



GIDA ENDÜSTRİSİNDE EKSTRÜZYON TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI VE YAPILAN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Ayşe Merve Büyükyazı^{1*}, Şebnem Tavman²

¹Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Geliş / Received: 04.03.2020; Kabul / Accepted: 14.07.2020; Online baskı / Published online: 08.08.2020

Büyükyazı, A.M., Tavman, Ş. (2020). Gıda endüstrisinde ekstrüzyon teknolojisinin kullanımı ve yapılan optimizasyon çalışmaları. *GIDA* (2020) 45(4) 774-785 doi: 10.15237/gida.GD19140.

Büyükyazı, A.M., Tavman, Ş. (2020). *Application of extrusion technology and optimization studies in the food industry. GIDA* (2020) 45(4) 774-785 doi: 10.15237/gida.GD19140.

ÖZ

Gıda endüstrisinde ekstrüzyon pişirme; enerji tüketiminin az olması, üretimin verimli ve son ürünün ucuz olması, yeni teknolojilerden olması, yüksek sıcaklık-kısa süreli işleme yöntemi olmasından dolayı tercih edilen ve kullanımı gittikçe artan bir yöntemdir. Ekstrüzyon pişirme esnasında ekstrüdere giren hammaddenin özellikleri (nişasta tipi, protein, yağ, su içeriği, formülasyon vd.), proses değişkenleri (vida hızı, besleme hızı, kalıp şekli ve sıcaklığı gibi) ve ürün karakteristikleri (besinsel, fiziksel ve kimyasal özellikler gibi) arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Değişkenleri doğru analiz edebilmek ve yapılacak deney sayısını en uygun şekilde azaltabilmek için optimizasyon çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Mühendislik açısından optimizasyon, prosesleri etkileyen bağımsız değişkenler ve yanıt olarak adlandırılan bağımlı değişkenler arasındaki ilişkileri değerlendirerek optimum verilerin oluşmasını sağlamaktadır. Bu derlemenin amacı, ekstrüzyon tekniği ile üretilmiş ürünlerle ilgili yanıt-yüzey yöntemiyle yapılan optimizasyon çalışmaları bir arada değerlendirmektir.

Anahtar kelimeler: Gıda endüstrisi, ekstrüzyon, ekstrüde ürün, optimizasyon

APPLICATION OF EXTRUSION TECHNOLOGY AND OPTIMIZATION STUDIES IN THE FOODINDUSTRY

ABSTRACT

Extrusion cooking is preferred due to its low energy consumption, efficient production and cheap end products, adaptability to new technologies, high temperature-short-term processing method and it is increasingly used in the food industry. There is an important relations between raw material entering the extruder (starch type, protein, oil, water content, formulation etc.), process variables (such as screw speed, feed rate, barrel shape and temperature) and product characteristics (such as nutritional, physical and chemical properties) during the extrusion cooking and many factors come into play to reach the desired product. Optimization studies are required to analyze these factors well and to decrease the number of experiments in the most logical way. In terms of engineering, optimization ensures optimum data by evaluating the relationships between independent variables that affect processes and dependent variables called responses. The purpose of this review is to evaluate the optimization studies carried out using the response-surface method for products produced by extrusion technique.

Keywords: Food industry, extrusion, extruded product, optimization

* Yazışmalardan sorumlu yazar/ Corresponding author

✉:bykyz.merveayse@gmail.com

☎:(+90)544 964 6411

☎:(+90)232 311 4831

Ayşe Merve Büyükyazı; ORCID no: 0000-0003-4942-5897

Şebnem Tavman; ORCID no: 0000-0002-3069-1709

GİRİŞ

Toplumun yaşam tarzındaki değişiklikler, beslenme alışkanlıklarının değişmesine ve dolayısıyla tüketime hazır, kolay taşınabilen, çabuk tüketilebilen gıdalara yönelimi artırmıştır. Günümüzde teknoloji ve buna bağlı olarak gıda işleme tekniklerindeki gelişmeler değişik gıda ürünlerinin tüketicilere sunulmasına neden olmuştur (Maskan ve Altan, 2012). Bu tarz gıdalara yönelim ise beraberinde ekstrüzyon teknolojisinin gıda işleme endüstrisinde önemli bir paya sahip olmasını getirmiştir. Ekstrüde ürünlerle ilgili olarak yapılan çalışmalarda, ekstrüzyon sırasında hammaddelerin kimyasal, mikrobiyolojik ve yapısal değişimlerden geçtiği (nişasta jelatinizasyonu, protein denatürasyonu, enzim inaktivasyonu, mikrobiyel sayımda düşüş vb.) ve son ürünün özelliklerini etkileyen besinsel içerik, organoleptik özellikler, kalite kriterleri gibi pek çok faktörün bulunduğu görülmüştür (Sawant vd., 2015). Proses sırasında en etkili ve verimli üretimi gerçekleştirmek gıda endüstrisinin önemli bir hedefidir (Yolmevhe Jafari, 2017). Dolayısıyla istenilen en iyi özelliğe sahip ekstrüde ürünü üretebilmek, prosesi daha verimli hale getirebilmek ve kaliteyi iyileştirebilmek için ise optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Optimizasyon; bir proseste istenen ürüne ait özellikler yani yanıtla ulaşılması amacı ile, bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki etkileşimlerinin ve hedefe (yanıt) olan etkilerinin bir arada değerlendirilmesi işlemidir (Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010). Optimizasyonda kullanılan yöntemlerden yanıt yüzey metodu genel olarak; problemin tanımı, bağımsız değişkenler ve derecelerin belirlenmesi, doğru tasarım seçimi ve sonucunda modelin oluşturulması, optimizasyonu ve değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Daha az sayıda deneme oluşturulması için tasarımlar arasında eleme yapılmalı ve bağımsız değişkenlerin optimum noktaya en yakın sonuç verdiği tasarım araştırılmalıdır (Aydar, 2018).

Bu derlemede, ekstrüzyon tekniği, ekstrüzyon tekniğinin gıda işleme endüstrisinde kullanım alanları ve ekstrüzyon tekniği ile elde edilen

ürünlerde yapılan optimizasyon çalışmaları ile bu çalışmaların sonuçlarından bahsedilecektir.

EKSTRÜZYON TEKNİĞİ VE KULLANIM ALANLARI

Ekstrüzyon, 20.yüzyılın en önemli yeniliklerinden biri olmakla beraber, genellikle polimer ve plastikler, gıda ve yem, kağıt-değirmencilik endüstrileri gibi pek çok farklı işleme endüstrilerinde tercih edilmektedir. Gıda endüstrisinde bir pişirme işlemi olarak ekstrüder kullanımının, ilk defa 1940'lı yıllarda aperatif gıda üretmek için olduğu bilinmektedir. Ekstrüzyon teknolojisi çeşitli gıda proseslerine uygulanabilen bir yöntem olup, endüstride olduğu gibi akademik çalışmalarda da yerini önemli derecede almıştır (Tiğa, 2018).

