

## **GIDA ATIKLARINDAN AKTİF KARBON ÜRETİMİ VE AKTİF KARBONUN GIDA ENDÜSTRİSİNDE UYGULAMALARI**

**Eda Ülkeryıldız Balçık<sup>1</sup>, Mehmet Torun<sup>2</sup>, Hilal Şahin Nadeem<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye

<sup>2</sup>Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

Geliş / Received: 10.08.2019; Kabul / Accepted: 09.12.2019; Online baskı / Published online: 17.02.2020

Ülkeryıldız Balçık, E., Torun, M., Şahin Nadeem, H. (2020). Gıda atıklarından aktif karbon üretimi ve aktif karbonun gıda endüstrisinde uygulamaları. *GIDA* (2020) 45 (2): 217-229 doi: 10.15237/gida.GD19127

Ülkeryıldız Balçık, E., Torun, M., Şahin Nadeem, H. (2020). Production of active carbon from food wastes and the applications of active carbon in food industry. *GIDA* (2020) 45 (2): 217-229 doi: 10.15237/gida.GD19127

### **ÖZ**

Aktif karbonlar, yüksek gözenek hacimleri (0,5-1,5 cm<sup>3</sup>/g) ve geniş yüzey alanları (500-2000 m<sup>2</sup>/g) ile hem fiziksel hem de kimyasal olarak mükemmel adsorban malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Aktif karbonlar ayırma, saflaştırma, uzaklaştırma ve geri kazanım süreçlerinde, tıp, çevre, kimya, enerji, metalurji, tekstil ve gıda gibi alanlarda kullanılmaktadır. Aktif karbonların, karbon içeriği yüksek, inorganik madde içeriği düşük çeşitli biyokütle atıklarından üretilebilmesi ve rejenerasyonla tekrar kullanılabilmesi avantaj sağlamaktadır. Gıda endüstrisinde aktif karbon; içecek endüstrisinde renk, koku ve tat düzenleyici, şeker-şurup endüstrisinde renk ağartıcı, klimakterik meyve ve sebzelerde raf ömrü kontrolü, organik madde adsorplama veya besinsel olmayan toksik madde uzaklaştırma, kızartma yağı ve içme suyu arıtımı gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Aktif karbonların gıda endüstrisindeki güncel uygulamaları ise; aerobik sindirim prosesleri, modifiye atmosfer uygulamaları, saflaştırma, yeni nesil antimikrobiyal ajan üretimi, uçucu organik bileşen uzaklaştırma ve aroma geri kazanımı çalışmalarıdır. Ayrıca, yüksek verimli ayırma ve saflaştırma için elektrokimyasal gıda sensörleri ve elektromanyetik aktif karbonlar üretilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** aktif karbon, gıda atıkları, gıda endüstrisi, ayırma, saflaştırma

## **PRODUCTION OF ACTIVE CARBON FROM FOOD WASTES AND THE APPLICATIONS OF ACTIVE CARBON IN FOOD INDUSTRY**

### **ABSTRACT**

Activated carbon is an excellent physicochemical adsorbent with high porous volumes (0.5-1.5 cm<sup>3</sup>/g) and large surface areas (500-2000 m<sup>2</sup>/g). It has been used in medicine, environment, chemistry, energy, metallurgy, textile and food in separation, purification, removal and recovery processes. It can be produced from various biomass wastes with high carbon and low inorganic material content that is recyclable. In the food industry, it is used as color, odor and taste regulator in beverages, color bleaching in sugar-syrup, shelf-life control in climacteric fruits and vegetables, adsorption of organics or removal of non-nutrient toxic substances, treatments of frying oil and drinking water. Their novel applications in food industry include the aerobic digestion, modified atmospheres, purification, novel antimicrobial agent production, volatile organic component removal, aroma recovery studies, electrochemical food sensors and electromagnetic materials for the efficient separation and purification.

**Key words:** activated carbon, food waste, food industry, separation, purification

\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ hilal.nadeem@adu.edu.tr,

☎ (+90) 256 213 7503,

☎ (+90) 256 213 6686

Eda Ülkeryıldız Balçık; ORCID no: 0000-0003-1424-1043

Mehmet Torun; ORCID no: 0000-0002-6287-2993

Hilal Şahin Nadeem; ORCID no: 0000-0003-2516-7846

## GİRİŞ

Aktif karbon, karbon atomlarının hibritleşme ve bağ yapısı ile oluşturduğu, allotrop yapısına göre grafitik olmayan formda olup, yüksek karbon içeriğine sahip maddelerden aktivasyon prosesi ile elde edilen, gelişmiş gözenek yapısı ve geniş yüzey alanı ile adsorpsiyon uygulamalarında iyi bir adsorban malzeme olarak kullanılan amorf yapılı bir maddedir (Akyıldız, 2007; Dermanlı, 2006; Menderez-Diaz vd., 2006). Aktif karbonların yüzeyi altıgen olarak bağlanmış karbon atomları içeren mikrokristalinlerin oluşturduğu düzlemlerden oluşmaktadır. Kristalinlerin düzenli karbon bağları aktivasyon işlemi sırasında bozulmakta ve bazı mikrokristalin yapılar uzaklaşmaktadır. Karbon mikrokristalitleri arasındaki boşluklar, grafitik düzlemlerin içine ve paraleline olan çatlaklar ile gözenekli yapı oluşturmaktadır. Gözenek çapı IUPAC (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği) tarafından 2 nm'den küçük mikrogözenek, 2-50 nm arasında mezogözenek ve 50 nm'den büyük makro gözenek olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Menderez-Diaz vd., 2006). Uygulamada, yüksek oranda gaz ve buhar adsorpsiyonu için mikro gözenekler tercih edilirken, çözelti ve sıvı adsorpsiyonu için mezo ve makro gözenekler tercih edilmektedir. Yapısındaki gözeneklerle adsorplanacak molekül büyüklüğünün elverişine göre düşük sıcaklıklarda ve hızlı bir difüzyon ile fiziksel adsorpsiyon gerçekleşirken, yüksek yüzey reaktivitesi sayesinde moleküllerin kendi iç kısımlarına çekilmesi ve bağlanması kimyasal adsorpsiyon ile gerçekleşmektedir. Fiziksel adsorpsiyonda gözenekli yapı içindeki karbona güçlü fiziksel bağlar (Van der Waals ve London kuvvetleri) etkinken, kimyasal adsorpsiyonda yüzey fonksiyonel gruplarına göre daha güçlü kimyasal bağlar etkindir (Türkmen, 2015). Aktif karbonların yüzey kimyası, oksijen fonksiyonelliğini oluşturmak için farklı maddelerle oksidasyon yoluyla ısı ile aktive edilmektedir. Karbon yüzeyinde bulunabilecek oksijen içeren önemli yüzey grupları; karboksilik gruplar, fenolik hidroksil gruplar, quinon tipi karbonil gruplar, normal laktonlar, floressenitip laktonlar, karboksilik asit anhidritler, siklik peroksitlerdir (Menderez-Diaz vd., 2006; Akyıldız, 2007).

İşlevsel grupların aktif karbonların adsorpsiyon kapasitesinde etkili olan parametreleri; yüzey yükünü değiştirmeleri, hidrofilik-hidrofobik yapıları ve asidik-bazik karakterlerini etkilemesidir (Menderez-Diaz vd., 2006). Aktif karbonların kalitesini belirleyen en belirgin özellikleri adsorpsiyon kapasitesidir. Adsorpsiyon kapasitesi parametreleri; adsorban hammaddesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri, adsorbanın çözünürlüğü, sıcaklık ve pH'dır (Anonymous, 2002; Türkmen, 2015). Adsorpsiyon testlerinde yüzey alanı, adsorban olarak Azot (N<sub>2</sub>) veya karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı kullanılarak BET (Brunauer–Emet–Teller) yöntemi ile m<sup>2</sup>/g cinsinden belirlenirken, adsorpsiyon kapasitesi iyot adsorpsiyonu, metilen mavisi adsorpsiyonu veya fenol adsorpsiyonu testleri ile belirlenmektedir (Dermanlı, 2006; Akyıldız, 2007).

