

EKSTRÜZYONUN NIŞASTA ÜZERİNE ETKİLERİ

THE EFFECT OF EXTRUSION ON STARCH PROPERTIES

Zeliha YILDIRIM¹, Recai ERCAN²

¹Tarım ve Köylüleri Bakanlığı, Ankara İl Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, ANKARA

²Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, ANKARA

ÖZET: Gıda ekstrüzyonunda pek çok ingredient besleme materyali olarak kullanılmaktadır. Bu materyallerden biri ham veya işlenmiş nişastadır. Ekstrüzyon sırasında, nişasta fiziksel ve jelatinizasyon ile fragmentasyonu içeren fizikokimyasal değişikliklere uğramaktadır. Ekstrüde edilmiş ürünler, pek çok kalite kriterine göre karakterize edilmektedir. Bu kalite kriterleri kabarma oranı, kütle yoğunluğu, su absorpsiyon indeksi ve suda çözünürlük indeksidir. Bu kriterleri etkileyen en önemli faktörler işlem sıcaklığı, vida tipi ve hızı gibi ekstrüder çalışma koşulları ile nişasta çeşididir. Sıcaklık ve vida hızında meydana gelen hem bireysel hem de kombine olarak yapılan artışlar kabarma oranını, su absorpsiyonunu ve suda çözünürlüğü pozitif yönde etkilerken, kütle yoğunluğunu negatif olarak etkilemektedir.

ABSTRACT: In food extrusion, a number of ingredients is used as feed materials. One of these materials is raw or processed starch. During extrusion, starch undergoes physical and physicochemical changes, including gelatinization and fragmentation. Extruded products have been characterized by various quality criteria. These quality criteria are expansion, bulk density, water absorption index and water solubility index. The most important factors that affect these criteria are process variables such as barrel temperature, screw geometry and screw speed, and source of starch. While both individual and combination of increased barrel temperature and screw speed increase expansion, water absorption and water solubility, decrease bulk density.

GİRİŞ

Geçtiğimiz son 20-30 yıl içinde ekstrüzyonla gıda maddeleri üretimi, hububata dayalı gıda endüstrisinin en hızlı gelişen bölümü olmuştur. Mısır, pirinç, buğday, patates unları ve nişastalarından yapılan çipsler, yağda kızartılmış veya fırında pişirilerek kabartılmış çerezler ve tüketime hazır kahvaltılık hububat ürünleri, nişasta esaslı ekstrüde edilmiş ürün grubu içinde oldukça geniş bir yer tutmaktadır. Bebek gıdaları, ufalanmış veya toz haline getirilmiş ürünler, gıda formülasyonlarında ingredient olarak kullanılan modifiye edilmiş ve pişirilmiş nişastalarda bir diğer önemli grubu oluşturmaktadır (HARPER, 1992; BHATTACHARYA and CHOUDHURY, 1994).

Hububatların ve nişastalı kök bitkilerin depo karbohidratı ve temel bileşeni olan biopolimer, nişasta olarak tanımlanmaktadır. Nişasta sağladığı enerjinin yanında, ürüne tekstür, lezzet ve bazı yapısal özellikler kazandırılmaktadır (HARPER, 1992). Ekstrüzyon sırasında uygulanan yüksek sıcaklık, basınç, kesme gibi koşullardan dolayı nişasta jelatinizasyonu, protein denaturasyonu ve nişasta, lipid, protein ve su molekülleri arasında kompleksler oluşumuna yol açan pek çok değişim meydana gelmektedir (BHATTACHARYA and HANNA, 1991, 1994a, 1994b; LAI and KOKINI, 1991; HO and IZZO, 1992; SOTILLO ve ark. 1994; VALLE ve ark. 1994).

Ekstrüde edilmiş ürünlerin özellikleri üzerinde ekstrüderin özellikleri ve çalışma koşulları yanında, nişastanın ekstrüzyon sırasında uğradığı değişimler de büyük oranda etkili olmaktadır (MOHAMMED, 1990; YAMADA ve ark. 1990).

2. EKSTRÜZYON İŞLEMİ

Ekstrüzyon, nişasta esaslı kabarmış ürünlerin üretiminde diğer işleme tekniklerinden daha popüler hale gelmektedir. Modern bir teknik olan ekstrüzyon işlemi kısaca yoğurma, ısıtma işlemi uygulama ve kesme gibi değişik işlem aşamalarından biri veya bir kaçının kombinasyonu ile ingredientlere şekil vermek ve/veya pişirmek için dizayn edilen başlıktan gıda materyalinin dışarıya çıkmaya zorlanması şeklinde tanımlanmaktadır. Ekstrüzyon tekniği sayesinde kabarmış çok sayıda değişik şekil ve tekstüre sahip ürün, tek işlem aşamasında pişirilir ve şekillendirilir. Bu işlemler ise oldukça düşük rutubet seviyelerinde gerçekleştirilebilmektedir (HARPER, 1989, HAUCK 1994).

