

**YUMURTA KABUĞU, ANTEP FISTIĞI KABUĞU, FINDIK  
KABUĞU, PİRİNÇ KABUĞU VE ZEYTİN  
ÇEKİRDEĞİNDEN HAZIRLANAN ADSORBANLARIN  
ADSORPSİYON PERFORMANSLARI**

Buse KARAGÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin TOPALLAR

EDİRNE–2011

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YUMURTA KABUĞU, ANTEP FISTIĞI KABUĞU, FINDIK KABUĞU, PİRİNÇ  
KABUĞU VE ZEYTİN ÇEKİRDEĞİNDEN HAZIRLANAN ADSORBANLARIN  
ADSORPSİYON PERFORMANSLARI

BUSE KARAGÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİKOKİMYA ANABİLİM DALI  
KİMYA BÖLÜMÜ

Bu tez 28.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin TOPALLAR

Üye

Prof. Dr. Mehmet İŞCAN

Üye

Doç. Dr. Şaban AKTAŞ

2011-EDİRNE

## ÖZET

Yumurta kabuğu, antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinden hazırlanan adsorbanlar üzerinde  $As^{5+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$  ve  $Ni^{2+}$  iyonların sulu çözeltilerden adsorpsiyonu incelendi.

Yumurta kabuğunun yapısı çok miktarda  $CaCO_3$  bulundurduğundan dolayı,  $CaCO_3$  asidlerle reaksiyona girdiği için yumurta kabuğunun asidlerle aktivasyonu yapılamadı. Yumurta kabuğunun dışındaki adsorbanların  $HCl$ ,  $H_2SO_4$  ve  $H_3PO_4$  ile kimyasal aktivasyon sayesinde elde edilen aktif karbonların  $600^\circ C$ 'de maksimum bir yüzey alanına sahip olduğu gözlemlendi.

Absorbans-konsantrasyon grafikleri sayesinde sulu çözeltilerden adsorbe olan iyonların konsantrasyonları UV/VIS bir spektrofotometre ile absorbans ölçülerek bulundu.

Değişik sıcaklıklarda her bir adsorbanın ağırlık kayıpları, aktif karbon verimleri, yüzey alanları ve adsorbanların gözenek özellikleri tayin edildi. Bu adsorbanların her bir iyon için adsorpsiyon performansları (%), adsorpsiyon izotermleri, Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermi değişimleri elde edildi. Burada deney sonuçlarının Langmuir denkleminde daha çok Freundlich denkleminde uyduğu gösterildi.

Deneysel verilere göre, en uygun adsorbanın hem  $As^{5+}$  iyonu hem de  $Fe^{2+}$  iyonu için  $H_2SO_4$  ile aktive edilmiş fındık kabuğu, hem  $Cu^{2+}$  iyonu hem de  $Cr^{6+}$  iyonu için en uygun adsorbanın  $HCl$  ile aktive edilmiş zeytin çekirdeği ve  $Ni^{2+}$  iyonu için  $H_2SO_4$  ile aktive edilmiş zeytin çekirdeği olduğu saptandı.

### Anahtar Kelimeler

Adsorban, Adsorpsiyon, Yumurta kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, Fındık kabuğu, Pirinç kabuğu, Zeytin çekirdeği.

## ABSTRACT

Adsorption of  $\text{As}^{5+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$  ions from aqueous solutions on egg shell, pistachio-nut shell, hazelnut shell, rice hull and olive stone was studied. Due to the fact that the structure of egg shell have large amounts of  $\text{CaCO}_3$ , activation of egg shell with acids could not carried out since  $\text{CaCO}_3$  reacts with acids.

It was observed that active carbons obtained by means of chemical activation of adsorbents except for egg shell with  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  and  $\text{H}_3\text{PO}_4$  have a maximum surface area at  $600^\circ\text{C}$ .

The concentrations of adsorbed ions from aqueous solutions were found by measuring the absorbance with a UV/VIS spectrophotometer by means of the absorbance-concentration plots.

Weight loses, active carbon yields, surface areas and pore properties of each adsorbent were determined at different temperatures. Adsorption performances (%), adsorption isotherms, Freundlich and Langmuir adsorption isotherm changes of these adsorbents were obtained for each ion. Here it was showed that the experimental results were agreement with more the Freundlich equation than the Langmuir equation.

It was determined that the most suitable adsorbent was hazelnut shell activated with  $\text{H}_2\text{SO}_4$  for both  $\text{As}^{5+}$  ion and  $\text{Fe}^{2+}$  ion, olive stone activated with  $\text{HCl}$  for both  $\text{Cu}^{2+}$  ion and  $\text{Cr}^{6+}$  ion, and olive stone activated with  $\text{H}_2\text{SO}_4$  for  $\text{Ni}^{2+}$  ion according to the experiment data.

### Key Words

Adsorbent, Adsorption, Egg shell, Pistachio-nut shell, Hazelnut shell, Rice hull, Olive stone.

**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa No.</u>
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	10
2.1. Adsorpsiyon	10
2.2. Adsorbanlar	13
2.3. Doğal Olmayan Adsorbanlar	15
2.3.1. Aktif karbon	15
2.3.1.1. Aktif karbonun tarihi	16
2.3.1.2. Aktif karbonun yapısı	17
2.3.1.3. Aktif karbonun yüzey fonksiyonel grupları	18
2.3.2. Tarımsal atıklar	22
2.3.2.1. Yumurta kabuğu	22
2.3.2.1.1. Yumurta kabuğunun kalitesi	23
2.3.2.1.2. Beyaz yumurta ve kahverendi yumurta arasındaki fark	24
2.3.2.2. Antep fıstığı kabuğu	25
2.3.2.3. Fındık kabuğu	27
2.3.2.4. Pirinç kabuğu	28
2.3.2.5. Zeytin çekirdeği	30
2.4. Doğal Adsorbanlar	32
2.4.1. Kitosan	32
2.4.2. Zeolitler	34
2.4.3. Killer	36
2.4.3.1. Kil mineralinin kristal yapısı	37
2.4.4. Çürümüş bitki turbası	39
2.4.5. Kömür	39
2.4.6. Doğal oksidler	40
2.4.7. Selüloz	40
2.5. Aktivasyon Metodları	40
2.5.1. Fiziksel aktivasyon	40

2.5.2. Kimyasal aktivasyon	42
2.6. Adsorpsiyon İzotermi	44
2.6.1. Tip I adsorpsiyon izotermi	45
2.6.2. Tip II adsorpsiyon izotermi	46
2.6.3. Tip III adsorpsiyon izotermi	47
2.6.4. Tip IV adsorpsiyon izotermi	47
2.6.5. Tip V adsorpsiyon izotermi	48
2.6.6. Tip VI adsorpsiyon izotermi	49
2.7. Adsorpsiyon Denklemleri	49
2.7.1. Langmuir denklemi	49
2.7.2. Brunauer-Emmet-Teller (B.E.T.) denklemi	52
2.7.3. Polanyi denklemi	54
2.7.4. Dubinin-Radushkevich-Kagener (DRK) denklemi	54
2.7.5. Freundlich denklemi	55
2.7.6. Redlich-Peterson denklemi	56
2.7.7. De Boer-Lippens (BL) denklemi	56
2.7.8. Kiselev denklemi	57
2.7.9. Sylgin-Frumkın denklemi	58
2.7.10. Hill denklemi	59
2.7.11. Temkin denklemi	59
2.7.12. Fowler denklemi	60
2.7.13. Harkins-Jura (HJ) denklemi	60
3. MATERYAL VE METOD	61
3.1. Kullanılan Maddeler	61
3.2. Kullanılan Aletler	61
3.3. Kullanılan Metodlar	62
3.3.1. Ham materyallerin hazırlanması	62
3.3.2. Kimyasal aktivasyon	62
3.3.2.1. Yumurta kabuğunun aktivasyonu	62
3.3.2.2. Antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinin aktivasyonu	62

3.3.3. Arsenik ( $As^{5+}$ ) tayininde kullanılan çözeltilerin hazırlanması	63
3.3.4. Bakır ( $Cu^{2+}$ ) tayininde kullanılan çözeltilerin hazırlanması	63
3.3.5. Demir ( $Fe^{2+}$ ) tayininde kullanılan çözeltilerin hazırlanması	63
3.3.6. Krom ( $Cr^{6+}$ ) tayininde kullanılan çözeltilerin hazırlanması	64
3.3.7. Nikel ( $Ni^{2+}$ ) tayininde kullanılan çözeltilerin hazırlanması	64
3.3.8. Kalibrasyon grafiklerinin çizilmesi	65
3.3.8.1. Arsenik ( $As^{5+}$ ) tayini için kalibrasyon grafiği	65
3.3.8.2. Bakır ( $Cu^{2+}$ ) tayini için kalibrasyon grafiği	65
3.3.8.3. Demir ( $Fe^{2+}$ ) tayini için kalibrasyon grafiği	65
3.3.8.4. Krom ( $Cr^{6+}$ ) tayini için kalibrasyon grafiği	66
3.3.8.5. Nikel ( $Ni^{2+}$ ) tayini için kalibrasyon grafiği	66
4. SONUÇLAR	67
4.1. Tablolar	67
5. TARTIŞMA	112
KAYNAKLAR	176
TEŞEKKÜR	184
ÖZGEÇMİŞ	185

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, endüstriyel atık sular içerdikleri ağır metal iyonları ile en önemli çevre sorunlarından birini oluşturmaktadır. Dünyada, endüstriyel gelişmeye bağlı olarak zehirli ağır metaller ve boyar maddelerle çevre kirlenmesi artmaktadır. Ağır metal kirliliği içeren atık sular, genellikle BOI değeri düşük ve asidik sulardır.

Ağır metaller, metabolik reaksiyonları yavaşlatır ve canlı organizmalar için aşırı derecede zehir etkisi yapar. Atık suların alıcı ortama ulaşması sucul yaşamı etkilemekte ve su kaynaklarının içme suyu amaçlı kullanılması durumunda ise pahalı arıtma tekniklerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır.

Endüstriyel atık sulardan ağır metallerin uzaklaştırılmasında kullanılan çökeltme, çamur ayırma, kimyasal oksidasyon, iyon değişimi, ters ozmoz, elektrokimyasal uygulama ve buharlaşma gibi klasik metotlar genelde ekonomik değildir.

Ağır metal kirliliğinin ortadan kaldırılması için uygulanan proseslerden birisi de adsorpsiyon metodu olup; sıvı ortama ilave edilen bir katı adsorplayıcı madde yardımıyla istenilmeyen maddeleri katı yüzeyine adsorplanarak ortamdan uzaklaştırılmasından ibarettir (1). Bu nedenle, burada daha çok ağır metallerin sulu ortamdan uzaklaştırılması ile ilgili olarak daha çok adsorpsiyon prensibine dayanan çalışmaların üzerinde durulacaktır.

As, Cd, Co, Cr, Ni ve Zn için alg biyokütle adsorpsiyonu ve As, Cd, Cr, Pb ve Sr için de pirinç kabuğu biyokütle adsorpsiyonu üzerine Roy arkadaşları tarafından (2) çalışmalar yapıldı. Her iki biyokütlenin yüzey alanını arttırmak için kurutup öğüttüler.

As konsantrasyonu, pH ve iyonik şiddete göre California'da üç kurak bölge (Wasco, Fallbrook ve Wyo) toprakları üzerinde As(III) ve As(V) adsorpsiyonu Manning ve Goldberg (3) tarafından karakterize edildi ve karşılaştırıldı.

Namasivayam ve Senthilkumar (4), Fe(III)/Cr(III) hidroksid içeren endüstriyel katı atık kullanarak sulu çözeltiden As(V) adsorpsiyonu, adsorpsiyon hızları ve denge çalışmaları üzerinde durdular. As(V) başlangıç konsantrasyonunu 20-100 mg/L olarak karıştırma zamanı, adsorbant dozajı, adsorbant tanecik büyüklüğü, sıcaklık ve pH gibi parametreleri ele aldılar.



Genç-Fuhrman ve arkadaşları (5), aktive edilmiş nötralize kırmızı çamur kullanarak sudan arsenik adsorpsiyonunu incelediler. As başlangıç konsantrasyonu 10-100 mg/L olan stok çözeltilerle, adsorpsiyonu zaman, tanecik büyüklüğü ve pH'nin bir fonksiyonu olarak ele aldılar. Ayrıca, adsorpsiyon kinetiği ve termodinamiği üzerinde de durdular.

Chuah ve arkadaşları (6), potansiyel olarak düşük maliyetli bir biyosorbant olan pirinç kabuğu üzerinde As(V), Au, Cr(VI), Cu, Pb, Fe, Mn, Zn ve Cd(II) gibi ağır metaller ve malaşit (bakırtaşı) yeşili ve asid sarı 36 gibi tekstil boyarmaddelerinin adsorpsiyonunun kritiğini yaptılar.

Mohan ve Pittman Jr. (7), cürufklar, kömür karbonları, hindistan cevizi kabuğu karbonları, immobilize biyokütle, portakal suyu tortusu, goetit, reçineler, jelleri silika gibi çeşitli adsorbantlar üzerinde su/atık sudan arseniğin uzaklaştırılmasını gözden geçirdiler.

Hiçbir işlem görmemiş toz haline getirilmiş yumurta kabukları ile sulu çözeltilerden arsenik adsorpsiyonu, başlangıç arsenik iyon konsantrasyonları (0.50-1.50 mg/L), pH (3.5-11.5) ve yumurta kabuklarının tanecik büyüklüğünün (63-150  $\mu\text{m}$ ) etkilerine göre Oke ve arkadaşları (8) tarafından incelendi.

Yun-nen ve Li-yuan (9), 100 mg/L As stok çözeltileri hazırlayarak kemik kömürü ile As(V) iyonlarını uzaklaştırmak için denge ve kinetik üzerine bir çalışma yaptılar. Çözeltinin pH'si, başlangıç konsantrasyonu ve temas zamanının etkileri üzerinde durdular. Elde ettikleri kinetik verilere göre As(V)'in uzaklaştırılması işlemi ilk 30 dk içinde çok hızlıydı ve denge zamanı başlangıç As(V) konsantrasyonundan bağımsızdı.

Periasamy ve Namasivayam (10), yarfıstığı kabuklarından hazırladıkları aktif karbonu kullanarak sulu çözeltiden Cu(II) adsorpsiyonunu incelediler. Adsorpsiyonun Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğunu gösterdiler.

Karıştırma zamanı, metal iyon konsantrasyonu, adsorbant dozu ve pH değiştirilerek, karbonlaştırılmış *coirpith* (hindistan cevizi ilik) üzerinde sulu çözeltilerden Cu(II)'nin adsorpsiyonu Namasivayam ve Kadirvelu (11) tarafından incelendi. Cu(II)'nin 20-50 mg/L konsantrasyonlarında 25 dk içerisinde adsorpsiyon dengesine ulaştılar. Adsorpsiyon kinetiğinin birinci dereceden bir hız denklemine uyduğunu gösterdiler.L

İnel ve arkadaşları (12), montmorillonit minerali bakımından zengin bentonit killeri üzerinde  $\text{Cu}^{2+}$  ve  $\text{Pb}^{2+}$ 'nin adsorpsiyon izotermelerini ölçtüler. Elde ettikleri adsorpsiyon verilerinin Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğunu ileri sürdüler.

pH, aktif karbon dozajı, temas zamanı, başlangıç metal konsantrasyonu ve çözelti sıcaklığına göre, pirinç kabuklarından hazırlanan aktif karbon üzerinde sulu çözeltilerden  $\text{Cu(II)}$  ve  $\text{Cd(II)}$  iyonlarının adsorpsiyonu Teker ve arkadaşları (13) tarafından incelendi.

Arpa ve arkadaşları (14), kuzey Anadolu smektitleriyle pH = 1-7 arasında farklı miktarlardaki (5-900 mg/L)  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Cd(II)}$  ve  $\text{Pb(II)}$  iyonlarının sulu ortamdan uzaklaştırılması için adsorpsiyon hızını ve smektit adsorpsiyon kapasitesini incelediler.

Schmuhl ve arkadaşları (15), kitosan ile  $\text{Cu(II)}$  ve  $\text{Cr(VI)}$  iyonlarının adsorpsiyonu üzerine kinetik ve denge çalışmaları yaptılar.  $\text{Cu(II)}$ 'nin uzaklaştırılması için 10-1000 mg/L  $\text{Cu(II)}$  konsantrasyonlarında deneysel verilerin Freundlich izotermine uyduğunu, halbuki  $\text{Cr(VI)}$  için ise Langmuir izotermine uyduğunu gösterdiler.

Ajmal ve arkadaşları (16), hardal küspesi üzerinde sulu çözeltilerden  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Zn(II)}$ ,  $\text{Cr(VI)}$ ,  $\text{Mn(II)}$ ,  $\text{Cd(II)}$ ,  $\text{Ni(II)}$  ve  $\text{Pb(II)}$  gibi çeşitli ağır metallerin adsorpsiyon davranışını incelediler.

Deng ve arkadaşları (17), cansız yeşil alg (*Cladophora fascicularis*) ile sulu çözeltilerden  $\text{Cu(II)}$  ve  $\text{Pb(II)}$ 'nin biyosorpsiyonuna ait denge, kinetik ve çevre etkilerini ele aldılar.

Argun ve arkadaşları (18), HCl ile muamele edilmiş meşe ağacı (*Quercus coccifera*) talaşı ile sulu çözeltilerden  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Ni(II)}$  ve  $\text{Cr(VI)}$  gibi ağır metallerin adsorpsiyonu ile ilgili olarak termodinamik ve kinetik çalışmalar yaptılar.

Tumin ve arkadaşları (19), *Elais Guineensis* çekirdeği veya palm çekirdeğinden elde ettikleri karbonu adsorpsiyon prosesi ile sulu çözeltilerden bakırın uzaklaştırılmasında kullandılar.

Eligwe ve Okolue (20), Nijerya linyit kömürü üzerinde  $\text{Fe(II)}$  adsorpsiyon kinetiği ve mekaizmasını incelediler. Adsorpsiyon hızının çözeltideki  $\text{Fe(II)}$  konsantrasyonuna göre birinci dereceden olduğunu ileri sürdüler.

Onganer ve arkadaşları (21), farklı sıcaklıklarda ve belirli pH değerlerinde sulu çözeltilerden  $\text{Fe(III)}$  iyonlarının uzaklaştırılması için granüler aktif karbonu kullandılar. Bu prosesin adsorpsiyon dinamiğini de ele aldılar.

Uzun ve Güzel (22), aktif karbonla sulu çözeltilerden  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  ve  $Ni^{2+}$  iyonlarının adsorpsiyonunu incelediler ve aktif karbonla elde ettikleri yüzde adsorpsiyon sonuçlarını kitosan ve agar agar ile elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırdılar.

Mohan ve Chander (23), farklı tip aktif karbonlar ile demir, mangan, çinko ve kalsiyumun tek bileşenli ve çok bileşenli adsorpsiyonunu karakterize etmek için pH değerlerine göre adsorpsiyon izotermelerini belirlediler.

Burke ve arkadaşları (24), bir Jectofer [bis demir(III)-sitrik asid kompleksi] çözeltilerinden demir(III) iyonunu adsorbe etmek için farklı kitosan formlarını kullandılar. Yaptıkları denge çalışmalarına göre, toz halindeki kitosan, ince tabaka ve mikroküreler halindeki kitosana kıyasla, demir(III) iyonu için en yüksek adsorpsiyon kapasitesini gösterdi.

Nassar ve arkadaşları (25), pal meyve demeti ve mısır koçanı gibi düşük maliyetli adsorbantlar sayesinde, sulu çözeltilerden demir ve mangan iyonlarını adsorpsiyonla uzaklaştırdılar.

Kitosan ve çapraz bağlı kitosan boncukları üzerinde sulu çözelti içerisinde demir(II) ve demir(III) iyonlarının adsorpsiyon davranışı Ngah ve arkadaşları (26) tarafından incelendi.

Macnaughton (27), metal oksid/su arayüzeyinde krom(VI) iyonunun adsorpsiyonunu inceledi.  $Al_2O_3$  üzerinde kromun düşük pH'lerde adsorbe olduğu, pH arttıkça adsorpsiyon yüzdesinde bir azalma olduğu ve krom adsorpsiyonunun iyonik şiddetin artmasıyla azaldığı sonucuna vardı.

Aoki ve Munemori (28), demir(III) hidroksid üzerinde krom (VI) adsorpsiyon mekanizması üzerinde durdu. pH azaldıkça, Cr(VI)'nın demir(III) hidroksid ile birlikte çökmesinin arttığını ve pH = 8.5'in üzerinde birlikte çökmenin olmadığını gördü.

Lee ve arkadaşları'nın (29) yaptıkları çalışmaya göre, atık suda bulunan Cr(VI) için toz halindeki aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesi aktif çamur topağınınkinden daha yüksekti ve başlangıç adsorpsiyon hızı çok hızlıydı, yani, denge değerinin %66'sına 30 dakika içinde ulaşıldı. Toz halindeki aktif karbon ve aktif çamur topağı üzerinde Cr(VI) adsorpsiyonunu Freundlich izotermine uyduğunu ileri sürdüler.

Rai ve arkadaşları (30), kromun çevre kimyası üzerine yaptıkları çalışmalarda sulu Cr(VI) bileşikleri için demir oksidlerin en önemli adsorbant olduğunu gösterdiler.

Sharma ve arkadaşları (31), sulu çözeltilerden Cr(VI)'nın uzaklaştırılması için pahalı olmayan bir adsorpsiyon tekniği önerdiler. Bunun için adsorbant olarak Çin kilinin kullandılar.  $0.5 \times 10^{-4}$  M'lık bir çözelti konsantrasyonunda, pH = 2.5'te ve 30°C'de maksimum bir adsorplama kapasitesi gözlediler.

Bu proses kinetiğini Lagergren denklemini kullanarak açıkladılar. Adsorpsiyon hız sabitini  $0.148 \text{ dk}^{-1}$  olarak buldular. Burada Langmuir izoterminin geçerli olmadığını gösterdiler.

Rao ve arkadaşları (32), hindistan cevizi kabuğu karbonları üzerinde atık sulardan kromun adsorpsiyon kinetiğini ele aldılar. Bunun için  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ve  $\text{ZnCl}_2$  gibi aktifleştirici maddeler kullanarak fiziksel ve kimyasal aktivasyon ile aktif karbonları hazırladılar. Cr(VI) adsorpsiyonunun pH, tanecik büyüklüğü konsantrasyonu ve temas zamanına etkisini incelediler.

Tan ve arkadaşları (33), hindistan cevizi kabuğu ve palm pres lifleri ile sulu çözeltilerden Cr(VI)'nın uzaklaştırılmasını batch (yığın) ve kolon teknikleri kullanarak incelediler.

Singh ve arkadaşları (34), sulu çözeltilerden Cr(VI)'yı uzaklaştırmaya çalıştılar. Bunun için yıkanmış *Acacia arabica* (akasya) ağacı kabuğunu renk kaybetmesini önlemek için asidik ortamda formaldehid ile muamele ettiler. pH = 2'de Cr(VI) için bu materyalin çok iyi bir sorpsiyon potansiyeli gösterdiğini ve sorpsiyonun Langmuir adsorpsiyon izoterm modeline uyduğunu gözlediler.

Başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan bir çözeltilerden 10 g/L'lik sorbant dozajı ile toplam Cr(VI)'yı uzaklaştırdılar. Kinetik sorpsiyonunu incelemek için Lagergren denklemini kullandılar.

Lee ve arkadaşları (35), doğal yosun ve bakırla kaplı yosun ile sulu çözeltilerden Cr(III) ve Cr(VI)'nın uzaklaştırılmasını incelediler. pH, temas zamanı, başlangıç konsantrasyonu, sorbant dozajı ve sıcaklık gibi parametrelere baktılar. Langmuir izotermini uygulayarak, Cr(III) ve Cr(VI) için sırası ile 18.9 ve 7.1 mg/g maksimum sorpsiyon kapasitelerini elde ettiler.

Bosinco ve arkadaşları (36), mısır koçanının sulu çözeltilerden altı değerli kromu etkin bir şekilde uzaklaştırabildiğini ve bu prosesin daha çok pH'ye bağlı olduğunu gösterdiler. pH = 1'de en iyi sonuçları elde ettiler. Buradaki mekanizmaların indirgenme ve adsorpsiyon şeklinde olduğunu ileri sürdüler.

Raji ve Anirudhan (37), adsorpsiyonla sulu çözümlerden kromu uzaklaştırmak için testere talaşını kullandılar ve bunun denge ve kinetiğini ele aldılar. Cr(VI)'nın uzaklaştırılmasının çözeltinin konsantrasyonuna, pH'sine ve sıcaklığına bağlı olduğunu gösterdiler. 100 mg/L'lik bir başlangıç konsantrasyonuyla ve 60°C ve pH = 2.5'te uzaklaşan krom miktarını 49.8 mg/g olarak buldular.

Raji ve Anirudhan (38), sulu çözümlerden poliakrilamid aşılı testere talaşı ile sulu çözümlerden uzaklaştırılmasını, kinetik ve termodinamiğini incelediler. Bu prosesin eksotermik olduğunu, 30°C'de pH = 3'te %91 oranında maksimum bir adsorpsiyon ve 100 mg/L'lik bir başlangıç konsantrasyonu ile meydana geldiğini anladılar. Prosesin birinci dereceden bir kinetiği olduğunu ve verilerin Freundlich adsorpsiyon izotermine uyduğunu gösterdiler.

Altı değerli kromun kemik kömürü üzerinde adsorpsiyonu zaman, kömür miktarı, pH, krom konsantrasyonu ve numune hacminin bir fonksiyonu olarak Dahbi ve arkadaşları (39) tarafından incelendi. 5 ve 25 mg/L arasındaki konsantrasyonlarda krom (VI) çözümlerini kullandılar. pH = 1'de 2 g kemik kömürü kullanarak 30 dakika içerisinde %90 bir verimle kromu uzaklaştırabildiler.

Hasar ve Cuci (40), sulu çözümlerden Cr(VI), Cd(II) ve Cu(II)'nin uzaklaştırılması için badem kabuğundan hazırlanan aktif karbonu kullandılar. Badem kabuğunu farklı sıcaklıklarda H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> olmadan aktive ederek aktif karbon elde ettiler. 100 mL çözüme 5 g adsorbant karşılık gelecek şekilde, 100 mg/L'lik bir başlangıç konsantrasyonu için, optimum temas zamanını 180 dakika olarak buldular.

Seng ve arkadaşları (41), asitle ve 200-800°C arasındaki sıcaklıklarda ısıyla aktive edilmiş yağı giderilmiş kullanılmış ağartma kili üzerinde sulu çözümlerden Cr(VI) ve Ni(II) iyonlarının adsorpsiyonunu incelediler.

Dakiky ve arkadaşları (42), düşük maliyetli bol miktarda bulunabilen adsorbantlar ile endüstriyel atık sulardan Cr(VI)'nin adsorpsiyonunu araştırdılar. Kullandıkları adsorbantlar yün, zeytin küspesi, testere talaşı, çam iğnesi, badem kabukları, kaktüs yaprakları ve kömürdü.

Adsorpsiyon prosesinin birinci dereceden bir hız mekanizmasına uyduğunu gösterdiler ve hız sabitini 30°C'de hesapladılar. Yün olduğu zaman en yüksek hız sabitini ( $39,6 \times 10^{-3} \text{ dk}^{-1}$ ) elde etmelerine rağmen, kaktüs yaprakları ile en düşük değeri ( $6,8 \times 10^{-3} \text{ dk}^{-1}$ ) elde ettiler.

Katsumata ve arkadaşları (43), ekonomik adsorbantlar olarak montmorillonit, kaolin, tobermorit, magnetit, silika jel ve alümina kullanarak, elektrolitik metal kaplama yapan fabrikaların atık sularından Cr(VI), Cu(II), Cd(II) ve Pb(II) gibi ağır metallerin uzaklaştırılması için kolon metodunu uyguladılar.

Demirbaş ve arkadaşları (44), kızılılık, kayısı çekirdeği ve badem kabuğu gibi düşük maliyetli adsorbantları kullanarak sulu çözeltiden Cr(VI)'nın uzaklaştırılması için adsorpsiyon kinetiğini incelediler.

Başlangıç Cr(VI) iyon konsantrasyonu (20-300 mg/L), pH (1-4) ve tanecik büyüklüğünün (0.63-1.60 mm) etkilerini rapor ettiler. Cr(VI) iyonlarının adsorbantlar üzerindeki adsorpsiyonuna uygulanan kinetik modellerin bir karşılaştırılmasını yaptılar.

Bunun için sıra ile pseudo (görünüşte) birinci dereceden, pseudo (görünüşte) ikinci dereceden, Elovich ve tanecik içi difüzyon kinetik modellerini uyguladılar. Elde ettikleri sonuçlara göre, pseudo (görünüşte) ikinci dereceden kinetik modelin deneysel verilere çok iyi uyduğunu gördüler.

Singh ve arkadaşları (45), 20°C'de 200 mg/L olan başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu ile pH = 2'de %99.4 oranında maksimum bir düzeyde pirinç kepeği üzerinde atık sudan Cr(VI)'yı uzaklaştırabildiler.

Malkoç ve arkadaşları (46), batch (yığın) ve kolon metodlarını uygulayarak zeytin yağı fabrikalarının bir atığı olan zeytin posası üzerinde sulu çözeltiden Cr(VI)'nın adsorpsiyonunu incelediler.

Malkoç ve Nuhoglu (47), çay fabrikası atığı üzerinde sulu çözeltilerden Cr(VI)'nın adsorpsiyonu ile ilgili termodinamik ve kinetik çalışmalar yaptılar. pH, başlangıç Cr(VI) iyonu konsantrasyonu, sıcaklık, karıştırma hızı ve adsorbant kütlelerinin etkilerini incelediler. pH = 2'de maksimum adsorpsiyonu elde ettiler.

Adsorpsiyon verilerinin Langmuir modelinin Freundlich modelinden daha iyi olduğunu gösterdiler. 60°C'de Cr(VI) iyonlarının 54.65 mg/g olan maksimum bir adsorpsiyon kapasitesi ile adsorpsiyon dengesini Langmuir modeline göre açıkladılar. 400 mg/L başlangıç Cr(VI) iyonu konsantrasyonunda, sıcaklık 25°C'den 60°C'ye çıkarıldığı zaman, adsorpsiyon kapasitesinin 30 mg/g'den 39.62 mg/g'ye çıktığını gördüler.

Demiral ve arkadaşları (48), zeytin küspesinden elde ettikleri aktif karbon ile sulu çözeltiden Cr(VI) adsorpsiyonunu incelediler. pH = 2'de maksimum adsorpsiyon

verimini elde ettiler. Deney sonuçlarına en iyi Langmuir denkleminin uyduğunu gördüler.

Koppelman ve Dillard (49), kaolinit, klorit ve illit gibi kil mineralleri ile sulu çözeltilerden Ni(II) ve Cu(II) iyonlarının adsorpsiyonu esnasında, X-ışını fotoelektron spektroskopisini (XPS) kullanarak metal iyonlarının kil minerallerine bağlanma şeklini açıklamaya çalıştılar.

Kadirvelu ve arkadaşları (50), hindistan cevizi ilikten (coirpith) hazırlanan aktif karbon üzerinde sulu çözeltiden nikel(II) adsorpsiyonunu incelediler. Sabit Ni konsantrasyonu ile karbon konsantrasyonunda bir azalma veya sabit karbon konsantrasyonu ile Ni konsantrasyonunda bir artma sonucunda, birim karbon ağırlığı başına yüksek bir oranda nikel adsorpsiyonu meydana geldiğini gözlediler.

Weng (51) biyokatılardan yakarak elde ettiği kül üzerinde seyreltik çözeltilerden adsorpsiyon ile nikel(II)'yi uzaklaştırmaya çalıştı. Kinetik deney sonuçlarına göre adsorpsiyon hızının hızlı olduğunu gösterdi. Kinetik adsorpsiyon verilerinin ampirik modifiye bir Freundlich denklemine uyduğunu tespit etti.

Koby ve arkadaşları (52), kayısı çekirdeklerini 200°C'de 24 saat karbonlaştırıp sülfürik asid (1:1) ile muamele ettikten sonra aktive ederek elde ettikleri aktif karbon üzerinde sulu çözeltilerden Ni(II), Co(II), Cd(II), Cu(II), Pb(II), Cr(III) ve Cr(VI) iyonlarının adsorpsiyonunu incelediler. Bu iyonların adsorpsiyonlarının çözelti pH'sine bağlı olduğunu gösterdiler.

Barrow ve arkadaşları (53), goetit ile nikel, çinko ve kadmiyumun adsorpsiyonu ve desorpsiyonuna ait reaksiyon kinetiğini ele aldılar. Bu proses için metal iyonlarının değişken bir yük yüzeyi ile ilgili bir reaksiyon modelini uyguladılar.

Akporhonor ve Egwaikhide (54), kimyasal olarak modifiye ettikleri mısır koçanından hazırladıkları karbon üzerinde sulu çözeltilerden Cd<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> ve Zn<sup>2+</sup> adsorpsiyonla uzaklaştırılmasını araştırdılar. Çözeltiden bu metal iyonlarının uzaklaştırılmasında modifiye mısır koçanlarının etkinliğinin Zn>Ni>Cd şeklinde olduğunu gösterdiler.

Çevik ve arkadaşları (55), doğal bentonit minerallerinin nikeli adsorplama kabiliyetini karakterize ettiler. Nikel iyonunun potansiyel adsorpsiyonunu Langmuir ve Freundlich denklemleri uygulanarak değerlendirdiler.

Adsorpsiyonun hızlı olduğunu ve kısa sürede dengeye ulaşıldığını gözlediler. Denge adsorplama kapasitesinin başlangıç nikel konsantrasyonuna, bentonit miktarına, sıcaklığa ve temas süresine bağlı olarak değişimini araştırdılar.

Yapılan bu çalışmaların ışığında, bu araştırmada toz haline getirilmiş yumurta kabuğu, kimyasal olarak aktive edilmiş antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinden elde edilen karbonlar üzerinde sulu çözeltilerden arsenik [As(V)], bakır [Cu(II)], demir [Fe(II)], krom [Cr(VI)] ve nikelin [Ni(II)] adsorpsiyonu incelenecektir. Elde edilecek olan yüzde adsorpsiyon kapasiteleri sayesinde hangi iyon için hangi adsorplayıcının daha uygun olabileceği tespit edilecektir.



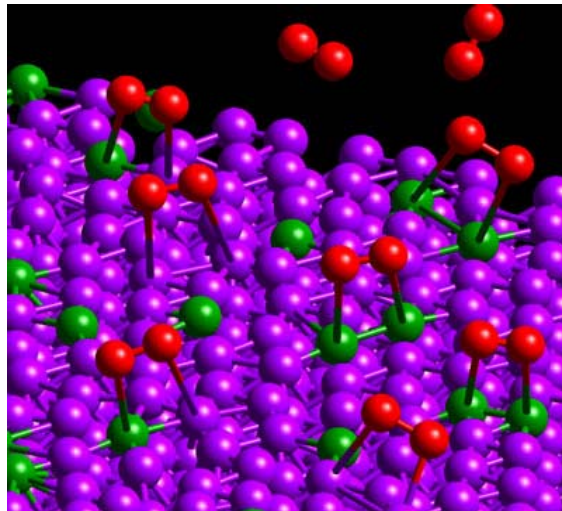
## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, sayısız fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerin iki faz arasındaki tabakada meydana gelmesidir.. Bitişik fazlar ile karşılaştırıldığında, ara yüzey adı verilen bu tabakada akışkanın derişimindeki değişim adsorpsiyon olarak tanımlanmaktadır. Akışkan terimi yaygın olarak katıların sınır yüzeyi ile temas halindeki sıvı ya da gazı ifade etmek için kullanılmaktadır.

Adsorpsiyon olgusu ilk olarak 1773 yılında Scheele ve 1777 yılında Abbe Fontana tarafından ortaya konulmuştur. Lowtitz, 1785 yılında aktif karbonun bazı çözeltilerin rengini giderdiğini gözlemlemiştir (56). Bu konudaki ilk sistematik çalışmayı 1814 yılında Saussure yapmıştır.

Gerçek bir adsorpsiyon sistemi, kitle fazı ve ara yüz tabakası ile temas halindeki adsorplanacak maddeyi kapsayan bir denge olarak tanımlanabilir. Bu tabaka, katı yüzey tabakası ile katı yüzeyinin kuvvet alanında mevcut olan akışkan kısım olmak üzere iki bölgeden oluşur (Şekil 2.1). Adsorpsiyon terimi arayüz tabakasında moleküllerin birikmesini ifade ederken, desorpsiyon bu işlemin tersidir (57).



Şekil 2.1. Oksijen moleküllerinin (kırmızı), platin (mor) ve kobaltlı (yeşil) bir bimetalik yüzey üzerinde adsorsiyonu.

Adsorpsiyon histerisisi; adsorpsiyon ve desorpsiyon eğrilerinin birinin diğerinden ayrıldığı olaylar için ifade edilir. Böyle bir durumda, izoterm bir histerisis halkasına sahip olur ve adsorpsiyon sisteminin şekli değişir. Histerisis döngüsü, çoğunlukla kapiler kondensasyonun meydana geldiği mezogözenekli katularla ilgilidir (57).

Adsorplanan madde adsorbat, adsorplanma olmadan önceki kitle akışkan fazı adsorptif olarak tanımlanır. Kitle katı faz içine adsorbat moleküllerinin girmesi adsorpsiyon olarak belirtilir. Sorbent, sorbat ve sorptif terimleri ile birlikte sorpsiyon terimi eşzamanlı meydana gelen ya da seçici olmayan hem adsorpsiyon hem de desorpsiyonu anlatmada kullanılmaktadır.

Adsorpsiyon terimi Du Bois-Reymond tarafından önerilmiş olmasına rağmen ilk kez Kayser tarafından literatüre geçmiştir (58). Daha sonra yapılan birçok araştırma sonucunda, sabit sıcaklıkta adsorpsiyon ölçüm sonuçlarını açıklamak için izoterm ve izoterm eğrisi terimlerinin kullanılmasının gerektiği ortaya çıkmıştır.

Katı maddelerin yüzeyindeki adsorpsiyon olayının incelenmesi sonucunda, başlıca iki tip adsorpsiyon olduğu anlaşılmıştır (59). Yani adsorpsiyon, van der Waals etkileşimleri (fiziksel adsorpsiyon veya fizisorpsiyon) ya da kimyasal bir işlem özelliğine sahip (kimyasal adsorpsiyon veya kemisorpsiyon) iki farklı mekanizma aracılığı ile gerçekleşebilir (58).

Fiziksel adsorpsiyonda, adsorplanmış molekülleri adsorban yüzeyine bağlı tutan kuvvetler, gaz molekülleri arasındaki Van der Waals kuvvetleri cinsindedir. Az selektiftir, katının bütün yüzeyini ilgilendirir. Fiziksel adsorpsiyon ısısı çok düşük olup, 20 kJ/mol kadar veya bu değerden daha düşük olabilir. Bu tür adsorpsiyonda, adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığındadır (57).

Kimyasal adsorpsiyonda ise, adsorplanan moleküllerle adsorbanın yüzey molekülleri ya da atomları arasındaki gerçek bir reaksiyondan ileri gelir. Buradaki adsorpsiyon ısısı ise 300–500 kJ/mol kadardır (60). Fiziksel adsorpsiyonun tersine kimyasal adsorpsiyon, yalnızca tek tabakalı olarak meydana gelir (58).

Bu iki tip adsorpsiyondan başka persorpsiyon denilen bir adsorpsiyon çeşidi de vardır. Bu tip adsorpsiyon için persorpsiyon terimini ilk önce J. W. McBain (1930) ortaya atmıştır.

Örneğin, zeolitler (iyon değiştiriciler) içinde su moleküllerinin tutulması bu tip bir adsorpsiyondur. Bu olay X-ışınları ile incelendiği zaman, bunların bilinen türdeki kimyasal bağlarla bağlanmadığı anlaşılmıştır (61).

Gerçek bir adsorpsiyon sisteminde, ortamda nötral ya da iyonik türlerin varlığına rağmen kitle fazı ile yüzey tabakası arasında denge kurulabilmektedir. Eğer bir veya birkaç türün adsorpsiyonu, eşdeğer miktarda iyonik türlerin eşzamanlı desorpsiyonu ile birlikte gerçekleşiyorsa bu olaya iyon değişimi adı verilmektedir (56).

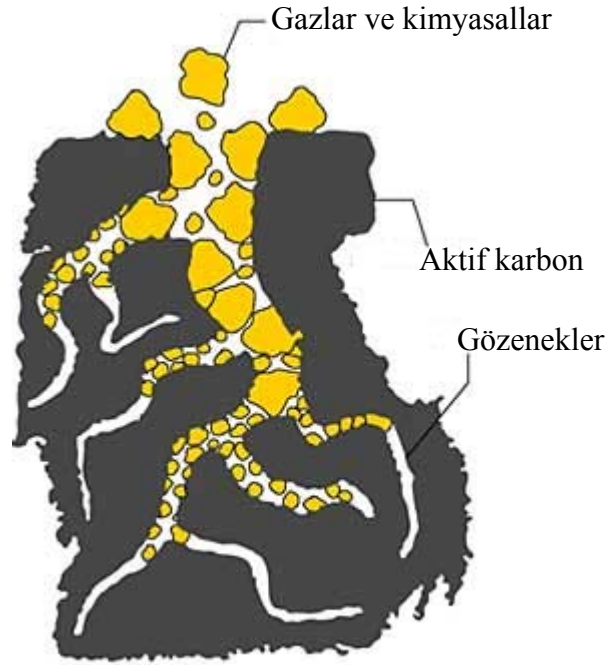
Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun ayırt edici en önemli özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kimyasal adsorpsiyon adsorban ve adsorbatın reaktifliğine bağlı iken, fiziksel adsorpsiyon düşük derecede seçiciliğe sahip genel bir olaydır.
- Kimyasal adsorpsiyonda moleküller yüzeyin reaktif kısmına bağlanabilirler ve tek tabakalıdırlar. Yüksek bağlı basınçlarda, fiziksel adsorpsiyon genellikle çok tabakalı olarak meydana gelir.
- Fiziksel olarak adsorplanan molekül kimliğini korur ve desorpsiyonla orijinal formlarına ve sıvı faza geri döner. Kimyasal olarak adsorplanan molekül tepkimeye veya ayrışmaya uğruyor ise yapısı değişir ve desorpsiyon ile geri kazanılamaz.
- Kimyasal adsorpsiyonun enerjisi kimyasal tepkimeler ile karşılaştırıldığında aynı derecede enerji değişimine sahiptir. Fiziksel adsorpsiyon daima ekzotermiktir, fakat içerdii enerji genellikle adsorbatın kondensasyon enerjisinden büyük değildir. Bununla birlikte fiziksel adsorpsiyon çok dar gözeneklerde meydana geldiğinden açığa çıkan enerji de yüksektir.
- Aktivasyon enerjisi kimyasal adsorpsiyon için çoğu kez gereklidir. Düşük sıcaklıkta sistem, termodinamik dengeye erişmek için yeterli enerjiye sahip olmayabilir. Fiziksel adsorpsiyonda ise sistemler genellikle hızlı bir şekilde dengeye ulaşır. Fakat hızı belirleyen basamak dengeye yavaş ulaşabilir.

## 2.2. Adsorbanlar

Metaller ve plastikler de dahil olmak üzere bir kristal yapıya sahip olsun ya da olmasın tüm katılar az veya çok adsorplama gücüne sahiptirler. Adsorplama gücü yüksek olan bazı doğal katıları kömürler, killer, zeolitler ve çeşitli metal filizleri şeklinde; yapay katıları ise aktif kömürler, moleküler elekler (yapay zeolitler), silikajeller, metal oksitleri, katalizörler ve bazı özel seramikler şeklinde sıralayabiliriz.

Adsorplama gücü yüksek olan katılar deniz süngerlerini andıran bir gözenekli yapıya sahiptir. Katıların içinde ve görünen yüzeyinde bulunan boşluk, oyuk, kanal ve çatlaklara genel olarak gözenek adı verilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Aktif karbonun gözenekli yapısı.

Doğadaki gözeneklerin boyutu bir mağara ile bir atom büyüklüğü arasında değişmektedir. Genişliği 2 nm'den küçük olanlara mikrogözenek, 2 nm ile 50 nm arasında olanlara mezo gözenek, 50 nm'den daha büyük olanlara ise makro gözenek adı verilmiştir.

Katının bir gramında bulunan gözeneklerin toplam hazmine özgül gözenek hacmi, bu gözeneklerin sahip olduğu duvarların toplam yüzeyine ise özgül yüzey alanı denir.

Gözenekler küçüldükçe duvar sayısı artacağından özgül yüzey alanı da artacaktır. Bir başka deyişle, özgül yüzey alanının büyüklüğü özgül gözenek hacminin büyüklüğünden çok gözeneklerin büyüklüğüne bağlıdır.

Gözeneklerin büyüklük dağılımına adsorplayıcının gözenek boyut dağılımı adı verilir. Bir katının adsorplama gücü bu katının doğası yanında özgül yüzey alanı, özgül gözenek hacmi ve gözenek boyut dağılımına bağlı olarak değişmektedir.

Adsorpsiyon olayında, gözeneklerin boyutu büyük ölçüde boyutlarına bağlıdır. Mikrogözeneklerin boyutu adsorbat molekülleri ile karşılaştırılabilir olduğundan, adsorbanın tüm atom ya da molekülleri adsorbat türleri ile etkileşebilir.

Bu durum, mikrogözeneklerdeki adsorpsiyon ile mezo- veya makro- gözenek gibi daha büyük gözeneklerdeki adsorpsiyon arasında temel farktır. Ayrıca, mikrogözeneklerdeki adsorpsiyon gözenek dolgu işlemidir ve gözeneklerin hacmi adsorpsiyon olayını kontrol eden temel faktördür (58).

Böylece mikrogözenekleri karakterize eden temel parametre, gözeneklerin karakteristik boyutları ve genellikle birim adsorban kütlesine dayanan hacimleridir. Bu özellik, mikrogözenek dağılım fonksiyonu aracılığıyla düşük derişimlerdeki adsorpsiyon verilerinin büyük ölçüde değerlendirilmesini ifade etmektedir (62).

Çok sayıda atom ya da moleküller aracılığı ile meydana gelmiş duvarlara sahip mezo gözenekli adsorbanlarda, fazlar arası sınır yani adsorpsiyon yüzey alanı farklı fiziksel bir anlama sahiptir. Makrogözeneklerde adsorpsiyon yüzey alanı, farklı fiziksel bir anlama sahiptir.

Makro gözeneklerde adsorsiyon güçlerinin etkisi her yerde bulunmamakla birlikte gözenek duvarları arasındaki mesafe yakındır. Bu nedenle tek ve çok tabakalı adsorpsiyon, mezogözenekli yüzeylerde başarılı bir şekilde meydana gelir ve adsorpsiyon adsorbat moleküllerinin kapiler kondansasyonu mekanizmasına göre ilerler. Bu yüzden, mezogözenekleri karakterize eden temel parametreler; özgül yüzey alanı, gözenek hacmi ve gözenek-boyut ya da gözenek hacmim dağılımıdır (56).

### 2.3. Doğal Olmayan Adsorbanlar

#### 2.3.1. Aktif karbon

Aktif karbon işlenmiş bir karbon materyalidir. Hayli yüksek gelişmiş yüzey alanlı ve porozitesinden dolayı, porlu karbon materyalleri ya da aktif karbonlar binlerce yıldır kullanılmaktadır ve günümüzde çok amaçlı adsorbanlar haline gelmiştir. Karbonun adsorplama özellikleri, aktif ve aktive edilmiş terimleri geliştirilmeden ya da tahmin edilmeden çok önce biliniyordu.

Aktif karbonun başlıca uygulamaları, araçların, kataliz destekli ve elektriksel çift tabakalı kondansatörlerin doğal gazının depolanması (63), kimyasalların saflaştırılması ya da geri kazanımı gerçekleştirmek (64), sıvı ya da gaz fazdan adsorpsiyon ile türleri uzaklaştırmaktır. Bununla birlikte aktif karbon ucuzdur ve yaygın kullanılan bir adsorbandır, şimdiye kadar aktif karbonun su arıtımında ticari kullanımı tat ve koku giderme ile sınırlıdır.

Granüler aktif karbon (GAC) ya da güçlendirilmiş aktif karbon (PAC) özellikle gelişmiş ülkelerde su arıtımında kullanılır. Sentetik organik bileşiklerin (SOCs), uçucu organik bileşiklerin (VOCs), ve doğal olarak oluşmuş organik maddenin (NOM) uzaklaştırılması için ileri teknolojiye de kullanılır.

Aktif karbon partiküllerinde karboksilat ve fenolik grupların konsantrasyonunun oldukça artırılmasının, yüksek bir metal iyonu uzaklaştırma kapasitesi ile sonuçlanan oksidasyon/aktivasyon kontrolü yoluyla yapılması bekleniyor.

Lignoselülozik tarımsal atıklar, özellikle kuruyemiş kabukları, sulu çözeltilerden ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması için uygun yüzey aktif merkezlere sahip granüler aktif karbonların eldesi için çok iyi öncüllerin olduğu birçok araştırmacı tarafından gösterilmiştir (65). Donör atomlarına göre aktif karbonların öncülünün ya da yüzeyinin eşzamanlı/kademeli aktivasyon ve fonksiyonalize, donör kükürt ve azot atomlarına karşı kuvvetli çekim kuvvetine sahip B sınıfı ve AB sınıfı ağır metallerin iyonlarına rağmen, metal iyonlarının uzaklaştırılma kapasitesi büyük ölçüde artırılabilir.

Böyle modifiye aktif karbonların kullanımı, özellikle metal/metaloidli B sınıfı gibi, özel uzaklaştırma için çok umut verici olurdu (66).

### 2.3.1.1. Aktif karbonun tarihi

Toz haline getirilmiş kömürün kullanımı tarih öncesi zamanlara kadar uzanır. Tıpta kömürün kullanımı daha milattan önce 1550'de bir Mısır papirusu olarak rapor edildi. Mesleğine göre bir eczacı olan İsveçli kimyager Karl Wilhelm Scheele, gazların adsorpsiyonundan oluşan bir deney yaptığı zaman ilk 1773'te kömürün adsorplayıcı özelliklerini keşfetti. Çözeltiden rengin giderilmesinde kömürün gücü ilk defa 1785'de Rus akademisyen Lovits tarafından gözlemlendi. 1974'den birkaç yıl sonra, odun kömürü İngiltere'de şeker kamışını saflaştırmak için kullanıldı. Ondokuzuncu yüzyıl süresince, çoğu araştırma, şeker endüstrisinde kullanılmak üzere özel tercihli olarak kemik, kan, hindistan cevizi, un, katran vb. gibi çeşitli kaynak materyallerden renk açan karbonlar geliştirmek için yapılmıştır. Bu hazırlıklarda genel olarak kullanılan kimyasallar potasyum hidrad, magnezyum karbonat, fosfat, vb.'dir. 1862'de, Lipscombe içme suyu arıtımı için bir karbon üretti.

1900 ve 1901'de, iki aktivasyon prosesi, bitkisel materyallerden üretilen aktif karbon için Ostrejko tarafından geliştirildi ve patentlendi. Bu patentler, modern ticari aktif karbonun gelişimi için temel oluşturur. Metalik kloritlerin bir prosesinde karbon dioksit seçimli oksitleme ajanı olarak kullanılırken başka bir proseste aktivasyon ajanı olarak kullanıldı. Yüksek karbonizasyon sıcaklığı karbon dioksitli aktivasyon için uygulandı. 1909'da, bir bitkiden Ostrejko'nun patentini takiben endüstriyel ölçekte toz halinde aktif karbon üretimi ilk defa yapıldı. 1911'de, buharlı aktivasyon ile turbadan (bataklık kömürü) aktif karbonun yeni çeşitleri elde edildi.

I. Dünya Savaşı süresince 1915'de, granüler aktif karbonun hazırlanması Alman askerleri tarafından kullanılan klor gazına karşı askerleri korumak için gaz maskelerinde filtreleme materyali olarak Almanya tarafından geliştirildi. Hindistan cevizi kabuğu granüler aktif karbonun eldesi için ham materyal olarak umut verici olduktan sonra ortaya çıktı. Geçen on yıl süresince, aktif karbonlar ortaya çıkan farklı proseslere göre ham materyallerin bir çeşidinden elde edilmiştir. Üretilmiş karbonlar, endüstride birçok uygulama buldu. Günümüzde endüstriyel proseslerin temelinde birçok antik hazırlamalar olmasına karşın, bir ticari ölçek üzerinde gelişmeden sonra bu hazırlamalar kullanılmadı. Nedeni, farklılaşan uygulamada bilgisizlik kadar mühendislik proseslerindeki zorluklar da kabul edilir.

### 2.3.1.2. Aktif karbonun yapısı

Aktif karbonlar,  $300 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ 'e kadar yüzey alanlı yüksek derecede gözenekli materyallerdir. Tipik bir aktif karbonun yüzey alanı yaklaşık  $1000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ 'dir. Bu yüksek yüzey alanları, bir miktar katkı makrogözenekten de geldiğinde başlıca mikro- ve mezogözeneklerin gelişmesinin sonucudur.

IUPAC sınıflandırmasına göre, 2 ila 50 nm arasında yarıçap boyutuna sahip gözenekler mezogözenekler olarak tanımlanırken, 2 nm'den daha az yarıçap boyutuna sahip gözeneklere mikrogözenekler denir.

Makro gözenekler 50 nm'den fazla yarıçap boyutuna sahip gözenekler olarak tanımlanmıştır. Koklar, kömürler ve aktif karbonlar sıklıkla amorf karbonlar olarak ifade edilmiştir.

