



## TAHİL VE PSEUDO-TAHILLARIN ISLAK ÖĞÜTME TEKNOLOJİSİ

Erkan Yalçın\*, Ayşenur Arslan

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

Geliş / Received: 22.12.2020; Kabul / Accepted: 16.02.2021; Online baskı / Published online: 22.03.2021

Yalçın, E., Arslan, A. (2021). Tahıl ve pseudo-tahılların ıslak öğütme teknolojisi. GIDA (2021) 46(2) 463-473 doi: 10.15237/gida.GD20147

Yalçın, E., Arslan, A. (2021). Wet milling technology of cereal and pseudocereals. GIDA (2021) 46(2) 463-473 doi: 10.15237/gida.GD20147

### ÖZ

Öğütmenin amacı; tohumu meydana getiren başlıca kısımları, öğütme yöntemine göre ayırarak, gıda endüstrisi veya diğer endüstrilerde kullanmaktır. Öğütme, genel olarak kuru ve ıslak öğütme olarak sınıflandırılabilir. Islak öğütmede amaç; nişasta, protein, besinsel lif ve ham yağ gibi tohumun başlıca kimyasal bileşenlerini ayırmak iken; kuru öğütmede amaç tanenin anatomik kısımları olan endosperm, ruşeym ve kepeği ayırmaktır. Islak öğütmede her bileşen mümkün olan en saf haliyle ayrılırken; kuru öğütmede, yüksek kalitede rafine veya tam tane unu elde edilir. Islak öğütme, tahıl veya pseudo-tahılların temel bileşenlerini fiziksel, kimyasal, biyokimyasal ve mekanik işlemler ile ayıran endüstriyel bir işlemdir. Islak öğütme, ıslatma işlemi ile başlar, ardından mekanik ayırma işlemi gelir. Islak öğütme işlemi sanayide, çoğunlukla buğday ve mısıra uygulanırken, sorgum, arpa, yulaf ve pirinç gibi tahıllara da uygulanmaktadır. Karabuğday, kinoa ve amarant pseudo-tahıllarının ıslak öğütmesi ile ilgili çalışmalar henüz laboratuvar ölçeğindedir. Tahıl veya pseudo-tahılların ıslak öğütme koşulları tamamen nişasta verimini ve fizikokimyasal özelliklerini etkilemektedir.

**Anahtar kelimeler:** Islak öğütme, tahıl, pseudo-tahıl, nişasta, protein, besinsel lif

## WET MILLING TECHNOLOGY OF CEREAL AND PSEUDOCEREALS

### ABSTRACT

The purpose of the milling is to separate the main fractions of the grain due to milling method and is to use them for food or other industries. The milling can be classified as dry and wet milling. The purpose of the wet milling is to separate the main chemical constituents of the grain, such as starch, protein, dietary fibre and crude oil; the purpose of the dry milling is to separate the endosperm, germ and bran parts of the grain. All constituents can be separated with the highest purity in the wet milling; on the contrary the principle of the dry milling is to obtain the refine or wholegrain flour with the highest quality. The wet milling, which is an industrial process, separates the essential fractions of cereal or pseudo-cereals using physical, chemical, biochemical and mechanical processes. The wet milling starts with steeping process, and then the grain constituents are separated with mechanic splitting. The wet milling process is mostly applied to wheat and corn, besides it is also employed for some cereals like sorghum, barley, oat and rice. The wet milling of pseudo-cereals such as buckwheat, quinoa and amaranth is still carried out in a laboratory scale. The wet milling conditions of cereal/pseudo-cereals completely affect the starch yield and its physicochemical properties.

**Keywords:** Wet milling, cereal, pseudocereal, starch, protein, dietary fibre

\* Yazışmalardan sorumlu Yazar / Corresponding author

✉ : yalcin\_e@ibu.edu.tr

☎ : (+90) 374 253 4640 / 4832

☎ : (+90) 374 253 4558

Erkan Yalçın; ORCID No: 0000-0002-7417-9088

Ayşenur Arslan; ORCID No: 0000-0003-1658-746X

## GİRİŞ

Tahıllar, *Gramineae (Poaceae)* familyasının üyeleri olup 8 cinsi içermektedir, bunlar: buğday (*Triticum*), çavdar (*Secale*), arpa (*Hordeum*), yulaf (*Avena*), pirinç (*Oryza*), millet (*Pennisetum*), mısır (*Zea*) ve sorgumdur (*Sorghum*). Pseudo-tahıllar ise 3 cinsi içine almaktadır, bunlar: *Polygonaceae* familyasından karabuğday (*Fagopyrum*), *Amaranthaceae* familyasından amarant (*Amaranthus*) ve kinoa'dır (*Chenopodium*) (Reguera ve Haros, 2017). Tahıllar ve pseudo-tahıllar nişastalı bitkilerdir, fakat önemli miktarda protein ve ham yağ da içerdikleri belirtilmiştir. Tohumlar genellikle üç kısımdan meydana gelmektedir: endosperm (pseudo-tahıllarda perisperm), embriyo (ruşeym) ve kepek (perikarp+tohum kabuğu). Endosperm esas olarak nişasta içermekle birlikte önemli miktarda protein de içermektedir. Embriyo önemli miktarda ham yağ içerir, ayrıca protein ve mineral maddelerce de zengindir. Kepek ise selüloz ve hemiselülozdan meydana gelmiştir ve ayrıca protein ve lignin de içerdiği bildirilmiştir. Tohum kısımlarının tanedeki oranı tahıllar ve pseudo-tahıllarda farklılık göstermektedir. Tahıl öğütmenin karakteristik özelliği endospermi, embriyo ve kepekten ayırarak mümkün olduğunca saf un haline getirmektir. Pseudo-tahıllar ise halâ geleneksel metotlar kullanılarak, örneğin taş değirmende tam tane olarak öğütülmektedir. Genellikle öğütme kuru ve ıslak öğütme olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Kuru öğütmede amaç, tanenin anatomik kısımları olan endosperm, embriyo ve kepeği ayırmaktır. Islak öğütmede amaç ise tanenin başlıca kimyasal bileşenleri olan nişasta, protein, besinsel lif ve ham yağı ayırmaktır. Kuru öğütmede, endospermden gelecek maksimum unu üretmek başlıca hedef iken, ıslak öğütmede tüm kimyasal bileşenleri en saf haliyle ayırmak başlıca amaçtır. Kuru öğütme direk olarak fraksiyonlamayla başlar, ıslak öğütme ise kimyasal bileşenlerde fiziksel ve kimyasal değişmelerin olduğu ıslatma (maserasyon) işlemi ile başlamaktadır. Islatmanın amacı endosperm hücre içeriğinin dağılmasını sağlayarak nişastanın protein ağından serbest kalmasını teşvik etmek olarak açıklanmıştır (Haros ve Wronkowska, 2017). Islak öğütme, tohumun temel bileşenlerinin, fiziksel, kimyasal, biyokimyasal ve mekanik yöntemler ile ayrılmasında kullanılan

