda artmıştır. Atıkların ciddi boyutlara gelmiş olduğu bu zamanda atık pil sorunu dünyanın önemli bir problemi olmuştur [4].

Lityum iyon pilleri; yüksek enerji yoğunluğu, yüksek çalışma voltajı, uzun çevrim ömrü ve hafıza kaybının olmaması gibi öne çıkan özelliklerinden dolayı araştırma ve geliştirme önemli bir pil sistemidir. Taşınabilir sistemler için lityum iyon pillerinin kullanılmasında da önemli derecede artış vardır. Bu sebeple atık lityum iyon pillerinin geri dönüşmesi, geri kazanılmasına dair araştırma ve çalışmaların yapılması hem çevre açısından hem de ekonomi açısından oldukça önemli taşımaktadır [5].

Avrupa Birliği’ni kapsayan 2012 tarihinde hazırlanan raporda atık pillerin ve toplanan atık pillerin miktarları Tablo 1.1.’de verilmiştir. Tabloda verilen veriler atık pillerin ne kadar önemli bir atık çeşitliliğinin oluşturduğunu göstermektedir [4].

Tablo 1.1. Avrupa ülkelerinin atık pil toplama oranları.

Ülke	Piyasaya Sürülen Pil Miktarı (t)	Toplanan Atık Miktarı	Toplam Oran %	Veri yılı
Avusturya	3600	1800	50	2011
Belçika	4230	2200	52	2012
Çek Cumhuriyeti	3450	1000	29	2012
Danimarka	3200	1500	47	2011
Finlandiya	2400	850	35	2011
Fransa	33300	12000	36	2012
Almanya	42850	18000	42	2012
İtalya	30000	8000	27	2012
Hollanda	8350	3500	42	2011
Norveç	3350	1300	39	2012
Polonya	7000	3000	43	2011
İspanya	12500	3750	30	2011
İsveç	3650	2800	44	2010
İsviçre	3600	2600	72	2012
Bileşik Krallık	40750	11000	21	2012
Genel Toplam	202230	73300	32	2011

Lityum-iyon piller, cep telefonlarında, kameralarda, bilgisayarlarda ve diğer taşınabilir elektronik cihazlarda kullanılmaktadır. Tükenmiş olan lityum-iyon pilleri yerine yenilerinin üretilir. Bu nedenle bitmiş olan lityum iyon pillerdeki ana bileşenlerin geri kazanılması, çevre kirliliğinin azalması ve kobalt ve lityum kaynağı olarak tekrar kullanabilmek için bir fırsat sağlar [6].

Bu çalışmada, hurdaya çıkmış atık bilgisayar ve cep telefonları pillerinin geri dönüştürülerek içeriğine göre kobaltlı emaye fritlerin reçetesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Atık pillerin tamamı deşarj edilip, kırıcıdan kırılıp belirli aşamaları yapıp toz hale getirdikten sonra elde edilen hem bilgisayar pili hem de cep telefonu pilinden oluşan tozun XRF, AAS, SEM ve XRD analizleri yapıp analiz sonuçlarına göre hali hazırda olan frit reçetelerin içeriğine girilerek hesaplanmış ve fritler eritilmiştir, eritilen fritlerin testleri yapıp standart fritlerle karşılaştırılmıştır.

2. FRİT

2.1. Frit Nedir

Frit, cam yapılı ara bir mamuldür. Hammaddelerin belirli oranlarda hazırlanmış reçeteye göre tartılıp eritici yüksek sıcaklıkta eriterek hazırlanır [7]. Eriyen malzeme ani şoklamayla soğuk suya dökülür, hızla katılaşır ve frit olarak adlandırılan camsı yapılara bürünür. Eriğin soğuması işlemi soğuk suya dökülmesi halinde olacağı gibi içerisinden soğuk su geçirilen iki silindir arasına dökülerekte yapılabilir. Direkt suya boşaltılarak eritilen fritlere boncuk frit, soğuk silindir arasına dökülerek oluşturulan fritlere ise pul yapılı frit denir [3].



Şekil 2.1. Ergitme işlemi (Algotrio Kimya, 2023).

2.2. Frit İçerinde Kullanılan Hammaddeler

Frit reçetelerinde kullanılan inorganik oksidik bileşikler; ergiticiler, refrakterler, opaklaştırıcılar ve diğer hammaddeler 4 farklı grup oluşturularak toplanır. Refraktörler camsı yapıyı oluştururlar ve asidik özelliktedirler. Opaklaştırıcılar amfoterdir hem asidik hem de bazik özellik gösterirler. Bazılar ile reaksiyona girerek fritin erimesi için gereken sıcaklığını düşürürler. Diğer hammaddeler ise frite renk vermek için kullanılması gereken hammaddelerdir.

Ergiticiler; Na_2O , K_2O , CaO , BaO , Li_2O , MgO , ZnO , SrO

Opaklaştırıcılar; Al_2O_3 , B_2O_3 , Y_2O_3 , Bi_2O_3

Refrakterler; SiO_2 , TiO_2 , CeO_2 , ZrO_2

Diğer hammaddeler; P_2O_5 , F , V_2O_5 , CoO , NiO , MnO , CuO , Cr_2O_3 , MoO_3 , Fe_2O_3 , Sb_2O_3 tür [1].

2.2.1. Sodyum oksit

Fritin termal genleşme katsayısını yükselten etkiye sahiptir. Frit formülasyonunda kullanılan hammadde kaynakları boraks, sodyum feldspat, sodyum silika florürdür [1].

2.2.2. Potasyum oksit

Fritin yüksek genleşme katsayısını yükseltir. Potasyum oksit; potasyum karbonat, potasyum feldspat, potasyum silika florür gibi hammaddelerden elde edilerek kullanılır [1].

2.2.3. Kalsiyum oksit

Frit formülü içerisinde bulunan SiO_2 ile bir tabaka oluşturarak yüzey çatlamlarını engellerler. Yüksek miktarda kalsiyum oksit kullanıldığında oluşturulan fritte matlaşma gözlenir. Kalsit ve Kalsiyum Florür hammadde kaynaklarıdır [3].

2.2.4. Baryum oksit

Yüksek miktarda kullanıldığında yüzeyde matlaşmaya sebep olurlar. Baryum Karbonat ve Baryum Nitrat hammadde kaynaklarıdır. Emaye parlaklık ve yansıma sağlar. Baryum Nitratın maliyeti yüksek olduğu için çok fazla kullanılması istenmez [8].

2.2.5. Lityum oksit

Lityum oksitin erime sıcaklığı düşük olduğu emayenin düşük sıcaklıkta ergimesine neden olur. Bu sebeple termal genleşme katsayısını da yükseltir. Parlaklık sağlar. Hammadde kaynağı olarak da lityum karbonat ve spodumenden sağlanır [9].

2.2.6. Magnezyum oksit

Frit reçetelerinde genel olarak mat fritlerde kullanılır. Kullanım miktarı fazla olduğu zaman friti sertleştirir ve yapışmasını zayıflatır. Kıvam arttırıcı bileşendir. Magnezyum Karbonat ve Magnezyum Oksit temel hammadde kaynaklarıdır [10].

2.2.7. Çinko oksit

Emaye fritlerinde kullanılır, fritlerin daha canlı olmasını sağlar [1].

2.2.8. Stronsiyum oksit

SiO₂ ile tabaka oluşturarak emaye kaplanmış yüzeyde çatlaklara neden olurlar. Hammadde kaynağı olarak Stronsiyum karbonattan elde edilir [1].

2.2.9. Amfoterler

Hem asidik hem de bazik özellik kimyasallardır. Al₂O₃, B₂O₃, Bi₂O₃ başlıca amfoter oksitlerdir [3].

2.2.9.1. Bor oksit

Oluşturulan fritlerin maliyetlerini düşürme konusunda olumlu yönde etkiler. Emaye kaplanmış yüzeylerde dışarıdan gelecek darbe, kırılma ve çizilmeye dayanımını artırır. Fritlerde genleşme katsayısının düşürülmesini sağlar [9].

2.2.9.2. Alüminyum oksit

Kimyasal, mekanik ve termal genleşmeyi artırır. Erime sıcaklığını yükseltir. Genellikle yaş emayelerde kullanılır, elektrostatik emayelerde kullanımı düşüktür, vizkositeyi ve opaklığı artırır [11].