X-ışını difraksiyonu ve elektron mikroskopu, genellikle kristal hal ile birlikte kristal açıları ve yüzeyleri gibi bazı özellikleri gösteremeyebilmelerine rağmen, bu materyallerin sahip olduğu kristal özelliklerini gösterir. Sözde amorf karbonların submikroskopik boyutlarının fiziksel durumu kristalitler olarak bilinen mikrokristal yapı gösterir.

Hekzagonal bir örgüde sıralanan karbon atomlarında grafit düz alanlardan oluşan amorf karbon bellidir, her atom bu sınırdan başka diğer üç komşu karbon atomları ile kovalent bağ ile bağlanır.

Kristalitlerin oluşumu,  $3.6 \text{ \AA}$  ara katman aralıklı bu alan yapılarının iki ya da daha fazlasının istiflenmesinin sonucudur (67). Diamagnetik anizotropi materyallerin bilinen aktif karbonları arasında çok yüksektir.

Delokalize olmuş  $\pi$ -elektronlarının yapısı aromatik hidrokarbonlarınkine benzerdir. Her bazal katman tek bir makro molekül kabul edilebilir. Delokalize elektron yapılarına sahip örgüde çeşitli bazal katmanları bir diğerinden önemli derecede ayırır.

Ara katman boşluklarına girmek için atomların, iyonların ya da moleküller için uygun katmanların beraber oluşumunu tutan katmanlar ve zayıf kuvvetler arası geniş uzaklık oranlıdır. Eğer ayrı olarak ileriki tablolar zorlamaya göre gerekliyse, adsorbatlara onlar için yer açılır (68).



### 2.3.1.3. Aktif karbonun yüzey fonksiyonel grupları

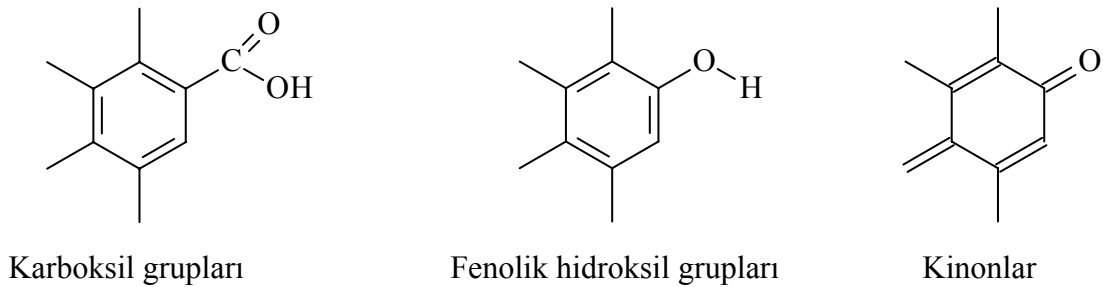
Karbon üzerinde asitlerin ve bazların adsorpsiyonu yüzey oksijeninin konsantrasyonunun kontrol edilmesi ile bulundu. Bu bulgu, farklı sıcaklıklarda ve basınçlarda karbon ile temas eden oksijenin etkisinin incelenmesine neden oldu. Bu, grafit, karbon siyahı ve aktif karbon moleküler oksijeni adsorbe edebildiğinde gözlemlendi. Yüksek sıcaklık, oksijenin kimyasal adsorpsiyonu olur olmaz giderilmesi için gereklidir.

Wheeler herhangi oksijen-karbon kompleksi oksijenin karbon yüzeyleri ile temasıyla oluştuğunda rapor etti. Yüzey fonksiyonel gruplarının karbon aktivasyonu süresince oluştuğu bilinmiyordu.

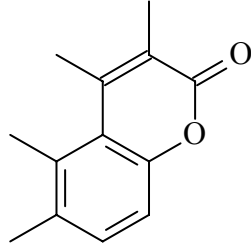
Genelde, asidik oksitler 300-500°C'de nemli hava altında hazırlandığında karbonda ağırlıklı olarak oluşur, ve bu karbonlarda bazik oksitler hava, buhar ya da karbon dioksitte 800-900°C'de hazırlanır.

Amfoterik özellikler 500-800°C arasında hazırlanan karbonlarda bulundu. Öncelikli olarak HO<sup>-</sup> iyonlarını adsorblayan düşük aktivasyon sıcaklığında, 500-600°C'in altında, aktif karbonlara L-karbonlar denir. 500-600°C'in üzerinde hazırlanan ve H<sup>+</sup> iyonlarını adsorblayan aktif karbonlara H-karbonlar denir (69).

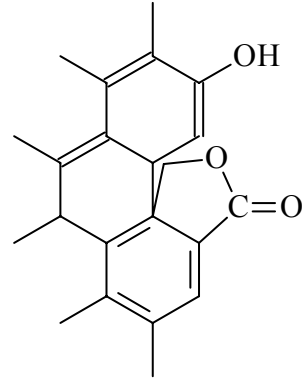
Organik kimyada fonksiyonel grupların hemen hemen her tipinin aktif karbonların yüzeyinde bulunabileceği ileri sürülmüştür. Laktonlar, karboksilik asit anhidritleri ve halkalı peroksitler (Şekil 2.3) gibi normal laktonlar ve floresinin formlarında eter, peroksid ve ester grupları diğer öneri grupları iken, çoğu kez önerilen asidik fonksiyonel gruplar karboksil, fenolik-hidroksil ve kinon tipi karbonil gruplarıdır (Şekil 2.4). Buna karşın, önerilen bazik yüzey grupları krom ve piron içerir.



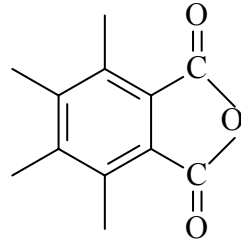
Şekil 2.3. Karboksil, fenolik hidroksil ve kinon tipi karbonil gruplarının yapısı.



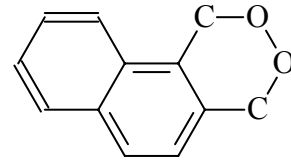
Normal laktonlar



Fluoresein tipi laktonlar



Karboksilik asid anhidler



Siklik peroksit

Şekil 2.4. Laktonların, asid anhidridlerin ve siklik peroksitin yapısı.

Organik kimyanın tipik tanımlama reaksiyonları, asidik yüzey grupların dört tipine dayanılarak karbonda tanımlı oksijen kimyasal adsorpsiyonu için Boehm 'e göre kullanıldı (70):

- $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  ve  $\text{NaOC}_2\text{H}_5$  ile nötrale edilen kuvvetli bir asidik karboksil grubu,
- $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ya da  $\text{NaOH}$  ve  $\text{NaOC}_2\text{H}_5$  gibi kuvvetli bazlar ile nötrale edilen fakat  $\text{NaHCO}_3$  ile edilmeyen daha zayıf bir asidik karbonil grubu,
- $\text{NaOH}$  ve  $\text{NaOC}_2\text{H}_5$  ile nötrale edilen fenolik bir hidroksil grubu,
- Sadece  $\text{NaOC}_2\text{H}_5$  ile nötrale edilen bir karbonil grubu.

Aktif karbon üzerinde yüzey gruplarının tipi ve sayısı, organik ya da anorganik bileşikler/türler adsoplanma derece ve oranını etkileyecektir. Asidik yüzey oksitleri aktif

karbon üzerinde fenol ve nitrobenzenin adsorpsiyon kapasitesini azalttığında gözlemlenmiştir. Bunlar fenol ve nitrobenzen moleküllerinin adsorpsiyonunun inhibisyonunda asidik yüzey oksijen gruplarının rolü için birkaç açıklamadır.

Oksijen içeren fonksiyonel grupların önemli bir kısmı katman düzlemlerinin köşelerinde bulunur ve sterik anlamda incelenmesinden bazal yüzeylerde adsorbe olmuş moleküllere göre engellenebilir olması beklenmez.

Kimyasal olarak yüzey şartlarında köşelerdeki lökaleze elektronlarda oksijen bağlıdır ve bazal yüzeylerin  $\pi$  elektron sisteminden uzaklaşırlar. Oksijen tarafından elektronların tüketilmesiyle,  $\pi$  elektron sisteminin iletim bandının pozitif boşluklarının popülasyonunda bir artış meydana gelir ve böylece aromatik bileşiklerin adsorpsiyon kapasitesinde son bir indirgenme ile apolar yapı indirgenir. Bu, dispersiyon kuvvetleri kavramı ile tutarlıdır.

Bir atom ya da molekülün elektronlarının hareketi, her anlık deneyde çekirdek etrafındaki elektron dağılımının simetrisizliğine rağmen hızla salınımlı bir dipol momente yol açacaktır. Bir apolar katı yüzeye en yakın bu atom ya da moleküller yaklaştığında, her bir anlık meydana gelen dipol, yüzey üzerindeki molekülde düzgün bir şekilde yönlendirilmiş bir dipol momenti (böylece çekim meydana gelir) indükler.

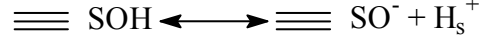
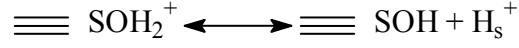
Karbonun grafit yüzeyinde fenolün  $\pi$  elektron sistemi ve  $\pi$  bandı arasındaki dispersiyon kuvvetleri adsorpsiyondan sorumludur. Kimyasal olarak adsorblanmış oksijen ile karbonun  $\pi$  bandından elektronların uzaklaşması engellenebilir ve yüzeyin kalıcı polaritesinden oluşan adsorptif kuvvetlerce gücü azaltılabilir.

Karbonun polaritesinin yüzey oksijeninin girişi ile ortaya çıkmasından dolayı, karbon yüzeyinde metal iyonlarının adsorpsiyonu benzer şekilde tercihli gibi görünüyor.

Birkaç ticari aktif karbonun asid-baz ve metal uzaklaştırma davranışı Yüzey Kompleks Oluşumu (SCF) modeli ile başarılı bir şekilde modellenmiştir (71).

Bu modele göre(SCF), sulu katının çeşitli yüzey grupları ve alanlarından dolayı bir yüzey yükü elde edilir ve böylece yüklenmiş partiküllerin etrafında bir elektriksel çift tabaka (EDL) ortaya çıkar.

Zayıf diprotik asid gibi tek olarak modellenebilen katı için bütün yüzey bölgeleri protonları eşit olarak bağlama ve serbest bırakma yeteneğine sahip olduğu kabul edilmiştir. Bu varsayım kullanılarak, yüzey fonksiyonel grupları aşağıdaki yüzey reaksiyonlarına göre tanımlanabilir:

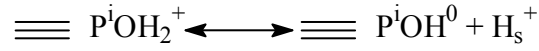


burada,  $\equiv \text{SO}^-$  sembolü ara yüzey üzerinde bağlı aktif yüzey bölgelerini gösterir.

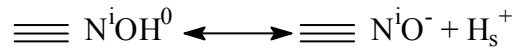
Yukarıda gösterilen denklemlerde gösterildiği gibi aktif karbon yüzeyinin amfoterik davranışı, Mattson ve Mark'e göre karboksil ve kinon grupları amfoterik olabilir iken (72), Snoyink ve Weber'e göre fenol ve lakton fonksiyonel grupları amfoterik olabilir diye yorumlandı (73).

Devamında spesifik fonksiyonel gruplara bakmayarak karbon yüzeyi bazı araştırmacılar tarafından tek bir diprotik asid yerine zayıf monoprotik asidlerin sayısı olarak kabul edildi. Bilinen monoprotik asid bölgelerinin iki tipi vardır:

Pozitif yüklü bir bölge,



ve negatif yüklü bir bölge,



Burada  $i$ , bölgeler arasında farkı gözetmek için bir indekstir ve  $\text{H}_s^+$  katı yüzeyinde protonun aktivitesidir.

Bu model, yukarıdaki iki tip denklem için asitlik sabitlerini ölçmeyi sağlar. Serbest kalan ya da bağlanan protonların metal katyonların uzaklaştırılması için de sorumlu olduğu bölgelerinin olduğu kabul edilir.

Adsorbe edici pozitif yüklü türlerin yüzey asiditesinde önemli bir rol oynadığını gördük. Ayrıca, bazı araştırmacılar, ağır metal iyonlarının uzaklaştırılmasında aktif karbonların gücünü belirledi. Bu nedenle, yakın gelecekte ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması için granüler aktif karbonların kullanımının daha yaygın hale geleceği umulmaktadır.

### 2.3.2. Tarımsal atıklar

#### 2.3.2.1. Yumurta kabuğu

Yumurtanın dış kabuğu, yumurtanın toplam ağırlığının %10-11'ini oluşturur (Şekil 2.5). Ortalama 5-6 g yumurta kabuğunun, kırılma dayanımı  $>30N$ 'dur ve kalınlığı 300-350 mikrometredir.



Şekil 2.5. Yumurta kabuğu.

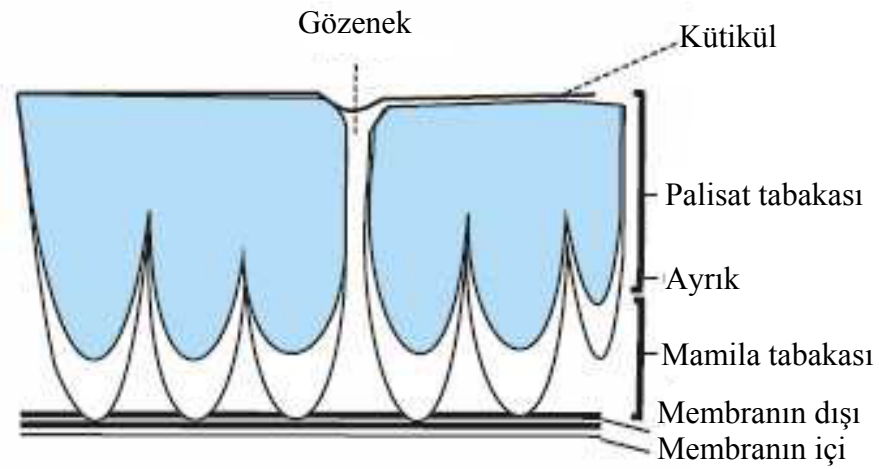
Bu yapı, mikrobiyal ve fiziksel çevreden ve su ve gaz değişimi kontrolünde yumurtanın içeriğinin korumada gerçekten önemli bir rol oynar (Tablo 2.1). Yumurta kabuğunun kalsiyum içeriği yaklaşık olarak 1.7-2.5 gramdır (75).

Tablo 2.1. Ortalama yumurta kabuğu bileşimi.

Yumurta Kabuğunun İçeriği	
Kalsiyum karbonat	%94-97
Fosfor	%0.3
Magnezyum	%0.2
Sodyum, potasyum, mangan, demir ve bakır	eser miktarda
Organik madde	< %2

Organik maddenin az miktarı çoğunlukla matriks proteinleri (sülfatlı moleküllerce zengin proteinlerin ve polisakkaritlerin karışımı) ve kabuk pigmentinden meydana gelir. Matriks proteinleri, yumurta kabuğu yapısının belirlenmesinde kritik öneme sahiptir ve kalsiyum karbonatın birikmesi için temel olarak görev yapar.

Kabuk üzerinde yaklaşık 8000 mikroskopik por vardır. Kabuğun kendisinin dış yüzeyi, yumurtlamadan hemen önce yumurta üzerinde biriken bir mukus tabakasından (kütikül) oluşur. Bu protein içeren kat kabuk aracılığıyla bakteriyel etkiden yumurtanın içini korumaya yardımcı olur (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Yumurta kabuğunun yapısı.

### 2.3.2.1.1. Yumurta kabuğunun kalitesi

Yumurta kabuğunun estetik kalitesi, kabuğun sağlamlığı, kabuğun şekli ve kabuğun rengi gibi gözlemlenebilen kalite faktörleri ile ilgilidir. Yumurta kabuğu kalitesinin belirlenmesi için bazı metotlar vardır.

Çiftlik yöntemleri ve ileri teknolojiye dayalı aletler kabuk kalitesi parametrelerine erişim mümkündür. Yumurta kabuğunun dayanıklılığı esastır, fakat kabuk kalitesinin belirlenmesinde tek faktör değildir. Yumurta kabuğu kalitesi için dikkate alınan faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yumurtanın boyutu ve görsel kabuk kusurları
- Özgül ağırlık
- Kabuk rengi
- Kabuk kırılma direnci
- Kabuk yüzdesi ( $\frac{\text{Kabuk ağırlığı}}{\text{Yumurta ağırlığı}} \cdot 100$ )
- Kabuk kalınlığı (mm)
- Kabuğun nanoölçümsel yapısı

Aynı sıcaklıkta iken hacmin değerinin özgül ağırlık ile denk gelmesi, suyun hacminin değeri ile ilgilidir. Bir yumurtanın özgül ağırlığı suya göre yumurtanın yoğunluğuna eşittir. Yumurta kabuğunun her dört kısmının özgül ağırlığı farklıdır (kabuk: 2.325 gr/cm<sup>3</sup>, yumurta sarısı: 1.032 gr/cm<sup>3</sup>, albumin: 1.038 gr/cm<sup>3</sup>, kabuk membranı: 1.075 gr/cm<sup>3</sup>).

Çünkü kabuğun özgül ağırlığı yumurtanın diğer kısımlarından iki kat daha büyüktür, kabuğun yüzdesi, tüm yumurtanın özgül ağırlığı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Kabuğun miktarı arttıkça, yumurtanın özgül ağırlığı artar. Bu nedenle yumurtanın özgül ağırlığı, kabuk yüzdesi ve kabuk kalitesinin iyi bir göstergesi olabilir.

Eğer yumurtanın ortalama özgül ağırlığı 1.080'den daha az ise kırık oluşumu normalin üzerinde olur. Kabuk kırılma direnci, kabuk kuvvet göstergesi (statik kompresör) aracılığıyla ölçülebilir ve dyn/cm<sup>2</sup>(N) ile ifade edilir (75).

### 2.3.2.1.2. Beyaz yumurta ve kahverengi yumurta arasındaki fark

Yumurta kabuğunun rengi ait olduğu hayvana göre farklılık gösterir. Bazı tavuk ırklarının esmer olan kabuk rengi porfirinden ileri gelir. Yumurtanın kabuk rengi ile bileşimi arasında bir ilgi yoktur.

Kahverengi ve beyaz yumurta arasındaki tek fark kabuğunun rengidir (Şekil 2.7). Duyduklarımızın aksine birinin diğerinden daha doğal olduğu veya daha doğa dostu olduğu gibi, biri diğerinden daha sağlıklı değildir.



Şekil 2.7. Beyaz ve kahverengi kabuklu yumurtalar.

Besin kalitesi, lezzet ya da pişirme karakteristiği açısından hiçbir fark yoktur. Kabuğun rengi sadece dişi tavuğun soyunu yansıtmaktadır. Genel olarak, beyaz tüylü ve beyaz kulakmemeli dişi tavuklar beyaz ve koyu renk tüylü ve kırmızı kulakmemeli dişi tavuklar kahverengi yumurtlarlar .

Tüm yumurtaların sadece beyaz ve kahverengi olmadıklarını öğrenmek şaşırtıcıdır. Örnek olarak bazı ender dişi tavuklar, Araucana ve Ameraucana, mavi ve mavi-yeşil yumurta verirler.

### 2.3.2.2. Antep fıstığı kabuğu

Antep fıstığı, Pistacia cinsinin hemen bütün türlerine sert kabuklu fıstık dense de, bu isim doğru olarak sadece "Pistacia vera L." türüne verilir. Pistacia cinsi içerisindeki 10 veya daha fazla sayıdaki türlerden sadece Pistacia vera L. (Antep Fıstığı) ticari alanda değere sahip olup, kuruyemiş olarak alınıp satılan ve meyveleri yenen bir ürün olarak kabul edilir (Şekil 2.8).

Antep fıstığı kabuğu, yaygın olarak üretildiği bölgelerde yakıt olarak kullanılmaktadır (4.308 kcal/kg). Yakıt olarak kullanılmasının yanı sıra antep fıstığı kabuklarından polimer kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi üzerine de çalışmalar yapılmaktadır (76). Ticarete ve standartta antep fıstıkları, meyve, şekil ve biçimlerine göre iki gruba ayrılmaktadır. Ülkemizde ise üç gruba ayrılmaktadır.

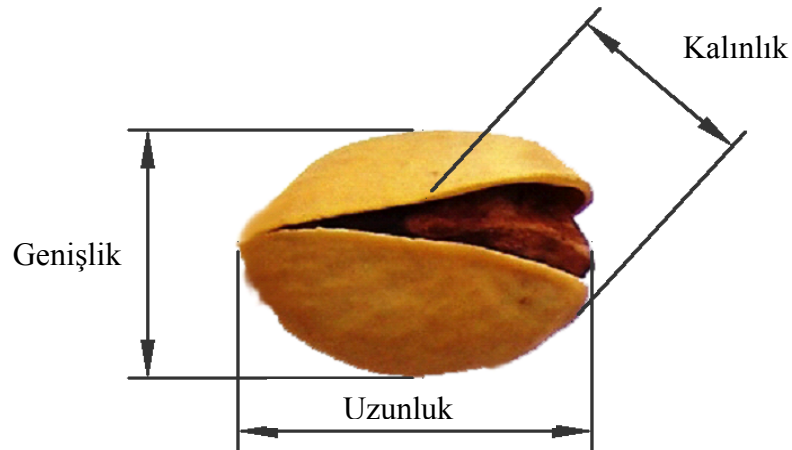
- Uzun antepfıstığı grubu (Uzun, Halebi, Sultani, Ketengömleği)
- Oval antepfıstığı grubu (Siirt, Kırmızı)
- Yuvarlak antepfıstığı grubu (Ohadi, Kerman, Seleksiyon 14)





Şekil 2.8. Antep fıstığı kabuğu.

Şekil 2.9’da antep fıstığı tanesinin genişliği, uzunluğu ve kalınlığı gösterilmiştir. Antep fıstığı sınıflandırması yapılırken uzunluk üzerinde sınıflandırmalar yapılmaktadır. Antep fıstığı iç kabuğu aynı zamanda kalın, sarı ve kemiksi kabuk olarak da farklı isimlerle tanımlanmaktadır.



Şekil 2.9. Antepfıstığı tanesinin genişlik, uzunluk ve kalınlık ebatlarının gösterilmesi.

Antep fıstığı kabuğunun bir kısım özellikleri Tablo 2.2’de özetlenmiştir. Gerek lif oranından, gerekse özgül ağırlığının yüksek oluşundan da anlaşılacağı üzere, Antep fıstığı kabuğu son derece sağlam bir yapıya sahiptir (77).

Tablo 2.2. Antep fıstığı kabuğunun yapısı.

Antep Fıstığı Kabuğunun Yapısı	
Lif	% 54.0
Protein	% 42.0
Yağ	% 56.0
Potasyum	% 22.0
Fosfor	% 0.02
Kalsiyum	% 0.06
Kül	% 0.42
Kuru nemlilik	% 4.00
Yoğunluk (g mL <sup>-1</sup> )	1.24

### 2.3.2.3. Fındık kabuğu

Fındık kabuğu ülkemizde, özellikle fındık üretilen yörelerde çok değerli ve yüksek kalorili (4100-4400 cal/gr) bir yakacak olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.10). Fındık kabuğundan; İtalya, ABD ve Almanya gibi teknolojisi ileri ülkelerde, kontralit, muşamba yapılmakta ve boya sanayinde yararlanılmaktadır.



Şekil 2.10. Fındık kabuğu.

Ayrıca, petrokimyada bir ara ürün olan furfural ve furfural alkolün elde edildiği pentozan da fındık kabuğunda %25-30 oranında bulunmaktadır. Fındık kabuğundan, kömürleştirme yolu ile; briket kömürü, aktif kömür ve sınavi kömür de elde edilmektedir.

Bugün yakacak olarak kullanılan fındık odunundan sepet, küfe ve fiçılarda kuşak olarak da yararlanılmaktadır (78). Fındık kabuğunun lignoselülozik yapısı aşağıdaki gibidir (Tablo 2.3):

Tablo 2.3. Fındık kabuğunun lignoselülozik analizi (61).

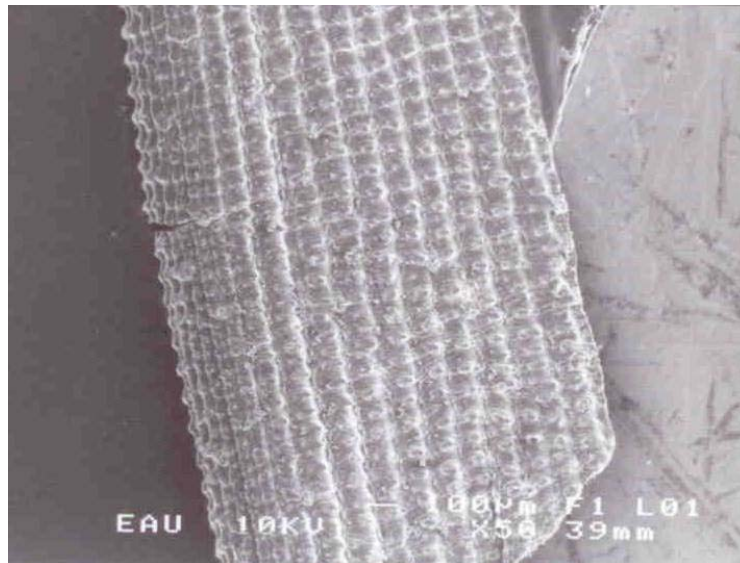
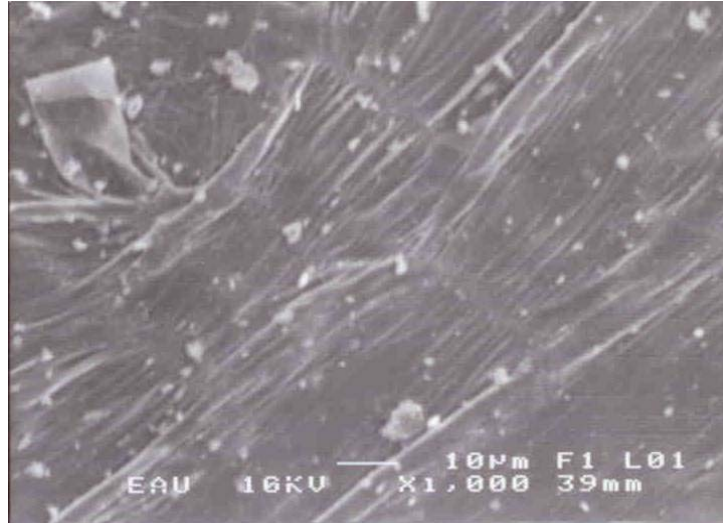
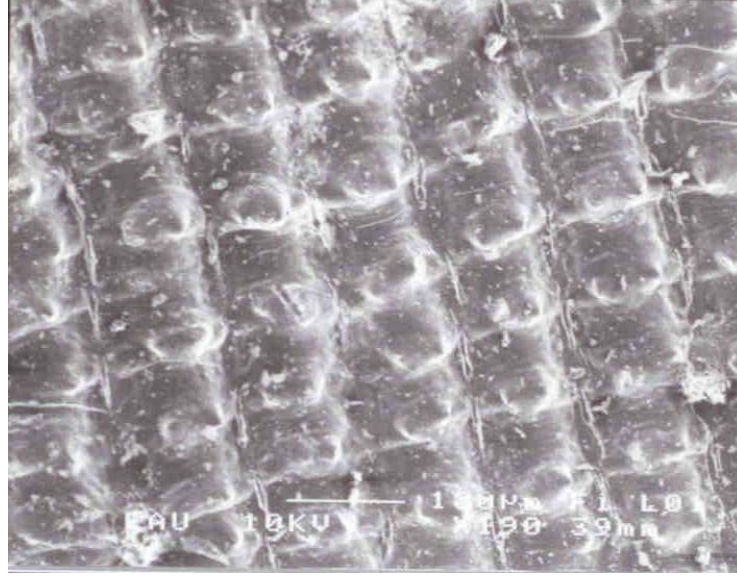
Fındık Kabuğunun Analizi	
Hemiselüloz	% 29,9
Selüloz	% 25,9
Lignin	% 42,5
İnorganik bileşenler	% 1,7

#### 2.3.2.4. Pirinç kabuğu

Pirinç kabuğu, pirinç tanesini içine alan dış kaplama veya kabuk tabakasıdır (Şekil 2.11). Kabuk yenilmez, fakat enerji santralleri ve pirinç çeltik fabrikalarında yakıt kaynağı olarak, başka ürünlerde aşındırıcı ve izolasyon malzemesi olarak ve atık gideriminde adsorban olarak kullanılabilir (Şekil 2.12).



Şekil 2.11. Pirinç kabuğu.



Şekil 2.12. Pirinç kabuğuna ait SEM görüntüleri.

Pirinç üretiminde iki tip kabuk oluşur. Birinci kabuk; pirinç tanesinin etrafını saran ince bir zar şeklindeki kepek adı verilen materyaldir. İkinci kabuk ise bir pirinç tanesinin en dışında bulunan kabuktur. Bu kabuk içteki kabuğa göre daha sert olup kavuz veya kapçık olarak adlandırılır. Kavuz, silis ve karbon iskeletini oluşturur ve amorf yapıdadır (79). Pirinç kabuğunun yapısı ve yakıldıktan sonraki kimyasal bileşenleri aşağıdaki gibidir (Tablo 2.4):

Tablo 2.4. Pirinç kabuğunun yapısı (79,80).

Pirinç Kabuğunun Analizi	
Selüloz	% 32.24
Hemiselüloz	% 21.34
Lignin	% 21.44
Su	% 8.11
Mineral Külü	% 15.05
Yoğunluk (g mL <sup>-1</sup> )	0.4
Pirinç Kabuğunun Kimyasal Bileşenleri	
SiO <sub>2</sub>	% 96.34
K <sub>2</sub> O	% 2.31
MgO	% 0.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 0.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 0.41
CaO	% 0.41

### 2.3.2.5. Zeytin çekirdeği

Zeytin çekirdeğinin bir adı da prina olan ve zeytinyağı fabrikalarının bir artığı olup, Akdeniz ülkelerinde görülen önemli bir biyokütle çeşididir. Prina, düşük bir maliyetle oldukça büyük miktarlarda elde edilebilir. Bitkisel yağlar ve prina, kükürt içermeyen alternatif yakıtlar olarak dikkate alınabilir (Şekil 2.13). Prina aslında bir atık madde olduğu için diğer atıklar gibi uygun ve kabul edilebilir bir kullanım olmaması halinde problemler yaratabilir.



Şekil 2.13. Zeytin çekirdeği (prina).

Enerji üretiminde verimli ve uygun bir şekilde prina kullanımını iki probleme birden çözüm sağlamaktadır; temiz enerji üretimi ve zeytinyağı tesislerinin atığı olan bu maddenin tekrar kullanımı, geleneksel hidrolik pres veya sürekli santrifüjleme işlemi uygulayan zeytinyağı fabrikalarından elde edilmesine bağlı olarak iki tip prina tipi mevcuttur.

Bu iki tip prina sırasıyla % 25-30 ve % 45-55 nem içermeleri ile birbirinden ayrılmaktadır. Diğer taraftan, zeytinden elde edilecek prina ve yağ miktarı her ne kadar yetiştirme tekniğine, zeytin çeşidine ve yağa işleme vb. durumlara bağlı ise de, ortalama olarak 100 kg zeytinden 15-22 kg zeytinyağı ve 35-45 kg prina elde edilebilmektedir.

Modern sürekli sistemlerden elde edilen prina klasik sistemlerden gelen prinaya oranla daha çok nem ve daha az yağ içerdiği için daha düşük ticari değer taşımaktadır. Yağlı prinayı teşkil eden temel bileşenlerin su, yağ ve katı maddeler (kabuk, meyve eti, çekirdek parçaları) olduğu, 100 kg zeytinden 40 kg'a kadar yağlı prina elde edildiği bilinmektedir.

Zeytinden yağ çıkarıldıktan sonra elde edilen prinada kalan yağın daha sonra yeniden çözgen ekstraksiyonu ile (hekzan) yolu ile bir miktar daha alındığı, elde edilen yağa "prina yağı", kalan prinaya da "yağsız prina" denildiği bilinmektedir. 100 kg prinadan ortalama 60-70 kg yağsız kuru prina elde edildiği ve enerji değeri 4000 kCal/kg olan prinanın yakacak olarak kullanılması gerektiği görülmektedir (81).

Prina tek başına kullanılabilmesi gibi düşük kalorili linyit kömürü gibi diğer yakıtlarla birlikte yakılabilir. Yıllık, yaklaşık 1 milyon ton zeytin, zeytinyağı üretimine

girmekte ve yaklaşık 450.000 ton prina bu işlemten sonra elde edilmektedir. Prinanın ısı değeri yaklaşık 12.500-21.000 kJ/kg'dır. Prinanın kükürt oranı kütlece % 0.05-0.1 değerindedir.

Günümüzde prinanın kullanım yerleri; ekstraksiyon fabrikalarında, zeytinyağı üretim bölgelerinde zeytinyağı fabrikalarında sıcak su kazanlarında, prina yağı fabrikalarında sistem için gerekli sıcak su ve buhar imalinde, kireç ocaklarında, merkezi kalorifer sistemlerinde ve sanayi kuruluşlarında buhar, kızgın yağ kazanlarında yakıt olarak kullanılmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre; orijinal bazda % 72-81 oranında uçucu madde, % 13-17 oranında sabit karbon, % 4-10 oranında kül, % 0.1 oranında kükürt içerdiği ve alt ısı değerinin 3922-4445 kcal/kg arasında değiştiği belirtilerek, şehirlerimizde hava kirliliğinin azaltılması amacıyla kullanılan linyit kalitesine (alt ısı değeri 4000 kcal/kg'dan yüksek, kükürt içeriği %1'den düşük, kül miktarı % 20'den az linyitler) uygun bir yakıt olduğu belirtilmiştir (Tablo 2.5).

Tablo 2.5. Prinanın yapısı.

Prinanın Analiz Sonuçları	
Toplam nem (%)	22.50
Kükürt (%)	0.080
Uçucu madde (%)	56.16
Alt ısı değeri (kcal/kg)	3355

## 2.4. Doğal Adsorbanlar

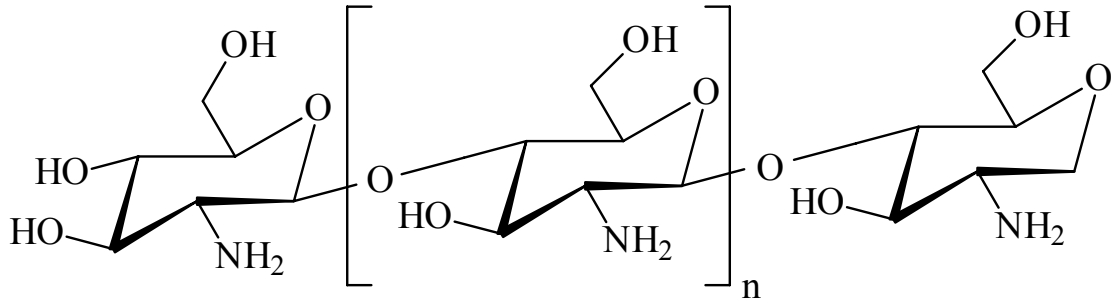
### 2.4.1. Kitosan

Kitosan, kitin'in deasetilasyonu ile elde edilen lineer bir aminopolisakkarittir. Kitin ise, kabuklu deniz hayvanlarının kabuklarında çok miktarda mevcut olan ve yeryüzünde selülozdan sonra en fazla bulunan toz halinde olan doğal polimerdir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Kitosan.

Kitin, bir N-asetil-D-glukozamin polimeri ve kitosan ise bir D-glukozamin ve N-asetil-D-glukozamin kopolimeridir. Deasetile edilmiş kitin, kitosan olarak adlandırılır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Kitosan'ın yapısı.

Deasetilasyon işlemi, kitinin üzerindeki asetilamino (-NH-CO-CH<sub>3</sub>) gruplarının amino (-NH<sub>2</sub>) gruplarına dönüştürülmesi işlemidir. Bu deasetilasyon sonunda N-asetil-D-glukozamin grupları tamamen dönüştürülemez ancak sayıları D-glukozamin gruplarına göre azalır.

Deasetilasyon derecesi, amino gruplarının sayısının, asetilamino gruplarının sayısına oranı olarak tanımlanır. Deasetilasyon işlemi sonunda kitin, kitosana %80-90 deasetilasyon derecesine kadar yaklaşabilir.



### 2.4.2. Zeolitler

Volkanların patlaması ile ortaya çıkan kül ve lavların, göl ve ya deniz suları ile kimyasal reaksiyona girmesi sonucu oluşmuşlardır (Şekil 2.16). Zeolitlerin oluşumu sırasındaki sıcaklık, jeolojik konum, su/kül oranı gibi değişiklikler, yapılarının farklı özellikler kazanmasını sağlar. Farklı yapıya sahip 42 zeolit türü vardır. Klinoptilolit, endüstriyel boyutta en çok kullanılan ve en fazla ticari öneme sahip türüdür.

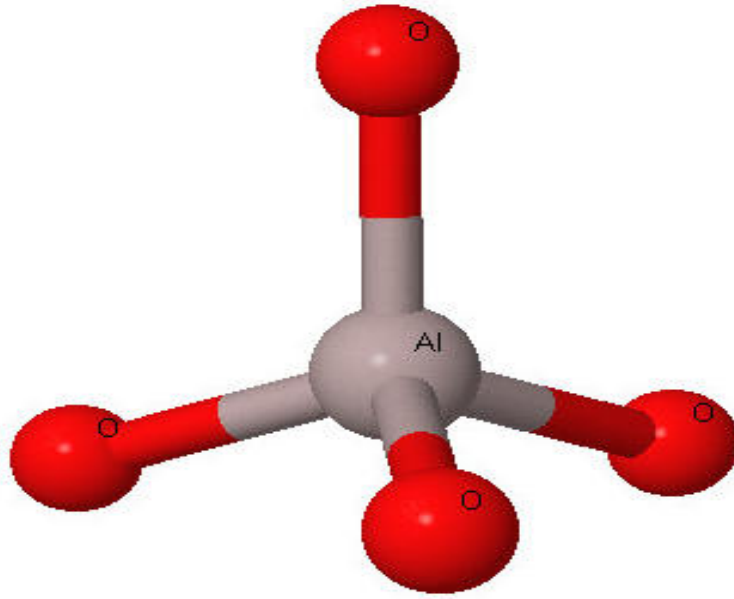
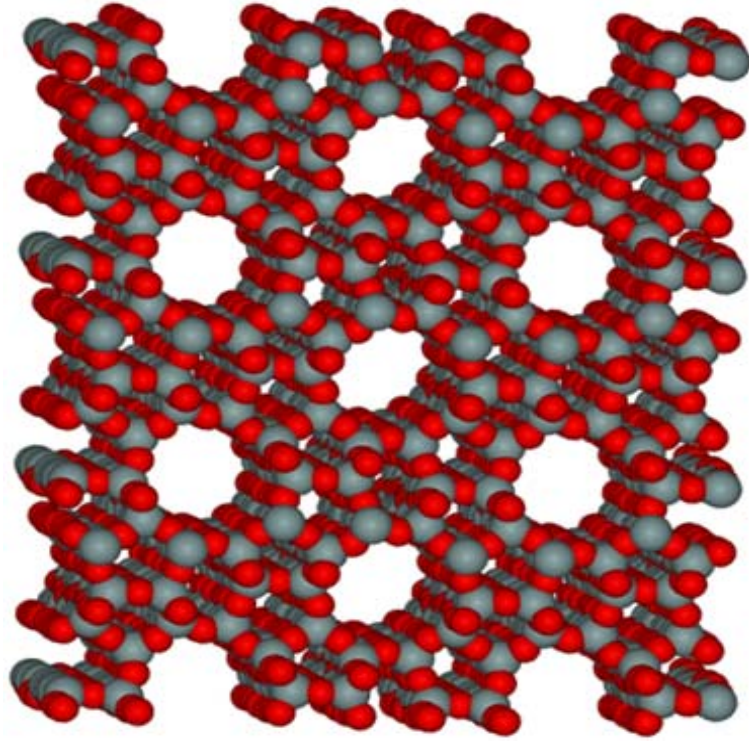


Şekil 2.16. Zeolit.

Esas olarak zeolitler, ortaklanmamış oksijen atomları ile birbirine bağlanmış tetrahedral moleküllerden oluşmuş doğal kristal alüminosilikatlardır (82). Zeolitlerin kafes şeklindeki yapısı, iyon değişimi ve kimyasal reaksiyonlar için geniş iç ve dış yüzey alanı oluşturmaktadır.

İçindeki gözenekler hacminin %50'sini kaplar. Bu gözenekler moleküler elek işlevi görürler. Zeolitler doğal olarak negatif yüklüdür ve yüksek iyon değiştirme kapasitesine sahiptir (Şekil 2.17).

Zeolitler X ışınları ile incelendiği zaman kimyasal bağlanma yapmadıkları görülmüştür. Dehidrasyon esnasında, suyun ayrılmasıyla boş kalan yerler başka moleküller tarafından doldurulur. Bu yüzden suyu alınmış zeolitler iyi adsorbantlardır (83).



Şekil 2.17. Zeolit'in yapısı ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

### 2.4.3. Killer

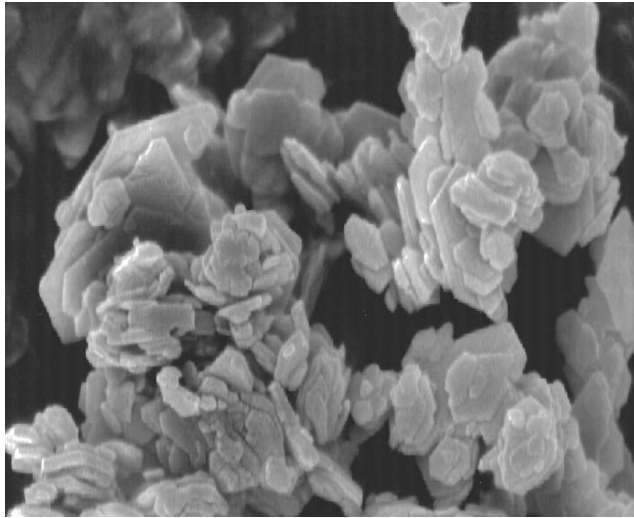
Güçlü hava akımı etkisi altında kayaların aşınmasıyla oluşan toprağın 0.002 mm'den küçük tanecik büyüklüğüne sahip olan kil bölümünde, çok küçük çapa kadar öğütülmüş primer mineraller veya çok küçük çaplı kuars parçacıkları ve kristalleri, mika pulları bulunur.

Sekonder olarak ise, kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), psödomorf halinde demir hidroksit ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), hidrarjillit (Gibsit) ( $\text{Al}_2(\text{OH})_6$  veya kısaca  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), opal ve biyooopal ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), demir, alüminyum ve mangan oksit kristalleri kil mineralleri ile birlikte bulunur.

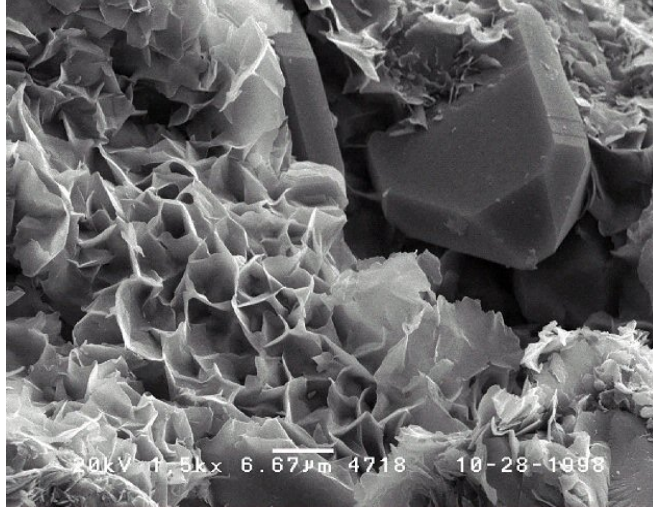
Kil mineralleri silikatların ayrışması sonucunda sekonder olarak oluşmuş hidroksilli alüminosilikatlardır. Alçak basınç ve düşük sıcaklıkta oluştukları için pulcuklar halindedirler. Basıncın ve sıcaklığın düşüklüğü iri kristalli kil minerallerinin gelişimini önlemiştir. Yapıları tabakalı ve yaprakçıklıdır.

Yaprakçıklı yapıdan dolayı kil mineralleri su alınca şişerler ve yaprakçıklar birbirinden belirli bir mesafeye kadar uzaklaşır. Böylece kil minerallerinin yüzeyleri de (iç yüzey) artmış olur.

Kil minerallerinin yaprakçıkları 2, 3 veya 4 tabakalıdır. Tabaka sayısına göre kil mineralinin iç yüzeyi değişir. İki tabakalı kil minerali olan kaolinin (Şekil 2.18) 1 gramında  $80 \text{ m}^2$ , üç tabakalı olan montmorillonitin (Şekil 2.19) 1 gramında  $800 \text{ m}^2$  yüzey vardır.



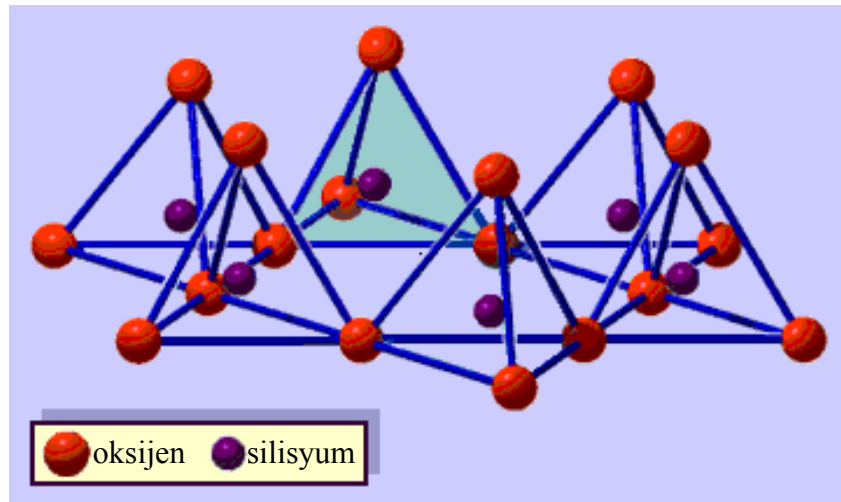
Şekil 2.18. Kaolin'in SEM görüntüsü.



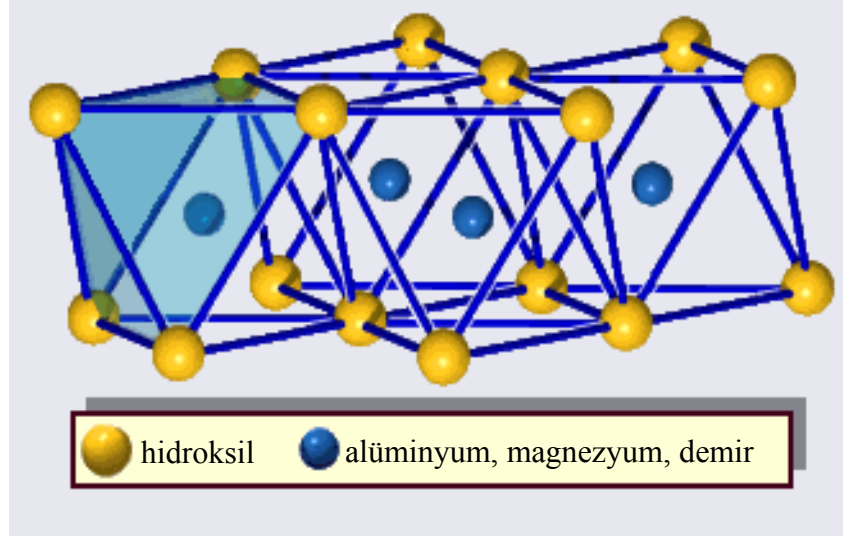
Şekil 2.19. Montmorillonit'in SEM görüntüsü.

#### 2.4.3.1. Kil mineralinin kristal yapısı

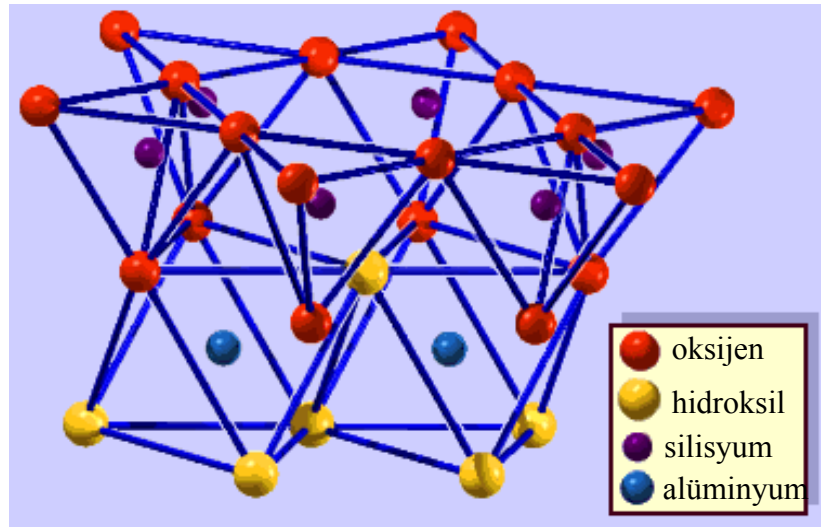
Kil mineralinin sahip olduğu yaprakçıkların her biri iki, üç veya dört tetrahedron ve oktahedrondan meydana gelmiştir. Tetrahedronlar (Şekil 2.20), bir silisyum katyonu etrafında dört oksijen anyonundan, Oktahedronlar (Şekil 2.21) ise bir alüminyum, magnezyum veya demir katyonu etrafında altı oksijen anyonundan oluşur.



Şekil 2.20. Kil mineralinin tetrahedron yapısı.



Tetrahedronlar ile oktahedronların üst üste gelip aralarındaki oksijen köprüleri ile birbirine bağlanmaları sonucunda tabakalı bir yaprakçık meydana gelir. Yaprakçıkların üst üste gelmesi ile de kil mineralleri oluşur (Şekil 2.22).



Tetrahedronlardaki  $\text{Si}^{4+}$  ve oktahedronlardaki  $\text{Al}^{3+}$  katyonları yerine  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  veya  $\text{Mg}^{2+}$  katyonları geçebilir. Tetrahedronlardaki  $\text{Si}^{4+}$  yerine  $\text{Al}^{3+}$  katyonu da geçebilir. Çapları birbirine yakın (aynı koordinasyon sayısına sahip katyonlar) fakat farklı pozitif elektrik yüküne sahip katyonların yer değiştirmesi (izomorf yer değiştirme) ile kil minerallerinde negatif yük fazlası ortaya çıkar.

#### 2.4.4. Çürümüş bitki turbası

Turba, bitkisel ve az oranda hayvansal organik atıkların, anaerobik koşullar altında mantarlar, bakteriler, enzimler ve ayrışma ile serbest hale geçen veya yeniden oluşan organik bileşiklerin etkileriyle ayrışması, parçalanması ile oluşan organik tortul çökellerdir.

Bitki turbası, genel olarak lignin ve selülozdan oluşan kompleks katı bir malzemedir. Geniş bir yüzey alanı ( $>200 \text{ m}^2/\text{g}$ ) vardır ve gözenekleri de fazladır. bu nedenle ağır metal adsorpsiyonunda kullanılabilir.

#### 2.4.5. Kömür

Kömür, katmanlı tortul çökeltilerin arasında bulunan katı, koyu renkli ve karbon bakımında zengin bir kayadır ve çok miktarda organik kökenli maddenin kısmi ayrışması ve kimyasal dönüşüme uğraması sonucunda oluşan bir çok madde içerir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23. Kömür.

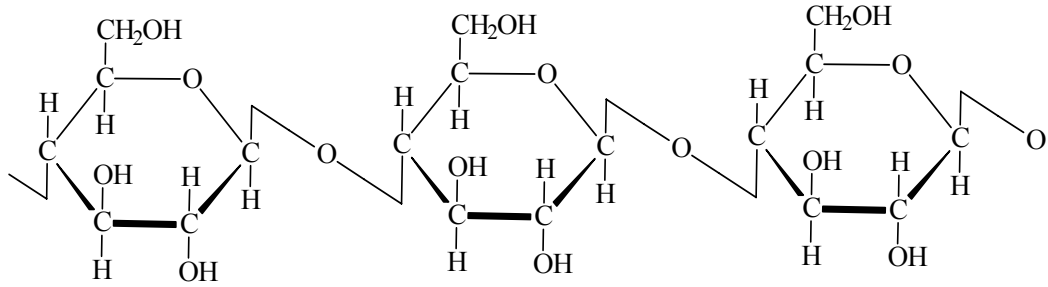
Kömürlerin poroziteleri, kömürleşme derecelerine bağlı olarak % 3 ile % 25 arasında değişmektedir. Kömürleşme dereceleri arttıkça adsorpsiyon kapasiteleri artar. Kömür ile  $\text{Cd}^{2+}$ 'nin adsorpsiyonunda  $0.91 \text{ mg Cd}^{2+}/\text{g}$  adsorpsiyon kapasitesi elde edilmiştir. Burada sorpsiyon, çözünebilir hidroksil komplekslerinin oluşumuna bağlı olarak  $\text{pH} = 10$ 'dan sonra azalır (84).

### 2.4.6. Doğal oksidler

Doğal oksidler ile de metal adsorpsiyonu yapılabilmektedir, örneğin  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CuO$ , vb. Ancak ortamda bulunan anyonların yüzey alanlarını tamamen kaplamalarından dolayı adsorpsiyon kapasitelerinde düşme meydana gelir.

### 2.4.7. Selüloz

Selüloz, yenilenebilir doğal polimerler arasında en çok olanıdır ve üç adet aktif hidroksil grubu vardır (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. Selülozun yapısı.

