



Araştırma Makalesi

**Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği**

Emel ÖZ<sup>\*1</sup>, Adem SAVAŞ<sup>1</sup>, Elif EKİZ<sup>1</sup>, Fatih ÖZ<sup>1</sup>

**ÖZ**

Araştırmada mangalda pişirilmiş sebzelerin (domates, sarımsak, soğan, patlıcan, sivri biber, yeşil biber, kapy biber) polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) içeriğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. PAH bileşikleri QuEChERS yöntemi ile ekstrakte edilmiş ve PAH seviyesi HPLC-FLD ile analiz edilmiştir. BaP seviyesinin patlıcan ve sivri biber örneklerinde sırasıyla 1.5 ve 2.48 ng/g düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Sarımsak ve yeşil biber örneklerinde BaP miktarının kantitatif ölçme sınırının altında kaldığı gözlenmiştir. BaA (0.33-2.30 ng/g) ve Chry (nq-3.69 ng/g) tüm sebzelerde tespit edilmiştir. Domates, soğan ve kapy biberin diğer sebzelere kıyasla daha düşük seviyelerde PAH içerdiği, patlıcan ve sivri biberin ise incelenen tüm genotoksik PAH bileşiklerini içerdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sebze, mangal, polisiklik aromatik hidrokarbon, QuEChERS, HPLC-FLD

**Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Content of Barbecued Vegetables**

**ABSTRACT**

Herein, it was aimed to determine the polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) content of barbecued vegetables (tomato, garlic, onion, eggplant, green pepper, chili pepper, capia pepper). PAH compounds were extracted by QuEChERS method and PAH level was analyzed by HPLC-FLD. BaP level was 1.5 and 2.48 ng/g in eggplant and chili pepper, respectively. BaP in garlic and green pepper was below the LOQ value. BaA (0.33-2.30 ng/g) and Chry (nq-3.69 ng/g) were detected in all vegetables. Tomato, onion and capia pepper had lower PAH contents compared to other vegetables, while eggplant and chili pepper contained all genotoxic PAH compounds.

**Keywords:** Vegetable, barbecuing, polycyclic aromatic hydrocarbon, QuEChERS, HPLC-FLD

ORCID ID (Yazar sırasına göre)

0000-0003-3766-2713, 0000-0002-4365-1482, 0000-0002-5557-4226, 0000-0002-5557-4226

---

Yayın Kuruluna Geliş Tarihi: 31.12.2020

Kabul Tarihi: 01.02.2021

<sup>1</sup>Gıda Mühendisliği Bölümü, Ziraat Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, 25240, Erzurum, Türkiye

\*E-posta: emel.oz@atauni.edu.tr

## Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği

### Giriş

Polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH)'lar organik materyallerin tam yanmaması veya pirolizi yoluyla oluşan, iki veya daha fazla kaynaşmış benzen halkası içeren organik bileşikler olarak tanımlanmakta ve yaygın çevresel kirleticiler olarak kabul edilmektedir (Sun ve ark., 2019). Epidemiyolojik çalışmalar bu bileşiklerin hücresel membranın normal işleyişine ve enzim sistemine müdahale etmek suretiyle organizmaları etkileyebildiğini göstermiştir (Bogdanovic ve ark., 2019). Storelli ve ark. (2003), PAH'ların DNA'ya bağlanmak suretiyle DNA replikasyonunda hatalara yol açabilecek eklentiler oluşturarak karsinojen süreci başlatan mutasyonlara neden olduğunu bildirmişlerdir. Mutajenik ve/veya karsinojenik özellikleri olan bu bileşiklerden, beş veya daha fazla kaynaşmış benzen halkası içeren ve ağır PAH'lar olarak adlandırılanların, iki-dört kaynaşmış benzen halkası içeren ve hafif PAH'lar olarak adlandırılanlara göre daha stabil ve toksik oldukları bildirilmiştir (Plaza-Bolanos ve ark., 2010). Bu bağlamda, günümüze dek 660'a yakın PAH bileşiği tanımlanmış olsa da, bunlardan sadece 16 tanesinin öncelikli kontaminant olduğu rapor edilmiştir (Oz, 2020a). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) ise bu 16 öncelikli kontaminant arasından benzo(a)piren (BaP)'i Grup 1 (bilinen insan karsinojeni) ve Benzo[a]antrasen (BaA), Krisen (Chr) ve Benzo[b]floranten (BbF)'i ise Grup 2B (muhtemel karsinojen) olarak sınıflandırmıştır (IARC, 2010). Günümüzde BaP ile BaA, Chr ve BbF'nin toplamını ifade eden PAH4 seviyeleri, PAH'ların karsinojenik gücünün bir göstergesi olarak kabul edilmekte ve gıdalardaki PAH oluşumunun değerlendirilmesinde indikatör olarak kullanılmaktadırlar (Rose ve ark., 2015).