Ekstrüzyon işlemi ürün özelliklerinde önemli değişikliklere neden olan 3 temel işlem basamağını içermektedir.

- a. Ekstruder başlığında ürünün ortam atmosferine çıkışı ile serbest kalan ve kabarmayı sağlayan yüksek basınç uygulaması
- b. Hammadde karışımına ısı uygulaması
- c. Vida dönüşü ile karışıma transfer edilen mekanik enerjinin yoğunluğuna ve karışımın ilerlediği silindirin şekil ve boyutuna bağlı olarak meydana gelen kesme işleminin uygulanmasıdır. Ayrıca vida dönüş hızı kesme derecesini ve ekstruder silindiri içinde kalış süresini etkilemektedir (HARPER, 1989).

Hemen hemen tüm ekstrüzyon uygulamaları gıda ingredientlerinin su ile karıştırılmasını ve hidrate edilmesini içermektedir. Çoğu durumda ekstrude bir gıda maddesi üretimi için fazla sayıda ingredient kullanılmaktadır. Temel olarak kullanılan gıda ingredientleri ise nişastadır

3. EKSTRÜZYONUN NİŞASTANIN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

3.1. Fiziksel Özellikler

3.1.1. Kabarma Oranı

Kabarma oranı veya genişleme indeksi (TANJU ve SÜMBÜL, 1986) kumpas ile ölçülen ekstrudat çapının başlık çapına oranlanması ile bulunmaktadır. Ürün gevrekliğini, su absorpsiyonunu ve çözünürlüğünü etkileyen kabarma hacmi ürünün temel kalite kriterlerinden birisidir (ALI ve ark. 1996).

Tek vidalı ekstrüderde 150 rpm vida hızında ve 150 °C sıcaklıkta %50 amiloz içeren nişastada maksimum kabarma ve tekstürel özellikler elde edilmiştir. Kabarma oranı amiloz miktarı % 0 dan %50 ye kadar artırıldığında bir artış göstermekte, daha fazla orandaki amiloz miktarında ise kabarma oranı azalmaktadır (CHINNASWAMY and HANNA, 1988a). Çift vidalı ekstruderde ise 140 rpm vida hızında 140°C sıcaklıkta normal nişastada (%25 amiloz içeren) maksimum kabarma oranı elde edilmiştir. Ayrıca nişasta bileşiminin ve miktarının kabarma özelliklerini etkileyen en önemli faktörler olduğu belirtilmektedir (CHINNASWAMY and HANNA, 1988b).

Vida hızında ve sıcaklıkta meydana gelen hem bireysel artışların hem de kombine olarak yapılan artışların kabarma oranını pozitif yönde etkilediği ALI ve ark. (1996) tarafından belirtilmektedir. Uygulanan sıcaklık ve vida hızı artışına bağlı olarak artan jelatinizasyon derecesi kabarma hacminde artış ile sonuçlanmaktadır.

3.1.2 Kütle Yoğunluğu

Kütle yoğunluğu cam boncuklar kullanılarak yer değiştirme esasına dayanarak tespit edilmektedir. Kütle yoğunluğu ile kabarma oranı arasında yüksek bir negatif korelasyon bulunmaktadır (ALI ve ark. 1995). Amiloz miktarı, sıcaklık ve vida hızındaki artış kütle yoğunluğunda azalmaya neden olurken protein ilavesi yoğunlukta artışa neden olmaktadır (CHINNASWAMY and HANNA, 1988a).

3.1.3. Su Absorpsiyonu ve Suda Çözünürlük İndeksi

Ham nişastanın oda sıcaklığında suyu absorbe edemediği ve viskozitesinin ise sıfıra yakın olduğu belirtilmektedir (MERCIER ve ark. 1989). Ekstrüde edilmiş nişasta ise suyu kolaylıkla absorbe etmekte ve oda sıcaklığında hamur oluşturmaktadır. Nişastanın suda çözünürlüğü ekstrüzyonla pişirme sonucunda artmaktadır. Ancak nişasta çeşidine ve bileşimine bağlı olarak su absorpsiyon miktarı ve çözünürlük miktarı değişim göstermektedir (COLONNA ve ark. 1989).

Su absorpsiyon indeksi (WAI) birim ağırlıktaki kuru maddeden elde edilen jel miktarı olarak tanımlanmaktadır. WAI soğuk hamur viskozitesi ile direkt olarak ilişkilendirilmektedir. Çünkü yalnızca zarar görmüş olan nişasta granülleri oda sıcaklığında suyu absorbe edip şişmektedir. Bunun sonucunda ise viskozitede artış meydana gelmektedir (COLONNA ve ark.1989).