## 2.5. Aktivasyon Metodları

### 2.5.1. Fiziksel aktivasyon

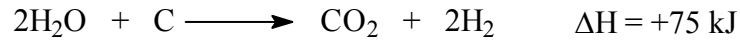
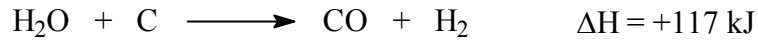
Fiziksel aktivasyon, başlangıç maddesinin termal bozunması (karbonizasyonu) ve karbonize yapının aktivasyonu olmak üzere iki kademedir oluşur. Karbonizasyon esnasında oksijen ve hidrojenin ilkel maddeden uzaklaştırılmasıyla gözenekli bir yapıya sahip karbon iskeleti üretilmiş olur.

Aktivasyon esnasında ise kömürleşmiş malzemenin oksidan bir ortamda işlem görmesi sonucunda karbonun yanmasıyla ortaya çıkan uçucu maddelerin oksijenle

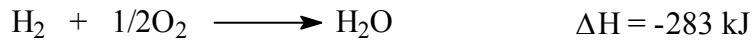
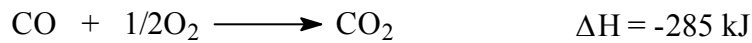
birleşerek ortamdan uzaklaşması, böylelikle de gözenek hacmi ve yüzey alanının büyük oranda artması sağlanmaktadır. Karbonizasyon ve aktivasyonda genellikle direkt ısıtmalı döner fırınlar ve çok bölmeli fırınlar, bununla beraber akışkan yatak da kullanılmaktadır (85). Karbonizasyon işlemi inert atmosfer kullanılarak genellikle 873-923 K' de gerçekleştirilir.

Karbonizasyon işlemi her ne kadar pratik uygulamalar için tek başına yeterli olmasa da porozitede artışa sebep olmaktadır. Bu aşamada karbonun gözenek yapısı ve özellikleri büyük ölçüde başlangıç maddesine bağlı olmaktadır

Karbonun 1123-1223 K arasında kızgın buhar, CO<sub>2</sub> veya ikisinin karışımı bir ortamda aktivasyonu da gözenekli bir yapının gelişimine yardımcı olmaktadır. Bu esnada kendiliğinden aynı anda meydana gelen reaksiyonların bir kısmı aşağıda verilmiştir.



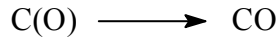
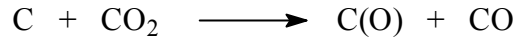
Oluşan bu reaksiyonlar endotermik karakterlidir. Bu nedenle karbon partikülleri aktive edici gazlarla yoğun olarak temas ettirilmelidir. İşlem reaksiyon sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmelidir, aksi halde ısı enerjisi zor elde edilir. 1073 K'nin altında reaksiyon hızı azalır ve aktivasyon prosesi durur. Isı desteği, aktivasyon sırasında açığa çıkan gazların yanması ile sağlanır.



Aktivasyon gazlarının rejenerasyon etkisi dolayısıyla, aktivasyonun gerçekleştiği fırınların uygun noktalarından sistem içersine hava veya oksijen girişi yapılır. Böylece reaksiyon sırasında açığa çıkan CO ve H<sub>2</sub>'nin reaktör içersinde kendi kendine yanması sağlanır.CO ve H<sub>2</sub>'nin aktivasyon hızını düşürmede önemli etkileri vardır.



Su buharı ve CO<sub>2</sub> kullanılarak yapılan aktivasyonda reaksiyon mekanizması, bu gazların önce karbon tarafından adsorpsiyonu, sonra da belirleyici adım olan yüzey oksidasyonu ile karakterize edilir.



Bu reaksiyonlarda C(O), yüzeye adsorbe edilen oksijeni göstermektedir. CO ve H<sub>2</sub>'nin yavaşlatılmış hareketi, C(CO) ve C(H) yüzey bileşiklerinin oluşmasına bağlanabilir. Özellikle C(H) yüzey kompleksi, C(O) yüzey kompleksinden daha karardır. Bu şekilde oksijen adsorplayabilecek aktif kısımlar hidrojen tarafından engellenmiş olur.

Tek başına oksijen veya hava aktivasyon gazı için uygun değildir, ancak su buharı veya inert gaz karışımında az miktarda oksijenin bulunması, oldukça geniş gözenekli aktif karbon elde edilmesini sağlar. Aktivasyon şartlarında oksijenin karbonla reaksiyonu, CO<sub>2</sub>'nin karbonla reaksiyonuna oranla 100 kez daha hızlıdır.

Potasyum içeren hammaddeler, aktivasyon oluşturmaksızın kontrolsüz yanma ile çok hızlı olarak oksijenle reaksiyona girerler. Bu sebeple hammadde yapısında potasyum tuzlarının varlığı ile reaksiyon hızı daha da artar.

Karbon yüzeyinde karbonil (CO)<sub>x</sub> ve karboksil (COO)<sup>-</sup> gruplarının varlığı, aktif karbonun adsorpsiyon özelliklerini belirlemekte ve katalizör görevi yapmaları sebebiyle de adsorpsiyon özelliklerini önemli oranda etkilemektedirler (86).

### 2.5.2. Kimyasal aktivasyon

Geniş aktif yüzeyli ve büyük por hacimli aktif karbon elde etmenin diğer bir yolu da kimyasal aktivasyon işlemidir.

Uygulanan kimyasal aktivasyon yöntemleri değişiklik göstermekle birlikte, kimyasal aktivasyon, uygun boyuttaki başlangıç maddesi ile kimyasal bir maddenin 773-1273 K arasında bir sıcaklıkta reaksiyona girmesi ile gerçekleştirilebileceği gibi,

belirli bir sıcaklıkta karbonize edilmiş başlangıç maddesinin bir kimyasal madde ile reaksiyonu sonucu da gerçekleştirilebilir.

Kimyasal aktivasyon işleminde kullanılan kimyasal maddeler Tablo 2.6'da verilmiştir (86).

Tablo 2.6. Kimyasal Aktivasyonda Kullanılan Kimyasal Maddeler.

Borik asit	Demir klorür
Kalsiyum hidroksit	Potasyum permanganat
Kalsiyum klorür	Potasyum karbonat
Kalsiyum fosfat	Potasyum hidroksid
Dolomit	Potasyum tiyosiyaniür
Kükürt	Klor gazı
Siyanitler	Mangan klorür
Fosforik asit	Mangan dioksit
Kükürt dioksit	Nitrik asit
Sülfürik asit	Sodyum klorür
Çinko klorür	Sodyum fosfat
Mangan sülfat	Sodyum sülfat

Fiziksel aktivasyona oranla, kimyasal aktivasyon daha basit bir yöntem olup daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmektedir.

Ürün veriminin yüksek olması, daha geniş gözenek yapısı eldesi ve aktivasyonda kullanılan kimyasal madde olarak kullanılan çinko klorür ( $ZnCl_2$ ) ve fosforik asitin ( $H_3PO_4$ ) geri kazanılabilmesi yöntemin önemli avantajlarındanır.

1970'lerden beri kimyasal aktivasyonda kullanılan en yaygın kimyasal aktivasyon çinko klorür ile yapılan procestir (87). Bu proses İtalya'da (Ceca), Japonya'da (Takeda Kimya Endüstrisi) ve Çekoslovakya'da kullanılmaktadır (86).

Çinko klorür başlangıç maddesine sulu çözelti halinde eklenir ve düşük bir sıcaklıkta karıştırma işlemine tabi tutulur. Karışım kurutulur ve döner fırında 873 - 973 K'e ısıtılır. Ürün, asit ve su ile yıkanıp çinko tuzları geri alınır.

Bazı durumlarda, daha ince gözenekler elde etmek için kimyasal aktivasyonu takiben buhar aktivasyonu uygulanabilmektedir (85). Prosesin ekonomikliği büyük oranda çinko klorürün geri dönüşüm verimine bağlıdır.

McCabe raporuna göre çinko klorür geri dönüşüm yüzdesi %80-85 olarak bildirilmiştir (87). Bununla birlikte aktifleştirici kimyasalın geri kazanımının maliyeti yüksektir. Fosforik asitle aktivasyon son yıllarda popüler olmaya başlamıştır.

Fosforik asidin geri kazanımı da bunu desteklemektedir. Fosforik asit prosesinde aktivasyon sıcaklığı 673-773 K civarındadır ve uçucu kayıpları düşüktür. Fosforik asit çok basamaklı ekstraksiyon yoluyla yüksek konsantrasyonlarda geri dönüştürülebilir.

Sülfürik asitle aktivasyon iyon değişimi özelliğine sahip ürün verirken, potasyum sülfid pek çok kaba ve ince gözenekli ürün vermektedir.

Her iki metot da günümüzde pratik değildir (85). Başlangıç maddesinin alüminyum klorür, demir klorür veya çinko klorür gibi bir Lewis asidi ile aktive edilmesiyle kumaş, fiber ve köpük şeklinde aktif karbon eldesi mümkündür.

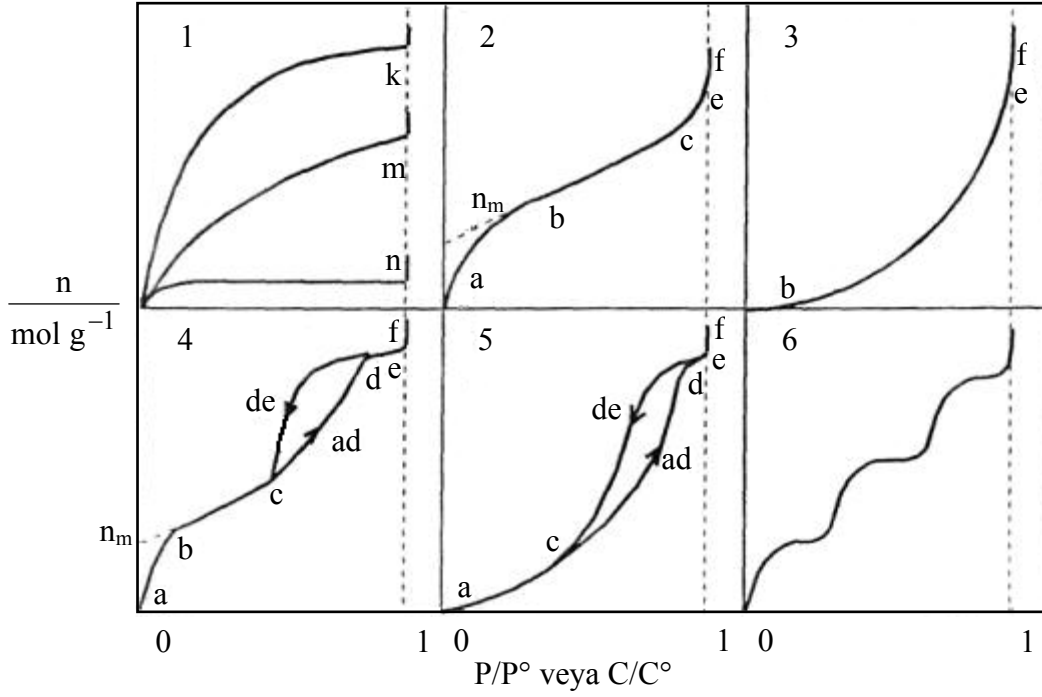
## 2.6. Adsorpsiyon İzotermi

Denel yoldan belirlenen adsorpsiyon izotermi Şekil 2.25'de şematik olarak çizilen altı tip izoterm eğrisinden birine daha çok benzemektedir.

Daha çok buhar fazından adsorpsiyon için çizilen bu izotermi bazıları çözümlenmiş adsorpsiyon içinde geçerlidir.  $P/P^\circ$  bağıl denge basıncını,  $C/C^\circ$  ise bağıl denge derişimini göstermektedir.

Buradaki  $P^\circ$  doymuş buhar basıncını,  $C^\circ$  ise doymuş çözeltinin derişimini yani çözünürlüğünü göstermektedir. Aynı izotermi  $P/P^\circ$  yerine  $P$  denge basıncı ve  $C/C^\circ$  yerine de  $C$  denge derişimi alınarak da çizilebilir.

Şekildeki  $P/P^\circ = 1$  ya da  $C/C^\circ = 1$  değerlerinde adsorplanan madde yığın olarak ayrıldığından izoterm eğrileri dikey olarak yükselmeye başlamaktadır. Bu dikey yükselme eğrisine gelindiği zaman adsorpsiyon tamamlanmış demektir.



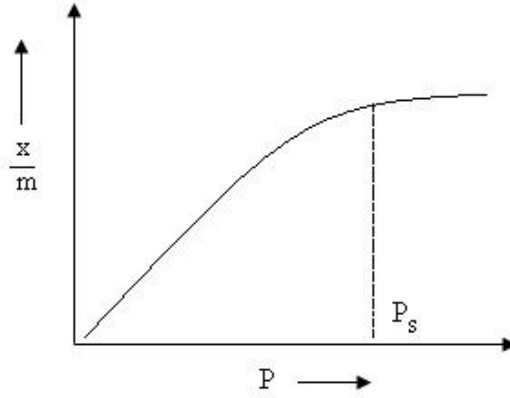
Şekil 2.25. Adsorpsiyon izotermelerinin altı karakteristik tipi.

### 2.6.1. Tip I adsorpsiyon izotermi

Monomoleküler yani tek tabakalı olan kimyasal adsorpsiyon izotermi k ve n eğrilerine benzemektedir (Şekil 2.25). Diğer taraftan mikrogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi k eğrisine, makrogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi ise n eğrisine yakındır.

Adsorplama gücü yüksek olan mikrogözeneklerin yüzeyleri monomoleküler olarak kaplandığında gözenekler tümüyle dolduğundan adsorpsiyon tamamlanmış olacaktır. Diğer taraftan, adsorplama gücü düşük olan makrogözeneklerin gözenekleri monomoleküler olarak kaplandığında adsorpsiyon yine tamamlanmış olacaktır.

Yani, mikro- ve makrogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermeleri aralarındaki yükseklik farkı dışında şeklen birbirlerine benzemektedirler. Çözeltilerdeki adsorpsiyon izotermeleri k, n ve m eğrilerinden birine yakın olarak ortaya çıkmaktadır. (57). Aşağıdaki Tip I adsorpsiyon örneği (Şekil 2.26)  $-1800^\circ\text{C}$ 'a yakın sıcaklıkta kömür üzerinde azot ( $\text{N}_2$ ) ya da hidrojenin ( $\text{H}_2$ ) adsorpsiyonudur.

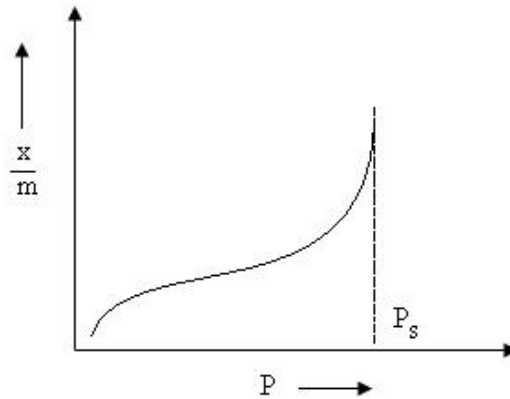


Şekil 2.26. Tip I adsorpsiyon örneği.

### 2.6.2. Tip II adsorpsiyon izotermi

Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir (Şekil 2.25). İzotermin ab parçası boyunca tek tabakalı adsorpsiyon, bc parçası boyunca ise çok tabakalı adsorpsiyon ve kılcal yoğunlaşma tamamlanmaktadır. İzotermin b noktasından sonraki doğrusal kısmının uzantısından  $n_m$  tek tabaka kapasitesi grafikten yaklaşık olarak okunabilir. Doygunluk noktasına geldiğinden dolayı ef boyunca adsorplanan madde sıvı ya da katı olarak yığın halinde ayrılır (57).

Aşağıdaki Tip II adsorpsiyon örneği (Şekil 2.27) demir katalizörü üzerinde  $-1950^{\circ}\text{C}$ 'de adsorbe olmuş azot ( $\text{N}_2(\text{g})$ ) ve silika jel üzerinde  $-1950^{\circ}\text{C}$ 'de adsorbe olmuş azot ( $\text{N}_2(\text{g})$ )'dır.

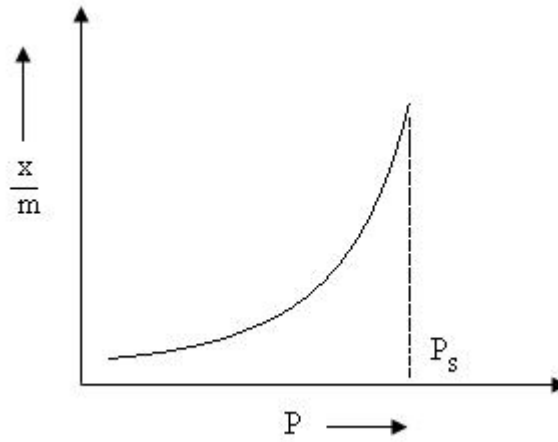


Şekil 2.27. Tip II adsorpsiyon örneği.

### 2.6.3. Tip III adsorpsiyon izotermi

Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir (Şekil 2.25). Adsorplama gücü çok düşük olan katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe uymaktadır. Eğrinin gidişinden tek tabaka kapasitesini bulmak mümkün değildir (57).

Aşağıdaki Tip III adsorpsiyon örneği (Şekil 2.28) silika jel üzerine  $790^{\circ}\text{C}$ 'de brom ( $\text{Br}_2$ ) ya da silika jel üzerine  $790^{\circ}\text{C}$ 'de iyot ( $\text{I}_2$ )'dur.



Şekil 2.28. Tip III adsorpsiyon örneği.

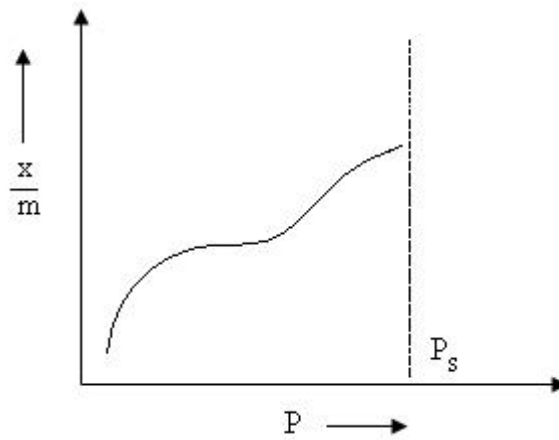
### 2.6.4. Tip IV adsorpsiyon izotermi

Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir (Şekil 2.25). Şekilde görüldüğü gibi adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermlerinin farklı yollar izlemesine adsorpsiyon histerezisi denir.

Bu durum, dar ağızlarından dolan gözeneklerin geniş ağızlarından boşalmasıyla açıklanabilmektedir. İzotermin ab parçası boyunca tek tabakalı adsorpsiyon, bc parçası boyunca çok tabakalı adsorpsiyon, cd parçası boyunca ise kılcal yoğunlaşma olmaktadır.

Kılcal yoğunlaşma tamamlandıktan sonra gözeneklerin ağızlarındaki çukur yüzeylerde boyunca dolmakta ve ef boyunca adsorplanan madde yığın olarak ayrılmaktadır. Genellikle mikro- ve mezogözenek içeren katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe uymaktadır.

Bu izotermde de  $n_m$  tek tabaka kapasitesi yaklaşık olarak bulunmaktadır (57). Aşağıdaki Tip IV adsorpsiyon örneği (Şekil 2.29) 500°C'de demir oksid ( $Fe_2O_3$ ) üzerinde benzenin adsorpsiyonu ve 500°C'de silika jel üzerinde benzenin adsorpsiyonudur.



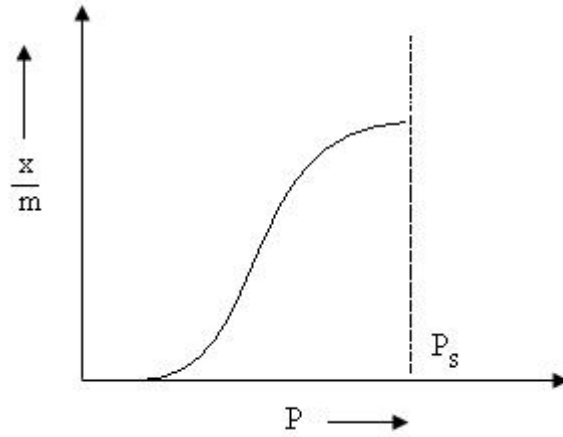
Şekil 2.29. Tip IV adsorpsiyon örneği.

### 2.6.5. Tip V adsorpsiyon izotermi

Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir (Şekil 2.25).

İzotermin ac parçası boyunca yüzey tek tabakalı ya da çok tabakalı olarak kaplandıktan sonra cd boyunca kılcal yoğunlaşma olmaktadır. Adsorplanma gücü düşük olan mezogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe benzemektedir (57).

Aşağıdaki Tip V adsorpsiyon örneği (Şekil 2.30) kömür üzerinde 1000°'de suyun (buhar) adsorpsiyonudur.



Şekil 2.30. Tip V adsorpsiyon örneği.

### 2.6.6. Tip VI adsorpsiyon izotermi

Basamaklı olan bu izoterm tipine çok az rastlanmaktadır (Şekil 2.25). Mikrogözenekler yanında farklı boyutlarda mezogözenek grupları içeren katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe benzemektedir (57).

## 2.7. Adsorpsiyon Denklemleri

Denel yoldan belirlenen adsorpsiyon izotermelerini ve diğer adsorpsiyon verilerini değerlendirebilmek için çok sayıda denklem türetilmiştir. Adsorplanan ve adsorplayıcı maddelerin özelliklerine göre bir adsorpsiyon için bu denklemlerden biri veya birkaçı daha uygun olmaktadır.

### 2.7.1. Langmuir denklemi

Yüzey kimyası alanındaki çalışmalarından dolayı 1932 yılı Nobel Kimya Ödülü sahibi Amerikalı bilim adamı Irving Langmuir (1881-1957) tarafından 1916 yılında kimyasal adsorpsiyon için çok basit bir izoterm denklemi türetilmiştir. Tek tabakalı fiziksel adsorpsiyon ve çözeltiden adsorpsiyon için de geçerli olan bu denkleme



Langmuir denklemi denir (88). Bu denklem kinetik yaklaşımlardan türetilmiş olup, dört hipoteze dayanan deneysel bir izotermdir. Langmuir'e göre,

- adsorban yüzeyi aynı tiptedir yani, tüm adsorpsiyon aktif merkezleri enerjisel olarak eşittir
- adsorplanan moleküller birbirleri ile etkileşmezler
- tüm adsorpsiyon aynı mekanizma aracılığıyla meydana gelir
- maksimum adsorpsiyonda, yalnızca tek tabaka oluşur ve adsorbat molekülleri diğerlerinin üzerinde birikmeyerek sadece adsorbanın serbest yüzeyinde toplanırlar

şeklinde tanımlanan dört hipoteze dayalı deneysel bir izotermdir. Bu dört hipotez nadiren doğrudur. Çünkü yüzeyde daima birtakım kusurlar vardır ve adsorplanan moleküller inert değildir. Adsorpsiyon mekanizmasının çok hızlı moleküller için de aynı olduğu açık değildir. Dördüncü koşul en sıkıntılı olanıdır, çünkü pek çok melekül çoğu zaman tek tabakada adsorplanmaktadır. Ancak daha sonra bu problem, B.E.T. izotermi aracılığıyla çözülmüştür. Langmuir, A gaz molekülü ve S adsorpsiyon merkezi olmak üzere, adsorpsiyonun aşağıda gösterilen mekanizma ile meydana geldiğini önermektedir,



Bu mekanizmaya göre ileri ve geri reaksiyon hız sabitleri  $k_1$  ve  $k_{-1}$  olup, dengede kaplanan adsorpsiyon yüzeylerinin oranı olan kaplanan yüzey kesri ( $\theta$ ) Denklem 2.1'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$K = \frac{k_1}{k_{-1}} = \frac{\theta}{(1-\theta)P} \text{ ya da } \theta = \frac{KP}{1+KP} \quad (2.1)$$

Çok düşük basınçlar için  $\theta \cong KP$  ve yüksek basınçlar için  $\theta \cong 1$ 'dir.  $\theta$  değerinin deneysel olarak belirlenmesi zordur. Çünkü adsorbat genellikle bir gazdır ve adsorplanan madde miktarı, standart sıcaklık ve basınçta (STP) birim gram adsorban hacmi olarak ifade edilmektedir. Bu yüzden, tek tabaka oluşumu için gerekli adsorbat, STP hacmine göre  $V_m$  şeklinde kullanılırsa,

$$\theta = \frac{v}{V_m} \quad (2.2)$$

denklemleri ile ifade edilir. Denklem 2.2'nin Denklem 2.1'de kullanılıp doğrusallaştırılmasıyla, Denklem 2.3 elde edilir.

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{KV_m} \frac{1}{P} + \frac{1}{V_m} \quad (2.3)$$

Sabit sıcaklıkta her bir adsorban/adsorbat çifti için, 1/P-1/V grafiği eğim ve kaymasından  $V_m$  ve  $K$  elde edilir.  $V_m$ , adsorpsiyon aktif merkez sayısı ile bağlantılıdır. Eğer, adsorpsiyon aktif merkez sayısı, katının tüm yüzeyinin adsorbat moleküllerinin kesitine bölünmesi olarak kabul edilirse adsorbanın yüzey alanı kolaylıkla hesaplanabilir. Adsorbanın yüzey alanı, adsorbanın yapısına bağlı olup, daha fazla gözeneğe sahip adsorbanlar daha büyük yüzey alanına sahiptir. Büyük yüzey alanı, yüzey reaksiyonlarında büyük bir etkiye neden olmaktadır. Burada  $i$ , adsorplanan gazlardan her biri olmak üzere, yüzeyde birden fazla gaz adsorplanırsa  $\theta$  boş aktif merkezlerinin kesri olup,

$$\theta_E = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n K_i P_i} \quad (2.4)$$

ve

$$\theta_J = \frac{K_i P_i}{1 + \sum_{i=1}^n K_i P_i} \quad (2.5)$$

denklemleri ile ifade edilir. Çözümlenen adsorpsiyon sistemleri için Langmuir denklemi,

$$q_e = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (2.6)$$

ile ifade edilmektedir. Denklem doğrusallaştırılmış hali,

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \frac{a_L}{K_L} C_e \quad (2.7)$$

şeklini alır, burada maksimum adsorpsiyon kapasitesi  $q_e$  ve denge adsorbat derişimi  $C_e$  olmak üzere,  $C_e/q_e$ - $C_e$  grafiğinin eğim ve kaymasından  $K_L$  ve  $a_L$  Langmuir sabitleri hesaplanabilmektedir. Kuramsal tek tabaka kapasitesi  $n_m$ , sayısal olarak  $K_L/a_L$  değerine eşit kabul edilmektedir. Ayrıca Langmuir denklemi aşağıda olduğu gibi de ifade edilebilir (89):

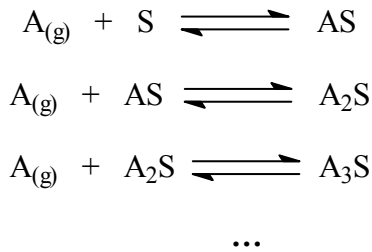
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_A q_m} \quad (2.8)$$

burada  $K_A$ , Langmuir adsorpsiyon denge sabiti veya bağlanma enerjisi ve  $q_m$  ise tek tabaka kapasitesidir.

### 2.7.2. Brunauer-Emmet-Teller (B.E.T.) denklemi

B.E.T. teorisi 1938'de Stephan Brunauer, Paul Hugh Emmett ve Edward Teller tarafından katı yüzeyinde gaz moleküllerinin fiziksel adsorpsiyonu için türetilmiş bir denklemdir (90).

Moleküllerin genellikle çok tabakalı şekilde adsorplandığı bilinmektedir. Yani gaz moleküllerinin çoğu, adsorplanmış moleküller üzerinde adsorplanır ve bu durumda Langmuir izotermi geçerli değildir. B.E.T. teorisinde, fiziksel adsorpsiyon için önerilen mekanizma,



şeklindedir.

Teori, tek tabakalı adsorpsiyon için geçerli olan Langmuir teorisinin genişletilmiş halidir.

Çok tabakalı adsorpsiyon için öne sürülen hipotezler,

- Gaz molekülleri bir katıda tabakalar içine fiziksel olarak adsorplanır.
- Her bir adsorpsiyon tabakası arasında hiçbir etkileşim yoktur.
- Langmuir teorisi her bir tabakaya uygulanabilir.

şeklindedir. Bu hipotezlere dayanarak B.E.T. denklemi,

$$\frac{1}{V \left[ \left( \frac{P_0}{P} \right) - 1 \right]} = \frac{c-1}{V_m c} \left( \frac{P}{P_0} \right) + \frac{1}{V_m c} \quad (2.9)$$

P ve P<sub>0</sub>, adsorpsiyon sıcaklığında adsorbatın denge ve doyumluk basıncını, V adsorban gaz miktarını ve V<sub>m</sub> tek tabaka adsorplanan gaz hacmini ifade etmektedir. Burada c sabiti,

$$c = e^{\left( \frac{E_I - E_L}{RT} \right)} \quad (2.10)$$

şeklindedir. Denklem 2.10'da E<sub>I</sub> ilk tabaka, E<sub>L</sub> ise ikinci ve daha yüksek tabakalar için adsorpsiyon ısı olup, yoğunlaşma ısısına eşittir (90).

P/P<sub>0</sub>'a karşı 1/v[(P<sub>0</sub>/P)-1] doğrusal grafiğinden elde edilen eğri, B.E.T. eğrisi olarak adlandırılır ve yalnızca 0.05 < P/P<sub>0</sub> < 0.35 aralığında doğrusal bir ilişkiye sahiptir (61). B.E.T. denklemi yaygın olarak gaz moleküllerinin fiziksel adsorpsiyonu aracılığıyla katıların yüzey alanının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Toplam yüzey alanı, S<sub>T</sub>, ve özgül yüzey alanı (S), aşağıdaki denklemden hesaplanabilmektedir.

$$S_{top} = \frac{(V_m N_s)}{V} \text{ ve } S = \frac{S_{top}}{W} \quad (2.11)$$

burada V<sub>m</sub> tek tabaka adsorplanan gaz miktarını, N Avogadro sayısını, s adsorpsiyon kesit alanını, V adsorbat gazın molar hacmini ve W adsorban kütesini ifade etmektedir.

### 2.7.3. Polanyi denklemi

Polanyi, adsorplanan fazın sıvı halde olduğunu bu sıvının buhar basıncının aynı sıcaklıktaki yığın sıvının buhar basıncına eşit olduğunu ileri sürmüştür (91). Basıncı (P) denge basıncına eşit ve buhar fazındaki basıncı  $P^\circ$  olan adsorplanmış faza, bir mol maddenin tersinir olarak aktarımı sırasındaki maksimum iş Polanyi tarafından adsorpsiyon potansiyeli olarak tanımlanmıştır. Bu maksimum iş serbest entalpi değişimine eşit olup,

$$\varepsilon \equiv W_{tr} = \Delta G = RT \ln P \quad (2.12)$$

şeklinde gösterilmektedir. Buhar yerine gaz adsorpsiyonu söz konusu olduğunda,  $P^\circ$  yerine  $P_K \tau^2$  yani kritik basınç ile indirgenmiş sıcaklığın karesinin çarpımı alınmaktadır. Aynı denklem, basınçlar yerine derişimler alınarak çözümlenerek adsorpsiyon için de kullanılabilir.

Adsorplanan ve adsorplayıcı değişmedikçe Polanyi potansiyeli sıcaklıkla değişebilmektedir. Adsorplanan madde miktarı  $n$  (mol/g) olarak alındığında, sıvı olduğu varsayılan adsorplanmış fazın hacmi;

$$v(\text{cm}^3 / \text{g}) = nV_s \quad (2.13)$$

denkleminde bulunur ve bu hacim sıcaklıkla değişmemektedir.

### 2.7.4. Dubinin-Radushkevich-Kagener (DRK) denklemi

Dubinin ve Radushkevich, Polanyi karakteristik eğrisini mikrogözenek hacimlerinin adsorpsiyon potansiyellerine göre değişimini veren bir Gauss dağılımı olduğunu ileri sürmüşler ve bu eğrinin denklemini,

$$V = V_{mi} \exp\left(-\frac{k\varepsilon^2}{\beta^2}\right) = V_{mi} \exp\left[\left(-\frac{k}{\beta^2}\right)R^2T^2 \ln^2\left(\frac{P^\circ}{P}\right)\right] \quad (2.14)$$

şeklinde yazmışlardır (91).

Bu denklemin logaritması alındıktan sonra bazı basitleşmeler yapılarak pratikte çok kullanılan sırayla aşağıdaki denklemlere geçilmiştir.

$$\ln V = \ln V_{mi} - \left( \frac{B}{\beta^2} \right) T^2 \ln^2 \left( \frac{P^\circ}{P} \right) \quad (2.15)$$

$$\ln V = \ln V_{mi} - D \ln^2 \left( \frac{P^\circ}{P} \right) \quad (2.16)$$

buradaki  $B = kR^2$  adsorplayıcıya bağlı bir sabiti,  $\beta$  adsorplanan maddeye bağlı bir sabiti,  $D = \left( \frac{B}{\beta^2} \right) T^2$  adsorplayıcı ve adsorplanan yanında sıcaklığa da bağlı bir sabiti,  $V_{mi}$  ise özgül mikrogözenek hacmini göstermektedir. Elde edilen eğrinin doğrusal kısmının uzantısından  $\ln V_{mi}$  değeri okunmakta ve  $V_{mi}$  özgül mikrogözenek hacmine geçilmektedir. Adsorplama gücü çok yüksek olan küçük gözenekler için adsorpsiyon potansiyeli çok büyüktür.

### 2.7.5. Freundlich denklemleri

Freundlich denklemleri, adsorban yüzeyinde adsorplanan madde miktarının adsorbat derişiminin üstel fonksiyonu olduğu bir denklem olup,

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.17)$$

denklemleriyle ifade edilir (89), burada,  $K_F$  Freundlich sabiti olup, adsorpsiyon kapasitesidir;  $n$  ise adsorpsiyon şiddetidir.

Freundlich izoterm denklemleri, Langmuir izotermine bazı varsayımlar ve ilaveler yapılarak elde edilmiştir. Langmuir denklemlerine göre bu izoterm en büyük dezavantajı, düşük derişimlerde Henry kanununa uymaması ve dengeden sonra sabit kalan bir adsorbat değerinin elde edilememesidir. Denklem doğrusallaştırılırsa,

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2.18)$$

elde edilir.  $\ln C_e - \ln q_e$  grafiğinden  $n$  ve  $K_F$  sabitleri bulunabilmektedir.

### 2.7.6. Redlich-Peterson denklemi

Redlich ve Peterson, geniş bir derişim aralığında geçerli olabilen, deneysel olarak oluşturulan ve “üç parametrelî denklem” olarak tanımladıkları,

$$q_e = \frac{K_R C_e}{1 + a_R C_e^\beta} \quad (2.19)$$

denklemini ileri sürmüşlerdir (62). Düşük adsorbat derişimleri için  $\beta$  birden küçük veya bire eşit olup Freundlich denklemine, yüksek adsorbat derişimleri için  $\beta$  birden büyük değerlerde olup, Langmuir denklemine indirgenir. Bu denklem, bir doğru verecek şekilde düzenlenirse,

$$\ln \left[ \left( \frac{K_R C_e}{q_e} \right) - 1 \right] = \ln a_R + \beta \ln C_e \quad (2.20)$$

denklemini elde edilir. Denkleminde üç tane bilinmeyen olduğu için,  $K_R$  değeri teorik olarak hesaplanıp kullanılabilir. Bu denklem deneysel verilerle en uyumlu sonuçları vermesi nedeniyle oldukça sık kullanılmaktadır.

### 2.7.7. De Boer-Lippens (BL) denklemi

İki boyutlu en sık küresel istiflenmeyle oluşan bir azot tabakasının kalınlığı azotun çarpışma çapına yakın olup 0.354 nm ile 0.430 nm arasında değişmektedir. Bir

tabakanın kalınlığı bilindiği zaman çok tabakalı adsorpsiyondaki toplam tabakalı kalınlığı adsorpsiyon verilerinden bulunabilmektedir.

Azotun normal yoğunlaşma sıcaklığı olan 77 K'deki adsorpsiyonunda, tabaka kalınlığı De Boer ve Lippens tarafından,

$$t = 0.354 \frac{n}{n_m} = 0.354 \frac{V}{V_m} = 1.547 \frac{V}{A} = 10^3 \frac{V_s}{A} = 0.43 \left[ -\frac{5}{\ln(P/P^\circ)} \right]^{1/3} \quad (2.21)$$

şeklinde verilmiştir. Burada,  $t/nm$  tabaka kalınlığını,  $n/mol\ g^{-1}$  ve  $V/cm^3\ g^{-1}$  bir gram katıda adsorplanan azotun sırayla molar miktarlarını ve normal koşullardaki gaz hacmini,  $n_m/mol\ g^{-1}$  ve  $V_m/cm^3\ g^{-1}$  ve normal koşullardaki gaz hacmi olarak tek tabaka kapasitesini,  $V_s/cm^3\ g^{-1}$  adsorplanan azotun sıvı haldeki hacmini,  $A/m^2\ g^{-1}$  olarak özgül yüzey alanını,  $P/P^\circ$  ise adsorpsiyondaki bağıl denge basıncını göstermektedir.

Buna göre BL denklemi ile tabaka kalınlığı, adsorplanan madde miktarı, tek tabaka kapasitesi, özgül yüzey alanı ve bağıl denge basıncı birbirine bağlanmaktadır. Sıvı azotun molar hacmi  $V_s = 34.65\ cm^3\ mol^{-1}$  olduğuna göre, adsorplanan madde miktarları arasında,

$$n = \frac{V}{22400} = \frac{V_s}{34.65} \quad (2.22)$$

denklemi geçerlidir (57).

### 2.7.8. Kiselev denklemi

En küçük mezogözenek içinden itibaren kılcal yoğunlaşma başlamadan önce tüm mezogözeneklerin yüzeyleri çok tabakalı olarak kaplanmaktadır. Sahip olduğu duvarların yüzeyleri çıplak olan yüzeylere por (pore), çok tabakalı olarak kaplanmış olan gözeneklere ise kor (core) adı verilmektedir. Katının bir gramı içinde bulunan porların duvar yüzeylerinden kaynaklanan özgül yüzey alanı  $A$ , korların duvar yüzeylerinden kaynaklanan özgül yüzey alanı ise  $A_k$  ile gösterilmiştir. Adsorpsiyon



tabakası ile kaplanan gözeneklerin duvar yüzeylerinin alanı azaldığından dolayı  $A_k$  değeri  $A$  değerinden biraz daha küçük olacaktır.

Kılcal yoğunlaşma başladığında adsorpsiyon filmi ile buhar arasındaki arayüz bozulmaya başlamakta ve kılcal yoğunlaşma sonlandığında tümüyle ortadan kalkmaktadır. Kılcal yoğunlaşma sırasında ortadan kalkan  $A_k$  alanı adsorpsiyon izoterminin kılcal yoğunlaşma bölgesinden yararlanılarak bulunabilmektedir.

Sabit sıcaklık ve sabit basınçta buhar basıncı  $P^\circ$  olan yığın sıvıdan buhar basıncı  $P$  olan kılcal sıvıya  $dn$  mol madde aktarımı için iki farklı şekilde yazılan serbest entalpi değişimi birbirine eşitlendikten sonra ele geçen diferansiyel denkleminin belirli integrali alınarak Kiselev Denklemi aşağıdaki gibi bulunur.

$$dg = dn RT \ln\left(\frac{P}{P^\circ}\right) = \sigma dA_k \quad \text{ise} \quad A_k = \frac{RT}{\sigma} \int_{n_k}^n \ln\left(\frac{P}{P^\circ}\right) dn \quad (2.23)$$

Kılcal yoğunlaşma başladığında  $A_k$  değerinde olan özgül kor yüzeyi, kılcal yoğunlaşma tamamlandığında ortadan kalkmakta yani sıfır olmaktadır. Kiselev denklemindeki  $\sigma$  sıvının deney sıcaklığındaki yüzey gerilimini,  $n_k$  korların oluşması için adsorplanması gereken maddenin molar miktarını,  $n$  ise mezogözenekler tümüyle dolana dek katıda tutunan maddenin toplam molar miktarını göstermektedir. Bu denklemden belirli integral grafiksel yoldan bulunur. Bu amaçla adsorpsiyon eğrisinden yararlanılarak  $\ln(P/P^\circ)$ - $n$  grafiği çizildikten sonra  $n_k$  ve  $n$  sınırları arasında kalan eğrinin altındaki alan bulunur (57).

### 2.7.9. Sygin-Frumkin denklemi

Rus kimyacılar Sygin ve Frumkin tarafından geliştirilmiştir.  $a$  ve  $f$  birer sabit olmak üzere,

$$\theta = \frac{n}{n_m} = \left(\frac{1}{f}\right) \ln ac \quad (2.24)$$

şeklinde bir adsorpsiyon denklemi türetilmiştir. Çözeltilen adsorpsiyon için türetilen denklemdeki derişim yerine basınç alınarak gaz fazından adsorpsiyon için de kullanılabilir (57).

### 2.7.10. Hill denklemi

Polimerler gibi moleküler yüzeylere sahip maddelerin gaz ya da buhar fazından adsorpsiyonu için türetilen Hill denklemi grafiği bir doğru vermek üzere ,

$$\frac{\theta}{1-\theta} + \ln \frac{\theta}{1-\theta} - \ln \frac{P}{P^\circ} = \ln k_1 + k_2 \theta \quad (2.25)$$

şeklinde yazılmaktadır. Buradaki  $\theta = n/n_m$  örtülü yüzey kesrini,  $P/P^\circ$  bağıl denge basıncını,  $k_1$  adsorplayıcı ve adsorplanana bağı ve değeri 0.08 – 0.45 arasında değişen bir sabiti,  $k_2$  ise adsorplayıcıya bağı ve değeri 1.6–2.8 arasında değişen bir sabiti göstermektedir. Bağıl denge basıncı  $P/P^\circ$  yerine  $c/c^\circ$  alınarak aynı denklem çözeltilen adsorpsiyon için de kullanılabilir (57).

### 2.7.11. Temkin denklemi

Temkin ve Pyzhev, adsorban-adsorbat ilişkisini doğrudan etkilemeyen bazı parametreleri inceleyerek, bütün meleküllerin adsorpsiyon ısılarının her tabakada  $q_e$  ile doğrusal olarak değiştğini ispatlamışlar ve şu denklemleri ileri sürmüşlerdir (92).

$$q_e = \frac{RT}{b} (\ln A C_e) \quad (2.26)$$

Bu denklemin doğrusallaştırılmış hali,

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln A + \frac{RT}{b} \ln C_e \quad (2.27)$$

şeklinde olup,

$$B = \frac{RT}{b} \quad (2.28)$$

olmak üzere tanımlanmışsa  $\ln C_e - q_e$  grafiğinden A ve B sabitleri bulunabilir (57) .

### 2.7.12. Fowler denklemi

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonlar için türetilen bu denklem,

$$bP = \frac{\theta}{1-\theta} \exp\left(\frac{2\theta w}{k_B T}\right) \quad (2.29)$$

şeklinde verilmektedir. Buradaki P denge basıncını,  $\theta$  örtülü yüzey kesrini,  $k_B$  Boltzmann sabitini, T sıcaklığı, b bir sabiti, w ise adsorplanan madde molekülleri arasındaki etkileşmelere bağlı bir niceliği göstermektedir. Basınç yerine derişim alınarak aynı denklem çözeltiden adsorpsiyon için de kullanılabilir (57).

### 2.7.13. Harkins-Jura (HJ) denklemi

Termodinamik yoldan türetilen bu denklem grafiği bir doğru vermek ve hacim 1 atm ve 273.15 K'deki değer olmak üzere,

$$\log\left(\frac{P}{P^\circ}\right) = B - \frac{C}{V^2} \quad (2.30)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Denklemdaki B ve C sabitleri sırayla bu denklem göre çizilen doğrunun kayma ve eğiminden bulunmaktadır. Azot adsorpsiyonu için,

$$A / m^2 g^{-1} = 4.06 \sqrt{C} \quad (2.31)$$

denkleminde özgül yüzey alanına geçilebilmektedir (57).

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Kullanılan Maddeler

Yumurta kabuğu (beyaz), antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdekleri piyasadan temin edilmiştir. Kullanılan kimyasal maddeler; Hidroklorik asid, Sülfürik asid, Fosforik asid, Arsenik trioksid, Sodyum bikarbonat, Sodyum hidroksid, Potasyum iyodat, Metil viyoleto, Bakır sülfat penta hidrat, Sodyum dietil ditiokarbamat, Demir (II) sülfat hepta hidrat, Sodyum asetat trihidrat, Hidroksilamin hidroklorür, 1-10 Fenantrolin monohidrat, Potasyum dikromat, 1-5 Difenil karbazid, Etil alkol, Nikel (II) sülfat heksahidrat, Dimetil glioksim ve Amonyak analitik saflıkta olup hepsi Merck ürünüdür.

#### 3.2. Kullanılan Aletler

Yüzey alanı ve porozite (gözeneklilik) ölçme cihazı: Micromeritics TriStar II 3020, Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, USA. Bu cihaz sayesinde adsorbanların gözeneklerinin tek nokta, BET (Brunauer-Emmet-Teller), Langmuir, BJH (Barret-Joyner-Halenda) adsorpsiyon kümülatif ve BJH desorpsiyon kümülatif yüzey alanları; gözeneklerin tek nokta adsorpsiyon toplam gözenek hacimleri, tek nokta desorpsiyon toplam gözenek hacimleri, BJH adsorpsiyon kümülatif ve BJH desorpsiyon kümülatif hacimleri; tek nokta yöntemine göre adsorpsiyon ve desorpsiyon ortalama gözenek genişlikleri, BJH adsorpsiyon ve BJH desorpsiyon ortalama gözenek genişleri tayin edilmektedir.

Fırın: 0-1200°C arasında, SFS, Severn Furnaces Limited, Bristol, U.K. Spektrofotometre: Optizen POP UV/VIS, Dalga boyu aralığı: 190-1100 nm, Spektral band genişliği 1.8 nm, fotometrik aralık: Absorbans: (-3)-(+3) Abs., Transmittans: %0-300. Etüv: 0-240°C arasında, MIDO/2/AL, Genlab/Widnes, İngiltere. Hassas Terazisi: GECAVERY, Model VA304-1AAZM13AAE, U.K. pH metre: pH 330i/SET, Almanya. Çalkalamalı Su Banyosu: 10-110°C aralığında, Type 3047, Köttermann Labortechnik, Almanya. Öğütücü: Bosch, MKM6000, Türkiye.

### 3.3. Kullanılan Metodlar

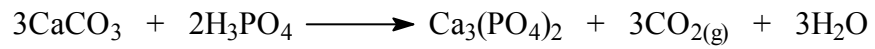
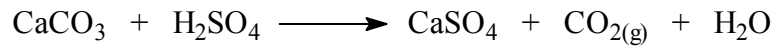
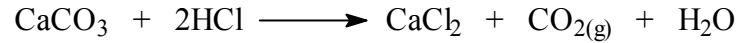
#### 3.3.1. Ham materyallerin hazırlanması

Yumurta kabuğu, antep fıstığı, fındık ve pirinç kabukları ile zeytin çekirdeği öğütücüde öğütüldü ve destile suyla yıkanıp 110°C'lik bir etüvde 24 saat kurutuldu. Tanecik boyutu 2.0 mm × 0.5 mm olacak şekilde elekten geçirildi ve sonra yumurta kabuğunun dışındakiler kimyasal aktivasyon işlemine tabii tutuldular.

#### 3.3.2. Kimyasal aktivasyon

##### 3.3.2.1. Yumurta kabuğunun aktivasyonu

Yumurta kabuğunun yapısında bulunan CaCO<sub>3</sub>'dan dolayı (20), asidlerle aşağıdaki muhtemel reaksiyonları verdiği için asitle aktivasyon işlemi yapılamadı. Kimyasal işlem görmemiş haliyle adsorban olarak kullanıldı.



##### 3.3.2.2. Antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinin aktivasyonu

Yıkanmış ve öğütülmüş olan antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeği, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile ağırlıkça 1:1 oranında muamele edildi. 24 saat oda koşullarında aktivasyon için bekletildi.

Aktivasyon işleminden sonra asidliğin giderilmesi için %1'lik NaOH ile yıkandı. pH'ın 4-5 olması sağlandı ve destile su ile yıkanarak etüvde 110°C'de 12 saat kurumaya bırakıldı.

Asidle aktive edilmiş antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu ve zeytin çekirdeği karbonize edilmek üzere 400°C, 600°C ve 700°C'de 2 saat yakıldı. Pirinç kabuğu ise aynı sıcaklıkta 30 dk. yakıldı.

Elde edilmiş olan aktif karbonlar tekrar destile su ile yıkanarak pH'ı kontrol edildi. İstenilen pH, 6-7 olduğundan dolayı eğer asidik ortam varsa %1'lik NaOH ile tekrar yıkanarak, 110°C'de kurumaya bırakıldı.

### **3.3.3. Arsenik ( $As^{5+}$ ) tayininde kullanılan çözeltilerin hazırlanması**

Stok arsenik çözeltisi: 1.3200 g  $As_2O_3$ , 1000 mL 0.1 M NaOH çözeltisinde çözülerek hazırlandı. Bu çözeltinin 1 mL'sinde 0.001 mg  $As^{5+}$  bulunmaktadır. Potasyum iyodat çözeltisi: 0.8560 g  $KIO_3$ , 100 mL bidestile suda çözülerek hazırlandı. Metil viyoleto çözeltisi: 0.0512 g metil viyoleto 100 mL bidestile suda çözülerek hazırlandı.

### **3.3.4. Bakır ( $Cu^{2+}$ ) tayininde kullanılan çözeltilerin hazırlanması**

Stok bakır çözeltisi: 0.0196 gr  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  tartılarak bidestile su ile litreye tamamlanarak hazırlandı. Bu çözeltinin 1 mL'sinde 0.005 mg  $Cu^{2+}$  bulunmaktadır.

Sodyum dietil ditiyokarbamat çözeltisi: 1.0122 gr sodyum dietil ditiyokarbamat bidestile su ile litreye tamamlanarak hazırlandı.

### **3.3.5. Demir ( $Fe^{2+}$ ) tayininde kullanılan çözeltilerin hazırlanması**

Stok demir çözeltisi: 0.5 g  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  bidestile su ile litreye tamamlanarak hazırlandı. Bu çözeltinin 1 L'sinde 10 mg  $Fe^{2+}$  bulunmaktadır. pH = 3.2-3.3 olan

sodyum asetat çözeltisi: 35 g  $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  100 mL bidestile suda çözündü ve bu çözelti bürete koyuldu.

Ayrı bir kaptaki 100 mL bidestile suya 2 mL derişik HCl kondu. pH metrenin elektrodu bu asid çözeltisine daldırıldı. pH 3.2-3.3 olana kadar büretten damla damla sodyum asetat çözeltisi damlatılarak istenilen pH'de sodyum asetat çözeltisi hazırlandı. .

Hidroksilamin hidroklorür çözeltisi: 10 g  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  100 mL bidestile suda çözünerek hazırlandı.

Fenantrolin çözeltisi: 0.12 g  $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$  100 mL bidestile suda  $80^\circ\text{C}$ 'de çözünerek hazırlandı.

### 3.3.6. Krom ( $\text{Cr}^{6+}$ ) tayininde kullanılan çözeltilerin hazırlanması

Stok krom çözeltisi: 0.1414 g  $\text{K}_2\text{CrO}_7$  bidestile suda çözünerek 1 L'ye tamamlandı ve bu çözeltilerden de 20 mL alınarak 1 L'ye tamamlandı. Elde edilen çözeltinin 1 mL'sinde 0.001 mg  $\text{Cr}^{6+}$  bulunmaktadır.

Difenil karbazid çözeltisi: 0.2 g 1-5 difenil karbazid 100 mL etil alkolde çözünerek elde edilen çözeltiye, daha önceden hazırlanmış olan 40 mL derişik  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ve 360 mL bidestile su ile hazırlanan 400 mL'lik sülfürik asid çözeltisi ilave edildi.

### 3.3.7. Nikel ( $\text{Ni}^{2+}$ ) tayininde kullanılan çözeltilerin hazırlanması

Stok nikel çözeltisi: 0.5 g  $\text{NiSO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  bidestile su ile çözünerek 1 L'ye tamamlandı. Bu çözeltinin 1 mL'sinde 0.001 mg  $\text{Ni}^{2+}$  bulunmaktadır.

%1'lik EDTA çözeltisi: 1 g dimetil gliksim etil alkolde çözünerek 100 mL'ye tamamlanır.

### 3.3.8. Kalibrasyon grafiklerinin çizilmesi

#### 3.3.8.1. Arsenik ( $As^{5+}$ ) tayini için kalibrasyon grafiği

Hazırlanan stok arsenik çözeltilisinden 5, 25, 50 ve 100 mL alındı ve 100 mL'ye tamamlandı. Elde edilen standart çözeltilerin derişimleri sırayla, 0.005 mg  $As^{5+}$ , 0.015 mg  $As^{5+}$ , 0.025 mg  $As^{5+}$ , 0.1 mg  $As^{5+}$  oldu.

Standart çözeltilerin her birinden 50 mL alındı ve üzerlerine 1 mL HCl ilave edildi. Karıştırıldıktan sonra, 1 mL potasyum iyodat çözeltisi ilave edildi ve son olarak 1 mL metil viyolek ekledi. Derişime bağlı olarak azalan mavi-yeşil renk gözlemlendi. 5-10 dk beklendi ve 612 nm'de okuma yapılarak elde edilen değerler ile Absorbans-Konsantrasyon grafiği çizildi (Şekil 5.7).