endüstriyel bir işleme yöntemidir. İşlem temel olarak iki aşamadan meydana gelir: birinci olarak; tahıl tanesinin belirli bir sıcaklıkta alkali veya asitli çözeltilerde ıslatılması; ikinci olarak fraksiyonların (nişasta, protein, ruşeym, besinsel lif/kepek) fiziksel özellik (yoğunluk ve parçacık boyutu) farklılıklarından yararlanarak mekanik olarak ayrılmasıdır. Islatma sırasında su tohum içerisine sızar ve hücreler arası yapıyı yumuşatıp parçalar ve böylece verimde artış sağlanmaktadır. Islatmanın hızı, sıcaklığa ve asit/alkali koşullara bağlı olarak değişmektedir. Nişasta ıslak öğütmenin ana ürünü olmakla birlikte, besinsel lif ve protein gibi teknolojik ve gıda amaçlı kullanılan başka fraksiyonlar da ayrılmaktadır (Wronkowska ve Haros, 2014; Mufari vd. 2018; Skendi vd. 2020). Günümüzde sanayide, ıslak öğütme işlemi en çok mısır ve buğdaya uygulanmakta ve nişasta üretiminin önemli bir miktarı sağlanmaktadır. Daha az sıklıkla pirinç ve sorguma uygulanmaktadır (Rosentrater ve Evers, 2018). Islatma suyu olarak genellikle sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) ve laktik asidin farklı derişimlerdeki çözeltileri kullanılmaktadır. Islatma suyunda kullanılan SO<sub>2</sub> indirgeyici ve antimikrobiyal olarak kullanılırken, laktik asidin hücre duvarlarının parçalanmasını kolaylaştırdığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, ıslak öğütmede kullanılacak yöntemin dikkatli seçilmesi ve saf bileşenlerin gıda formülasyonunu etkilememesi gerektiği ifade edilmiştir (Wronkowska ve Haros, 2014).

## TAHILLARIN ISLAK ÖĞÜTME TEKNOLOJİSİ

### Buğday

Buğdaylar endosperm yapısına göre yumuşak (%8-10 protein), sert ve çok sert (durum, %12-16 protein) olarak sınıflandırılmıştır (Sayaslan vd. 2006). Nişasta ise buğday tanesinin %65-75'ini oluşturmaktadır (El Halal vd. 2019). Buğdayın ıslak öğütülmesinde nişasta ve vital gluten başlıca ürün olarak alınmaktadır. Bu amaçla yüksek protein içeriğine (>%11) sahip sert ve yumuşak buğdaylar kuru öğütme ile una öğütüldükten sonra ıslak öğütülmektedir. Gluten proteini ve nişastanın buğday unundan ıslak ayrımı temel olarak sudaki düşük çözünürlüklerine (agregasyon), parçacık boyutlarına ve yoğunluklarına (sedimentasyon) dayanmaktadır.

Islatma işlemini takiben gluten proteinleri nişasta granüllerinden daha büyük fakat daha az yoğunlukta agregatlar meydana getirmektedir. Buğday ununun endüstriyel olarak ıslak öğütülmesinde geleneksel yöntemlerden Martin (hamur yıkama) ve Batter (bulamaç yöntemi), modern yöntemlerden Alfa-Laval/Raisio, hidrosiklon ve yüksek basınçta disintegrasyon olmak üzere 5 farklı yöntem uygulanmaktadır. Bu ıslak öğütme yöntemlerinde başlangıç materyali buğday unudur. Buğdayın ıslak öğütülmesinde kullanılan modern yöntemler ile su kullanımının azaltıldığı ve işleme süresinin kısaltıldığı belirtilmiştir (Sayaslan, 2004; Sayaslan vd. 2006; Sayaslan vd. 2012; Wronkowska, 2016). Sayaslan vd. (2012), tasarlanmış oldukları laboratuvar ölçekli yüksek hızlı karıştırma ıslak öğütme sisteminde, gluten, A tipi nişasta, B tipi nişasta, besinsel lif ve suda çözünür bileşikler olmak üzere 5 farklı ürün elde etmişlerdir. Steeneken ve Helmens (2009), buğdayı pürüzsüz valslerde hafifçe ezdikten sonra ıslak öğütme işlemine geçilmesini önermişlerdir, böylece gluten kümelenmesi meydana gelmeden besinsel liflerin eleme ile ayrılabilmesini belirtmişlerdir. Sayaslan vd. (2005) glutenin renginin ticari açıdan kritik bir kalite faktörü olduğunu ve genelde açık renkli glutenlerin tercih edildiğini belirtmişlerdir. Kepek parçacıklarının ıslak öğütme sırasında glutene yapışmasından dolayı koyu renkli, lekeli gluten üretilebilmektedir. Glutenin renginin, ıslak öğütme sırasındaki enzimatik esmerleşme (polifenol oksidaz-PPO) ve kurutma sırasındaki enzimatik olmayan esmerleşme (Maillard Reaksiyonu-MR) ile meydana geldiği belirtilmiştir. Sayaslan vd. (2005), kırmızı, beyaz ve düşük PPO içerikli beyaz buğdaylardan izole edilen nişasta ve gluten fraksiyonlarının verimleri ve saflıklarını benzer bulmuşlardır. Düşük PPO içerikli beyaz buğdaydan izole edilen ve liyofilizasyon ve etüvde kurutma uygulanan glutenler en parlak bulunmuş, bunu beyaz ve kırmızı buğdaylarından izole edilen glutenler izlemiştir. Magallanes López vd. (2018), nişasta ve glutenin buğday endosperminden ıslak öğütme yöntemiyle ayrılmasının, partikül boyutuna, yoğunluğuna ve suda çözünürlüğüne bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Son yıllarda buğday ve ürünlerinde küf kaynaklı mikotoksinlerin meydana gelmesi

gıda güvenliği açısından önem kazanmıştır. Buna göre, Magallanes López vd. (2019), deoksinivalenol (DON) ile kontamine olmuş buğdaylardan nişasta ekstraksiyonu ve fonksiyonel özelliklerinin incelenmesi ile ilgili çalışmada, laboratuvar ölçekli üç ıslak öğütme yönteminin (Martin, orta hızda karıştırma/kesme, yüksek hızda karıştırma/kesme yöntemleri) ve etkinliğini karşılaştırmış ve her üç ıslak öğütme işleminden sonra elde edilen nişasta fraksiyonlarının hiçbirinde DON tespit edilmemiştir. Magallanes López vd. (2021) başka bir çalışmada, ıslak öğütme işlemi ile DON'un suda çözünürlüğünden yararlanılarak buğdaydan uzaklaştırılabileceğini rapor etmişlerdir. Ayrıca, ıslak öğütme işlemlerinden ayrılan gluten fraksiyonlarında DON seviyeleri 0.2 mg/kg'den düşük bulunmuştur. Alexandre vd. (2017) tam buğday ununda ve ıslak öğütme atığındaki DON mikotoksininin azaltılması için araştırmalarında ozon kullanmışlar, ozonlamanın etkili bir alternatif yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Sayaslan vd. (2006), mumlu (waxy) buğday unlarının ıslak öğütme özelliklerinin incelenmesini Martin ve sulu dispersiyon yöntemleri ile yapmış ve verimler daha düşük bulunmuş olup, daha fazla ham yağ ve pentozan, daha az nişasta fraksiyonu elde etmişlerdir. Guan vd. (2009) hamur yıkama yöntemi (Martin yöntemi) ile farklı tipteki buğday unlarını fraksiyonlarına ayırmışlar, hamur karıştırma özelliklerinin ıslak öğütme kalitesiyle ilişkili olduğunu ve ıslak öğütme işlemiyle sert mumlu buğdayların kolaylıkla nişasta ve glutene ayırlamadığını belirtmişlerdir.