Su absorpsiyonu 135 °C ile 225 °C arasında değişen sıcaklık aralığında, 175°C ye dek artmakta daha sonra ise azalmaktadır. %14 den %25 e artan rutubet miktarlarında ise WAI değerleri artış göstermektedir. Bu sırada WAI değerleri (g jel/g kuru örnek) 0.8'den 8.3'e ulaşmaktadır. Tüm bu veriler, WAI değerinin nişastanın mo-

leküler degradasyonunu ortaya koyan iyi bir parametre olduğunu göstermektedir. Bunun yanında partikül iriliğinin, besleme oranının ve vida geometrisinin de WAI değerini etkilediği belirtilmektedir (ANDERSON ve ark. 1969).

Suda çözünürlük indeksi (WSI) WAI analizinde santrifüjleme sonucunda elde edilen kısımda tespit edilen kuru madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. WSI değerleri artan sıcaklık ve azalan rutubet koşullarında ise sürekli bir artış göstermektedir. WSI değerinin dekstrinizasyon ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. WSI işlem koşullarından ve hammadde kompozisyonundan etkilenmektedir (ANDERSON ve ark. 1969). En iyi çözünürlük indekslerinin yüksek termal ve mekanik enerji girişinin olduğu durumlarda elde edildiği bildirilmektedir. Ayrıca artan amiloz miktarları WSI da azalma ile sonuçlanmaktadır (SOKHEY and CHINNASWAMY, 1992).

3.2. Fizikokimyasal Değişiklikler

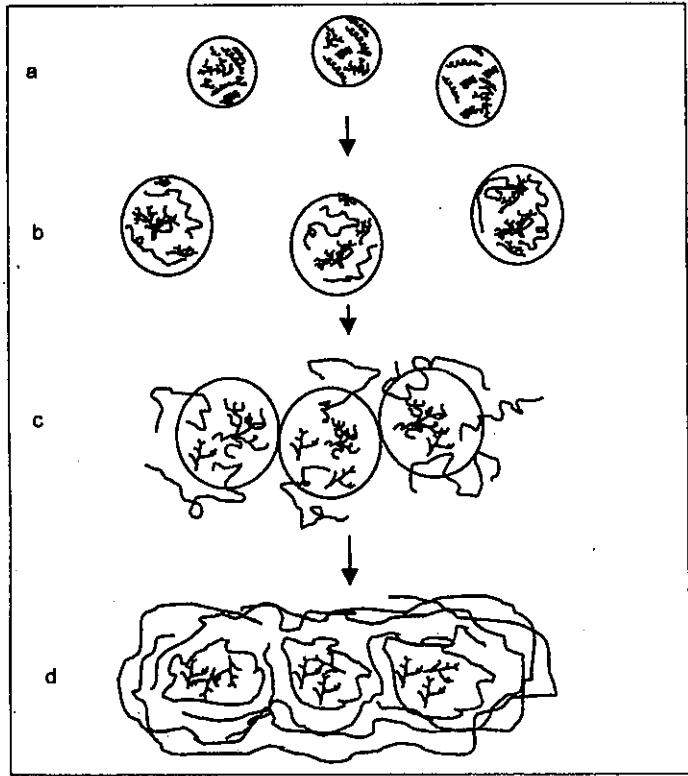
3.2.1 Jelatinizasyon

Ekstrüzyon sırasında uygulana düşük rutubet seviyelerinde yüksek sıcaklık ve basınç nedeniyle nişastanın fonksiyonel özelliklerinde oldukça kısa sürede değişmelere neden olan jelatinizasyon ve degradasyon meydana gelmektedir (LAI and KOKINI, 1991; CAI and DIOSADY, 1993a).

Klasik olarak, jelatinizasyon ortamında mevcut olan sıcaklık ve fazla miktarda suyun varlığında nişasta granüllerinin kristal yapısını kaybetmesi olarak tanımlanmaktadır. Rutubet miktarının %63'den fazla olması durumunda aşırı rutubet olarak değerlendirilmektedir. Tam bir jelatinizasyon için, 14 su molekülüne karşılık 1 susuz glukoz ünitesi gerekmektedir (LAI and KOKINI, 1991). Granülün şişmesi ile başlayan ve kristal yapının kaybolması ile sonuçlanan jelatinizasyon, nişasta granüllerinin amorf bölgelerine suyun girişi ile başlamaktadır (Şekil 1). Sıcaklık ve ortama giren su miktarının artışı ile granülün kristal bölgesinin düzenli yapısında bozulma meydana gelmektedir. Amiloz molekül dışına çıkmaya başlar ve nişastanın granül yapısı geri dönüşsüz olarak bozulur. Sonuç olarak, çoğunlukla amilopektin içeren moleküller parçalanır ve amilozun oluşturduğu jelin içinde tutulur. (LAI and KOKINI, 1991; HARPER, 1992).