#### 3.3.8.2. Bakır ( $Cu^{2+}$ ) tayini için kalibrasyon grafiği

Hazırlanan stok bakır çözeltilisinden 1 mL, 4 mL, 8 mL ve 20 mL alındı ve bidestile su ile 100 mL'ye tamamlandı. Elde edilen standart çözeltilerin derişimleri sırayla 0.005 mg  $Cu^{2+}$ , 0.02 mg  $Cu^{2+}$ , 0.04 mg  $Cu^{2+}$ , 0.1 mg  $Cu^{2+}$  oldu.

Standart çözeltilerin her birinden 50 mL alındı ve üzerlerine 2.5 mL sodyum dietil ditiokarbamat çözeltisi eklendi. 5 dk. eklendi ve sarı renk oluşumu gözlemlendi. 420 nm'de okuma yapılarak elde edilen değerler ile Absorbans-Konsantrasyon grafiği çizildi (Şekil 5.7).

#### 3.3.8.3. Demir ( $Fe^{2+}$ ) tayini için kalibrasyon grafiği

Hazırlanan stok demir çözeltilisinden 5 mL, 10 mL, 50 mL ve 100 mL alındı ve bidestile su ile 100 mL tamamlandı. Elde edilen standart çözeltilerin derişimleri sırayla 0.5 mg  $Fe^{2+}$ , 1 mg  $Fe^{2+}$ , 5 mg  $Fe^{2+}$ , 10 mg  $Fe^{2+}$  oldu.



Standart çözeltilerin her birinden 50 mL alındı ve üzerlerine 1 mL HCl eklenerek ve 5 dk kaynatılır. Bunun amacı karışıklık yaratan nitrit ve siyanürleri uzaklaşmaktır. Ardından sırasıyla 1 mL hidroksilamin hidroklorür çözeltisi, 10 mL sodyum asetat çözeltisi ve 10 mL fenantrolin çözeltisi eklendi. 510 nm'de okuma yapılarak elde edilen değerler ile Absorbans-Konsantrasyon grafiği çizildi (Şekil 5.7).

#### **3.3.8.4. Krom ( $\text{Cr}^{6+}$ ) tayini için kalibrasyon grafiği**

Hazırlanan stok krom çözeltisinden 5, 15, 25 ve 100 mL alındı ve bidestile su ile 100 mL'ye tamamlandı. Böylece elde edilen standart çözeltilerin derişimleri sırasıyla 0.005 mg  $\text{Cr}^{6+}$ , 0.015 mg  $\text{Cr}^{6+}$ , 0.025 mg  $\text{Cr}^{6+}$ , 0.1 mg  $\text{Cr}^{6+}$  oldu.

Standart çözeltilerin her birinden 50 mL alındı ve üzerlerine 2.5 mL difenil karbazid çözeltisi konup ve iyice karıştırıldı. 5-15 dk. beklendi ve 540 nm'de okuma yapıldı. Elde edilen değerler ile Absorbans-Konsantrasyon grafiği çizildi (Şekil 5.7).

#### **3.3.8.5. Nikel ( $\text{Ni}^{2+}$ ) tayini için kalibrasyon grafiği**

Hazırlanan stok nikel çözeltisinden 5, 15, 25 ve 100 mL alındı ve bidestile su ile 100 mL'ye seyreltildi. Böylece elde edilen standart çözeltilerin derişimleri sırasıyla 0.005 mg  $\text{Ni}^{2+}$ , 0.015 mg  $\text{Ni}^{2+}$ , 0.025 mg  $\text{Ni}^{2+}$ , 0.1 mg  $\text{Ni}^{2+}$  oldu.

Standart çözeltilerin her birinden 50 mL alındı ve üzerlerine amonyak eklendi. Karıştırıldıktan sonra %1'lik EDTA çözeltisinden ilave edililerek 5-10 dk. beklendi ve 470 nm'de okuma yapıldı. Elde edilen değerler ile Absorbans-Konsantrasyon grafiği çizildi (Şekil 5.7).

## 4. SONUÇLAR

### 4.1. Tablolar

Tablo 4.1. Antep fıstığı, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinin kimyasal aktivasyon sonucunda değişik sıcaklıklarda meydana gelen ağırlık kayıpları (94).

t/°C	Antep Fıstığı Kabuğu	Fındık Kabuğu	Pirinç Kabuğu	Zeytin Çekirdeği
400	45.7	50.5	59.1	54.3
500	47.2	52.1	61.2	55.9
600	51.1	56.4	71.0	61.5
700	59.4	67.9	80.9	74.6
800	68.1	76.0	85.7	81.0
900	70.5	77.6	86.1	82.6

Tablo 4.2. Antep fıstığı, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinin kimyasal aktivasyon sonucunda değişik sıcaklıklarda meydana gelen aktif karbon verimleri (95).

t/°C	Antep Fıstığı Kabuğu	Fındık Kabuğu	Pirinç Kabuğu	Zeytin Çekirdeği
400	54.3	49.5	40.9	45.7
500	52.8	47.9	38.8	44.1
600	48.9	43.6	29.0	38.5
700	40.6	32.1	19.1	25.4
800	31.9	24.0	14.3	19.0
900	29.5	22.4	13.9	17.4

Tablo 4.3. Kimyasal olarak aktive edilmemiş ham haldeki adsorbanların yüzey alanları.

Adsorban	S/m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
Yumurta kabuğu	0.5942
Antep fıstığı kabuğu	0.5630
Fındık kabuğu	0.4722
Pirinç kabuğu	0.3225
Zeytin çekirdeği	0.0538

Tablo 4.4. Antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinden hazırlanan adsorbanların değişik sıcaklık ve asidlerle aktivasyonuna ait yüzey alanları.

Adsorbanlar	Sıcaklık					
	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
<b>Antep Fıstığı Kabuğu</b>						
HCl ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	272.8498	479.8934	566.6612	545.5012	458.9153	309.4256
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	240.0772	422.3643	511.5009	461.4911	368.8337	211.5968
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	132.9953	324.6422	439.3301	388.5723	307.5350	140.2352
<b>Fındık Kabuğu</b>						
HCl ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	294.8123	438.5023	523.0059	490.6039	419.4221	327.5673
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	202.8765	382.2693	470.4728	426.4728	353.1124	256.1110
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	110.8288	309.1283	406.9538	372.2709	300.2119	200.0971
<b>Pirinç Kabuğu</b>						
HCl ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	233.6876	300.9824	339.8472	325.9675	279.2244	200.5010
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	208.2703	267.4251	299.6847	294.6606	250.6635	171.4327
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	83.0262	169.7289	217.5035	214.6438	171.5513	112.5683
<b>Zeytin Çekirdeği</b>						
HCl ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	107.7293	267.5310	317.1110	267.0568	175.5689	82.1012
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	66.8338	128.3245	162.5892	160.6590	115.1245	42.2367
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyonuna ait yüzey alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	8.7144	46.5782	66.8338	4.1319	---	---

Tablo 4.5. Kimyasal olarak aktive edilmemiş ham haldeki adsorbanların karakteristik özellikleri.

<b>Karakteristik Özellikler</b>	<b>Yumurta Kabuğu</b>	<b>Antep Fıstığı Kabuğu</b>	<b>Fındık Kabuğu</b>	<b>Pirinç Kabuğu</b>	<b>Zeytin Çekirdeği</b>
<b>Yüzey Alanı</b>					
Tek nokta yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	0.5520	0.5487	0.4669	0.3197	0.0592
BET yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	0.5942	0.5630	0.4722	0.3225	0.0538
Langmuir yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	0.8680	0.7425	0.6364	0.4320	0.0666
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH adsorpsiyon kümülatif yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	0.112	0.158	0.140	0.160	-
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH desorpsiyon kümülatif yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	0.3428	0.1979	0.2242	0.2606	-

**Gözenek Hacmi**

125.0000 nm genişliğinden daha az olan gözeneklerin tek nokta adsorpsiyon toplam gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.001781	0.001687	0.001514	0.001465	0.000270
60.0000 nm genişliğinden daha az olan gözeneklerin tek nokta desorpsiyon toplam gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.001704	0.001396	0.001370	0.001156	0.000031
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH adsorpsiyon kümülatif hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.001959	0.001789	0.001012	0.000884	-
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH desorpsiyon kümülatif hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.01788	0.001960	0.001307	0.001026	-

**Gözenek Boyutu**

Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (tek noktaya göre 4V/A) (nm)	9.24836	11.58639	12.97221	18.23179	21.10728
Desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (tek noktaya göre 4V/A) (nm)	6.23428	8.12594	9.90123	17.14338	20.06587
BJH adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) (nm)	35.9696	48.7341	49.1279	51.2319	-
BJH desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) (nm)	30.0843	31.9009	32.4458	33.4260	-

---

Tablo 4.6. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen adsorbanların karakteristik özellikleri.

<b>Karakteristik Özellikler</b>	<b>Antep Fıstığı Kabuğu</b>	<b>Fındık Kabuğu</b>	<b>Pirinç Kabuğu</b>	<b>Zeytin Çekirdeği</b>
<b>Yüzey Alanı</b>				
Tek nokta yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	583.6382	539.2607	350.3272	322.5691
BET yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	566.6612	523.0059	339.8472	317.1110
Langmuir yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	748.0768	693.1570	448.7096	422.0802
	76.559	93.490	35.855	102.418
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH adsorpsiyon kümülatif yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	90.2548	111.8230	36.8101	115.4854
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH desorpsiyon kümülatif yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)				

**Gözenek Hacmi**

125.0000 nm genişliğinden daha az olan gözeneklerin tek nokta adsorpsiyon toplam gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.287697	0.279367	0.206094	0.170977
60.0000 nm genişliğinden daha az olan gözeneklerin tek nokta desorpsiyon toplam gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.287542	0.279075	0.205698	0.170800
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH adsorpsiyon kümülatif hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.109826	0.081763	0.062600	0.032022
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH desorpsiyon kümülatif hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.112364	0.087541	0.066489	0.028813

**Gözenek Boyutu**

Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (tek noktaya göre 4V/A) (nm)	1.95219	1.97175	2.07223	2.55566
Desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (tek noktaya göre 4V/A) (nm)	1.95018	1.97069	2.07005	2.55075
BJH adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) (nm)	3.2707	3.4982	3.5724	4.2893
BJH desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) (nm)	2.9467	3.1310	3.1314	3.8919

---

Tablo 4.7. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen adsorbanların karakteristik özellikleri.

<b>Karakteristik Özellikler</b>	<b>Antep Fıstığı Kabuğu</b>	<b>Fındık Kabuğu</b>	<b>Pirinç Kabuğu</b>	<b>Zeytin Çekirdeği</b>
<b>Yüzey Alanı</b>				
Tek nokta yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	527.2324	485.9483	305.8040	167.7840
BET yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	511.5009	470.4728	299.6847	162.5892
Langmuir yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	673.5843	621.2077	398.2486	214.8025
	56.344	55.551	80.619	16.446
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH adsorpsiyon kümülatif yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	57.6538	66.0727	95.7259	16.9118
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH desorpsiyon kümülatif yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)				



**Gözenek Hacmi**

125.0000 nm genişliğinden daha az olan gözeneklerin tek nokta adsorpsiyon toplam gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.251670	0.239506	0.188793	0.083183
60.0000 nm genişliğinden daha az olan gözeneklerin tek nokta desorpsiyon toplam gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.251486	0.239259	0.188578	0.083086
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH adsorpsiyon kümülatif hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.090473	0.048650	0.042687	0.016549
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH desorpsiyon kümülatif hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.094071	0.051521	0.041299	0.014079

**Gözenek Boyutu**

Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (tek noktaya göre 4V/A) (nm)	1.90936	1.97145	1.98311	2.46946
Desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (tek noktaya göre 4V/A) (nm)	1.90797	1.96942	1.98078	2.46665
BJH adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) (nm)	3.0305	3.5031	4.0250	4.4889
BJH desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) (nm)	2.8653	3.1190	3.3301	3.9308

---

Tablo 4.8. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen adsorbanların karakteristik özellikleri.

<b>Karakteristik Özellikler</b>	<b>Antep Fıstığı Kabuğu</b>	<b>Fındık Kabuğu</b>	<b>Pirinç Kabuğu</b>	<b>Zeytin Çekirdeği</b>
<b>Yüzey Alanı</b>				
Tek nokta yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	456.4222	416.4730	222.7846	68.3857
BET yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	439.3301	406.9538	217.5035	66.8338
Langmuir yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	581.0906	538.0122	287.0922	88.6550
	29.350	49.543	51.007	6.133
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH adsorpsiyon kümülatif yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	30.8894	44.2983	63.7597	3.1790
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH desorpsiyon kümülatif yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)				

**Gözenek Hacmi**

125.0000 nm genişliğinden daha az olan gözeneklerin tek nokta adsorpsiyon toplam gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.212765	0.205973	0.159910	0.033420
60.0000 nm genişliğinden daha az olan gözeneklerin tek nokta desorpsiyon toplam gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.212603	0.205921	0.160095	0.033298
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH adsorpsiyon kümülatif hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.086137	0.043479	0.023234	0.006235
1.7000 nm ve 300.0000 nm genişlik arasındaki gözeneklerin BJH desorpsiyon kümülatif hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0.089448	0.034761	0.022371	0.002691

**Gözenek Boyutu**

Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (tek noktaya göre 4V/A) (nm)	1.86463	1.95480	1.97826	2.87111
Desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (tek noktaya göre 4V/A) (nm)	1.86322	1.94768	1.97776	2.87444
BJH adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) (nm)	3.1664	3.5103	4.0666	6.7550
BJH desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) (nm)	2.8969	3.1388	3.3861	5.6115

---

Tablo 4.9. Metal iyonlarının değişik konsantrasyonlardaki absorbans (A) değerleri.

C/mg L <sup>-1</sup>	A <sub>As<sup>5+</sup></sub>	A <sub>Cu<sup>2+</sup></sub>	A <sub>Fe<sup>2+</sup></sub>	A <sub>Cr<sup>6+</sup></sub>	A <sub>Ni<sup>2+</sup></sub>
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.01	0.093	0.039		0.061	0.146
0.02	0.196	0.080		0.124	0.325
0.03	0.299	0.121		0.186	0.505
0.04	0.402	0.162		0.249	0.684
0.05	0.505	0.203		0.312	0.863
0.06	0.608	0.244		0.375	1.042
0.07	0.711	0.285		0.438	1.221
0.08	0.814	0.326		0.501	1.400
0.09	0.917	0.367		0.564	1.580
0.10	1.020	0.408		0.626	1.759
1			0.079		
2			0.161		
3			0.242		
4			0.323		
5			0.404		
6			0.485		
7			0.566		
8			0.648		
9			0.729		
10			0.810		

Tablo 4.10. Kimyasal aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{5+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.900	88.4312	11.5688	4.6275	1.9466	0.6653	19.1099
0.50	0.827	81.3124	18.6876	3.7375	1.9102	0.5726	21.7558
0.75	0.776	76.3390	23.6610	3.1548	1.8827	0.4990	24.1977
1.00	0.735	72.3407	27.6593	2.7659	1.8594	0.4418	26.1545
1.25	0.703	69.2202	30.7798	2.4624	1.8402	0.3914	28.1109
1.50	0.675	66.8797	33.5103	2.2340	1.8228	0.3491	29.9372
1.75	0.653	64.3443	35.6557	2.0375	1.8035	0.3091	31.5800
2.00	0.632	62.2964	37.7036	1.8852	1.7945	0.2754	33.0450

Tablo 4.11. HCl ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{5+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.975	95.7451	4.2549	1.7020	1.9811	0.2309	56.2545
0.50	0.937	92.0394	7.9606	1.5921	1.9640	0.2020	57.8101
0.75	0.903	88.7238	11.2762	1.5035	1.9480	0.1771	59.0115
1.00	0.873	85.7983	14.2017	1.4202	1.9335	0.1523	60.4128
1.25	0.846	83.1653	16.8347	1.3468	1.9199	0.1293	61.7503
1.50	0.821	80.7273	19.2727	1.2848	1.9070	0.1089	62.8326
1.75	0.799	78.5819	21.4181	1.2239	1.8953	0.0877	64.2061
2.00	0.778	76.5340	23.4660	1.1733	1.8839	0.0694	65.2297

Tablo 4.12.  $H_2SO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{5+}/L$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.979	96.1352	3.8648	1.5459	1.9829	0.1892	62.1872
0.50	0.944	92.7220	7.2780	1.4556	1.9672	0.1630	63.7002
0.75	0.914	89.7965	10.2035	1.3605	1.9533	0.1337	66.0026
1.00	0.887	87.1635	12.8365	1.2836	1.9403	0.1084	67.9055
1.25	0.862	84.7256	15.2744	1.2220	1.9280	0.0871	69.3336
1.50	0.840	82.5802	17.4198	1.1613	1.9169	0.0650	71.1101
1.75	0.820	80.6298	19.3702	1.1069	1.9065	0.0441	72.8429
2.00	0.801	78.7769	21.2231	1.0612	1.8964	0.0258	74.2338

Tablo 4.13.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{3+}/L$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.952	94.1848	6.4978	2.3261	1.9740	0.3666	40.4904
0.50	0.901	88.5288	11.4712	2.2942	1.9471	0.3606	38.5881
0.75	0.850	83.5553	16.4447	2.1926	1.9220	0.3410	38.1079
1.00	0.804	79.0695	20.9305	2.0931	1.8980	0.3208	37.7763
1.25	0.764	75.1688	24.8312	1.9865	1.8760	0.2981	37.8398
1.50	0.730	71.8532	28.1468	1.8765	1.8565	0.2734	38.2911
1.75	0.703	69.2202	30.7798	1.7589	1.8402	0.2452	39.3543
2.00	0.680	66.9759	33.0228	1.6512	1.8259	0.2178	40.5620

Tablo 4.14. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{3+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbanısı  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.859	84.4330	15.5670	6.2268	1.9265	0.7943	13.5596
0.50	0.777	76.4365	23.5635	4.7127	1.8833	0.6733	16.2193
0.75	0.723	71.1705	28.8295	3.8439	1.8523	0.5848	18.5152
1.00	0.684	67.3673	32.6327	3.2633	1.8284	0.5137	20.6439
1.25	0.654	64.4418	35.5582	2.8447	1.8092	0.4540	22.6533
1.50	0.628	61.9063	38.0937	2.5396	1.7917	0.4048	24.3764
1.75	0.606	59.7609	40.2391	2.2994	1.7764	0.3616	25.9898
2.00	0.587	57.9081	42.0919	2.1046	1.7627	0.3232	27.5150

Tablo 4.15.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{5+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbanısı  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.807	79.3621	20.6379	8.2552	1.8996	0.9167	9.6136
0.50	0.669	65.9045	34.0955	6.8191	1.8189	0.8337	9.6647
0.75	0.571	56.3478	43.6522	5.8203	1.7509	0.7649	9.6813
1.00	0.500	49.4240	50.5760	5.0576	1.6939	0.7039	9.7722
1.25	0.443	43.8654	56.1346	4.4908	1.6421	0.6523	9.7678
1.50	0.399	39.5746	60.4254	4.0284	1.5974	0.6051	9.8239
1.75	0.362	35.9665	64.0335	3.6591	1.5559	0.5634	9.8293
2.00	0.331	32.9434	67.0566	3.3528	1.5178	0.5254	9.8256

Tablo 4.16.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{5+}/L$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.940	92.3320	7.6680	3.0672	1.9654	0.4867	30.1030
0.50	0.878	86.2858	13.7142	2.7428	1.9359	0.4382	31.4590
0.75	0.827	81.3124	18.6876	2.4917	1.9102	0.3965	32.6333
1.00	0.784	77.1191	22.8809	2.2881	1.8872	0.3595	33.7044
1.25	0.748	73.6085	26.3915	2.1113	1.8669	0.3246	34.8641
1.50	0.716	70.4879	29.5121	1.9675	1.8481	0.2939	35.8261
1.75	0.688	67.7574	32.2426	1.8424	1.8310	0.2654	36.7767
2.00	0.663	65.3194	34.6806	1.7340	1.8150	0.2391	37.6698

Tablo 4.17. HCl ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen pirinç kabuğu kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{5+}/L$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.845	83.0677	16.9323	6.7729	1.9194	0.8308	12.2647
0.50	0.749	73.7060	26.2940	5.2588	1.8675	0.7209	14.0157
0.75	0.684	67.3673	32.6327	4.3510	1.8284	0.6386	15.4832
1.00	0.638	62.8815	37.1185	3.7119	1.7985	0.5696	16.9405
1.25	0.601	59.2733	40.7267	3.2581	1.7729	0.5130	18.1926
1.50	0.570	56.2502	43.7498	2.9167	1.7501	0.4649	19.2856
1.75	0.543	53.6173	46.3827	2.6504	1.7293	0.4233	20.2299
2.00	0.522	51.5694	48.4306	2.4215	1.7124	0.3841	21.2965



Tablo 4.18. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg As<sup>5+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 1.020 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.960	94.2823	5.7177	2.2871	1.9744	0.3593	41.2235
0.50	0.909	89.3089	10.6911	2.1382	1.9509	0.3301	41.7683
0.75	0.865	85.0181	14.9819	1.9976	1.9295	0.3005	42.5601
1.00	0.825	81.1174	18.8826	1.8883	1.9091	0.2761	42.9579
1.25	0.790	77.7042	22.2958	1.7837	1.8904	0.2513	43.5635
1.50	0.758	74.5837	25.4163	1.6944	1.8726	0.2290	44.0178
1.75	0.730	71.8532	28.1468	1.6084	1.8564	0.2064	44.6737
2.00	0.704	69.3177	30.6823	1.5341	1.8408	0.1859	45.1846

Tablo 4.19. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg As<sup>5+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 1.020 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.885	86.9685	13.0315	5.2126	1.9394	0.7171	16.6843
0.50	0.807	79.3621	20.6379	4.1276	1.8996	0.6157	19.2272
0.75	0.753	74.0961	25.9039	3.4539	1.8698	0.5383	21.4529
1.00	0.712	70.0978	29.9022	2.9902	1.8457	0.4757	23.4425
1.25	0.679	66.8797	33.1203	2.6496	1.8253	0.4232	25.2414
1.50	0.652	64.2467	35.7533	2.3836	1.8079	0.3772	26.9536
1.75	0.630	62.1013	37.8987	2.1656	1.7931	0.3356	28.6763
2.00	0.610	60.1510	39.8490	1.9925	1.7792	0.2994	30.1887

Tablo 4.20. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{5+}/\text{L}$  ve başlangıç absorpsiyonu  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.833	81.8975	18.1025	7.2410	1.9133	0.8598	11.3102
0.50	0.734	72.2432	27.7568	5.5514	1.8588	0.7444	13.0135
0.75	0.668	65.8070	34.1930	4.5591	1.8183	0.6589	14.4342
1.00	0.620	61.1262	38.8738	3.8874	1.7862	0.5897	15.7242
1.25	0.582	57.4205	42.5795	3.4064	1.7591	0.5323	16.8567
1.50	0.550	54.2999	45.7001	3.3467	1.7348	0.4838	16.2249
1.75	0.525	51.8619	48.1381	2.7507	1.7148	0.4395	18.8541
2.00	0.503	49.7165	50.2835	2.5142	1.6965	0.4004	19.7743

Tablo 4.21.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{5+}/\text{L}$  ve başlangıç absorpsiyonu  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.926	90.9667	9.0333	3.6133	1.9589	0.5579	25.1755
0.50	0.858	84.3355	15.6645	3.1329	1.9260	0.4959	26.9193
0.75	0.805	79.1670	20.8330	2.7777	1.8985	0.4437	28.5009
1.00	0.763	75.0713	24.9287	2.4929	1.8755	0.3967	30.1140
1.25	0.727	71.5606	28.4394	2.2752	1.8547	0.3570	31.4524
1.50	0.696	68.5375	31.4625	2.0975	1.8359	0.3217	32.6758
1.75	0.670	66.0021	33.9979	1.9427	1.8196	0.2884	33.9744
2.00	0.646	63.6616	36.3384	1.8169	1.8039	0.2593	35.0386

Tablo 4.22.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg As}^{5+}/L$  ve başlangıç absorbanı  $A_0 = 1.020$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.956	93.8923	6.1077	2.4431	1.9726	0.3879	38.4316
0.50	0.902	88.6263	11.3737	2.2747	1.9476	0.3569	38.9618
0.75	0.855	84.0429	15.9571	2.1276	1.9245	0.3279	39.5013
1.00	0.814	80.0447	19.9553	1.9955	1.9033	0.3001	40.1126
1.25	0.777	76.4365	23.5635	1.8851	1.8833	0.2753	40.5477
1.50	0.744	73.2184	26.7816	1.7854	1.8646	0.2517	41.0095
1.75	0.714	70.2929	29.7071	1.6976	1.8469	0.2298	41.4072
2.00	0.687	67.6599	32.3401	1.6170	1.8303	0.2087	41.8429

Tablo 4.23. Kimyasal aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cu}^{2+}/L$  ve başlangıç absorbanı  $A_0 = 0.408$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.189	46.5333	53.4667	21.3867	1.6678	1.3301	2.6434
0.50	0.114	28.2000	71.8000	14.3600	1.4502	1.1572	1.9638
0.75	0.078	19.4000	80.6000	10.7467	1.2878	1.0313	1.8052
1.00	0.057	14.2667	85.7333	8.5733	1.1543	0.9331	1.6641
1.25	0.045	11.3333	88.6667	7.0933	1.0544	0.8509	1.5977
1.50	0.036	9.1333	90.8667	6.0578	0.9606	0.7823	1.5077
1.75	0.030	7.6667	92.3333	5.2762	0.8846	0.7223	1.4531
2.00	0.025	6.4444	93.5556	4.6778	0.8092	0.6700	1.3777

Tablo 4.24. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cu}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.408$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.135	33.3333	66.6667	26.6667	1.5229	1.4260	1.2500
0.50	0.063	15.7333	84.2667	16.8533	1.1968	1.2267	0.9335
0.75	0.036	9.1333	90.8667	12.1156	0.9606	1.0833	0.7538
1.00	0.023	5.9556	94.0444	9.4044	0.7749	0.9733	0.6333
1.25	0.016	4.2444	95.7556	7.6604	0.6278	0.8843	0.5541
1.50	0.012	3.2667	96.7333	6.4489	0.5141	0.8095	0.5066
1.75	0.009	2.5333	97.4667	5.5695	0.4037	0.7458	0.4549
2.00	0.007	2.0444	97.9556	4.8978	0.3106	0.6900	0.4174

Tablo 4.25.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cu}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.408$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.168	41.4000	58.6000	23.4400	1.6170	1.3700	1.7662
0.50	0.088	21.8444	78.1556	15.6311	1.3393	1.1940	1.3975
0.75	0.054	13.5333	86.4667	11.5289	1.1314	1.0618	1.1739
1.00	0.036	9.1333	90.8667	9.0867	0.9606	0.9584	1.0051
1.25	0.026	6.6889	93.3111	7.4649	0.8254	0.8730	0.8960
1.50	0.019	4.9778	95.0222	6.3348	0.6970	0.8017	0.7858
1.75	0.015	4.0000	96.0000	5.4857	0.6021	0.7392	0.7292
2.00	0.012	3.2667	96.7333	4.8367	0.5141	0.6845	0.6754

Tablo 4.26.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cu}^{2+}/L$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.408$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.224	55.0889	44.9111	17.9644	1.7411	1.2544	3.0666
0.50	0.146	36.0222	63.9778	12.7956	1.5566	1.1071	2.8152
0.75	0.104	25.7555	74.2445	9.8993	1.4109	0.9956	2.6017
1.00	0.079	19.6444	80.3556	8.0356	1.2932	0.9050	2.4447
1.25	0.063	15.7333	84.2667	6.7413	1.1968	0.8287	2.3339
1.50	0.052	13.0444	86.9556	5.7970	1.1154	0.7632	2.2508
1.75	0.044	11.0889	88.9111	5.0806	1.0449	0.7059	2.1869
2.00	0.038	9.6222	90.3778	4.5189	0.9833	0.6550	2.1293

Tablo 4.27. HCl ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cu}^{2+}/L$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.408$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.276	67.8000	32.2000	12.8800	1.8312	1.1099	5.2640
0.50	0.205	50.4444	49.5556	9.9111	1.7028	0.9961	5.0897
0.75	0.162	39.9333	60.0667	8.0089	1.6013	0.9036	4.9861
1.00	0.132	32.6000	67.4000	6.7400	1.5132	0.8287	4.8368
1.25	0.111	27.4667	72.5333	5.8027	1.4388	0.7636	4.7334
1.50	0.095	23.5555	76.4445	5.0963	1.3721	0.7073	4.6221
1.75	0.084	20.8667	79.1333	4.5219	1.3195	0.6553	4.6146
2.00	0.074	18.4222	81.5778	4.0789	1.2653	0.6105	4.5165

Tablo 4.28. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Cu<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 0.408 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.242	59.4889	40.5111	16.2045	1.7744	1.2096	3.6711
0.50	0.165	40.6667	59.3333	11.8667	1.6092	1.0743	3.4270
0.75	0.122	30.1555	69.8445	9.3126	1.4794	0.9691	3.2381
1.00	0.095	23.5555	76.4445	7.6444	1.3721	0.8833	3.0814
1.25	0.076	18.9111	81.0889	6.4871	1.2767	0.8121	2.9152
1.50	0.063	15.7333	84.2667	5.6178	1.1968	0.7496	2.8006
1.75	0.054	13.5333	86.4667	4.9410	1.1314	0.6938	2.7390
2.00	0.047	11.8222	88.1778	4.4089	1.0727	0.6443	2.6814

Tablo 4.29. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktivasyondan sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Cu<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 0.408 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.151	37.2444	62.7556	25.1022	1.5711	1.3997	1.4837
0.50	0.073	18.1778	81.8222	16.3644	1.2595	1.2139	1.1108
0.75	0.043	10.8444	89.1556	11.8874	1.0352	1.0751	0.9123
1.00	0.028	7.1778	92.8222	9.2822	0.8560	0.9677	0.7733
1.25	0.020	5.2222	94.7778	7.5822	0.7179	0.8798	0.6887
1.50	0.015	4.0000	96.0000	6.4000	0.6021	0.8062	0.6250
1.75	0.011	3.0222	96.9778	5.5416	0.4803	0.7436	0.5454
2.00	0.009	2.5333	97.4667	4.8733	0.4037	0.6878	0.5198

Tablo 4.30. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cu}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.408$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.235	57.7778	42.2222	16.8889	1.7618	1.2276	3.4211
0.50	0.156	38.4667	61.5333	12.3067	1.5851	1.0901	3.1257
0.75	0.113	27.9555	72.0445	9.6059	1.4465	0.9825	2.9102
1.00	0.086	21.3555	78.6445	7.8644	1.3295	0.8957	2.7155
1.25	0.068	16.9556	83.0444	6.6436	1.2293	0.8224	2.5522
1.50	0.057	14.2667	85.7333	5.7156	1.1543	0.7571	2.4961
1.75	0.048	12.0667	87.9333	5.0248	1.0816	0.7011	2.4014
2.00	0.041	10.3556	89.6444	4.4822	1.0152	0.6515	2.3104

Tablo 4.31.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cu}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.408$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.311	76.3555	23.6445	9.4578	1.8828	0.9758	8.0733
0.50	0.247	60.7111	39.2889	7.8578	1.7833	0.8953	7.7262
0.75	0.202	49.7111	50.2889	6.7052	1.6965	0.8264	7.4138
1.00	0.170	41.8889	58.1111	5.8111	1.6221	0.7643	7.2084
1.25	0.146	36.0222	63.9778	5.1182	1.5566	0.7091	7.0381
1.50	0.127	31.3778	68.6222	4.5748	1.4966	0.6604	6.8588
1.75	0.112	27.7111	72.2889	4.1308	1.4427	0.6160	6.7084
2.00	0.099	24.5333	75.4667	3.7733	1.3898	0.5767	6.5018

Tablo 4.32.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cu}^{2+}/L$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.408$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.217	53.3778	46.6222	18.6489	1.7274	1.2707	2.8622
0.50	0.136	33.5778	66.4222	13.2844	1.5261	1.1233	5.0000
0.75	0.097	24.0444	75.9556	10.1274	1.3810	1.0055	7.5000
1.00	0.072	17.9333	82.0667	8.2067	1.2537	0.9142	10.0000
1.25	0.057	14.2667	85.7333	6.8587	1.1543	0.8362	12.4999
1.50	0.046	11.5778	88.4222	5.8948	1.0636	0.7705	15.0000
1.75	0.039	9.8667	90.1333	5.1505	0.9942	0.7118	17.4999
2.00	0.033	8.4000	91.6000	4.5800	0.9243	0.6609	20.0000

Tablo 4.33.  $HCl$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cu}^{2+}/L$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.408$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.121	29.9111	70.0889	28.0356	1.4758	1.4477	1.0669
0.50	0.048	12.0667	87.9333	17.5867	1.0816	1.2452	0.6861
0.75	0.024	6.200	93.8000	12.5067	0.7924	1.0971	0.4957
1.00	0.014	3.7556	96.2444	9.6244	0.5747	0.9834	0.3902
1.25	0.009	2.5333	97.4667	7.7973	0.4037	0.8919	0.3249
1.50	0.006	1.8000	98.2000	6.5467	0.2553	0.8160	0.2749
1.75	0.004	1.3111	98.6889	5.6394	0.1176	0.7512	0.2325
2.00	0.003	1.0667	98.9333	4.9467	0.0280	0.6943	0.2156



Tablo 4.34. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Cu<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorpsiyonu A<sub>0</sub> = 0.408 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.100	24.7778	75.2222	30.0889	1.3941	1.4784	0.8235
0.50	0.046	11.5778	88.4222	17.6844	1.0636	1.2476	0.6547
0.75	0.027	6.9333	93.0667	12.4089	0.8409	1.0937	0.5587
1.00	0.018	4.7333	95.2667	9.5267	0.6752	0.9789	0.4968
1.25	0.013	3.5111	96.4889	7.7191	0.5454	0.8876	0.4549
1.50	0.010	2.7778	97.2222	6.4815	0.4437	0.8117	0.4286
1.75	0.008	2.2889	97.7111	5.5835	0.3596	0.7469	0.4099
2.00	0.006	1.8000	98.2000	4.9100	0.2553	0.6911	0.3666

Tablo 4.35. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Cu<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorpsiyonu A<sub>0</sub> = 0.408 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.178	43.8444	56.1556	22.4622	1.6419	1.3515	1.9519
0.50	0.096	23.8000	76.2000	15.2400	1.3766	1.1830	1.5617
0.75	0.060	15.0000	85.0000	11.3333	1.1761	1.0544	1.3235
1.00	0.041	10.3556	89.6444	8.9644	1.0152	0.9525	1.1552
1.25	0.030	7.6667	92.3333	7.3867	0.8846	0.8684	1.0379
1.50	0.023	5.9556	94.0444	6.2696	0.7749	0.7972	0.9499
1.75	0.018	4.7333	95.2667	5.4438	0.6752	0.7359	0.8695
2.00	0.015	4.000	96.0000	4.8000	0.6021	0.6812	0.8333

Tablo 4.36. Kimyasal aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Fe}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.810$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.608	75.1205	24.8795	9.9518	1.8758	0.9979	7.5484
0.50	0.512	63.2833	36.7167	7.3433	1.8013	0.8659	8.6178
0.75	0.449	55.5151	44.4849	5.9313	1.7444	0.7732	9.3597
1.00	0.405	50.0897	49.9103	4.9910	1.6997	0.6982	10.0360
1.25	0.372	46.0206	53.9794	4.3183	1.6630	0.6353	10.6571
1.50	0.347	42.9380	57.0620	3.8041	1.6328	0.5803	11.2873
1.75	0.325	40.2253	59.7747	3.4157	1.6045	0.5335	11.7766
2.00	0.308	38.1291	61.8709	3.0935	1.5813	0.4905	12.3256

Tablo 4.37. HCl ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Fe}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.810$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.698	86.2179	13.7821	5.5128	1.9356	0.7414	15.6396
0.50	0.617	76.2302	23.7698	4.7540	1.8821	0.6771	16.0350
0.75	0.554	68.4621	31.5379	4.2051	1.8354	0.6238	16.2807
1.00	0.504	62.2968	37.7032	3.7703	1.7945	0.5764	16.5230
1.25	0.463	57.2413	42.7587	3.4207	1.7577	0.5341	16.7338
1.50	0.430	53.1723	46.8277	3.1218	1.7257	0.4944	17.0326
1.75	0.401	49.5965	50.4035	2.8802	1.6955	0.4594	17.2198
2.00	0.377	46.6371	53.3629	2.6681	1.6687	0.4262	17.4795

Tablo 4.38. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Fe<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 0.810 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.732	90.4103	9.5897	3.8359	1.9562	0.5839	23.5695
0.50	0.666	82.2722	17.7278	3.5456	1.9153	0.5497	23.2040
0.75	0.610	75.3671	24.6329	3.2844	1.8772	0.5165	22.9470
1.00	0.561	69.3252	30.6748	3.0675	1.8409	0.4868	22.5999
1.25	0.519	64.1464	35.8536	3.8683	1.8072	0.4576	16.5826
1.50	0.481	59.4608	40.5392	2.7026	1.7742	0.4318	22.0013
1.75	0.448	55.3918	44.6082	2.5490	1.7434	0.4064	21.7308
2.00	0.419	51.8159	48.1841	2.4092	1.7145	0.3819	21.5075

Tablo 4.39. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Fe<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 0.810 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.739	91.2734	8.7266	3.4906	1.9603	0.5429	26.1483
0.50	0.677	83.6285	16.3715	3.2743	1.9224	0.5151	25.5409
0.75	0.622	76.8468	23.1532	3.0871	1.8856	0.4896	24.8929
1.00	0.574	70.9281	29.0719	2.9072	1.8508	0.4635	24.3974
1.25	0.532	65.7494	34.2506	2.7401	1.8179	0.4378	23.9953
1.50	0.493	60.9405	39.0595	2.6040	1.7849	0.4156	23.4026
1.75	0.459	56.7481	43.2519	2.4715	1.7540	0.3930	22.9610
2.00	0.429	53.0490	46.9510	2.3476	1.7247	0.3706	22.5971

Tablo 4.40. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Fe}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.810$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.645	79.6828	20.3172	8.1269	1.9014	0.9099	9.8048
0.50	0.548	67.7222	32.2778	6.4556	1.8307	0.8099	10.4905
0.75	0.481	59.4608	40.5392	5.4052	1.7742	0.7328	11.0007
1.00	0.432	53.4189	46.5811	4.6581	1.7277	0.6682	11.4680
1.25	0.394	48.7333	51.2667	4.1013	1.6878	0.6129	11.8824
1.50	0.364	45.0342	54.9658	3.6644	1.6535	0.5640	12.2897
1.75	0.339	41.9516	58.0484	3.3171	1.6227	0.5208	12.6471
2.00	0.317	39.2389	60.7611	3.0381	1.5937	0.4826	12.9156

Tablo 4.41.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Fe}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.810$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.583	72.0379	27.9621	11.1848	1.8576	1.0486	6.4407
0.50	0.486	60.0773	39.9227	7.9845	1.7787	0.9022	7.5242
0.75	0.427	52.8024	47.1976	6.2930	1.7227	0.7989	8.3907
1.00	0.386	47.7469	52.2531	5.2253	1.6789	0.7181	9.1376
1.25	0.355	43.9244	56.0756	4.4860	1.6427	0.6519	9.7914
1.50	0.330	40.8418	59.1582	3.9439	1.6111	0.5959	10.3557
1.75	0.311	38.4990	61.5010	3.5143	1.5854	0.5458	10.9550
2.00	0.294	36.4029	63.5971	3.1799	1.5611	0.5024	11.4478

Tablo 4.42. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Fe<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 0.810 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.749	92.5064	7.4936	2.9974	1.9662	0.4767	30.8622
0.50	0.693	85.6014	14.3986	2.8797	1.9325	0.4594	29.7258
0.75	0.641	79.1896	20.8104	2.7747	1.8987	0.4432	28.5399
1.00	0.593	73.2709	26.7291	2.6729	1.8649	0.4270	27.4125
1.25	0.549	67.8455	32.1545	2.5724	1.8315	0.4103	26.3744
1.50	0.509	62.9134	37.0866	2.4724	1.7987	0.3931	25.4463
1.75	0.472	58.3511	41.6489	2.3799	1.7660	0.3766	24.5183
2.00	0.438	54.1587	45.8413	2.2921	1.7337	0.3602	23.6284

Tablo 4.43. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Fe<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 0.810 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.770	95.0958	4.9042	1.9617	1.9782	0.2926	48.4762
0.50	0.736	90.9035	9.0965	1.8193	1.9586	0.2599	49.9662
0.75	0.707	87.3277	12.6723	1.6896	1.9412	0.2278	51.6854
1.00	0.681	84.1217	15.8783	1.5878	1.9249	0.2008	52.9800
1.25	0.658	81.2857	18.7143	1.4971	1.9100	0.1753	54.2954
1.50	0.638	78.8196	21.1804	1.4120	1.8966	0.1498	55.8212
1.75	0.619	76.4769	23.5231	1.3442	1.8835	0.1285	56.8940
2.00	0.602	74.3807	25.6193	1.2810	1.8715	0.1075	58.0646

Tablo 4.44. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Fe<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 0.810 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.779	96.2056	3.7944	1.5178	1.9832	0.1812	63.3849
0.50	0.751	92.7531	7.2469	1.4494	1.9673	0.1612	63.9941
0.75	0.725	89.5471	10.4529	1.3937	1.9521	0.1442	64.2513
1.00	0.701	86.5878	13.4122	1.3412	1.9375	0.1275	64.5599
1.25	0.679	83.8751	16.1249	1.2900	1.9236	0.1106	65.0195
1.50	0.658	81.2857	18.7143	1.2476	1.9100	0.0961	65.1537
1.75	0.639	78.9429	21.0571	1.2033	1.8973	0.0804	65.6053
2.00	0.621	76.7235	23.2765	1.1638	1.8849	0.0659	65.9250

Tablo 4.45. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Fe<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 0.810 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.766	94.6026	5.3974	2.1590	1.9759	0.3342	43.8178
0.50	0.724	89.4238	10.5762	2.1152	1.9515	0.3254	42.2768
0.75	0.684	84.4916	15.5084	2.0678	1.9268	0.3155	40.8606
1.00	0.646	79.8061	20.1939	2.0194	1.9020	0.3052	39.5197
1.25	0.610	75.3671	24.6329	1.9706	1.8772	0.2946	38.2458
1.50	0.575	71.0515	28.9485	1.9299	1.8516	0.2855	36.8162
1.75	0.542	66.9824	33.0176	1.8867	1.8260	0.2757	35.5024
2.00	0.511	63.1600	36.8400	1.8420	1.8004	0.2653	34.2888

Tablo 4.46. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Fe}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorpsiyonu  $A_0 = 0.810$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

mg C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.593	73.2709	26.7291	10.6916	1.8649	1.0290	6.8531
0.50	0.497	61.4337	38.5663	7.7133	1.7884	0.8872	7.9646
0.75	0.438	54.1587	45.8413	6.1122	1.7337	0.7862	8.8608
1.00	0.394	48.7333	51.2667	5.1267	1.6878	0.7098	9.5058
1.25	0.363	44.9109	55.0891	4.4071	1.6524	0.6442	10.1906
1.50	0.338	41.8283	58.1717	3.8781	1.6215	0.5886	10.7858
1.75	0.317	39.2389	60.7611	3.4721	1.5937	0.5406	11.3012
2.00	0.299	37.0194	62.9806	3.1490	1.5684	0.4982	11.7559

Tablo 4.47.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Fe}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorpsiyonu  $A_0 = 0.810$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.681	84.1217	15.8783	6.3513	1.9249	0.8029	13.2448
0.50	0.592	73.1476	26.8524	5.3705	1.8642	0.7300	13.6203
0.75	0.525	64.8862	35.1138	4.6818	1.8122	0.6704	13.8592
1.00	0.475	58.7210	41.2790	4.1279	1.7688	0.6157	14.2254
1.25	0.434	53.6655	46.3345	3.7068	1.7297	0.5690	14.4776
1.50	0.401	49.5965	50.4035	3.3602	1.6955	0.5264	14.7600
1.75	0.373	46.1439	53.8561	3.0775	1.6641	0.4882	14.9940
2.00	0.349	43.1846	56.8154	2.8408	1.6353	0.4534	15.2016

Tablo 4.48.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Fe}^{2+}/L$  ve başlangıç absorbanı  $A_0 = 0.810$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.716	88.4374	11.5626	4.6250	1.9466	0.6651	19.1216
0.50	0.642	79.3129	20.6871	4.1374	1.8993	0.6167	19.1697
0.75	0.582	71.9146	28.0854	3.7447	1.8568	0.5734	19.2044
1.00	0.533	65.8727	34.1273	3.4127	1.8187	0.5331	19.3022
1.25	0.491	60.6939	39.3061	3.1445	1.7831	0.4976	19.3016
1.50	0.456	56.3782	43.6218	2.9081	1.7511	0.4636	19.3866
1.75	0.425	52.5558	47.4442	2.7111	1.7206	0.4331	19.3854
2.00	0.398	49.2265	50.7735	2.5387	1.6922	0.4046	19.3904

Tablo 4.49. Kimyasal aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cr}^{6+}/L$  ve başlangıç absorbanı  $A_0 = 0.626$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.556	88.8238	11.1762	4.4705	1.9485	0.6504	19.8689
0.50	0.514	82.1310	17.8690	3.5738	1.9145	0.5531	22.9814
0.75	0.484	77.3505	22.6495	3.0199	1.8885	0.4800	25.6136
1.00	0.462	73.8448	26.1552	2.6155	1.8683	0.4176	28.2335
1.25	0.443	70.8171	29.1829	2.3346	1.8501	0.3682	30.3337
1.50	0.428	68.4268	31.5732	2.1049	1.8352	0.3232	32.5083
1.75	0.415	66.3553	33.6447	1.9226	1.8219	0.2839	34.5133
2.00	0.403	64.4430	35.5570	1.7778	1.8092	0.2499	36.2487



Tablo 4.50. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cr}^{6+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.626$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.559	89.3018	10.6982	4.2793	1.9509	0.6314	20.8683
0.50	0.520	83.0871	16.9129	3.3826	1.9195	0.5292	24.5631
0.75	0.493	78.7846	21.2154	2.8287	1.8964	0.4516	27.8519
1.00	0.471	75.2789	24.7211	2.4721	1.8767	0.3931	30.4514
1.25	0.454	72.5699	27.4301	2.1944	1.8608	0.3413	33.0705
1.50	0.440	70.3390	29.6610	1.9774	1.8472	0.2961	35.5715
1.75	0.428	68.4268	31.5732	1.8042	1.8352	0.2563	37.9264
2.00	0.417	66.6740	33.3260	1.6663	1.8240	0.2218	40.0132

Tablo 4.51.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cr}^{6+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.626$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.512	81.8123	18.1877	7.2751	1.9128	0.8618	11.2455
0.50	0.449	71.7732	28.2268	5.6454	1.8560	0.7517	12.7136
0.75	0.406	64.9211	35.0789	4.6772	1.8124	0.6700	13.8803
1.00	0.375	59.9812	40.0188	4.0019	1.7780	0.6023	14.9882
1.25	0.350	55.9974	44.0026	3.5202	1.7482	0.5466	15.9074
1.50	0.330	52.8104	47.1896	3.1460	1.7227	0.4978	16.7865
1.75	0.313	50.1014	49.8986	2.8513	1.6999	0.4550	17.5716
2.00	0.299	47.8705	52.1295	2.6065	1.6801	0.4161	18.3658

Tablo 4.52.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cr}^{6+}/L$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.626$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.331	52.9698	47.0302	18.8121	1.7240	1.2744	2.8157
0.50	0.261	41.8152	58.1848	11.6370	1.6213	1.0658	3.5933
0.75	0.224	35.9192	64.0808	8.5441	1.5553	0.9317	4.2040
1.00	0.200	32.0948	67.9052	6.7905	1.5064	0.8319	4.7264
1.25	0.183	29.3858	70.6142	5.6491	1.4681	0.7520	5.2019
1.50	0.170	27.3142	72.6858	4.8457	1.4364	0.6854	5.6368
1.75	0.159	25.5614	74.4386	4.2536	1.4076	0.6288	6.0094
2.00	0.150	24.1272	75.8728	3.7936	1.3825	0.5791	6.3600

Tablo 4.53. HCl ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cr}^{6+}/L$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 0.626$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.427	68.2675	31.7325	12.6930	1.8342	1.1036	5.3784
0.50	0.352	56.3161	43.6839	8.7368	1.7506	0.9414	6.4458
0.75	0.308	49.3047	50.6953	6.7594	1.6929	0.8299	7.2942
1.00	0.280	44.8429	55.1571	5.5157	1.6517	0.7416	8.1300
1.25	0.257	41.1778	58.8222	4.7058	1.6147	0.6726	8.7504
1.50	0.240	38.4688	61.5312	4.1021	1.5851	0.6130	9.3778
1.75	0.226	36.2379	63.7621	3.6435	1.5592	0.5615	9.9459
2.00	0.214	34.3257	65.6743	3.2837	1.5356	0.5164	10.4534

Tablo 4.54. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Cr<sup>6+</sup>/L ve başlangıç absorbanı A<sub>0</sub> = 0.626 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.539	86.1148	13.8852	5.5541	1.9351	0.7446	15.5047
0.50	0.481	76.8724	23.1276	4.6255	1.8858	0.6652	16.6193
0.75	0.440	70.3390	29.6610	3.9548	1.8472	0.5971	17.7857
1.00	0.407	65.0804	34.9196	3.4920	1.8135	0.5431	18.6370
1.25	0.381	60.9373	39.0627	3.1250	1.7849	0.4949	19.4999
1.50	0.359	57.4316	42.5684	2.8379	1.7592	0.4530	20.2374
1.75	0.341	54.5633	45.4367	2.5964	1.7369	0.4144	21.0150
2.00	0.325	52.0137	47.9863	2.3993	1.7161	0.3801	21.6787

Tablo 4.55. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Cr<sup>6+</sup>/L ve başlangıç absorbanı A<sub>0</sub> = 0.626 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.471	75.2789	24.7211	9.8884	1.8767	0.9951	7.6128
0.50	0.394	63.0089	36.9911	7.3982	1.7994	0.8691	8.5168
0.75	0.346	55.3600	44.6400	5.9520	1.7432	0.7747	9.3011
1.00	0.312	49.9421	50.0579	5.0058	1.6985	0.6995	9.9768
1.25	0.285	45.6396	54.3604	4.3488	1.6593	0.6384	10.4948
1.50	0.265	42.4526	57.5474	3.8365	1.6279	0.5839	11.0655
1.75	0.248	39.7436	60.2564	3.4432	1.5993	0.5370	11.5426
2.00	0.234	37.5127	62.4873	3.1244	1.5742	0.4948	12.0064

Tablo 4.56. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cr}^{6+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbanı  $A_0 = 0.626$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.591	94.4011	5.5989	2.2396	1.9750	0.3502	42.1509
0.50	0.563	89.9392	10.0608	2.0122	1.9539	0.3037	44.6969
0.75	0.539	86.1148	13.8852	1.8514	1.9351	0.2675	46.5133
1.00	0.519	82.9278	17.0722	1.7072	1.9187	0.2323	48.5753
1.25	0.501	80.0595	19.9405	1.5952	1.9034	0.2028	50.1878
1.50	0.486	77.6692	22.3308	1.4887	1.8902	0.1728	52.1725
1.75	0.472	75.4383	24.5617	1.4035	1.8776	0.1472	53.7501
2.00	0.459	73.3667	26.6333	1.3317	1.8655	0.1244	55.0925

Tablo 4.57.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cr}^{6+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbanı  $A_0 = 0.626$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.495	79.1033	20.8967	8.3587	1.8982	0.9221	9.4636
0.50	0.423	67.6301	32.3699	6.4740	1.8301	0.8112	10.4464
0.75	0.375	59.9812	40.0188	5.3358	1.7780	0.7272	11.2413
1.00	0.340	54.4039	45.5961	4.5596	1.7356	0.6589	11.9317
1.25	0.313	50.1014	49.8986	3.9919	1.6999	0.6012	12.5508
1.50	0.291	46.5957	53.4043	3.5603	1.6683	0.5515	13.0876
1.75	0.273	43.7274	56.2726	3.2156	1.6408	0.5073	13.5985
2.00	0.258	41.3371	58.6629	2.9331	1.6163	0.4673	14.0933

Tablo 4.58. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Cr<sup>6+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 0.626 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.378	60.4593	39.5407	15.8163	1.7815	1.1991	3.8226
0.50	0.303	48.5079	51.4921	10.2984	1.6858	1.0128	4.7101
0.75	0.262	41.9745	58.0255	7.7367	1.6230	0.8886	5.4254
1.00	0.235	37.6721	62.3279	6.2328	1.5760	0.7947	6.0442
1.25	0.216	34.6444	65.3556	5.2284	1.5396	0.7184	6.6262
1.50	0.200	32.0948	67.9052	4.5270	1.5064	0.6558	7.0896
1.75	0.188	30.1825	69.8175	3.9896	1.4798	0.6009	7.5653
2.00	0.178	28.5890	71.4110	3.5705	1.4562	0.5527	8.0070

Tablo 4.59. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Cr<sup>6+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 0.626 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.251	40.2217	59.7783	23.9113	1.6045	1.3786	1.6821
0.50	0.149	23.9679	76.0321	15.2064	1.3796	1.1820	1.5762
0.75	0.104	16.7971	83.2029	11.0937	1.2252	1.0451	1.5141
1.00	0.078	12.6539	87.3461	8.7346	1.1022	0.9412	1.4487
1.25	0.063	10.2637	89.7363	7.1789	1.0113	0.8561	1.4297
1.50	0.052	8.5108	91.4892	6.0993	0.9300	0.7853	1.3954
1.75	0.044	7.2360	92.7640	5.3008	0.8595	0.7243	1.3651
2.00	0.038	6.2799	93.7201	4.6860	0.7980	0.6708	1.3401