Aktif karbonların kalitesi ve özellikleri belirlenirken sadece yüzey karakteristiklerine bakarak sınıflandırma yapmak yeterli değildir. Kullanım alanına göre adsorplanan molekülün büyüklüğü değiştiğinde yüzey alanı da değişmektedir. Ayrıca karbonizasyon ve aktivasyon şartlarına göre aktif karbonun gözenek boyut dağılımı, şekli ve hacmi değişim göstermektedir (Türkmen, 2015). Fiziksel olarak aktif karbonlar: toz aktif karbon (0,15- 0,25 mm'den daha küçük partiküllü), granüler aktif karbon (1-5 mm arasında partiküllü), pellet aktif karbon (basınçla sıkıştırılmış silindirik 0,8–5 mm partiküllü), küresel aktif karbon (petrol kaynaklı 0,35–0,80 mm küresel partiküllü) ve aktif karbon fiberleri (sentetik liflerden ısı ile karbonize olmuş ve termal aktivasyon ile üretilmiş) şeklinde beş grupta sınıflandırılmaktadır (Menderez-Diaz vd., 2006; Akyıldız, 2007; Türkmen, 2015)

## Aktif Karbon Üretimi

Aktif karbon üretiminde yüksek karbon (% 40-80) ve düşük inorganik madde içeriğine sahip hammaddeler yıkama, arıtma ve öğütme gibi çeşitli ön işlemlerden geçirilmektedir (Ozmaç, 2010). Ön işlem sonrası oksijensiz ortamda 500-950 °C'de termal karbonizasyon (piroliz) uygulanmaktadır (Menderez-Diaz vd., 2006). Bu aşamada, organik maddeden nem ve uçucu maddeler uzaklaşarak yapının karbon oranı

artmakta, yüksek ısı ile çapraz bağlar bağlanarak, gözenekli sert doku oluşmaktadır (Akyıldız, 2007). Karbonizasyon sonrasında yine yüksek ısı altında aktivasyon işlemi uygulanmaktadır. Uygulanan aktivasyon işlemi üretilecek aktif karbonun uygulama alanına göre kimyasal özelliklerini değiştireceğinden, fiziksel aktivasyon ve kimyasal aktivasyon olarak iki farklı yöntem uygulanabilmektedir (Ozmaç, 2010). Fiziksel aktivasyonda genellikle su buharı veya CO<sub>2</sub> gibi oksitleyici ajanla aktivasyon gerçekleştirilirken, kimyasal aktivasyonda; ZnCl<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, AlCl<sub>3</sub>, MgCl<sub>2</sub>, KOH, NaOH gibi kimyasal aktifleştirici ajanlar kullanılarak, hammaddenin belirli sıcaklıklarda bozundurulması sağlanmaktadır (Menderez-Diaz vd., 2006; Akyıldız, 2007; Ozmaç, 2010; Türkmen, 2015). Aktivasyon aşamasında karbonun yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkan uçucu maddeler oksijenle birleşerek ortamdaki uzaklaşmakta, böylece gözenek hacmi ve yüzey alanı artmaktadır (Dermanlı, 2006). Aktivasyon sonrası kimyasal madde kullanımına bağlı safsızlıkların giderimi için genellikle deiyonize su ile yıkama ve ardından kurutma işlemi uygulanmaktadır. Üretilen aktif karbonlar uygulama alanına göre öğütülüp basınç altında şekil verilmektedir (Menderez-Diaz vd., 2006).

### Aktif Karbonların Rejenerasyonu

Çeşitli uygulamalarla organik ve inorganik bileşikler, toksik metal iyonları, ağır metaller, boya, pestisit ve ilaç gibi kontaminantlarla doygunluğa erişen aktif karbonların tekrar kullanılabilmesi ve adsorplanan maddenin konsantrasyonunu düşürmek için rejenerasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin en yaygın olanları: buhar rejenerasyon, termal rejenerasyon, kimyasal rejenerasyon, sulu oksidasyon rejenerasyon, biyo-rejenerasyon, elektrokimyasal rejenerasyon, hidrotermal uygulama ve mikrodalga ile rejenerasyondur (Gamal vd., 2018). Buhar rejenerasyonunda, buhar sayesinde kontaminantların hızlı desorpsiyonu ve adsorbat uzaklaştırılması sağlanmaktadır (Gamal vd., 2018). Termal rejenerasyon tambur fırınlar, akışkan yataklı veya sabit fırınlar sayesinde 105 °C'de kurutulan yoğun reaktif kontaminantların, inert atmosfer altında oksitleyici bir gaz (su buharı veya CO<sub>2</sub>) ile pirolizini ve organik kirleticilerin

gazlaştırılmasını içermektedir. Termal oksidasyon aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesini ve mekanik gücünü de yıpratmaktadır. Kimyasal rejenerasyonda belirli asidik ve alkali kimyasal reaktifler adsorbanları reaktifliklerine göre çözmek veya ayrıştırmak için kullanılmaktadır. Kimyasal rejenerasyon tipik olarak sıfır karbon yıpranmasına yol açmakta ve adsorpsiyon kapasitesinin geri kazanımını sağlamaktadır. Sulu oksidasyon rejenerasyonda toksik kirleticiler daha az toksik türler oluşturmak için sulu ortamlarda ayrıştırılmaktadır (Gamal vd., 2018). Elektrokimyasal rejenerasyonda yüksek sıcaklıklara çıkılmadan ve herhangi bir kimyasal ilavesi olmadan adsorbe edilen organik kirletici maddeler yerinde kırılırken, karbonun yapısal bütünlüğü ve özellikleri etkilenmemektedir. İşlemden önce uygulanan elektrik alanı, daha sonra elektrotların yüzeyine adsorbe olan kutuplu iyonları ve molekülleri elektrolitten uzaklaştırmaktadır. Anottaki elektrokimyasal oksidasyon kirleticileri karbondioksit ve suya dönüştürmektedir. Elektrolitik rejenerasyon organik maddelerin, boyaların ve çözünmüş ilaçların aktif karbonun desorpsiyonu için uygulanan yöntemdir (Alvarez-Pugliese vd., 2019). Biyo-rejenerasyonda karbonun kapasitesini ve yüzeyini yenilemek için mikroorganizmalar kullanılmakta olup, fenolik organikler ve organik maddelerin desorpsiyonu için yaygın olarak uygulanmaktadır. Biyo-rejenerasyon kirletici biyo-bozunurluğu, kirletici-karbon etkileşiminin gücü ve aktif karbonun proses konfigürasyonunun fiziko-kimyasal özellikleri gibi faktörlere bağlıdır. Aktif karbonun biyo-rejenerasyon ile desorpsiyon mekanizmaları konsantrasyon gradyanı, ekzoenzim reaksiyonları, çözünmüş oksijen konsantrasyonu, mikroorganizma tipi, substrat-karbon temas süresi gibi parametrelere bağlıdır (Gamal vd., 2018). Hidrotermal uygulama ise ilaç ve pestisit gibi organik kirleticilerin uzaklaştırılması ve ekstraksiyonları için uygun olan bir yöntemdir (Sühnholtz vd., 2018). Mikrodalga rejenerasyonunda kullanılmış aktif karbonların mikrodalgalara (MW) maruz kalması ile termal olarak aktifleşen reaksiyon mekanizmaları desorpsiyon sağlamaktadır. Özellikle fenolik bileşiklerin desorpsiyonunda uygulanan mikrodalga rejenerasyonu geleneksel rejenerasyon

işlemlerine göre daha az enerji gerektirmekte ve harcanan karbonun adsorpsiyon kapasitesi açısından daha güvenli ve hızlı kazanım sağlanmaktadır (Yağmur, 2017).