2.2.9.3. Bizmut oksit

Bizmut cam emaye fritlerinde kullanılır [3].

2.2.10. Silisyum dioksit

Cam oluşturan oksit olarak bilinir. Fritlerin içerisinde kullanımını arttırdıkça sertleştirir. Termal genleşme katsayısını dūřurur. Silis kaynağı olarak kuvars ve silis kumundan kullanılır [11].

2.2.11. Titanyum dioksit

Fritlere beyazlık vermek, rengini açmak için kullanılır. Fritlere sertlik vererek asit dayanımını kuvvetlendirir. Titanyum dioksit rutil titan hammadde kaynaklarındadır [9].

2.2.12. Seryum oksit

Seryum oksit fritlerde rengini açmak için kullanılır [1].

2.2.13. Zirkon dioksit

Asitlere darbelere ve şoklara karşı direnci arttırır. Opaklaştırıcı olarak kullanılır. Hammadde kaynakları zirkon silikat ve zirkon dioksittir [2].

2.2.14. Flor

Flor bileşeni frit etimi yaparken fritlerin kolay erimesini sağlar. Fritlerde kullanımı arttıa asite karşı dayanımı azalır. Flor kaynağı olarak kalsiyum florür, potasyum silika florür ve sodyum silika florür hammaddeleriyle elde edilir [3].

2.2.15. Fosfor pentaoksit

Forfor pentaoksit kullanıldığında yüzey pürüzlülüğünü arttırır. Hammadde kaynağı olarak mono amonyum fosfat ve sodyum tripolifosfattan kullanır [1].

2.2.16. Mangan oksit

Mangan oksit fritler reçetesinde kullanıldığında ürünün rengini koyulaştırıp, kırmızı rengini verir. Kullanılan hammadde kaynakları manganez oksit ve mangan karbonattır [12]

2.2.17. Kobalt oksit

Emaye fritlerinde emayenin saca yapışmasını, frit renklerinin mavileşip koyulaşmasını sağlar. Kobalt oksit beyaz renkli fritlerde de az oranda bile olsa kullanılır. Mavi, turkuaz renkli gibi pigmentlerin içerisinde de bulunmaktadır. Hammadde kaynağı olarak lityum kobalt oksit, kobalt karbonat ve kobalt oksit gibi hammaddelerden elde edilir [1].

2.2.18. Nikel oksit

Nikel oksitte kobalt oksit gibi emayenin saca yapışmasını sağlar. Haki rengini verir. Hammadde kaynağı olarak nikel oksit hammadde kaynağıdır [3].

2.2.19. Bakır oksit

Frit formüllerinde siyah renk vermek için kullanılır. Emayenin saca yapışmasını destekler ama tek başına bunu sağlayamazlar [13].

2.2.20. Demir oksit

Fritlerde renklendirici olarak kullanılır. Yeşil siyah renk verir. Hammadde kaynağı yine demir oksittir [2].

2.2.21. Krom oksit

Fritlerde renklendirici olarak kullanılır. Siyah emaye fritlerinde kullanıldığında emayenin rengini yeşil ve sarıya doğru değiştirir. Krom oksit fazla kullanıldığında emayelerden yapışma kaybı olabilir. Krom oksit opak yüzey görüntüsü sağlar. Hammadde kaynağı olarak krom oksidin kendisi kullanılır [11].

2.2.22. Antimon trioksit

Emaye fritlerinde emayenin saca yapışmasına yardımcı olur. Hammadde kaynağı olarak antimon trioksit ve sodyum antimonat kullanılır [3].

2.2.23. Molibden trioksit

Emaye fritlerinde yapışmayı destekler ama tek başına yapışmayı sağlamaz. Hammadde kaynağı olarak molibden trioksit ve sodyum molibdat kullanılır [14].

2.2.24. Yaş emaye değirmen katkıları

2.2.24.1. Kil

Yaş emayelerde değirmen katkısı olarak kullanılır. Öğütülen fritlerin su içerisinde çökmemesi için kullanılır. Değirmen formüllerinde %4-6 oranında kullanılır [3].

2.2.24.2. Sodyum nitrit

Yaş emaye içerisinde taneciklerin dağılmasını sağlar. Emayenin setinin artmasını sağlar. Değirmen formüllerinde %0,05-0,6 oranlarında kullanılır [1].

2.2.24.3. Boraks

Oluşturulmuş yaş emaye içinde emayenin akış hızını ve süresini ayarlamak için kullanılır [1].

2.2.24.4. Kuvars

Emayeyi sertleştirir kimyasallara dayanımını artırır. Kullanım miktarı arttıkça emayenin saça yapışması zayıflar. Değirmen reçetesinde en fazla %50 oranında kullanılır [1,3].

2.2.24.5. Pigment

Pigmentler yapılan emayeye renk vermek ve rengini ayarlamak için kullanılır. Yüksek sıcaklıklara dayanan inorganik malzemedir. Değirmen formüllerinde %4' e kadar kullanılabilir. Emayelerin pişme sıcaklıkları 880 °C' ye kadar çıkabildiğinden dolayı, içinde kullanılmış olan pigmentinde bu sıcaklıklara dayanıklı olması gerekir. Organik pigmentler 400 °C' nin üzerine çıktığında bozulacağı için emayelerde kullanılmaz [1,3]

Pigmentin rengini formül içerisinde kullanılan hammaddelerin ne olduğu ve hangi orandan kullanıldığı belirlemektedir. Pigmentler hammadde karışımlarının yüksek sıcaklıkta kalsinasyonu ile oluşturulur.

Örnek olarak siyah renkli pigmentler Fe-Cr-Co, Fe-Cr-Cu-Mn veya Fe-Cr-Co-Ni kompleksleri ile, mavi renkli pigmentler ise Co-Si, Co-Al veya Co-Al-Zn içerikli kompleksler ile oluşturulabilirler [3].

3. EMAYE

3.1. Emaye Nedir

Emaye, emaye fritlerinin yaş veya elektrostatik toz olarak öğütölüp demir esaslı sac veya döküm yüzeye uygulanarak oluşan dekoratif, renkli ve ısıya karşı dayanıklı cam yüzeylere denir. Emaye fritleri, inorganik malzemelerin yüksek sıcaklıkta ergitilmesi ile oluşan camsı yapıda oluşan malzemelerdir [3].

Emaye kaplama, porselen emaye veya camsı emaye diye isimlendirir. Porselen emaye kaplamalar genellikle dekoratif amaçlı kullanılmaktadır. Sanayi devriminden itibaren mutfak araç gereçlerinde, teknolojik alanlarda kullanılmaya başlamıştır [17].

Emaye kaplama yangına, kimyasal bozulmaya dayanıklı olduklarından dolayı tercih edilmektedir. Porselen emaye kaplamalar silika, asit, baz ve amfoterik oksitlerin yüksek sıcaklıklardaki (1200-1500 C) fırınlarda ergitilerek amorf hale getirilmiş cam malzemelerden oluşur. [17].

Emayeler dökme demir, sac, paslanmaz çelik gibi metallerden yapılmış parçaların üzerine uygulanır. Yüzeyleri pürüzsüz ve sert olmasından dolayı çizilmelere karşı dayanıklıdır. Kaplandığı zaman metallere estetik görünüm sağlar. Yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır [9]. Emaye kaplamalar bakteri üretimi yapmaz, renk ve kokuları yoktur bu özellikleri sayesinde yiyecek kapları içerisinde en güvenli olan ürünlerdir [15].

3.2. Emaye Tarihi

İnsanlık tarihinin en eski sanatlarından biridir. Kullanım açısından çok fazla gelişmeyen emayenin kökeni bilinmemektedir. İlk metal üzerine emaye kaplama M.Ö. 1300 yıllarda kullanılmaktadır. M.Ö. 2000 yıllarında seramik kap yapı malzemelerinde tuğla üzerine emaye uygulama başlamıştır [15]. Yüzyıllardır süsleme için kullanılan emaye kaplamalar 18.yy. dan itibaren kullanım alanları genişlemiştir. 20. yy. dan itibaren teknolojik gelişmeler ile kimya sanayiinde kullanımı artmıştır [16].

3.3. Emaye Kullanım Alanları

Emaye kaplama kullanım alanları tava, tencere, saklama kapları, bardaklar, ocak üstü setler, bek kapakları, fırınların iç yüzeyleri, fırın tepsileri, buzdolabı, banyo küvetleri, şofben, soba borusu, termosifonlar gibi geniş çaplı kullanım alanları vardır [8].