Ekstrüzyon Teknolojisi

Ekstrüzyon işlemi karıştırma, ısıtma, kesme gibi birçok işlemin birleştirildiği, hamurun kalıptan itildiği bir proses olarak tanımlanmakta olup, sistem içindeki materyallerin akışı, bu materyallerin kendi aralarındaki termal enerji aktarımları ve prodesteki kütle aktarımlarından oluşan bir taşıma işlemidir (Ajita, 2018). Gıda uygulamalarında vidalı ekstrüzyon baskın olmakla beraber, ekstrüderler çift vidalı ve tek vidalı olarak ikiye ayrılmaktadır. Çift vidalı ekstrüderler daha karmaşıktır fakat tek vidalı ekstrüderlere göre daha kontrollü bir üretim yapılmasına olanak sağlarlar (Tiğa, 2018). Bir ekstrüder besleme haznesi, ön ısıtıcı, ısıtma bölgesi ve kalıp bölmelerinden oluşmaktadır. Ekstrüderde dönen vida tarafından kayma enerjisi oluşturulur, kovanın da ısıtılması ile birlikte gıda maddesi erime noktasına getirilir ve yüksek basınç altında kalıptan geçirilerek son halini almış olur. Sonuçta ekstrüzyon pişirme esnasında, gıda hammaddeleri nem, basınç, sıcaklık faktörlerinin etkisi ile birkaç dakika içerisinde pişirilir, bu durum ise moleküler dönüşüm ve kimyasal reaksiyonlarla sonuçlanır (Navale vd., 2015).

Ekstrüzyon Tekniğinin Kullanım Alanları

Diğer gıda işleme teknolojilerine oranla ekstrüzyon teknolojisi çok yönlülüğü, yüksek verimliliği, düşük maliyeti, enerji verimliliği ve az miktarda atık su oluşumu gibi özellikleri sayesinde son yıllarda çok tercih edilen bir teknoloji haline

gelmiştir. Ekstrüzyon pişirme teknolojisi sayesinde makarna, bebek mamaları, kahvaltılık tahıllar, atıştırmalık gıda ürünleri, şekerlemeler, tekstüre edilmiş proteinli gıda ürünleri, evcil hayvan mamaları gibi geniş çeşitlilik aralığında gıda ürünlerinin üretimi daha kolaylaşmıştır (Tiğa, 2018). Fakat ekstrüzyon pişirmede ürünlerin besin değerinde azalma görülmektedir ve bu nedenle gıda işleme esnasında lif ve biyoaktif bileşen açısından zenginleşmeye yardımcı olacak ürünler ilave edilmektedir. Ekstrüzyon yöntemi ile pişirilmiş ürünleri bu yönde zenginleştirmek için Ovando-Martinez vd. (2009) ham muz tozu, Silva vd. (2013) brokoli tozu, Rajesvari vd. (2013) soğan tozu, Lu vd. (2018) mantar tozunu çalışmalarına dahil etmişlerdir. Son zamanlarda çok dikkat çeken amarant ve kinoa da besinsel değerlerinden dolayı Cardenes-Hernandez vd. (2016) ile Bastos vd. (2016) tarafından tercih edilmiştir. Glütensiz ürün üretiminde de bu teknoloji tercih edilmekte olup birçok baklagil unu, enginar, havuç, brokoli, ayçekirdeği, sarı biber, kırmızı biber gibi sebze tozları, soya ile zenginleştirilmiş pirinç unu, patates püresi/unu ile ilgili çalışmalar olmuştur (Maskan ve Altan, 2012). Giuberti vd. (2015) pirinç unu ve farklı oranlarda bezelye unları ile, Cappa vd. (2017) patates ve patates türevleri ile, Patino-Rodriguez vd. (2018) ise olgunlaşmamış muz, mısır ve nohut unları ile çalışmış ve çölyak hastaları için ekstrüzyon teknolojisi kullanarak glütensiz ürün üretmeyi amaçlamışlardır.

Ayrıca kırmızı/beyaz et, süt ve süt ürünleri, meyve/sebze ve balık endüstrisinde işleme esnasında oluşan yan ürün ve atıkların değerlendirilmesinde de ekstrüzyon teknolojisi ciddi derecede katkı sağlamaktadır (Waldron, 2007). Gıda yan ürün/atıklarının ekstrüzyon tekniğinde değerlendirilme sebepleri olarak; gıda endüstrisinin insan sağlığına zararlı etkileri olan fazla miktarda yan ürün/atık oluşturması (Helkar ve Sahoo, 2016), hızlı nüfus artışının sonucunda atıkların oluşumunun da artması ve bu durumun çevreye zarar vermesi, açlığın yüksek olduğu ülkelerde insanlara zenginleştirilmiş ürünler verebilme isteği (Torres-Leon vd., 2018) gösterilmektedir. Surasani (2016) balık endüstrisi, Sharma vd. (2016) pirinç endüstrisi yan ürünleri ile çalışmışlardır. Meyve sebze endüstrisinde elma, seftali, portakal, domates, muz posası ve kabuğu,

soğan kabuğu, kayısı, üzüm, nar çekirdeği ve posalarının ekstrüdere girecek olan karışıma belli oranlarda ilaveleri ile çeşitli ürünler elde edilmektedir (Maskan ve Altan, 2012).

Ancak Ackar vd. (2018), yaptıkları çalışmada ekstrüzyon tekniği ile üretilen ve gıda yan ürünleri ile zenginleştirilen ürünlerde zayıf genişleme (ürünün kesit alanı ile kalıp alanı arasındaki oran) etkisi görüldüğünden bahsetmiş ve bu nedenle çalışmalarına bira posası, şeker pancarı pulpu ve elma posasını atıştırmalık ürün üretiminde kullanmışlar ve zayıf genişleme problemini çözmek amaçlı ise %0.5 ve %1 oranlarında pektin ilavesi yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda ürünlerde kabul edilebilir seviyede genişleme sağlandığı görülmüştür. Ayrıca Rizvi ve Paraman (2015) yaptıkları patent çalışmasında ekstrüzyon tekniği ile peynir altı suyu proteini ve meyve posasını (elma ve üzüm) birlikte değerlendirerek sağlıklı atıştırmalık üretmek istemişlerdir. Ekstrüde ürünlerde antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarını koruyabilmek için sistemi süper kritik akışkanı ile desteklemişler ve sonuç olarak ürünlerde antioksidan aktivitesi ile toplam fenolik madde miktarının korunması sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmalarda ise sonuç üzerinde etkili olan faktörleri en iyi şekilde yorumlayabilmek amacıyla optimizasyon çalışmaları bir araç olmuştur.