### Gıda Atıklarından Aktif Karbon Üretimi

Karbon içeriği yüksek, inorganik madde içeriği düşük, yüksek yoğunluklu, mekanik direnci yüksek, yeterli uçucu madde içeren maddelerden aktif karbon üretmek mümkündür (Ozmaç, 2010). Tipik bir aktif karbon %80-95 C, %0.5 H, %0.5 N, %1 S, %6-7 O ve uçucu kül içermektedir

(Türkmen, 2015). Ancak kullanım alanına göre aktif karbonun istenen özellikleri değişeceğinden, elde edilecek olan son ürün özellikleri seçilecek olan hammaddeye bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan hammaddeler gıda atık kökenli olup, odun, biyokütle atıkları, zirai atıklar, gıda sert çekirdekleri ve kabukları, gıda endüstrisi atıkları, kömür, linyit, turba gibi kolay bulunabilen ve düşük maliyetli atıklardır (Ozmaç, 2010). Gıda kökenli üretilen aktif karbonlar ve kullanım alanları Çizelge 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. Gıda atıklarından üretilen aktif karbonların endüstriyel uygulama alanları

Köken	Aktivasyon Ajanı	Karbonizasyon sıcaklığı (°C)	Fiziksel Form	Yüzey Alanı (BET) m <sup>2</sup> /g	Adsorpsiyon Kapasitesi mg/g	Uygulama alanları	Kaynak
Zeytin çekirdeği	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (fosforik asit)	200-700	Toz	1133	-	-Çözücü geri kazanımı -Endüstriyel koku giderme	Akyıldız (2007).
Muz gövdesi atıkları	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (fosforik asit)	845	Toz	1173,16	166,51 -199,87	Sentetik boyadan metilen mavisi giderimi	Danish vd., (2018).
Nişasta	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	300-400	Toz	161	66,2- 36,65	Hızlı pestisit adsorpsiyonu	Suo vd., (2019).
Meyve atıkları	ZnCl <sub>2</sub> ve H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	450	Toz	600	194,7	Zn adsorpsiyonu	Türkmen (2015).
Kestane kabuğu	İnert N <sub>2</sub>	900	Lif	280,42	333,3	Metilen mavisi giderimi	İzkeçeli (2010).
Kiraz çekirdeği	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (Potasyum Karbonat)	850	Granül	-	87,72	- Sulu çözümlerden boyar madde (metilen mavisi) giderimi - Atık su arıtımı	Gerçel (2015).
Çay atıkları	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (fosforik asit) K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (Potasyum Karbonat)	450	Toz	558-701	270-84	Metilen mavisi ve fenol adsorpsiyonu	Ozmaç (2010).
Balık atıkları	İnert N <sub>2</sub>	350-800	Toz	125-401	112- 421	İyot adsorpsiyonu atık geri dönüşümü	Fadhil (2017).
Mısır koçanı	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (Hidrojen Peroksit)	450	Toz	500-1500	60	Endüstriyel atıklardan Ağır metal adsorpsiyonu	Christica,v d., (2018).

### Aktif Karbonun Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları

Gıda endüstrisinde uygulama alanı olarak iki tür aktif karbon mevcuttur: 1-Gıda katkı maddesi/ilaç olarak kullanılan ve oral olarak tüketilebilen medikal aktif karbon, 2-Saflaştırma ajanı olarak istenmeyen bileşikleri adsorblandıktan sonra ortamdaki uzaklaştırılan aktif karbon.

Oral olarak tüketilebilen aktif karbonların, gıdalara renk verme ve vücuttaki toksin maddeleri adsorplama amaçlı E153 kodlu gıda katkı maddesi olarak (CAS no: 7440-44-0), toz veya granül şeklinde ticari satışı mevcuttur. Gıda endüstrisinde direkt insan tüketimine izin verilen aktif karbonlar, doğal hammaddelerden ve üretim aşamalarında güçlü olarak saflaştırma uygulamalarından geçirilerek, steril olarak üretilmektedir. Üretilen aktif karbonun bazı saflık kriterlerini ve adsorpsiyon gücünü karşılaması gerekmektedir. Bu kriterler Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yayınlanan “Aktif Karbon Monografi”nda ve Avrupa Farmakopisindeki (European Pharmacopeia) medikal aktif karbon bildirisinde (FAO-JECFA) yayınlanmıştır (Anonymous, 2010).

Gıda endüstrisinde aktif karbon kullanımı 1794’de İngiltere’de şeker ağartma işlemi ile başlamıştır. Aktif karbonun türü, uygulama alanına göre değişmektedir. Şeker, şurup ve pekmez üretiminde istenmeyen, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu ürünleri olan melanin, melanoid, karamel ve heksoz alkali bozunma ürünlerinin neden olduğu koyu renklerinin uzaklaştırılması (ağartma işlemi) için aktif karbonun yüksek renk adsorplama özelliğinden yararlanılmaktadır (Ozsoy, 2010). Hurma şurubundan koyu renk uzaklaştırmak için kullanılan ağaç bazlı toz ticari aktif karbon ile 60 °C’de %95 renk adsorpsiyonu başarılmıştır (Nasehi vd., 2012). Pancar kökü pekmezinden istenmeyen renk uzaklaştırması çalışmasında TiO<sub>2</sub> tübüler seramik membran üzerine emdirilmiş yüksek saflıkta toz ticari aktif karbon üzerinden çapraz akışlı ultrafiltrasyon uygulaması ile 25 °C’de % 98 renk adsorpsiyonu sağlanmıştır (Bernal vd., 2016). Şeker pancarı küspesi bazlı

üretilen farklı özelliklerde (yüzey alanları, gözenek hacimleri, kütle yoğunlukları ve kül içeriği) aktif karbon kullanılarak şeker şurubu, melas ve iyot renk giderimi performansları incelenmiş, renk giderimi kapasitesinin fiziksel ve kimyasal özellikler ile yakından ilişkili olduğu görülmüştür (Mudoga vd., 2008).

İçme suyu arıtımında aktif karbon kullanımının, koku ve tat kontrolünde ekonomik ve verimli bir uygulama olarak kullanılabileceği bildirilmektedir. İçme suyunda bulunan siyanobakterilerin (örneğin, *Anabaena aphanizomenon*, *Lynghya microcystis*, *Oscillatoria*, *Phormidium*) ve aktinomisetlerin (örneğin, *Nocardia*, *Streptomyces*, *Actinomadura*, *Micromonospora*) ötrofik koşullar altındaki içme suyuna istenmeyen koku ve tat veren metabolitleri geosmin (toprak kokusu) ve 2-Metilizoborneol (küflü koku)’ün aktif karbon ile uzaklaştırılma çalışmaları mevcuttur (Srinivasan, 2011). Ticari granül aktif karbon başlıklı filtreler kullanılarak, 2-12 aylık içme suyu filtreleme işleminden sonra 2-MIB’nin ortalama %60’ının ve geosminin %80’inin sudan arıtılması başarılmıştır (Ridal vd., 2001). Kimyasal ve buhar aktivasyonları ile kömür ve ağaç bazlı granül aktif karbonların geosmin ve 2-MIB uzaklaştırma performanslarının karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada kimyasal aktivasyonlu kömür bazlı, düşük kül içerikli aktif karbonun 5,5 mg/L miktarının 15 dk süresince % 85 geosmin, % 68 2-MIB adsorplama kapasitesinin olduğu görülmüştür (Cullum, 2007). Aktif karbon kullanılarak içme suyundan çeşitli mikroorganizmalar, klor ve yan ürünleri, organik kimyasallar (fenol, metilen klorür, trikloretilen, benzen, klorobenzenler, karbon tetraklorür, pikrik asit ve salisilik asit gibi) petrol ve yan ürünleri gibi uçucu organik kimyasalların uzaklaştırılması mümkündür (Lemley vd., 1995; Qadeer, 2002).