Tablo 4.60.  $H_2SO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cr}^{6+}/L$  ve başlangıç absorbanı  $A_0 = 0.626$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.485	77.5098	22.4902	8.9961	1.8894	0.9541	8.6159
0.50	0.410	65.5585	34.4415	6.8883	1.8166	0.8381	9.5174
0.75	0.362	57.9096	42.0904	5.6120	1.7628	0.7491	10.3189
1.00	0.327	52.3324	47.6676	4.7668	1.7188	0.6782	10.9785
1.25	0.300	48.0299	51.9701	4.1576	1.6815	0.6188	11.5523
1.50	0.279	44.6835	55.9165	3.6878	1.6501	0.5668	12.1166
1.75	0.261	41.8152	58.1848	3.3248	1.6213	0.5218	12.5768
2.00	0.246	39.4249	60.5751	3.0288	1.5958	0.4813	13.0167

Tablo 4.61.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Cr}^{6+}/L$  ve başlangıç absorbanı  $A_0 = 0.626$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.399	63.8056	36.1944	14.4777	1.8049	1.1607	4.4072
0.50	0.323	51.6950	48.3050	9.6610	1.7134	0.9850	5.3509
0.75	0.280	44.8429	55.1571	7.3543	1.6517	0.8665	6.0975
1.00	0.251	40.2217	59.7783	5.9778	1.6045	0.7765	6.7285
1.25	0.230	36.8753	63.1247	5.0500	1.5667	0.7033	7.3020
1.50	0.214	34.3257	65.6743	4.3783	1.5356	0.6413	7.8400
1.75	0.201	32.2541	67.7459	3.8712	1.5086	0.5878	8.3318
2.00	0.190	30.5013	69.4987	3.4749	1.4843	0.5409	8.7776

Tablo 4.62. Kimyasal aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Ni}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 1.580$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.570	33.3470	66.6530	26.6612	1.5231	1.4259	1.2508
0.50	0.355	21.2473	78.7527	15.7505	1.3273	1.1973	1.3490
0.75	0.261	15.9572	84.0428	11.2057	1.2030	1.0494	1.4240
1.00	0.206	12.8620	87.1380	8.7138	1.1093	0.9402	1.4760
1.25	0.170	10.8360	89.1640	7.1331	1.0349	0.8533	1.5191
1.50	0.144	9.3728	90.6272	6.0418	0.9719	0.7812	1.5513
1.75	0.125	8.3035	91.6965	5.2398	0.9193	0.7193	1.5747
2.00	0.110	7.4593	92.5407	4.6270	0.8727	0.6653	1.6121

Tablo 4.63. HCl ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Ni}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 1.580$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.415	24.6239	73.3761	30.1504	1.3914	1.4793	0.8167
0.50	0.222	13.7624	86.2376	17.2475	1.1387	1.2367	0.7979
0.75	0.148	9.5979	90.4021	12.0536	0.9822	1.0811	0.7963
1.00	0.108	7.3468	92.6532	9.2653	0.8661	0.9669	0.7929
1.25	0.083	5.9398	94.0602	7.5248	0.7738	0.8765	0.7894
1.50	0.067	5.0394	94.9606	6.3307	0.7024	0.8015	0.7960
1.75	0.054	4.3078	95.6922	5.4681	0.6343	0.7378	0.7878
2.00	0.045	3.8013	96.1987	4.8099	0.5799	0.6821	0.7903

Tablo 4.64. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Ni<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 1.580 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.640	37.2864	62.7136	25.0854	1.5716	1.3994	1.4864
0.50	0.412	24.4551	75.5449	15.1090	1.3884	1.1792	0.9109
0.75	0.310	18.7148	81.2852	10.8380	1.2722	1.0350	0.8856
1.00	0.251	15.3944	84.6056	8.4606	1.1874	0.9274	0.8684
1.25	0.210	13.0871	86.9129	6.9530	1.1168	0.8422	0.8543
1.50	0.180	11.3987	88.6013	5.9068	1.0569	0.7713	0.8532
1.75	0.159	10.2169	89.7831	5.1305	1.0093	0.7102	0.8396
2.00	0.142	9.2602	90.7398	4.5370	0.9666	0.6568	0.8378

Tablo 4.65. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Ni<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 1.580 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.500	29.4075	70.5925	28.2370	1.4685	1.4508	1.0415
0.50	0.290	17.5893	82.4107	16.4821	1.2452	1.2170	1.0672
0.75	0.202	12.6368	87.3632	11.6484	1.1016	1.0663	1.0849
1.00	0.154	9.9355	90.0645	9.0064	0.9972	0.9546	1.1032
1.25	0.122	8.1346	91.8654	7.3492	0.9103	0.8662	1.1069
1.50	0.101	6.9528	93.0472	6.2031	0.8422	0.7926	1.1209
1.75	0.085	6.0524	93.9476	5.3684	0.7819	0.7298	1.1274
2.00	0.073	5.3771	94.6229	4.7311	0.7305	0.6750	1.1365



Tablo 4.66. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Ni}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 1.580$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.730	42.3514	57.6486	23.0595	1.6269	1.3628	1.8366
0.50	0.506	29.7452	70.2548	14.0510	1.4734	1.1477	2.1169
0.75	0.399	23.7235	76.2765	10.1702	1.3752	1.0073	2.3326
1.00	0.332	19.9529	80.0471	8.0047	1.3000	0.9033	2.4926
1.25	0.288	17.4767	82.5233	6.6019	1.2425	0.8197	2.6472
1.50	0.255	15.6196	84.3804	5.6254	1.1937	0.7502	2.7766
1.75	0.230	14.2126	85.7874	4.9021	1.1527	0.6904	2.8993
2.00	0.209	13.0308	86.9692	4.3485	1.1150	0.6383	2.9966

Tablo 4.67.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Ni}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorbansı  $A_0 = 1.580$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	$\log C_e$	$\log q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	1.020	58.6718	41.3282	16.5313	1.7684	1.2183	3.5491
0.50	0.826	47.7540	52.2460	10.4492	1.6790	1.0191	4.5701
0.75	0.723	41.9574	58.0426	7.7390	1.6228	0.8887	5.4216
1.00	0.651	37.9054	62.0946	6.2095	1.5787	0.7931	6.1044
1.25	0.600	35.0353	64.9647	5.1972	1.5445	0.7158	4.7412
1.50	0.560	32.7842	67.2158	4.4811	1.5157	0.6514	7.3161
1.75	0.528	30.9833	69.0167	3.9438	1.4911	0.5959	7.8562
2.00	0.502	29.5201	70.4799	3.5240	1.4701	0.5470	8.3769

Tablo 4.68. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Ni<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 1.580 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.905	52.1999	47.8001	19.1200	1.7177	1.2815	2.7301
0.50	0.676	39.3124	60.6876	12.1375	1.5945	1.0841	3.2389
0.75	0.555	32.5028	67.4972	8.9996	1.5119	0.9542	3.6116
1.00	0.479	28.2257	71.7743	7.1774	1.4506	0.8560	3.9326
1.25	0.427	25.2993	74.7007	5.9761	1.4031	0.7764	4.2334
1.50	0.384	22.8793	77.1207	5.1414	1.3594	0.7111	4.4500
1.75	0.353	21.1347	78.8653	4.5066	1.3250	0.6538	4.6897
2.00	0.327	19.6715	80.3285	4.0164	1.2938	0.6038	4.8978

Tablo 4.69. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Ni<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbansı A<sub>0</sub> = 1.580 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.550	32.2214	67.7786	27.1114	1.5081	1.4332	1.1885
0.50	0.329	19.7841	80.2159	16.0432	1.2963	1.2053	1.2332
0.75	0.233	14.3814	85.6186	11.4158	1.1578	1.0575	1.2598
1.00	0.179	11.3425	88.6575	8.8658	1.0547	0.9477	1.2794
1.25	0.144	9.3728	90.6272	7.2502	0.9719	0.8603	1.2928
1.50	0.120	8.0221	91.9779	6.1319	0.9043	0.7876	1.3083
1.75	0.101	6.9528	93.0472	5.3170	0.8422	0.7257	1.3077
2.00	0.089	6.2775	93.7225	4.6861	0.7978	0.6708	1.3396

Tablo 4.70. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Ni<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbanı A<sub>0</sub> = 1.580 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.835	48.2605	51.7395	20.6958	1.6836	1.3159	2.3319
0.50	0.594	34.6976	65.3024	13.0605	1.5403	1.1160	2.6567
0.75	0.471	27.7755	72.2245	9.6299	1.4437	0.9836	2.8843
1.00	0.393	23.3858	76.6142	7.6614	1.3690	0.8843	3.0524
1.25	0.340	20.4031	79.5969	6.3677	1.3097	0.8040	3.2042
1.50	0.302	18.2646	81.7354	5.4490	1.2616	0.7363	3.3519
1.75	0.273	16.6325	83.3675	4.7639	1.2210	0.6780	3.4914
2.00	0.249	15.2819	84.7181	4.2359	1.1842	0.6269	3.6077

Tablo 4.71. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde başlangıç konsantrasyonu C<sub>0</sub> = 100 mg Ni<sup>2+</sup>/L ve başlangıç absorbanı A<sub>0</sub> = 1.580 olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	C <sub>e</sub> /mg L <sup>-1</sup>	% Adsorpsiyon	q <sub>e</sub> /mg g <sup>-1</sup>	log C <sub>e</sub>	log q <sub>e</sub>	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.774	44.8276	55.1724	22.0690	1.6515	1.3438	2.0312
0.50	0.543	31.8275	68.1725	13.6345	1.5028	1.1346	2.3343
0.75	0.431	25.5244	74.4756	9.9301	1.4070	0.9970	2.5704
1.00	0.360	21.5287	78.4713	7.8471	1.3330	0.8947	2.7435
1.25	0.313	18.8836	81.1164	6.4893	1.2761	0.8122	2.9100
1.50	0.278	16.9139	83.0861	5.5391	1.2282	0.7434	3.0535
1.75	0.251	26.3944	84.6056	4.8346	1.1874	0.6844	5.4595
2.00	0.230	25.2126	85.7874	4.2894	1.1527	0.6324	5.8779

Tablo 4.72. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Ni}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorpsiyonu  $A_0 = 1.580$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.443	26.1997	73.8003	29.5201	1.4183	1.4701	0.8875
0.50	0.251	15.3944	84.6056	16.9211	1.1874	1.2284	0.9098
0.75	0.173	11.0048	88.9952	11.8660	1.0416	1.0743	0.9274
1.00	0.130	8.5849	91.4151	9.1415	0.9337	0.9610	0.9391
1.25	0.104	7.1217	92.8783	7.4303	0.8526	0.8710	0.9585
1.50	0.084	5.9961	94.0039	6.2669	0.7779	0.7971	0.9568
1.75	0.071	5.2645	94.7355	5.4135	0.7214	0.7335	0.9725
2.00	0.060	4.6454	95.3546	4.7677	0.6670	0.6783	0.9743

Tablo 4.73.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Ni}^{2+}/\text{L}$  ve başlangıç absorpsiyonu  $A_0 = 1.580$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.334	20.0655	79.9345	31.9738	1.3024	1.5048	0.6276
0.50	0.164	10.4983	89.5017	17.9003	1.0211	1.2529	0.5865
0.75	0.102	7.0091	92.7355	12.3988	0.8457	1.0934	0.5653
1.00	0.071	5.2645	94.7355	9.4736	0.7214	0.9765	0.5557
1.25	0.051	4.1389	95.8611	7.6689	0.6169	0.8847	0.5397
1.50	0.038	3.4073	96.5927	6.4395	0.5324	0.8089	0.5291
1.75	0.029	2.9008	97.0992	5.5485	0.4625	0.7442	0.5228
2.00	0.022	2.5069	97.4931	4.8747	0.3991	0.6879	0.5143

Tablo 4.74.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde başlangıç konsantrasyonu  $C_0 = 100 \text{ mg Ni}^{2+}/L$  ve başlangıç absorbanı  $A_0 = 1.580$  olan çözelti içindeki adsorpsiyona ait değerler.

m/g C	A	$C_e/\text{mg L}^{-1}$	% Adsorpsiyon	$q_e/\text{mg g}^{-1}$	log $C_e$	log $q_e$	$\frac{C_e}{q_e}$
0.25	0.964	55.5203	44.4797	17.7919	1.7445	1.2502	3.1205
0.50	0.742	43.0267	56.9733	11.3947	1.6337	1.0567	3.7760
0.75	0.626	36.4985	63.5015	8.4669	1.5623	0.9277	4.3107
1.00	0.555	32.5028	67.4972	6.7497	1.5119	0.8293	4.8154
1.25	0.501	29.4638	70.5362	5.6429	1.4693	0.7515	5.2214
1.50	0.458	27.0439	72.9561	4.8637	1.4321	0.6870	5.5604
1.75	0.425	25.1867	74.8133	4.2750	1.4012	0.6309	5.8916
2.00	0.398	23.6672	76.3328	3.8166	1.3741	0.5817	6.2011

Tablo 4.75. Kimyasal aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu üzerinde  $As^{5+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cr^{5+}$  ve  $Ni^{2+}$  iyonlarının Freundlich adsorpsiyon izotermine ait k ve n sabitlerinin değerleri.

İyonlar	k	n
$As^{5+}$	$4.6678 \times 10^{-5}$	2.5665
$Cu^{2+}$	1.1031	0.7699
$Fe^{2+}$	$6.1139 \times 10^{-3}$	1.7117
$Cr^{5+}$	$1.0551 \times 10^{-5}$	2.8883
$Ni^{2+}$	0.4399	1.7000

Tablo 4.76. 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinden hazırlanan çeşitli iyonlara ait Freundlich k ve n değerleri.

Adsorbanlar	As <sup>5+</sup>		Cu <sup>2+</sup>		Fe <sup>2+</sup>		Cr <sup>5+</sup>		Ni <sup>2+</sup>	
	k	n	k	n	k	n	k	n	k	n
<b>Antep Fıstığı Kabuğu</b>										
HCl ile aktivasyon	8.6804×10 <sup>-4</sup>	1.6620	3.1673	0.6074	2.9258×10 <sup>-2</sup>	1.1754	2.1850×10 <sup>-6</sup>	3.2247	1.2977	0.9841
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyon	2.5691×10 <sup>-4</sup>	1.9067	2.3205	0.6190	8.9240×10 <sup>-2</sup>	0.8347	1.6023×10 <sup>-3</sup>	1.9116	0.2955	1.2287
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyon	7.4087×10 <sup>-3</sup>	1.2921	0.7655	0.7874	0.3119	0.4999	5.6862×10 <sup>-3</sup>	2.0419	0.8088	1.0510
<b>Fındık Kabuğu</b>										
HCl ile aktivasyon	1.6475×10 <sup>-4</sup>	2.8964	0.3590	0.6992	1.8449×10 <sup>-2</sup>	1.3902	3.0529×10 <sup>-3</sup>	1.9739	0.1144	1.4174
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyon	9.2268×10 <sup>-2</sup>	1.0273	0.6153	0.7994	4.2479×10 <sup>-3</sup>	1.8409	3.3038×10 <sup>-3</sup>	1.6673	1.7553×10 <sup>-3</sup>	2.2474
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyon	1.7761×10 <sup>-3</sup>	1.6473	2.7824	0.6090	0.3119	0.4999	7.7927×10 <sup>-3</sup>	1.6540	3.4426×10 <sup>-2</sup>	1.5980
<b>Pirinç Kabuğu</b>										
HCl ile aktivasyon	4.8041×10 <sup>-4</sup>	2.1624	0.7401	0.7709	7.0910×10 <sup>-4</sup>	1.7402	1.8827×10 <sup>-4</sup>	2.0629	0.6642	1.0676
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyon	6.3123×10 <sup>-3</sup>	1.2964	0.2764	0.8152	7.4244×10 <sup>-3</sup>	1.1647	7.3097×10 <sup>-3</sup>	1.6107	0.1003	1.3744
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyon	4.5766×10 <sup>-5</sup>	2.6083	0.9076	0.7611	0.3586	0.3947	4.5468×10 <sup>-3</sup>	1.9893	3.8635×10 <sup>-2</sup>	1.4239
<b>Zeytin Çekirdeği</b>										
HCl ile aktivasyon	6.4601×10 <sup>-4</sup>	2.1165	4.8378	0.5180	4.8875×10 <sup>-3</sup>	1.7890	0.9281	0.8806	0.9410	1.0559
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyon	5.8821×10 <sup>-4</sup>	1.9344	3.1986	0.6985	3.0009×10 <sup>-2</sup>	1.2088	8.0253×10 <sup>-3</sup>	1.6142	2.1259	0.9061
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyon	7.9422×10 <sup>-3</sup>	1.2614	1.9949	0.6413	4.6462×10 <sup>-2</sup>	1.0264	4.7099×10 <sup>-3</sup>	1.9331	1.2259×10 <sup>-2</sup>	1.8144

## 5. TARTIŞMA

Antep fıstığı, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinin kimyasal aktivasyon sonucunda değişik sıcaklıklarda meydana gelen ağırlık kayıpları aşağıdaki denkleme göre hesaplandı (94):

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = \frac{W_0 - W_s}{W_0} \cdot 100 \quad (5.1)$$

burada  $W_0$  yanmadan önceki ağırlık ve  $W_s$  ise yandıktan sonraki ağırlıktır.

Tablo 4.1’de kimyasal aktivasyon işlemi görmüş antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinin değişik sıcaklıklarda karbonizasyonu sonucunda meydana gelen ağırlık kayıpları, sıcaklık arttıkça her bir maddenin ağırlık kaybının arttığı anlaşıldı (Şekil 5.1).

Bölüm 2.3.2.2’de Tablo 2.2’de görüldüğü gibi antep fıstığı kabuğunun yoğunluğu  $1.24 \text{ g mL}^{-1}$  ve Bölüm 2.3.2.4’te Tablo 2.4’te de pirinç kabuğunun yoğunluğu  $0.4 \text{ g mL}^{-1}$  olduğundan dolayı, her bir sıcaklık değeri için ağırlık kaybının en fazla pirinç kabuğunda meydana geldiği en az da antep fıstığı kabuğunda meydana geldiği anlaşıldı.

Aktif karbon elde edilmesinde yüksek verimler istenir. Bu işlem için aktif karbon verimi aşağıdaki denklem sayesinde hesaplanabilir (95):

$$\text{Aktif karbon verimi (\%)} = \frac{\text{Aktif karbon ağırlığı}}{\text{Hammadde ağırlığı}} \cdot 100 \quad (5.2)$$

Tablo 4.2’deki değerlere göre sıcaklık arttıkça aktif karbon verimi  $600^\circ\text{C}$ ’de maksimum olduğu ve daha yüksek sıcaklıklarda ise azaldığı görüldü (Şekil 5.2). Çünkü  $600^\circ\text{C}$ ’ye kadar aktif karbon oluşumu arttı, ama bu sıcaklıktan sonra daha fazla yanma olayının sonucunda küllenme oldu ve böylece aktif karbon verimi azaldı.

Tablo 4.3’de görüldüğü gibi asidlerle herhangi bir aktivasyon işlemi görmemiş adsorbanların ham haldeki yüzey alanları dağarlerine göre, yumurta kabuğunun en

yüksek değere sahip olduğu ve zeytin çekirdeğinin de en düşük değeri olduğu tespit edildi (Şekil 5.3).

Değişik sıcaklıklarda, farklı asidlerle muamele edilerek hazırlanan aktif karbonların yüzey alanlarına Tablo 4.4'te bakıldığında, 600°C'ın aktif karbon eldesi için optimum karbonizasyon sıcaklığı olduğu görüldü (Şekil 5.4). Daha yüksek ve daha düşük sıcaklıklarda yüzey alanlarında azalma meydana geldi.

Ayrıca, aktivasyon işlemi için kullanılan asidlere göre yüzey alanı bakımından aşağıdaki gibi bir sıralama yapılabilir:

$$S_{\text{HCl}} > S_{\text{H}_2\text{SO}_4} > S_{\text{H}_3\text{PO}_4}$$

Tablo 4.5'de kimyasal olarak aktive edilmemiş ham haldeki adsorbanların karakteristik özellikleri bakımından en yüksek yüzey alanının (BET metoduna göre yüzey alanı m<sup>2</sup>/g cinsinden) yumurta kabuğuna ait olduğu anlaşıldı (Şekil 5.3-5.6). Burada mevcut adsorbanlar için BET'ye göre yüzey alanı bakımından sıralama aşağıdaki gibidir:

Yumurta kabuğu>Antep fıstığı kabuğu>Fındık kabuğu>Pirinç kabuğu>Zeytin kabuğu

Ayrıca, Tablo 4.5'teki verilere göre, gözenek hacmi bakımından ise, yüzey alanı arttıkça arttığı ve gözenek boyutunun da yüzey alanı arttıkça azaldığı anlaşıldı. Burada tek nokta metoduna göre adsorpsiyon ve desorpsiyon ortalama gözenek genişliği genellikle 2-50 nm arasında olduğu için, mezogözenek yapısı söz konusudur (80), fakat sadece ham pirinç kabuğu için 51.2319 nm gözenek genişliği bunun makro düzeyde olabileceğini de gösterir. Ancak ham haldeyken diğer değerler de 50 nm'ye yakın olduğu dikkati çekmektedir.

BJH metodu mezo gözenek dağılımının değerlendirilmesinde kullanılan en yaygın bir methodur. Gözenek boyutları IUPAC sınıflandırmasına göre, 2 nm'den az ise mikro gözenek, 2-50 nm aralığında ise mezo gözenek ve 50 nm'den büyük ise makrogözenek olarak tanımlanır (93).

Tablo 4.6-4.8'de görüldüğü gibi, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C'de karbonize edilen adsorbanların karakteristik özelliklerinden en yüksek



yüzey alanının (BET metoduna göre yüzey alanı  $m^2/g$  cinsinden) antep fıstığı kabuğundan elde edilen adsorbana, en düşük yüzey alanının ise zeytin çekirdeğinden elde edilen adsorbana ait olduğu anlaşıldı (Şekil 5.3-5.6). Burada bütün adsorbanlar için yüzey alanlarına göre sıralama şöyledir:

Antep fıstığı kabuğu > Fındık Kabuğu > Pirinç Kabuğu > Zeytin çekirdeği

Tek nokta adsorpsiyon ve desorpsiyon ortalama gözenek genişliğine göre Tablo 4.6-4.8'den pirinç kabuğu için 2-50 nm aralığında mikro gözenek yapı olduğu ve diğer materyaller için de 2 nm'den düşük olan mezogözenekli yapının olduğu belirlendi. Aynı zamanda BJH adsorpsiyon ve desorpsiyon ortalama gözenek genişliği için 2-50 nm aralığındaki mezo gözenekli yapılar bulunmaktadır (80).

Tablo 4.9'da metal iyonlarının değişik konsantrasyonlardaki absorbans (A) değerlerine göre,  $As^{5+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cr^{5+}$  ve  $Ni^{2+}$  iyonlarının absorbans değerlerinin konsantrasyonla arttığı gözlemlendi (Şekil 5.7). Elde edilen değerlere göre en yüksek absorbans değerleri  $Ni^{2+}$  iyonu için elde edilirken, en düşük absorbans değerlerinin  $Cu^{2+}$  için elde edildiği anlaşıldı.

Burada UV/VIS spektrofotometresi ile yapılan absorbans değerleri virgülden sonra üç rakamlı olduğundan ve  $Fe^{2+}$  ile yapılan ölçümlerde  $0.01-0.10 \text{ mg L}^{-1}$  konsantrasyon değerleri çok düşük, yani sıfıra çok yakın absorbans değerleri verdiği için, ancak  $1-10 \text{ mg L}^{-1}$  konsantrasyonlarındaki değerler dikkate alındı.

Tablo 4.10-4.74'de kimyasal olarak aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu ve HCl,  $H_2SO_4$  ve  $H_3PO_4$  ile kimyasal olarak aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğindeği üzerinde  $As^{5+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cr^{5+}$  ve  $Ni^{2+}$  iyonlarının adsorpsiyonuna ait değerler sayesinde elde edilen adsorpsiyon izotermi (Şekil 5.8-5.20), % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi (Şekil 5.21-5.33) ve Freundlich grafikleri (Şekil 5.34-5.46) çizildi.

Tüm iyonlar için adsorpsiyon, adsorban miktarı arttıkça arttı. Ayrıca, tüm iyonların adsorpsiyon deneyleri sonucunda elde edilen verilerle elde edilen Freundlich grafiklerinden Freundlich adsorpsiyon denkleminin uygunluğu görüldü.

Bu denklem sonucunda elde edilen Freundlich adsorpsiyon izotermine ait **k** (adsorpsiyon kapasitesi) ve **n** (adsorpsiyon şiddeti) sabitleri Tablo 4.75-4.76'da görülmektedir.

Şekil 5.47'de yumurta kabuğu ve Şekil 5.48-5.59'da HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeği üzerinde As<sup>5+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Cr<sup>5+</sup> ve Ni<sup>2+</sup> iyonlarına ait Langmuir grafiklerine göre, meydana gelen adsorpsiyonun Langmuir denklemine uymadığı ve sapmalar gösterdiği anlaşıldı.

Bu grafiklerde noktalar doğru üzerinde olmayıp doğrunun etrafında dağınık vaziyettedir. Ayrıca, burada artan ve azalan doğrular elde edilmiştir. Bu nedenle, bu tür adsorbanlar üzerinde ele aldığımız iyonların adsorpsiyon izotermine genel olarak Freundlich adsorpsiyon izotermine uyduğu tespit edildi.

Denklem 5.3'e (80) göre hesaplanan ve Tablo 4.10-4.74 ve Şekil 5.21-5.33'de olduğu gibi, elde edilen her bir adsorbanın her bir iyon için % adsorpsiyon performans değerleri birarada Tablo 5.1'de görülmektedir.

$$\% \text{ Adsorpsiyon} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100 \quad (5.3)$$

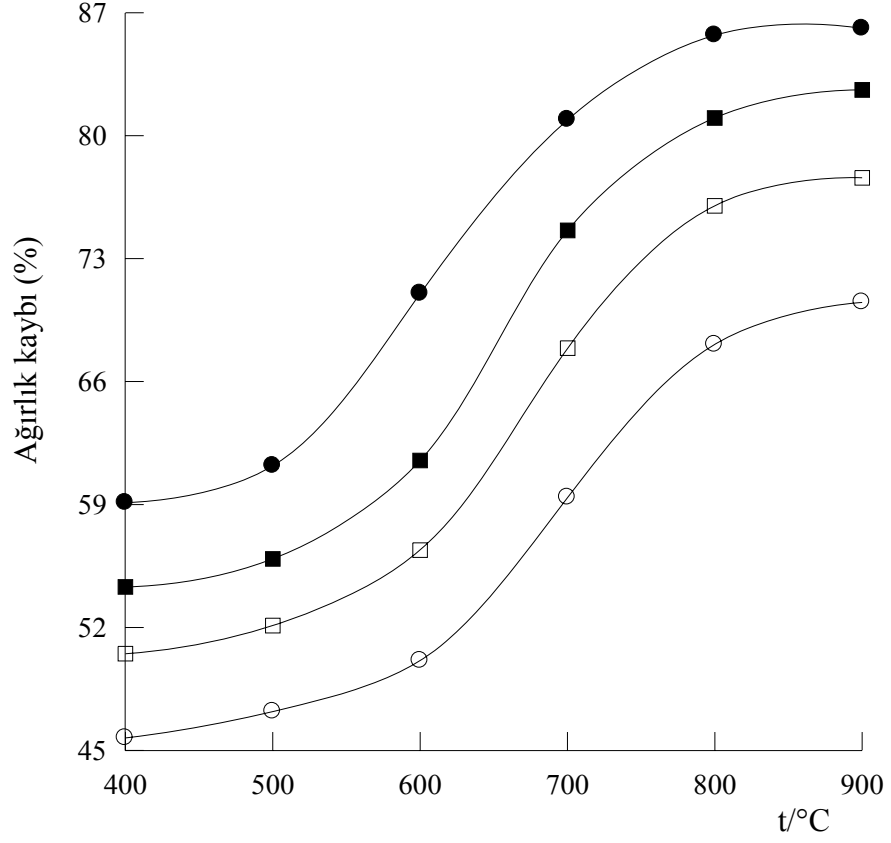
burada C<sub>0</sub> başlangıç metal iyonu konsantrasyonu (mg L<sup>-1</sup>) ve C<sub>e</sub> denge durumunda çözeltideki adsorbatın konsantrasyonudur (mg L<sup>-1</sup>).

Tablo 5.1'deki değerlere göre, ham yumurta kabuğu en çok Cu<sup>2+</sup> iyonunu; antep fıstığı kabuğu HCl ile aktivasyonda en çok Cu<sup>2+</sup> iyonunu, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktivasyonda en çok Cu<sup>2+</sup> iyonunu, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktivasyonda en çok Ni<sup>2+</sup> iyonunu; fındık kabuğu HCl ile aktivasyonda en çok Ni<sup>2+</sup> iyonunu, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktivasyonda en çok Cu<sup>2+</sup> iyonunu, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktivasyonda en çok Cu<sup>2+</sup> iyonunu; pirinç kabuğu HCl ile aktivasyonda en çok Ni<sup>2+</sup> iyonunu, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktivasyonda en çok Ni<sup>2+</sup> iyonunu, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktivasyonda en çok Cu<sup>2+</sup> iyonunu; zeytin çekirdeği HCl ile aktivasyonda en çok çok Cu<sup>2+</sup> iyonunu, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktivasyonda en çok Cu<sup>2+</sup> iyonunu, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktivasyonda en çok Cu<sup>2+</sup> iyonunu adsorbe ettiği saptandı.

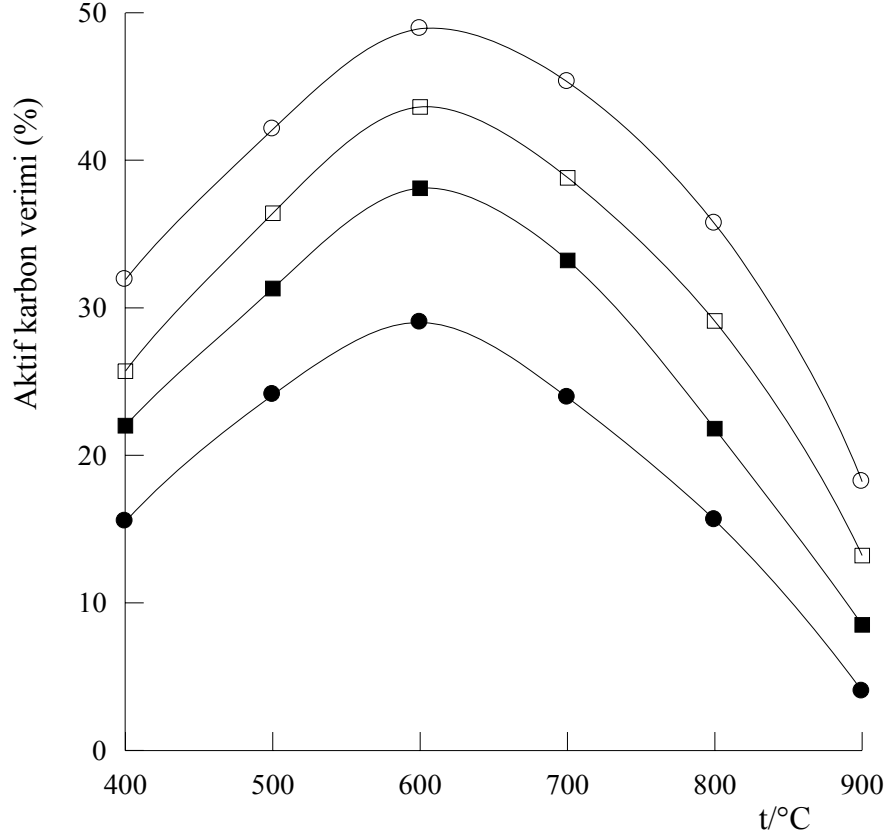
Tablo 5.1. Adsorbanların % adsorpsiyon performansları

Adsorban	As <sup>5+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cr <sup>6+</sup>	Ni <sup>2+</sup>
<b>Ham yumurta kabuğu</b>	37.7036	93.5556	61.8709	35.5570	92.5407
<b>Antep fıstığı kabuğu:</b>					
HCl ile aktivasyon	23.4660	97.9556	53.3629	33.3260	96.1987
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyon	21.2231	96.7333	48.1841	52.1295	90.7398
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyon	33.0228	90.3778	46.9510	75.8728	94.6229
<b>Fındık kabuğu:</b>					
HCl ile aktivasyon	42.0919	81.5778	60.7611	65.6743	86.9692
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyon	67.0566	88.1778	63.5971	47.9863	70.4799
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyon	34.6806	97.4667	45.8413	62.4873	80.3285
<b>Pirinç kabuğu:</b>					
HCl ile aktivasyon	48.4306	89.6444	25.6193	26.6333	93.7225
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyon	30.6823	75.4667	23.2765	58.6629	84.7181
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyon	39.8490	91.6000	36.8400	74.4110	85.7874
<b>Zeytin çekirdeği:</b>					
HCl ile aktivasyon	50.2835	98.9333	62.9806	93.7201	95.3546
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile aktivasyon	36.3384	98.2000	56.8154	60.5751	97.4931
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ile aktivasyon	32.3401	96.0000	50.7735	69.4987	76.3328

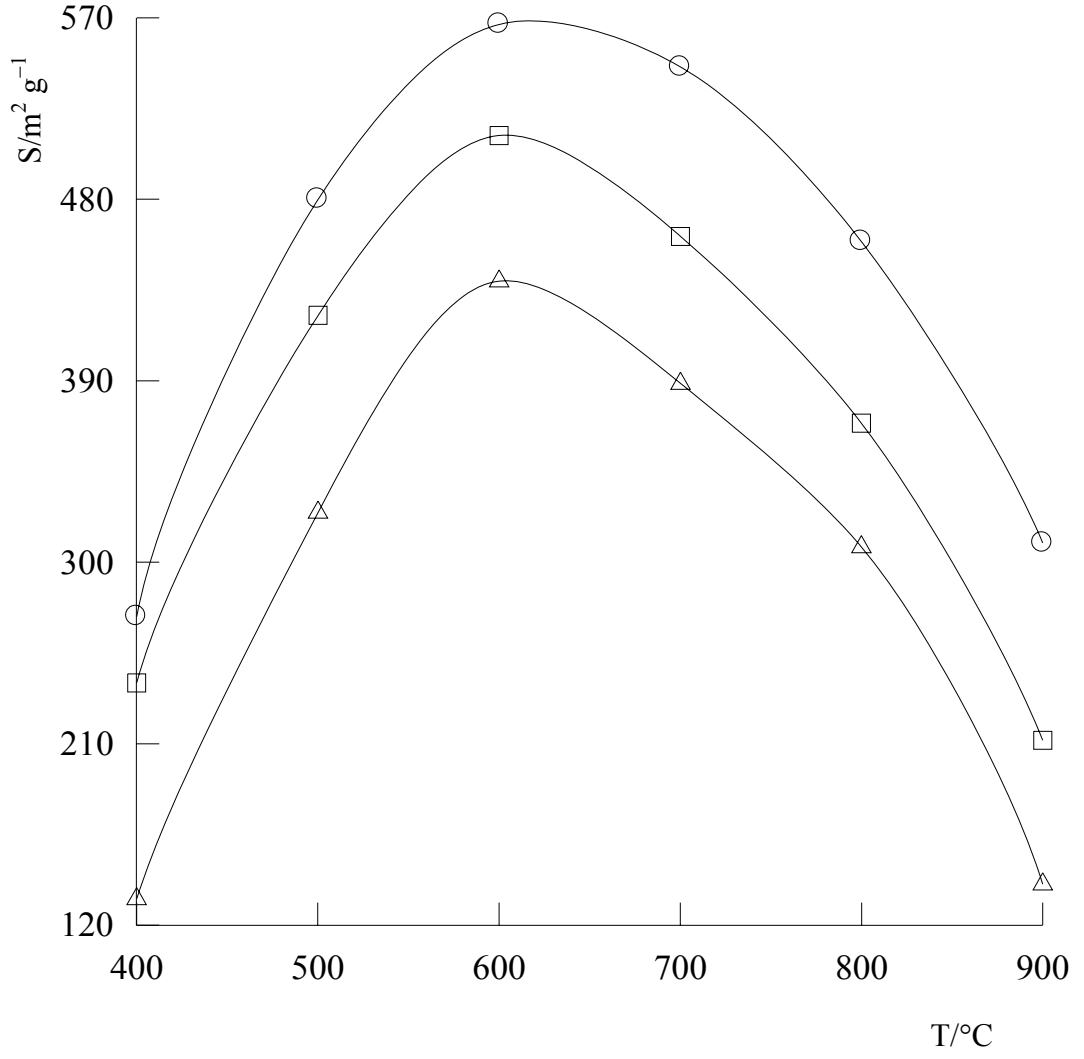
Yine bu değerlere göre, As<sup>5+</sup> iyonu için en uygun adsorbanın H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edilmiş fındık kabuğu, Cu<sup>2+</sup> iyonu için en uygun adsorbanın HCl ile aktive edilmiş zeytin çekirdeği, Fe<sup>2+</sup> iyonu için en uygun adsorbanın H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edilmiş fındık kabuğu, Cr<sup>6+</sup> iyonu için en uygun adsorbanın HCl ile aktive edilmiş zeytin çekirdeği ve Ni<sup>2+</sup> iyonu için en uygun adsorbanın H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edilmiş zeytin çekirdeği olduğu söylenebilir.



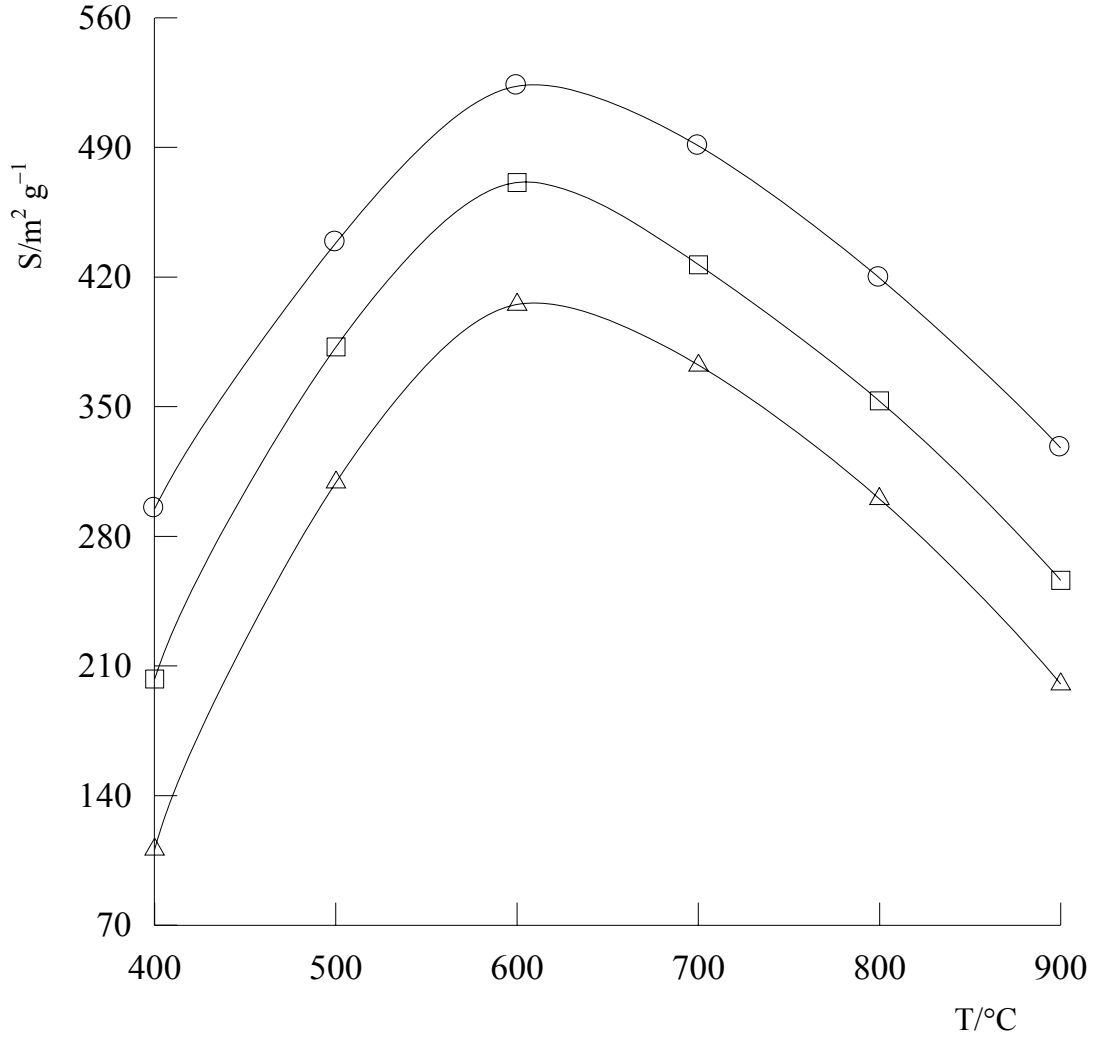
Şekil 5.1. Antep fıstığı kabuğu (○), fındık kabuğu (□), pirinç kabuğu (●) ve zeytin çekirdeğinin (■) kimyasal aktivasyonu sonucunda ağırlık kayıplarının sıcaklıkla değişimi.



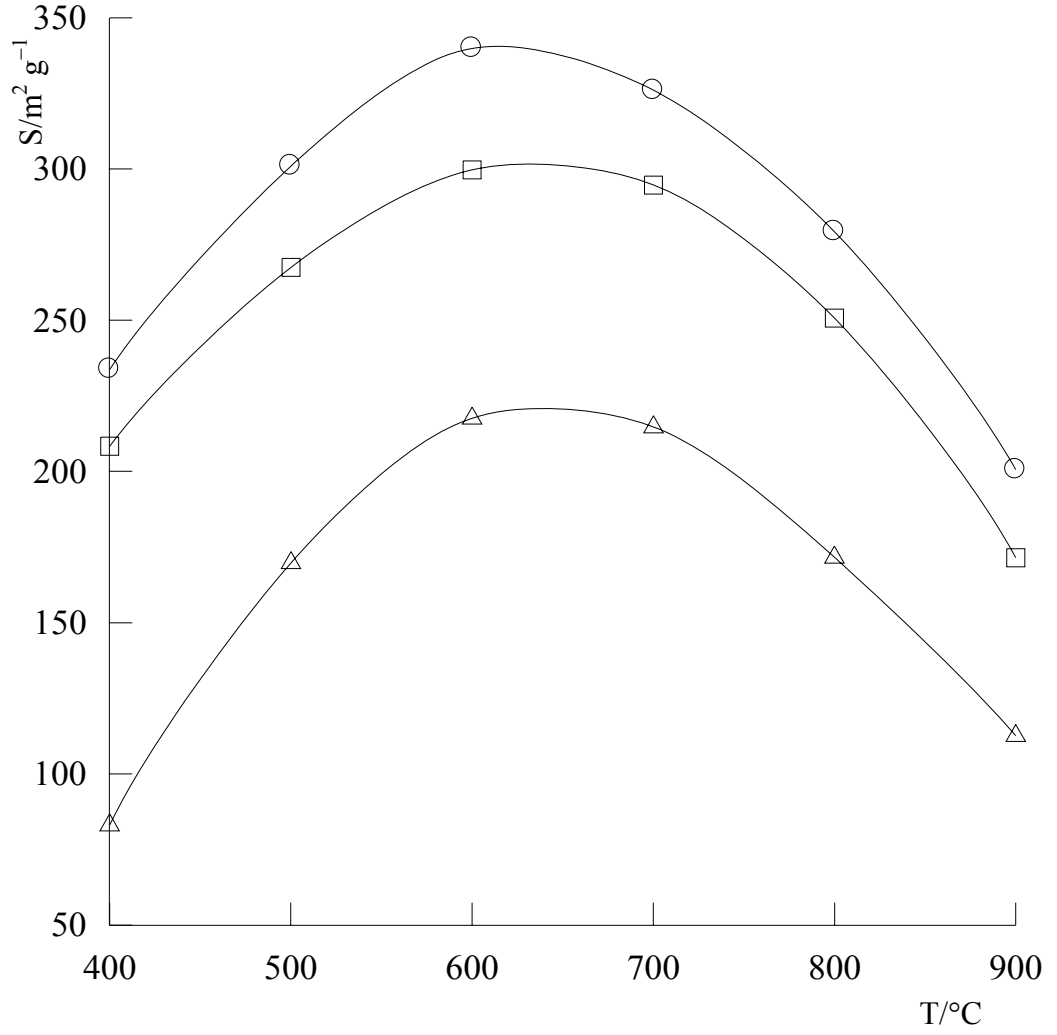
Şekil 5.2. Antep fıstığı kabuğu (○), fındık kabuğu (□), pirinç kabuğu (●) ve zeytin çekirdeğinin (■) kimyasal aktivasyonu sonucunda elde edilen aktif karbon verimlerinin sıcaklıkla değişimi.



Şekil 5.3. HCl (○), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (□) ve H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Δ) ile aktive edilip değişik sıcaklıklarda karbonize edilen antep fıstığı kabuğundan hazırlanan adsorbanın yüzey alanlarının sıcaklığa karşı değişimi.

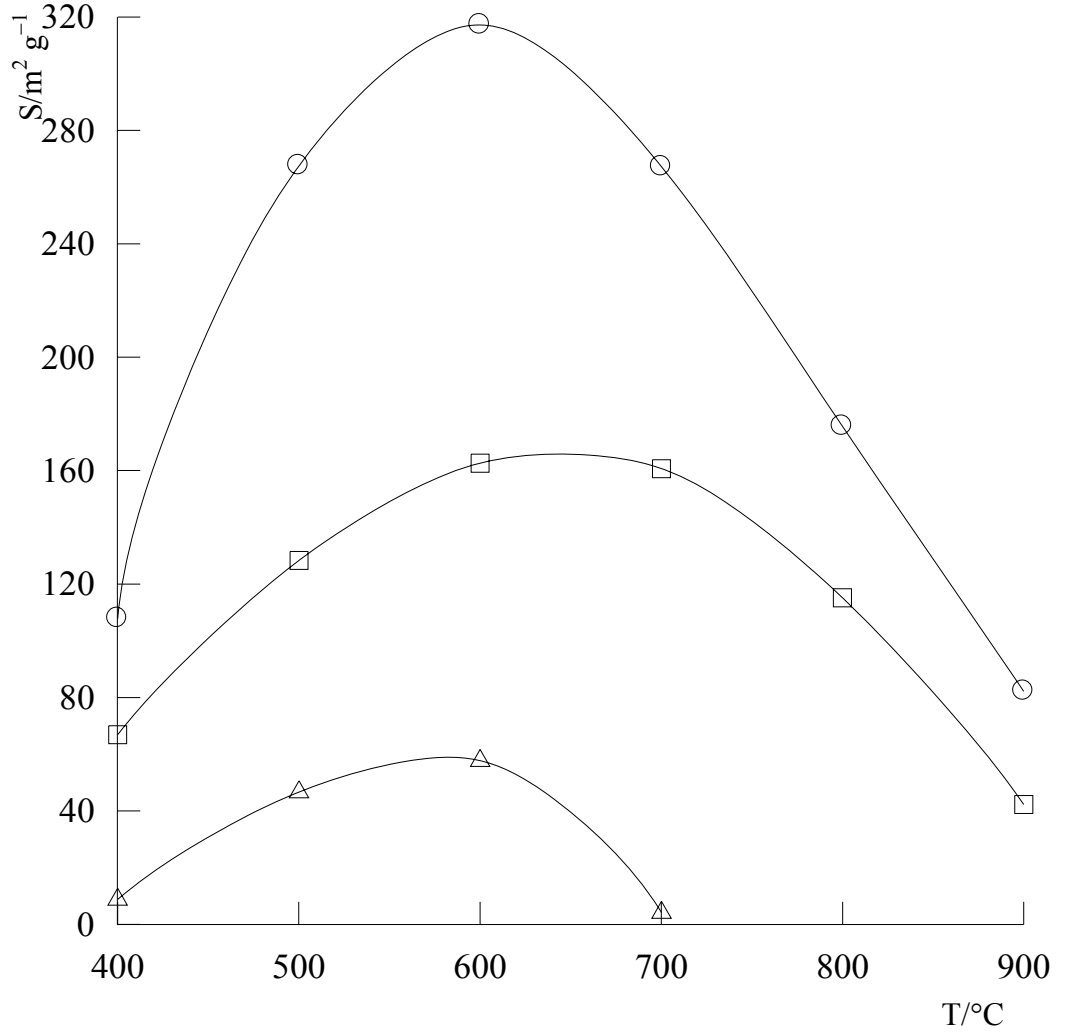


Şekil 5.4. HCl (○), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (□) ve H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Δ) ile aktive edilip değişik sıcaklıklarda karbonize edilen fındık kabuğundan hazırlanan adsorbanın yüzey alanlarının sıcaklığa karşı değişimi.

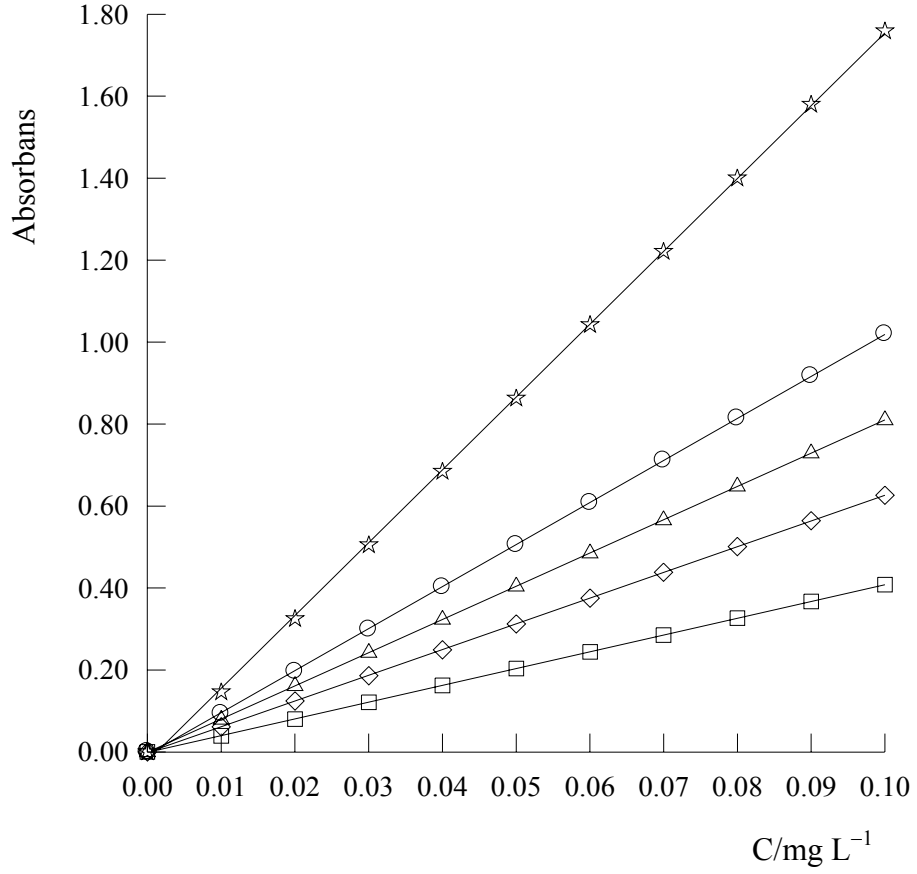


Şekil 5.5. HCl (○), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (□) ve H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Δ) ile aktive edilip değişik sıcaklıklarda karbonize edilen pirinç kabuğundan hazırlanan adsorbanın yüzey alanlarının sıcaklığa karşı değişimi.





Şekil 5.6. HCl (○),  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (□) ve  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (Δ) ile aktive edilip değişik sıcaklıklarda karbonize edilen zeytin çekirdeğinden hazırlanan adsorbanın yüzey alanlarının sıcaklığa karşı değişimi.