Şekil 3.1. Emaye kullanım alanlarına örnekler.

3.4. Emaye Üretimi

Emayenin hammaddesi frittir. Emaye oluşabilmesi için ilk önce frit üretilmesi gerekir. Emayenin özelliğini belirleyecek olan hammadde frittir. Emaye metal üzerine yapışan anorganik camsı bir yapıdır. Bu yapışma mekanik tutunmanın da dışında kimyasal tepkimelerdir [16]. Emaye oluşum aşamaları şekil 3.2 ile verilmiştir.



Şekil 3.2. Emaye kaplama oluşum aşamaları.

4. PİL

Bir pil elektrokimyasal redoks reaksiyonu ile kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren ayardır. Piller birincil ve ikincil pil olmak üzere ikiye ayrılır [23].

Birincil piller tekrar şarj edilemezler. Bu sebepten dolayı deşarj olduktan sonra atık durumundadırlar. Birincil piller genellikle aydınlatma, fotoğraf makinelerinde, pilli oyuncaklarda, hafıza yedekleme gibi işlerde depolama kaynağıdır [23].

İkincil pille ise tekrar şarj edilebilir piller olarak adlandırılır. Bilgisayarlar, cep telefonları, kameralar, fotoğraf makineleri, radyolar, televizyonlar için kullanılır [24].

4.1. Lityum İyon Piller

Lityum iyon pilleri 1980 yılında keşfedilmiştir. 1990'lı senelerin başlangıcından beri ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Lityum iyon bataryalarında enerji miktarı fazla olduğundan cep telefonu, dizüstü bilgisayar ve bu gibi taşınabilir güç kaynakları, elektronik cihazda kullanılmıştır [24].

Tablo 4.1. Li-iyon pillerin avantajları ve dezavantajları [25].

Avantajları	Dezavantajları
Hafıza kaybı yoktur.	Fiyatı
Uzun ömürlü	Yüksek sıcaklıkta bozulur
Çabuk şarj olur	Kapasite kaybı olur
Yüksek enerji verimi	Koruyucu devre ihtiyacı

Lityum iyon ikincil pillerinde, elektrot malzemesi olarak lityum metali değil, daha kararlı lityum oksit kullanılmaktadır [25].

Lityum pillerde katot aktif maddesi olarak LiMO_2 türündeki yapılar Co, Ni, Mn kullanılmaktadır. Bu yapılar şarj esnasında Li^+ vermeye, deşarj esnasında ise Li^+ almaya uygundurlar [26].

4.2. Lityum İyon Pillerde Kullanılan Malzemeler

Lityum iyon pillerinde görünüşleri ve boyutları farklı olsa da ticari pillerde kullanılan malzemeleri ve iç tasarımları birbirine çok yakındır. Lityum iyon piller lityum alışverişi yapan iki elektrottan oluşurlar [23].

4.2.1. Katot Malzemeler

Katmanlı lityum metal oksitlerin genel formülü $LiXO_2$ 'dir. Üç boyutlu spinel $LiMn_2O_4$, li-iyon pillerde katot malzeme olarak kullanılır. Sony tarafından kullanılan katot malzeme $LiCoO_2$ 'dir. $LiCoO_2$ iyi bir çevrime sahiptir fakat maaliyeti yüksek ve zehirli olması en büyük dezavantajıdır. [23].

4.2.2. Anot Malzemeler

Anot malzemeler içinde en çok kullanılan karbon ve lityum alaşım metalleridir. Lityum grafit ile bileşik alaşımladığında elektrolitlere karşı daha az reaktif olur. Sonuç olarak lityumlu malzemedeki lityumun kimyasal potansiyel durumu, metalik lityumunkinden daha az olur. Bu güvenlik avantajı sağlamasına karşın enerji, güç yoğunluğu ve hücre voltajında azalmaya neden olur [23].

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Atık Pillerin Deşarj İşlemi

Deşarj işlemi, pillerin mekanik olarak ayrıştırılması sırasında ortaya çıkabilecek olan kısa devre sorununu ortadan kaldırmak amacıyla uygulanmaktadır. Ömrünü tamamlamış lityum-iyon cep telefonu pili ve lityum-iyon bilgisayar pilleri %10'luk tuzlu suda 1 saat bekletilerek yapılır.

5.2. Pillerin Mekanik Ayrılması

Deşarj işlemi gerçekleştirilen pillerin ilk kırmada plastik kısımları ayrılır ve tartılır. Daha sonra 3mm' ye gelinceye kadar birkaç kez kırıcıdan geçirilir. Bu esnada kırıcıdan geçemeyen folyo kısımları kırılmadığından dolayı ayrılır ve tartılır. Geri kalan kırılan parçalar 150 mesh elekten geçirilerek, elek üstünde kalan plastik ve alüminyum metalleri ile kobalt ve lityumca zengin olan toz kısmı ayrılır. Elek altında ve üstüne kalan kısımlar tartılır.

5.3. Pillerin Kalsinasyon İşlemi

Kalsinasyon, katı bir kimyasal bileşiklere yüksek sıcaklıkta ısı verilmesi ve bu sayede bileşiklerin safsızlıkları uçurmak için yapılır [18].

Elekten geçen bilgisayar pili ve cep telefonu pillerinden yirmişer gram tartılır. 500 °C' de 5 saat kalsinasyon işlemi yapılır.

5.4. XRF Analizi

X-ışını floresans spektrometresi karakteristik X-ışınlarının analiz edilmesinde kullanılır. Genellikle, laboratuvar gibi yerlerde XRF spektrometresi geniş aralıklıdır. Özellikle elementel ve kimyasal kompozisyonu belirlemede XRF önemli bir cihazdır [19].

XRF, X-ışını floresansı anlamına gelmektedir. XRF çoğunlukla metal alaşımların, minerallerin ve petrol ürünlerinin bileşimini analiz etmek için kullanılır. XRF' de yer alan X-ışınları elektromanyetik spektrumların parçasını oluşturur [19].



Şekil 5.1. XRF cihazı (Algotrio Kimya, 2025).

5.5. XRD Analizi

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristal fazın kendine özel atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir nizam içerisinde kırması temeline dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri örnekle parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz yaparken numuneye zarar vermez ve az miktarda olan numunelere dahi analiz yapılabilir. XRD ile katı, toz ve ince film numunelerinin nitel ve nicel analizleri yapılabilir [20].

5.6. SEM Analizi

Taramalı elektron mikroskobu, odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobudur. Elektronlar numune üzerindeki atomlarla etkileşime girerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon gibi bilgiler içeren farklı sinyaller üretirler. Bu sinyaller ilgili dedektörlerde toplanarak bilgisayara aktarılır [21].

5.7. AAS Analizi

Atomik absorpsiyon spektrometri (AAS), elementlerin derişimlerini ölçen bir tekniktir. Kimyasal olarak hav/asetilen veya azot-oksit/asetilen alevi ile kullanılmaktadır. Ölçülen elemente özel kullanılan oyuklu katot lambasından yayılan ışınım mevcut alevden geçirilerek parçalı katı hal dedektör tarafından ölçülür. Analizi yapılacak numune aleve gönderilir, numune içinde ilgili element varsa, lambadan gelen ışınımın absorplar ve böylece ışınımın şiddeti azalır. Absorplanan ışınım miktarı numune içinde bulunan elementin derişimiyle doğrudan orantılıdır [22].



Şekil 5.2. AAS cihazı (Algotrio Kimya, 2025).

5.8. Elektrostatik Toz Emaye Uygulaması

Öğütme işlemi için 300 gramlık alümina değirmenler kullanılır. Ergitilen standart formüllü frit, cep telefonu pilinden yapılan frit ve bilgisayar pilinden yapılan fritler 300'er gram tartılıp 1000 cc hacimli alümina değirmende 14 dakika öğütülerek tane boyutu %15 (45 mikron elekte) olarak ayarlanır. Hazır olan emaye tozları ayrı ayrı 100 mesh elekten elendikten sonra elektrostatik toz uygulaması yapılması için tanka koyulur. 0,6 mm kalınlığındaki 12x15 cm'lik sac plakaların üzerine, ön kısmına 3,5 g, arka kısmına 5,5 g uygulanacak şekilde plaka yüzeyi kaplanır. 820 °C' de 4 dakika boyunda kül fırında pişirilir.