Jelatinizasyon ortamında mevcut olan suyun miktarına ve nişasta türüne bağlı olarak değişik sıcaklık aralıklarında meydana gelmektedir. Ortamda az miktarda su bulunduğunda, normal jelatinizasyon sıcaklık aralıklarında, tam bir jelatinizasyon meydana gelmemektedir (HARPER, 1992).

Ekstrüzyon sırasında, granüler nişasta önce giderek artan bir şekilde sıkıştırılmata ve yoğun katı bir materyale dönüştürülmektedir. Jelatinizasyon bağların zayıf olduğu granülün amorf bölgelerinde başlamaktadır. Ekstrüder içinde uygulanan yüksek kesme gücü ve sıcaklık, moleküler bağların mekaniksel olarak parçalanmasına, kristal yapının bozulmaya başlamasına ve granüler nişastanın eriyerek sıcak amorf bir kütleye dönüşmesine neden olmaktadır (COLONNA ve ark. 1989; HARPER, 1992; KOKINI ve ark. 1992).



Şekil 1. Nişasta jelatinizasyon mekanizması (a) amiloz ve amilopektinden oluşan ham nişasta granülleri (b) Suyun ilavesi ile amiloz yapısının bozulması ve granülün şişmesi (c) amilozun molekül dışına çıkışı (d) granülün yalnızca amilopektin içermesi ve amilozun oluşturduğu jelin içinde tutulması (LAI and KOKINI, 1991).

Ekstrüder silindir sıcaklığı ve başlık sıcaklığı, vida hızı ve şekli gibi çalışma koşulları; amiloz/amilopektin oranı ve rutubet miktarı gibi hammaddenin bileşimi mekanik parçalanma ve nişastanın dönüşümü üzerinde önemli etkiye sahiptirler (LINKO ve ark. 1983; LAI and KOKINI, 1991).

Mısır nişastasının jelatinizasyonunu açıklamak için yapılan bir araştırmada %30 amiloz içeren normal mısır nişastası, %17.8 ile %42.2 rutubet seviyelerinde, 116°C ile 164°C sıcaklık aralıklarında ve 93.5 rpm ile 166.5 rpm vida hızlarında tek vidalı ekstrüder kullanılarak ekstrüde edilmiştir. Aynı işlem koşulları altında waxy mısır nişastası, normal mısır nişastasından daha fazla oranda jelatinize olmuştur. Artan ekstrüzyon sıcaklıkları jelatinizasyon derecesini artırmasına rağmen, artan rutubet miktarı jelatinizasyon derecesini olumsuz yönde etkilemiştir. Jelatinizasyon oranı sabitleri artan sıcaklık derecelerinde her iki nişasta türü içinde artmaktadır. Vida hızındaki artış kesme oranının artmasına fakat ekstrüder silindirinde kalış süresinin kısalmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda nişastanın şişmesi azalmakta ve kesme işlemine daha dayanıklı hale gelmektedir (BHATTACHARYA and HANNA, 1987).

Sıcaklık ve nişasta jelatinizasyonu arasında pozitif bir ilişki mevcuttur. Halbuki nişasta jelatinizasyonuna kesmenin etkisi ekstrüder tipine göre farklılık göstermektedir. Buna neden olarak çift vidalı ekstrüderlerdeki vida şeklinin tek vidalı ekstrüderdekinden daha kompleks olması gösterilmektedir (BHATTACHARYA and HANNA, 1987).

Buğday nişastasının jelatinizasyon derecesini tespit etmek için yapılan çalışmada, %25 ile %30 rutubet aralıkları, 200 rpm ile 300 rpm vida hızları ve 100°C ile 160°C sıcaklık aralıkları uygulanarak çift vidalı ekstrüderde ekstrüde edilmiştir. Jelatinizasyon derecesi pişirme bölgesinin başlangıcındaki kısa bir bölgede hızlı bir şekilde artmıştır. Pişirme bölgesinin kalan kısmında ise jelatinizasyon aşamalı bir şekilde artarak meydana gelmiştir. Pişirme bölgesinin başlangıcında ve kalan kısmında farklı reaksiyon mekanizmalarının meydana geldiği belirtilmektedir. Bunun nedeninin ise başlangıçta meydana gelen kompleks nişasta transformasyonunun olduğu ve bununda hızlı bir jelatinizasyona neden olduğu tahmin edilmektedir (CAI and DIOSADY, 1993b).