EKSTRÜZYON TEKNOLOJİSİ İLE ÜRETİLEN ÜRÜNLERDE YAPILAN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Son yıllarda gıda teknolojisinde, yanıt yüzey yöntemi çok ihtiyaç duyulan bir uygulama alanı olarak yerini almıştır. Yanıt yüzey yöntemi, bağımsız değişken olarak adlandırılan faktörlerin hem kendi aralarındaki etkileşimlerinin hem de birden çok yanıt üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine ve sonuçta optimum sonuç elde edilmesine olanak verir (Aydar, 2019). Ekstrüzyon işlemi ile üretilen gıda ürünleri ile ilgili yapılan optimizasyon çalışmalarında yanıt yüzey metodu, CCRD (Merkezi Tümlleşik Tasarım) metodu ve D-Optimal Karışım tasarımı en ideal araçlar olarak görülmektedir (Danbaba vd., 2016). Çizelge.1' de bazı ekstrüzyon araştırmalarında uygulanan optimizasyon çalışmaları tablo haline getirilmiştir.

Çizelge 1. Bazı ekstrüzyon çalışmalarında yapılmış optimizasyon uygulamaları

Çalışılan Ürün	Bağımsız Değişkenler / Yanıtlar	Optimizasyon tasarımı/ Optimum sonuçlar	Kaynak
Arpa unu-üzüm posası ekstrüde ürünü	Kalıp sıcaklığı (140-160°C), vida hızı (150-200 dev/dk), posa oranı (%2-10 k.b.) Görünüm, tat, tekstürel özellikler	CCRD deneme tasarımı 155-160°C kalıp sıcaklığı, %4.47-6.57 oranında posa ve 150-187 dev/dk vida hızı	Altan vd., 2008
Ekstrüde keten tohumu	Vida hızı (70-270 dev/dk), nem içeriği (%4-28), sıcaklık (84-180°C), besleme oranı (25.4-113.4 kg/s) Ürünün protein sindirilebilirliği	CCRD deneme tasarımı 120 dev/dk vida hızı, %10 nem içeriği, 120°C kalıp sıcaklığı ve 91.4 kg/s besleme hızı	Wang vd., 2008
Darı-bakla ekstrüdatları	Vida hızı, nem içeriği, kalıp sıcaklığı, karışımdaki baklagil oranı Gevreklik, su absorplama indeksi, yanal genleşme ve yoğunluk	CCRD deneme tasarımı %23.2 ıslak bazda nem içeriği, %19.9 baklagil oranı, 121.1°C kalıp sıcaklığı ve 123 dev/dk vida hızı	Chakraborty vd., 2011
Bezelye nişastası eriştesi	Nem içeriği (%30-40), sıcaklık (85-100°C) ve vida hızı (100-200 dev/dk) L, a, b değeri, genleşme oranı, nişasta jelatinizasyonu, yüzey yapışkanlığı	CCRD deneme tasarımı %35 besleme nem içeriği, 95°C kalıp sıcaklığı, 150 dev/dk vida hızı	Wang vd., 2012
Buğday-maş fasulyesi-yer fıstığı ekstrüde ürünleri	Besleme nem içeriği (%12.6-19.4), kalıp sıcaklığı (116-184°C) ve vida hızı (349-601 dev/dk) Mekanik enerji, genleşme oranı, yoğunluk, su absorplama indeksi ve suda çözünübilirlik indeksi	CCRD deneme tasarımı %14.8 nem içeriği, 521 dev/dk vida hızı, 140°C kalıp sıcaklığı	Pathania vd., 2013
Çin pirinç şarabı	Nem içeriği (%33-43), kalıp sıcaklığı (95-105°C), amilaz konsantrasyonu (%0-1.8) Çin pirinç şarabında maksimum etanol verimi	CCRD deneme tasarımı 100.14°C kalıp sıcaklığı, %43 nem içeriği, %1.45 amilaz konsantrasyonu	Li vd., 2014
Buğday kepeği ekstrüde ürünü	Kalıp sıcaklığı (165,175,185°C), nem içeriği (20,25,30 g/100g k.b.), vida hızı (180,190,200 dev/dk) SDF (çözünebilir diyet lifi) fraksiyonu	Box-Behnken deneme tasarımı 185°C kalıp sıcaklığı, 24g/100g besleme nemi, 192 dev/dk vida hızı	Long vd., 2014

Pirinç, manyok (ekvatorial ortamlarda yetişen patates tipi yumru bitki türü) ve yerfistiği unlarından ekstrüde ürün	Besleme nem içeriği, vida hızı ve kalıp sıcaklığı Yanal genişleme ve raf ömrü	CCRD deneme tasarımı 20g/100g nem içeriği, 97°C sıcaklık ve 12 dev/dk vida hızı	Awolu vd., 2015
Keten tohumu atıştırma kalınlıkları	Ekstrüzyon sıcaklığı (100-160°C), vida hızı (60-180 dev/dk), besleme hızı (%18.35-54.95 kg/s), nem içeriği (%14-30 w/w) invitro protein sindirilebilirliği, genişleme indeksi, yığın yoğunluğu ve tekstürel özellikleri	Genel dört faktörlü karesel tasarım %20 keten tohumu içeriği %17.37-22.43 nem içeriği 134.3-156.1°C sıcaklık 114-165.7 dev/dk vida hızı 34.38-45.95 kg/s besleme hızı	Min vd., 2015
Fasulye ile zenginleştirilmiş atıştırma kalınlıkları	Fasulye unu içeriği (%0-16-30-40), kalıp sıcaklığı (120-170 °C), vida hızı (50-240 dev/dk) Genişleme oranı, sertlik, antioksidan aktivitesi, toplam fenolik madde içeriği, melanoidin içeriği	CCRD deneme tasarımı Mısır:fasulye (100:0) için 159°C, 214 dev/dk; Mısır:fasulye (84:16) için 164°C, 187 dev/dk; Mısır:fasulye (70:30) için 163°C, 165 dev/dk 50g atıştırma kalınlık üründe optimum sonuçlar; 1.86-2.29 genişleme oranı, 4.85-6.88 N sertlik, 139-162 mg gallik asit eşdeğeri, 205-232 mg melanoidin içeriği, 3574-4180 µmol Trolox eşdeğeri.	Felix-Medina vd., 2020

Tüketime Hazır ve Atıştırma Kalınlık Gıda Ürünlerinde Yapılan Çalışmalar

Tüketiciler tarafından gündelik yaşamın koşuşturmasında hızlı tüketilebilen ürünler çok tercih edilmekte olup ekstrüzyon pişirme bu konuda önemli bir teknoloji olarak endüstride yerini almıştır.