PAH'lar volkanik patlamalar, orman yangınları, endüstriyel baca gazları, araba egzozları gibi pek çok kaynaktan bulunabilse de insanlar için en önemli PAH kaynağının gıdalar olduğu (Li ve ark., 2019) ve gıdaların PAH kirliliğinin yaklaşık %88-98'inden sorumlu olduğu bildirilmektedir (Singh ve ark., 2020). Bu çevresel kirleticiler, gıdalara kirli su, hava ve topraktan bulaşabilmekle birlikte, tütüleme,

kızartma, ızgara ve mangal gibi bazı işleme prosesleri de gıdalarda PAH oluşumuna sebep olabilmektedir (Martorell ve ark., 2010). Gıdaların ısı ile işleme tabi tutulması esnasında PAH'ların oluşum mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte (Lee ve ark., 2016), genel olarak kabul görmüş üç teori bulunmaktadır. Bu teorilerden birincisi, gıda bünyesinde bulunan organik bileşenlerin 200 °C veya üzerindeki sıcaklıklarda pirolizi, ikincisi gıda bünyesinde bulunan yağın ısı kaynağına damlaması ve üçüncüsü de ısı kaynağı olarak kullanılan yakıtın tam yanmamasıdır (Singh ve ark., 2020).

Mangalda pişirme, ülkemizde sıklıkla tercih edilen popüler bir pişirme tekniğidir. Bununla birlikte, gıda ve pişirme kaynağı arasında direkt temas olması PAH oluşumu ve konsantrasyonu bakımından bu yöntemin riskini artırmaktadır (Oz, 2020b). Kazerouni ve ark. (2001) gıdaların doğrudan duman veya pişirme kaynağı ile temas ettiği pişirme yöntemlerinde oluşan PAH konsantrasyonunun indirekt pişirme yöntemlerine kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Çeşitli pişirme tekniklerinin gıdalardaki PAH oluşum düzeyi üzerine etkisinin incelendiği pek çok araştırma bulunmakla birlikte bu araştırmaların çoğu et ve et ürünlerine yöneliktir. Pişirilmiş sebzelerde PAH seviyesinin incelendiği sadece birkaç çalışma (Alomirah ve ark., 2011; Akpambang ve ark., 2015; Cheng ve ark., 2019) bulunmaktadır. Pişirilerek tüketilen sebzelerin de insanlardaki PAH maruziyetine katkı sağlayabileceği düşünüldüğünde bu kapsamda yapılacak çalışmalara ihtiyaç olduğu açıktır. Bu nedenle mevcut bu araştırmada mangalda pişirilmiş bazı sebzelerin (domates, sarımsak, soğan, patlıcan, sivri biber, yeşil biber ve kapy biber) pişirilmesi esnasında oluşan PAH seviyelerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

### Materyal ve Yöntem

#### Materyal

Sebze [domates (~1 kg), sarımsak (~500 g), soğan (~1 kg), patlıcan (~1 kg), sivri biber (~500 g), yeşil biber (~500 g) ve kapy biber (~1 kg)] örnekleri Erzurum'daki yerel bir sebze satıcısından temin edilmiş ve pişirme öncesi su

## Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği

ile yıkanarak temizlenmiştir. Araştırmada her bir tekerrür için, her bir sebze grubundan 4 adet kullanılmıştır.

### Kimyasallar

Araştırmada HPLC-grade kalitesinde kimyasal ve çözeltiler kullanılmıştır. Ayrıca HPLC-grade çözücüler hariç olmak üzere tüm çözeltiler 0.45 µm'lik filtreden (Millex®, Massachusetts, USA) süzülükten sonra kullanılmıştır. Q-sep Q150 QuEChERS ekstraksiyon tuzları (6 g MgSO<sub>4</sub>, 1.5 g NaOAc, 50 mL) ve Q-sep Q351 QuEChERS dSPE (1200 mg MgSO<sub>4</sub>, 400 mg PSA, 400 mg C18, 15 mL) Restek (Bellefonte, Amerika Birleşik Devletleri)'den satın alınmıştır. Benzo[a]antrasen (BaA), Krisen (Chr), Benzo[b]floranten (BbF), Benzo[k]floranten (BkF), Benzo[a]piren (BaP), Indeno[1,2,3-cd]piren (IncdP), Benzo[g,h,i]perilen (BghiP), ve Dibenzo[a,h]antrasen (DahA) bireysel PAH'larını içeren PAH standart karışımı ise Supelco (Bellefonte, Amerika Birleşik Devletleri)'dan temin edilmiştir. Stok ve seyreltilmiş PAH standartlarının hazırlanmasında asetonitril kullanılmıştır (Oz ve ark., 2020).

