

Akrilamid - Gıdalarda Oluşan Önemli Bir Kontaminant- I

Evrım ÖZKAYNAK¹ ve Gül den OVA²

¹Gıda Mühendisi, ²Ege Üniversitesi, Gıda mühendisliği Bölümü
evrimka2000@yahoo.com, gulden.ova@ege.edu.tr

ÖZET

Akrilamid sanayide çok amaçlı kullanılan bir kimyasaldır. 2002 yılında ısıl işlem görmüş nişasta bazlı gıdalarda (patates cipsi, parmak patates, kızarmış ekme k, kahvaltılık tahıllar, bisküvi gibi) kızartma, fırında pişirme veya ızgarada pişirme gibi ısıl işlemleri sırasında önemli miktarlarda akrilamid oluştuğu saptanmıştır. Bu oluşumu en çok destekleyen mekanizmalar olarak ise Maillard (esmerleşme) reaksiyonu sırasında indirgen şekerlerle doğal bir aminoasid olan asparajin arasında gerçekleşen reaksiyonlar düşünülmektedir. Akrilamid bileşiğiyle yapılan toksikolojik çalışmalar, sıçanlarda kanserojenik etkilere ve insan vücudunda da nörotoksik etkilere neden olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı akrilamid bileşiği IARC (the International Agency for Research on Cancer- Uluslararası Kanser Araştırma Enstitüsü) tarafından insanda kanser oluşturma olasılığı bulunan maddeler sınıfına (2A) konulmuştur. Bu derlemede; gıdalarda akrilamid oluşumuna yol açan mekanizmalar, bu oluşumu etkileyen faktörler, akrilamid oluşumunu azaltma yollarıyla birlikte akrilamidin toksikolojisi ve analiz yöntemleri tartışılacaktır.

ANAHTAR KELİMELE R

Akrilamid, asparajin, indirgen şekerler

ABSTRACT

Acrylamide is a chemical that is used for the different purposes in the industry. In 2002 considerable levels of acrylamide has been found in starch-based foods (potato chips, french fries, bread crisps, breakfast cereals, biscuits) during the cooking processes like frying, baking or grilling. The most probably proposed theoretical mechanism for the formation of AA in heated food is the Maillard reaction between amino acids primarily asparagine and a reducing sugar. In toxicological studies on acrylamide compounds has shown that it causes carcinogenic effects on rats, neurotoxic effects in human body, thus it is classified as a probable human carcinogen by the International Agency for Research on Cancer (IARC). In this review, formation mechanisms of acrylamide in food, factors that affect the formation of acrylamide and reducing ways in foods, as well as toxicology and analytical methods were discussed.

KEY WORDS

Acrylamide, asparagine, reducing sugar

GİRİŞ

Akrilamid (2-propenamid $\text{CH}_2\text{CHCONH}_2$) renksiz, erime noktası 84.5 C ve kaynama noktası 192.6 C (760 mmHg) olan beyaz renkli katı bir kristaldir. Bu bileşik suda, asetonda ve etanolde çözünebilmektedir; sudaki çözünürlüğü oldukça yüksektir (2155 g/L'dir) (Friedman, 2003). Akrilamid reaktif bir kimyasaldır; sanayide çok amaçlı kullanılan poliakrilamid sentezinde monomer olarak kullanılmaktadır (Lingnert ve ark.,

2002). Akrilamidin bazı yaygın kullanım alanları kağıt, boya ve kozmetik endüstrisi olup sigara dumanında da akrilamid bulunduğu saptanmıştır (Vattem ve Shetty, 2003). Akrilamid son yıllara kadar insanlar üzerinde nörotoksik etkiye sahip çevresel bir kontaminant madde olarak değerlendirilmiştir (He ve ark., 1989).

Tareke ve ark. (2000) tarafından kızartılmış hayvan yiyecelerindeki akrilamidin kanda hemoglobın bağlayıcı rolünün olduğunun gösterilmesiyle ve 2002 yılında da Swedish National Food Administration ve Stockholm Üniversitesinin birlikte yaptıkları çalışmada ısıl işlem görmüş nişasta bazlı gıdalarda önemli miktarlarda akrilamid saptanmasıyla (Tareke ve ark., 2002) akrilamid bir anda önemli bir kontaminant olarak görülmeye başlanmıştır. Tablo 1'de 2002-2004 yılları arasında yapılan araştırmalarda gıdalarda saptanan akrilamid miktarlarının FAO (Food and Agriculture Organization-Gıda Tarım Örgütü / WHO (World Health Organization-Dünya Sağlık Örgütü) tarafından derlenmiş bilgileri gösterilmektedir (Anon, 2005a).