Şekil 5.7. Çeşitli iyonların değişik konsantrasyonlardaki absorbans değerlerinin konsantrasyona karşı değişimi:

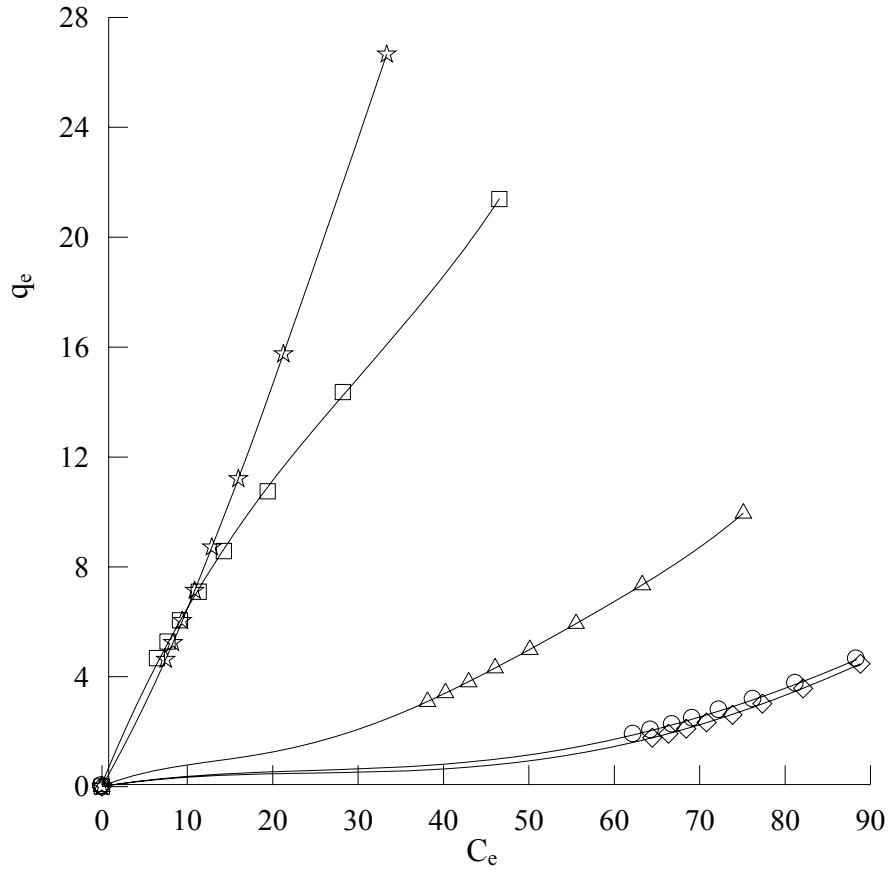
○: As<sup>5+</sup>, denklemi:  $A = 10.2545 C - 0.00681817$  ;

□: Cu<sup>2+</sup>, denklemi:  $A = 4.09091 C - 0.00136363$  ;

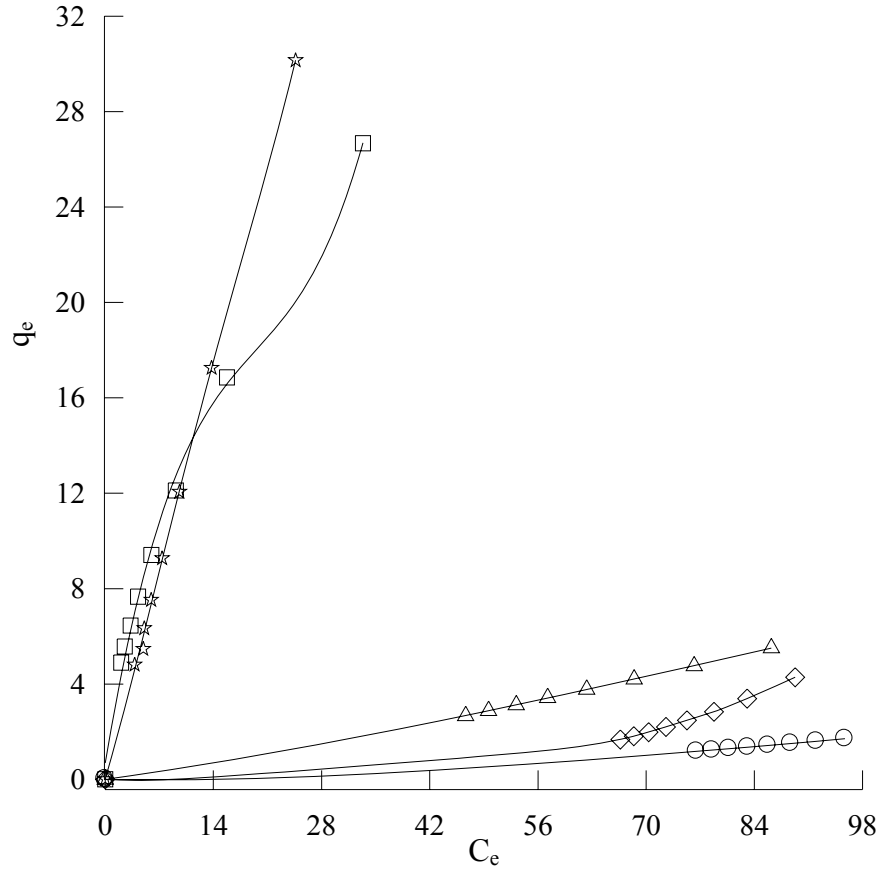
△: Fe<sup>2+</sup>, denklemi:  $A = 0.8110 C - 0.0011727$  ;

◇: Cr<sup>6+</sup>, denklemi:  $A = 6.27545 C - 0.00140908$  ;

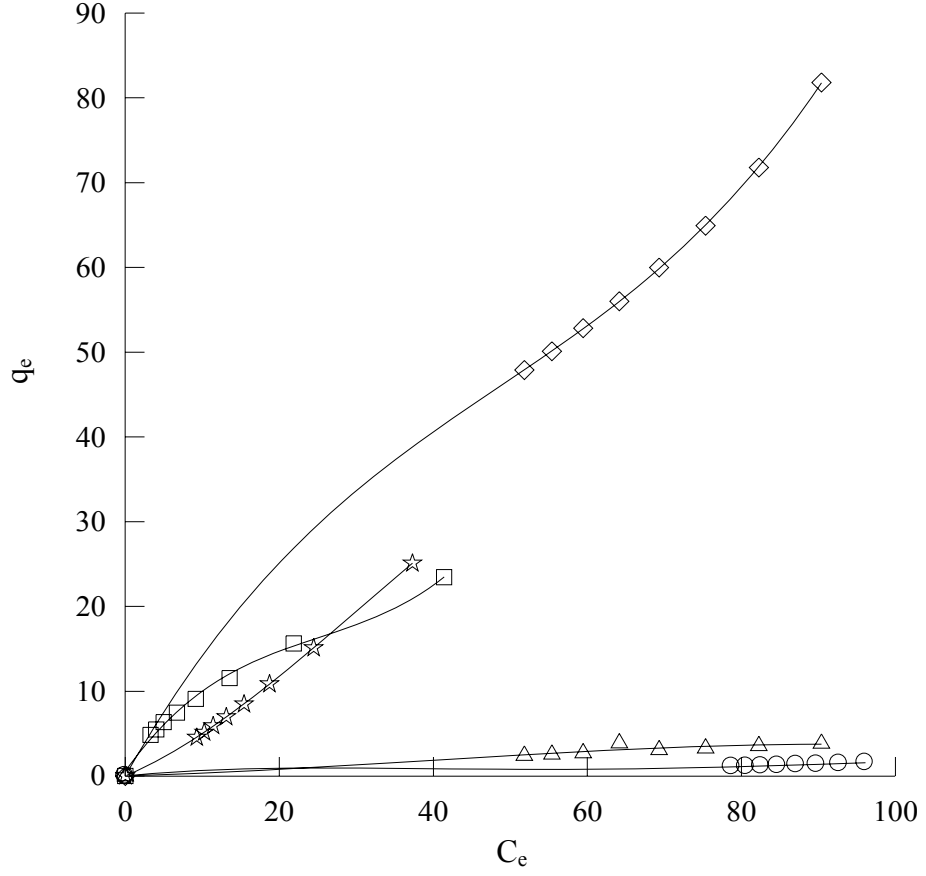
☆: Ni<sup>2+</sup>, denklemi:  $A = 17.7691 C - 0.0225454$  .



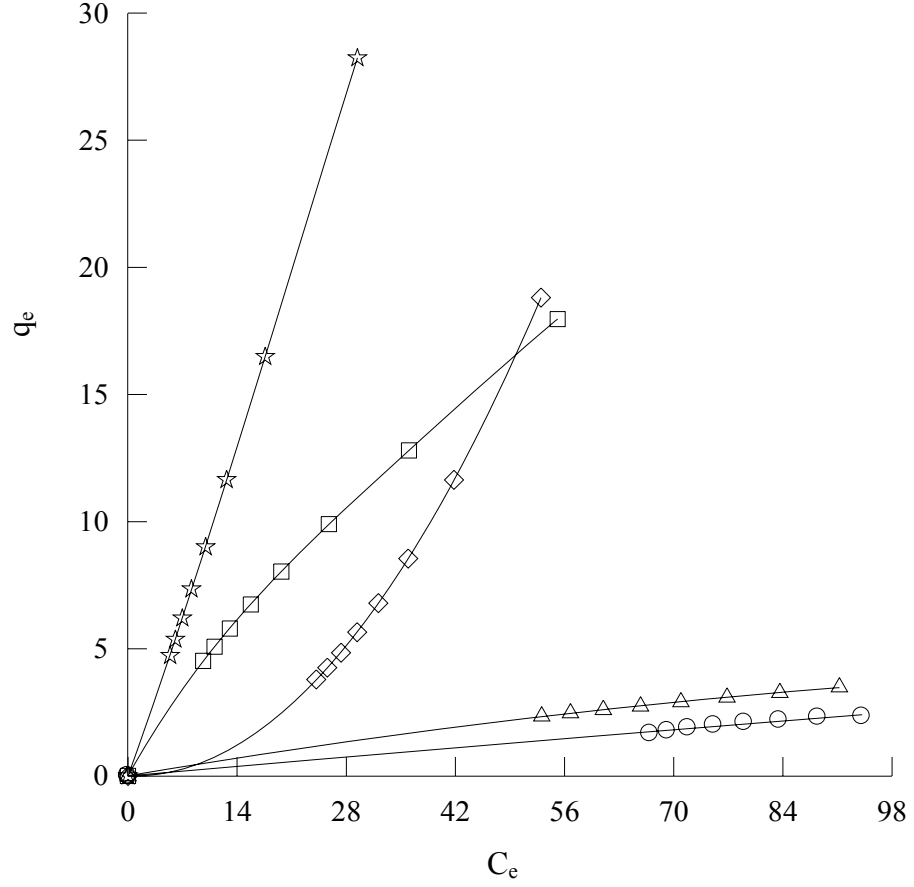
Şekil 5.8. Kimyasal aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermeleri.



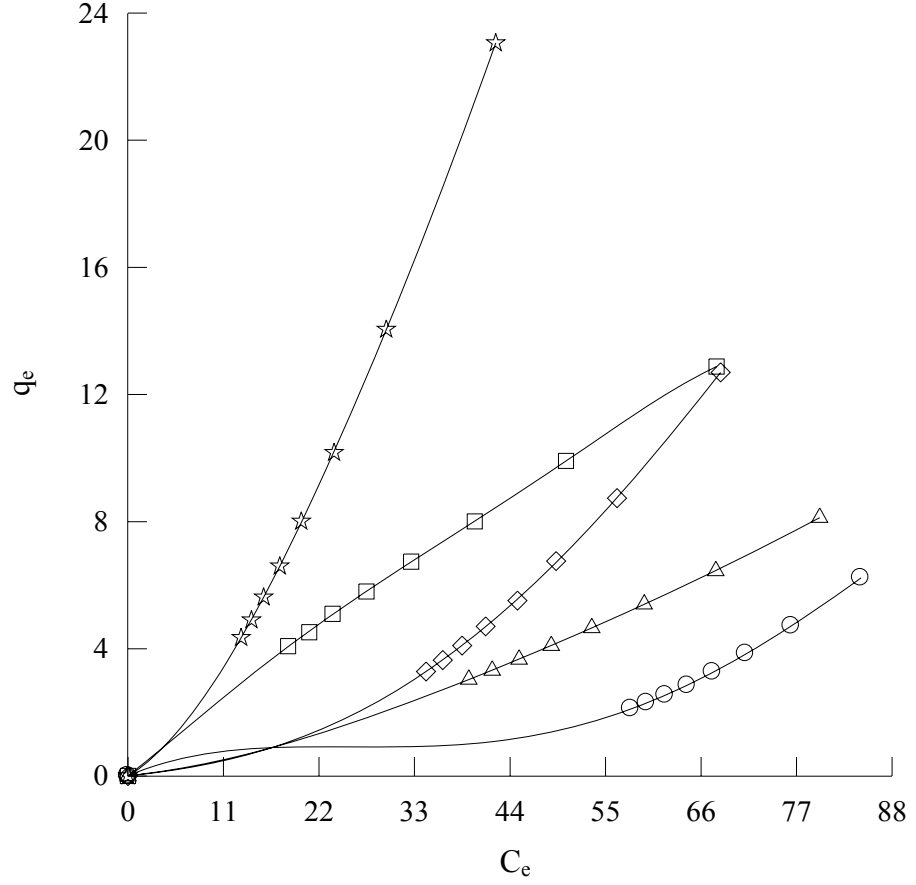
Şekil 5.9. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermi.



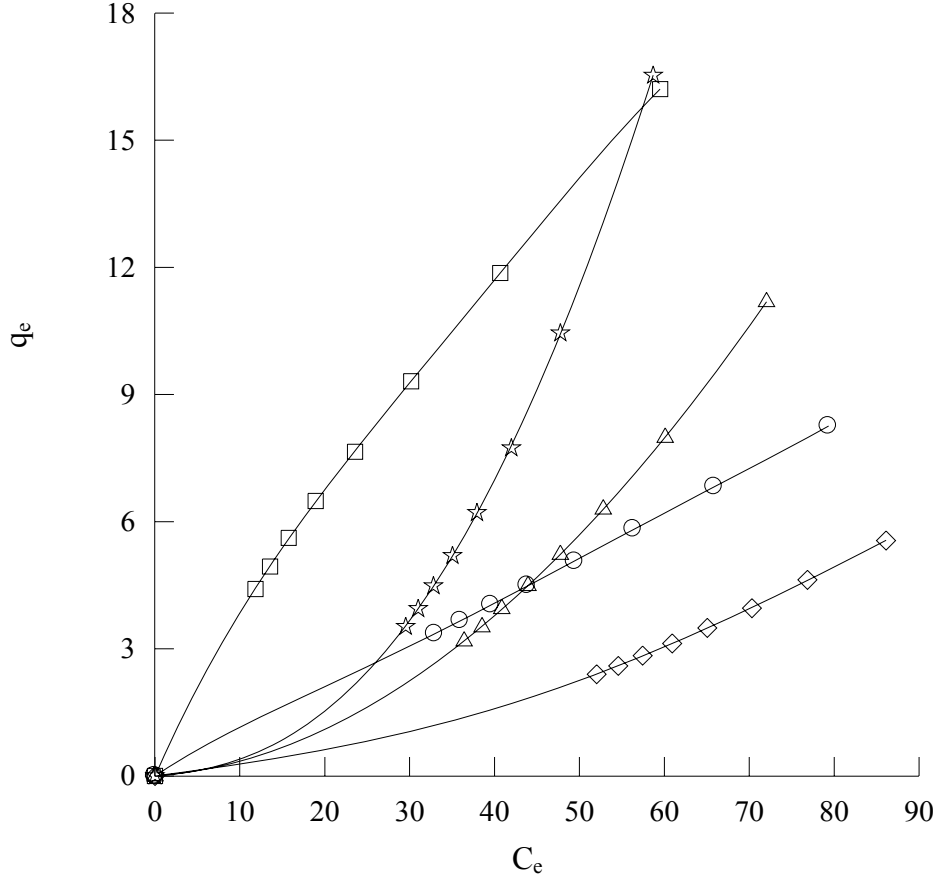
Şekil 5.10. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermeleri.



Şekil 5.11. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermeleri.

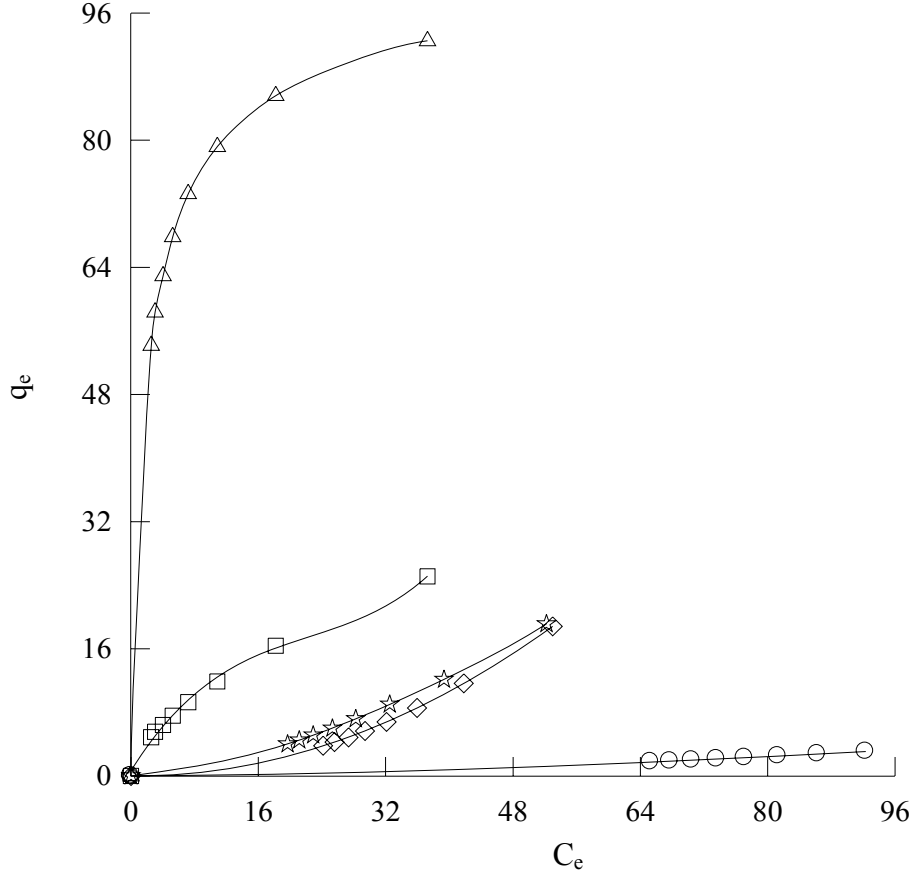


Şekil 5.12. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermeleri.

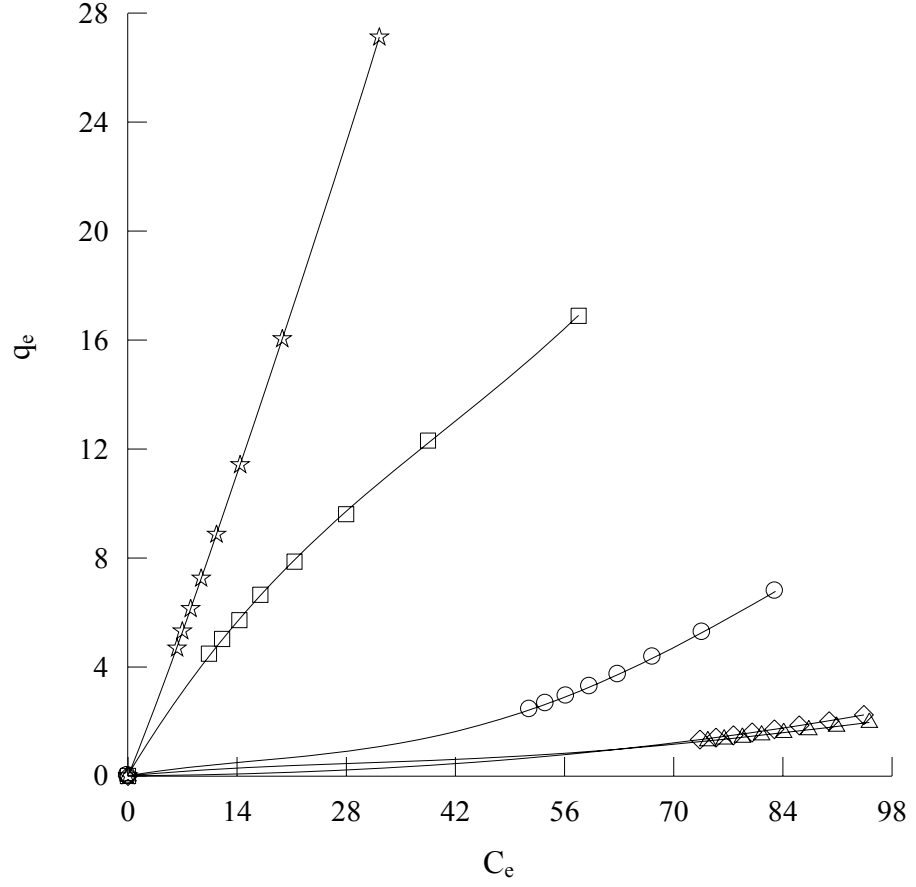


Şekil 5.13.  $H_2SO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermi.

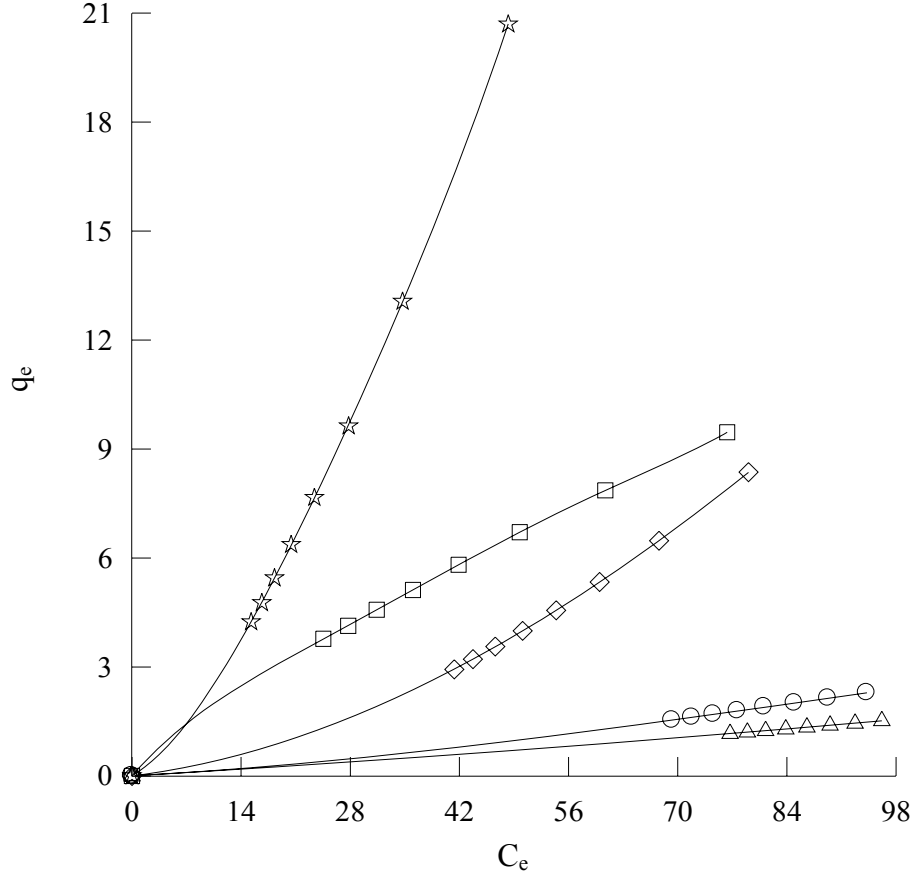




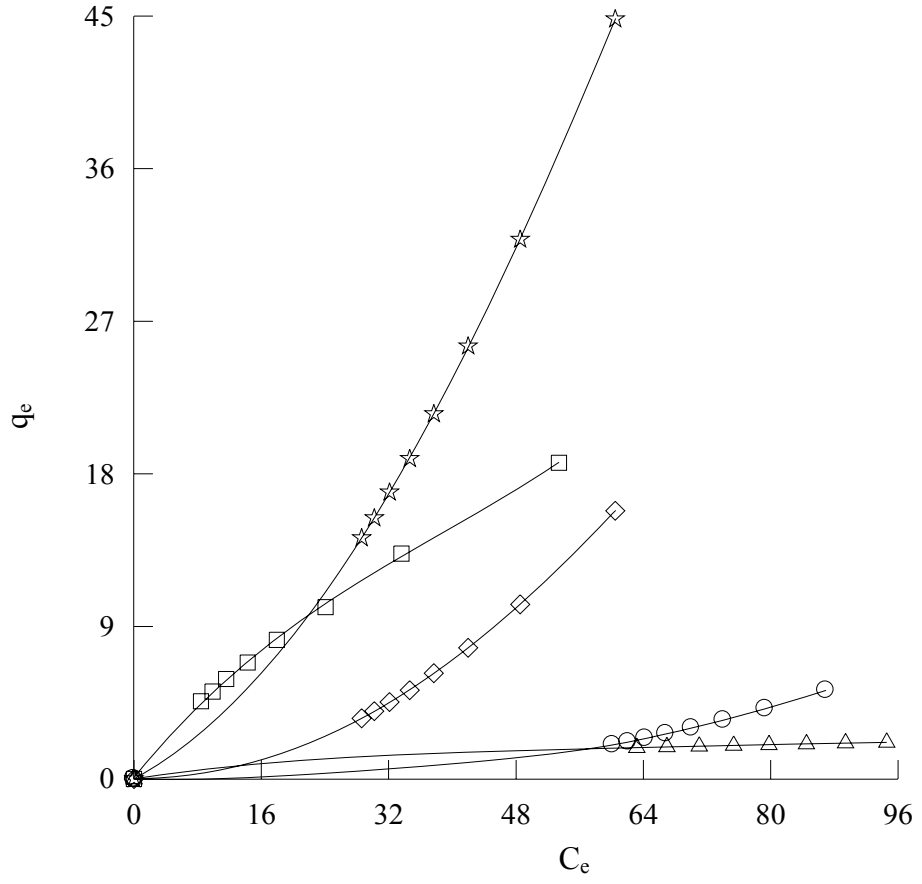
Şekil 5.14. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermeleri.



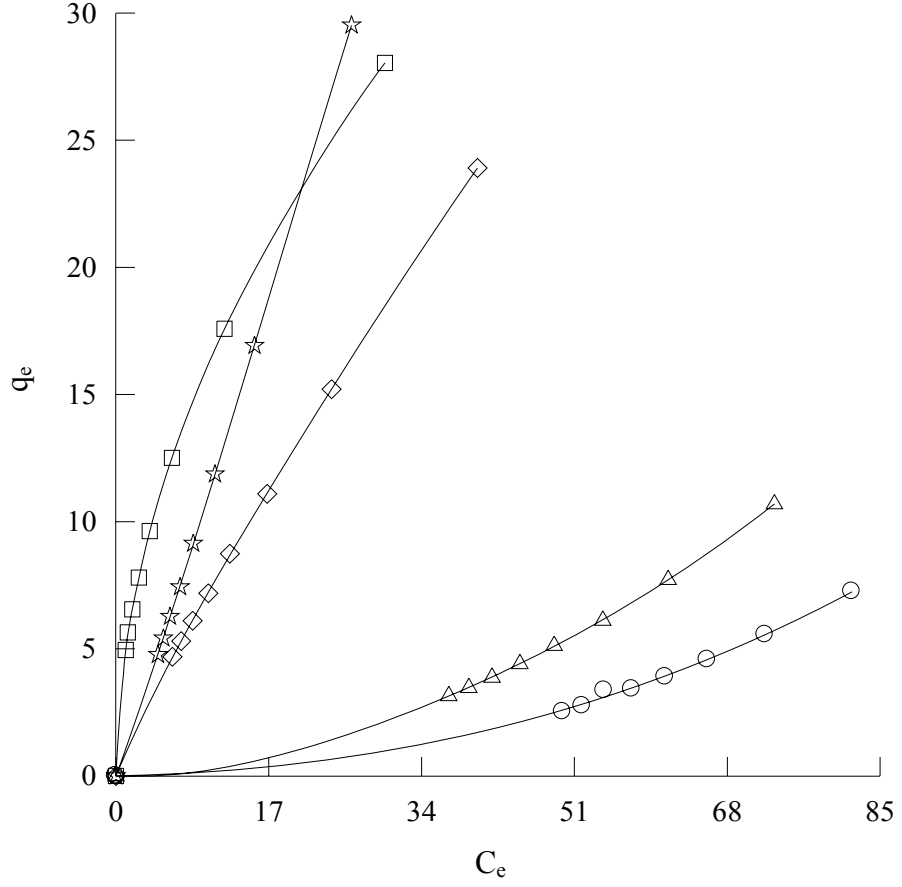
Şekil 5.15. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermi.



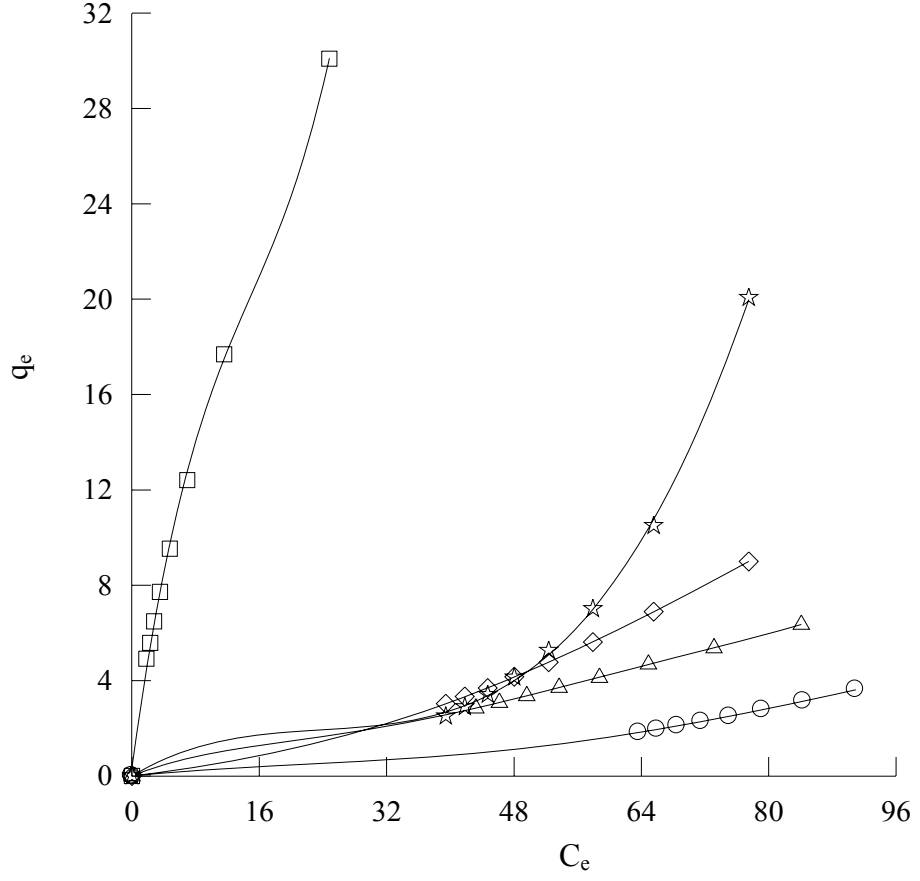
Şekil 5.16.  $H_2SO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (○),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermeleri.



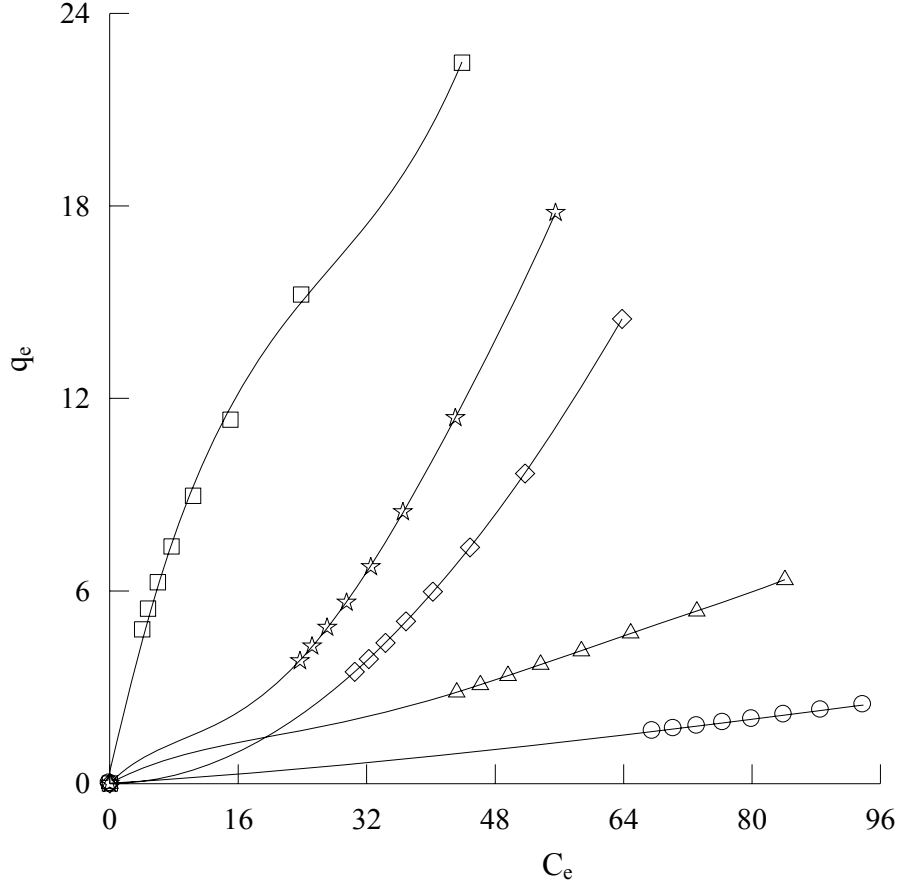
Şekil 5.17. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermeleri.



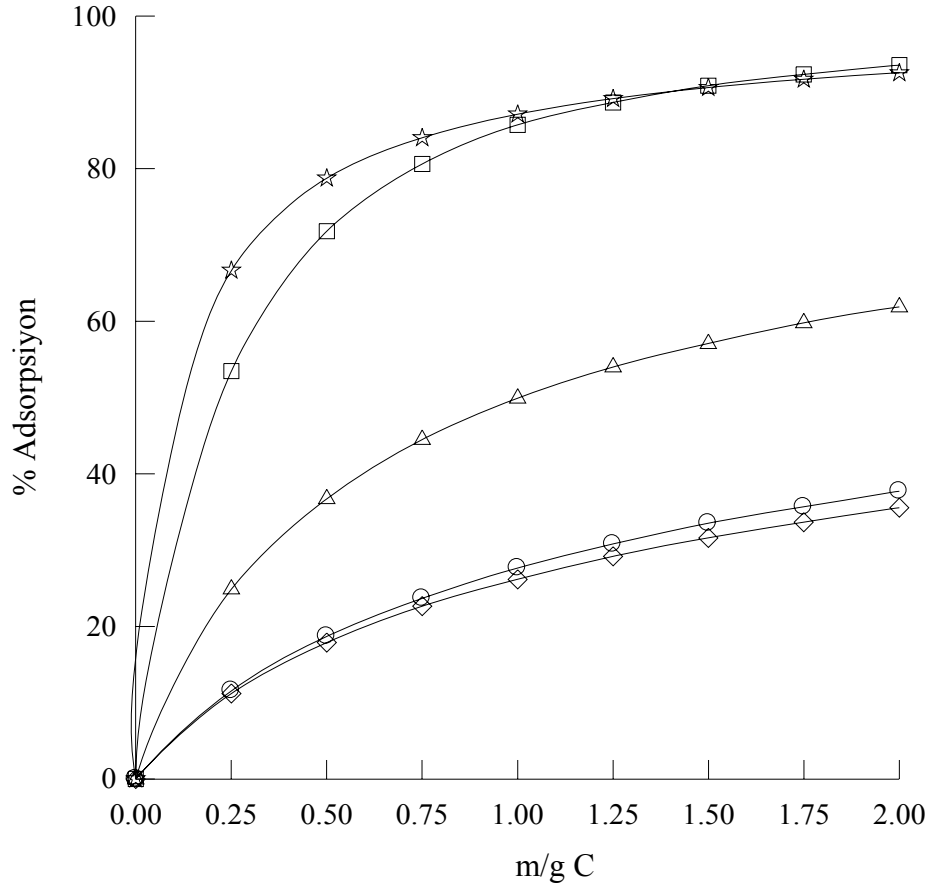
Şekil 5.18. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermeleri.



Şekil 5.19.  $H_2SO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermeleri.

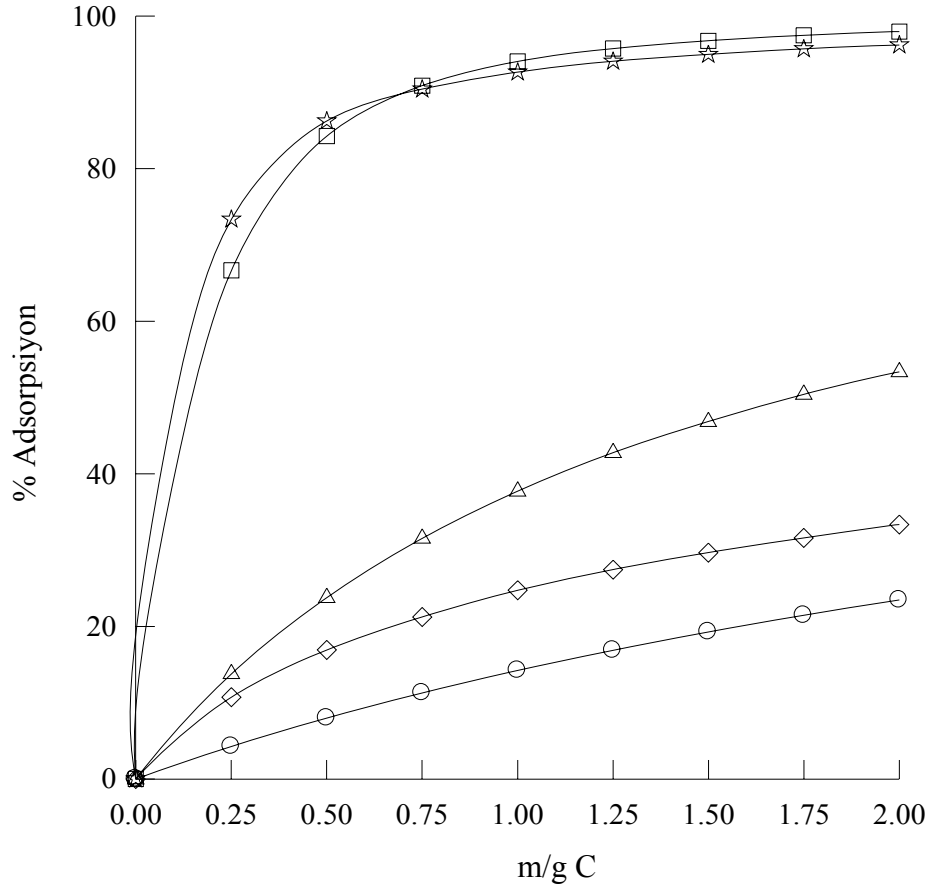


Şekil 5.20.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (o),  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\square$ ),  $\text{Fe}^{2+}$  ( $\Delta$ ),  $\text{Cr}^{5+}$  ( $\diamond$ ) ve  $\text{Ni}^{2+}$  ( $\star$ ) iyonlarına ait adsorpsiyon izotermeleri.

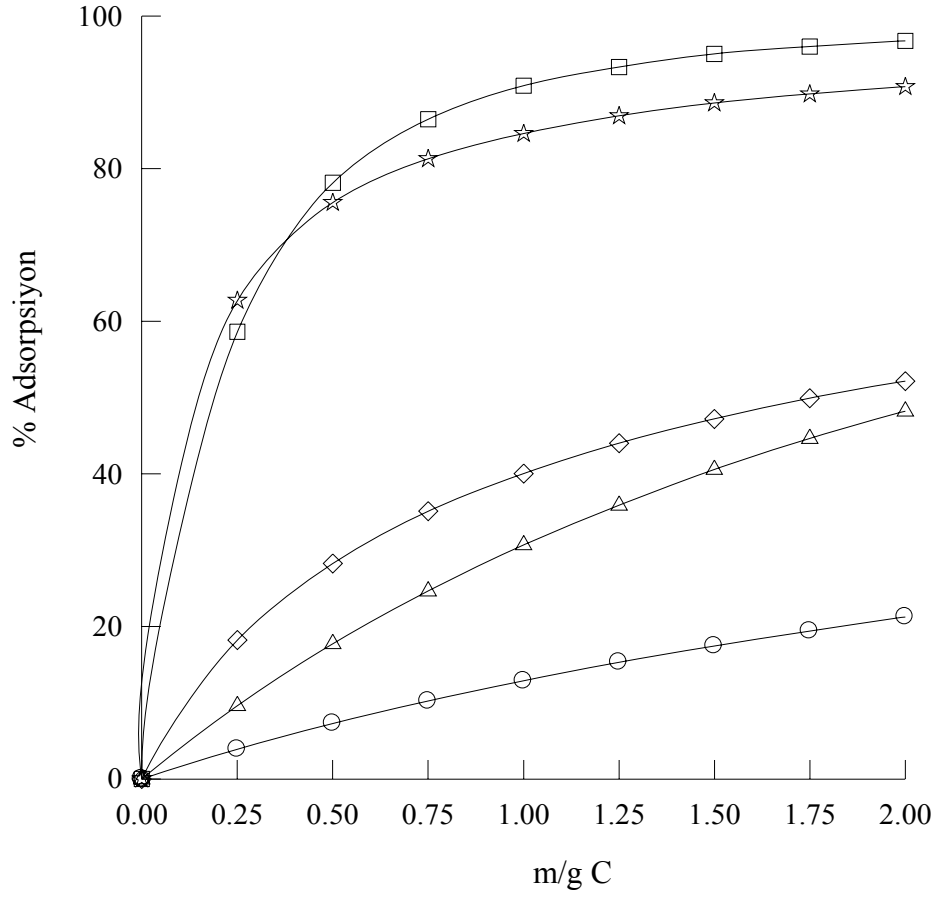


Şekil 5.21. Kimyasal aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.

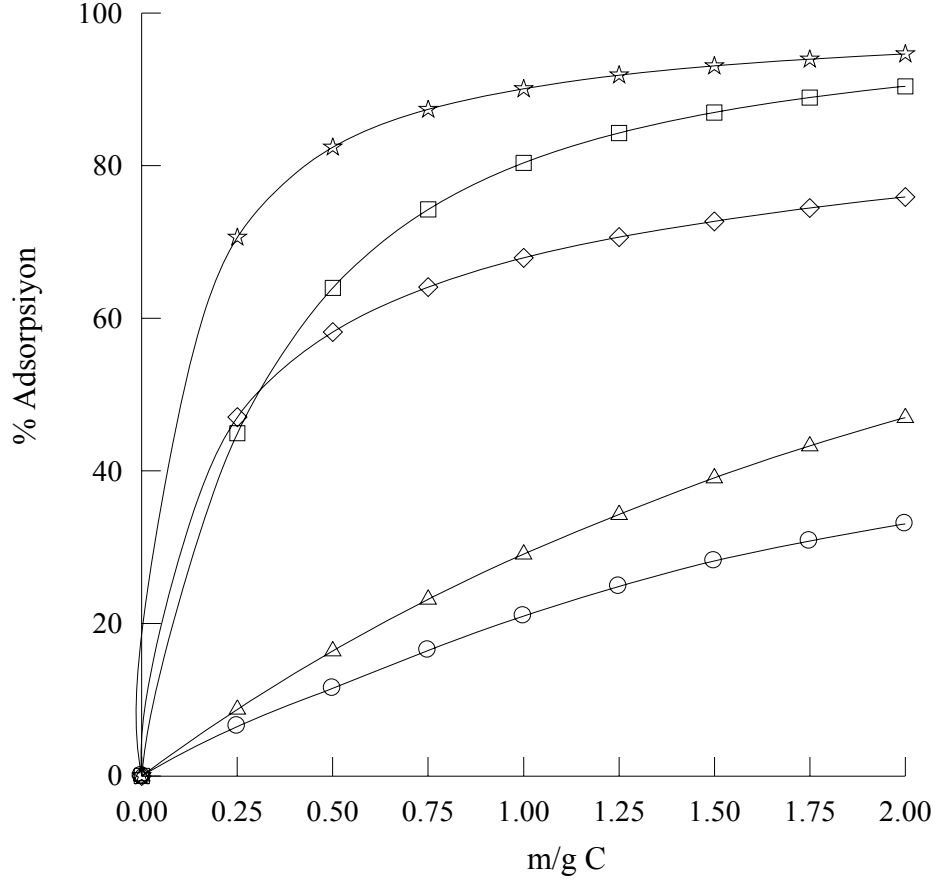




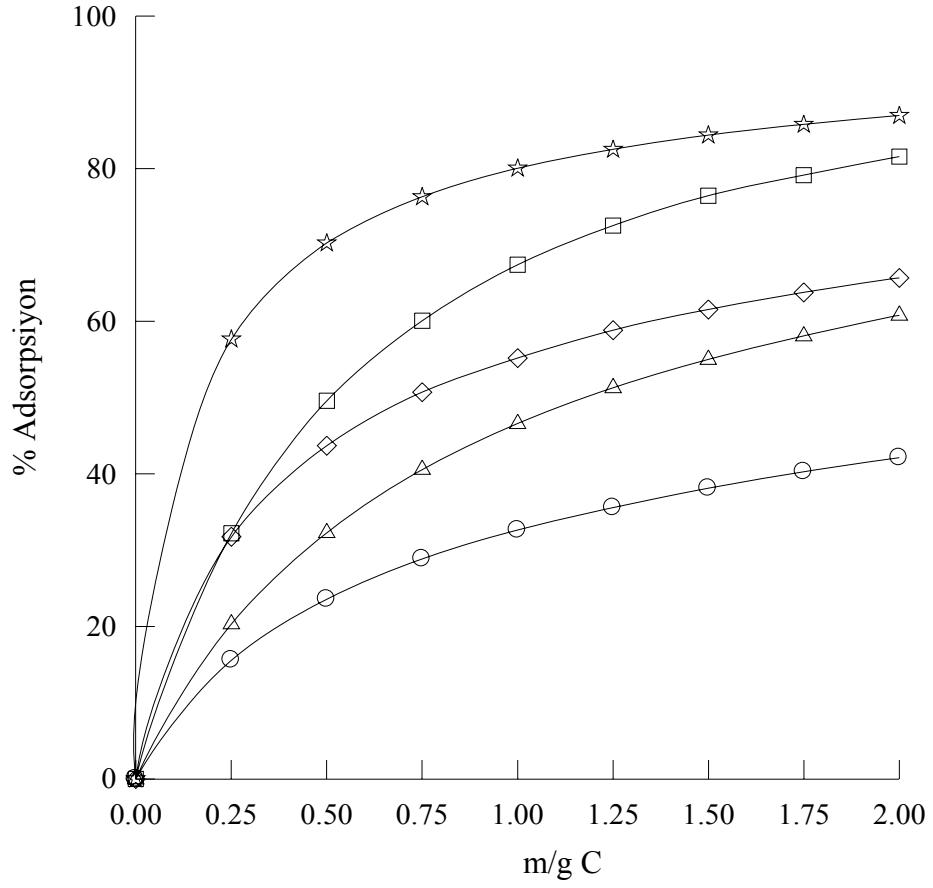
Şekil 5.22. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.



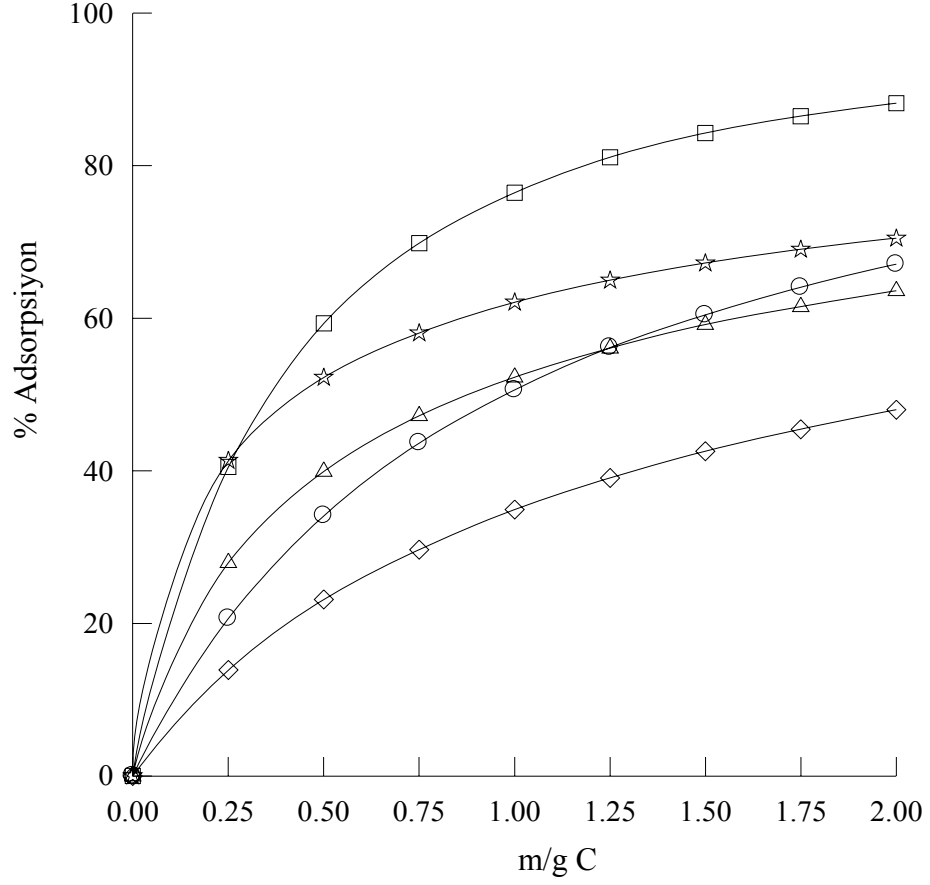
Şekil 5.23. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.



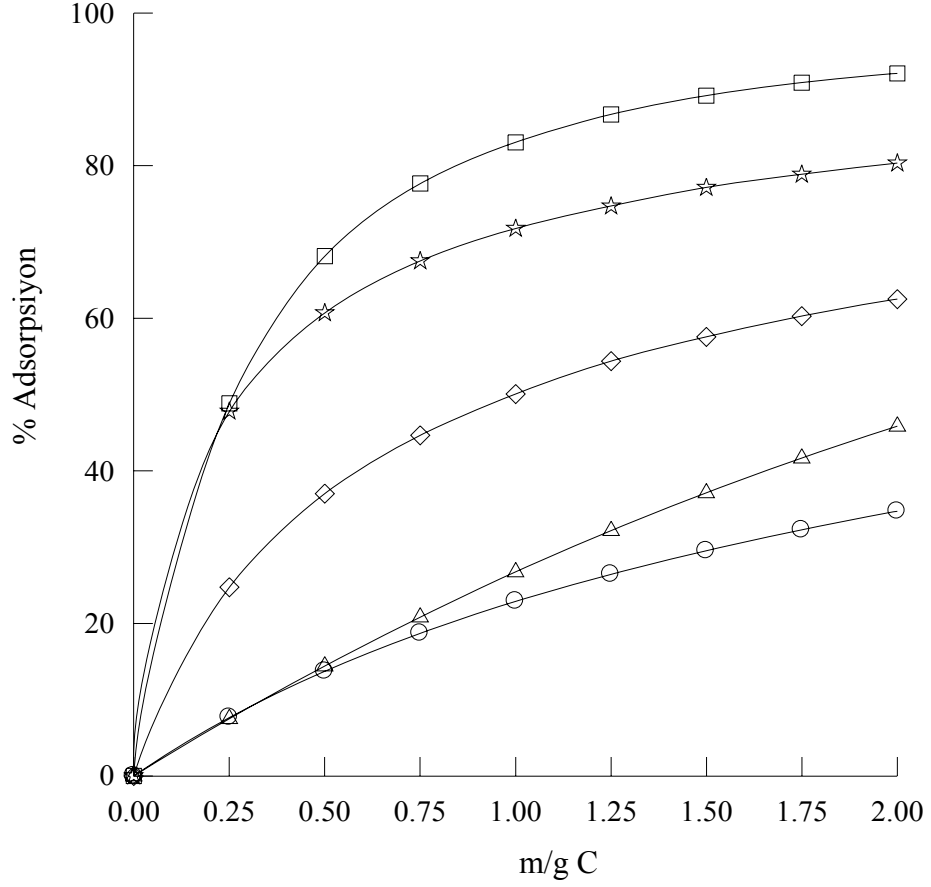
Şekil 5.24. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.



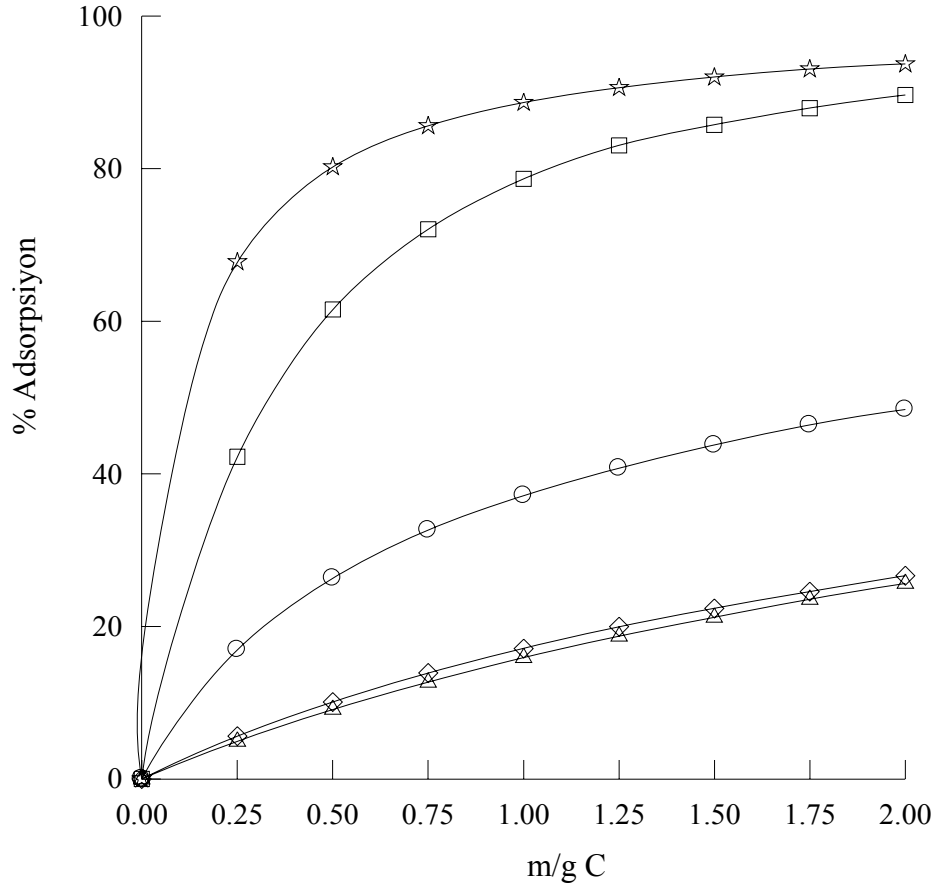
Şekil 5.25. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.