Ekstrüderde kalış süresi ile direk olarak ilişkili olan vida hızı da jelatinizasyon derecesini etkilemektedir. Artan vida hızı jelatinizasyon derecesini artırmaktadır. Ancak meydana gelen değişikliklerin çoğunun kesme geriliminin artmasına neden olmaktadır (BHATTACHARYA and HANNA, 1987; CAI and DIOSADY, 1993b).

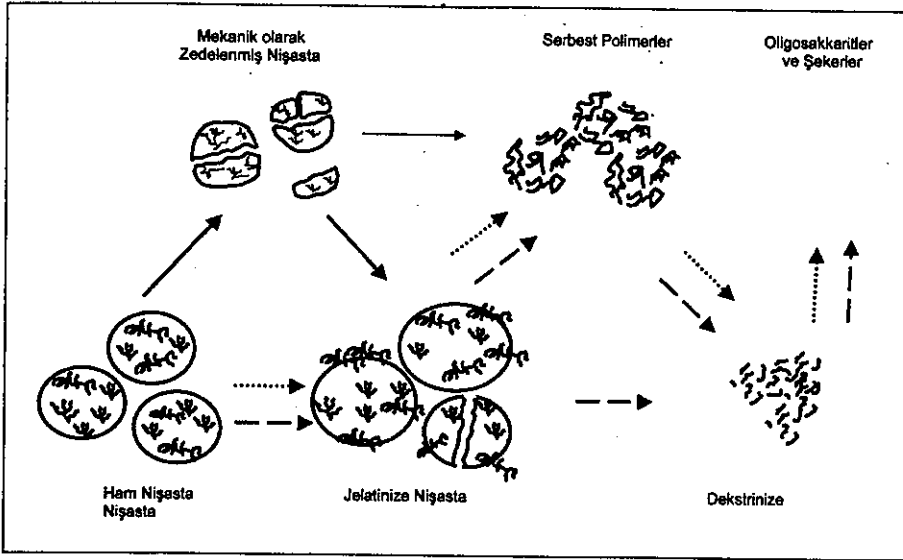
3.2.2. Fragmentasyon

Fragmentasyon mekanizması sırasında amilopektinin sınırlı parçalanmaya uğradığı ve esas olarak mekanik kesmeden dolayı tüm moleküler büyüklükte önemli bir azalma olduğu düşünülmektedir (Şekil 2).

İndirgeme gücü olan glukozun miktarının belirlenmesi ile tespit edilebilen α (1 → 6) bağlarının yüzdesi, ekstrüzyon sonucu önemli bir değişim göstermemesine rağmen, bir ve iki dal noktasında meydana gelen kopma amilopektin moleküllerinin boyutunun azalmasında önemli rol oynamaktadır. Ekstrüzyon sırasında nişasta fragmentasyonu vida hızı, sıcaklık, rutubet miktarı ve kullanılan nişasta tipi gibi faktörlere bağlıdır. Amilopektin fragmentasyonu artan sıcaklık veya rutubet ile ve azalan vida hızı ile artmaktadır (DAVIDSON ve ark. 1984).

Ekstrüzyon sonunda yapılan Jel Permeasyon Kromatografisi (GPC) analizi sonucunda amiloz ve amilopektinin ekstrüde edilmemiş nişastadan daha düşük molekül ağırlığına sahip oldukları tespit edilmiştir (COLONNA and MERCIER, 1983). Moleküler ağırlıkta meydana gelen bu düşme ise depolimerizasyonun göstergesi olarak ifade edilmektedir (COLONNA ve ark. 1984).

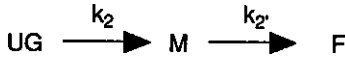
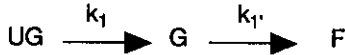
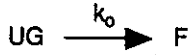
Yapılan bir çalışmada rüşeymi alınmış mısır kırmacı çift vidalı ekstrüderde rutubet miktarı, vida hızı ve sıcaklığın değiştirildiği 15 farklı koşulda ekstrüde edilmiştir. Maksimum fragmentasyon düşük rutubet miktarı (%20), düşük sıcaklık (100°C) ve yüksek vida hızında (300 rpm) elde edilmiştir. Bu koşullar altında başlıkta maksimum basınç gözlemlenmiştir (WEN ve ark. 1990).



Şekil 2. Fragmentasyon mekanizması (LAI and KOKINI 1991).