Gıdalarda akrilamid kızartma, fırında ve ızgarada pişirme gibi ısıl işlemlerin sonucunda oluşmaktadır. Şimdiye kadar çiğ veya haşlanmış gıdalarda akrilamid teşhis edilememiştir. 100-120°C'nin üzerine ısıtma işleminden sonra en yüksek akrilamid miktarı karbonhidratça zengin gıdalarda (100-4000 µg/kg) ve en düşük akrilamid miktarı ise proteince zengin gıdalarda (<100 µg/kg) bulunmuştur. Akrilamid miktarları gıda grupları ve aynı koşullarda işlenmiş ürün grupları içinde önemli değişiklik göstermektedir (Andrjewski ve ark., 2004; Granby ve Fagt, 2004). Akrilamid içeriği açısından önemli gıda grupları patates cipsi, kızarmış parmak patates, kızarmış ekme k, kahvaltılık tahıllar, unlu mamüller ve kahvedir (Surdyk, 2004).

GIDALARDA AKRİLAMİD OLUŞUM MEKANİZMALARI

Isıl işlem görmüş gıdalarda akrilamid oluşumu için ortaya konulan en önemli mekanizma çoğunlukla reaktif bir karbonil grubu ile aminoasitler arasında gerçekleşen Maillard (esmerleşme) reaksiyonudur (Stadler ve ark., 2002; Mottram ve ark., 2002; Zyzak ve ark., 2003; Yaylayan ve ark., 2003). Yapılan çalışmalar akrilamidin oluşumundan sorumlu aminoasidin asparajin olduğunu ve gıdaların pişirilmesi sırasında asparajinin indirgen şekerlerle reaksiyonu sonucunda akrilamid oluştuğunu göstermektedir (Taeymans ve ark., 2004). Amrein ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada asparajinin amid grubuyla birlikte akrilamid molekülünün omurgasını oluşturduğunu göstermişlerdir. İndirgen şekerler asparajin ile reaksiyona girdiğinde oluşan ilk ara ürün schiff baz olarak adlandırılır. Schiff bazın çevrim formu olan N-glukozilasparajin asparajin/glukoz reaksiyonunda bir ara üründür ve yüksek miktarlarda akrilamid oluşturmaktadır (Stadler ve ark., 2002). Yaylayan ve ark. (2003) da yaptıkları

çalışmada sentetik N-glukozilasparajinin prolizinden elde edilen akrilamidin aynı koşullar altında asparajin/glukoz modelinden oluşan akrilamid ile karşılaştırılabilir olduğunu onaylamışlardır. Yapılan diğer bir çalışmada Maillard reaksiyonunda sadece asparajinin amido azotunun akrilamid oluşumuna katıldığı saptanmıştır (Becalski ve ark., 2003). Ayrıca Zyzak ve ark. (2003) da akrilamidin yapısındaki 3 karbon atomunun ve azot atomunun asparajinden geldiğini tespit etmişlerdir.