Shaviklo vd. (2015) yaptıkları çalışmada, ekstrüde edilmiş mısır ve karidesli atıştırma kalınlık ürününün üretiminde optimum koşulları incelemiştir. Bağımsız değişkenler olarak mısır ezmesi, karides tozu ve şeker; yanıt olarak ise duyu kaliteyi etkileyen koku, lezzet, doku seçilmiştir. Ürünlerin formülasyonunu optimize etmek için üç bileşenli bir D-optimal Karışım tasarımı uygulanmış ve 13

deney oluşturulmuştur. Yüzey kontur grafiklerinde üç faktörün de yanıtları önemli derecede etkilediği görülmüştür. Sonuç olarak 96 g/100g mısır ezmesi, 3 g/100g karides tozu ve 1 g/100g şeker içeren karışımın optimum koşullar olduğu ve yanıt değerlerinin ise 6.405 koku, 8.417 lezzet, 8.640 doku olarak tespit edildiği belirtilmiştir.

Alam vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada düşük maliyetli ve besleyici ekstrüde aperatif ürün üretmek için pirinç, yağsız soya fasulyesi unu, havuç posası tozu ve karnabahar tozları içeren karışım hazırlanmıştır. 17 deneysel çalışma sağlayan Box-Behnken yanıt yüzey tasarımı uygulanmıştır. Elde edilen veriler ikinci dereceden

polinomiyal denkleme uyacak şekilde analiz edilmiştir. Varyans analizi sonucunda kalıp sıcaklığının yanıt üzerindeki en etkili parametre olduğu görülmüştür. Yanıt yüzey grafiklerinde gözlemlenen sonuçlara göre %76 oranında kabul edilebilir ekstrüde ürün eldesi için optimum koşulların 164°C kalıp sıcaklığı, 313 dev/dk vida hızı ve 85: 7.5: 3.35: 3.25 oranlarında pirinç: yağsız soya unu: havuç püresi unu: karnabahar tozu olduğu bildirilmiştir. Bu şekilde yapılan üretim sonucunda ürünlerin besleyiciliği artmış ve üründe 10.25 g/100 g protein, 0.84 g/100g lif tespit edilmiştir.

Gbenyi vd. (2016) belli oranlarda hazırlanan sorgum ve börülce un karışımlarını tek vidalı ekstrüder kullanarak %20, %22.5, %25 nem değerlerinde ve 120, 140, 160°C kalıp sıcaklıklarında işleme tabi tutmuşlar ve faktörlerin ekstrüde sorgum-börülce atıştırma ürünleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ürünlerin viskozite, su absorpsiyon indeksi, suda çözünübilirliği, yanal genişleme ve yığın yoğunluğu değerlerini modellemek için CCRD tasarımı kullanılmıştır. Besleme kompozisyonunun sonuç üzerindeki en etkili faktör olduğu bulunmuştur. Yapılan çalışmada, her bir yanıt için değişkenlerin optimum sonuçları ayrı ayrı verilmiş olup; besleme kompozisyonu %11-20.4 arasında, besleme nemi % 21.5-25 arasında, ekstrüzyon sıcaklığı 120-150 °C aralığında bulunmuştur. Optimizasyon grafikleri optimum sonuçların 5.8 g H₂O/g ürün su absorpsiyon indeksi, %14 suda çözünübilirlik indeksi, 3.6 yanal genişleme, 0.24 g/cm³ yığın yoğunluğu, 10 Ns/m²viskosize olduğunu göstermiştir.

Bir başka çalışmada yulaf, bezelye, çemen tohumu unundan oluşan sağlıklı ekstrüde atıştırma ürünleri üretilmek istenmiştir. Wanive Kumar (2016), bu çalışmada besleme nemi, kalıp sıcaklığı ve vida hızının ekstrüde ürünün yanal genişleme, yığın yoğunluğu, su absorplama indeksi, suda çözünürlüğü ve sertliğine olan etkisi araştırılmıştır. Nem içeriği, sıcaklık ve vida hızı olarak seçilen bağımsız değişkenler için CCRD tasarımı seçilmiştir ve 20 deneme oluşturulmuştur. Üç faktörlü tasarım için ikinci dereceden polinomiyal

modeli uygulanmıştır. Yüksek kaliteye sahip ürünü; %12 nem, 110 °C ekstrüzyon sıcaklığı ve 200 dev/dk vida hızı değerlerinde üretildiği tespit edilmiş olup, yapılan optimizasyon sonucunda yanıt değerleri; %112.7 yanal genişleme, 3.9 g/g kuru bazda su absorplama kapasitesi, 15.89 g/g su absorplama indeksi, 0.22 g/cm³ yığın yoğunluğu ve sertlik 10.15 N olarak bulunmuştur.

Xu vd. (2016), ısıya dayanıklı α -amilaz ve ekstrüde edilmiş pirinç unu ile yaptıkları çalışmada enzim konsantrasyonu, kalıp sıcaklığı, nem içeriği ve vida hızı olarak belirlenen bağımsız değişkenlerin; üretilen ürünlerin sıcaklığı, hamur basıncı ve mekanik enerji gibi proses parametreleri ile jelatinizasyon derecesi, toplam fenolik içeriğinin tutulma oranı değerleri üzerindeki etkisini yanıt yüzey metodu aracılığı ile incelemişlerdir. Bağımsız değişkenler için CCRD tasarımı kullanılmış olup yüzey kontur grafikleri oluşturulmuştur. Çok faktörlü optimizasyona göre; istenilen özelliklere sahip olan ürün özellikleri 10 kJ/kg mekanik enerji, %100 jelatinizasyon derecesi ve %85 oranında toplam fenolik maddenin korunması olup optimum koşullar; %1.37 enzim konsantrasyonu, 93.01°C kalıp sıcaklığı, %44.30 nem içeriği ve 171.66 dev/dk vida hızı olarak bulunmuştur.

Jozinovic vd. (2017)'nin yaptıkları çalışmanın amaçları; süperkritik CO₂ekstraksiyonu tekniği ile tamamen yağsız kenevir keki üretebilmek, ekstrüzyon karışımına yağsız kenevir keki ilavesi ve proses parametrelerinin atıştırma ürünler üzerindeki etkisini incelemek ve yanıt-yüzey metodu kullanarak ekstrüzyon koşullarında istatistiksel optimizasyonu sağlamaktır. Box-Behnken tasarımı, değişkenleri optimize etmek ve sonuçta üründe en yüksek genişleme oranı (2.77), düşük sertlik (24.95 N), yüksek kırılma (10.19 mm) ve çok düşük derecede renk değişimine (14.27) ulaşmak için kullanılmıştır. Mısır irmiğine eklenen yağsız kenevir keki, ekstrüzyon öncesi besleme nem içeriği ve ekstrüzyon sıcaklığı olarak belirtilen her bir faktör için üçer farklı seviye kullanılmıştır. Optimizasyon sonucunda elde edilen veriler; %5 kenevir keki, %15 nem içeriği, 150°C ekstrüzyon sıcaklığı olarak tespit edilmiştir.