### Mısır

Mısırın başlıca kimyasal bileşeni nişastadır (%70-73) ve 7-25 µm boyutunda, polihedral ve küresel granüllere sahip olduğu belirtilmiştir. Mısırdaki bulunan proteinler (%8-10) nişasta ile çok yakın bir etkileşimde olduklarından nişastanın ayrılmasını zorlaştırdığı ifade edilmiştir. Yüksek nişasta verimi için nişasta-protein arasındaki bağ kuvvetlerinin kırılması veya zayıflatılması gerektiği belirtilmiştir (El Halal vd. 2019). Mısır nişastası endüstride ıslak öğütme teknolojisi ile ayrılmaktadır. Mısırın ıslak öğütülmesinde başlıca kalite faktörleri nişasta verimi, ıslatma çözeltisi kalitesi ve ıslatma süresi olarak belirtilmiştir.

Mısırın ıslak öğütülmesinde ıslatma aşaması, mısır tanesini yumuşatmak ve mısır hücre duvarlarını parçalamak için önemli bir işlemdir. Mısırın ıslatma işleminde, SO<sub>2</sub> (%0.2-0.4) ve laktik asit içeren çözeltiler 50°C'de ve 24 saat süreyle uygulanmaktadır. ıslatma çözeltisinin, endosperm içerisine nüfuz ederek nişasta granüllerini saran proteinlerin disülfid bağlarını kırdığı ve nişasta veriminin artırılmasına yardımcı olduğu belirtilmiştir. Sülfürlü çözeltilerin çevre kirliliği yaratması sebebiyle, geleneksel asitli çözeltinin L-sistein indirgeyici ajanı ile birlikte uygulandığı çevre dostu yöntemler önerilmiştir. L-sistein, proteinlerin disülfid bağlarını kırarak nişastanın endospermden serbest kalmasını sağladığı bildirilmiştir (Wronkowska ve Haros, 2014; El Halal vd. 2019). Uriarte-Aceves vd. (2015), yaptıkları bir çalışmada, 15 adet Meksika mavi mısır genotiplerinin fiziksel, kimyasal ve ıslak öğütme özellikleri arasında büyük farklılıklar olduğunu, bunlardan iki genotipin endüstri için uygun nişasta özellikleri verdiğini bildirmişlerdir. Araştırmalarında, ortalama nişasta verimini %61.03, nişasta fraksiyonlarındaki kalıntı protein miktarını %0.39-0.68 ve toplam katı madde geri kazanımını %98,8 olarak belirtmişlerdir. Uriarte-Aceves vd. (2018), aynı mavi mısır genotiplerinin ıslatma pH'sının nişasta özelliklerinde muhtemel etkisini azaltmak ve yüksek nişasta verimliliği sağlamak için ıslatma suyunun pH'sını 0.2 M NaHCO<sub>3</sub> ile 3.75'e ayarlamışlardır. Çalışmalarında ortalama nişasta miktarını %99.41 ve kalıntı proteini %0.54 olarak bulmuşlardır. Uriarte-Aceves vd. (2019), 25 farklı ticari beyaz hibrit mısırın (100 g) ıslak öğütmesini (52°C, %0.5 laktik asit, %0.2 SO<sub>2</sub>, 24 saat) çalışmışlar; buna göre, nişasta verimleri, nişasta geri kazanımları ve nişastadaki kalıntı protein miktarlarının sırasıyla %54,63-65,95, %76.08-93.22 ve %0.33-0.62 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

### **Pirinç**

Pirinç, dünyada en çok üretimi yapılan tahıllardan bir tanesidir. Tane şekline göre kısa, orta ve uzun olarak sınıflandırılabilir. Pirinçte nişasta %76-90 oranında bulunur ve tahıllar içinde en küçük granül boyutuna (3-8 µm) sahip olduğu bildirilmiştir. Pirinç, alerjik olmaması ve toksik prolamın proteini içermemesinden dolayı; unu ve

nişastasının, glutensiz gıdalar ve bebek mamalarında kullanılabileceği belirtilmiştir (El Halal vd. 2019). Pirinçin öğütülmesinde kuru, ıslak ve yarı-kuru (pirinç tanelerinin nemi %25-30'a ıslatma ile ayarlanır, öğütmeden sonra pirinç unu 40°C'de 3-4 saat kurutulur) öğütme yöntemlerinin kullanıldığı, bunlar içerisinde ıslak öğütmenin en iyi kalitede unu verdiği bildirilmiştir. ıslatma işleminin pirinç ununun tanecik boyutunu etkilediği ve ıslak öğütme yöntemi ile daha az zedelenmiş nişasta meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca, kuru öğütmede elde edilen pirinç ununun ıslak öğütmeye kıyasla daha yüksek zedelenmiş nişasta verdiği ve daha fazla hidrasyon kapasitesine sahip olduğu bulunmuştur (Tong vd. 2015; Wu vd. 2019). Pirinç nişastasının üretimi diğer tahıl nişastaları ile karşılaştırıldığında daha maliyetlidir, çünkü nişasta proteine çok sıkı bağlıdır ve ayrılması için ön işlemlere gereksinim duyulur. Bu sebeple pirinç nişastasının ıslak öğütme ile ekstraksiyonunda ıslatma suyu olarak alkali çözelti (%0.10-0.30 NaOH), yüzey aktif maddeli çözelti (dodesilbenzen sülfonat, sodyum lauril sülfat), alkali çözelti+proteaz enzimi ve dondurma-çözündürme infüzyon+proteaz enzimi yöntemlerinin kullanıldığı belirtilmiştir. Alkali, proteaz ve infüzyon yöntemlerinde nişasta verimlerinin sırasıyla %66.8, %61.7 ve %69.3 olarak bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca, enzim uygulamasında nişastanın geri kazanımının alkali yönteminden %10 daha fazla olduğu bildirilmiştir (El Halal vd. 2019). Ancak, uzun ıslatma süreleri pirinçte bakteri üremesine sebep olmakta ve ürün kalitesinde ciddi bozulmalara yol açmaktadır. Bu sebeple, daha fazla enerji gerektiren ve zedelenmiş nişasta oranının fazla olduğu kuru öğütmenin tercih edildiği belirtilmiştir (Tong vd. 2015; Wu vd. 2019). Tong vd. (2015), pirinçin ıslak (25°C'de deiyonize suda 24 saat), yarı-kuru (%30 nemli) ve kuru öğütme yöntemlerinin erişte kalitesine etkileri ile ilgili çalışmada, yarı-kuru öğütmede pirinç ununun karakteristik özelliklerinin daha iyi korunduğunu (zedelenmiş nişasta miktarının daha az) ve unun daha iyi hidrasyon özellikleri sergilediğini belirtmişlerdir. Wu vd. (2019), glutensiz pirinç unu ekmeği üretmek için pirinç ıslak öğütme yöntemi, laboratuvar tipi rotorlu öğütücü (siklon öğütücü) ve diskli öğütücü (çok ince öğütme teknolojisi) ile öğütmüşlerdir. ıslak