### Piştirme Koşulları

Sebze örneklerinin mangalda pişirilmesinde tel mangal (genişlik, uzunluk ve yükseklik: 25 × 40 × 7 cm) kullanılmıştır. Yıkanmış sebze örnekleri kabuklu olarak pişirilmiştir. Piştirme işleminde tamamen tutuşturulmuş ve dengeli ısıtma için mangal yüzeyine eşit yayılmış odun kömürü kullanılmıştır. Mangal yüzey sıcaklığı (200 °C) dijital bir termokapl (Testo 926, Almanya) ile ölçülmüştür. Sebze örnekleri toplam piştirme süresinin (8 dakika) yarısında ters çevrilmiş ve PAH analizi kabuğu soyulmuş örneklerde gerçekleştirilmiştir.

### Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Analizi

PAH'ların ekstraksiyonunda QuEChERS ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır (Oz ve ark., 2020). Bu amaçla, 5 g sebze örneği ve 10 mL ultra saf su 1 dakika süreyle vortekslenmiştir. Üzerine ekstraksiyon çözücüsü olarak, %1 asetik asit içeren 10 mL asetonitril eklenip 2 dakika daha vortekslenmiştir. Bu işlemin

ardından, karışımın üzerine 6 g MgSO<sub>4</sub> ve 1.5 g NaOAc içeren Q150 QuEChERS ekstraksiyon tuzu eklenerek 1 dakika daha vortekslenmiştir. Ardından karışımı içeren santrifüj tüpü 4000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Üst katman 1200 mg MgSO<sub>4</sub>, 400 mg PSA ve 400 mg C18 içeren Q351 QuEChERS dSPE tüpüne aktarılıp 1 dakika boyunca vortekslenmiştir. Ardından tüp 4000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Son aşamada üst tabakanın bir kısmı 0.45 µm'lik bir filtreden süzülükten sonra bir HPLC vialine transfer edilmiştir.

PAH bileşiklerinin tanımlanmasında ve miktarının belirlenmesinde FLD dedektörlü HPLC (Thermo Ultimate 3000; Thermo Scientific) ve 3 µm partükül büyüklüğünde (150 mm x 2.1 mm, Hichrom, Birleşik Krallık) Hypersil™ Green PAH kolonu kullanılmıştır. Mobil faz A ve B olarak sırasıyla deiyonize su ve asetonitril kullanılmıştır. Akış hızı 0.6 mL/dak ve gradyan program, 0-22 dakika %50 B ve 22-24 dakika %100 B şeklindeydi (Oz ve Yuzer, 2016).

Metot validasyonunda, tek laboratuvar doğrulamasına uygun olarak, LOD (limits of detection), LOQ (limits of quantification), doğrusallık (R<sup>2</sup>) ve geri kazanım parametreleri değerlendirilmiştir. LOD ve LOQ değerleri sırasıyla 3 ve 10'luk sinyal/gürültü oranı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Doğrusallık, regresyon analizi ile değerlendirilirken; bireysel PAH bileşiklerinin geri kazanım oranlarının belirlenmesinde standart ilave metodu kullanılmıştır. PAH bileşiklerinin tanımlanmasında PAH standartlarının alıkonma sürelerinden yararlanılmış, miktar belirlenmesinde ise external kalibrasyon eğrisi metodu kullanılmıştır. Kalibrasyon eğrisinin çizilmesinde konsantrasyonu 1-100 ng/g arasında değişen 6 farklı standart konsantrasyonu kullanılmıştır (Oz, 2020b).

### İstatistiksel Analiz

Araştırma, tam şansa bağlı bloklar deneme desenine göre iki tekerrürlü olarak kurulmuş ve her bir tekerrür iki paralelli olarak çalışılmıştır. Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. Ayrıca örnekler arasındaki benzerlik ve farklılıkların tanımlanmasını kolaylaştırmak

## Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği

için tüm verilere temel bileşen analizi (PCA) uygulanmıştır (SIMCA-P + 14.1, UMETRICS, İsveç).