Şekil 5.3. Öğütme değirmeni (Algotrio Kimya, 2025).

5.9. Yaş Emaye Uygulaması

Öğütme işlemi için 300 gramlık alümina öğütme değirmenleri kullanılır. Karışım reçeteleri 300 grama göre tartılır. İçerisine %40 oranında su eklenip alümina değirmenlerde 8 dakika öğütülür. Öğütülen emaye çamurunun tane boyutu 150 mesh elekte 2-3 Bayer olacak şekilde hazırlanır. Hazırlanan tüm karışımların numunelerinin tane boyutu bu değer aralığında tutulur. Emayelerin yoğunlukları $1,65-1,67 \text{ g/cm}^3$ arasında tutulur. Tane boyutu ve yoğunlukları hazır olan emayeler 40 mesh elekten elenerek 0,6 mm kalınlığındaki 12x15 cm lik sac plaka üzerine arkalı önlü yaş daldırma işlemi uygulanarak kaplanır. Plakalar 200°C ' lik etüvde 5 dakika boyunca kuruduktan sonra kül fırınında 840°C ' de 4 dakika pişirilir.



Şekil 5.4. Kül fırını (Algotrio Kimya, 2025).

5.10. Renk Ölçümü

Uygulaması yapılan plakaların, Konica Minolta marka spektrofotometre ile renk ölçümleri yapılır. Renk 3 boyutlu olarak tanımlanır. L değeri emayenin açıklık ve koyuluğunu (L=0: Siyah, L=100: Beyaz), a değeri (+) oldukça kırmızılığı, (-) oldukça yeşilliği, b değeri (+) oldukça sarılığı (-) oldukça da mavi olduğunu gösterir.

5.11. Sitrik Asit Testi

%10'luk sitrik asit çözeltisi hazırlanır. Hazırlanan bu çözelti uygulaması yapılmış plakaların üzerine damlatılır ve 15 dakika boyunca bekletilir. Bu testte emayenin sitrik asiye dayanımına bakılır, eğer 15 dk sonunda yüzeyde bir aşınma yoksa AA değerini alır, hafif aşınma varsa A değerini, beyaz aşınma görüntüsü varsa B değerini alır.

5.12. Yapışma Testi

Bu test emayenin saca yapışma durumunu belirlemek için yapılır. 90 cm yüksekliğinde 90 cm çapında ve 1250 gram ağırlık emaye kaplı hazırlanan plakanın üzerine bırakılır. Eğer emayede kopma olmazsa 1 değerini alır ama emayede kopma olursa 5 değerini alır.

5.13. ETC Testi

ETC (easy to clean) yani kolay temizlenebilirlik testidir. Sitrik asit testi yapılmış plakanın üzerine lityum nitrat eklenir. 320 °C'lik kutu fırında 15 dakika boyunca bekletilip yıkanır eğer iz varsa testten kalır, iz yoksa testi geçer.

5.14. Akışkanlık Testi

Emaye ve fritin sertliğini belirlemek için yapılan testtir. İlk önce frit öğütülür 60 mesh elekten geçirilir 2,5 gram tartılıp şekil verilir. 860 °C'lik fırında 1 dakika yatay olarak, 2 dakika dikey olarak bekletilir ne kadar aktığı test edilir eğer uzun akarsa yumuşak frit eğer akmazsa da sert frit olarak değerlendirilir.



6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

6.1. Atık Pillerin Deşarj İşlemi

Bitmiş lityum-iyon cep telefonu pili ve lityum-iyon bilgisayar pillerinden 1V'un üstünde olan pillerin 100 tanesine deşarj işlemi uygulandı. Saf suda, %10'luk, %20'lik ve %30'luk tuzlu su çözeltisinin içine koyularak denemeler yapıldı. En hızlı ve en verimli sonuç %10'luk tuzlu suda olduğu için tüm pillerin deşarj işlemi %10'luk tuzlu su çözeltisinin içerisinde 1 saat bekletilerek yapıldı. Tablo 6.1 ve Tablo 6.2' de saf suda ve %10 'luk tuzlu suda bekletilen pillerin deşarj değerleri verilmiştir.

Tablo 6.1. Saf suda bekletilen pillerin deşarj değerleri.

Pil Sayısı	Başlangıç(v)	1 Saat Sonra(V)	3 Saat Sonra(V)	4 Saat Sonra(V)
1	6,28	5,4	4,2	3,8
2	5,42	4,5	4,1	3,4
3	3,2	2,8	2,1	1,06
4	8,33	6,11	5,12	4,05
5	4,69	3,85	3,27	3,01
6	5,92	4,45	4,12	3,85

Tablo 6.2. %10'luk tuzlu suda bekletilen pillerin deşarj değerleri.

Pil Sayısı	Pil İlk Ölçüm (V)	1 Saat Sonra (V)	Pil Sayısı	Pil İlk Ölçüm (V)	1 Saat Sonra (V)
1	2,49	0,16	21	3,8	1,35
2	7,98	1,05	22	5,14	1,14
3	8,03	1,02	23	1,6	0,31
4	8,16	0,69	24	6,08	1,74
5	1,12	0,31	25	4,91	0,21
6	2,82	0,06	26	2,44	0,73
7	8,3	0,09	27	1,06	0,26
8	6,54	1,26	28	2,65	0,56
9	1,59	0,16	29	1,2	0,3
10	3,06	0,97	30	1,72	0,56
11	2,51	0,35	31	2,18	0,33
12	1,43	0,64	32	1,64	0
13	1,11	0,42	33	1,05	0,88
14	1,48	0,45	34	1,1	0,35
15	1,68	0,09	35	1,7	0,37
16	1,05	0,24	36	1,15	0,89
17	1,12	0,43	37	1,01	0,05
18	2,57	0,75	38	1,2	0,49
19	1,27	0,47	39	1,37	0,37
20	1,01	0,65	40	1,32	0,26

6.2. Pillerin Mekanik Ayrılması

Deşarj işleminin ardından cep telefonları ve bilgisayar pillerinden 1V' un altına düşen piller kırıcıya beslenerek parçalanıp toz haline getirildi.

6.3. Pillerin Kalsinasyon İşlemi

20 gram tartılmış piller 100 °C'den 700 °C'ye kadar yarım saat boyunca kadar farklı sıcaklıklarda kalsine edildi 500 °C'den sonra değerler sabitlendiğin dolayı 500 derecede sabit kalıp süreyi uzatarak kalsine edilmeye devam edildi. Tablo 6.3'te değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Kalsinasyon sonucu ortalama değerleri.

Derece (°C)	Kalsinasyon işlemi sonrasında kalan kısım (%)
100	96,40%
200	95,60%
300	92,50%
500	74,40%
600	72,10%
700	71,20%

5. saatten sonra değerler değişmediği için artık tozun içinde organik malzeme kalmadığını tespit ederek çalışma sonlandırıldı. Aşağıdaki tablo 6.4'te değerleri verilmiştir.

Tablo 6.4. 500 °C'de kalsinasyon değerleri.

500 °C	Kalsinasyon işlemi sonrasında kalan kısım (%)
1saat	51,40%
2saat	37,40%
3saat	28,40%
4saat	27,30%
4,5saat	27,30%
5 saat	26,70%
15saat	26,70%
23 saat	26,50%



Şekil 6.1. Kalsinasyon işlemi bittikten sonraki görüntüsü.

6.4. XRF Sonuçları

Kalsinasyon sonrası kalan tozun XRF analiz sonuçlarına göre bilgisayar pilinde CoO miktarı % 69,989, NiO miktarı % 0,505, MnO miktarı % 0,224'tir.

Cep telefonu pilinde CoO miktarı % 58,485, NiO miktarı % 0,899, MnO miktarı % 0,770'tir. Xrf cihazında Li_2O ölçümü yapılamadığı için AAS ile ölçümü yapıldı. Cep telefonu pilinde Li_2O miktarı % 18,61, bilgisayar pilinde Li_2O % 19,16 olarak ölçüldü. Tablo 6.5'te XRF ve AAS analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 6.5. XRF ve AAS analiz sonuçları.