öğütme yöntemi ile üretilen unun, ultra-ince öğütme ve siklon öğütmeye kıyasla daha düşük zedelenmiş nişasta içerdiği (2.80 g/100 g), yüksek jelatinizasyon sıcaklığı, absorpsiyon entalpisi ve jel direncine sahip olduğu ve ıslak öğütme yöntemiyle üretilen undan daha iyi glutensiz pirinç ekmeği üretilbildiği gösterilmiştir. Leewatchararongjaroen ve Anuntagool (2016), kuru (dikey disk öğütücü) ve ıslak öğütme (%1.25 NaHSO<sub>3</sub> içinde ıslatma) ile elde edilen dokuz çeşit pirinç ununun fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Islak öğütme işlemi ile elde edilen unların önemli düzeyde düşük protein ve kül içeriğine, fakat yüksek nişasta içeriğine sahip oldukları bulunmuştur. Ayrıca, ıslak öğütme ile üretilen unların nişasta granüllerinin daha küçük ve jelatinizasyon entalpilerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

### Arpa

Arpanın başlıca kimyasal bileşenleri nişasta (%60-77) ve proteindir (%8-15). Arpa nişastası kuru ve ıslak öğütme yöntemleri ile izole edilmektedir. Arpa nişastasının, ayrıca, arpa  $\beta$ -glukanının (%6) ekstraksiyonunda açığa çıkan bir yan ürün olduğu da belirtilmiştir (Zhu, 2017a; Sharma ve Kotari, 2017; El Halal vd. 2019). Arpada bulunan  $\beta$ -glukanın viskoziteyi artırarak ıslak öğütmede nişasta ekstraksiyonunu zorlaştırdığı belirtilmiş, bunun için %50'lik etil alkolde arpa ununun disperse edilerek  $\beta$ -glukan kaynaklı viskozitenin azaltılabileceği bildirilmiştir. Çünkü %50'lik etil alkolde  $\beta$ -glukanın hidrasyonunun meydana gelmediği belirtilmiştir. Daha sonra besinsel lif konsantrasyonunun ( $\beta$ -glukan dahil) elekler ile nişastadan ayrılabilmesi ve nişastanın ise su/alkali çözeltilerde saflaştırılabileceği bildirilmiştir (Zhu, 2017a). Yüzde 50'lik etil alkol kullanılarak 3 farklı arpa genotipinden (normal, mumlu, yüksek amilozlu) elde edilen nişasta ekstraksiyon verimleri %22-39 arasında bulunurken, nişastaların saflığı %98'den fazla bulunmuştur (Gao vd. 2009). Yu vd. (2018) yaptığı bir çalışmada, arpa ununu oda sıcaklığında %0.45'lik SO<sub>2</sub> çözeltilisinde bir gece ıslatmış ve daha sonra 2000xg'de 10 dakika santrifüj etmişlerdir. Çökelti, 20 mL proteaz çözeltilisi ile 37°C'de 30 dakika inkübe edildikten sonra 4000xg'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Çökelti

mutlak etil alkol ile tekrar yıkanmış ve 40°C'de 48 saat vakumda kurutulduktan sonra nişastasını izole etmişlerdir. Nişasta verimini ve nişasta içeriğini sırasıyla %48.1-54.8 ve %73.1-75.8 arasında bulmuşlardır. Kullanılan proteaz, nişasta-protein etkileşimini kırarak nişasta verimini artırmış, mutlak etil alkol ile yıkama ise  $\beta$ -glukanın çökmesine sebep olarak nişastadaki kalıntı miktarını (<%1) düşürmüştür. Sharma ve Tejinder (2014) ise kavuzlu ve kavuzsuz arpalarından nişasta izolasyonunu çalışmışlardır. Bunun için, arpalar önce 50°C'deki %0.2 SO<sub>2</sub> ve %0.55 laktik asit içeren çözeltide 4-5 saat ıslatılmış, sonra papain enzimi (0.4-2.0 g/kg) eklenerek 50°C'de 1-5 saat bekletilmiştir. Daha sonra sodyum hidroksit çözeltisi (0.01-0.05 M) eklenerek 25°C'de 15-60 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Eleme ve nişasta saflaştırma işlemleri sonucunda, alkali ekstraksiyon yöntemlerine (%70.9-83.7) göre enzim yardımıyla yapılan ekstraksiyon ile daha fazla nişasta verimliliği (%80.7-84.6) sağlandığı bildirilmiştir. Park ve Baik (2010) yapmış olduğu bir çalışmada 6 farklı arpa çeşidini ıslak öğütme işlemine tabi tutmuş ve ıslatma suyu sıcaklığının 23°C'den 60°C'ye yükseltilmesi ile yaklaşık %65 nişasta geri kazanımı sağlanmış, fakat protein geri kazanımı ve saflığının azaldığı belirtilmiştir.

### Yulaf

Yulafın başlıca kimyasal bileşenleri nişasta (%60), protein (kavuzsuz yulafta %15-20) ve ham yağdır (%1-7). Proteinlerinin %70-80'i globulinler, %4-15'i ise prolaminler (avenin) olduğu bildirilmiştir. Yulaf nişastasının izolasyonu oldukça güçtür, çünkü nişasta proteine çok kuvvetli bir şekilde bağlıdır, ayrıca tanede  $\beta$ -glukanın bulunmasının nişastanın ayrımını zorlaştırdığı ifade edilmiştir. Yulaf nişastası küçük poligonal (3-10  $\mu$ m) granüllerden meydana gelmektedir (Zhu, 2017b; El Halal vd. 2019; Punia vd. 2020). Yulaf nişastasının veriminin, protein miktarına ve seçilen ekstraksiyon yöntemine göre değiştiği bildirilmiştir. Nişasta izolasyonu; önce proteinin sonra besinsel lifin bir takım seri mekanik ayırmalar ile uzaklaştırılması, su ile yıkama/nötralizasyon ve santrifügasyon ile geri kazanım işlemlerini içerdiği belirtilmiştir. Nişastadan proteini etkili şekilde ayırmak için

başlıca 3 yöntem önerilmiştir: alkali ile ekstraksiyon, yüksek hızda homojenizasyon ile suda ekstraksiyon ve proteazlar kullanarak ekstraksiyondur (El Halal vd. 2019). Shah vd. (2017) üç farklı yulaf çeşitinin nişastalarını izole ettiği çalışmada; yulaf unu:su oranı 1:10 olacak şekilde hazırlanan karışımın pH değeri 9'a ayarlanarak 1 saat karıştırılmıştır. Karışım daha sonra kumaş süzgeçten filtre edildikten sonra santrifüj (3000xg'de 15 dakika) edilmiş, çökelti (nişasta) 3 kez distile su ile yıkanmış ve 40°C'de kurutulmuştur. Nişastaların %0.32-0.34 protein ve %0.25-0.44 ham yağ içerdiği bildirilmiştir. Al-Hakkak ve Al-Hakkak (2007) patentli bir çalışmada yulaf nişastasını herhangi bir kimyasal kullanmadan sadece buğday gluteni kullanarak izole etmiştir. Bunun için, 100 g yulaf kırması 18 g gluten ile karıştırıldıktan sonra %3'lük tuz çözeltisi ilave edilmiştir. Bu yöntemde hidrasyon sağlandıktan sonra yoğurma ile gluten ağı meydana getirilmiş ve gluten proteinleri ile yulaf proteinleri arasında agglomerasyon sağlanmıştır. Bir saat yoğurmadan sonra hamur yıkama işlemi yapılmış, nişasta kumaş süzgeçten filtre edilerek ayrılmış ve santrifüj ile toplandıktan sonra kurutulmuştur. Bu yöntemde nişasta verimi, un ağırlığına göre %55.7, undaki nişasta miktarına göre %78.0 olarak belirlenmiş, kalıntı protein ve ham yağ miktarı %0.35'ten az bulunmuştur.