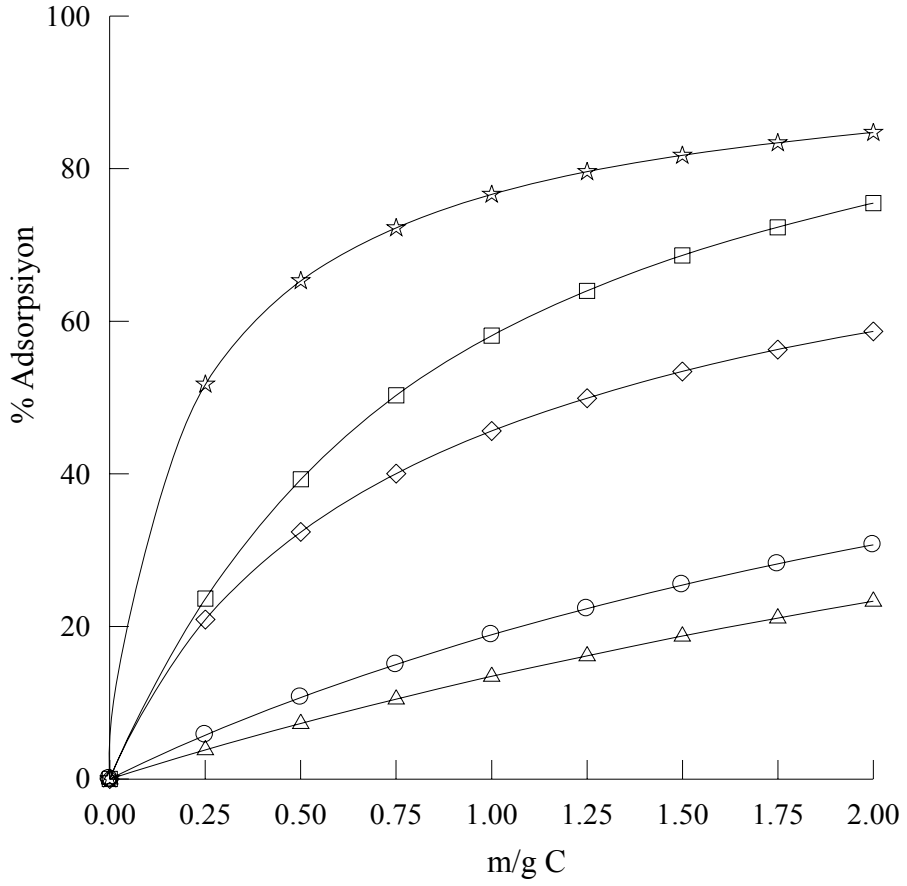
Şekil 5.26. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.



Şekil 5.27. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.

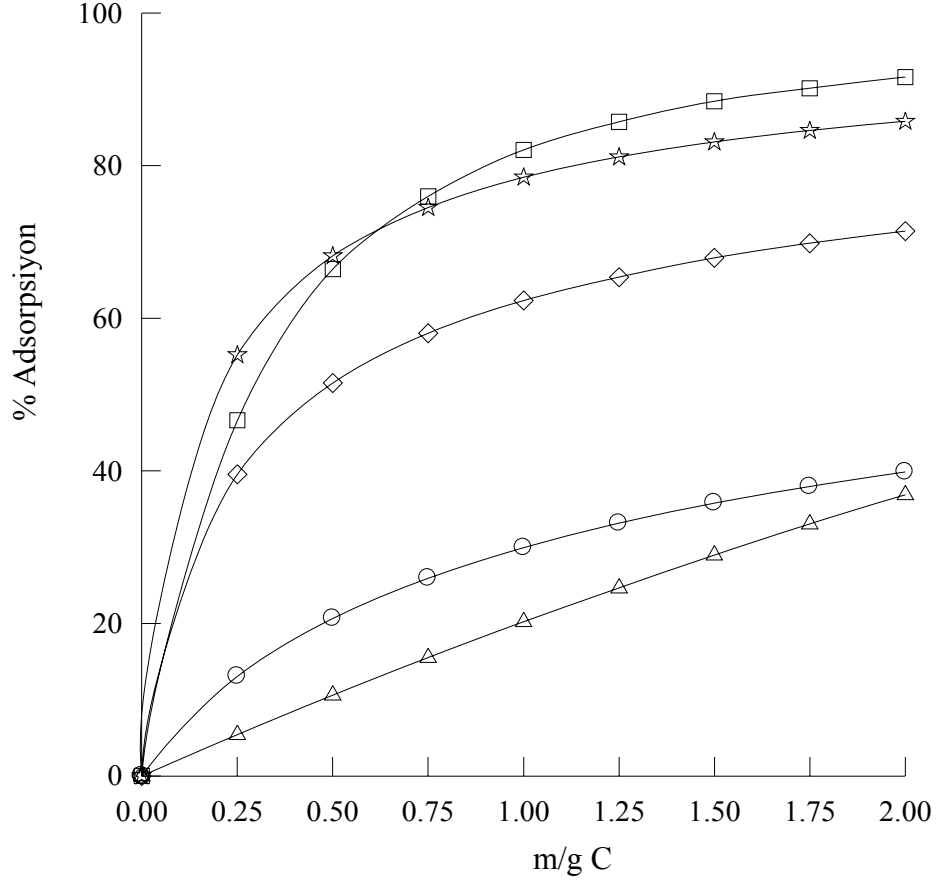


Şekil 5.28. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.

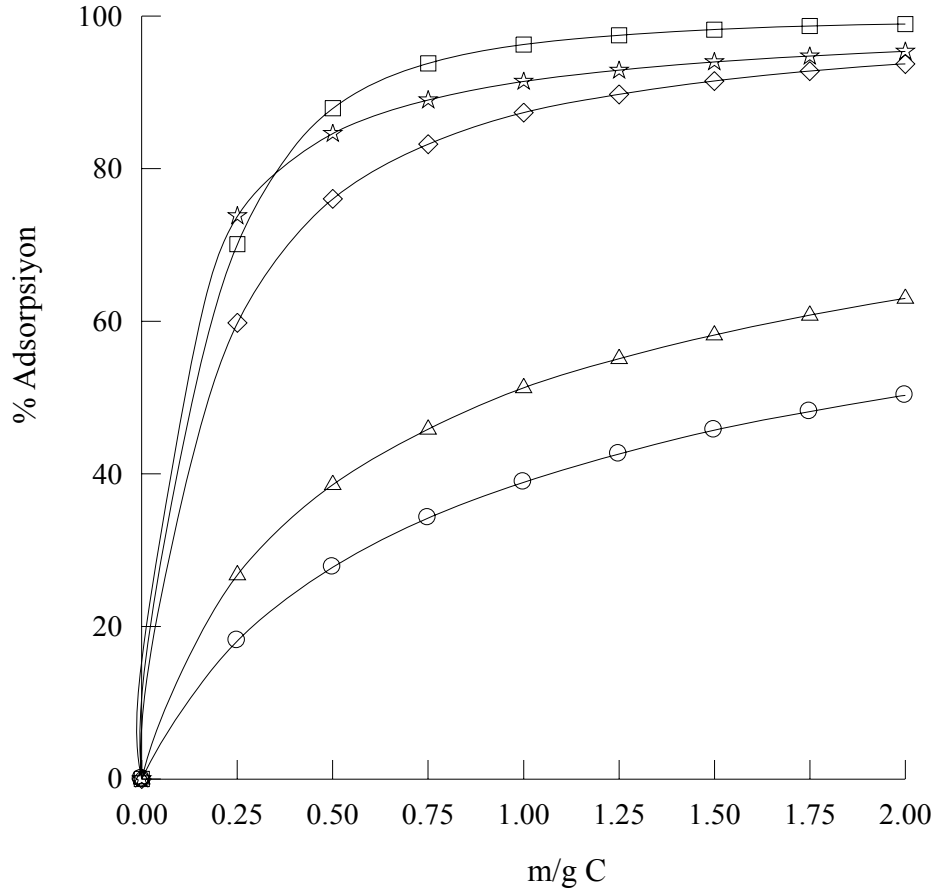


Şekil 5.29. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.

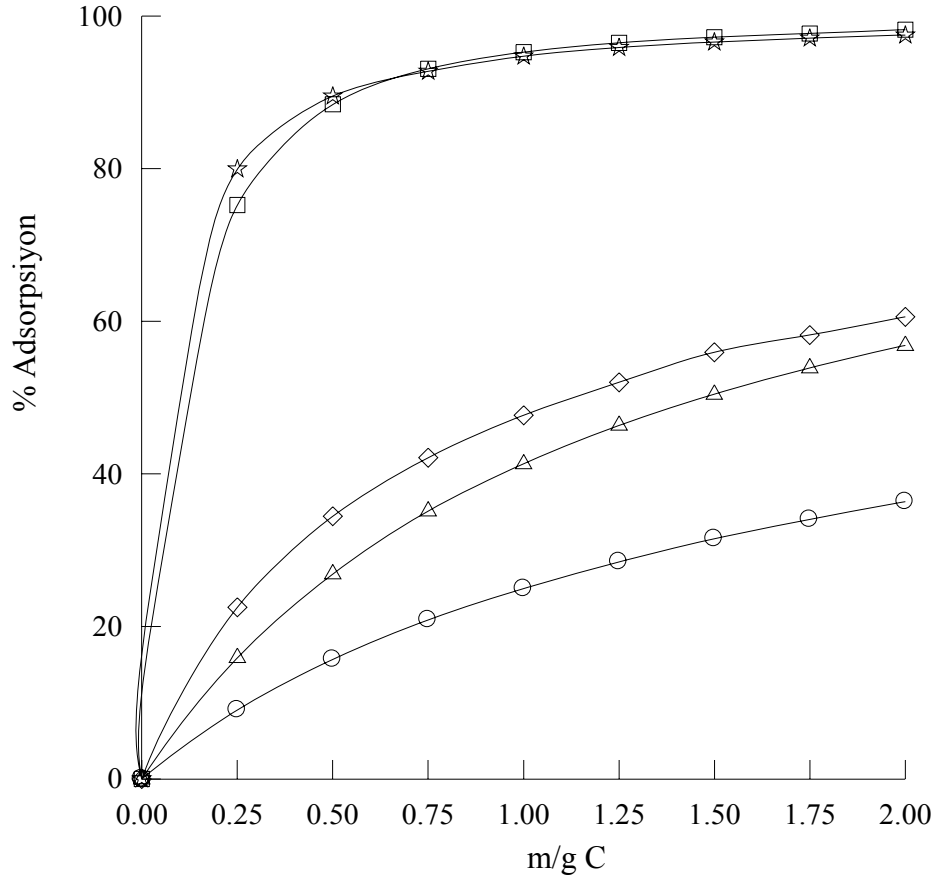




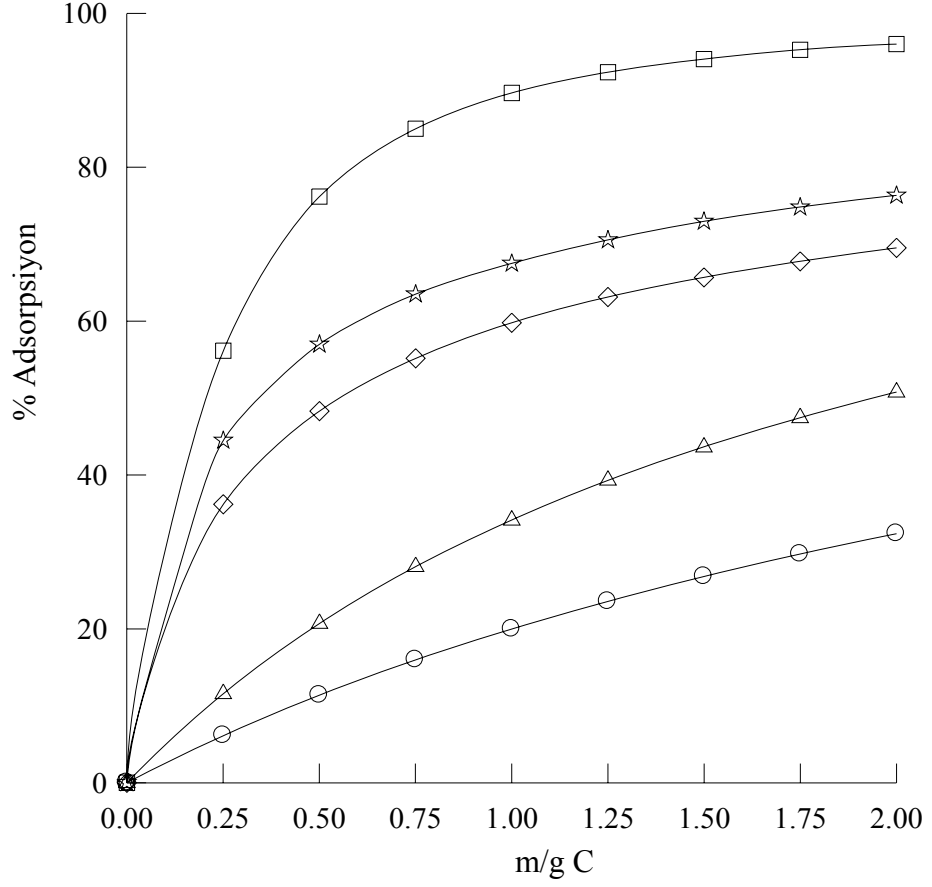
Şekil 5.30. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.



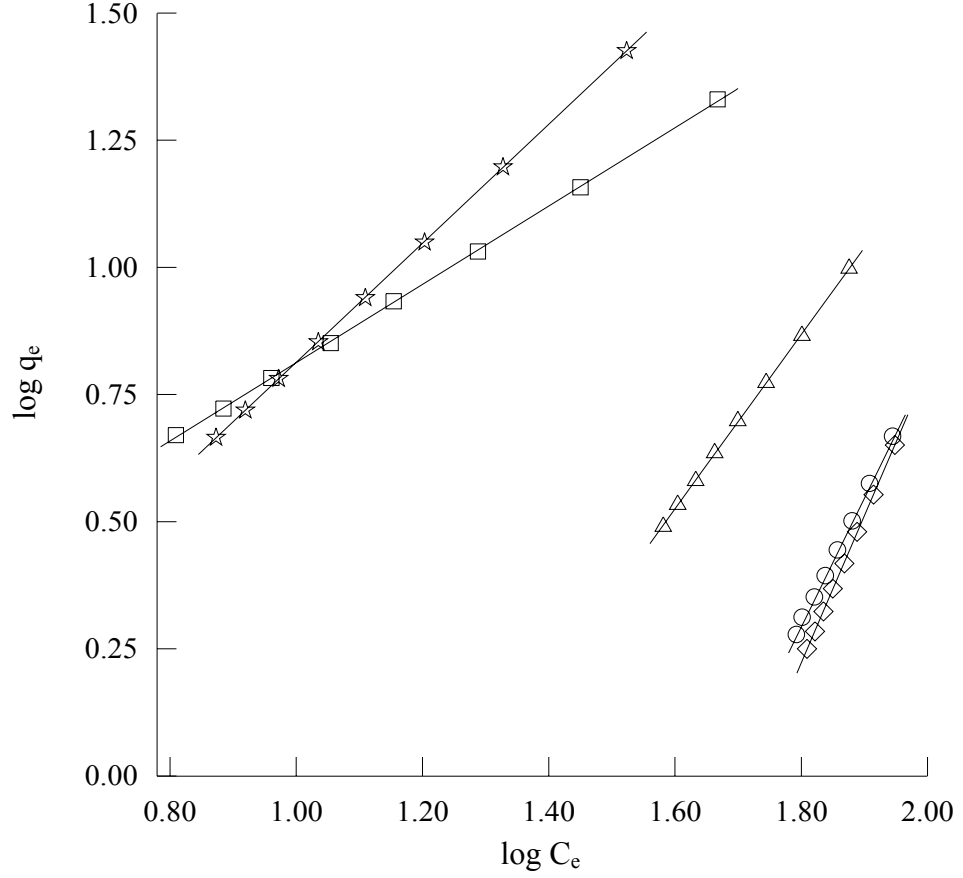
Şekil 5.31. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.



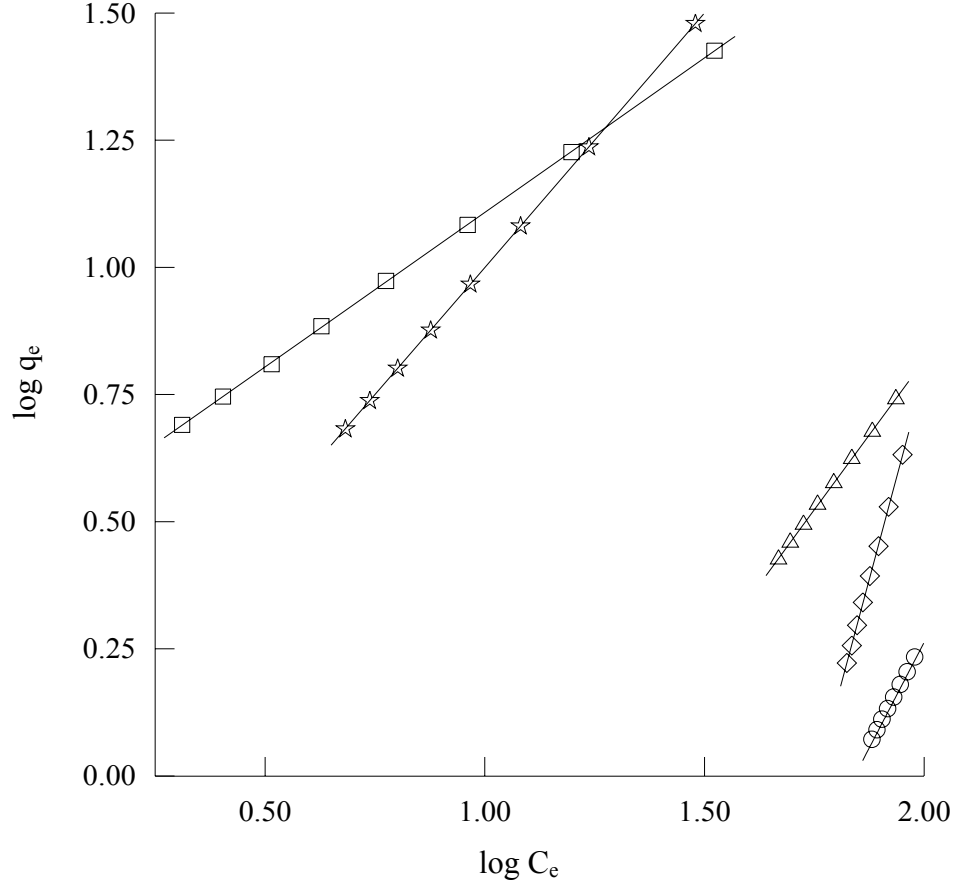
Şekil 5.32. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.



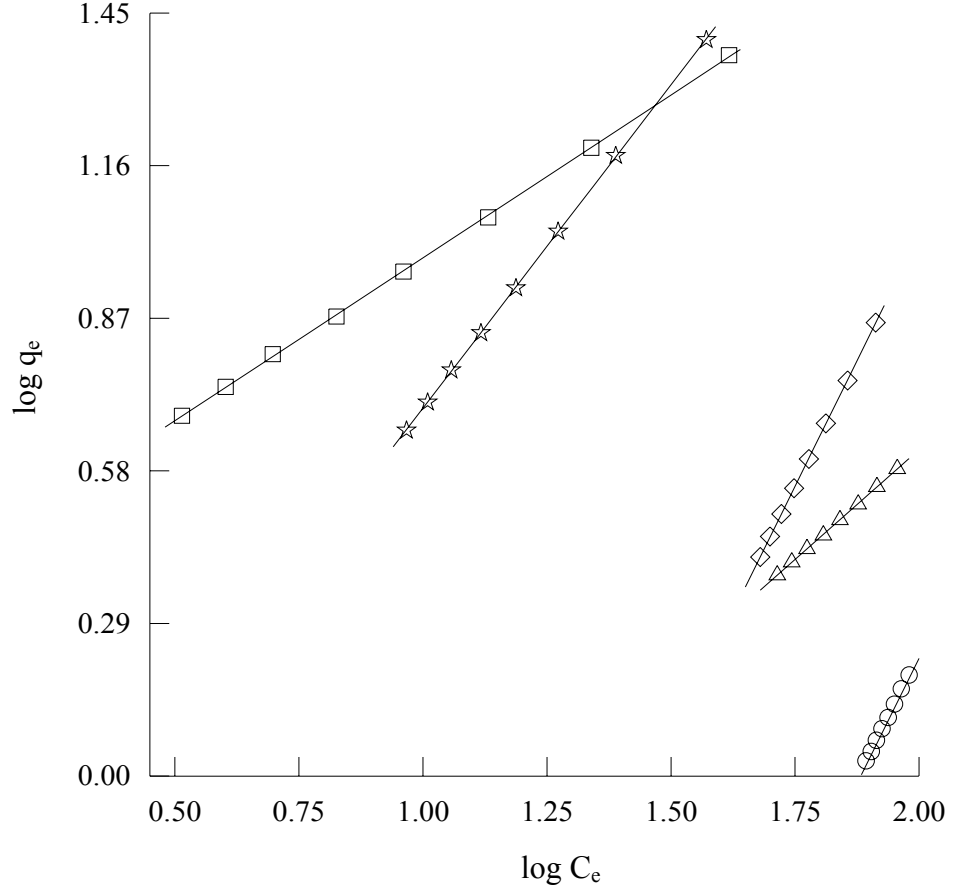
Şekil 5.33. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait % adsorpsiyonun adsorban miktarına karşı değişimi.



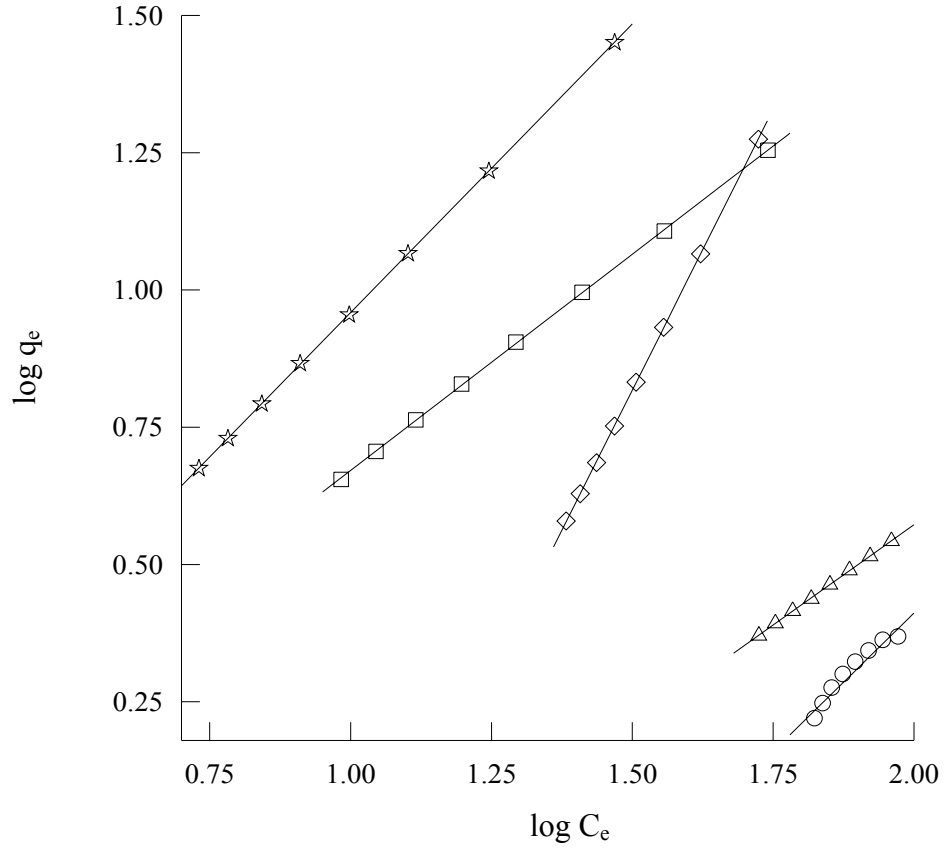
Şekil 5.34. Kimyasal aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Freundlich grafiği.



Şekil 5.35. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (o),  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\square$ ),  $\text{Fe}^{2+}$  ( $\Delta$ ),  $\text{Cr}^{5+}$  ( $\diamond$ ) ve  $\text{Ni}^{2+}$  ( $\star$ ) iyonlarına ait Freundlich grafiği.

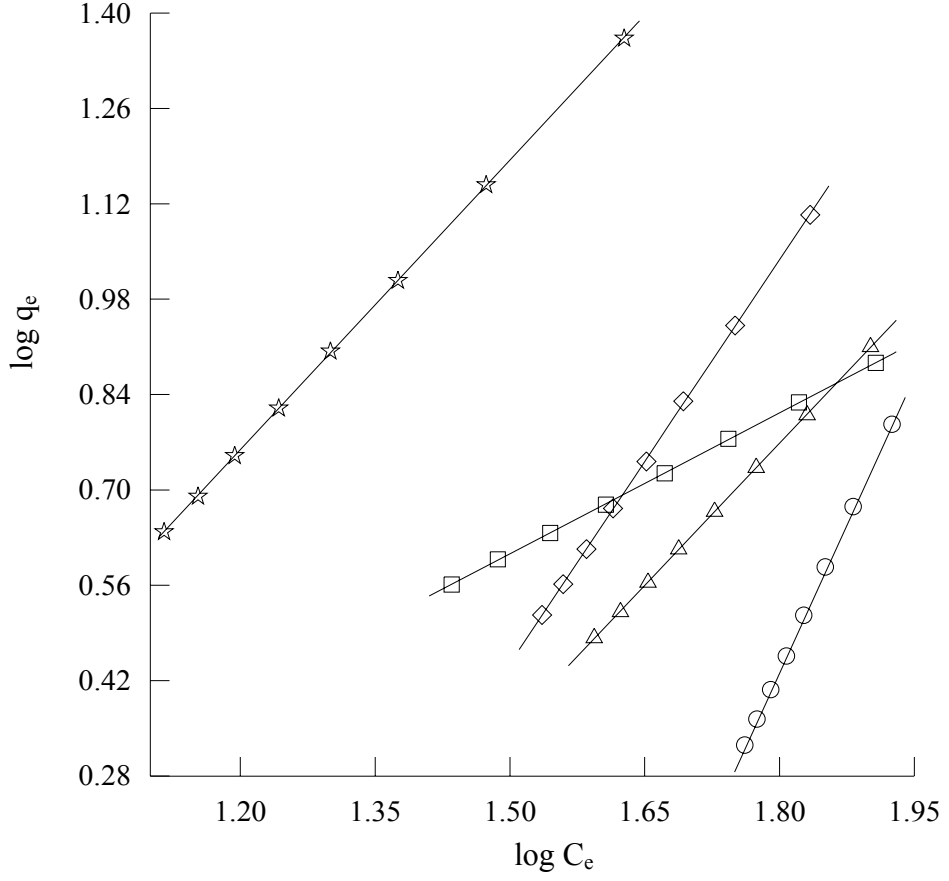


Şekil 5.36.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (o),  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\square$ ),  $\text{Fe}^{2+}$  ( $\Delta$ ),  $\text{Cr}^{5+}$  ( $\diamond$ ) ve  $\text{Ni}^{2+}$  ( $\star$ ) iyonlarına ait Freundlich grafiği.

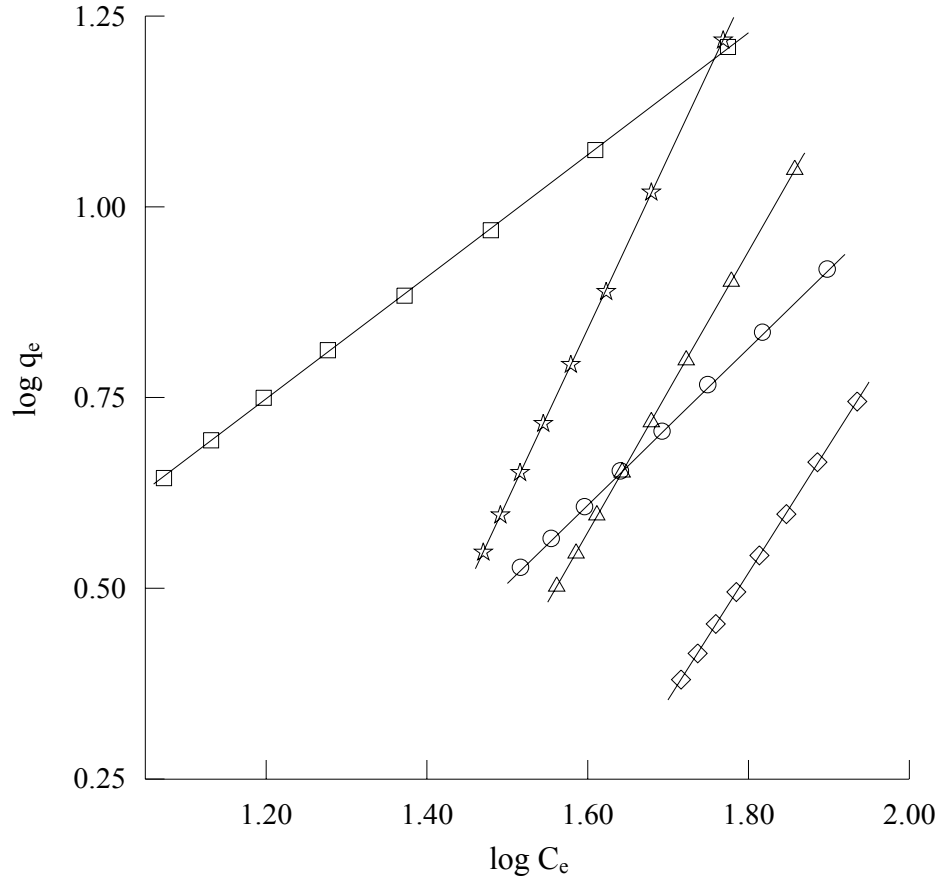


Şekil 5.37.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (o),  $\text{Cu}^{2+}$  (□),  $\text{Fe}^{2+}$  (Δ),  $\text{Cr}^{5+}$  (◇) ve  $\text{Ni}^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Freundlich grafiği.

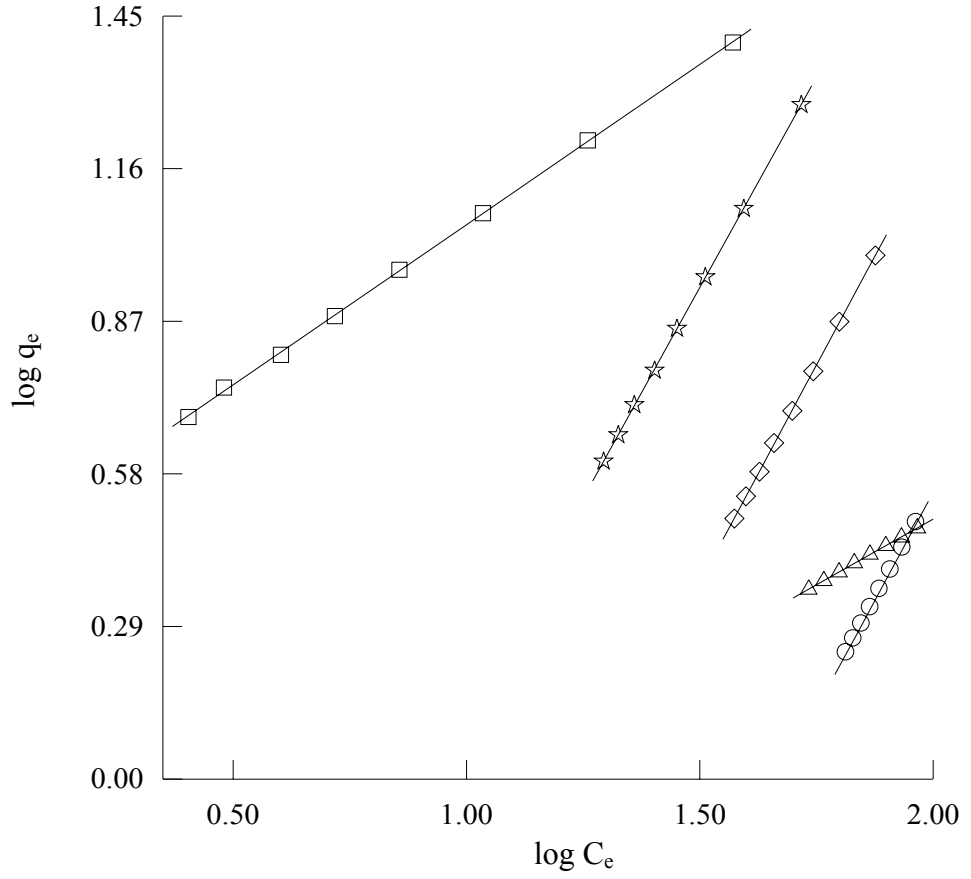




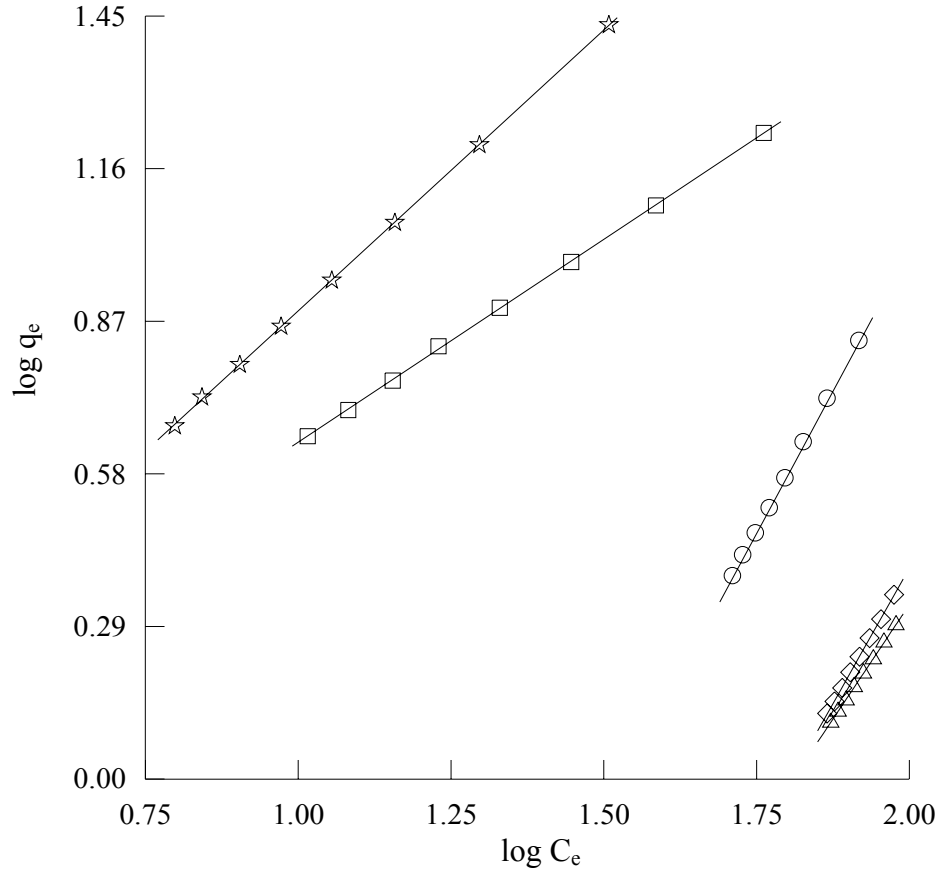
Şekil 5.38. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (○),  $\text{Cu}^{2+}$  (□),  $\text{Fe}^{2+}$  (Δ),  $\text{Cr}^{5+}$  (◇) ve  $\text{Ni}^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Freundlich grafiği.



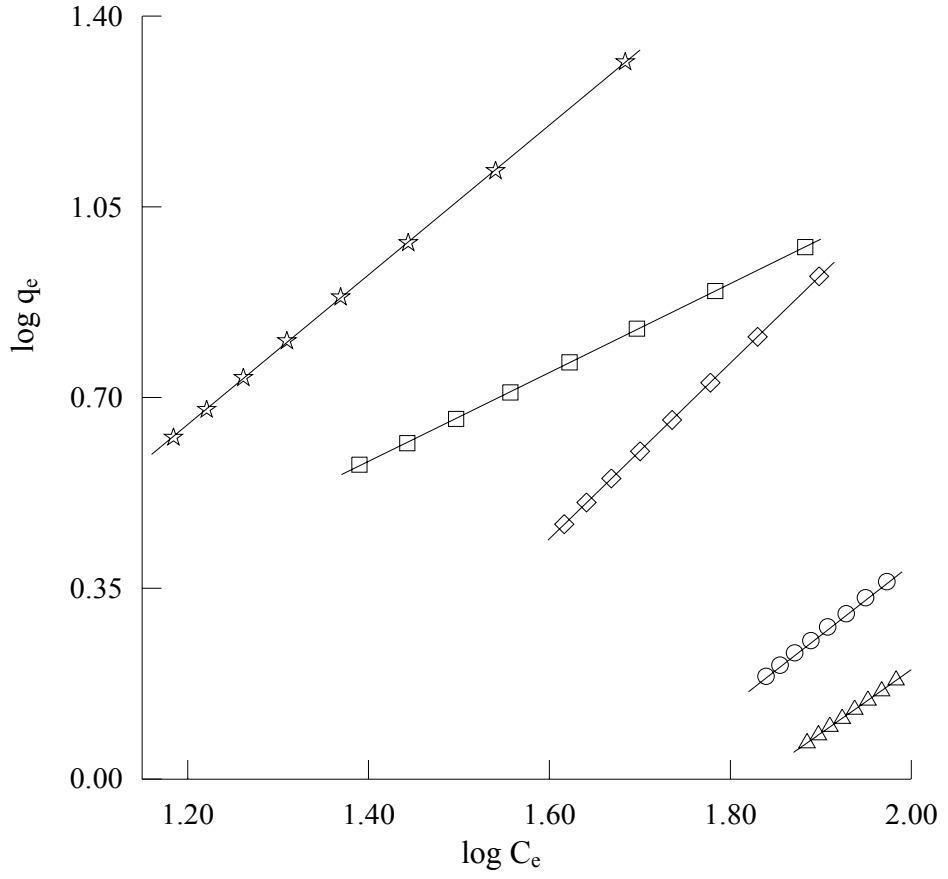
Şekil 5.39.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (o),  $\text{Cu}^{2+}$  (□),  $\text{Fe}^{2+}$  (Δ),  $\text{Cr}^{5+}$  (◇) ve  $\text{Ni}^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Freundlich grafiği.



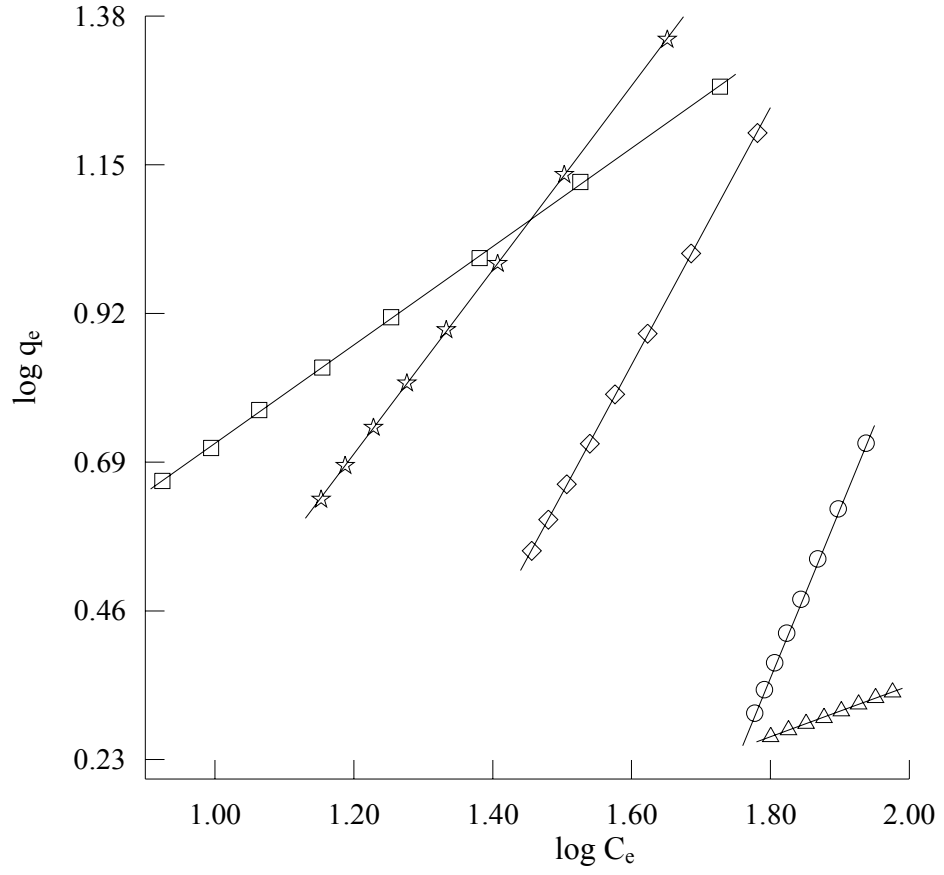
Şekil 5.40.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (o),  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\square$ ),  $\text{Fe}^{2+}$  ( $\Delta$ ),  $\text{Cr}^{5+}$  ( $\diamond$ ) ve  $\text{Ni}^{2+}$  ( $\star$ ) iyonlarına ait Freundlich grafiği.



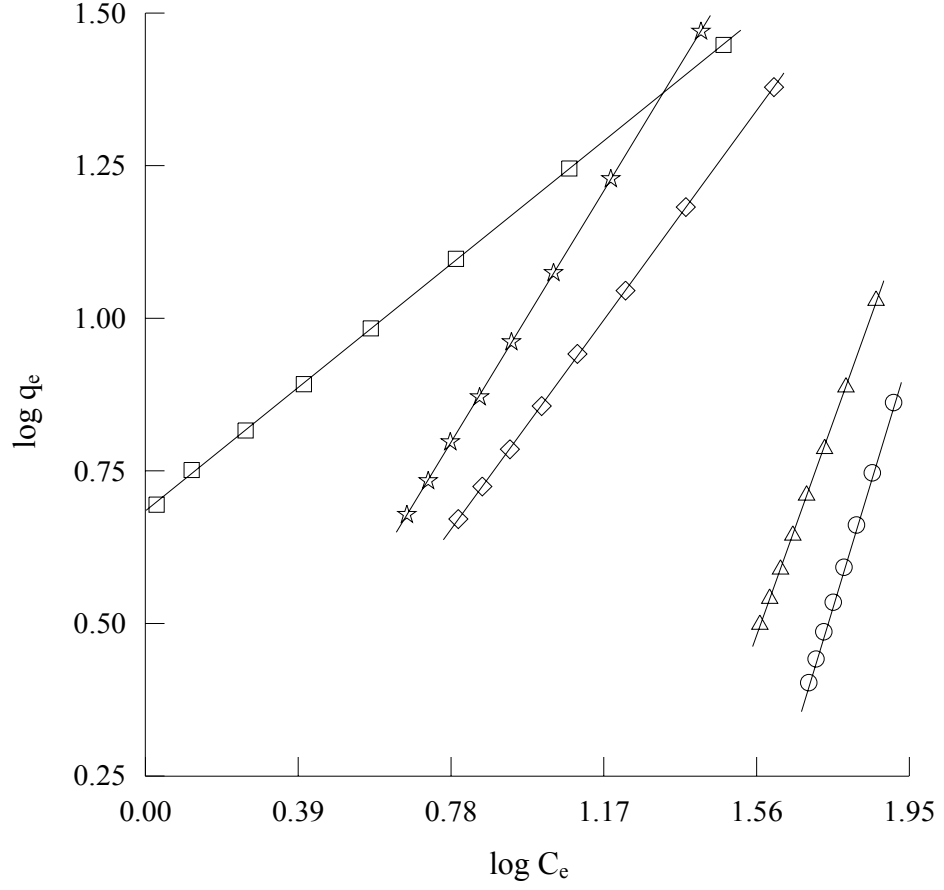
Şekil 5.41. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait Freundlich grafiği.



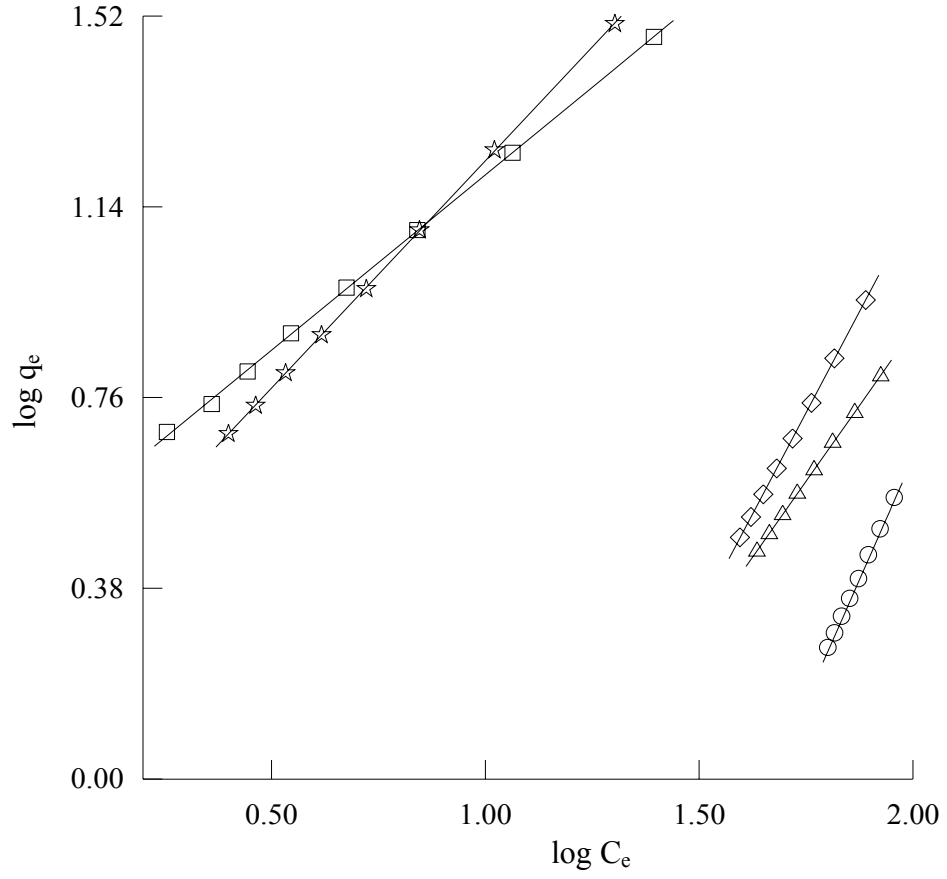
Şekil 5.42.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (○),  $\text{Cu}^{2+}$  (□),  $\text{Fe}^{2+}$  (△),  $\text{Cr}^{5+}$  (◇) ve  $\text{Ni}^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Freundlich grafiği.



Şekil 5.43.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (o),  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\square$ ),  $\text{Fe}^{2+}$  ( $\Delta$ ),  $\text{Cr}^{5+}$  ( $\diamond$ ) ve  $\text{Ni}^{2+}$  ( $\star$ ) iyonlarına ait Freundlich grafiği.

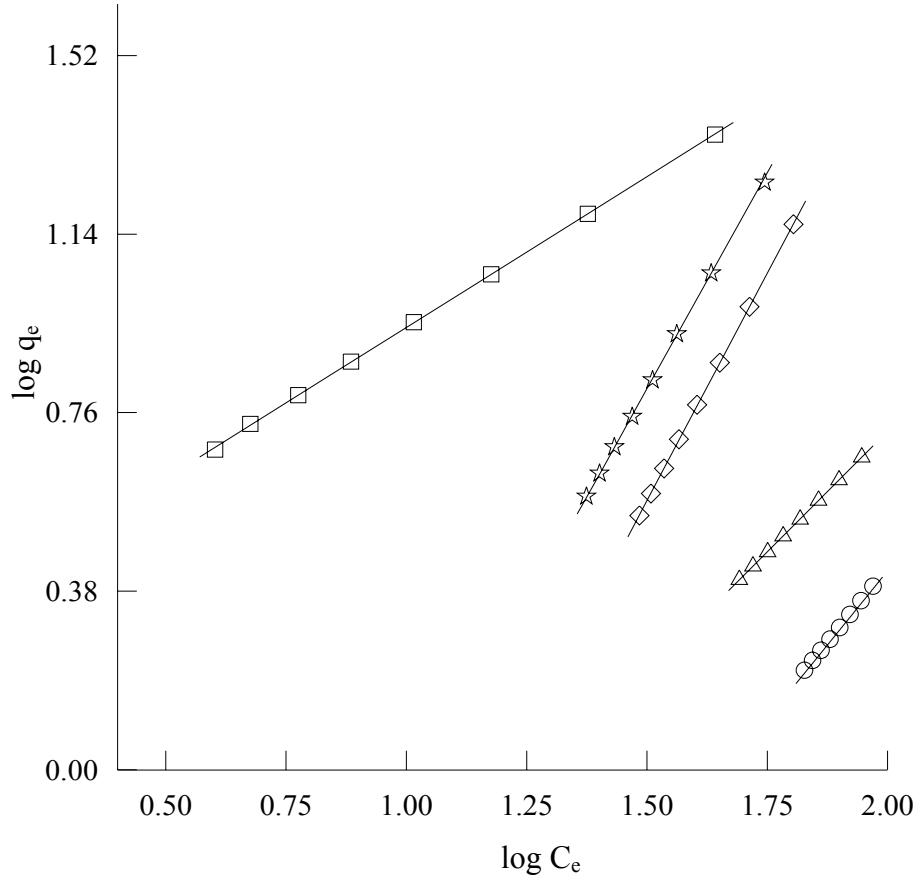


Şekil 5.44. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (o),  $\text{Cu}^{2+}$  (□),  $\text{Fe}^{2+}$  (Δ),  $\text{Cr}^{5+}$  (◇) ve  $\text{Ni}^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Freundlich grafiği.

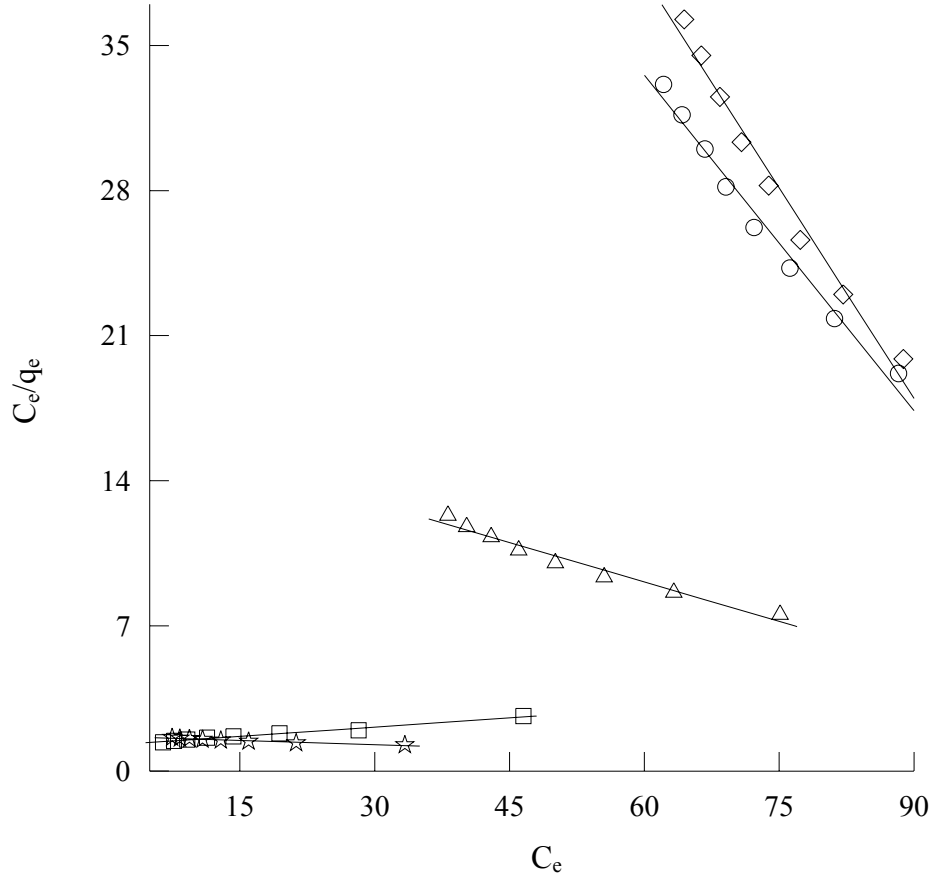


Şekil 5.45.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (o),  $\text{Cu}^{2+}$  (□),  $\text{Fe}^{2+}$  (Δ),  $\text{Cr}^{5+}$  (◇) ve  $\text{Ni}^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Freundlich grafiği.