Bileşen Adı	Cep Telefonu Pili(%)	Bilgisayar Pili (%)
CoO	58,485	69,989
SiO ₂	11,776	2,425
Na ₂ O ₃	4,081	2,127
Al ₂ O ₃	2,203	1,895
CaO	1,109	0,124
NiO	0,899	0,505
MnO	0,77	0,224
Fe ₂ O ₃	0,572	0,369
CuO	0,545	3,182
TiO ₂	0,544	
K ₂ O	0,406	
Li ₂ O	18,61	19,16
Toplam	100	100

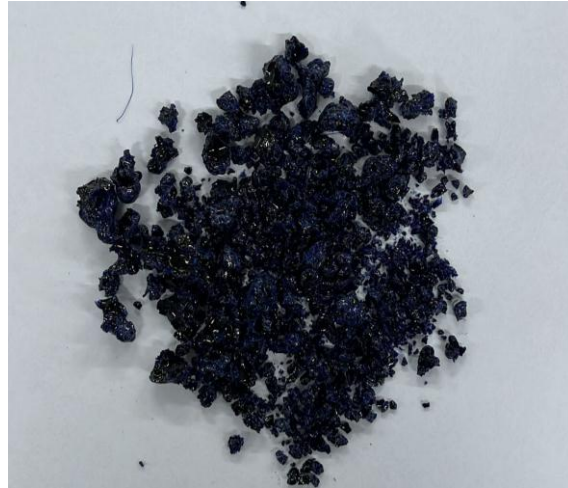
Ölçülen analiz sonuçlarına göre eritilecek fritlerin içeriğinde kobalt oksit yerine bilgisayar pili ve cep telefonu pili kullanılmıştır. Formülün içine pillerin analiz sonuçları girilmiştir. Hem toz hem de yaş emaye fritleri ergitilmiştir.

6.5. Frit Ergitme

Analiz sonucunda çıkan CoO , NiO , Li_2O ve MnO sonuçları yaş asit dayanımlı siyah frit ve siyah toz emaye friti formüllerinin içeriğine girilerek yeni bir tartım reçetesi oluşturuldu. Bu fritler 1,5 kg'lık reçetelere göre hazırlanmış olup laboratuvar denemeleri için kullanılan pota fırında $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklıkta 1 saat ergitildi. 1 saat geçtikten sonra soğuk suya dökülüp şoklanarak boncuk frit haline getirilmiştir.



Şekil 6.2. Frit ergitme potası (Algotrio Kimya, 2023).



Şekil 6.3. Boncuk frit (Algotrio Kimya, 2025).

6.6. Toz Emaye Uygulaması

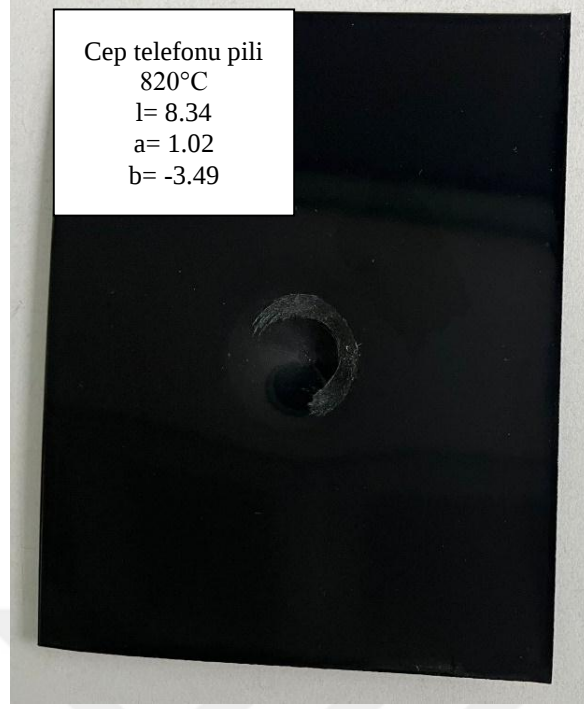
Kobalt oksit ile ergitilen fritin görüntüsü, bilgisayar pili kullanılarak ergitilen frit ve cep telefonu pili kullanılarak ergitilen fritlerin elektrostatik toz plaka görüntüleri şekil 6.4, şekil 6.5, şekil 6.6 'da gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Standart toz emaye görüntüsü.



Şekil 6.5. Bilgisayar pili toz emaye.



Şekil 6.6. Cep telefonu pili toz emaye.

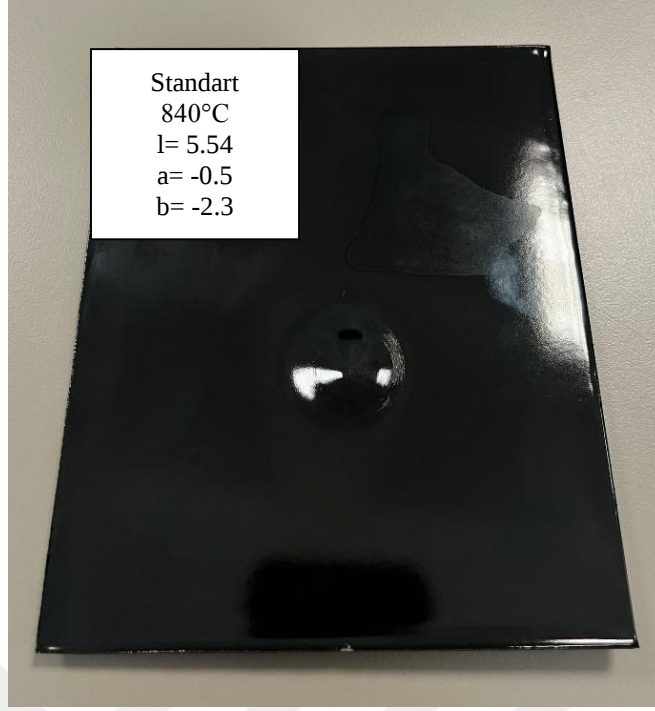
6.7. Yaş Emaye Uygulaması

Frit ergitildikten sonra aşağıdaki değirmen reçetesi ile 300 gram frite göre tartımları yapıldı ve yine alümina değirme yüklendi.

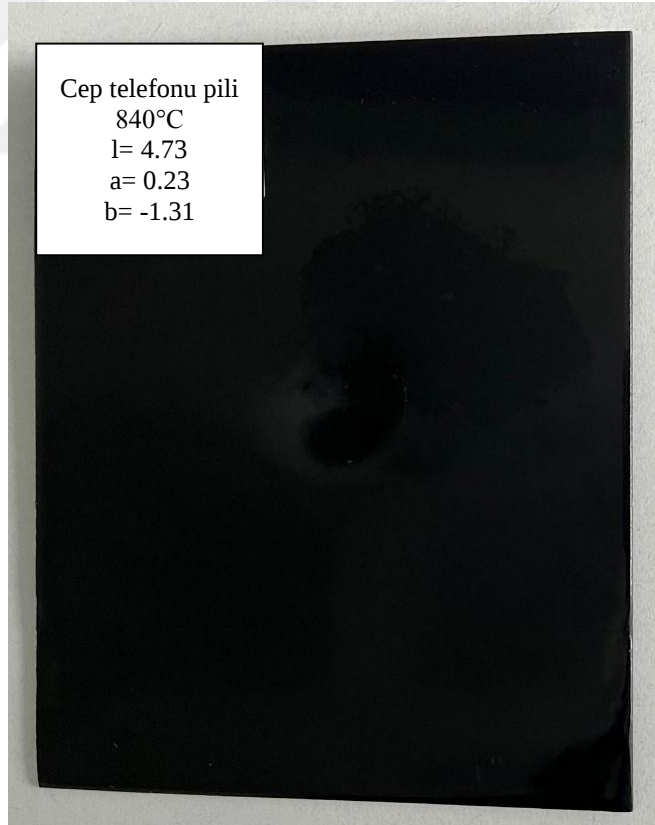
Tablo 6.6. Yaş emaye değirmen katkıları ve oranları.