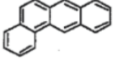
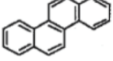
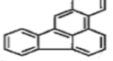
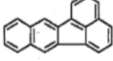
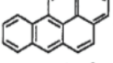
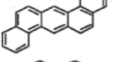
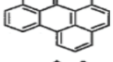
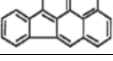
### Bulgular ve Tartışma

#### Pişmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçerikleri

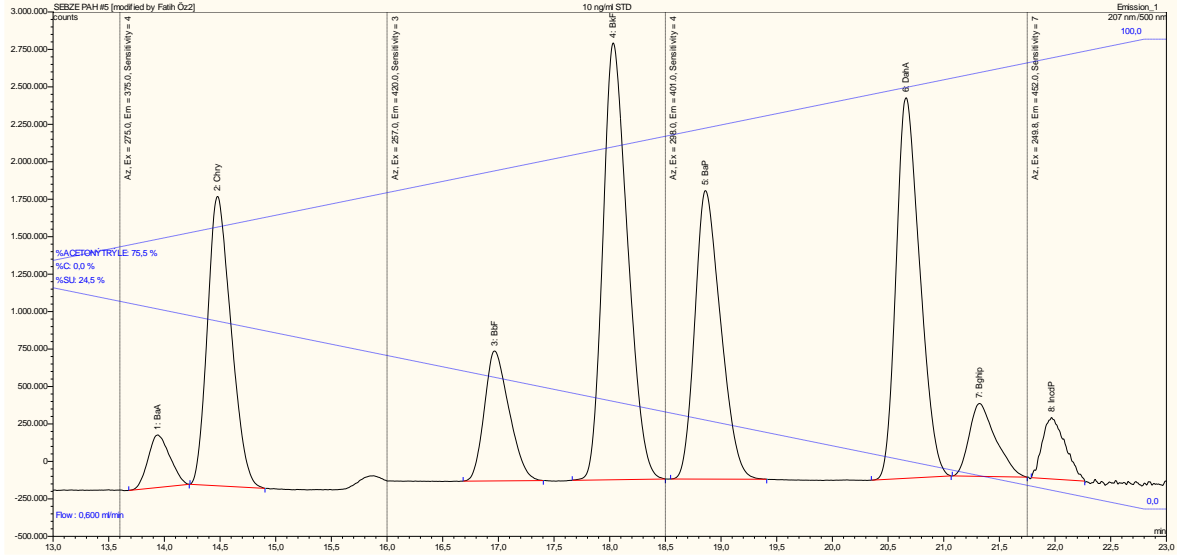
Araştırmada kullanılan PAH standart karışımına ait LOD ve LOQ değerleri ile geri kazanım oranları Tablo 1’de sunulmuştur. Buna göre, LOD ve LOQ değerleri sırasıyla 0.027-0.125 ng/g ile 0.089-0.413 ng/g arasında değişmiş ve PAH bileşiklerinin geri kazanım oranları % 70.14-85.10 arasında olmuştur. Avrupa Komisyonu Yönetmeliği’nde (No 836/2011) PAH’lar için geri kazanım oranlarının % 50-120 arasında olması gerektiği

bildirilmiştir. Mevcut araştırmada incelenen tüm PAH standart eğrilerinin regresyon katsayılarının ( $R^2$ ) 0.999’un üzerinde olduğu belirlenmiştir. Analiz güvenilirliğini ilgilendiren bu sonuçlar EC (2011) tarafından bildirilen performans kriterleri ile uyum içerisindedir. Ayrıca mevcut araştırmada incelenen bu metot performans kriterleri, bu kapsamda yapılan diğer araştırmalar ile karşılaştırılabilir niteliktedir (Cheng ve ark., 2019; Lee ve ark., 2019; Oz ve ark., 2020). Şekil 1’de 10 ng/g konsantrasyondaki PAH standardına ait HPLC kromatogramı gösterilmiştir.