### Sorgum

Sorgumun başlıca kimyasal bileşenleri nişasta (%57-77), protein (%11-13) ve ham yağdır (%3.5). Proteinlerinin %77-82'si prolamin tip protein olan kafirindir ve toksik prolamin içermediği bildirilmiştir. Beyaz, kırmızı, sarı ve kahverengi perikarp renklerine sahip sorgum çeşitleri bulunmaktadır. Sorgum önemli bir nişasta kaynağıdır, enzime dirençli nişasta miktarının fazla olması sebebiyle mısırdan daha çok popülerite kazanmıştır. Sorgum nişastasının granül boyutunun 4-35 µm arasında değiştiği bildirilmiştir. Nişastanın, sorgumdan alkalide ıslatma ve bunu takiben çeşitli saflaştırma aşamaları ile protein ve diğer bileşenlerin uzaklaştırıldığı yani ıslak öğütme yöntemi ile minimal düzeyde zedelenmiş ve fiziko-kimyasal özellikleri değişmemiş nişasta olarak ayrılabilirliği bildirilmiştir (El Halal vd. 2019; Chhikara vd.

2019). Sorgum nişastasının izolasyonu oldukça güçtür, çünkü çapraz bağlı kafirin proteinleri ile sıkı bir bağ içerisinde olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, sorgum çeşitleri farklı tohum kabuğu renklerine sahiptirler ve nişasta ekstraksiyonunda nişastaya kontamine olarak nişastanın gıda amaçlı kullanım değerini azalttığı bildirilmiştir. Bu sebeple, ıslak öğütmeden önce tohum kabuğunun soyulması (dekortikasyon işlemi) alternatif bir yöntem olarak önerilmiştir. Sorgumun ıslak öğütmesi, ıslatma, ıslak öğütme, santrifügasyon, izolasyon ve kurutma aşamalarından meydana gelmektedir (Qi vd. 2018). Sorgumun geleneksel ıslak öğütme işleminde, farklı sulu çözeltilerin (SO<sub>2</sub>, laktik asit, alkali çözeltiler) ıslatma aşamasında kullanılabileceği belirtilmiştir. Özellikle alkali çözeltilerin nişastanın parlaklığını artırdığı ifade edilmiştir (El Halal vd. 2019). Qi vd. (2018), kırmızı sorgumdan ıslak öğütme yöntemi ile nişasta izolasyonunun optimizasyonunu yüzey tepki yöntemini kullanarak laboratuvar koşullarında çalışmışlardır. Renk özellikleri bakımından en iyi ve en yüksek nişasta verimi (%54.58) koşullarını; ıslatma sıcaklığı 50°C, ıslatma süresi 36 dakika, öğütme süresi 8 dakika 10 saniye olarak belirlemişlerdir. Araştırmada, ayrıca, nişastadaki pigment kontaminasyonunun önemli düzeyde azaltıldığı belirtilmiştir. Chew-Guevara vd. (2016) kırmızı sorgum ile yaptıkları bir çalışmada, kabuk soymadan (dekortikasyon) sonra öğütülen sorgumunun ıslatma aşamasında SO<sub>2</sub> ile birlikte ticari proteaz (Neutrase) kullanmışlardır. Nişasta ekstraksiyonunda (%43.59'dan %58.89'a) ve saflığında (%95.95'den %98.75'e) önemli bir artış gözlemlemişlerdir. Dekortikasyon ile polifenolik maddelerce zengin perikarp tabakasının uzaklaştırılması sonucunda daha beyaz nişasta üretilebildiği belirtilmiştir.

### PSEUDO-TAHILLARIN ISLAK ÖĞÜTME TEKNOLOJİSİ

#### Amarant

Amarant tanesinde nişasta, protein ve ham yağ sırasıyla %48-69, %12-21 ve %5-8.5 arasında bulunmaktadır. Amarant nişastasının granül şekli poligonaldir ve granül çapı 0.5-3 µm arasında olup granül boyutunun oldukça küçük olduğu

bildirilmiştir. Amaranat nişastasının izolasyonu için etkili bir ıslak öğütme yöntemi geliştirilememiştir. Amaranat çok küçük bir pseudo-tahıl (1 mm çap) olduğundan ve yüksek protein içermesinden dolayı nişastasının geri kazanımının oldukça kompleks olduğu belirtilmiştir. Amaranat nişastasının, genellikle, farklı sıcaklıkta ve farklı derişimlerdeki asit veya alkalide ıslatma yöntemleri ile izole edilebileceği belirtilmiştir. Farklı çalışmalarda, protein ve nişastayı ayırmak için ıslatma suyunda sodyummetabisülfid, sodyum hidrosit veya diğer alkali çözeltilerin kullanıldığı, alkali derişimini azaltarak enzim ilavesinin nişasta verimini ve saflığını artırdığı ifade edilmiştir (Resio vd. 2006; Resio vd. 2009; Loubes vd. 2012; Espinosa-Solis vd. 2020, Kringel vd. 2020). Resio vd. (2006), amaranat tohumlarının ıslak öğütmesini 53.9°C'de, 1.6 saat süreyle ve %0.041 SO<sub>2</sub> katkılı ortamda gerçekleştirmiş ve nişasta ve protein verimlerini sırasıyla %45 ve %17.5 olarak bulmuşlardır ve nişastadaki kalıntı protein miktarını %0.6 olarak belirlemişlerdir. Ayrıca, ortamda bulunan SO<sub>2</sub>'nin su absorpsiyonunu ve tanenin su ile doyunluğunu artırdığını ifade etmişlerdir. Resio vd. (2009) amaranat tohumlarının ıslak öğütmesini asit koşullarda farklı sıcaklık (40, 50, 60°C), SO<sub>2</sub> konsantrasyonu (%0.01, 0.055 ve %0.1) ve zamanlarda (sıcaklığa göre sırasıyla 140, 120 ve 45 dakika) faktöriyel (3<sup>2</sup>) deney dizaynında çalışmışlardır. Buna göre, besinsel lif verimi azaldıkça nişasta geri kazanımı artmış, besinsel lif fraksiyonundan proteinin geri kazanımı artırılmış, ıslatma suyuna daha fazla protein geçişi sağlanmış ve nişastadaki kalıntı protein azaltılmıştır. Loubes vd. (2012) asidik ıslatma koşullarının (0.1-1.0 g/L SO<sub>2</sub>, 40-60°C sıcaklık) amaranat nişastasının mekanik ve termal özellikleri üzerine etkisini araştırdıkları bir çalışmada, nişastanın jelatinizasyon sıcaklığının ıslatma sıcaklığından etkilendiği ve jelatinizasyon entalpisi ile arasındaki ilişkinin önemli olduğu ve 47.4°C ve 0.72 g/L SO<sub>2</sub> ıslatma koşullarında kuvvetli çiriş jelinin meydana geldiği bildirilmiştir. Leal-Castaneda vd. (2018), amaranat tohumlarını 24 saat 4°C'de ıslattıktan sonra nişasta süspansiyonunu santrifügasyon ile ayırmış ve kalıntı proteinleri nişastadan ayırmak için iki kez %0.3'lük NaOH ile yıkamışlardır. Daha sonra nişastayı 40°C'de 24 saat kuruttuktan sonra nişasta

içeriğini %86, kalıntı protein miktarını ise %4.9 olarak bulmuşlardır. Bet vd. (2018) amaranat nişastasını sadece suda ıslattıktan sonra karıştırma, filtrasyon, süzme, santrifügasyon ve kurutma işlemleri ile elde etmiş, nişastanın nemini %12.78, nişasta içeriğini %83.18, kalıntı proteini %2.01, ham yağ içeriğini %0.98, kül miktarını %1.05 olarak belirlemişlerdir. Joaqui vd. (2020) ise amaranat tohumlarının alkali koşullardaki ıslak öğütülmesi ile proteinin sekonder yapısı ve jel oluşturma kabiliyeti üzerine etkilerini araştırmış, kullanılan sodyum dodesil sülfat konsantrasyonu ve sıcaklığın sekonder yapıları bozduğu ve amaranat proteini viskozitesinin orta veya daha az seviyede olduğunu belirlemişlerdir.