Şarap, sirke ve alkollü içecek endüstrisinde, fazla tanenin, istenmeyen renk, koku unsurlarının, tortu, bulanıklık oluşturan maddelerin uzaklaştırılması ve aroma izolasyonu amaçlı aktif karbonun kullanıldığı bazı çalışmalar mevcuttur (Lisanti vd., 2017). Şarapta bulunan mikrobiyal kökenli geosmin (toprak kokusu) ve 1-octen-3-

one (güçlü metalik mantar benzeri koku) gibi istenmeyen kokuların giderimi için aktif karbonlar ile çalışılmış, geosmin konsantrasyonu (40 g/hl aktif karbon) %92 oranında ve 1-okten-3-on konsantrasyonunu (40 g/hl aktif karbon) %73 oranında azaltılmıştır (Behr vd., 2013). *Aspergillus carbonarius* mantar türlerinin ürettiği mikotoksin olan okratoksin, farklı aktifleştirme ajanları ile aktive edilmiş aktif karbonlar sayesinde şaraptan %98'e kadar uzaklaştırılmıştır (Quintela vd., 2013). Alkollü içecek endüstrisinde özellikle bira ve şarap ürünlerinin fermantasyonu tamamlandıktan sonra, bekleme fiçilerinin mikro gözeneklerinde *Brettanomyces* gibi bozulmaya neden olan mayaların gelişimini inhibe etme, etilfenol oluşumunu destekleyen koşulları önleme ve *Brettanomyces* metabolitleri ile kontamine olmuş içeceklerden 4-etilfenol ve 4-ethylguaicol lezzetini azaltma amaçlı aktif karbonlar gıda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Tubia vd., 2018). Beyaz ve pembe şarap sirkelerinde toz aktif karbon ile renk giderimi çalışmasında iyon değiştirici reçine ve aktif karbon karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada iyon değiştirici reçine %69-72 renk adsorplama performansı gösterirken aktif karbon % 94-98 adsorplama performansı göstermiştir (Achaerandio vd., 2002).

Klimakterik meyve ve sebzelerde (muz, avokado, domates vb) olgunlaşma sürecini başlatan ve doğal olarak salgılanan etilen gazı, raf ömrünü uzatmak için aktif karbonlar ile kontrol edilebilmektedir. Pd destekli aktif karbon veya bromlaştırılmış kömür, etilen gazı süpürücü etkisi yönünden 0-1000 mg dozlarda avakadoya uygulanarak çalışılmış, aktif karbon eklenen ürünlerin renginde 12 °C'de 3 gün süresince önemli bir değişiklik olmadığı saptanmıştır (Smith vd., 2009; Dhall, 2013).

Gıdalardan besinsel olmayan maddelerin uzaklaştırılması, farmasötik ajanlar, bakteri ve toksin uzaklaştırılması gibi detoksifikasyon uygulamaları için de aktif karbonlar kullanılmaktadır. Ksilozun *Candida guilliermondii* mayası indirgenmesiyle gıda endüstrisinde tatlandırıcı olarak kullanılan ksilitol'e (5 karbonlu şeker alkolü) biyolojik dönüşümü için kullanılan konsantre pirinç samanı hemiselülozik

hidrolizatının detoksifikasyonunda aktif karbon kullanılmış olup, 40 g/g dozda hidrolizat/kömür oranı, asetik asit, terpen ve tanin gibi fenolik bileşiklerin %27'sinin inhibisyonu sağlamıştır (Mussatto, 2001). Gıdalarda yaygın olarak bulunabilen, diyare, hemorajik kolit, akut immün trombositopenik veba gibi hastalıklara yol açan *Escherichia coli* O157:H7 suşlarının ve toksin maddesi olan verotoksin 2'nin 5 mg ticari yenebilir aktif karbon yüzeyine bağlanma kapasitesi araştırılmıştır. Besiyeri ortamında 37°C'de 30 dk aktif karbonla yavaş karıştırma ile inkübasyonu sonucu bakteri sayısının  $7,72 \pm 0,25 \times 10^6$ 'dan  $3,63 \pm 0,36 \times 10^3$ 'a azaldığı ve verotoksin uzaklaştırılmasında aktif karbonun başarılı adsorbant özelliği gösterdiği görülmüştür (Naka vd., 2000).

Gıda endüstrisinde aktif karbonların bir diğer kullanım alanı ise saflaştırma ve geri kazanım prosesleridir. Fonksiyonel gıda maddesi olarak çeşitli içecekler, kurabiye ve yoğurt gibi gıdalarda yaygın bir şekilde kullanılan fruktooligosakkaritlerin (FOS) saflaştırılması, glukoz, fruktoz, sakkaroz ve fruktooligosakkarit içeren bir şeker karışımı içinden sabit yataklı kolonda aktif karbon kullanılarak %80 saflıkta %97,8 geri kazanımı başarılmıştır. Ticari aktif karbonlar ile 5 mg aktif karbon/100 ml şeker karışımı saflaştırılmasında, 120 dk sonra dengeye gelen çözeltide adsorbe edilen maksimum FOS miktarı 0,92 g FOS/g aktif karbon olarak belirlenmiştir (Nobre vd., 2012; Kuhn vd., 2010). Bitki hücre duvarlarında bol miktarda bulunan fenolik bir fitokimyasal olan ferulik asitin yüksek saflıkta elde edilmesi, şeker kamışı küspesinden ticari granül ve toz aktif karbon kullanılarak araştırılmış, adsorpsiyon kapasiteleri toz ve granül aktif karbon için sırasıyla 280 ve 210.5 mg/g olarak bulunmuştur (Ou vd., 2007). Turunçgil meyve atıklarından elde edilen pektin tozu ve *Aspergillus ibericus* mantarı kullanılarak elde edilen saf pektinaz enzimi nano gözenekli aktif karbon yüzeyine kaplanarak fonksiyonel hale getirilmiş ve dolgulu yatak reaktör içine doldurularak atık sudan %94 oranında pektin saflaştırılması işlemi başarılmıştır (Mahesh vd., 2016). Enzim saflaştırması gibi uygulamalarda da alternatif bir yol olarak aktif karbon kullanılmaktadır.

*Thermomyces lanuginosus* lipaz model enziminin yüksek gözenekli aktif karbon-silika kompozit malzemesi hazırlanarak hidrofobik aktif karbon yüzeyine güçlü bir şekilde arayüzey aktivasyonlu kovalent bağlanması incelenmiş, adsorpsiyon aktivitesi 8,6 U/g kuru malzeme ve kalan kovalent immobilizasyon 31 U/g kuru malzeme olarak bulunmuştur. Kovalent tutunma aktivitesi p-nitrofenil palmitat substratları kullanılarak 45 mg/g karbon materyali başına en yüksek lipaz aktivitesi 10 U/g kuru malzeme şeklinde bulunmuştur (Reichardt, vd. 2018). Aktif karbon kullanılarak, kızartma yağında benzo(a)piren gibi kanserojen polisiklik hidrokarbonları ve poliklorin bifenil gibi dioksin uzaklaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, aktif karbon yoğunluklu bentonit ve selit karışımı adsorbanlar kullanılarak, 36 saat kullanılmış kızartma yağı vakum altında filtrelenmiş ve aktif karbon sayesinde yağ rengi daha açık hale getirilmiştir. Serbest yağ asidi %44,3 ve peroksit değeri %50,2 oranında azalmıştır (Udomkun vd., 2018). Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler, dibenzofuranlar (PCDD / F) ve dioksin benzeri poliklorin bifenil (PCB) kirleticileri ile kontamine olan morina balığı karaciğer yağında %0,5 aktif karbon kullanılarak %80 oranında PCB kirleticilerinin uzaklaştırılması başarılmıştır (Maes vd., 2005). Polisiklik hidrokarbonların (fenantren, antrasen, fluoren, piren, benzo(a)piren, krisen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluornten, benzo(a)antrasen uzaklaştırılmasında %2 aktif karbon ilavesi sonucu topraktan %99, sulu ortamdan %95,6-100 uzaklaştırma verimi ile aktif karbon, kitosan, leonardit, silika gibi endüstriyel adsorbanlara kıyasla daha etkin bulunmuştur (Lamichhane vd., 2016).