(Kesme \longrightarrow , Sıcaklık $\cdots\cdots\cdots\rightarrow$, Rutubet $-\ -\ \rightarrow$)

Düşük rutubette yüksek kesme uygulanan koşullar düz amiloz ve dallanmış amilopektin arasındaki hidrojen bağlarını kırılmasına yol açmaktadır. Hidrojen bağlarının fazla oranda kırılması yoğun kesme gücüne ve yüksek sıcaklığa bağlıdır. Nişastanın erimesi ve jelatinize olması birbirine paralel olarak meydana gelmekte ve ardından fragmentasyon meydana gelmektedir. Ekstrüzyon sırasında meydana geldiği tahmin edilen model mekanizma aşağıdaki gibidir.



UG : Jelatinize olmamış nişasta

G : Jelatinize olmuş nişasta

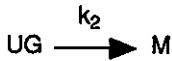
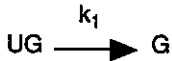
M : Erimiş nişasta

F : Fragmente olmuş nişasta

k_0, k_1, k_2, k_1' ve k_2' oran sabitleridir

(KOKINE ve ark. 1990).

Termal etki olmaksızın kesme gücü nişasta transformasyonuna yol açmadığı için, kesme işlemi dolayısıyla jelatinize olmamış nişastadan direk fragmentasyon meydana gelmesi beklenmemektedir. Bu nedenle büyük miktarlardaki jelatinize olmuş ve erimiş nişastalar, yüksek rutubet miktarlarında fragmentasyona uğramaktadır. Bu durumda basitleştirilmiş mekanizma aşağıdaki gibidir (LAI and KOKINI, 1991):



Dekstrinizasyon terimi, nişastanın kısmi hidrolizi olarak tanımlanmaktadır. Dekstrinizasyon ürünleri alkolde çözünmektedir. Düşük rutubetli, yüksek kesme uygulanan ekstrüzyon sırasında nişasta fragmentasyonunun baskın mekanizması olarak görülmektedir (LAI and KOKINI, 1991).

Ekstrüzyonun mısır nişastasının fizikokimyasal özellikleri üzerine olan etkilerini araştırmak amacıyla ham, jelatinize ve dekstrinize edilmiş nişasta kombinasyonu kullanılmıştır. Ham mısır nişastası: %14.2 ile %32.9 ara-

sında 6 farklı rutubet miktarında, 750 rpm vida hızında ve 90°C den 130 °C'ye dek değişen sıcaklıklarda ekstrüde edilmiştir. Jelatinize nişasta, nişasta süspansiyonunun (%2.5 w/w) 120 °C'de 1 saat pişirilip dondurularak kurutulması sonucunda elde edilmiştir. Dekstrinize nişasta jelatinize edilmiş süspansiyonun %0.15 a-amilaz ile pH 6.3 de 90 °C'de 2 saat muamele edildikten sonra dondurularak kurutulması ile elde edilmiştir. Ham, jelatinize ve dekstrinize edilmiş nişastaların karışımı ve ekstrüde ürünlerin özellikleri karşılaştırılmıştır. Fizikokimyasal özellikler ve SEM analizleri karşılaştırıldığında ekstrüde edilmiş mısır örneklerinin jelatinize edilmiş ve dekstrinize edilmiş ürünlerden oluştuğu gözlenmiştir. Glukoz oluşumuna ise rastlanmamıştır. Ayrıca jelatinizasyon teriminin meydana gelen dekstrinizasyondan dolayı %20'nin alındaki rutubetlerde nişastanın durumunu açıklamak için kullanılamayacağı ifade edilmiştir (GOMEZ and AGUILERA, 1984). %14 rutubet ve 110, 150 ve 200°C sıcaklıklarda ekstrüde edilen mısır nişastasını ekstrüdatlarının alkol çözünürlüğünün önemsiz derecede olduğu tespit edilmiştir. Bu ise üründe dolaylı olarak düşük moleküler ağırlığa sahip oligosakkaritlerin bulunmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Tersine olarak, aynı ekstrüzyon koşullarında yapılan patates nişastasını ekstrüzyonunda ise düşük moleküller ağırlığa sahip (< 2.000) oligosakkaritlerinin varlığının göstergesi olan alkolde çözünen fraksiyonların oluştuğu gözlenmiştir (CHINNASWAMY and HANNA, 1990).

Patates nişastasını granüllerinde amilopektinin depolimerizasyonunu artıran yüksek ekstrüzyon sıcaklıkları sonucunda 1.000 ila 10.000 arasında değişen moleküler ağırlıktaki molekül parçacıklarının ortaya çıktığı belirtilmiştir. (YAMADA ve ark. 1990). Yapılan kromatografik çalışma sonucunda ise patates ve buğday nişastasının kromatografik profillerinin farklı olduğu gözlemlenmiştir. Ekstrüzyon sonucunda nişastanın davranışlarında meydana gelen farklılıklar, farklı amiloz ve amilopektin düzenlemelerine sahip olan nişasta çeşidinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır (COLLONNA ve ark. 1984).