Lohani ve Muthukumarappan (2017) yaptıkları çalışmada, sıcak ekstrüzyonla elde edilen ürünlerdeki besinsel ve biyoaktif bileşenlerin kaybını önlemek amacı ile mısır unu, sorgum unu ve elma püresi karışımına ekstrüzyon esnasında CO₂ püskürtmesi uygulamışlardır. Box-Behnken tasarımı ile 29 deney oluşturulmuştur. Optimum koşullar %30 elma posası, 25 g/100g nem içeriği, 97°C ekstrüder sıcaklığı, 100 dev/dk vida hızı olarak belirlenmiştir. Kontrol ekstrüdatları ile karşılaştırıldığında, CO₂ ile ekstrüde edilmiş ürünlerin, sistemin soğutma etkisinden ötürü toplam fenolik madde içeriği (%12 daha fazla) ve aktioksidan aktivitesi (%7 daha fazla) açısından son üründe daha iyi korunduğu görülmüştür.

Topuz vd. (2017) yaptıkları çalışmada yanıt yüzey metodunu kullanarak karides-mısır atıştırma ürünü üretmek istemişlerdir. Yanıt-yüzey metodu kullanılarak ekstrüzyon sıcaklığı (110-150°C), vida hızı (200-500 dev/dk) ve besleme nem değerleri (17-23 g/100g) olarak seçilen bağımsız değişkenlere 3'er seviyede Box-Behnken tasarımı uygulanmış ve atıştırma ürünlerin fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ekstrüzyon sıcaklığının ürünlerin sertlik, omega-3 yağ asidi ve duyuşal özellikleri üzerindeki en etkili faktör olduğu bulunmuştur. 127.2°C sıcaklık, 393.4 dev/dk vida hızı ve 21.6 g/100g nem içeriğinin genel anlamda en kabul edilen ürün için optimum koşullar olduğu bulunmuştur.

Mısır nişastasından çabuk sebze çorbası üretmede ekstrüzyon teknolojisinin kullanım olanağı hakkında çalışma yürüten Gandhi vd. (2018), yanıt yüzey metodu-CCRD tasarımı ile 5 seviyede 20 deney gerçekleştirmişlerdir. Besleme nem içeriği, kalıp sıcaklığı ve vida hızının kalite açısından yanıtları incelenmiş olup matematiksel modellerin deneysel verilere uymasına için regresyon analizi yapılmıştır. Tüm bağımsız değişkenlerin ekstrüde ürün üzerinde önemli bir etkiye neden olduğu görülmüştür. Optimum sonuçlar %16.13-18 besleme nem içeriği, 400-429 dev/dk vida hızı ve 125-137°C kalıp sıcaklığı olarak; her bir yanıtın minimum ve maksimum değer aralığı; 66.05-111.51 g/cm³ yığın yoğunluğu, 3.02-4.39 genişleme oranı, %2.39-3.79 g/g su absorplama

indeksi, %47.12-58.59 suda çözünürlük indeksi, % 59.99-71.17 jelatinizasyon derecesi ve 17.80-20.96 nişasta sindirilebilirliği olarak bulunmuştur.

Nakhon vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada optimizasyon, yanıt yüzey yöntemi ile gerçekleştirilmiş olup, çimlenmiş kahverengi pirinç ve balkabağı unu ile sağlıklı atıştırma üretimi amaçlanmıştır. Çalışmada üç farklı balkabağı unu oranı (%10, 20, 30) ve üç besleme nem içeriği (%13, 16, 19) bağımsız değişkenler olarak seçilmiş ve bu değişkenlerin etkisini incelemek için tamamen rastgele bir tasarımda 3*3 faktöriyel deney tasarımı uygulanmıştır. Sistemde yanıt olarak toplam fenol miktarı ile görünüm ve sertlik gibi duyuşal özellikler seçilmiştir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki için ikinci dereceden polinomiyal model kullanılmıştır. 350 dev/dk vida hızı ve 140°C ekstrüzyon sıcaklığı koşullarında; %10-13 balkabağı unu, %13-14 besleme nem içeriği optimum koşullar olarak bulunmuştur.

Sukumar ve Athmaselvi (2019) temelı darı olan atıştırma ürünü muz tozu ile zenginleştirmişler ve pirinç unu, mısır unu ve peynir ile kombine edilerek ekstrüde etmişlerdir. Kalıp sıcaklığı (118-122°C), vida hızı (345-355 dev/dk) ve muz tozu konsantrasyonunun (1-4 g) ekstrüde ürünün fiziksel ve fonksiyonel özellikleri üzerindeki etkileri, yanıt-yüzey metodu ve CCRD kullanılarak 3 faktör için 3'er derecede incelenmiştir. Her bir yanıt için regresyon analizi ikinci dereceden polinom modeli kullanılarak yapılmıştır. Bağımsız değişkenlerin yanıtlar üzerinde önemli etkilerinin olduğu tespit edilmiş ve yanıt yüzey grafikleri sonucunda optimum koşulların 119°C kalıp sıcaklığı, 346 dev/dk vida hızı ve 3.67 g muz unu konsantrasyonu olduğu bildirilmiştir.

Twum ve Pare (2018) mısır, kahverengi pirinç, tam yağlı soya fasülyesi ve ananas posasının elde edilen ekstrüde ürünlerin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerini nasıl etkilediğini incelemek amacıyla optimizasyon çalışması yapmışlardır. Ekstrüder koşulları sabit tutulmuş ve D-Optimal Karışım metodu yardımıyla 20 çalışma deneyi sağlanarak hamur karışımındaki hammadde oranları optimize edilmiştir. ANOVA ile elde edilen *p*-değerlerine

bakıldığında soya fasulyesinin fiziksel ve fonksiyonel özellikler üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, kahverengi pirinç, mısır ve ananas posalarının son ürün üzerinde fiziksel ve fonksiyonel açıdan daha etkili değişkenler olduğu bulunmuştur.

Bebek ve Çocuk Gıdalarında Yapılan Çalışmalar

Son yıllarda bebek gıdaları hakkında da çalışmalar artmış olup, Ali vd. (2016) ekstrüzyon yöntemi ile yüksek kaliteli ve düşük maliyetli hammaddelerden bebeklerde katı gıda başlangıcı için ürün üretmeyi amaçlamışlardır. Çift vidalı ekstrüdere girecek karışımda maş fasulyesi ve mısır unu (30:70) kullanılmıştır. Nem içeriği, vida hızı ve kalıp sıcaklığı bağımsız değişken olarak seçilmişken, spesifik mekanik enerji, yığın yoğunluğu, su absorpsiyon indeksi, suda çözünübilirlik indeksi ve jelatinizasyon derecesi bağımlı değişken olarak belirlenmiş ve CCRD tasarımında 5'er seviyede çalışılmıştır. 0.065-0.071 g/cm³ yığın yoğunluğu, 4.03-4.06 g/g su absorplama indeksi, %29.86-31.67 suda çözünübilirlik indeksi, %84.82-91.92 jelatinizasyon dereceleri istenen fonksiyonel özellikler olarak belirlenmiştir. Yanıt yüzey metodu ile hedef ürün için elde edilen optimum koşullar; %14.33 besleme karışımı nem içeriği, 524 dev/dk vida hızı, 174°C kalıp sıcaklığı olarak tespit edilmiştir.