Tarımsal ürünlerden ve içme suyundan pestisitlerin hızlı bir şekilde uzaklaştırılması için mezo-gözenekli veya granül aktif karbonlar kullanılmaktadır. Pestisitlerin aktif karbona adsorpsiyon afiniteleri; adsorbat hidrofobikliği, fonksiyonel grubun karakteri (polarite, iyonik yapı, fonksiyonel gruplar ve çözünürlük) ve moleküler yapıya bağlıdır. Elektrostatik ve Van der Waals kuvvetleri, H-bağlayıcı, dipol-dipol etkileşimleri, iyon değişimi, kovalent bağ aktif karbondaki organik bileşiklerin adsorpsiyonundan

sorumludur (Derylo-Marczewska vd., 2019). İçme suyundan her biri 0,5 mg/ml oranında bulunan Atrazine, Pymetrozine, Acetamidrid, Diuron, Thiacloprid, Imizalil, Pyraclostrobin, Difenconazole, Trifloxystrobin, Chlorantraniliprole gibi 11 farklı pestisit 10 ml'lik çözeltilerden 50 mg ticari aktif karbon kullanılarak %85-% 98 adsorplama kapasiteleri ile uzaklaştırılmıştır (Suo vd., 2019). Diazinon pestisitinin sudan uzaklaştırılmasında ceviz kabuğu bazlı aktif karbon kullanılarak, kesikli ve sabit yataklı adsorpsiyon sistemde çalışılmış ve 1-40 mg/L pestisit içeren çözeltilerden en yüksek seviyede uzaklaştırma için yatak kapasitesi 34,98 mg/g doz aktif karbon olarak belirlenmiştir (Bayat vd., 2018). Organofosfat insektisit olan Malathion'un içme suyundan granüler aktif karbon ile uzaklaştırılması çalışılmış ve pestisin konsantrasyon seviyesinin 1,75-1,80 µg/L'ye kadar düşürülmesi 909,1 mg/g dozda başarılmıştır (Jusoh vd., 2011).

### Güncel Uygulamalar

Aktif karbonların gıda endüstrisi alanında yeni uygulama alanları; anaerobik sindirim proseslerinde uçucu yağ asitlerini tutma, amonyak azotu oranı kontrolü ile metan gazı üretim performansını artırma, gıda katkı maddelerini saflaştırma, modifiye atmosfer uygulamalarında CO<sub>2</sub> gazı kontrolü, yeni nesil antimikrobiyal ajan, uçucu organik bileşiklerin uzaklaştırılması, aroma bileşenleri geri kazanımı, aktif karbon elektrokimyasal sensörler (EDCL elektrot) ve elektromanyetik aktif karbonlarla verimli ayırma prosesleri şeklinde sıralanmaktadır.

Gıda atıklarından yenilenebilir enerji (biyoyakıt) üretiminde, anaerobik sindirim proseslerinde reaktörün uçucu yağ asitleri aşırı yüklenmesi ve yüksek protein içeriği ile mikroorganizmalar için toksik olan artan amonyak azotu proses verimini düşürmektedir, dolayısıyla bu bileşenlerin reaktör ortamından uzaklaştırılması için aktif karbon uygulamalarından yararlanılmaktadır (Capson-Tojo vd., 2018). Konuyla ilgili olarak ayrıca, anaerobik sindirim ürünü sıvı fazının renk giderimi, mikroorganizma etkinliği ve metan gazı üretim verimi aktif karbonlar ile arttırılmıştır (Farooq vd., 2017). Ardışık seri reaktörlerin

anaerobik sindirim performansına (uçucu yağ asidi tüketimine) yardımcı olarak granül aktif karbon ile Co, Mo, Ni ve Fe gibi iz elementlerin birlikte kullanımı, biyokütle uyumunu, asetik asit tüketimini ve metan üretimini arttırmıştır (Capson-Tojo vd., 2018).

Gıda endüstrisinde monosodyum glutamat (MSG), glutamik asit ve hidrolize edilmiş bitkisel proteinler (HVP'ler) gibi yaygın şekilde kullanılan katkı maddelerinin saflaştırma çalışmalarında da aktif karbon kullanılmaktadır (Kobayashi vd., 2018; Wang vd., 2017). Yüksek mikro gözeneklere sahip toz aktif karbon gıda muhafazasında modifiye atmosfer uygulamalarında kullanılmaktadır. Yerel bir hurmanın (*Phoenix dactylifera*) tohumlarından elde edilen aktif karbon ile en yüksek CO<sub>2</sub> adsorplama kapasitesi 20 °C'de 141,14 mg CO<sub>2</sub> /g aktif karbon olarak bulunmuştur (Ogungbenro vd.,2018).

Biyolojik atıktan aktif karbon nanopartikülleri ile herhangi bir yan etkisi olmadan patojen kaynaklı hastalıkları etkin bir şekilde yok edebilen yeni nesil antimikrobiyal ajanlar üretilmektedir. Aktif karbon nanopartikülü, gram negatif mikroorganizmalar ve karbon yüzeyi arasında elektrostatik itme kurarak mikroorganizmayı uzaklaştırabilme oranını arttırmaktadır. Mikroorganizma, güçlü Vander Waals kuvvetleri vasıtasıyla karbon partiküllerine yapışır, mikroorganizma gram pozitif ise, o zaman karbon yüzeyindeki pozitif yükün modifikasyonu yapılabilir. Hindistan cevizi kabuğu (876,2 m<sup>2</sup>/g yüzey alanı) ve şeker kamışı küspesi aktif karbon nanopartiküllerinin *Escherichia coli* 'ye (107 CFU/mL) karşı 1-6 saat temas süresi ile tam hücre ölümü, pirinç kabuğu küspesi aktif karbon nanopartiküllerinin (pH:7 ve oda sıcaklığında) *Bacillus species*'e (3,2x10<sup>7</sup> CFU/mL) karşı, hurma tohumlarından elde edilen aktif karbon nanopartiküllerin *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* ve *Candida albicans* mikroorganizmalarına karşı yüksek antimikrobiyal etkinlik gösterdiği bildirilmektedir (Lakshmi vd., 2018).

Gıda proseslerinde atık maddelerle birlikte kaybedilen bazı bileşiklerin ve minerallerin (Pb, Cu gibi) geri kazanımı da aktif karbon kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Süt proteinleri ile kaplanmış aktif karbon (10-70 g/L dozda 20-40 °C) ile zeytin karasuyundan polifenollerin (gallik asit, hidroksitirozol, 3,4 dihidroksibenzoik asit, tirozol, kafeik asit, kumarik asit) hızlı geri kazanımının, geleneksel ekstraksiyon yöntemine göre %80 daha verimli olduğu bildirilmektedir (Yangui, 2018).