### **Karabuğday**

Karabuğday; nişasta (%59-70), protein (%11-16), fonksiyonel ve nötrasötik bileşik içeriği yüksek bir pseudo-tahıldır, ayrıca toksik prolamin proteini içermemesi sebebiyle glutensiz ürünlerde kullanılabilirliği bildirilmiştir. Karabuğday nişasta granül boyutunun 1-11.4 µm arasında değiştiği belirtilmiştir (Wronkowska ve Haros, 2014; Malik ve Saxena, 2016; Hung vd. 2020). Wronkowska ve Haros (2014), laboratuvar koşullarında kavuzlu ve kavuzsuz karabuğdayın ıslak öğütmesini farklı sıcaklık, zaman ve pH koşullarında araştırmışlardır. Buna göre, kavuzlu karabuğdaydan daha yüksek nişasta ekstraksiyon verimliliği (%90.95) sağlanmış olup kalıntı protein miktarı %2.2 olarak bulunmuştur. Araştırmada genellikle nişastaların özellikleri doğal formuna göre önemli düzeyde değişmemiştir. Malik ve Saxena, (2016) yağı alınmış karabuğday ununu, oda sıcaklığında 0.2 N NaOH çözeltisinde ıslattıktan sonra nişastasını izole etmişler, daha sonra nişastayı asit hidrolizi ve sıcaklık kombinasyonlu modifikasyona tabi tutmuşlardır. Buna göre, modifikasyondan sonra nişastanın şişme gücü ve yağ absorplama kapasitesinin azaldığı; çözünürlük, amiloz içeriği ve su bağlama kapasitesinin ise arttığını belirlemişlerdir. Yu vd. (2018), kavuzsuz karabuğdayı 3 farklı öğütme işlemi (ıslak öğütme, yüksek hızlı universal öğütücüde öğütme, taş değirmende öğütme) uygulayarak karabuğday ununa işlenmesini çalışmışlardır. Buna göre, ıslak öğütme işleminde (20°C'de 24 saat distile suda) karabuğday ununun

ekstraksiyon oranı %70 olarak belirlenmiştir. Islak öğütme ile elde edilen karabuğday ununun daha beyaz renkte, partikül boyutunun daha küçük ve taramalı elektron mikroskopundaki morfolojik analiz sonuçlarına göre daha az zedelenmiş nişasta granülüne sahip olduğu belirlenmiştir.

### **Kinoa**

Beyaz, sarı, kırmızı ve siyah renkli genotipleri bulunan kinoanın tam tane veya tam kinoa unu olarak tüketilebileceği rapor edilmiştir. Kinoada %50-69.2 oranında nişasta bulunmaktadır. Kinoanın nişasta granülleri çok küçüktür (1-3 µm) ve %3.5-22.5 arasında amiloz içerdiği belirtilmiştir. Kinoanın, tahıllara göre daha yüksek protein içeriği (%16) ve kalitesine sahip olduğu, ayrıca toksik prolamin proteinlerini içermediği bildirilmiştir (Li vd. 2016; Schoenlechner, 2017; Li ve Zhu, 2018; Jan vd. 2019; Ballester-Sánchez vd. 2020; Kringel vd. 2020). Kinoanın ıslak öğütme ile ayrılan ve kimyasal bileşenleri olan nişasta, protein ve besinsel lif fraksiyonlarının endüstride ve gıda formülasyonlarında kullanılabileceği belirtilmiştir (Fernández-López vd. 2020). Kinoa, soğuk suda veya alkali çözeltide yıkandıktan sonra, fırçalama veya aşındırma yöntemleri ile kavuz ve dolayısıyla anti-nutrisyonel saponin maddeleri uzaklaştırıldıktan sonra ıslak öğütme işlemine geçilebileceği belirtilmiştir (Kringel vd. 2020). Kinoanın ıslak öğütülmesinde, ıslatma sonrası kinoa çöker ve bulamaç bir takım paslanmaz elekler ile süzülmemektedir. Nişasta bulamacı ayrılırken; kepek, protein, ruşeym ve besinsel lif bileşenleri farklı eleklerde tutulur, son elek altı santrifüjleme ile tamamen ayrılmaktadır. İzole edilen kurutulmuş tüm tohum bileşenlerinin, ilk baştaki kurutulmuş kinoa miktarına oranı ile verimler hesaplanmaktadır. Uzun süre ve yüksek sıcaklıkta ıslatma işleminin nişasta ayrılmasında daha etkili olduğu görülmüştür (Arslan vd. 2016). Jan vd. (2017), suda ve NaOH (%0.20-0.30) çözeltisinde ıslatma yöntemlerinin her ikisinde de kinoa unundan ve kinoa tohumundan nişasta verimlerini sırasıyla %32.97-48.45 ve %28.15-43.77 aralıklarında bulmuşlardır. Aynı araştırmacılar %0.25 alkalide 24 saat ıslatma ile kinoa unundan nişasta verimini kinoa tanesine göre %10.76 daha fazla belirlemişlerdir. Yapılan araştırmaya göre alkali koşullardaki nişasta verimi

daha yüksek bulunmuş fakat %0.25 NaOH derişiminin üstündeki koşullarda nişasta verimi azalmıştır. Ballester-Sánchez vd. (2019), laktik asitli SO<sub>2</sub> çözeltisinde farklı ıslatma süresi (1, 5 ve 9 saat) ve sıcaklığın (30, 40 ve 50°C) kinoa nişastasının geri kazanımı ve kalitesi üzerine etkisini optimize etmek için 3<sup>2</sup> faktöriyel dizayn yöntemi ile incelemişlerdir. Buna göre, 30°C'de 6,5 saat ıslatma koşullarının en yüksek nişasta geri kazanımı ve en iyi nişasta kalitesini verdiği belirtilmiştir. Ballester-Sánchez vd. (2020), kırmızı kinoalardan, ekmek formülasyonunda kullanmak üzere, kuru ve ıslak öğütme yöntemlerini kullanarak besinsel lif bakımından zengin fraksiyonu ayırmayı çalışmışlardır. Buna göre, ıslak öğütme yöntemi ile besinsel lif fraksiyonunda daha yüksek verim (%10.1), geri kazanım (%58.2) ve daha yüksek saflık (%72) elde etmişlerdir.