Atukuri vd. (2018) yüksek protein içeriği ve yüksek protein sindirilebilirliği, düşük yığın yoğunluğu ve düşük viskoziteye sahip bir ürünle ekstrüzyon çalışması yapmak istemişlerdir. Bu amaçla, duyuşal açıdan da kabul edilebilirliği yüksek olan amarantı çalışmalarında kullanmak üzere seçmişler ve bu ürünün tamamlayıcı gıda olarak kullanılabilmesi için optimum ekstrüzyon şartlarını araştırmışlardır. CCRD tasarımı kullanılmış, veriler ikinci dereceden polinomial denkleme işlenmiş ve bağımsız değişkenlerin fonksiyonu yanıt olarak açıklanmıştır. Bağımsız değişkenlerin yanıtlar üzerinde önemli lineer, kuadratik ve interaktif etkilere sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Optimizasyon sonucunda; 150°C ekstrüder sıcaklığı, 50 Hz vida hızı, %14.41 nem içeriği optimum koşullar olarak bulunmuş ve elde

edilen verilerin %71 oranı ile kabul edilebilirliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

Mangaraj vd. (2018), 9-18 yaş arasındaki çocuklarda hastalık kaynaklı beslenme yetersizliği ile mücadele etmek için zenginleştirilmiş ekstrüde ürün üretmişlerdir. Bu amaçla mısır ve pirinç unu bazlı üründe yağsız soya unu, soya protein izolatu, kahve beyazlatıcısı, mango ve ıspanak ürünleri ile çalışmışlardır. Hammaddelerin beslemeye giren karışımdaki oranları ve bu hammaddelerin kendi aralarındaki etkileşimlerinin, atıştırmalık ürünlerin beslenme kriterleri üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek için yanıt yüzey metodu kullanılmıştır. Protein ve yağ içeriği en yüksek ürün, 35:35:15:10:5 oranlarındaki mısır: pirinç: yağsız soya unu: kahve beyazlatıcısı: soya protein izolatu ile sağlanmıştır. Tat, koku, renk, görünüm ve genel olarak kabul edilebilirlik gibi duyuşal özellikler açısından en yüksek değeri, 10 üzerinden 7.46 puanı ile mango içeren ürün vermiştir. Duyuşal açıdan 0.88 değeri ile kabul edilebilirlik açısından en yüksek sonucu, %10 yağsız soya unu ve %5 soya protein izolatu vermiş ve soya bazlı ürünlerin anlamlı sonuç verdiği görülmüştür. Tüm ürünler için değişkenler ve yanıtlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

Makarna Ürünlerinde Yapılan Çalışmalar

Wang vd. (2016)'nin yaptıkları çalışmada ekstrüzyon sıcaklığı ve vida hızının, temel bileşeni kahverengi pirinç unu olan glutensiz makarna ürününe etkisini yanıt-yüzey metodu kullanarak bulmayı amaçlamışlardır. Bağımsız değişkenlerin ürünün pişme ve tekstürel kalitesi üzerinde önemli derecede etkili olduğu fakat eğilimlerin farklı olduğu belirlenmiştir. 120°C ve 120 dev/dk vida hızına sahip ekstrüder koşullarında üretilen ürünlerin diğer glutensiz ürünlere kıyasla benzer özelliklere sahip olduğu ve kahverengi pirincin bu sektörde kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca yapılan optimizasyon sonucunda %6.7 pişme kaybı, 2387.2 g sertlik, -7 g.s yapışkanlık değerleri bulunmuştur.

Sobowale vd. (2018) yaptıkları çalışmada cocoyam (tropik bölgelerde yetişen nişasta içeriği yüksek sebze) eriştelere kalite özelliklerinde besleme nem içeriği, vida hızı ve kalıp sıcaklığının etkilerini

yanıt yüzey metodu-CCRD deneme tasarımı ve 20 deney ile açıklamışlardır. Sonuçta; karışım kompozisyonu, termo-fiziksel ve fizikokimyasal özellikler ve erişmelerin renkleri ekstrüzyon parametrelerinden önemli derecede etkilenmiştir. %47.5 besleme nem içeriği, 700 dev/dk vida hızı ve 55°C kalıp sıcaklığı olarak elde edilen optimum koşullarla üretilen erişmelerin, duyuşal açıdan da en kabul edilebilir özelliklere sahip ürünler olduğu bulunmuştur.

Spinelli vd. (2019), yaptıkları çalışmada gıda yan ürün/atıkları ile zenginleştirilmiş makarna üretmeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla mısır kepeği, üzüm posası tozu, bira endüstrisinde yan ürün olan tahıl unu olmak üzere 3 farklı yan ürün/atık kullanılmıştır. Yöntem, toplam kalite indeksinin optimizasyonu olarak açıklanmıştır. Toplam fenolik madde içeriği bakımından %15 tahıl unu ya da %15 üzüm posası; duyuşal özellik bakımından 10 g/100g tahıl unu, 8.5 g/100 g üzüm posası ya da 11 g/100 g mısır kepeği en yüksek sonucu vermiştir. Toplam kalite indeksinin maksimumunda olduğu değerler ise yaklaşık %10 tahıl unu, %9 üzüm posası tozu ya da %10 mısır kepeği olarak bulunmuştur. Sonuçlar, üründe hem duyuşal hem de besinsel özellikleri yüksek tutarak zenginleştirilmiş makarna üretilebileceğini göstermiştir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Gıda ekstrüzyon teknolojisi son yıllarda atıştırmalık gıda ürünleri, tüketime hazır çabuk çorba, erişte ürünleri, bebek ve çocuk gıdaları vb. gibi pek çok ürün grubunda tercih edilmektedir. Bu durumda, hem yaşam koşullarının tüketicileri hızlı ve çabuk gıdalara yönlendirmesi hem de ekstrüzyonun enerji tüketiminin az olması, üretimin verimli ve son ürünün ucuz olması, yeni teknolojilerden olması, yüksek sıcaklık-kısa süreli işleme yöntemi olması gibi diğer teknolojilere göre olumlu özelliklerinin olması etkilidir. Ekstrüzyon yönteminde ürün özelliklerine etkide bulunan birden çok faktör bulunmaktadır. Dolayısıyla istenilen özelliklere sahip ürünü elde etmek için fazlasıyla deney gerekmektedir. Bu nedenle deney sayısını azaltmaya yardımcı, optimum bağımsız değişken verilerini bulabilen optimizasyon yöntemine başvurulmaktadır. Bu derlemede

ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş ürünlerdeki optimizasyon çalışmaları araştırılmıştır. Yapılan optimizasyon çalışmalarında yanıt yüzey metodları kullanılarak CCRD, Box-Behnken, D-Optimal Karışımı gibi deney tasarımları yapılması, regresyon analizlerinin gerçekleştirilmesi ve ANOVA ile değerlendirme neticesinde hedeflenen ürünlere ulaşmada olumlu sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, başka kişiler ve/veya kurumlar ile çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

YAZAR KATKILARI

AMB, derlemenin araştırma, yazma-orijinal taslak, görselleştirme ve incelemesine katkıda bulunmuştur. ŞT, yazma-orijinal taslak ve inceleme-düzenleme aşamalarında danışman olarak katkı sağlamıştır. Yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

KAYNAKLAR

Ackar, D., Jozinovic, A., Babic, J., Milicevic, B., Balentic, J.P., Subaric, D. (2018). Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. *Innov. Food Sci. Emerg.*, 47:517-524.