Gıda üretim aşamalarında, fermentasyon, pişirme, buharlaştırıcı yoğuşma, ısıtma, kurutma işlemlerinde salınan hidrokarbonlar, halkalı yapılar, aromatikler, genellikle gıdalarda kötü koku-tat oluşturan, toksik, mutajenik ve karsinojenik etki gösteren uçucu organik bileşiklerdir. Ayrıca temizlik, dezenfeksiyon adımlarında da klorlu bileşikler ve diğer H<sub>2</sub>S, NO<sub>x</sub> gibi kirlilik yaratan gazların ortamdaki uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Uçucu organik bileşiklerin ortamdaki uzaklaştırılması için aktif karbonlar daha ekonomik ve tekrar kullanılabilir adsorbanlardır (Olgun vd., 2017). Gaz kromatografisi cihazlarının uçucu bileşikleri ayırmadaki temel çalışma prensipleri de aktif karbonlar yardımıyla gerçekleşmektedir (Diaz vd., 2005). Gıda üretim sektörlerinde; fırınlama, bitkisel yağ çıkarma, katı yağ işleme, kahve üretimi, şeker pancarı işleme, bira, şarap ve alkol üretimi gibi proseslerde oluşan, metil etil keton, etanol, amonyak, H<sub>2</sub>S ve dimetil sülfid gibi uçucu organik bileşiklerin ortamdaki uzaklaştırılmasında 10-10000 ppm aralığında aktif karbon kullanılmaktadır (Preis vd., 2013).

Gıdalarda antioksidan etki, renk ve tat gibi özelliklerden sorumlu olan doğal polifenolik bileşiklerin saflaştırılması ve geri kazanımında, yüksek seçicilik, yenilenebilirlik ve uygun maliyeti ile aktif karbon adsorpsiyonu uygulanmaktadır. Yapılan bir çalışmada, kafeik asit, kateşol, gallik asit, p-hidroksibenzoik asit, lignin, limonin, melanoidin, tannik asit, tannin, tirozol, vanilik asit, vanilin gibi bazı saf fenolik bileşikler 0,39-1971 mg/g adsorpsiyon kapasitede geri kazanılabilmektedir (Soto vd., 2011). Diğer bir çalışmada ise hindistan cevizi kabuğu hammaddeli



aktif karbon kullanılarak kahve aroma bileşiği olan benzaldehitin yüksek oranda geri kazanımı başarılmıştır (Saffarionpour, 2017).

Gıda içinde herhangi bir maddenin konsantrasyonunun belirlenmesinde, numune ön ekstraksiyonu, pahalı kimyasal kullanımı ve zaman alması gibi kısıtlamalar, aktif karbonla elektrokimyasal sensörlerin (EDCL elektrot) geliştirilmesini tetiklemiştir. Bu amaçla yürütülen bir çalışmada, şeftali çekirdeği bazlı aktif karbon ile basit, ekonomik ve hassas olarak kafein (1, 3, 7-trimethylpurine-2,6-dione) tespiti yapılmış ve elektrokimyasal sensör olarak kafeinli içeceklerde (kolalı içecekler gibi) uygulanabilirliği incelenmiştir. Tespit limitleri  $2,85 \times 10^{-5}$ -  $1,60 \times 10^{-5}$  M olarak hesaplanmış ve gerçek elektrotların test değerlerine yakın kafein konsantrasyonları elde edilmiştir (Arroyo-Gómez, vd. 2018). Bir diğer çalışmada, atık polietilen fitalat (PET) şişelerinden üretilen KOH aktivasyonlu camısı aktif karbon elektrotların, mükemmel elektrokatalitik aktiviteleriyle, karbofuran (2,2-dimethyl-2,3-dihydro-7-benzofuranyl N-methylcarbamate) pestisitini tespit performansı çalışılmıştır. Karbofuran-fenolü (karbofuran hidrolizi ile oluşur)  $0,03 \mu\text{M}$  konsantrasyonundaki gibi düşük limitlerde bile %3,51'lik standart sapma ile tespit eden ve  $0,11 \mu\text{A}/\text{Mcm}^2$  duyarlılıkta ölçüm yapan elektrotun ölçüm tekrarlanabilirliği kanıtlanmıştır (Ayyalusamy vd., 2018).

Manyetik nano ve mikro partiküller dış manyetik alana verdiği farklı yanıtlarla, maddelerin seçici ayrılması, hedeflenmesi ve lokalizasyonunu sağlamaktadır. Aktif karbon parçacıklarının, demir oksitler manyetit, maghemit veya farklı ferrit türleri ile hidrotermal reaksiyonlu yüzey modifikasyonu, aktif karbona yeni bir manyetik özellik kazandırmaktadır. Manyetik aktif karbonlar kimyasal çöktürme, ısı işlem ve enkapsülasyon işlemlerinde alternatif uygulama imkanı sunmaktadır (Safarik vd., 2012). Yapılan bir çalışmada, son kullanma tarihi geçmiş içeceklerin karbonhidratlarının (fruktoz, glukoz, sükröz) karbon kaynağı olarak kullanıldığı,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_2$ , ve üre katalizörlü hidrotermal reaksiyon ile üretilen manyetik karbonlar KOH ile aktifleştirilmiş ve ardından suda çözünür metilen

mavisi boyasının  $404,73 \text{ mg/g}$  adsorpsiyon kapasitesi ile giderimi başarılmıştır (Liu, vd. 2019). Bir diğer çalışmada da triazin herbisitlerin süt ve pirinç gibi model gıda örneklerinden adsorpsiyonunu arttırmak için iyonik olmayan bir silikon yüzey üzerine manyetik modifiye aktif karbon kaplanmış, triazin herbisitler ve adsorban arasındaki hidrofobik etkileşime bağlı olarak triazin herbisitlerin ayrılması gıda numunelerinde %81 oranında başarılmıştır (Mohd vd., 2019).

### SONUÇ

Yüksek gözenekli yapıları ve geniş yüzey alanları ile mükemmel adsorban malzemeler olarak bilinen aktif karbonlar ayırma, saflaştırma, uzaklaştırma ve geri kazanım süreçleri için çok çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde aktif karbon kullanımı, düşük maliyetli gıda atıklarının aktif karbona dönüştürülmesi ile çevre dostu atık yönetimi politikası sağlaması, gıdalardan istenmeyen kirliliklerin giderimi, saf gıda katkı maddeleri üretimi, yeni nesil antimikrobiyal ajanlar ve elektrokimyasal sensörler ile gıda analizi masraflarını azaltma, kolaylaştırma ve verimliliği artırma açısından avantajlar sunmaktadır. Elektromanyetik aktif karbonlar, ayırma ve saflaştırma verimleri oldukça başarılı olduğundan, gıda endüstrisinde gelecekte kullanım potansiyeli yüksek adsorbanlardır. Aktif karbonun yenilenebilirlik özelliği ile tekrar kullanılabilmesi uzun süreli kullanımı da mümkün kılmakta, bu durum uygulamalarda ekonomi sağlamaktadır.

### KAYNAKLAR

Smith, A.W. J., Poulston, S., Rowsell, L., Terry, L. A., Anderson, J. A. (2009). A New Palladium-Based Ethylene Scavenger to Control Ethylene-Induced Ripening of Climacteric Fruit. *Platinum Met Rev.*, 53(3), 112-122. doi:10.1595/147106709x462742.

Anonymous (2002). Activated Carbon Processing, National Organic Standards Board Technical Advisory Panel Review Compiled by OMRI for the USDA National Organic Program, 1-23.

Akyıldız, H. (2007).  $\text{H}_3\text{PO}_4$  Aktivasyonu ile zeytin çekirdeğinden aktif karbon üretimi, Yıldız Teknik

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 115 s.

Ali, B. H., Alza'abi, M., Ramkumar, A., Al-Lawati, I., Waly, M. I., Beegam, S. (2014). The effect of activated charcoal on adenine-induced chronic renal failure in rats. *Food Chem Toxicol*, 65, 321-328. doi:10.1016/j.fct.2013.12.038.

Alvarez-Pugliese, C.E., Acuña-Bedoya, J., Vivas-Galarza, S., Prado-Arce, A., Marriaga-abrales, N. (2019). Electrolytic regeneration of granular activated carbon saturated with diclofenac using BDD anodes. *Diamond & Relat Mater*, 93, 193-199. doi:10.1016.