**Tablo 1.** PAH standart karışımında yer alan bireysel PAH bileşiklerinin LOD ve LOQ değerleri ile geri kazanım oranları

PAH bileşiği	Molekül yapısı	Kimyasal formül	LOD (ng/g)	LOQ (ng/g)	Geri kazanım (%)
BaA		C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	0.027	0.089	85.10
Chry		C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	0.034	0.112	79.25
BbF		C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	0.086	0.284	78.77
BkF		C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	0.065	0.215	83.76
BaP		C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	0.069	0.228	81.10
DahA		C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	0.083	0.274	75.38
BghiP		C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	0.125	0.413	82.89
IncdP		C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	0.113	0.373	70.14

## Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği



**Şekil 1.** 10 ng/g konsantrasyondaki PAH standardına ait HPLC kromatogramı (Pik no 1: BaA, 2: Chry, 3: BbF, 4: BkF, 5: BaP, 6: DahA, 7: BghiP, 8: IncdP)

Mangalda pişirilmiş sebze örneklerinin PAH içeriklerine ait sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur. BaA, Chry, BbF, BkF, BaP ve BghiP’in sebzelerde PAH karsinogenitesine katkı sağlayan en önemli bireysel PAH bileşikler olduğu rapor edilmiştir (Wang ve ark., 2016; Cheng ve ark., 2019). Bu bağlamda mevcut araştırmada incelenen 8 genotoksik PAH bileşiği arasında sebze örneklerinde en yaygın bulunanların BaA ve Chry olduğu gözlenmiştir. İncelenen tüm pişmiş sebzelerde, değişen seviyede BaA (0.33-2.30 ng/g) ve Chry (nq-3.69 ng/g) tespit edilmiştir. Ayrıca BbF (nq-1.85 ng/g) sarımsak, patlıcan ve sivri biber örneklerinde; BkF (nq-0.86 ng/g) yeşil biber, patlıcan ve sivri biber örneklerinde ve BghiP ise (nq-1.57 ng/g) sarımsak, patlıcan, sivri biber ve yeşil biber örneklerinde tespit edilmiştir. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı tarafından bilinen insan karsinogenleri kategorisinde sınıflandırılan (IARC, 2010) ve gıdalardaki PAH riskinin değerlendirilmesinde bir indikatör olarak kullanılan BaP ise sadece patlıcan ve sivri biber örneklerinde sırasıyla 1.50 ve 2.48 ng/g seviyelerinde tespit edilmiştir. Sarımsak ve yeşil biber örneklerinin BaP içeriği ise kantitatif ölçme sınırın altında kalmıştır. Alomirah ve ark. (2011) piyasadan temin ettikleri közlenmiş domates, soğan ve kırmızı biber örneklerinde

BaP içeriğinin nd-3.43 ng/g arasında olduğunu bildirmişlerdir. Akpambang ve ark. (2015) ise Nijerya’ya özgü kavrulmuş bir sebzede BaP seviyesinin 0.3-0.6 ng/g arasında olduğunu bildirmiştir. Diğer taraftan mevcut araştırmada BaP’in tespit edilmediği domates, soğan ve kapyra biber örneklerinde değişen seviyelerde diğer genotoksik PAH bileşiklerinin tespit edilmesi, gıdalardaki PAH riskinin değerlendirilmesinde sadece BaP’nin değil PAH4 ve PAH8 seviyelerinin de önemli olduğu fikrini desteklemektedir.

Mangalda pişirilmiş sebzeler arasında incelenen tüm genotoksik PAH’ları içermeleri nedeniyle, patlıcan ve sivri biber ön plana çıkmaktadır. Patlıcanda tespit edilen bu sonucun yüzey alanı ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Diğer bir deyişle, artan yüzey alanı pişirme kaynağından gelen dumanın gıdaya daha fazla akümüle olmasına neden olabilmektedir. Zachara ve ark. (2017) yüzey alanının gıdalarda oluşan PAH seviyesine etki eden önemli bir faktör olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Rojo ve Toledo (2003), çiğ sebze ve meyvelerde tespit ettikleri farklı seviyelerdeki PAH içeriklerinin yüzey alanı ile ilişkili olabileceğini bildirmişlerdir. Diğer taraftan mevcut araştırmada aynı pişirme süresinde tüm sebze

## Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği

örneklerinin yenilebilir düzeyde pişmiş olmasını sağlayabilmek amacıyla patlıcan örnekleri ikiye bölünmüştür. Her ne kadar pişirme işleminden sonra sebzelerin kabukları ayrılmış olsa da, bu durumun da patlıcanda tespit edilen sonuca etki edebileceği düşünülmektedir. Sivri biber örneklerinde gözlenen yüksek PAH seviyesi ise bu sebzenin aynı sıcaklık-süre kombinasyonundan daha fazla etkilenmesinden kaynaklanmış olabilir. Yani pişirme esnasında bu sebzedeki sıcaklığın merkez noktaya ulaşma hızı, daha fazla PAH oluşumuna sebep olmuş olabilir. Diğer taraftan McGrath ve ark. (2007) bitki selülozunun yüksek sıcaklıkta gerçekleşen piroliz esnasında bir dizi kimyasal dönüşüm nedeniyle PAH oluşumuna neden olabildiğini bildirmişlerdir. Bu bağlamda Cheng ve ark. (2019) yürüttükleri bir araştırmada, inceledikleri 5 farklı ızgara sebze örneğinde (patates, yeşil biber, frenk soğanı, mantar ve patlıcan) en yüksek toplam PAH miktarının mantara ait olduğunu ve bu durumun mantarın içerdiği yüksek selüloz içeriği ile ilgili olabileceğini rapor etmişlerdir.