Ajita, T. (2018). Extrusion Cooking Technology: An Advance Skill for Manufacturing of Extrudate Food Products. In: *Extrusion of Metals, Polymers and Food Products*, Qamar, S. Z. (chief ed.), pp. 197-210. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73496>. ISBN: 978-953-51-3838-9.

Alam, M.S., Pathania, S., Sharma, A. (2016). Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings. *Food Sci. Technol.*, 74:135-144.

Ali, S., Singh, B., Sharma, S. (2016). Response surface analysis and extrusion process optimisation of maize-mungbean-based instant weaning food. *Food Sci. Technol.*, 51: 2301-2312.

Altan, A., McCarthy, K.L., Maskan, M. (2008). Twin-screw extrusion of barley-grape pomace blends: Extrudate characteristics and

- determination of optimum processing conditions. *J. Food Eng.*, 89:24-32.
- Atukuri, J., Odong, B.B., Muyonga, J.H. (2018). Multi-response optimization of extrusion conditions of grain amaranth flour by response surface methodology. *Food Sci. Nutr.*, 7:4147-4162, doi:10.1002/fsn3.1284.
- Awolu, O.O., Oluwaferanmi, P.M., Fafowora, O.I., Oseyemi, G.F. (2015). Optimization of the extrusion process for the production ready-to-eat snack from rice, cassava and kersting's groundnut composite flours. *Food Sci. Technol.*, 64:18-24.
- Aydar, A.Y. (2018). Utilization of Response Surface Methodology in Optimization of Extraction of Plant Materials. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73690>.
- Aydar, A.Y. (2019). Statistical Methods in Optimization of Food Materials. *European Int J. Sci Technol*, 8(3): 33-40. <https://orcid.org/0000-0001-9780-0917>
- Bastos, G.M., Junior, M.S.S., Caliar, M., Araujo Pereira, A.L., Morais, C.C., Campos, M.R.H. (2016). Physical and sensory quality of gluten-free spaghetti processed from amaranth flour and potato pulp. *Food Sci. Technol.*, 65:128-136.
- Cappa, C., Franchi, R., Bogó, V., Lucisano, M. (2017). Cooking behavior of frozen gluten-free potato-based pasta (gnocchi) obtained through turbo cooking technology. *Food Sci. Technol.*, 84:464-470.
- Cardenes-Hernandez, A., Beta, T., Loarca-Pina, G., Castano-Tostado, E., Nieto-Barrera, J. O., Mendoza, S. (2016). Improved Functional Properties of Pasta: Enrichment with amaranth seed flour and dried amaranth leaves. *J. Cereal Sci.*, 72: 84-90.
- Chakraborty, S.K., Singh, D.S., Kumbhar, B.K., Chakraborty, S. (2011). Millet-legume blended extrudates characteristics and process optimization using RSM. *Food Bioprod. Process.*, 89:492-499. doi:10.1016/j.fbp.2010.10.003.
- Danbaba, N., Iro, N., & Mamudu, H. B. (2016). Application of Response Surface Methodology (RSM) for the production and optimization of extruded instant porridge from broken rice fractions blended with Cowpea. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 5: 105-116.
- Felix-Medina, J.V., Montes-Avila, J., Reyes-Moreno, C., Perales-Sanchez, J. X. K., Gomez-Favela, M. A., Aguilar-Palazuelos, E., Gutierrez-Dorado, R. (2020). Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *Food Sci. Technol.*, 124: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109172>.
- Gandhi, N., Singh, B., Sharma, S., Kapoor, S. (2018). Extrusion process optimization of corn starch to develop instant vegetable soup mix. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 7(2):2886-2910.
- Gbenyi, D.I., Nkama, I., Badau, M.H. (2016). Physical and Functional Properties of Extruded Sorghum-Cowpea Blends: A Response Surface Analysis. *Food Sci. Qual. Manag.*, Vol50. ISSN 2224-6088 (Paper), ISSN 2225-0557 (Online).
- Giuberti, G., Gallo, A., Cerioli, C., Fortunati, P., Masoero, F. (2015). Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour. *Food Chem.*, 175:43-49.
- Helkar, P.B., Sahoo, A. (2016). Review: Food industry by-products used as a functional food ingredients. *Int. J. Waste Resour.*, 6(3): 1-6.
- Jozinovic, A., Ackar, D., Jokic, S., Babic, J., Balentic, J.P., Banozic, M., Subaric, D. (2017). Optimisation of extrusion variables for the production of corn snack products enriched with defatted hemp cake. *Czech J. Food Sci.*, 35(6):507-516. doi:10.17221/83/2017-CJFS.
- Koç, B., Kaymak-Ertekin, F. (2010). Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları. *GIDA*, 35(1):1-8.
- Li, H., Wei, B., Wu, C., Zhang, B., Xu, X., Jin, Z., Tian, Y. (2014). Modelling and optimisation of enzymatic extrusion pretreatment of broken rice for wine manufacture. *Food Chem.*, 150:94-98.
- Lohani, U.C., Muthukumarappan, K. (2017). Process optimization for antioxidant enriched sorghum flour and apple pomace based extrudates using liquid CO₂ assisted extrusion. *Food Sci. Technol.*, 86:544-554.