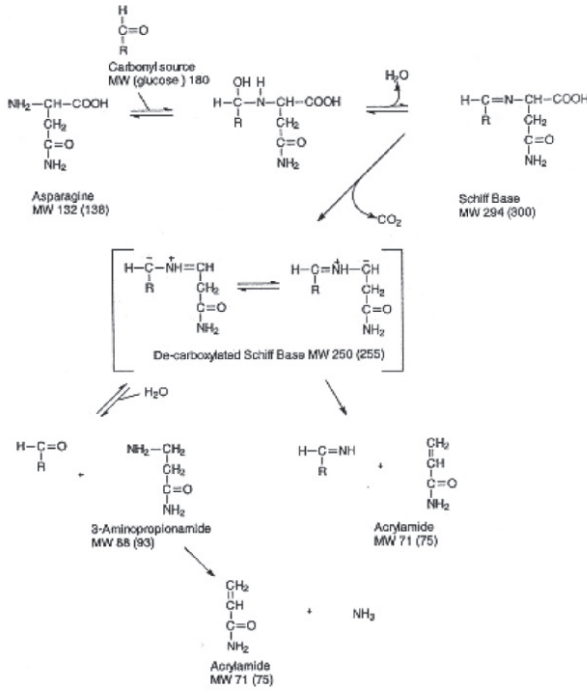
Maillard reaksiyonu yoluyla gerçekleşen akrilamid oluşum mekanizmaları hakkında değişik önermeler bulunmaktadır. Çeşitli araştırmalarda bu oluşumun N-glukozilasparajin (Stadler ve ark., 2002; Yaylayan ve ark., 2003), 3-aminopropionamide (Zyzak ve ark., 2003), Strecker aldehidi (Mottram ve ark., 2002) veya akrilik asid (Becalski ve ark., 2002; Gertz ve Klostermann, 2002; Lingnert ve ark., 2002; Stadler ve ark., 2003) üzerinden gerçekleşen mekanizmalar sonucu ortaya çıktığı öne sürülmektedir. Zyzak ve ark., (2003) (Şekil 1) ve Yaylayan ve ark. (2003) (Şekil 2) tarafından öne sürülen ve model çalışmalarıyla ortaya konulan mekanizmalar

asparajinden ve indirgen şekerden akrilamid oluşumunda kabul edilen en gerçekçi mekanizmalardır.

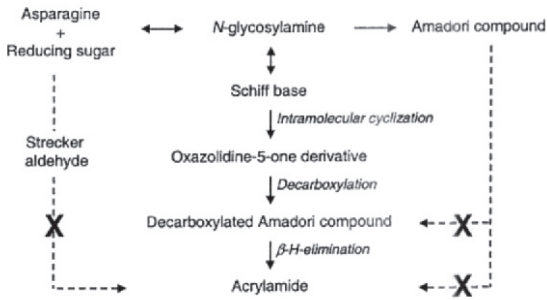
Bu iki oluşum mekanizması dışında akrilamidin özellikle yağda kızartılan gıdalarda yağların /gliserolün ısıl indirgenmesi sonucu oluşan akrolein üzerinden oluşabileceği öne sürülmektedir (Gertz ve Klostermann, 2002; Lingnert ve ark., 2002; Stadler ve ark., 2003). Becalski ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada akrilamidin oluşumunda akroleinin olası rolünü araştırmışlar fakat bu sentetik oluşum yolunu destekleyen bir kanıt elde edememişlerdir. Vattem ve Shetty (2003) de yaptıkları çalışmada akrilamid oluşumunun oksidatif olmadığını bundan dolayı da akrilamid oluşumunun yağ oksidasyonu üzerinden olma olasılığının ortadan kalktığını belirtmişlerdir. Mestdagh ve ark. (2006) parmak patateslerle yaptıkları çalışmada yağın indirgenmesinin akrilamid oluşumu üzerine etkisini incelemişler; akrilamid oluşumunun yağ oksidasyonundan bağımsız olduğunu ispatlamışlar ve gliserol, mono ve diçilgliseroller gibi yağın indirgenme ürünlerinin akrilamid oluşumunu önemli derecede etkilemediğini belirtmişlerdir.

Tablo 1: 2002'den 2004'e kadar yapılan çalışmalarda bazı ürünlerde saptanan akrilamid düzeyleri (Anon, 2005)

| Ürünler | Örnek sayısı | Ortalama Konsantrasyon (mg/kg) | Rapor edilmiş maksimum konsantrasyon (mg/kg) |
|--|--------------|--------------------------------|--|
| Hububatlar ve hububat bazlı ürünler | | | |
| Hububatlar ve makarna, çiğ ve haşlanmış | 372 | 15 | 47 |
| Hububatlar ve işlenmiş makarna (tost, yağda kızarmış) | 634 | 123 | 82 |
| Ekmekler | 5,145 | 446 | 3,436 |
| Hamur tatlıları ve bisküviler | 4,980 | 350 | 7,834 |
| Kahvaltılık tahıllar | 1,130 | 96 | 1,346 |
| Pizza | 85 | 33 | 763 |
| Balık ve balık ürünleri (yağda kızartılmış, fırında pişirilmiş) | 107 | 25 | 233 |
| Et ve sakatatlar (pişirilmiş, yağda kızartılmış) | 325 | 19 | 313 |
| Süt ve süt ürünleri | 147 | 5,8 | 36 |
| Kabulduyemishler ve tohum yağları | 203 | 84 | 1,925 |
| Baldagiller | 93 | 51 | 320 |
| Kökler ve yumrular | | | |
| Patates, püre/ezilmiş/haşlanmış | 66 | 16 | 69 |
| Fırında pişirilmiş patates | 99 | 169 | 1,270 |
| Patates çipsi | 3,555 | 752 | 4,080 |
| Parmak patates | 6,309 | 334 | 5,312 |
| Parmak patates, kroket (dondurulmuş, servise hazır değil) | 48 | 110 | 750 |
| Uyandırıcı maddeler ve benzerleri | | | |
| Kalve, içime hazır | 101 | 13 | 116 |
| Kalve (öğütülmüş, kavrulmuş, çime hazır değil) | 709 | 288 | 1,291 |
| Kalve ekstraktları | 119 | 1,100 | 4,948 |
| Kafeinsiz kalve | 34 | 668 | 5,399 |
| Kakao ürünleri | 23 | 220 | 909 |
| Yeşil çay (kavrulmuş) | 101 | 306 | 660 |
| Şekerler ve bal (başlıca çözümlenir) | 133 | 24 | 112 |
| Sebzeler | | | |
| Çiğ, haşlanmış ve konserve | 146 | 4,2 | 25 |
| İşlenmiş (fırında pişirilmiş, yağda kızartılmış, ızgara) | 47 | 59 | 202 |
| Meyvalar, | | | |
| Taze | 57 | <1 | 10 |
| Kurutulmuş, yağda kızartılmış, işlenmiş | 49 | 131 | 770 |
| Alkollü içecekler (bira, cin, şarap) | 99 | 6,6 | 46 |
| Baharatlar ve soslar | 22 | 71 | 1,168 |
| Bebek formülleri | | | |
| Bebek maması (konserve, kavranmış) | 226 | 22 | 121 |
| Bebek maması (toz halde) | 34 | 16 | 73 |
| Bebek maması (bisküviler, gevrekler) | 58 | 181 | 1,217 |



Şekil 1 Zyzak ve ark. (2003) tarafından önerilen mekanizma



Şekil 2 Yaylayan ve ark. (2003) tarafından önerilen mekanizma

GIDALARDA AKRİLAMİD OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Akrilamid oluşumu için öncü gıda bileşenleri indirgen şekerler ve asparajin aminoasidi olup (Stadler ve ark., 2002; Becalski ve ark., 2003; Amrein ve ark., 2003; Rydberg et al., 2003; Taeymans ve ark., 2004) bunların yanı sıra, gıda matriksi, sıcaklık ve süre gibi işlem koşulları ile birlikte nem miktarı, pH, ısıtma ortamı ve depolama da akrilamidin oluşumunu etkilemektedir (Robert ve ark., 2004). Ayrıca gıdalarda yağda kızartılması işleminde akrilamid oluşumunda yağın etkisinin de olduğu öne sürülmektedir (Becalski ve ark., 2003; Gertz ve ark. 2002).

Karbonhidratların Etkisi

Asparajin aminoasidi varlığında ortamdaki indirgen şeker konsantrasyonunun akrilamid oluşum miktarında belirleyici faktör olduğu bildirilmektedir (Amrein ve ark., 2003; Becalski ve ark., 2004). Zyzak ve ark. (2003) çeşitli monosakkaritler üzerinde yaptıkları çalışmada fruktozla oluşan akrilamid miktarının glukoz ve galaktozla oluşandan daha fazla olduğunu ortaya koymuşlardır.

Proteinlerin Etkisi

Amrein ve ark. (2003) model patates yumrularıyla yaptıkları çalışmada akrilamid içeriğinin asparajin konsantrasyonuyla veya toplam aminoasit içeriğiyle az ilişkili olduğunu öne sürmüşlerdir. Zencefilli, pekmezli ekmek ile yapılan bir çalışmada ise akrilamid oluşumunu, serbest asparajin miktarının önemli ölçüde belirlediği rapor edilmiştir (Amrein ve ark., 2004).