Ekstrüde edilmiş ürünlerin özellikleri yapısal modifikasyonlardan ve işlem sırasında uygulanan mekanik ve termal gerilimin sonucunda ortaya çıkan nişastanın fiziksel özelliklerindeki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Glikozidik bağların kopsamından dolayı oluşan düşük moleküler ağırlıktaki bileşenler açıklığa kavuşturulmasına rağmen, degradasyon ürünlerinin oluştuğu kimyasal yapı ve mekanizma henüz tam olarak açıklanamamıştır. Bu nedenle ekstrüzyon işlemi tam olarak anlamak ve kontrol etmek için nişasta fragmentasyon kalıplarındaki değişiklikleri miktar olarak tayin etmek ve spesifik ekstrüder parametreleri ile ilişkilendirmek gerekmektedir (DAVIDSON ve ark. 1984).

4. SONUÇ

Sonuç olarak, ekstrüzyon tipik bir düşük rutubet, yüksek sıcaklık ve kısa sürede basınç altında kesme işleminin uygulandığı bir tekniktir. Ekstrüzyon sırasında granül nişasta sıcak amorf, erimiş ve plastisize olmuş bir yapıya dönüşmekte, başlıkta basıncın ortadan kalkmasıyla şekillendirilmektedir (HARPER, 1992).

Nişasta bileşimini oluşturan bileşenlerden olan amiloz miktarının ve ekstrüzyon sırasında uygulanan sıcaklığın ve vida hızının artırılması nişastanın fiziksel özelliklerini geliştirerek kabarma oranında artışa, kütle yoğunluğunda azalmaya yol açmaktadır. Moleküler degradasyonun bir göstergesi olan WAI değeri, artan sıcaklık ve rutubet miktarı ile artarken, dekstrinizasyonun göstergesi olan WSI değeri, artan sıcaklık ve azalan rutubet miktarına bağlı olarak artış göstermektedir.

Nişastanın dönüşümü jelatinizasyon, erime ve dekstrinizasyonu içeren fragmentasyondan meydana gelmektedir. Jelatinizasyon düşük rutubette ve yüksek işlem sıcaklıklarında meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklık, kesme, mekanik enerji ve düşük rutubet gibi şiddetli koşullarda nişasta fragmentasyonun ana mekanizması olan dekstrinizasyon meydana gelmekte ve nişasta granülünün kristal yapısında kısmi veya tam parçalanma ile sonuçlanmaktadır (DAVIDSON ve ark. 1984; HARPER, 1992; LAI and KOKINI, 1992).

KAYNAKLAR

- ALI, Y., M.A. HANNA and R. CHINNASWAMY, 1996. Expansion characteristics of extruded corn grits. Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 29: 1-6.
- ANDERSON, R.A., H.F. CONWAY, V. PFEIFER, and E.L. GRIFFIN, JR., 1969. Geletanization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today, 11:1-8.