- Long, D., Ye, F., Zhao, G. (2014). Optimization and characterization of wheat bran modified by in situ enhanced CO₂ blasting extrusion. *Food Sci. Technol.*, 59:605-611.
- Lu, X., Brennan, M.A., Serventi, L., Liu, J., Guan, W., Brennan, C.S. (2018). Addition of mushroom powder to pasta enhances the antioxidant content and modulates the predictive glycaemic response of pasta. *Food Chem.*, 264:199-209, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.04.130.
- Mangaraj, S., Swain, S., Deshpande, S.S. (2018). Development of Extruded Functional Snack Foods from Plants and Dairy Ingredients Employing Response Surface Methodology. *J. Dairy Vet. Sci.*, ISSN:2573-2196. V:7, Issue4.
- Maskan, A. (ed.), Altan, A. (ed.). (2012). *Advances In Food Extrusion Technology*. CRC Press, 412 p. ISBN:13:978-1-4398-1521-2 (e-Book Pdf), Version date: 20110829.
- Min, W., Yi, L., Lijun, W., Dong, L., Zhihuai, M. (2015). Effects of extrusion parameters on physicochemical properties of flaxseed snack and process optimization. *Int. J. Agric. and Biol. Eng.*, 8(5):121-131.
- Nakhon, P.P.S., Jangchud, K., Jangchud, A., Charunuch, C. (2018). Optimization of pumpkin and feed moisture content to produce healthy pumpkin-germinated brown rice extruded snacks. *Agric. Nat. Resour.*, 52:550-556.
- Navale, S.A., Swami, S.B., Thakor, N.J. (2015). Extrusion Cooking Technology for Foods: A Review. *J. Ready Eat Food*, 2(3): 66-80.
- Ovando-Martinez, M., Sayago-Ayerdi, S., Agama-Acedo, E., Goni, L., Bello-Perez, L.A. (2009). Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chem.*, 113: 121-126.
- Pathania, S., Sing, B., Sharma, S., Sharma, V., Singla, S. (2013). Optimization of extrusion processing conditions for preparation of an instant grain base for use in weaning foods. *Int. J. Eng. Res. Appl.*, 3(3):1040-1049.
- Patino-Rodriguez, O., Bello-Perez, L.A., Flores-Silva, P.C., Sanchez-Rivera, M.M., Romero-Bastida, C.A. (2018). Physicochemical properties and metabolomic profile of gluten-free spaghetti prepared with unripe plantain flours. *Food Sci. Technol.*, 90:297-302.
- Rajesvari, G., Susanna, S., Prabhasankar, P., Venkateswara-Rao, G. (2013). Influence of onion powder and its hydrocolloid blends on pasta dough, pasting, microstructure, cooking and sensory characteristics. *Food Biosci.*, 4:13-20, doi: 10.1016/j.fbio.2013.07.004.
- Rizvi, S.H., Paraman, I. (2015). Extrusion of Agro-food industry byproducts and protein concentrates into value-added foods. United States Patent Application Publication, Pub.No.: US 2015/0282507 A1., Pub. Date: Oct 8, 2015.
- Sawant, S.S., Thakor, N.J., Swami, S.B. (2015). Application of Extrusion Cooking Technology In Food Industry. *Int. J. Process. Postharvest Technol.*, 6(2):177-183, doi: 10.15740/HAS/IJPPHT/6.2/177-183.
- Sharma, R., Srivastava, T., Saxena, D. C. (2016). Development of nutritious snack from rice industry waste using twin screw extrusion. *MATEC Web of Conferences* 57,04006.
- Shaviklo, A.R., Azaribeh, M., Moradi, Y., Zangeneh, P. (2015). Formula optimization and storage stability of extruded puffed corn-shrimp snacks. *Food Sci. Technol.*, 63:307-314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.093>
- Silva, E., Sagis, L.M.C., Van der Linden, E., Scholten, E. (2013). Effect of matrix and particle type on rheological, textural and structural properties of broccoli pasta and noodles. *J. Food Eng.*, 119: 94-103.
- Sobowale, S.S., Animashaun, O.H., Mulaba-Bafubandi, A.F., Abidoye, T.S., Kewuyemi, Y.O., Adebo, O.Y. (2018). Process optimization of extrusion variables and its effect on properties of extruded cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) noodles. *Food Sci. Nutr.*, 1-17.
- Surasani, V.K.R. (2016). Application of food extrusion process to develop fish meat-based extruded products. *Food Eng. Rev.*, 8:448-456. doi:10.1007/s12393-016-9148-0.
- Spinelli, S., Padalino, L., Costa, C., Nobile, M.A.D., Conte, A. (2019). Food by-products to

fortified pasta:A new approach for optimization.*J. Cleaner Pro.*, 215:985-991.

Sukumar, A., Athmaselvi, K.A. (2019). Optimization of process parameters for the development of finger millet based multigrain extruded snack food fortified with banana powder using RSM.*J. Food Sci. Technol.*, 56(2):705-712.

Tiğa, B. H. (2018). Düşük Yağ İçerikli Tüketime Hazır Erişte Üretimi ve Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 100 s.

Topuz, O.K., Gokoğlu, N., Jouppila, K., Kirjoranta, S.(2017). Development of Extruded Shrimp-Corn Using Response Surface Methodology.*Turk J. Fish. Aquat. Sci.*, 17:333-343.

Torres-Leon, C., Ramires-Guzman, N., Londono-Hernandez, L., Martinez-Medina, G.A., Diaz-Herrera, R., Navarro-Macias, V., Alvarez-Perez, O.B., Picazo, B., Villarreal-Vazquez, M., Ascacio-Valdez, J., Aguilar, C.N. (2018). Food waste and by-products: an opportunity to minimize malnutrition an hunger in developing countries.*Front. Sustain. Food Syst.*, 2(52): 1-17, doi: 10.3389/fsufs.2018.00052.

Twum, L.A., Pare, A. (2018). Development and Optimization of the Physical and Functional Properties of Extruded Products.*Curr. J. Appl. Sci. Technol.*, 29(2): 1-11. ISSN: 2457-1024.

Waldron, K. (2007). *Handbook of Waste Management and Co-product in Food Processing*. 305-377, eBook

ISBN: 9781845692520, Published Date:31.03.2007.

Wang, Y., Li, D., Wang, L.J., Chiu, Y.L., Chen, X.D., Mao, Z.H., Song, C.F. (2008). Optimization of extrusion of flaxseeds for in vitro protein digestibility analysis using response surface methodology.*J. Food Eng.*, 85: 59-64.

Wang, N., Maximiuk, L., Toews, R. (2012). Pea starch noodles: Effect of processing variables on characteristics and optimisation of twin-screw extrusion process.*Food Chem.*, 133:742-753.

Wang, L., Duan, W., Zhou, S., Qian, H., Zhang, H., Qi, X. (2016). Effects of extrusion conditions on the extrusion responses and the quality of brown rice pasta.*Food Chem.*, 204: 320-325.

Wani, S.A., Kumar, P. (2016). Development and parameter optimization of health promoting extrudate based on fenugreek oat and pea.*Food Biosci.*, 14:34-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2016.02.002>.

Xu, E., Pan, X., Wu, Z., Long, J., Li, J., Xu, X., Jin, Z., Jiao, A. (2016). Response surface methodology for evaluation and optimization of process parameter and antioxidant capacity of rice flour modified by enzymatic extrusion.*Food Chem.*, 212:146-154.

Yolmeh, M., Jafari, S.M. (2017). Applications of Response Surface Methodology in the Food Industry Processes.*Food Bioprocess Tech.*, 10: 413-433, doi: 10.1007/s11947-016-1855-2.