Asparajin aminoasidi dışında glutamin, sistin, arginin, metiyonin ve aspartik asit gibi aminoasitler ise eser miktarda akrilamid oluşturmaktadır (Gertz ve ark., 2002).

Kızartma Yağı Çeşidinin Etkisi

Becalski ve ark. (2003) patates ile yaptıkları çalışmada kızartma yağı çeşidinin oluşan akrilamid miktarını etkileyebileceğini ve en yüksek akrilamid miktarının zeytinyağı kullanıldığında oluştuğunu göstermişlerdir. Patateslerin kızartılmasında zeytinyağı kullanımının mısır yağına kıyasla daha yüksek akrilamid oluşturduğu bildirilmektedir (Tareke, 2003). Gertz ve ark. (2002) ise gıdada akrilamid oluşumunun silikon (E 900) içeren kızartma yağları veya palm olein kullanıldığında daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Araştırmalar yağın çeşidinin akrilamid oluşumu üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ortaya koymakla birlikte bu konuda daha fazla çalışmaya gerek olduğu görülmektedir.

Gıda Matriksinin Etkisi

Vattem ve Shetty (2003), patates dilimlerini nohut lapasıyla kapladıktan sonra kızartmışlar, kızartma işlemi sonucundaki akrilamid oluşumunu araştırmışlar ve akrilamid miktarının azaldığını göstermişlerdir; bu durumun proteinlerin patates dilimlerin yüzeyindeki nişastayla kompleks oluşturması ve bu kompleksin kızartma sırasında daha yüksek sıcaklıklarda bile stabil kalabilmesi ile oluşabileceğini önermişlerdir. Stabil bir nişasta-protein kompleksi, Maillard reaksiyonu ve ısıl indirgenme için daha az şekerin var olması demektir bu da daha az akrilamid oluşumunu sağlamaktadır. Kavrulmuş veya kızartılmış et ve balık ürünleri, patates veya hububat ürünleriyle kıyaslandığında daha düşük akrilamid üretmektedirler. Bunun nedeni olarak proteinlerin inhibisyon etkisi düşünülmektedir (Biedermann ve Grob., 2003; Vattem ve Shetty., 2003; Tareke, 2003).

İşlem Koşullarının Etkisi

Isıtma sıcaklığının ve süresinin artmasının akrilamid miktarını yükselttiği bulunmuştur (Rydberg ve ark., 2003; Becalski ve ark., 2003; Biedermann ve Grob, 2003; Surdyk ve ark., 2004; Pedreschi ve ark., 2004; Taubert ve ark., 2004; Brathen ve ark., 2005). Fakat bazı çalışmalarda yüksek sıcaklık veya uzun ısıtma süresi uygulandığında akrilamid miktarının azaldığı görülmüştür. Friedmann ve ark.(2003) patateslerde yaptıkları bir sıcaklık çalışmasında akrilamid oluşumunun 120C'den 170C'ye kadar arttığını ve daha sonra azaldığını saptamışlardır. Taubert ve ark. (2004)'larının patateslerde yaptıkları bir çalışmada da en fazla akrilamid 170C-180C'lerde oluşmuştur ve işlem süresi ile sıcaklığın artmaya devam etmesi akrilamid seviyesinde düşüşe neden olmuştur. Asparajin ve indirgen şekerlerin model reaksiyonlarında en fazla akrilamid miktarının 175 C'de oluştuğu bunun üzerindeki sıcaklıklarda akrilamid miktarının azaldığı rapor edilmiştir (Mottram ve ark., 2002). Bunun nedeni akrilamidin 175 C'nin üzerinde bozulması ve polimerize olmasıdır (Taubert ve ark., 2004).