Ayyalusamy, S., Mishra, S., Suryanarayanan, V. (2018). Promising post-consumer PET-derived activated carbon electrode material for non-enzymatic electrochemical determination of carbofuran hydrolysate. *Sci Rep*, 8(13151), 1-9. doi:10.1038/s41598-018-31627-8.

Bayat, M., Alighardashi, A., Sadeghasadi, A. (2018). Fixed-bed column and batch reactors performance in removal of diazinon pesticide from aqueous solutions by using walnut shell-modified activated carbon. *Environ Technol & Innov*, 12, 148-159. doi:10.1016/j.eti.2018.08.008.

Behr, M., Cocco, E., Lenouvel, A., Guignard, C., Evers, D. (2013). Technical Brief Earthy and Fresh Mushroom Off-Flavors in Wine: Optimized Remedial Treatments. *Am J Enol Vitic*, 64(4), 545-549. doi:10.5344/ajev.2013.13061.

Bernal, M., Ruiz M.O., Geanta, R.M., Benito, J.M., Escudero, I. (2016). Colour removal from beet molasses by ultrafiltration with activated charcoal. *Chem Eng J*, 283, 313-332. doi:10.1016/j.ccej.2015.07.047.

Nobre, C., Teixeira, J.A., Rodriguez, L.R. (2012). Fructo-oligosaccharides purification from a fermentative broth using an activated charcoal column. *New Biotechnol*, 29(3), 395-401. doi:10.1016/j.nbt.2011.11.006.

Capson-Tojo, G., Moscoviz, R., Ruiz, D., Santa-Catalina, G., Trably, E., Rouez, M., Crest, M., Steyer, J., Bernet, N. (2018). Addition of granular

activated carbon and trace elements to favor volatile fatty acid consumption during anaerobic digestion of food waste, *Bioresour Technol*, 260, 157-168. doi:10.1016/j.biortech.2018.03.097.

Cullum, P. (2007). Evaluating the performance of different powdered activated carbons for taste and odour reduction. 32<sup>nd</sup> Annual Qld Water Industry Operations Workshop Walter Pierce Pavilion, Showgrounds Complex, Rockhampton, 38-44.

Christica, I.S., Muchlisya, M., Julia, R. (2018). Activated carbon utilization from corn cob (*Zea mays*) as a heavy metal adsorbent in industrial waste, *Asian J Pharm Res and Dev*, 6(5), 01-04.

Danish, M., Ahmad, T., Majeed, S., Ahmad, M., Ziyang, L., Pin, Z., Iqbal, S.M.S. (2018). Use of banana trunk waste as activated carbon in scavenging methylene blue dye: Kinetic, thermodynamic, and isotherm studies, *Bioresour Technol Rep*, 3, 127-137.

Dermanlı, Y. (2006). Gıda fabrikasyon atıklarından aktif karbon üretimi ve soya yağını ağartma performansının incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 52 s.

Derylo-Marczewska, A., Blachnio, M., Marczewski, A.W., Seczkowska, M., Tarasiuk, B. (2019). Phenoxyacid pesticide adsorption on activated carbon e Equilibrium and kinetics. *Chemosphere*, 214, 349-360. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.09.088.

Dhall, R. K. (2013). Ethylene in Post-harvest Quality Management of Horticultural Crops: A Review. *Res & Rev: A Journal of Crop Sci Technol*, 2(2), 9-24, ISSN: 2319-3395.

Diaz, E., Ordonez, S., Vega, A., Coca, J. (2005). Comparison of adsorption properties of a chemically activated and a steam-activated carbon, using inverse gas chromatography. *Microporous and Mesoporous Mater*, 82, 173-181. doi:10.1016/j.micromeso.2005.03.010.

Farooq, M., Bell, A., Almustapha, M.N., Andresen, J.M. (2017). Bio-methane from anaerobic digestion using activated carbon

- adsorption. *Anaerobe*, 46, 33-40. doi:10.1016/j.anaerobe.2017.05.003.
- Anonymous (2010). World Health Organization,(WHO) Expert Committee on Food Additives, Compendium of food additive specifications: seventy-third [73rd] report, *WHO Tech Rep Ser*, Rome, ISBN 978-92-5-106662-1, ISSN 1817-7077.
- Fadhil, A.B., Ahmed,A.I., Salih, H.A. (2017). Production of liquid fuels and activated carbons from fish waste. *Fuel*, 187, 435-445.
- Gamal, M. E., Mousa H.A., Naas, M.H., Zachharia, R., Judd,S. (2018). Bio-regeneration of activated carbon: A comprehensive review. *Sep and Purif Technol*, 197, 345–359. doi:10.1016/j.seppur.2018.01.015.
- Gerçel, Ö., Seydioğlu, G. (2015). Kiraz çekirdeğinden granül aktif karbon üretimi. *Anadolu Üniversitesi Bil ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 16(2), 189-193, DOI: 10.18038/btd-a.93727.
- Güneysu, S. (2003). Prina'nın aktif karbon olarak değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Türkiye, 69s.
- Mudoga, H.L., Yücel, H., Kincal, N.S. (2008). Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beet pulp based activated carbons. *Bioresour Technol*, 99, 3528-3533. doi:10.1016/j.biortech.2007.07.058.
- Achaerandio, I., Lopez, C.G.F., Ozmak, M. (2002). Continuous vinegar decolorization with exchange resins. *J Food Eng*, 51, 311-317.
- İzkeçeli, M. (2010). Kestane kabuklarından sentetik aktif karbon hazırlanması ve metilen mavisi gideriminde kullanılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 73 s.
- Arroyo-Gómez, J.J., Villarroel-Rocha, D., de Freitas-Araújo, K.C., Martínez-Huitle, C.A., Sapag, K. (2018). Applicability of activated carbon obtained from peach stone as an electrochemical sensor for detecting caffeine. *J Electroanalytical Chem*, 822, 171-176. doi:10.1016/j.jelechem.2018.05.028.
- Jusoh, A., Hartini,W.J.H., Ali,N., Endut,A. (2011). Study on the removal of pesticide in agricultural run off by granular activated carbon. *Bioresour Technol*, 102, 5312-5318. doi:10.1016/j.biortech.2010.12.074.
- Kobayashi, K., Tanaka, M., Tanabe, S., Yatsukawa,Y.,Tanaka,M. (2018). Distinguishing glutamic acid in foodstuffs and monosodium glutamate used as seasoning by stable carbon and nitrogen isotope ratios. *Heliyon*, 4, 1-17. doi:10.1016/j.heliyon.2018.e00800.
- Kuhn, R. C., Filho, F.M. (2010). Purification of fructooligosaccharides in an activated charcoal fixed bed column. *New Biotechnol*, 27(6), 863-869. doi:10.1016/j.nbt.2010.05.008.
- Lamichhane, S., Krishna, K.C. B., Sarukkalige, R. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) removal by sorption: A review. *Chemosphere*, 148, 336-353. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.01.036.
- Lemley, A., Wagenet, L, Kneen, B. (1995). Activated Carbon Treatment of Drinking Water. *Water Treat Notes*, 1-6.
- Lisanti, M. T., Gambuti, A., Genovese, A., Piombino, P.,Moio, L. (2017). Treatment by fining agents of red wine affected by phenolic off-odour. *Eur Food Res and Technol*, 243(3), 501-510. doi:10.1007/s00217-016-2763-4.
- Liu, Y., Huo,Z.,Song,Z.,Zhang,C., Ren,D.,Zhong, H,Jin,F. (2019). Preparing a magnetic activated carbon with expired beverage as carbon source and KOH as activator. *J Taiwan Inst Chem Eng*, 96, 575-587. doi:10.1016/j.jtice.2018.11.017.
- Mahesh, M., Arivizhivendhan, K. V., Maharaja, P., Boopathy, R., Hamsavathani, V., Sekaran, G. (2016). Production, purification and immobilization of pectinase from *Aspergillus ibericus* onto functionalized nanoporous activated carbon (FNAC) and its application on treatment of pectin containing wastewater. *J Mol Catal B: Enzym*, 133, 43-54. doi:10.1016/j.molcatb.2016.07.012.