Bileşen Adı	% Oran
Frit	100
Sodyum Nitrit	0,2
Boraks	0,15
Kil MT 510	6
Kuvars	3
Pigment	2
Su	40

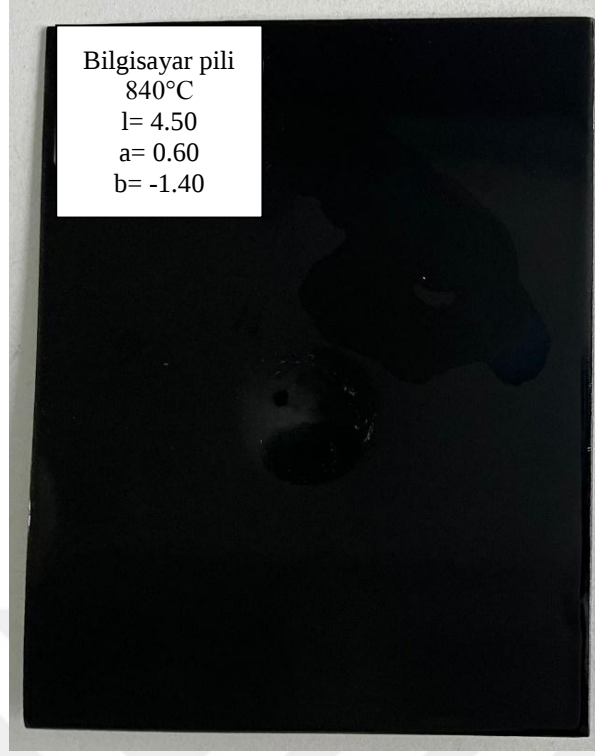
Plaka görüntüleri şekil 6.7., şekil 6.8. ve şekil 6.9’da gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Standart yaş emaye.



Şekil 6.8. Cep telefonu pili yaş emaye.



Şekil 6.9. Bilgisayar pili yaş emaye.

6.8. Renk Ölçümü

Hem bilgisayar pili için hem de cep telefonu pili için elektrostatik ve yaş uygulama yapılan plakaların renk değerleri ölçüldü. Tablo 6.7.'de verilmiştir.

Tablo 6.7. Renk ölçüm sonuçları.

Toz Siyah Frit	L	a	b	Yaş Siyah Frit	L	a	b
Standart	8,79	0,93	-2,04	Standart	5,54	-0,5	-2,3
Cep telefonu pili	8,34	1,02	-3,49	Cep telefonu pili	4,73	0,23	-1,31
Bilgisayar pili	8,67	0,94	-3,21	Bilgisayar pili	4,5	0,6	-1,4

6.9. Yapışma Testi

Yapışma testi sonuçları tablo 6.8.'de verilmiştir.

Tablo 6.8. Yapışma Değerleri.

Toz Siyah Frit	Yapışma Değeri	Yaş Siyah Frit	Yapışma Değeri
Standart	1	Standart	1
Cep telefonu pili	1	Cep telefonu pili	1
Bilgisayar pili	1	Bilgisayar pili	1

6.10. Sitrik Asit Test Sonuçları

Sitrik asit test sonuçları tablo 6.9.' da verilmiştir.

Tablo 6.9. Asit Değerleri.

Toz Siyah Frit	Asit Değeri	Yaş Siyah Frit	Asit Değeri
Standart	A	Standart	A
Cep telefonu pili	A	Cep telefonu pili	A
Bilgisayar pili	A	Bilgisayar pili	A

6.11. Akışkanlık Test Sonuçları

Yaş fritin akma değerleri bilgisayar pilinde 50,16 mm, cep telefonu pilinde 48,4 mm ve bu fritin standart değeri 50,87'dir.

Toz emaye fritinde akma değerleri bilgisayar pilinde 45,16mm, cep telefonu pilinde 43,54mm, bilgisayar pilinde 44,43mm'dir.

6.12. ETC Testi Sonuçları

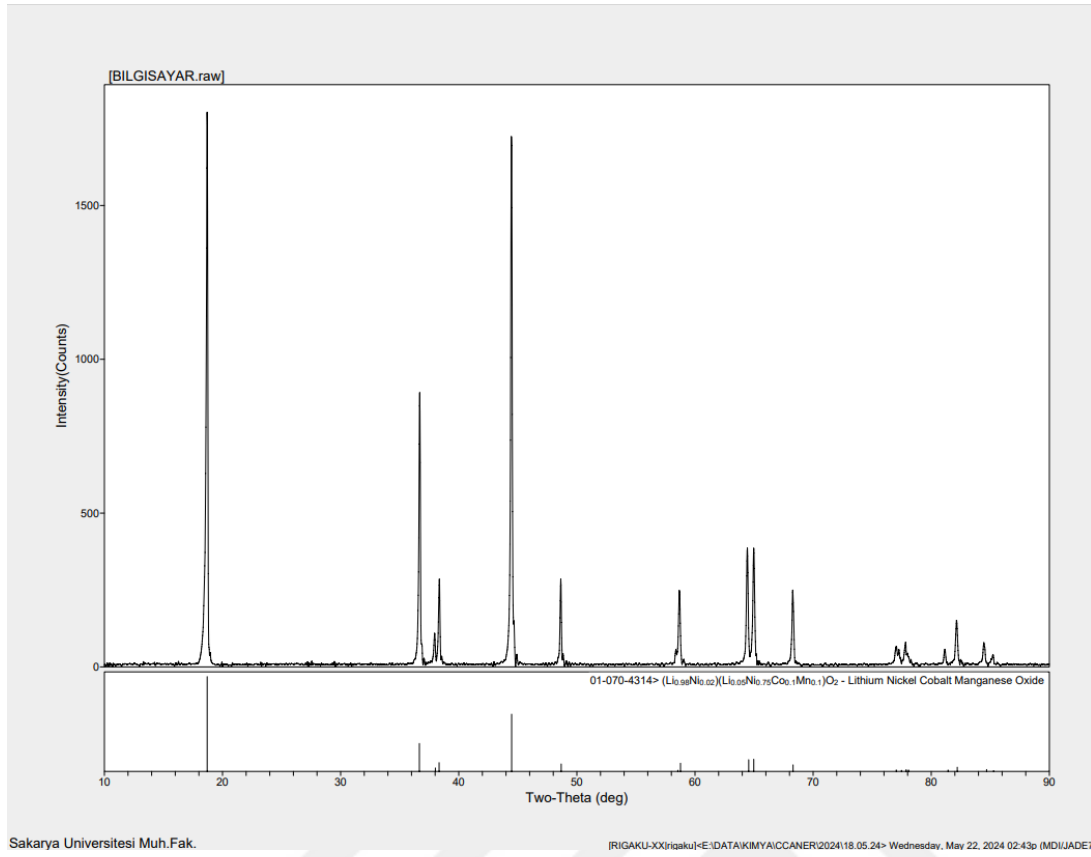
Yaş fritte bu test yapıldı. Bilgisayar pilinde de cep telefonu pilinde de ETC testi sonucunda iz kalmamıştır ve testi geçmiştir.

6.13. Plaka Yüzey Kontrolü

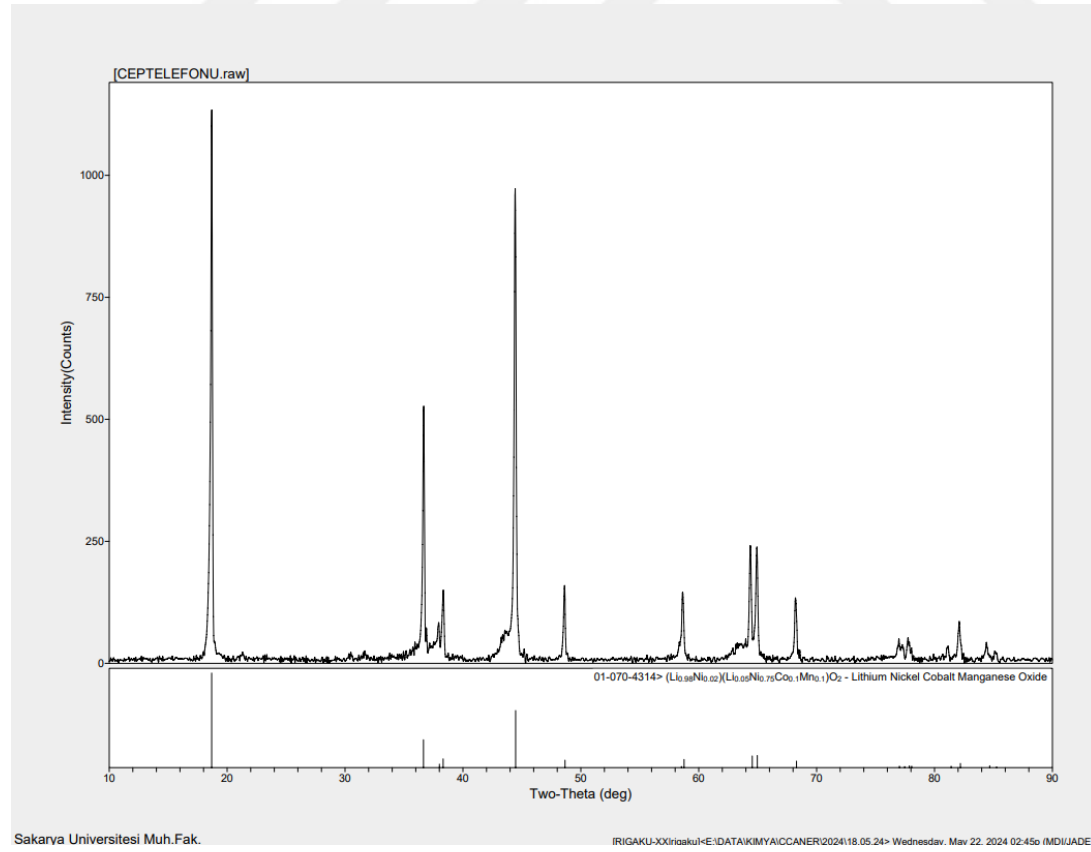
Emayeler plakalara uygulanıp pişirildikten sonra gözle yüzey görünümleri incelendi ve yüzeyde bozukluk görülmedi.