Fırında pişirme işleminde gıdalarda esmerleşme seviyesi artarken akrilamid konsantrasyonunun da arttığı bildirilmektedir (Amrein ve ark., 2004). Surdyk.(2004) yaptığı bir çalışmada fırında pişirilen ekmeklerde ekmek kabuğundaki akrilamid içeriği ile renk arasında çok önemli bir ilişki bulmuştur. Taubert ve ark. (2004) ise esmerleşme seviyesinin tek başına akrilamid konsantrasyonunu belirlemede güvenilir olmadığını belirtmişlerdir ve yaptıkları araştırmada esmerleşme düzeyinin geniş yüzeyli ürünlerde akrilamid içeriğinin gerçek ölçüsü olmadığını göstermişlerdir.

Nemin Etkisi

Yüksek nem içeren örneklerdeki (taze patates veya hamur) akrilamid oluşumunun önemsiz miktarlarda olduğu belirtilmektedir (W.L. Claeys ve ark., 2005). Elmore ve ark. (2005) nem oranı %5'in üzerinde olan keklerde akrilamid oluşumunun oldukça düşük olduğunu ve %5'in altındaki nem değerlerinde ise nem miktarı ile akrilamid arasında lineer bir ilişki elde edildiğini saptamışlardır.

pH'in Etkisi

Akrilamid oluşumunun sistemin pH'sına da bağlı olduğu saptanmıştır. pH hem şekerlerin hem de amino grubunun reaktivitesini etkilemektedir. Akrilamid oluşumu için optimum pH 7-8 civarındadır bu yüzden işlem sırasında pH'yı düşürmenin akrilamid oluşumunu sınırlayacağı bildirilmektedir (Rydberg ve ark., 2003; Kita ve ark., 2004). Jung ve ark. (2003) kızartma veya fırında pişirmeden önce sitrik asit çözeltilisine daldırma veya haşlamanın mısır cipsinde ve patates cipsinde akrilamid oluşumunu önemli derecede azalttığını saptamışlardır. Zencefilli, pekmezli ekmekte akrilamid içeriğini düşürmek için ürünün esmerleşme, mayalanma ve lezzeti özellikleri göz önüne alınarak 5000 mg/kg'ı geçmeyecek konsantrasyonda sitrik asit ilavesi uygun görülmektedir (Amrein ve ark., 2004).

Isıtma Ortamının Etkisi

Akrilamid oluşumu için gerekli sıcaklık ve koşullar ısı ve kütle transferi olayına bağlı olup, gıdanın ısısal ve fizikokimyasal özellikleri, ısıtma ortamı, işlem ekipmanları, gıdanın geometrisi ve ısıtma ortamının sıcaklığı etkin faktörlerdir (Claeys ve ark., 2005).

Gıdanın yağda kızartılması sırasında sıvı veya katı yağların ve suyun değişimi ile ilgili kütle transferi olayı meydana gelmektedir. Su buharı, gıdanın etrafında bir çeşit tampon oluşturarak ısı transferini sınırlamakta ve gıdanın sıcaklığını yağın sıcaklığının altında muhafaza etmektedir. Kızartma ortamının çeşidi ve katkı maddeleri (köpürmeyi önleyici ajan); gıdanın etrafındaki buhar baloncuklarının boyutunu etkileyerek yüzey geriliminin değişimiyle ısı transferini etkileyebilmektedirler (Claeys ve ark., 2005).

Depolamanın Etkisi













Depolama sıcaklığı patateslerin şeker içeriği üzerinde kuvvetli bir etkiye sahiptir (Amrein ve ark., 2003). Olsson ve ark. (2004) patates tuberlerinin 3-4C'de depolanmasının, solunumu azaltarak uzun süreli depolama için en iyi koşulu sağladığını göstermiştir. Fakat, düşük sıcaklıkta depolama aynı zamanda şekerlerin birikimine neden olmakta Ve bu olay düşük sıcaklık tatlanması olarak adlandırılmaktadır. Bu serbest bırakılmış şekerler

patatesi donmaya karşı korumakla beraber yüksek indirgen şeker konsantrasyonu akrilamid oluşumunu artırmaktadır. Patateslerle yapılan diğer bir çalışmada uzun süreli 10 C'de depolamanın düşük sıcaklık tatlanmasını azalttığı gösterilmiştir fakat bu depolama şekli; depolama masrafını, çimlenmeyi durdurucuların kullanım ihtiyacını ve hastalık problemlerini artırmaktadır (Olsson ve ark., 2004).