- Maes, J., Meulenaer, B., Heerwynghe, P., Greyt, W., Epe, G., Pauw, E., Huyghebaert, A. (2005). Removal of Dioxins and PCB from Fish Oil by Activated Carbon and Its Influence on the Nutritional Quality of the Oil. *J Am Oil Chem Soc*, 82(8), 593-597.
- Mendez-Diaz, J. A., Gullon, M. (2006). Types of carbon adsorbents and their production. *Interface Sci and technol*, 7, 1-48.
- Mussatto, S. I., Roberto, I.C. (2001). Hydrolysate detoxification with activated charcoal for xylitol production by *Candida guilliermondii*. *Biotech Lett*, 23, 1681-1684. doi:10.1023/A:1012492028646.
- Mohd, N.I., Gopal, K., Rao, M., Mohamad, S., Yahaya, N., Lim, V., Zain, N.N.M. (2019). Evaluation of a magnetic activated charcoal modified with non-ionic silicone surfactant as a new magnetic solid phase extraction sorbent with triazine herbicides as model compounds in selected milk and rice samples. *Talanta*, 196, 217-225. doi:10.1016/j.talanta.2018.12.043.
- Naka, K., Watarai, S., Inoue, T.K., Kodama, Y., Oguma, K., Yasuda, T., Kodama, H. (2000). Adsorption Effect of Activated Charcoal on *Enterobacteriaceae* *Escherichia coli*. *Public Health*, 281-285.
- Nasehi S.M., A. S., Sarshar M. (2012). Removal of dark colored compounds from date syrup using activated carbon: A kinetic study. *J Food Eng*, 111, 490-495. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.02.037.
- Ogungbenro, A. E., Quang, D.V., Ali, K., Mohammad, R.M., Zahra, A. (2018). Physical synthesis and characterization of activated carbon from date seeds for CO<sub>2</sub> capture. *J Environ Chem Eng*, 6, 4245-4252. doi:10.1016/j.jece.2018.06.030.
- Olgun, B., Erdem, A., Asiltürk, M., Doğan, G. (2017). Nanopartikül Tutturulmuş Aktif Karbon ile Ortam Havasında Uçucu Organik Bileşik Gideriminin Değerlendirilmesi. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım 2017, Antalya, Türkiye, 830-841.
- Ou, S., Luo, Y., Xue, F., Huang, C., Zhang, N., Liu, Z. (2007). Separation and purification of ferulic acid in alkaline-hydrolysate from sugarcane bagasse by activated charcoal adsorption/anion macroporous resin exchange chromatography. *J Food Eng*, 78, 1298-1304. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.12.037
- Ozmaç, M. (2010). *Biyokütle Atıklarından Aktif Karbon Üretimi*. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, Türkiye, 185s.
- Ozsoy, H. D., Leeuwen, J.H. (2010). Removal of color from fruit candy waste by activated carbon adsorption. *J Food Eng*, 101, 106-112. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.06.018.
- Qadeer, R., Rehan, A.H. (2002). A Study of the Adsorption of Phenol by Activated Carbon from Aqueous Solutions. *Turk J Chem*, 26, 357-361.
- Quintela, S., Villaran, M. C., Armentia, I.L., Elejalde, E. (2013). Ochratoxin A removal in wine: A review. *Food Control*, 30, 439-445. doi:10.1016/j.foodcont.2012.08.014.
- Reichardt, C., Utgenannt, S., Stahmann, K., Klepel, O. (2018). Highly stable adsorptive and covalent immobilization of *Thermomyces lanuginosus* lipase on tailor-made porous carbon material. *Biochem Eng J*, 138, 63-73. doi:10.1016/j.bej.2018.07.003.
- Ridal, J., Brownlee, B., McKenna, G., Levac, N. (2001). Removal of Taste and Odour Compounds by Conventional Granular Activated Carbon Filtration. *Water Qual Res J*, 36(1). doi:10.2166/wqrj.2001.003.
- Preis, S., Klauson, D., Gregor, A. (2013). Potential of electric discharge plasma methods in abatement of volatile organic compounds originating from the food industry. *J Environ Manag*, 114, 125-138. doi:10.1016/j.jenvman.2012.10.042.
- Lakshmi, S.D., Avti, P. K., Hegde, G. (2018). Activated carbon nanoparticles from biowaste as new generation antimicrobial agents: A review. *Nano-Struct & Nano-Objects*, 16, 306-321. doi:10.1016/j.nanoso.2018.08.001.
- Safarik, I., Horska, K., Pospiskova, K., Safarikova, M. (2012). Magnetically Responsive Activated Carbons for Bio- and Environmental

- Applications. *Int Rev of Chem Eng (I.RE.CHE.)*, 4(3), 346-352.
- Saffarionpour, S., Ottens, M. (2017). Recent Advances in Techniques for Flavor Recovery in Liquid Food Processing. *Food Eng Rev.* doi:10.1007/s12393-017-9172-8.
- Soto, M. L., Moure, A., Dominguez, H., Parajo, J. C. (2011). Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review. *J Food Eng*, 105, 1-27. doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.02.010.
- Srinivasan, R., Sorial, G. A. (2011). Treatment of taste and odor causing compounds 2-methyl isoborneol and geosmin in drinking water: A critical review. *J Environ Sci*, 23(1). doi:10.1016/S1001-0742(10)60367-1.
- Suo, F., Liu, X., Li, C., Yuan, M., Zhang, B., Wang, J., Ma, Y., Lai, Z., Ji, M. (2019). Mesoporous activated carbon from starch for superior rapid pesticides removal. *Int J Biol Macromol*, 121, 806-813. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.10.132.
- Sühnholz, S., Kopinke, F., Weiner, B. (2018). Hydrothermal treatment for regeneration of activated carbon loaded with organic micropollutants. *Sci Total Environ*, 644, 854-861. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.395.
- Tubia, I., Prasad, K., Perez-Lorenzo, E., Abadin, C., Zumarraga, M., Oyanguren, I., Barbero, F., Paredes, J., Arana, S. (2018). Beverage spoilage yeast detection methods and control technologies: A review of *Brettanomyces*. *Int J Food Microbiol*, 283, 65-76. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2018.06.020.
- Türkmen, Ş. N. (2015). Çeşitli meyve kabuklarından biochar üretim yöntemlerinin geliştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 81 s.
- Udomkun, P., Innawong, B., Siasakul, C., Okafor, C. (2018). Utilization of mixed adsorbents to extend frying oil life cycle in poultry processing. *Food Chem*, 284, 225-229. doi:10.1016/j.foodchem.2017.12.070.
- Wang, F., Liang, J., Wang, W., Fu, D., Xiao, W. (2017). A new and efficient method for purification of poly- $\gamma$ - glutamic acid from high-viscosity fermentation broth. *Trop J Pharm Res*, 16(6), 1267-1275. doi:10.4314/tjpr.v16i6.9.
- Yağmur, E., Turkoğlu, S., Banford, A., Aktaş, Z. (2017). The relative performance of microwave regenerated activated carbons on the removal of phenolic pollutants. *J Cleaner Prod*, 149, 1109-1117. doi:10.1016/j.jclepro.2017.02.188.
- Yangui, A., Abderrabba, M. (2018). Towards a high yield recovery of polyphenols from olive mill wastewater on activated carbon coated with milk proteins: Experimental design and antioxidant activity. *Food Chem*, 262, 102-109. doi:10.1016/j.foodchem.2018.04.091.