6.14. XRD Analizi

Cep telefonu ve bilgisayar pilinden elde edilen tozların XRD sonuçları Şekil 6.10. ve Şekil 6.11'de verilmiştir.



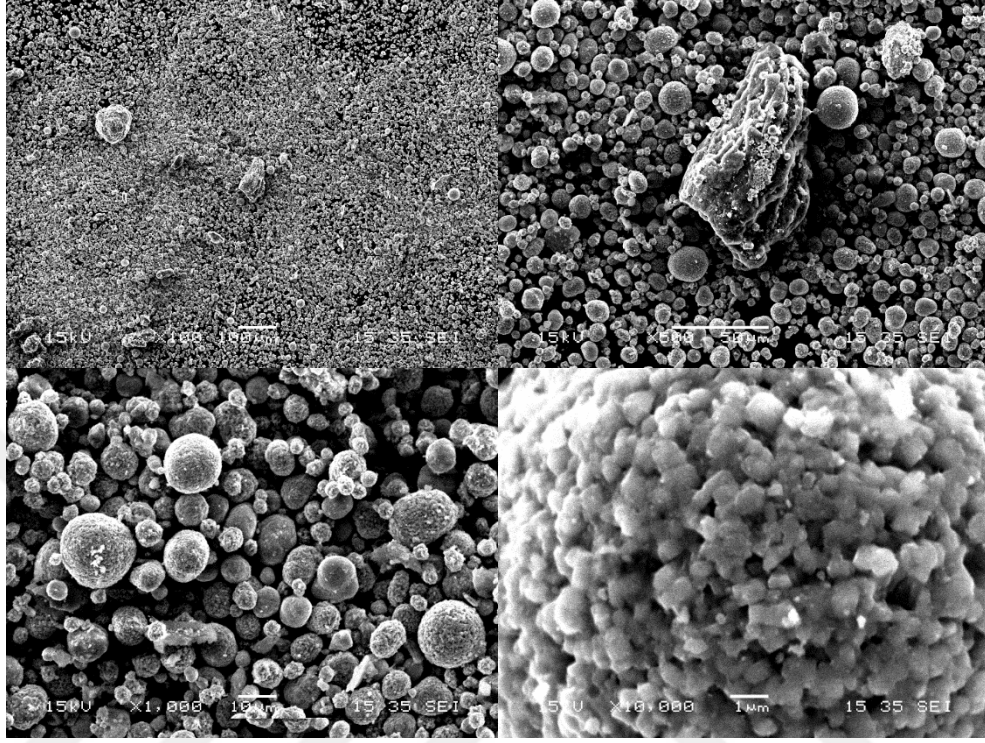
Şekil 6.10. Bilgisayar pili XRD sonucu.



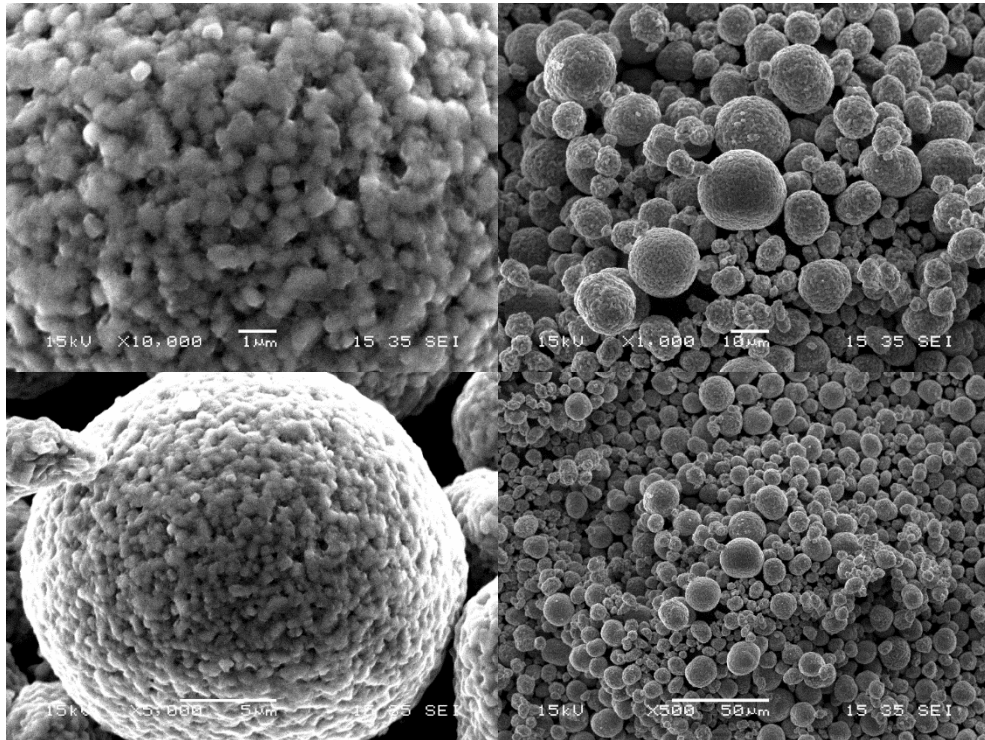
Şekil 6.11. Cep telefonu pili XRD sonucu.

6.15. SEM Görüntüleri

Bilgisayar pili ve cep telefonu pillerinin sem görüntüleri şekil 6.12 ve şekil 6.13’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Bilgisayar pili sem görüntüsü.



Şekil 6.13. Cep telefonu pili SEM görüntüsü.



7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada ömrü sona ermiş bilgisayar ve cep telefonu pillerinden kobalt, nikel, mangan ve lityum metalleri geri kazanılarak elektrostatik toz emaye ve yaş emaye friti üretimi yapılmıştır.

Bilgisayar ve cep telefonu pillerinden ayrıştırılıp kalsinasyon işleminden sonra analizleri yapılan lityum ve kobalt içeriği yüksek olan malzemeler iki ayrı emaye friti reçetesinde kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Her iki ürün de hem standart kobalt oksit ile hem de kalsine edilmiş iki ayrı pil ürünü ile ergitilmiş, kıyaslamaları yapılmıştır. Özellikle sitrik asit testi, yapışma ve renk değerleri kıyaslaması bu ürünler için belirleyici kriterler olduğu için önemlidir ve sonuçlar standart fritler ile oldukça yakındır.

Pillerden geri kazanılan bir ürün olması hasebiyle maliyetin düşük olması beklenmektedir. Mevcut piyasa koşullarına göre hem cep telefonu pili hem de bilgisayar pilinden elde edilen materyallerin emaye friti reçetesinde kullanımı ile ilgili aşağıdaki gibi bir hesaplama yapıldığında maliyet avantajı da ortaya çıkmaktadır.

Atık piller için toplama, kırma, eleme ve kalsinasyon işlemleri de dahil olmak üzere bir hesaplama yapıldığında maliyet olarak ortalama 4 usd/kg karşımıza çıkmaktadır. İçeriğe göre orijinal kullanılan hammaddeler, emaye fritinde ergitildiğinde gelen metal oksit miktarı ve kg maliyetleri de aşağıdaki gibidir.