Honick ve ark. (2004) toz haline getirilmiş patates cipslerini oda sıcaklığında kapalı ambalajda 100 gün depolamışlar ve bu sürenin sonunda akrilamid miktarının azaldığını saptamışlardır. Bunun sebebini de patates cipsleri oda sıcaklığında depolandığında peroksit oluşumu gerçekleşmekte ve bu da akrilamidin azalmasına neden olmaktadır şeklinde açıklamışlardır. Sıcaklığın yanı sıra ışığın da patatesleri aktivite ettiği, indirgen şekerlerin konsantrasyonunda bir artış başlattığı görülmektedir (Biedermann ve ark., 2002a).

Gıdalarda akrilamid oluşumu ve bu oluşumu etkileyen faktörler üzerinde yapılmış araştırmalar arasındaki farklılıklar bu konular üzerinde daha çok çalışmaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

-  Anon, **2005a** Summary and conclusions from the 64th meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), Rome, 8-17 February 2005, <http://www.who.int/foodsafety/chem/chemicals/acrylamide/en>
-  Amrein, T. M.; Bachmann, S.; Noti, A.; Biedermann, M.; Barbosa, M. F.; Biedermann-Brem, S.; Grob, K.; Keiser, A.; Realini, P.; Escher, F.; Amado, R. Potential of acrylamide formation, sugars, and ft-ee asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. *J. Agric. Food Chem.* **2003** 51,5556-5560.
-  Amrein, T. M.; Schönbiichler, B.; Escher, F.; Amado, R. Acrylamide in gingerbread: Critical factors for formation and possible ways for reduction. *J. Agric. Food Chem.* **2004**, 52, 4282-4288.
-  Andrzejewski, D., Roach, J., Gay, M., and Musser, S. Analysis of coffee for the presence of acrylamide by LC-MS/MS. *J. Agric. Food Chem.* **2004**, 52, 1996-2000.
-  Becalski, A.; Lau, B. P. Y.; Lewis, D.; Seaman, S. W. Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modeling. *J. Agric. Food Chem.* **2003**, 51, 802-808.
-  Becalski, A.; Lau, B. P. Y.; Lewis, D.; Seaman, S. W.; Hayward, S.; Saliagian, M.; Ramesh, M.; Leeler, Y. Acrylamide in french fries: influence of free amino acids and sugars. *J. Agric. Food Chem.* **2004**, 52, 3801-3806.
-  Biedermann, M., and Grob, K. Model studies on acrylamide formation in potato, wheat flour and corn starch; ways to reduce acrylamide contents in bakery ware. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, **2003**, 94, 406-422.
-  Biedermann, M., Noti, A., Biedermann-Brem, S., Mozzetti, V., and Grob, K. Experiment on acrylamide formation and possibilities to decrease the potential of acrylamide formation in potatoes. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, **2002a**, 93, 668-687
-  Brathen, E.; Knutsen, S. H. Effect of temperature and time on the formation of acrylamide in a starch-based and cereal model systems, flat breads and bread. *Food Chem.* **2005**, in press.
-  Claeys, W. L.; Vleeschouwer, K. D.; Hendrickx, M. E. Quantifying the formation of carcinogens during food processing: acrylamide. *Trends in Food Science & Technology* **16** (2005) 181-193
-  Elmore, J.S.; Koutsidis, G.; Dodson, A. T.; Mottram, D. S.; Wedzicha, B. L. Measurement of acrylamide and its precursors in potato, wheat and rye model systems. *J. Agric. Food Chem.* **2005**, 53, 1286-1293
-  Friedman, M. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide.

- Gertz, C. And Klostermann, S. Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, **2002**, 104:762-771
- Granby, K. And Fagt, S. Analysis of acrylamide in coffee and dietary exposure to acrylamide from coffee. *Analytica Chimica Acta*, **2004**, 520, 177-182.
- He, F. S.; Zhang, S. L.; Wang, H. L.; Li, G.; Zhang, Z. M.; Li, F. L.; Dong, X. M.; Hu, F. Neurological and electroneuromyographic assesment of the adverse effects of acrylamide on occupational exposed workwers. *Scand. J. Work Environ. Health* **1989**, 15, 125-129.
- Honicke, K.; Gatermann, R.; Harder, W.; Hartig, L. Analysis of acrylamide in different foodstuffs using liquid chromatography-tandem mass spectrometry and gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 520 (2004) 207-215
- Jung, M. Y; D. S.; Ju, J. W. A novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in french fries. *J.Food Sci.* **2003**, 68, 1287-1290.
- Kita, A.; Bnithen, E.; Knutsen, S.; Wicklund, T. Effective ways of decreasing acrylamide content in potato erisps during processing. *J. Agric. Food Chem.* **2004**, 52, 7011-7016.
- Lingnert, H., Grivas, S., Jägerstad, M., Skog, K., Törnqvist, M., and Åman, P. Acrylamide in food-Mechanisms of formation and influencing factors during heating of foods. *Scand. J. Nutr.*, **2002**, 46:159-172
- Mestdagh, F.; Meulenaer, B. D.; Peteghem, C. V. Influence of oil degradation on the amounts of acrylamide generated in a model system and in French fries. *Food Chemistry.* **2006**, Article in press
- Mottram, D. S.; Wedzicha, B. L.; Dodson, A. T. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature.* **2002**, 419, 449
- Olsson, K; Svensson, R.; Roslund, C. A. Tuber components affecting acrylamide formation and colour in fried potato: variation by variety, year, storage temperature and storage time. *J. Sci. Food Agric.* **2004**, 84, 447-458.
- Pedreschi, F.; Kaack, K.; Granby, K. Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. *Food Sci. Technol.* **2004**, 37, 679-685.
- Robert, F.; Vuataz, G.; Polien, P.; Saucy, F.; Alonso, M. I.; Bauwens, I.; Blank, I. Acrylamide formation from asparagine under low-moisture Maillard reaction conditions. 1. Physical and chemical aspects in crystalline model systems. *J. Agric. Food Chemical.* **2004**, 52, 6837-6842
- Rydberg, P.; Eriksson, S.; Tareke, E.; Karlsson, P.; Ehrenberg, L.; Törnqvist, M. Investigations of factors that influence the acrylamide content of heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.* **2003**, 51, 7012-7018.
- Stadler, R.H. Understanding the formation of acrylamide and other Maillard-derived vinylogous compounds in foods. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, **2003**, 105: 199-200
- Surdyk, N.; Rosen, J.; Andersson, R.; Aman, P. Effects of asparagine, fructose, and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. *J. Agric. Food Chem.* **2004**, 52, 2047-2051.
- Taeymans, D.; Wood, J.; Ashby, P.; Blank, I.; Studer, A.; Starller, R. H.; Gonde, P.; Van Eijck, P.; Lalijie, S.; Lingnert, H.; Lindblom, M.; Matissek, R.; Muller, D.; Talimadge, D.; O'Brien, J.; Thornpson, S.; Silvani, D.; Whitnmore, T. A review of acrylamide: an industry perspective on research, analysis, formation and control. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2004**, 44, 323-347
- Tareke, E., Ryderbg, P., Eriksson, S., and Törnqvist, M. Acrylamide: A cooking carcinogen? *Chem. Res.Toxicol.*, **2000**, 13:517-522.
- Tareke, E.; Rydberg, P.; Karisson, P.; Eriksson, S.; Törnqvist, M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.* **2002**, 50, 4998-5006.
- Tareke, E. **2003**. Identification and origin of potential background carcinogens: Endogenous isoprene and oxiranes, dietary acrylamide. PhD Thesis. Department of Environmental Chemistry. Stockholm University.
- Taubert, D.; Harlfinger, S.; Henkes, L.; Berkels, R.; Schomig, E. Influence of processing parameters on acrylamide formation during frying of potatoes. 1. *Agric. Food Chem.* **2004**, 52, 2735-2739.
- Vattem, D. A.; Shetty, K. Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction. *Innovations Food*

GIDALARDA DUYUSAL DEĞERLENDİRME

Prof.Dr.Tomris ALTUĞ
Yrd.Doç.Dr.Yeşim ELMACI

İzmir - 2005

KİTAP İSTEME ADRESİ

Fevzipaşa Blv. Çelik İş Merkezi Kat: 3 D: 302 Çankaya - İZMİR
Tel: 0 232 441 60 01 - Fax: 0 232 441 61 06 - akademikgida@mynet.com