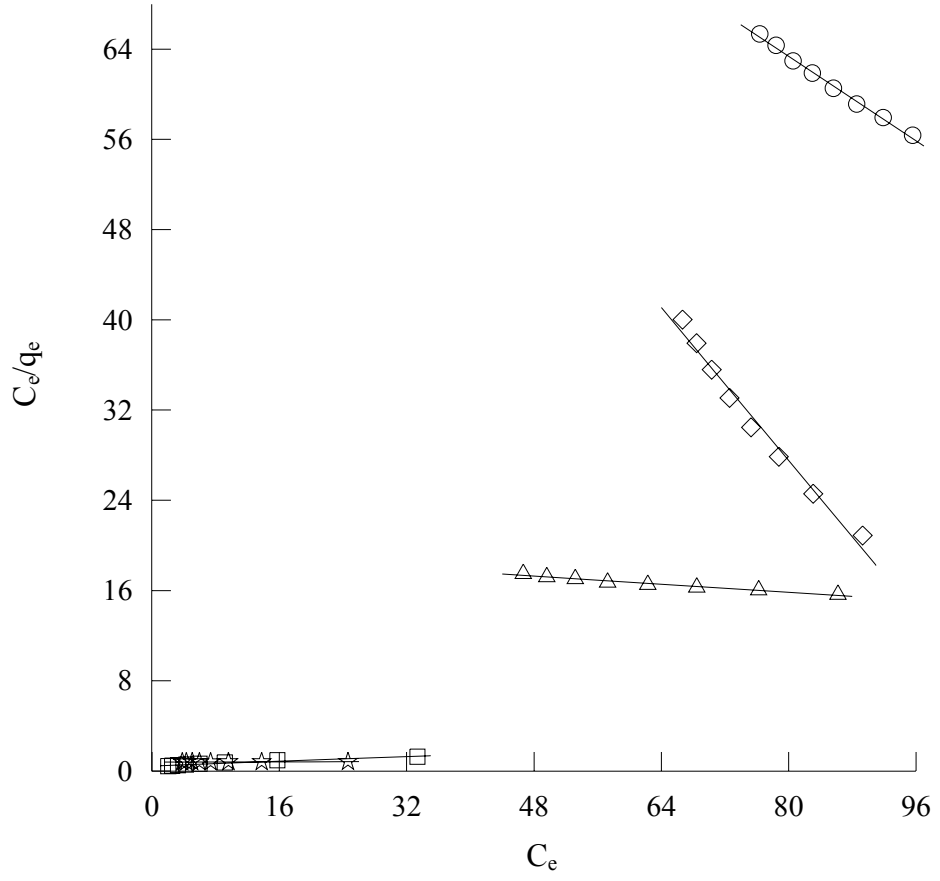




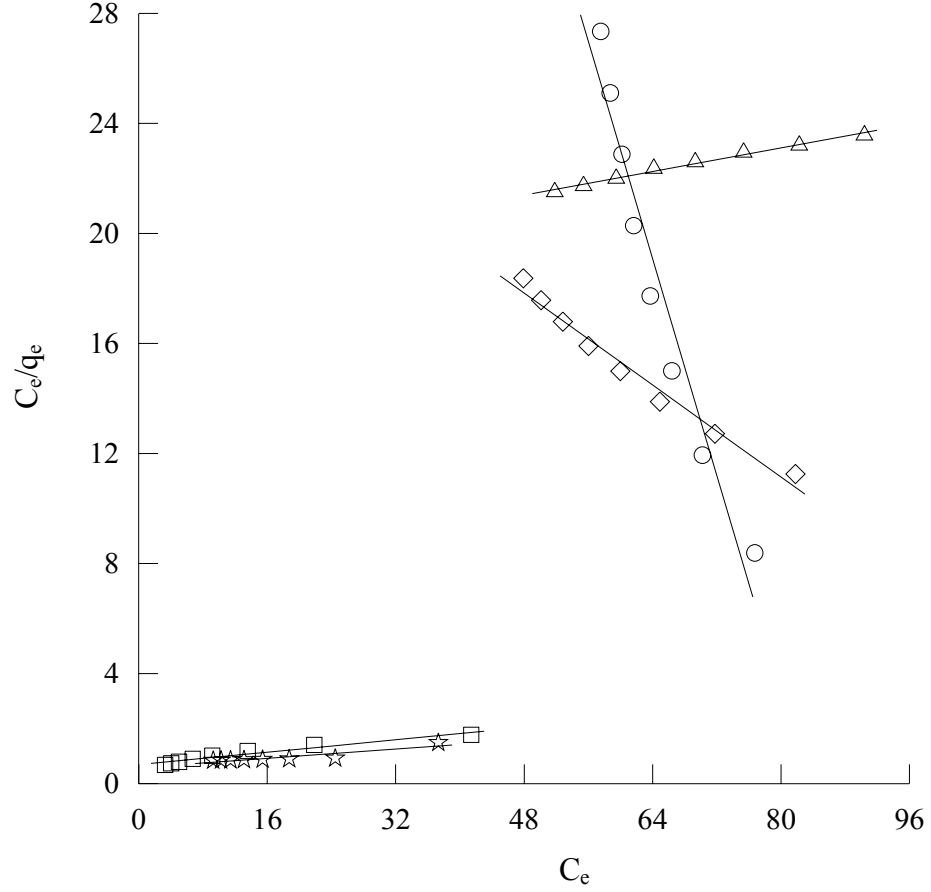
Şekil 5.46.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ\text{C}$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde  $\text{As}^{5+}$  (o),  $\text{Cu}^{2+}$  (□),  $\text{Fe}^{2+}$  (Δ),  $\text{Cr}^{5+}$  (◇) ve  $\text{Ni}^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Freundlich grafiği.



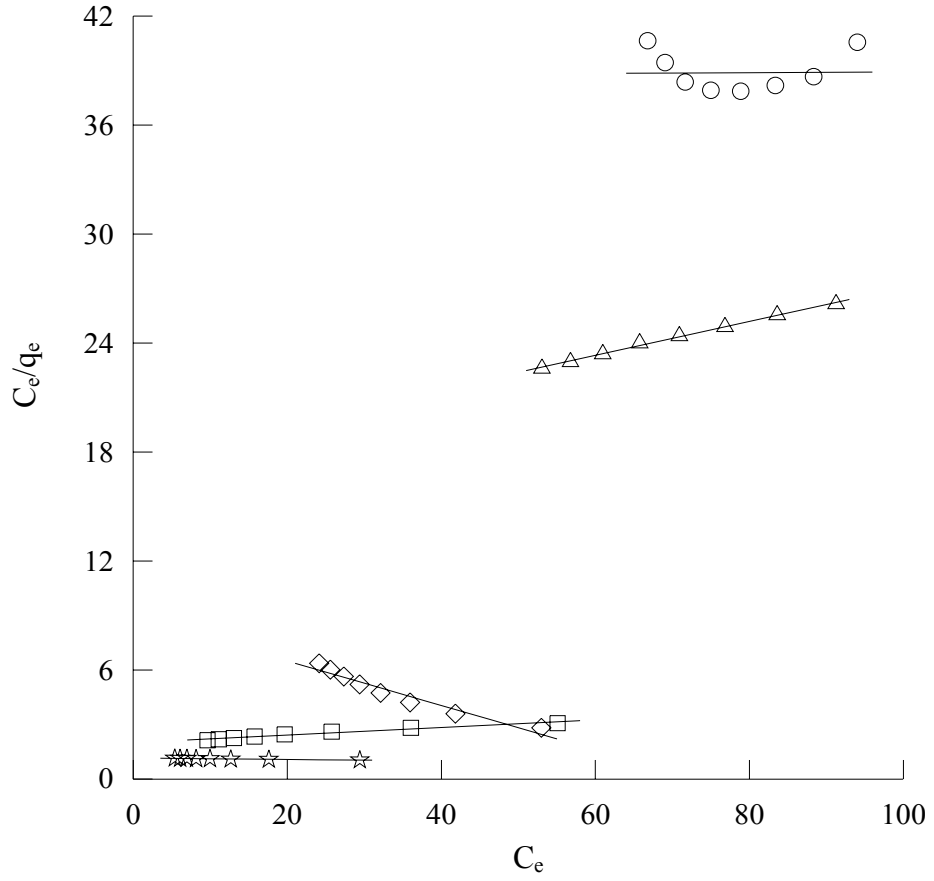
Şekil 5.47. Kimyasal aktivasyon işlemi görmemiş yumurta kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Langmuir grafiği.



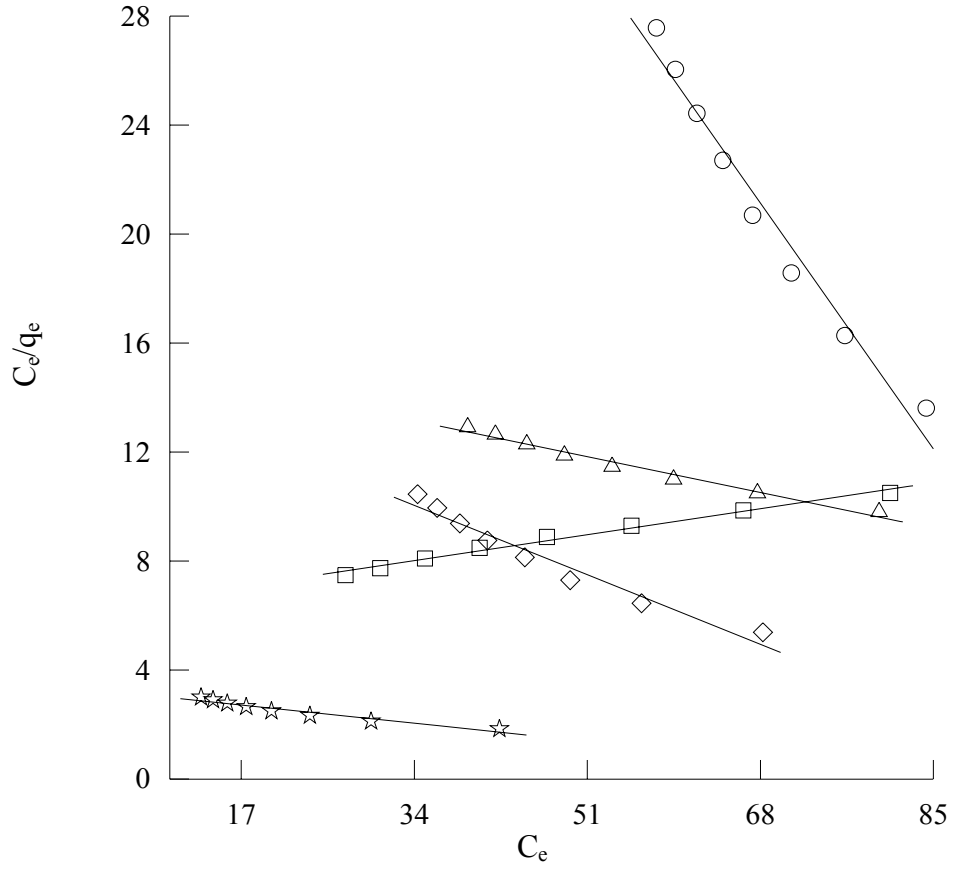
Şekil 5.48. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  ( $\square$ ),  $Fe^{2+}$  ( $\Delta$ ),  $Cr^{5+}$  ( $\diamond$ ) ve  $Ni^{2+}$  ( $\star$ ) iyonlarına ait Langmuir grafiği.



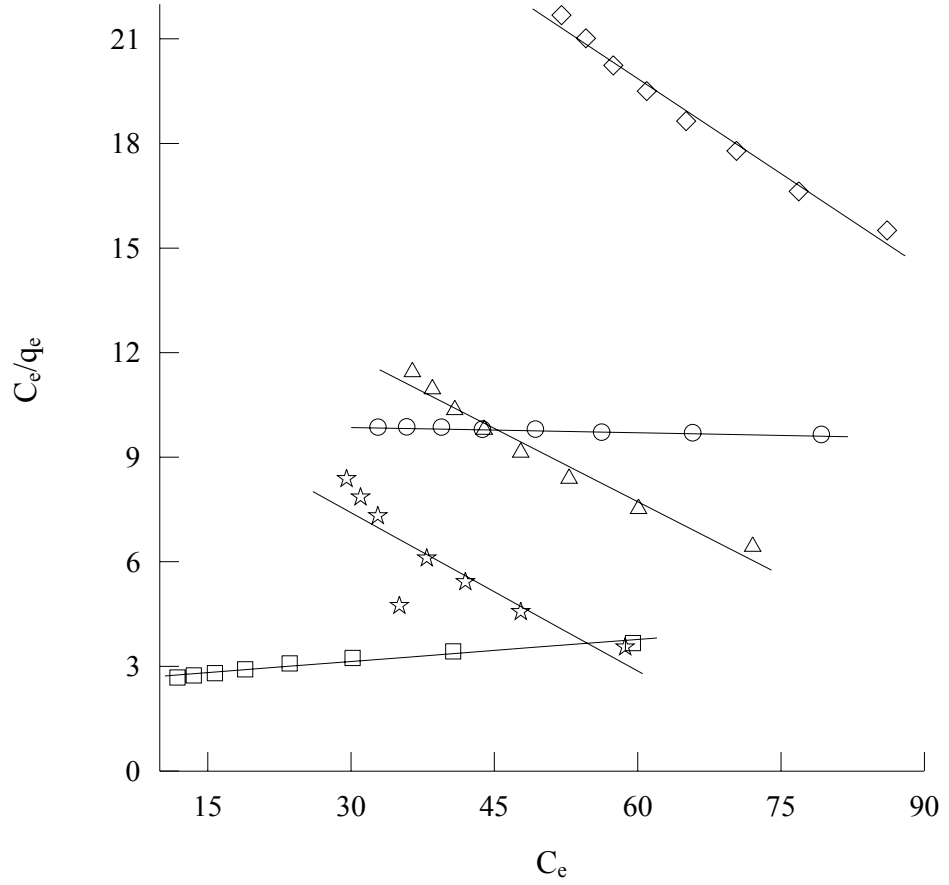
Şekil 5.49.  $H_2SO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Langmuir grafiği.



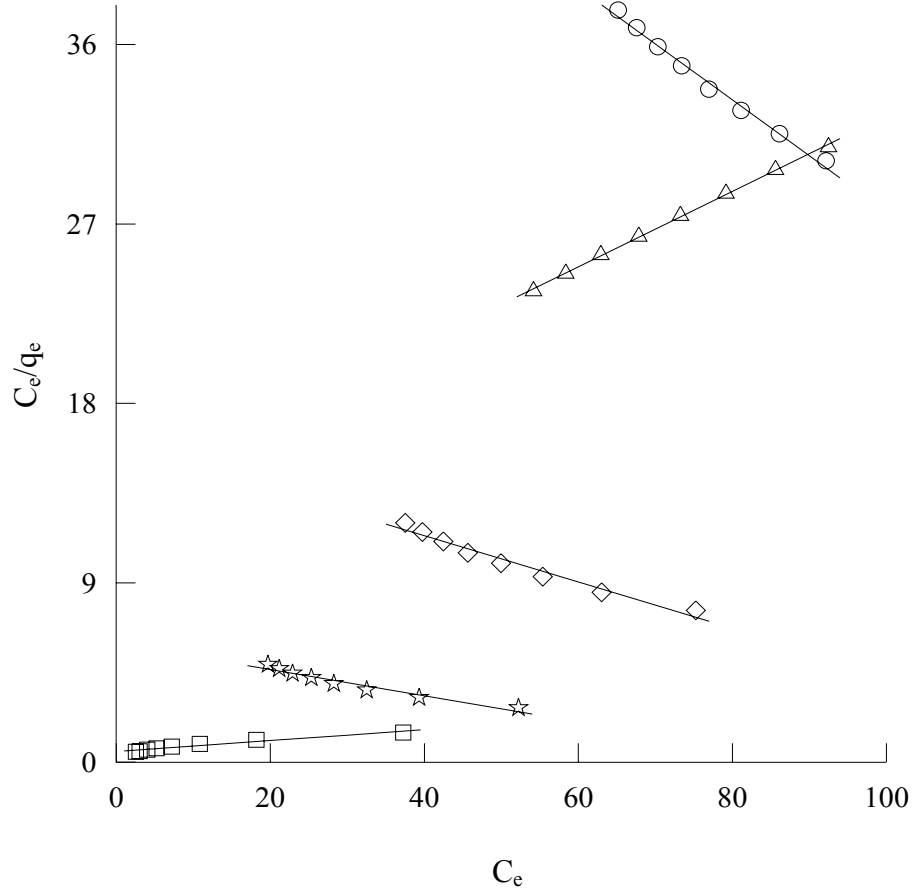
Şekil 5.50.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen antep fıstığı kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Langmuir grafiği.



Şekil 5.51. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  ( $\square$ ),  $Fe^{2+}$  ( $\Delta$ ),  $Cr^{5+}$  ( $\diamond$ ) ve  $Ni^{2+}$  ( $\star$ ) iyonlarına ait Langmuir grafiği.

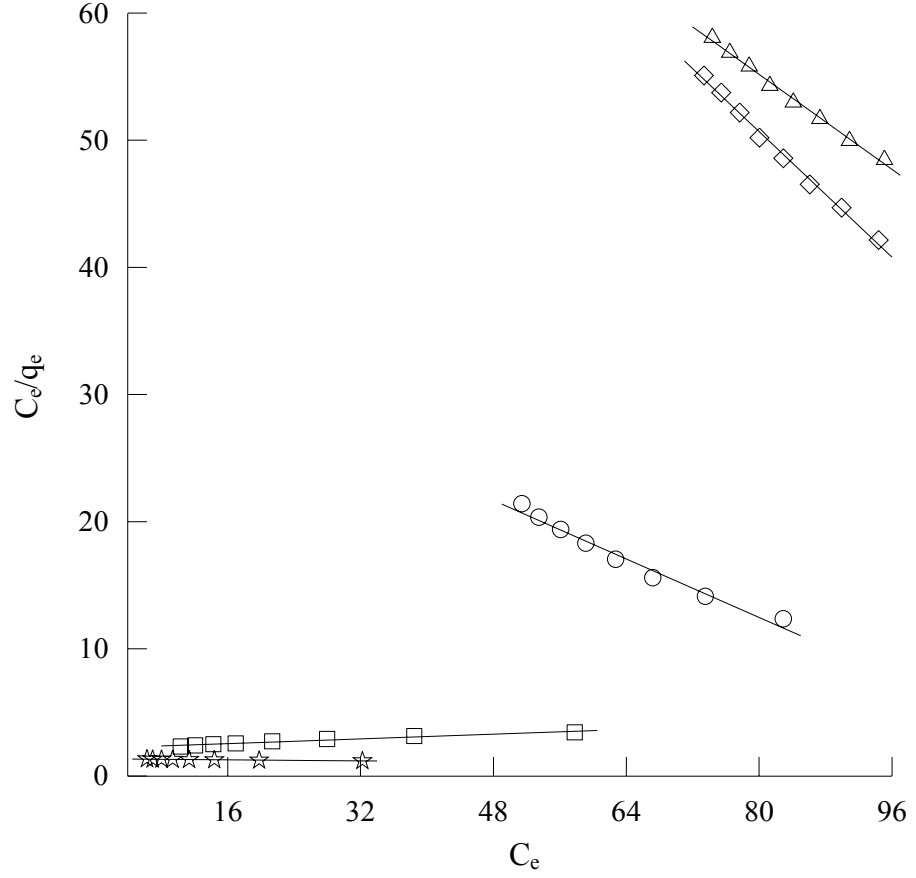


Şekil 5.52.  $H_2SO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Langmuir grafiği.

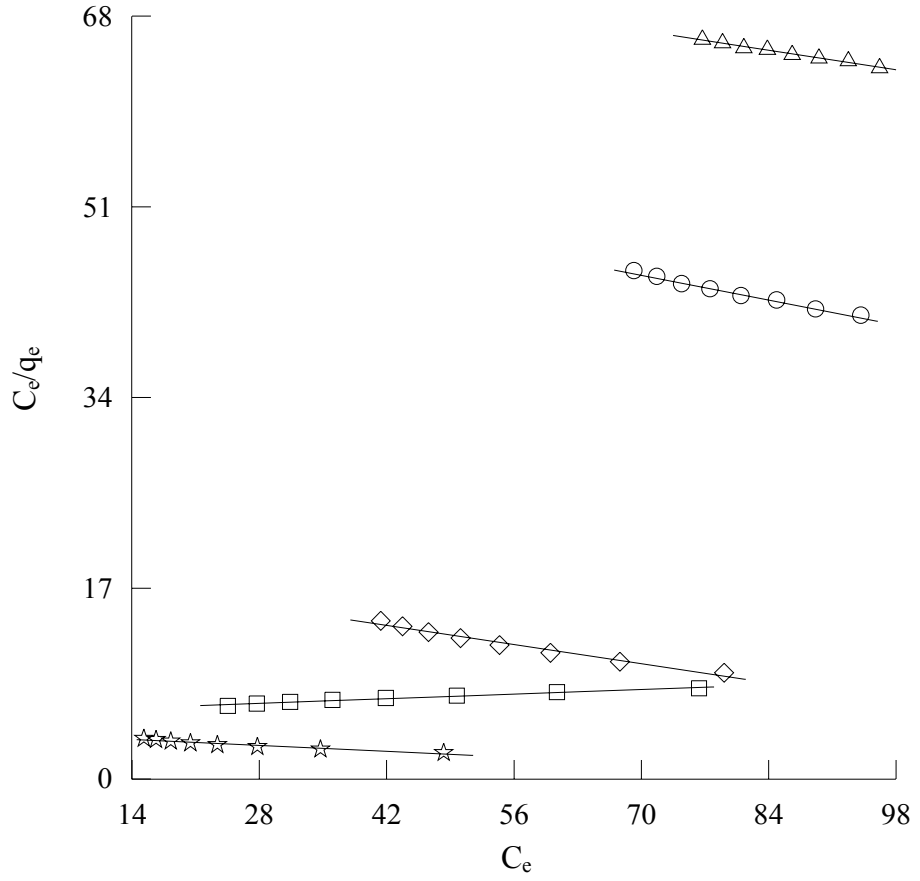


Şekil 5.53.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen fındık kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Langmuir grafiği.

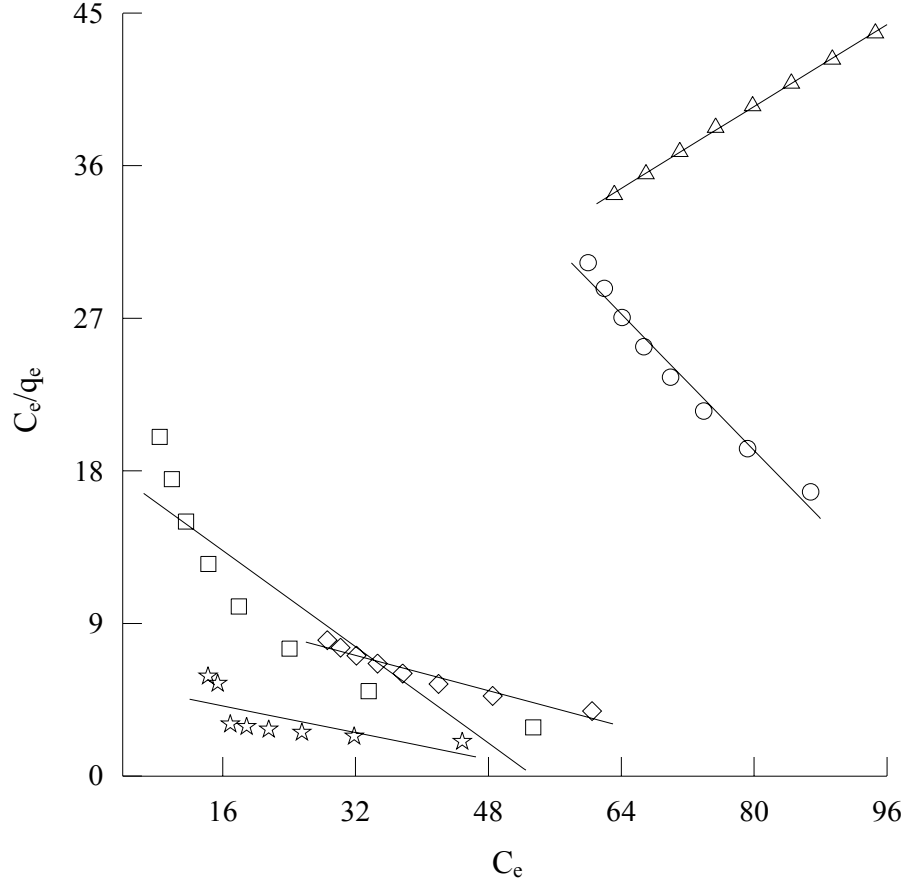




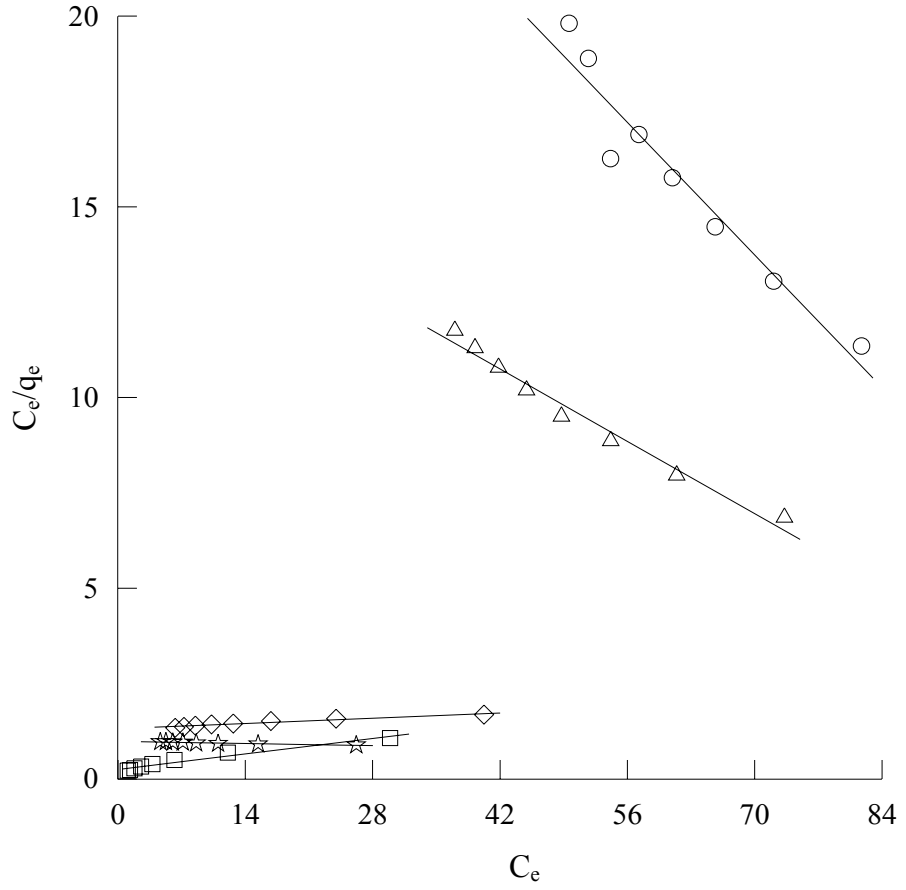
Şekil 5.54. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Langmuir grafiği.



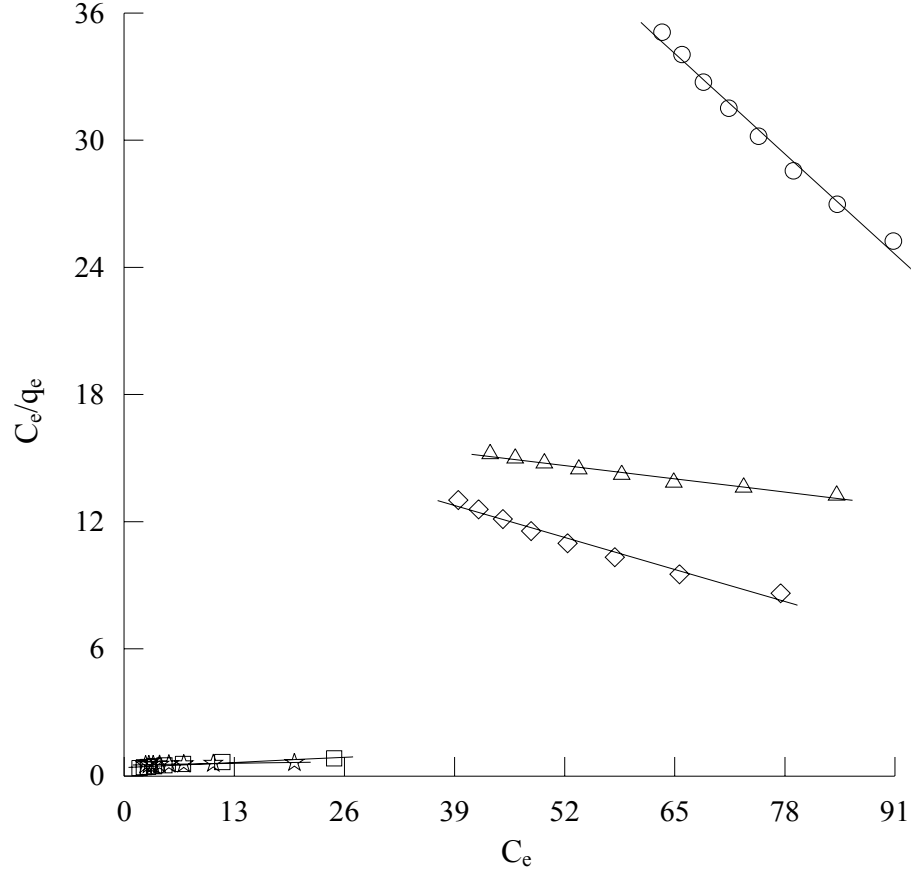
Şekil 5.55.  $H_2SO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Langmuir grafiği.



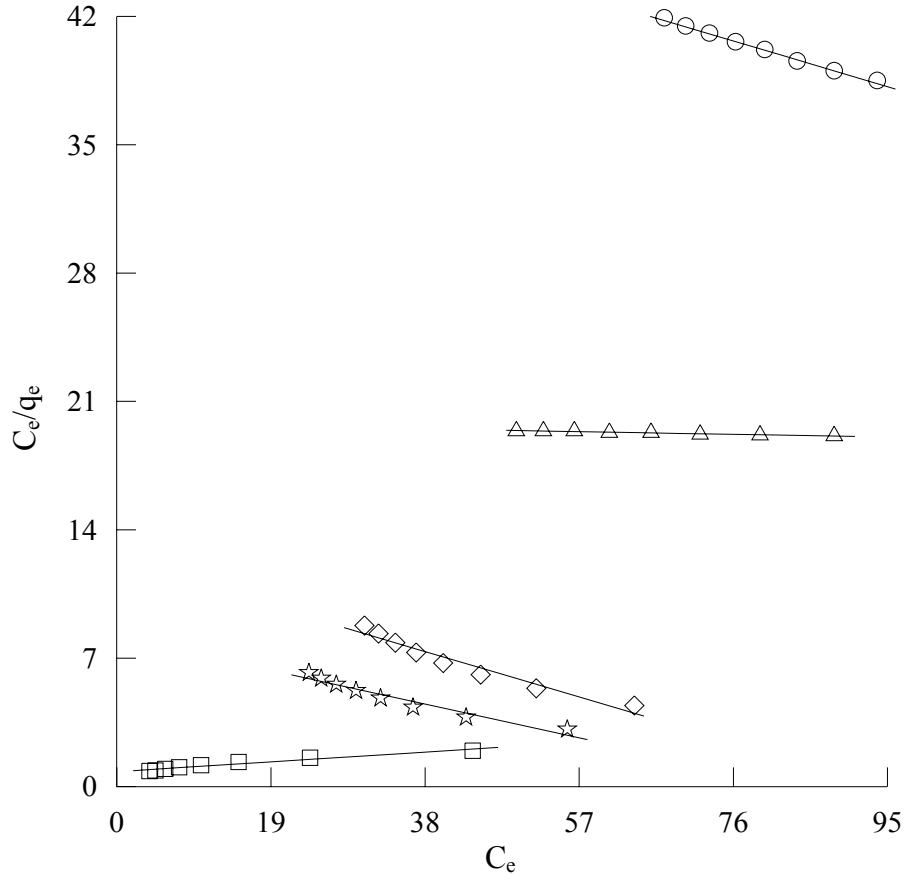
Şekil 5.56.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen pirinç kabuğu üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  ( $\square$ ),  $Fe^{2+}$  ( $\Delta$ ),  $Cr^{5+}$  ( $\diamond$ ) ve  $Ni^{2+}$  ( $\star$ ) iyonlarına ait Langmuir grafiği.



Şekil 5.57. HCl ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Langmuir grafiği.



Şekil 5.58. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edildikten sonra 600°C’de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde As<sup>5+</sup> (o), Cu<sup>2+</sup> (□), Fe<sup>2+</sup> (Δ), Cr<sup>5+</sup> (◇) ve Ni<sup>2+</sup> (☆) iyonlarına ait Langmuir grafiği.



Şekil 5.59.  $H_3PO_4$  ile aktive edildikten sonra  $600^\circ C$ 'de karbonize edilen zeytin çekirdeği üzerinde  $As^{5+}$  (o),  $Cu^{2+}$  (□),  $Fe^{2+}$  (Δ),  $Cr^{5+}$  (◇) ve  $Ni^{2+}$  (☆) iyonlarına ait Langmuir grafiği.

**KAYNAKLAR**

1. Karpuzcu, M., Çevre Mühendisliğine Giriş, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1984.
2. Roy, D., P. N. Greenlaw and B. S. Shane, Adsorption of Heavy Metals by Green Algae and Ground Rice Hulls, Journal of Enviromental Science and Health. Part A, Enviromental Science and Engineering, ISSN 0360-1226 CODEN JESEDU, Vol. A28, No. 1, pp. 37-50, 1993.
3. Manning, A. B., and S. Goldberg, Arsenic(III) and Arsenic(V) Adsorption on Three California Soils, Soil Science, Vol. 162(12), pp. 886-895, December 1997.
4. Namasivayam, C., and S. Senthilkumar, Removal of Arsenic(V) from Aqueous Solution Using Industrial Solid Waste: Adsorption Rates and Equilibrium Studies, Ind. Eng. Chem. Res., 37, 4816-4822, 1998.
5. Genç-Fuhrman, H., J. C. Tjell and D. McConchie, Adsorption of Arsenic from Water Using Activated Neutralized Red Mud, Environ. Sci. Technol., 38, 2428-2438, 2004.
6. Chuah, T. G., A. Jumariah, I. Azni, S. Katayon and S. Y. T. Choong, Rice Husk as a Potentially Low-Cost Biosorbent for Heavy Metal and Dye Removal: An Overview, Desalination, 175, 305-316, 2005.
7. Mohan, D., and C. U. Pittman Jr., Arsenic Removal from Water/Wastewater Using Adsorbents-A Critical Review, Journal of Hazardous materials, 142, 1-53, 2007.
8. Oke, I. A., N. O. Olarinoye and S. R. Adewusi, Adsorption Kinetics for Arsenic removal from Aqueous Solutions by Untreated Powdered Eggshell, Adsorption, 14, 73-83, 2008.
9. Yun-nen, C., and C. Li-yuan, Equilibrium and Kinetics of Arsenic(V) Sorption by Bone Char, The 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, ICBBE, pp. 3140-3143, 16-18 May, 2008.
10. Periasamy, K., and C. Namasivayam, Removal of Copper(II) by Adsorption onto Peanut Hull Carbon from Water and Copper Plating Industry Wastewater, Chemosphere, vol. 32, Issue 4, pp. 769-789, February 1996.
11. Namasivayam, C., and K. Kadirvelu, Agricultural Solid Wastes for the Removal of Heavy Metals: Adsorption of Cu(II) bu Coirpith Carbon, Chemosphere, Vol. 34, No. 2, pp. 377-399, 1997.
12. İnel, O., F. Albayrak ve A. Aşkın, Cu and Pb Adsorption on Some Bentonitic Clays, Turk. J. Chem., 22, 243-252, 1998.

13. Teker, M., M. İmamoğlu and Ö. Saltabaş, Adsorption of Copper and Cadmium Ions by Activated Carbon from Rice Hulls, *Turk. J. Chem.*, 23, 185-191, 1999.
14. Arpa, Ç., R. Say, N. Şatıroğlu, S. Bektaş, Y. Yürüm and Ö. Genç, Heavy Metal Removal from Aquatic Systems by Northern Anatolian Smektitcs, *Turk. J. Chem.*, 24, 209-215, 2000.
15. Schmuhl, R., H. M. Krieg and K. Keizer, Adsorption of Cu(II) and Cr(VI) Ions by Chitosan: Kinetics and Equilibrium Studies, *Water SA*, Vol. 27, No. 1, 1-7, 1 January 2001.
16. Ajmal, M., R. A. K. Rao and M. A. Khan, Adsorption of Copper from Aqueous Solution on *Brassica Cumpestris* (Mustard Oil Cake), *Journal of Hazardous Materials B*, 122, 177-183, 2005.
17. Deng, L., Y. Su, H. Su, X. Wang and X. Zhu, Biosorption of Copper(II) and Lead(II) from Aqueous Solutions by Nonliving Green Algae *Cladophora Fascicularis*: Equilibrium, Kinetics and Environmental Effects, *Adsorption*, 12, 267-277, 2006.
18. Argun, M. E., Ş. Dursun, C. Özdemir ve M. Karataş, Heavy Metal Adsorption by Modified Oak Sawdust: Thermodynamics and Kinetics, *Journal of Hazardous Materials*, 141, 77-85, 2007.
19. Tumin, N. D., A. L. Chuah, Z. Zawani and S. A. Rashid, Adsorption of Copper from Aqueous Solution by Elais Guineensis Kernel Activated Carbon, *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 3, No. 2, 180-189, 2008.
20. Eligwe, C. A., and N. B. Okolue, Adsorption of Iron(II) by a Nigerian Brown Coal, *Fuel*, Vol. 73, Issue 4, pp. 569-572, April 1994.
21. Onganer, Y., and Ç. Temur (Işık), Adsorption Dynamics of Fe(III) from Aqueous Solutions onto Activated Carbon, *Journal of Colloid and Interface Science*, 205, 241-244, 1998.
22. Uzun, İ., and F. Güzel, Adsorption of Some Heavy Metal Ions from Aqueous Solution by Activated Carbon and Comparison of Percent Adsorption Results of Activated Carbon with those of Some Other Adsorbents, *Turk. J. Chem.*, 24, 291-297, 2000.
23. Mohan, D., and S. Chander, Single Component and Multi-Component Adsorption of Metal Ions by Activated Carbons, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 177, 183-196, 2001.
24. Burke, A., E. Yılmaz, N. Hasırcı and O. Yılmaz, Iron(III) Ion Removal from Solution Through Adsorption on Chitosan, *Journal of Polymer Science*, Vol. 84, 1185-1192, 2002.



25. Nassar, M. M., K. T. Ewida, E. E. Ebrahiem, Y. H. Magdy and M. H. Mheadi, Adsorption of Iron and manganese Ions Using Low-Cost Materials as Adsorbents, *Adsorption Science and Technology*, Vol. 22, No. 1, pp. 25-37, 2004.
26. Ngah, W. S. W., S. A. Ghani and A. Kamari, Adsorption Behaviour of Fe(II) and Fe(III) Ions in Aqueous Solution on Chitosan and Cross-Linked Chitosan Beads, *Biosource Technology*, 96, 443-450, 2005.
27. Macnaughton, M. G., The Adsorption of Chromium (VI) at the Oxide/Water Interface, air Force Civil Engineering center Tyndall AFB FL, Interim rept. 1 Jul 1974-30 Jun 1975.
28. Aoki, T., and M. Munemori, Recovery of Chromium (VI) from Wastewaters with Iron(III) Hydroxide-I. Adsorption Mechanism of Chromium(VI) on Iron(III), *Water Research*, Vol. 16, No. 6, p. 793-796, June, 1982.
29. Lee, S. E., H. S. Shin and B. C. Paik, Treatment of Cr(VI) Containing Wastewater by Addition of Powdered Activated Carbon to the Activated Sludge Process, *Proceedings of the 42nd Industrial Waste Conference*, Purdue University, West Lafayette, Indiana, May 12-14, 1987.
30. Rai, D., L. E. Eary and J. M. Zachara, Environmental Chemistry of Chromium, *Sci. Total Environ*, Oct 1; 86(1-2): 15-23, 1989.
31. Sharma, Y. C., G. Prasad, D. C. Rupainwar and K. K. Panday, Inexpensive Adsorption Technique to Remove Cr (VI) from Aqueous Solutions, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, Volume 39, Issue 4, pages 401-410, August 1990.
32. Rao, P. S., S. R. Mise and G. S. Manjunatha, Kinetic Studies on Adsorption of Chromium by Coconut Shell Carbons from Synthetic Effluents, *Journal of Environmental Science and Health, Part A, Environmental Science and Engineering* ISSN 0360-1226 CODEN JESSEDU, Vol. 27, No. 8, pp. 2227-2241, 1992.
33. Tan, W. T., S. T. Ooi and C. K. Lee, Removal of Chromium(VI) from Solution by Coconut Husk and Palm Pressed Fibres, *Environmental Technology (Letters) ETLEDB*, Vol. 14, No. 3, p. 277-282, March 1993.
34. Singh, D. K., D. N. Saksena and D. P. Tiwari, Removal of Chromium(VI) from Aqueous Solutions, *Indian Journal of Environmental Health* ISSN 0367-827X CODEN IJEHBP, Vol. 36, No. 4, pp. 272-277, 1994.
35. Lee, C. K., K. S. Low and K. L. Kek, Removal of Chromium(VI) from Aqueous Solutions, *Biosource technology* ISSN 0960-8524, Vol. 54, No. 2, pp. 183-189, 1995.
36. Bosinco, S., J. Roussy, E. Guibal and P. L. Cloirec, Interaction Mechanisms between Hexavalent Chromium and Corncob, *Environmental Technology*, Vol. 17, No. 1, pp. 55-62 (8), 1 January 1996.

37. Raji, C., and T. S. Anirudhan, Chromium(VI) Adsorption by Sawdust Carbon: Kinetics and Equilibrium, *Indian Journal of Chemical technology* ISSN 0971-457X, Vol. 4, No. 5, pp. 228-236, 1997.
38. Raji, C., and T. S. Anirudhan, Batch Cr(VI) Removal by Polyacrylamide-Grafted Sawdust: Kinetics and Thermodynamics, *Wat. Res.*, Vol. 32, No. 12, pp. 3772-3780, 1998.
39. Dahbi, S., M. Azzi and M. de la Guardia, Removal of Hexavalent Chromium from Wastewaters by Bone Charcoal, *Fresenius J. Anal. Chem.*, 363: 404-407, 1999.
40. Hasar, H., and Y. Cuci, Removal of Cr(VI), Cd(II), and Cu(II) by Activated Carbon Prepared from Almond Husk, *Environmental Technology*, Vol. 21, No. 12, pp. 1337-1342(6), 1 December 2000.
41. Seng, C. E., C. G. Lee and K. Y. Liew, Adsorption of Chromium(VI) and Nickel(II) Ions on Acid- and Heat-Activated Deoiled Spent Bleaching Clay, *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, Vol. 78, No. 8, 831-835, 2001.
42. Dakiky, M., M. Khamis, A. Manassra and M. Mer'eb, Selective Adsorption of Chromium(VI) in Industrial Wastewater Using Low-Cost Abundantly Available Adsorbents, *Advances in Environmental Research*, 6, 533-540, 2002.
43. Katsumata, H., S. Kaneco, K. Inomata, K. Itoh, K. Funasaka, K. Masuyama, T. Suzuki and K. Ohta, Removal Heavy Metals in Rinsing Wastewater from Plating Factory by Adsorption with Economical Viable Materials, *Journal of Environmental Management*, 69, 187-191, 2003.
44. Demirbaş, E., M. Kobya, E. Şentürk and T. Özkan, Adsorption Kinetics for the Removal of Chromium(VI) from Aqueous Solutions on the Activated carbons prepared from Agricultural Wastes, *Water SA*, Vol. 30, No. 4, 533-539, October 2004.
45. Singh, K. K., R. Rastogi and S. H. Hasan, Removal of Cr(VI) from Wastewater Using Rice Bran, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 290, Issue 1, pages 61-86, 1 October 2005.
46. Malkoç, E., Y. Nuhoglu and M. Dündar, Adsorption of Chromium(VI) on Pomace-An Olive Oil Industry Waste: batch and Column Studies, *Journal of Hazardous materials*, B 138, 142-151, 2006.
47. Malkoç, E., and Y. Nuhoglu, Potential of Tea Factory Waste for Chromium(VI) Removal from Aqueous Solutions: Thermodynamic and Kinetic Studies, *Separation and Purification Technology*, 54, 291-298, 2007.
48. Demiral, H., İ. Demiral, F. Tümsük and B. Karabacakoglu, Adsorption of Chromium(VI) from Aqueous Solution by Activated Carbon Derived from Olive Bagasse and Applicability of Different Adsorption Models, *Chemical Engineering Journal*, 144, 188-196, 2008.

49. Koppelman, M. H., and J. G. Dillard, A Study of the Adsorption of Ni(II) and Cu(II) by Clay Minerals, *Clays and Clay Minerals*, Vol. 25, pp. 457-462, 1977.
50. Kadirvelu, K., K. Thamaraiselvi and C. Namasivayam, Adsorption of Nickel(II) from Aqueous Solution onto Activated Carbon Prepared from Coirpith, *Separation and Purification Technology* ISSN 1383-5866, Vol. 24, No. 3, pp. 497-505, 2001.
51. Weng, C.-H., Removal of Nickel(II) from Dilute Aqueous Solution by Sludge-Ash, [Journal of Environmental Engineering](#), Vol. 128, No. 8, pp. 716-722, August 2002.
52. Kobya, M., E. Demirbaş, E. Şentürk ve M. İnce, Adsorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions by Activated Carbon Prepared from Apricot Stone, *Biosource Technology*, 96, 1518-1521, 2005.
53. Barrow, N. J., J. Gerth and G. W. Brümmer, Reaction Kinetics of the Adsorption and Desorption of Nickel, Zinc and cadmium by Goethite. II Modeling the Extent and Rate of Reaction, *European Journal of Soil Science*, Vol. 40, Issue 2, pp. 437-450, 28 Jul 2006.
54. Akporhonor, E. E., and P. A. Egwaikhide, Removal of Selected Metal Ions from Aqueous Solution by Adsorption onto Chemically Modified maize Cobs, *International Journal of Applied Environmental Sciences* ISSN 0973-6077 Vol. 2, No. 2, pp. 93-94, 2007.
55. Çevik, T., S. Top, E. Sekman, R. Yazıcı, M. S. Bilgili, A. Demir, G. Varank ve E. Karakaya, Nikelin Bentonitle Adsorpsiyonunun İzoterm, Kinetik ve Termodinamik Analizi,
56. Rouquerol F., J. Rouquerol ve K. Sing, “Adsorption by Powdwers and Porous Solids”, Academic Pres, 1999.
57. Sarıkaya Y., “Fizikokimya”, A.Ü. Fen Fak., Gazi Kitabevi, Ankara, 1993.
58. Everett D. H., “UIPAC Manual Appendix II”, Part I, *Pure Appl. Chem.* 31 (1973) 579; Part II: “Heterogeneous Catalysis”, *Pure Appl. Chem.*, 31 (1976), 71.
59. Laidler, K. J., 1987, *Chemical Kinetics*, 3 rd Edn. Harper and Row Publishers, NewYork.
60. Langmuir, L., 1916, *J. Am. Chem. Soc.*, 38,2221.
61. Berkem, A. R., S. Baykut ve M. L. Berkem, 1994, *Fizikokimya*, İ. Ü. İletişim Fakültesi Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul, Üniversite Yayın No. 3628, Fakülte Yayın No. 81, 831-847.

62. Gregg S.J., K. S. W. Sing, "Adsorption, Surface Area and Porosity", Academic Pres, 1982
63. Yang, J., Shen, Z., and Hao, Z. (2004). Preparation of Highly Microporous and Mesoporous Carbon from the Mesophase Pitch and Its Carbon Foams with KOH. *Carbon*. 42: 1872-1875.
64. Girgis, B. S., Yunis, S. S., and Soliman, A. M. (2002). Characteristics of Activated Carbon from Peanut Hulls in Relation to Conditions of Preparation. *Mater. Lett.* 57: 164-172.
65. SenGupta, A. K. (2002). Principles of Heavy Metals Separation: An Introduction. In: SenGupta, A. K., ed. *Environmental Separation of Heavy Metals: Engineering Processes*. New York: Lewis Publishers. 1-14.
66. Gomez-Serrano, V., Macias-Garcia, A., Espinosa-Mansilla, A. and Valenzuela-Calahorro, C. (1998). Adsorption of Mercury, Cadmium and Lead from aqueous solution on the Heat-Treated and Sulphurized Activated Carbon. *Water Res.* 32 (1): 1-4.
67. Hassler, J. W. (1974). *Purification with Activated Carbon: Industrial Commercial Environmental*. New York, USA: Chemical Publishing Co., Inc. Ho, Y. S., and Mckay, G. (2000). The kinetics of Sorption of Divalent Metal Ions into Sphagnum Moss Peat. *Water Res.* 34: 735-742.
68. Cini, R., Pantani, F., and Sorace, G. (1980). Physicochemical Aspects of the Use of Activated Carbon in Drinking Water Treatment. In: Suffet, I. H., and McGuire, M. J., ed. *Activated Carbon Adsorption of Organics from the Aqueous Phase Volume I*. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science Publishers Inc. 425-446.
69. Faust, S. D., and Aly, O. M. (1987). *Adsorption Processes for Water Treatment*. Stoneham, MA, USA: Butterworth Publishers.
70. Boehm, H. P. (2002). Surface Oxides on Carbon and Their Analysis: A Critical Assessment. *Carbon*. 40: 145-149.
71. Corapcioglu, M. O., and Huang, C. P., (1987). The Adsorption of Heavy Metals onto Hydrous Activated Carbon. *Water Res.* 21: 1031-1044.
72. Mattson, J. S., and Mark, H. B. (1971). *Activated Carbon: Surface Chemistry and Adsorption from Solution*. New York: Marcel Dekker, Inc. Mohan, D., and Chander, S. (2001). Single Component and Multi-Component Metal Ions Adsorption by Activated Carbons. *Colloid. Surf. A*. 177: 183-196.
73. Reed, B. E., Vaughan, R., and Jiang, L. (2000). As(III), As(V), Hg, and Pb Removal by Fe-oxide Impregnated Activated Carbon. *J. Environ. Eng.* 126: 869-873
74. Jeffrey A. Coutts, Graham C. Wilson, Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland, "Optimum Egg Quality", Avitech, 2007.

75. Bongiorno L., “Green, Greener, Greenest”, A Perigee Book, 2008.
76. Şahin, M., 2006, Antep Fıstığı Kabuklarından Polimer Kompozit Malzeme üretimi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 67 s.
77. Kepoğlu, G., Özçelik, E., ve Akyurt, M., 1976. Antepfıstığı Kabuğunun Çeşitli Yükler Altında İncelenmesi, Gıda, 1(45):147-154
78. Fiskobirlik, “Fındık”, <http://www.fiskobirlik.gov.tr/findik> , (2003).
79. Yıldız, S., Balaydı, İ.,Ulucan, Z. Ç., 2007, Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 19 (1), 85-91,
80. Srivastava V. C., M. I. Deo., M. I. Mani, 2006, “Characterization of mesoporous rice husk ash (RHA) and adsorption kinetics of metal ions from aqueous solution onto RHA”, Journal of Hazardous Materials B134, 257-267.
81. Aydın ili Arastırma ve Geliştirme Vakfı Raporları, 2001
82. Grant D.C., Skribi M. C., and Saha A.K., “Removal of radioactive contaminants from west valley waste streams using natural zeolites”, Environ. Prog., 6, 104-109, 1987.
83. Berkem A.R., ve Baykut S., “Fizikokimya”, İ. Ü. Kimya Fak., İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 42, 791, 1980
84. Bhattacharya A.K., and Venkobachar C., “Removal of cadmium (II) by low-cost adsorbents”, J. Environ. Eng., 110, 110-122, 1984.
85. Kirk-Othmer (1971), “Encyclopedia of Chemical Technology”, M. Dekker Inc., Vol 2, 880-920.
86. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, ed: Gerhartz, W., Vo1.A5., VCH, Germany, (1986). Pp: 124-140.
87. Patrick, P.J., (1995) “Porosity in Carbons”, Edward Arnold, 209-253, Great Britain.
88. Langmuir I., “The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part 89. I. Solids”, J. Am. Chem. Soc., 38 (1916), 2221-2295.
89. Li-Hua Wang, Chun-I Lin, 2009, Equilibrium study on Chromium (III) ion removal by adsorption onto rice hull ash, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 40, 110-112.

90. Brunauer S., P. H. Emmett, E. Teller, "Adsorption of Gases in Multimolecular Layers" *J. Am. Chem. Soc.*, 60 (1938), 309-319, 1938.
91. Oscik J., "Adsorption", Ellis Horwood, Chichester, PWN, 1975.
92. Temkin M. I., Pyzhev, V., "Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalysts", *Acta Physicochim. URSS*, 12 (1940), 327-356
93. IUPAC Manual of Symbols and Terminology of Colloid Surface, Butterworths, London, 1982. p. 1.
94. Yalçın N., V. Sevinç, "Studies on silica obtained from rice husk", *Ceramics International*, 27, 2001, 219-224.
95. Hsu L., Hsisheng T., "Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal", *Fuel Processing Technology*, 64, 2000, 155-166.

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımın her aőamasında bilimsel katkıları ile bana yardımcı olan ve manevi desteğini esirgemeyen tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin TOPALLAR'a ve değerli hocalarıma en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalıőmalarım süresince desteğini esirgemeyen ağabeyim Mutlu KARAGÖZ'e ve her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

## ÖZGEÇMİŞ

28.07.1986 tarihinde Çorlu'da doğdum. İlk ve orta öğretime Ankara'da, liseyi Gelibolu'da bitirdim. 2005 yılında Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümünde öğrenimime devam ettim.

2009 Haziran ayında lisans öğrenimimi tamamladıktan sonra 2009 Eylül ayında yüksek lisansa başladım. Halen Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Fizikokimya Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimimi sürdürmekteyim.