- BHATTACHARYA M. and G.S. CHOUDHURY, 1994. Twin-screw extrusion of rice flour: Effect of extruder length-to-diameter ratio and barrel temperature on extrusion parameters and product characteristics. *J. Food Process. and Preserv.* 18: 389-406.
- BHATTACHARYA M. and M.A. HANNA, 1987 Kinetics of starch gelatinization during extrusion cooking. *J. Food Sci.* 58: 872-875.
- BHATNAGAR S. and M.A. HANNA, 1991, Effect of lipids on physicochemical properties of extruded corn starch. An ASAE International Winter Meeting Presentation Paper No: 916541.
- BHATNAGAR S. and M.A. HANNA, 1994a Amylose-lipid complex formation during single screw extrusion of various corn starches. *Cereal Chem.* 71: 582-586.
- BHATNAGAR S. and M.A. HANNA, 1994b. Extrusion processing conditions for amylose lipid compelling. *Cereal Chem.* 71: 582-593.
- CAI, W. and L.L. DIOSADY, 1993a Modeling of expansion and water solubility index of wheat starch during extrusion cooking. *Acta Aliment.* 22: 181-192.
- CAI, W. and L.L. DIOSADY, 1993b. Model for gelatinization of wheat starch in twin-screw extruder. *J. Food Sci.* 58: 872-875.
- CHINNASWAMY R. and M.A. HANNA, 1988a. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches. *Cereal Chem.* 65: 138-143.
- CHINNASWAMY R. and M.A. HANNA, 1988b. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. *J. Food Sci.* 53: 834-836, 840.
- CHINNASWAMY R. and M.A. HANNA, 1990. Macromolecular and functional properties of native and extrusion-cooked corn starch. *Cereal Chem.* 67:490-499.
- COLONNA, P., J.L. DOUBLIER, J.P. MELCION, F. MONREDON and C. MERCIER, 1984. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. physical and macromolecular modification. *Cereal Chem.* 61: 538-543.
- COLONNA, P. and C. MERCIER, 1983. Macromolecular modification of manioc components by extrusion-cooking without lipids. *Carbohydrate Polymers* 3: 87-108.
- COLONNA, P., J. TAYEB and C. MERCIER, 1989. Extrusion cooking of starch and starchy products. In *Extrusion cooking*, C. Mercier, P. Linko and J.M. Harper (Eds), Ch. 9: 247-321. American association of Cereal Chemists, Minnesota, USA.
- DAVIDSON, V.J., D. PATON, L.L. DIOSADY and G. LAROCQUE, 1984. Degradation of wheat starch in a single screw extruder: Characteristics of extruded starch polymers. *J. Food Sci.* 49: 453-458.
- GOMEZ, M.H. and J.M. AGUILERA, 1983. Changes in starch fraction during extrusion cooking of corn. *J. Food Sci.* 48: 378-381.
- HARPER, M.J., 1989. Food extruders and their applications. In *Extrusion Cooking*, C. Mercier, P. Linko and J.M. Harper (Eds.), Ch. 1: 1-15. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA.
- HARPER, M.J., 1992. Extrusion processing of starch. In *Developments in Carbohydrate Chemistry*, R.J. Alexander and H.F. Zobel (Eds) 37-64. American association of Cereal chemists, Minnesota USA.
- HAUCK, B.W., 1994. An overview of single screw cooking extruder. The Center for Professional Advancement.
- HO, C. and M. T. IZZO, 1992. Lipid-protein and lipid-carbohydrate interactions during extrusion. In *Food Extrusion Science and Technology*. J.L. Kokini, C. Ho and M.V. Karwe (Eds.), Parts III 415-427. Marcel-Dekker Inc. N.Y. USA.
- KOKINI, J.L., G. BAUMANN, K. BRESLAVER, L.L. CHEDID, P.K. HERH, L.S. LAI and H. MADEKA, 1990. A kinetic model for starch gelatinization and effect of starch/protein interactions on rheological properties of 98% amylopectin and maylose rich starches. In *Engineering and Food Volume 1 Physical Properties and Process Control*, W.E.L. Spiess and H. Schubert (Eds). 109-121. Elsevier Applied Science. London and NY.
- KOKINI, J.F., L.S. LAI and L.L. CHEDID, 1992. Effect of starch structure on starch rheological properties. *Food Tech.* 6: 124-139.
- LAI, L.S. and J.K. KOKINI, 1991. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (a review) *Biotechnol. Prog.* 7:251-266
- LINKO, P., LINKO and J. OLKKU 1983. Extrusion cooking and Bioconversions. *J. Food Eng.* 2: 243-257.
- MANNERS, D.J., 1985. Some aspects of structure of starch. *CFW.* Vol. 30, No. 7, 461-467.
- MERCIER, C., P. LINKO and J.M. HARPER, 1989. Starch extrusion. In *Extrusion Cooking*, C. Mercier, P. Linko and J.M. Harper (Eds). Ch. 1:1-15. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA.
- MOHAMMED, S. 1990. Factors affecting extrusion characteristics of expanded starch-based products. *J. Food Process Preserv.* 14: 437-452.
- SOKHEY, A.S., and R. CHINNASWAMY, 1992. Physicochemical properties of irradiation modified starch extrudates. *Food Structure* 11: 361-371.
- SOTILLO, E., N.S. HETTIARACHCY and S.W. MEINHARDT, 1994. Changes in starch and protein on extrusion of corn starch and sunflower protein blends. *J. Food Sci.* 59: 436-440.
- TANJU, Ş ve Y. SÜMBÜL, 1986. Gıda sanayiinde ekstrüzyonla işleme teknolojisi. *Gıda* 11: 89-84.
- VALLE, C.D., L. QUILLIEN and J. GUEGUEN, 1994. Relationship between processing conditions and starch and protein modifications during extrusion-cooking of pear flour. *J. Sci. Food Agric.* 64: 509-517.
- WEN, LP., P. RODISAND and B.P. WASSERMAN, 1990. Starch fragmentation and protein insolubilization during twin-screw extrusion of corn meal. *Cereal Chem.* 67: 268-275.
- YAMADA, T.K. H. SUZIKI, H. KATUZAKI, M. HISAMATSU and T. KOMIYA, 1990. GPC Profile change of potato starch with extrusion processing. *Starch* 42: 217-223.