Tablo 7.1. Frit ergitildiğinde gelen metal oksit miktarı.

Hammadde	Kimyasal formülü	Ergime sonrası kalan metal oksit	Ergime sonrası gelen metal oksitin miktarı	Hammadde maliyeti (usd/kg)
Kobalt oksit	Co_3O_4	CoO	93	18
Nikel Oksit	NiO	NiO	99	19
Lityum Karbonat	Li_2CO_3	Li_2O	40	15
Mangan Karbonat	MnCO_3	MnO	61	1,5

100 kg cep telefonu pili ve bilgisayar pilinden emaye fritine gelen kobalt oksit, nikel oksit, lityum oksit ve mangan oksit miktarları aşağıdaki gibidir. Emaye friti içerisinde

de bulunan diğ er metal oksitleri dahil etmeden bile hesaplama yapıldığında avantajı ortaya çıkacaktır.

Tablo 7.2. Pillerden gelen % metal oksit değ erleri.

Bileş en Adı	Cep Telefonu Pili (%)	Bilgisayar Pili (%)
CoO	58,485	69,989
NiO	0,899	0,505
MnO	0,77	0,224
Li ₂ O	18,61	19,16

Cep telefonu pilinden 100 kg karş ılığ ında orijinal hammadde kullanılarak hesap yapacak olursak;

- CoO yerine kobalt oksit (Co₃O₄) kullanıld ığında: $58,485/0,93= 62,90$ kg
- NiO yerine nikel oksit kullanıld ığında: $0,899/0,99 = 0,91$ kg
- MnO yerine Mangan Karbonat kullanıld ığında: $0,77/0,61= 1,26$ kg
- Li₂O yerine Lityum Karbonat kullanıld ığında: $18,61/0,40= 46,53$ kg

Hammadde maliyeti;

- $(62,90 \times 18) + (0,91 \times 19) + (1,26 \times 1,5) + (46,53 \times 15) = 1849,33$ usd / 100 kg

Bilgisayar pilinden 100 kg karş ılığ ında orijinal hammadde kullanılarak hesap yapacak olursak;

- CoO yerine kobalt oksit (Co₃O₄) kullanıld ığında: $69,989/0,93= 75,26$ kg
- NiO yerine nikel oksit kullanıld ığında: $0,505/0,99 = 0,51$ kg
- MnO yerine Mangan Karbonat kullanıld ığında: $0,224/0,61= 0,37$ kg
- Li₂O yerine Lityum Karbonat kullanıld ığında: $19,16/0,40= 47,90$ kg

Hammadde maliyeti;

- $(75,26 \times 18) + (0,51 \times 19) + (0,37 \times 1,5) + (47,90 \times 15) = 2083,43$ usd / 100 kg

Atık pilin iş lenmesi sonucu oluş an 100 kg hurda malzemenin maliyeti 400 usd olarak hesaplanmıştır. Buna göre içeriklerine göre orijinal hammaddeden kullanılan malzeme ile hurda geri kazanımı sonucu oluş an malzemeleri parasal olarak kıyasladığımız ıda;

Cep telefonu pili için;

- $1849,33/400 = 4,62$ kat maliyet avantajı sağlamaktadır.

Bilgisayar pili için;

- $2083,43/400 = 5,21$ kat maliyet avantajı sağlamaktadır.

Atık lityum piller üreticisine göre farklı içeriklere sahiptirler. Bu sonuçlar göz önüne alındığında atık pillerde özellikle kobalt, nikel ve lityum içeriği ne kadar yüksek olursa o kadar maliyet avantajı sağlayacaktır.

Geri kazanılan bir ürünün çevresel etkileri göz önüne alındığında bu çalışma sonucu alınan faydaların yüksek olduğu görülmektedir. Ülke olarak yalnızca pil için değil her türlü malzemenin geri dönüşümünün ekonomik faydasını görebileceğimiz gibi çevre ve canlılara olan faydasını da görmeliyiz.



KAYNAKLAR

- [1] Kaya T.N., Emaye Kaplı Parçalarda Yapışmazlık Özelliğinin Geliştirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2023.
- [2] Yılmaz E., Taban Malzeme Emaye Arayüz İlişkilerinin Emaye Kalitesine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [3] Şahin. O., Dökme Demirlere Uygulanabilen Renkli Majolik Emaye Fritlerinin Geliştirilmesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [4] Yeşiltepe Ş., Primer Pillerin Geri Dönüşüm Prosesleri Hakkında Genel Değerlendirme, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, 2016.
- [5] Aktaş S., Bitmiş Li-iyon ikincil pillerinden lityum ve kobalt geri kazanımı, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı, 2008.
- [6] Kükrer T. Taşınabilir Elektronik Aygıtların Atık Pillerinden Lityum ve Kobalt Geri Kazanımı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktor Tezi, 2010.
- [7] Güvenç Ş, Frit Üretim Fabrikasında Enerji Verimliliği Analizi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [8] Dolay E., Emaye Kaplama Endüstrisi Atıksuların Fenton Prosesi ile Arıtılması, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [9] Demirhan E., Alüminyum Yüzey Üzerindeki Emaye Kaplamalara Titanyum Dioksit Katkısı ile Fotokatalitik Özellik Kazandırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [10] Yılmaz E. Taban Malzeme Emaye Arayüz İlişkilerinin Emaye Kalitesine Etkisi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [11] Çetin S., Bazalt Tüfü Kullanılarak Yapılan Fritlerin Endüstriyel ve Sanatsal Sırlarda Kullanımı, Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Seramik Ana Sanat Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [12] Yıldırım M., Sıvı Bazlı Emaye Çamurlarının Geri Kazanımı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2021.
- [13] Haliloğlu A., CuO İçeren Sırlarda Firit Bileşimi Renk Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Birleşik Sanatlar Ana Sanat Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2020.

- [14] Kara M.K., Sürekli Tavlama Yöntemi ile Yeni Kalite Bir Emaye Çeliği Üretimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [15] Üstündağ H., Çağdaş Sanatsal Anlatım Dili Olarak Emaye Tekniklerinin Kullanımı ve Kişisel Uygulamalar, Akdeniz Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Seramik Ana Sanat Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [16] Karagöz R., Emaye Malzemelere Fotokatalitik Özelliğinin Kazandırılması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [17] Kaya T.N., Şahin O., Yılmaz E., Al-Buriahi M.S., Çalışkan F. (2024), Farklı Bor Kaynaklarının Fritler Üzerindeki Etkisi. 6. International Mediterranean Congress (536-545).
- [18] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kalsinasyon>
- [19] [https://www.endustriyeltestcihazlari.com/xrf-spektrometresi-nedir-kullanim-
alanlari/](https://www.endustriyeltestcihazlari.com/xrf-spektrometresi-nedir-kullanim-alanlari/)
- [20] <https://taum.erciyes.edu.tr/tr/x-isini-difraktometresi-xrd>
- [21] <https://arum.ogu.edu.tr/Sayfa/Index/65/taramali-elektron-mikroskobu-sem>
- [22] <https://merlab.metu.edu.tr/tr/atomik-absorpsiyon-spektrometresi>
- [23] Cevher Ö., Lityum İyon Piller İçin Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi ile Metaloksit – Karbon Kompozit Anamların Geliştirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2024.
- [24] Moralı U., Erol S., (2020), 18650 Lityum İyon ve 6HR61 Nikel - Metal Hidrit Tekrar Şarj Edilebilir Pillerinin Elektrokimyasal Empedans Analizi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 35:1 (297- 309).
- [25] Aktaş S., Bitmiş Lityum İyon İkincil Pillerinden Metalik Değerlerin Geri Kazanımı Ve Fray-Farthing-Chen (Ffc) Cambridge Prosesi ile Metalik Kobalt Üretimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2007.
- [26] Özçelik E., Özkan G., İkincil Lityum Pillerinde Katot Aktif Maddesi Olarak Kullanılan LiCoO₂ İn Sentezi ve Karakterizasyonu, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 21, No 3, 423-425, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Dilay PAR

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2021, Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü
- Yükseklisans** : 2025, Sakarya Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM

- 2021 Yılından İtibaren Algotrio Kimya San. ve Tic. A.Ş AR&GE Uzmanı Olarak Çalışmaktadır.