Son olarak mevcut araştırmada sadece pişirilmiş ve kabuğu soyulmuş olan yenmeye hazır sebzelerin PAH seviyesi belirlenmiştir. Ancak düşük seviyelerde de olsa çiğ sebzelerin kirli hava, su ve toprak vasıtasıyla PAH'larla kontamine olabileceği bildirilmiştir (Paris ve ark., 2018). Bu bağlamda, hammaddelerden kaynaklanacak olası kontaminasyonları azaltmak ve/veya engellemek için çiğ sebze örnekleri pişirilmeden önce yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Nitekim, Abou-Arab ve ark. (2014) çiğ sebzelerden kaynaklanabilecek PAH kontaminasyonunun azaltılmasında veya engellenmesinde yıkama işleminin etkin rol oynadığını bildirmişlerdir.

**Tablo 2.** Mangalda pişirilmiş sebzelerin PAH içerikleri (ng/g) (ortalama  $\pm$  SS)

PAH	Domates	Sarımsak	Soğan	Patlıcan	Sivri biber	Yeşil biber	Kapya biber
BaA	0.33 $\pm$ 0.30	1.45 $\pm$ 0.02	0.53 $\pm$ 0.07	0.98 $\pm$ 0.90	2.30 $\pm$ 0.15	0.91 $\pm$ 0.88	0.53 $\pm$ 0.01
Chry	0.24 $\pm$ 0.01	0.95 $\pm$ 0.09	0.24 $\pm$ 0.05	1.90 $\pm$ 0.65	3.69 $\pm$ 1.13	nq-1.05	nq
BbF	nd	nq	nd	0.95 $\pm$ 0.46	1.85 $\pm$ 0.77	nd	nd
BkF	nd	nd	nd	0.57 $\pm$ 0.32	0.86 $\pm$ 0.36	nq	nd
BaP	nd	nq	nd	1.50 $\pm$ 0.67	2.48 $\pm$ 1.14	nq	nd
DahA	nd	nd	nd	nq-0.53	0.76 $\pm$ 0.35	nd	nd
BghiP	nd	nq	nd	0.83 $\pm$ 0.46	1.57 $\pm$ 0.54	nq-0.50	nd
IncdP	nq	3.18 $\pm$ 1.50	nd	nq-0.51	6.52 $\pm$ 1.88	nq-2.32	nd

SS: Standart sapma, nd: <LOD (algılama sınırının altında, nq: LOD < ..... < LOQ (kantitatif ölçme sınırının altında)

### Temel bileşen analizi

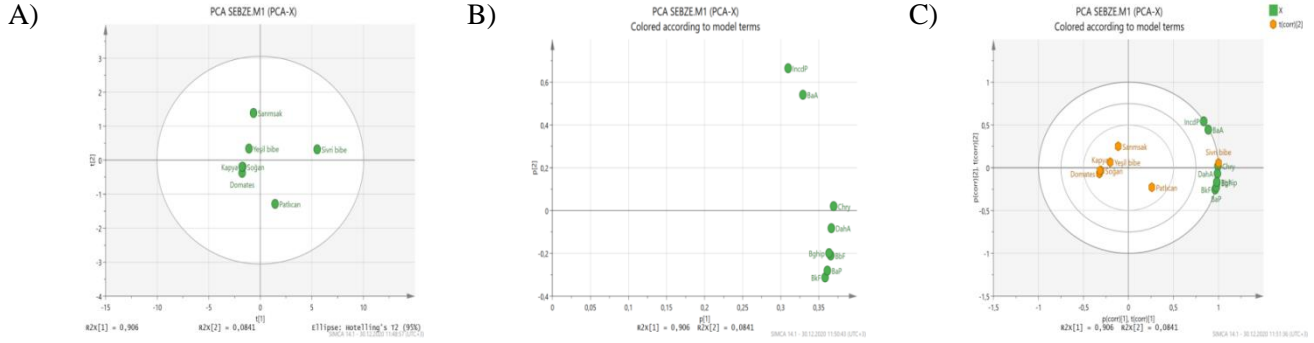
Mangalda pişirilmiş sebzelerin PAH içeriği açısından değerlendirmelerinin yapılarak aradaki farklılıkları göstermek için temel bileşen analizi (PCA) uygulanmıştır. Şekil 2'de (A - C), mangalda pişirilmiş sebzelerdeki PAH içeriklerine ait skor grafiği (score scatter plot), yükleme grafiği (loading scatter plot) ve birleştirilmiş (biplot) temel bileşen analizi skor ve yükleme grafikleri verilmiştir.