### **SONUÇ**

Bu derlemede tahılların ve pseudo-tahılların ıslak öğütme teknolojileri ile ilgili son gelişmeler incelenmiştir. Islak öğütmede amaç başta nişasta olmak üzere protein, ruşeym, besinsel lif ve ham yağ bileşenlerinin en yüksek verimde ve en saf haliyle elde etmektir. Endüstride, zarar görmemiş, kalıntı protein ve renk maddesi miktarı düşük nişasta üretimi hedeflenmektedir. Nişasta verimini artırmak amacıyla, ıslatma suyunda laktik asit, SO<sub>2</sub> ve enzim katkılarının kullanıldığı çeşitli araştırmalarda vurgulanmıştır. Islak öğütme teknolojisinde, yüksek kalite ve verimin sağlandığı, doğaya zarar vermeyen, daha az su tüketimine dayalı etkin ayırma yöntemlerine ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Tahıl ve pseudo-tahıl bileşenlerinin gıda endüstrisi ve diğer endüstrilerde kullanım alanı bulabileceği belirtilmiştir. Farklı fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikler sergileyen protein ve besinsel lif gibi bileşenlerin unlu ürünlerde besinsel özellikleri geliştirmek üzere kullanılabileceği ifade edilmiştir. Islak öğütmeden açığa çıkan endüstriyel önemi zayıf bazı yan ürünlerin ise hayvan beslemede kullanılabileceği vurgulanmıştır.

### **ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI**

Yazarların, başka kişiler ve/veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.



**YAZAR KATKILARI**

EY ve AA derlemeyi birlikte planlamış, yazmış ve son halini onaylamışlardır.

**KAYNAKLAR**

- Alexandre, A.P.S., Castanha, N., Calori-Domingues, M.A., Augusto, P.E.D. (2017). Ozonation of whole wheat flour and wet milling effluent: Degradation of deoxynivalenol (DON) and rheological properties. *J Environ Sci Health Part B Pestic Food Contam Agric Wastes*, 52, 516-524.
- Al-Hakkak, J., Al-Hakkak, F. (2007). New non-destructive method using gluten to isolate starch from plant materials other than wheat. *Starch*, 59:117-124.
- Arslan, A., Gil, J.V., Fernández-Espinar, M.T., Haros, C.M. (2016). Quinoa wet-milling: Effect of steeping on isolation, pasting and thermal properties of starch. ICC-Cereal and Bread Congress, İstanbul, Turkey.
- Ballester-Sánchez, J., Fernández-Espinar, M.T., Haros, C.M. (2020). Isolation of red quinoa fibre by wet and dry milling and application as a potential functional bakery ingredient. *Food Hydrocoll*, 101:105513.
- Ballester-Sánchez, J., Gil, J.V., Fernández-Espinar, M.T., Haros, C.M. (2019). Quinoa wet-milling: Effect of steeping conditions on starch recovery and quality. *Food Hydrocoll*, 89:837-843.
- Bet, C.D., Soltovski de Oliveira, C., Colman, T.A.D., Marinho, M.T., Lacerda, L.G., Ramos, A.P., Schnitzler, E. (2018). Organic amaranth starch: A study of its technological properties after heat-moisture treatment. *Food Chem*, 264:435-442.
- Chew-Guevara, A.A., Pérez-Carrillo, E., Serna-Saldívar, S.R.O., Rosa-Millán, J. (2016). Effect of decortication and protease treatment on physicochemical and functional characteristics of red sorghum (*Sorghum bicolor*) and yellow maize (*Zea mays*) starches. *Starch*, 68:1-8.
- Chhikara, N., Abdulahi, B., Munezero, C., Kaur, R., Singh, G., Panghal, A. (2019). Exploring the nutritional and phytochemical potential of sorghum in food processing for food security. *Nutr & Food Sci*, 49(2):318-332.
- El Halal, S.L.M., Kringel, D.H., Zavareze, E.R., Dias, A.R.G. (2019). Methods for extracting cereal starches from different sources: A review. *Starch*, 71(11-12):1900128.
- Espinosa-Solis, V., García-Tejeda, Y.V., Leal-Castañeda, E.J., Barrera-Figueroa, V. (2020). Effect of the degree of substitution on the hydrophobicity, crystallinity, and thermal properties of lauroylated amaranth starch. *Polymers*, 12:2548.
- Fernández-López, J., Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Sayas-Barberá, E., Ballester-Sánchez, J., Haros, C.M., Martínez-Mayoral, A., Pérez-Álvarez, A. (2020). Chemical and technological properties of bologna-type sausages with added black quinoa wet-milling coproducts as binder replacer. *Food Chem*, 310:125936.
- Gao, J., Vasanthan, T., Hoover, R. (2009). Isolation and characterization of high-purity starch isolates from regular, waxy, and high-amylose hullless barley grains. *Cereal Chem*, 86:157-163.
- Guan, L., Seib, P.A., Graybosch, R.A., Bean, S., Shi, Y.C. (2009). Dough rheology and wet milling of hard waxy wheat flours. *J Agric Food Chem*, 57:7030-7038.
- Haros, C.M., Wronkowska, M. (2017). Pseudocereal Dry and Wet Milling: Processes, Products and Applications. In: *Pseudocereals: Chemistry and Technology*, Edts: C.M. Haros, R. Schoenlechner, Wiley-Blackwell, pp.140-162.
- Hung, P.V., Trinh, L.N.D., Thuy, N.T.X., Morita, N. (2020). Changes in nutritional composition, enzyme activities and bioactive compounds of germinated buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) under unchanged air and humidity conditions. *Int J Food Sci Technol*.
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Singh, S. (2017). Process standardization for isolation of quinoa starch and its characterization in comparison with other starches. *Food Measure*, 11:1919-1927.
- Jan, K.N., Panesar, P.S., Singh, S. (2019). Effect of moisture content on the physical and mechanical properties of quinoa seeds. *Int Agrophys*, 33(1):41-48.

- Joaqui, B.A., Bolaños-Monilla, A., Bravo-Gomez, J.E., Solanilla-Duque, J.F., Roa-Acosta, D.F. (2020). Wet milling of the amaranth grain: Relationship between the secondary structure of the protein and its ability to form gel. *Sylvan*, 164(5):31-48.
- Kringel, D.H., El Halal, S.L.M., Zavareze, E.R., Dias, A.R.G. (2020). Methods for the extraction of roots, tubers, pulses, pseudocereals, and other unconventional starches sources: A review. *Starch*, 72(11-12): 1900234.
- Leal-Castañeda, E.J., García-Tejeda, Y., Hernández-Sánchez, H., Alamilla-Beltrán, L., Téllez-Medina, D.I., Calderón-Domínguez, G., García, H.S., Gutiérrez-López, G.F. (2018). Pickering emulsions stabilized with native and lauroylated amaranth starch. *Food Hydrocoll*, 80:177-185.
- Leewatcharongjaroen, J., Anuntagool, J. (2016). Effects of dry-milling and wet-milling on chemical, physical and gelatinization properties of rice flour. *Rice Sci*, 23(5):274-281.
- Li, G., Wang, S., Zhu, F. (2016). Physicochemical properties of quinoa starch. *Carbohydr Polym*, 137:328-338.
- Li, G., Zhu, F. (2018). Effect of high pressure on rheological and thermal properties of quinoa and maize starches. *Food Chem*, 241:380-386.
- Loubes, M.A., Resio, A.N.C., Tolaba, M.P., Suarez, C. (2012). Mechanical and thermal characteristics of amaranth starch isolated by acid wet-milling procedure. *Food Sci Technol-LEB*, 46 (2):519-524.
- Magallanes López, A.M., Manthey, F.A., Simsek, S. (2018). Wet-milling impact on starch and gluten fractions. LACC/IGW. 13th Int. Gluten Workshop Proceedings, 97-100 p.
- Magallanes López, A.M., Manthey, F.A., Simsek, S. (2019). Wet milling of deoxynivalenol-contaminated wheat: Effect on physicochemical properties of starch. *Cereal Chem*, 97(2):293-303.
- Magallanes López, A.M., Ohm, J.B., Manthey, F.A., Rao, J., Simsek, S. (2021). Gluten extraction from deoxynivalenol contaminated wheat by wet milling. *Food Control*, 120:107513.
- Malik, M.A., Saxena, D.C. (2016). Effect on physicochemical and thermal properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch by acid hydrolysis combined with heat moisture treatment. *J Food Process Pres*, 40:1352-1363.
- Mufari, J.R., Miranda-Villa, P.P., Calandri, E.L. (2018). Quinoa germ and starch separation by wet milling, performance and characterization of the fractions. *Food Sci Technol-LEB*, 96:527-534.
- Park, C.S., Baik, B.K. (2010). Recovery and purity of isolated barley starch and protein as affected by fractionation water temperature. *Cereal Chem*, 87: 561-565.
- Punia, S., Sandhu, K.S., Dhull, S.B., Siroha, A.K., Purewal, S.S., Kaur, M., Kidwai, M.K. (2020). Oat starch: Physico-chemical, morphological, rheological characteristics and its applications-A Review. *Int J Biol Macromol*, 154:493-498.
- Reguera, M., Haros, C.M. (2017). Structure and composition of kernels. In: *Pseudocereals: Chemistry and Technology*, Edts: C.M. Haros, R. Schoenlechner, Wiley-Blackwell, pp.28-43.
- Resio, A.N.C., Tolaba, M.P., Suarez, C. (2006). Effects of steeping conditions on wet-milling attributes of amaranth. *Int J Food Sci Technol*, 41:70-76.
- Resio, A.N.C., Tolaba, M.P., Suarez, C. (2009). Correlations between wet-milling characteristics of amaranth grain. *J Food Eng*, 92:275-279.
- Rosentrater, K.A., Evers, A.D. (2018). *Wet milling*. In: *Kent's Technology of Cereals*, Fifth Edition, Elsevier, pp. 839-860.
- Qi, Y., Du, F., Jiang, Z., Qiu, B., Guan, Q., Liu, J., Xu, T. (2018). Optimization of starch isolation from red sorghum using response surface methodology. *Food Sci Technol-LEB*, 91:242-248.
- Sayaslan, A. (2004). Wet-milling of wheat flour: Industrial processes and small-scale test methods. *Food Sci Technol-LEB*, 37: 499-515.
- Sayaslan, A., Seib, P.A., Chung, O.K. (2005). Wet-milling of flours from red, white and low-polyphenol oxidase white wheats. *Food Sci Technol Int*, 11:243-249.

- Sayaslan, A., Seib, P.A., Chung, O.K. (2006). Wet-milling properties of waxy wheat flours by two laboratory methods. *J Food Eng*, 72:167-178.
- Sayaslan, A., Seib, P.A., Chung, O.K. (2012). A bench-scale high-shear wet-milling test for wheat flour. *J Food Eng*, 111:305-317.
- Schoenlechner, R. (2017). Quinoa: Its unique nutritional and health-promoting attributes. In: *Gluten-Free Ancient Grains*, Edts: John R.N. Taylor, Joseph M. Awika, Elsevier, First Edition, pp. 105-129.
- Shah, A., Masoodi, F.A., Gani, A., Ashwar, B.A. (2017). Physicochemical, rheological and structural characterization of acetylated oat starches. *Food Sci Technol-LEB*, 80:19-26.
- Sharma, P., Tejinder, S. (2014). Extraction of starch from hulled and hull-less barley with papain and aqueous sodium hydroxide. *J Food Sci Technol*, 51:3870-3877.
- Sharma, P., Kotari, S.L. (2017). Barley: Impact of processing on physicochemical and thermal properties – A Review. *Food Rev Int*, 33(4):359-381.
- Skendi, A., Zinoviadou, K.G., Papageorgiou, M., Rocha, J.M. (2020). Advances on the valorisation and functionalization of by-products and wastes from cereal-based processing industry. *Foods*, 9(9):1243.
- Steeneken, P.A.M., Helmens, H.J. (2009). Laboratory-scale dry/wet-milling process for the extraction of starch and gluten from wheat. *Starch*, 61:389-397.
- Tong, L.T., Gao, X., Lin, L., Liu, Y., Zhong, K., Liu, L., Zhou, X., Wang, L., Zhou, S. (2015). Effects of semi-dry flour milling on the quality attributes of rice flour and rice noodles in China. *J Cereal Sci*, 62:45-49.
- Uriarte-Aceves, P.M., Cuevas-Rodríguez, E.O., Gutiérrez-Dorado, R., Mora-Rochín, S., Reyes-Moreno, C., Puangpraphant, S., Milán-Carrillo, J. (2015). Physical, compositional, and wet-milling characteristics of Mexican Blue Maize (*Zea mays* L.) Landrace. *Cereal Chem*, 92(5):491-496.
- Uriarte-Aceves, P.M., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E.O., Gutiérrez-Dorado, R., Reyes-Moreno, C., Milán-Noris, E.M. (2018). *In vitro* digestion properties of native isolated starches from Mexican blue maize (*Zea mays* L.) landrace. *Food Sci Technol-LEB*, 93:384-389.
- Uriarte-Aceves, P.M., Sopade, P.A., Rangel-Pereza, J.G. (2019). Physical, chemical and wet-milling properties of commercial white maize hybrids cultivated in México. *J Food Process Pres*, 43(7):e13998.
- Wronkowska, M. (2016). Wet-milling of cereals. *J Food Process Pres*, 40:572-580.
- Wronkowska, M., Haros, M. (2014). Wet-milling of buckwheat with hull and dehulled-The properties of the obtained starch fraction. *J Cereal Sci*, 60:477-483.
- Wu, T., Wang, L., Li, Y., Qian, H., Liu, L., Tong, L., Zhou, X., Wang, L., Zhou, S. (2019). Effect of milling methods on the properties of rice flour and gluten-free rice bread. *Food Sci Technol-LEB*, 108:137-144.
- Yu, D., Chen, J., Ma, J., Sun, H., Yuan, Y., Ju, Q., Teng, Y., Yang, M., Li, W., Fujita, K., Tatsumi, E., Luan, G. (2018). Effects of different milling methods on physicochemical properties of common buckwheat flour. *Food Sci Technol-LEB*, 92:220-226.
- Yu, W., Zou, W., Dhital, S., Wu, P., Gidley, M.J., Fox, G.P., Gilbert, R.G. (2018). The adsorption of  $\alpha$ -amylase on barley proteins affects the *in vitro* digestion of starch in barley flour. *Food Chem*, 241: 493-501.
- Zhu, F. (2017a). Barley starch: Composition, structure, properties, and modifications. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 16:558-579.
- Zhu, F. (2017b). Structures, properties, modifications, and uses of oat starch. *Food Chem*, 229:329-340.