Yapılan temel bileşenler analizine göre birinci (PC1 = % 90.60) ve ikinci (PC2 = % 8.41) bileşenler, toplam varyasyonun % 99.01'ini açıklamaktadır. Şekil 2A'da görüldüğü gibi, sivri biber, patlıcan, sarımsak ve yeşil biberin PAH içerikleri diğer sebzelerden belirgin bir şekilde ayrılmıştır. Bu durum, sivri biber, patlıcan, sarımsak ve yeşil biberin ihtiva ettiği PAH içeriklerinin diğer sebzelerin PAH içeriklerinden farklılık gösterdiği anlamına gelmektedir. Buna karşın, domates, kapya ve

## Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği

soğan, birbirlerine çok yakın bir yerde konumlanmıştır ve bu durum belirtilen sebzelerin PAH içeriklerinin farklılık göstermediği anlamına gelmektedir. Mevcut araştırmada analizi yapılan PAH'ların tamamının birbirleriyle çok önemli pozitif

korelasyon gösterdiği görülmektedir (Şekil 2B). PAH'ların miktarları PC1 boyunca artış göstermiştir. Bu durum, mangalda pişirilmiş sivri biberin karsinojen olan bu bileşiklere diğer sebzelere kıyasla daha yüksek seviyede içerdiği anlamına gelmektedir (Şekil 2C).



**Şekil 2.** Mangalda pişirilmiş sebzelerdeki polisiklik aromatik hidrokarbon içeriklerine ait A) skor grafiği (score scatter plot), B) yükleme grafiği (loading scatter plot), C) birleştirilmiş (biplot) temel bileşen analizi skor ve yükleme grafiği

### Sonuç

Araştırma sonuçları mangalda pişirilmiş sebzelerin değişen seviyelerde genotoksik PAH bileşiklerini içerdiğini göstermiştir. Domates, kapyra biber ve soğanın; sivri biber, patlıcan, sarımsak ve yeşil bibere göre daha az seviyelerde PAH toksikantı içerdiği ve en yüksek toplam PAH içeriğinin sivri bibere ait olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mevcut araştırmada BaP seviyesi algılama sınırının altında olan örneklerde farklı genotoksik PAH'ların belirlenmesi; gıdalardaki PAH riskinin değerlendirilmesinde BaP'nin yanı sıra PAH4 ve PAH8 seviyelerinin de dikkate alınması gerektiği görüşünü destekler niteliktedir.

### Kaynaklar

Abou-Arab, A.A.K., Abou-Donia, M.A.M., El-Dars, F.M.S.E., Ali, O.I.M., Hossam, A.G. (2014). Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) in some Egyptian vegetables and fruits and their influences by some treatments.

International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 3:277-293.

Akpambang, V.O.E., Purcaro, G., Lajide, L., Amoo, I.A., Conte, L.S., Moret, S. (2015). Polycyclic aromatic hydrocarbons in some Nigerian roasted plant foods. *Frontiers in Food & Nutrition Research* 1:1-5.

Alomirah, H., Al-Zenki, S., Al-Hooti, S., Zaghloul, S., Sawaya, W., Ahmed, N., Kannan, K. (2011). Concentrations and dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from grilled and smoked foods. *Food Control* 22:2028-2035.

Bogdanovic, T., Pleadin, J., Petricevic, S., Listes, E., Sokolic, D., Markovic, K., Ozogul, F., Simat, V. (2019). The occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish and meat products of Croatia and dietary exposure. *Journal of Food Composition and Analysis* 75: 49-60.

## Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği

- Cheng, J., Zhang, X., Ma, Y., Zhao, J., Tang, Z. (2019). Concentrations and distributions of polycyclic aromatic hydrocarbon in vegetables and animal-based foods before and after grilling: Implication for human exposure. *Science of the Total Environment* 690:965–972.
- Comission Regulation (EU). 2011. No: 835/2011 of 19 August 2011 amending Regulation (EC) No: 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuff.
- IARC (International Agency for Research on Cancer), (2010). Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum.
- Kazerouni, N., Sinha, R., Hsu, C.H., Greenberg, A., Rothman, N. (2001). Analysis of 200 food items for benzo [a] pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. *Food and Chemical Toxicology* 39:423–436.
- Lee, Y.N., Lee, S., Kima, J.S., Patra, J.K., Shina, H.S. (2019). Chemical analysis techniques and investigation of polycyclic aromatic hydrocarbons in fruit, vegetables and meats and their products. *Food Chemistry* 277:156–161.
- Lee, J.G., Kim, S.Y., Moon, J.S., Kim, S.H., Kang, D.H., Yoon, H.J. (2016). Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry* 199:632–638.
- Li, Y., x Wang, Y., Zou, X., Feng, Z., Yao, Y., Wang, T., Zhang, C. (2019). Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coral reef fish from the South China Sea. *Marine Pollution Bulletin* 139:339–345.
- Martorell, I., Perello, G., Martí-Cid, R., Castell, V., Llobet, J.M., Domingo, J.L. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in foods and estimated PAH intake by the population of Catalonia, Spain: temporal trend. *Environment International* 36:424–432.
- McGrath, T.E., Wooten, J.B., Geoffrey Chan, W., Hajaligol, M.R. (2007). Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons from tobacco: The link between low temperature residual solid (char) and PAH formation. *Food and Chemical Toxicology* 45: 1039-1050.
- Oz, E. (2020a). Pişirilmiş et ürünlerinde polisiklik aromatik hidrokarbonların oluşumu ve engelleme yolları. Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar-II, Prof. Dr. Reyhan İrkin (Ed), 179-192, Gece Kitaplığı, Ankara.
- Oz, E. (2020b). The impact of fat content and charcoal types on quality and the development of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic aromatic amines formation of barbecued fish. *International Journal of Food Science and Technology* in press, doi.org/10.1111/ijfs.14748.
- Oz, E., Ekiz, E., Savaş, A., Aoudeh, E., EAty, A.M., Oz, F. (2020). Impact of roasting level on fatty acid composition, oil and Polycyclic aromatic hydrocarbon contents of various dried nuts. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, In press.
- Oz, F., Yüzer, M.O. (2016). The effects of cooking on wire and stone barbecue at different cooking levels on the formation of heterocyclic aromatic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in beef steak. *Food Chemistry* 203:59-66.
- Paris, A., Ledauphin, J., Poinot, P., Gaillard, J.L. (2018). Polycyclic aromatic hydrocarbons in fruits and vegetables: Origin, analysis, and occurrence. *Environmental Pollution* 234:96-106.
- Plaza-Bolanos, P., Garrido Frenich, A., Martínez Vidal, J.L. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons in food and beverages. Analytical methods and trends. *Journal of Chromatography A* 1217: 6303-6326.
- Rojo Camargo, M.C., Toledo, M.C.F. (2003). Polycyclic aromatic hydrocarbons in Brazilian vegetables and fruits. *Food Control* 14:49–53.
- Rose, M., Holland, J., Dowding, A., Petch, R.S., White, S., Alwyn, Q., et al. (2015). Investigation into the formation of PAHs



## Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği

- in foods prepared in home to determine the effects of frying, grilling, barbecuing, toasting and roasting. *Food and Chemical Toxicology* 78:1–9.
- Singh, L., Agarwal, T., Simal-Gandara, J. (2020). PAHs, diet and cancer prevention: Cooking process driven-strategies. *Trends in Food Science & Technology* 99: 487-506.
- Storelli, M.M., Giacomini, R., Stuffer, R., Marcotrigiano, G.O. (2003). Polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, chlorinated pesticides (DDTs), hexachlorocyclohexane, and hexachlorobenzene residues in smoked seafood. *Journal of Food Protection*, 66:1095-1099.
- Sun, Y., Wu, S., Gong, G. (2019). Trends of research on polycyclic aromatic hydrocarbons in food: A 20-year perspective from 1997 to 2017. *Trends in Food Science & Technology* 83:86-98.
- Wang, L., Xu, X., Lu, X. (2016). Composition, source and potential risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in vegetable soil from the suburbs of Xianyang City, Northwest China: a case study. *Environmental Earth Sciences* 75–56.
- Zachara, A., Gałkowska, D., Juszcak, L. (2017). Contamination of smoked meat and fish products from Polish market with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Food Control* 80:45-51.

## **Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği**