



GELENEKSEL TÜRK GIDALARININ 3B YAZICI İLE YAZDIRILMASI

Hatice Yaprak Aydın^{a}, Ali Kılıç^b, Ali R. Tekin^a

^a Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

^b Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: hatice.yaprak522@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, 3 boyutlu yazıcıların gıda sanayisinde kullanımı ve gıda üretimi için kullanılan ekstruderlerin özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Ekstruder tasarımında, gıda yapısının şekil oluştururken sergileyeceği reolojik davranışlarının mümkün olduğunca doğru tahmin edilebilmesi en önemli noktalardan biridir. Gıdalar yapıları gereği, dış etkenlerin değişmesiyle, çabuk bozulabilen, tatları değişebilen veya farklı davranışlar sergileyebilen ürünlerdir. Çalışma kapsamında yapılan ön deneylerde 3 boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen lokum ve çikolata gibi gıdaların sıcaklık ve basınç parametrelerine bağlı olarak olması gereken reolojik özellikleri belirlenmiştir. Buradan elde edilen optimum reolojik özelliklere karşılık gelen sıcaklık ve basınç değerlerine göre uygun ekstruderler kullanılarak, 3 boyutlu yazıcılardan yaratıcı şekillerin oluşturulması ve 3 boyutlu yazıcıda lokum ve çikolatadan oluşan 3 boyutlu gıdaların üretilmesi için uygun ekstruder sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Tasarlanan ekstruder sisteminde, hassas sıcaklık kontrollü sayesinde, içerisine konan gıda ürününün bir kısmının veya tamamının istenilen sıcaklığa çıkarılabilmesi sağlanmıştır. Cam göstergeli paslanmaz çelik bir hazneden üretilen ekstruder sisteminde, itici sistemli yüksek çözünürlüklü bir step motor ile hareket sağlanmış, bu sayede çok hassas dozajlama yapılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: 3 Boyutlu Yazıcı. Eklemeli İmalat. Lokum. Gıda Yazıcısı.

PRINTING TRADITIONAL TURKISH FOODS USING 3D PRINTER

ABSTRACT

In this study, the use of 3D printers in food industry and determination of the properties of extruders used for food production were studied. In extruder design, it is one of the most important points to estimate the rheological behavior of food structure as it is possible. Foods are products that, due to their nature, can be rapidly degraded, change their taste or exhibit different behaviors by changing external factors. In the preliminary experiments conducted within the scope of the study, rheological properties of foods such as Turkish delight and chocolate to be produced by using 3-D printer were determined. By using appropriate extruders according to the temperature and pressure values corresponding to the optimum rheological properties obtained from this, it is aimed to develop the suitable extruder system for producing creative shapes from 3D printers and producing 3D foods composed of delight and chocolate in 3D printer. In the designed extruder system, thanks to the sensitive temperature control, it is ensured that some or all of the food product is put into the desired temperature. In the extruder system produced from a stainless-steel chamber with glass display, a high-resolution stepper motor with pusher system is activated and very precise dosing can be performed.

Keywords: 3-Dimensional Printer. Additive Manufacturing. Delight. Food Printer.

1. GİRİŞ

Son yıllarda hızla gelişmekte olan 3 boyutlu yazıcı (eklemeli imalat) teknolojisi birçok sektörde başarılı sonuçlar vermektedir. Gelişen bu teknoloji, endüstriyel ve mimari tasarımlarda, inşaat ve otomotiv sektöründe, tıp ve dişçilik alanlarında, gıda endüstrisinde, eğitimde, coğrafi bilgi sistemlerinde ve farklı alanlardaki bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulama alanlarından biri olan gıda sektöründe 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin kullanılması, üretim açısından yenilikler sunmaktadır. İsteğe göre tasarlanabilen farklı şekillerde ve özellikle çikolata, şekerleme, kurabiye, pizza, makarna ve daha birçok gıdanın üretiminde kullanımı yaygınlık kazanmaya başlamıştır [1].

İlk 3 boyutlu yazıcı, 1984 yılında Chuck Hull of 3D Systems firması tarafından üretilmiştir. Buna rağmen 2010 yılından sonra daha sık duyulmaya başlanmış ve günümüzde de çok daha yaygın bir şekilde kullanılabilir hale gelmiştir. Bunun nedenleri olarak medyada daha fazla yer almaya başlaması, birçok sayıdaki girişimci firmanın bu teknolojiye yatırım yapması, akademik çevrelerin ilgi göstermesi, teknolojinin birçok alanda getirdiği kolaylıklar ve avantajların yanı sıra üretim maliyetlerindeki düşüş gösterilebilir. Gıda üretiminde müşteri odaklı ürünler elde etmek için ideal bir metot olarak kabul edilmeye başlanan 3 boyutlu yazıcılara olan talebin gittikçe arttığı son yıllarda görülmektedir. Müşterilerin talep ve istekleri doğrultusunda daha yaratıcı ürünler elde etmek için kullanılan bu teknolojinin sanayi üretimine olan katkısının göreceli olarak artması beklenmektedir [2].

Günümüzde birçok firma 3 boyutlu yazıcı üretmeye ve satmaya başlamıştır. Bu alanda ulusal ve uluslararası literatürde birçok çalışma ve yayın yapılmaktadır. Konuya ilişkin çok sayıda patent alınmış; gıda teknolojisinin her alanına bu uygulama entegre olmuştur. Nanotek Instruments Şirketi, müşteri tarafından tasarlanabilen bir doğum günü pastası ile 3 boyutlu gıda nesnelere üretilmesi için bir hızlı prototipleme patenti almıştır. Nico Kläber, Electrolux Design Lab 2009 yarışmasında bir moleküler konsept tasarımı ile çıkmış ve küçük bir robot kolu kullanarak çok malzemeli özelleştirilmiş yiyecekler yazdırmıştır [3].

Philips Design, gıda kartuşlarını ve bileşenlerini; miktarları, şekilleri, dokuları ve diğer özellikleri seçmek için, etkileşimli bir grafik kullanıcı arabirimi kullanarak, özel olarak tasarlanmış bir gıda ürünü oluşturulmasını önermiş; bunun üzerine baskı projeleri gerçekleştirmiştir. Mevcut gıda baskısı süreci, sanal ortamda 3 boyutlu model tasarlamakla başlamaktadır. Tasarlanan sanal model, dilimleme yazılımıyla, tek tek katmanlara ayrılmakta ve baskı için kodlar üretilmektedir. Üretilen bu kodlarla, 3 boyutlu yazıcıya yükledikten ve tercih edilen uygun bir gıda seçildikten sonra baskı yapılabilmektedir [3].

Gıda basımıyla ilgili birçok makale yayımlanmıştır. Bu çalışmalarda, özelleştirilmiş gıda ürünlerinin imalatı üzerinde durulmuştur. Uygulamalı Bilimsel Araştırma Örgütü (TNO) 'den araştırmacılar, gıdaların içerdikleri maddeleri sağlıklı ve lezzetli ürünler haline dönüştürmek gibi daha temel konuları keşfetmeye başlamışlardır [4,5]. Robotik tabanlı teknolojiler, işçi gücünün yerini almak, bireysel basamakları otomatikleştirmek veya ev, gıda ikram hizmetleri ve gıda imalat sanayilerindeki manuel operasyonları değiştirmek üzere tasarlanmıştır. Örneğin, pişirme kurabiyeleri için robotlar malzemeleri bulabilir, doğru sırada karıştırıp, elde edilen hamuru bir fırın tepsisine yerleştirebilir [6]. Bu robotlara yerleştirilen hareket komutları, bir nesneyi toplama, yere bırakma veya boşaltma gibi temel işlemlerle pişirme görevlerini yerine getirebilir [7]. Kullanıcıların, özel renk, şekil, lezzet, doku ve hatta beslenme ile gıdaları tasarlamasına ve imal etmesine olanak tanır. Sonuç olarak, yeme deneyimleri, gıda hazırlama, kültür, ekonomi, fizik ve kimya gibi gastronominin tüm yönlerini kapsayacak şekilde ele alabilir [5]. Japonya'daki tüketiciler, sevgililer gününde çiftlerin fotoğraflarının taramasından 3 boyutlu yapılmış çikolatalar sipariş edebilmiştir [8].

Bu çalışmanın amacı, kullanımı hızla yaygınlaşan 3 boyutlu yazıcıların, Türk gıda ürünlerinden lokum ve çikolatanın üretim aşamasında kullanımı, bu ürünlerin değişik şekillerde imalatının yapılmasıyla müşteri talebinin artırılması ve bu ürünlere yönelik uygun ekstruderlerin imal edilmesi olarak sıralanmaktadır.

2. GIDA YAZICI TEKNOLOJİSİ

3 boyutlu yazıcılarla; sağlıklı, kişiye özgü ve yeniden yapılandırılmış (lif, protein ve nişasta açısından zengin) ürünler elde etmek ve istenen ürün reçetesine göre baskılar yapabilmek için farklı üretim teknikleri mevcuttur. Gıda endüstrisinde genellikle Selektif Lazer Sinterleme (SLS), Katmanlı Yığın Modelleme (KYM), Bağlayıcı Sıvılarla Yazdırma (BSY) ve Mürekkep Jet Yazdırma (MJY) ile Püskürtme Sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan teknikler arasındaki en belirgin fark, katmanların yığılmasında kullanılan yöntemdir. Bazı tekniklerde, malzemenin eritilip yumuşatılmasıyla katmanlar oluşturulurken, diğer yöntemlerde sıvı haldeki malzemeler doğrudan yığılmakta ve yığma işleminin hemen ardından malzeme sertleştirilerek ürün son halini almaktadır. Şekil 1’de 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilen gıda ürünlerine örnekler gösterilmiştir [3,9].



Şekil 1. 3-boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilmiş farklı şekillerdeki gıda baskıları [10].

2.1. 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojisi

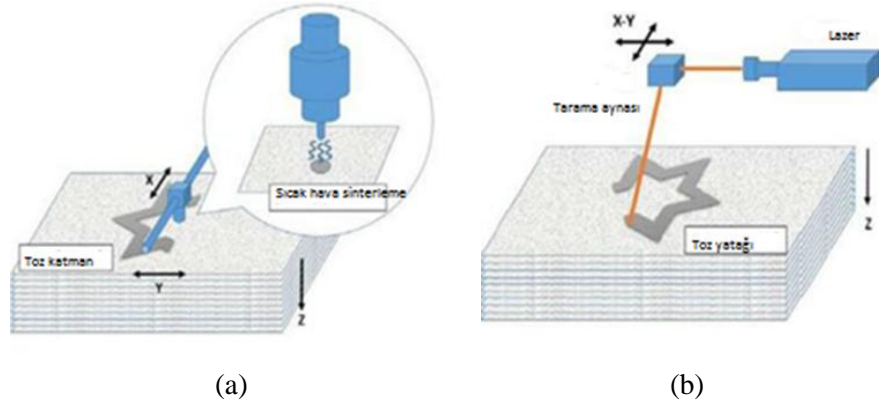
Gıda sektöründe 3 boyutlu yazıcıların kullanılmasındaki amaç, karmaşık geometriler oluşturabilmek ve ayrıntılı dokulara sahip üç boyutlu yapılar elde etmektir. Getirdiği büyük avantajlardan dolayı, 3 boyut teknolojisinin gıda endüstrisinde önemli bir rol alması görülmektedir. Bu noktada, gıda materyalleri tasarlamak için gerekli olan 3 boyutlu baskı teknikleri günümüzde araştırılmaya devam edilmektedir. Yapılan araştırmalarda 3 boyutlu baskı tekniklerinin uygulanmasında gerekli olan gıdanın nasıl davranışlar sergilediğini gözlemleyebilmek için gerekli analizler yapılmaktadır. Yapılan araştırmalardan, 3 boyutlu gıda yapımlarının rasyonel tasarımının üç ana faktöre dayandığı görülmektedir. Bunlar; basılabilirlik, uygulanabilirlik ve son işlem olarak sıralanmaktadır [11].

- **Basılabilirlik:** Malzeme özelliklerinin 3 boyutlu bir yazıcı tarafından nasıl işleme tabi tutulması gerektiğini ve işlem sonrası yapısında ne tür değişiklikler göstereceği ile ilgilidir. Sıvılaştırılmış eklemeli imalat teknolojilerinin yazdırılabilirliği talep üzerine damlama teknikleri, malzeme viskozitesi veya reolojik özelliklerinden etkilenir. Reolojik özelliklere ek olarak, ekstrüzyon tekniklerine dayalı 3 boyutlu baskı, belirli jelleşme mekanizması (çapraz bağlantı) ve termal özellikler (erime noktası ve cam geçiş sıcaklığı) tarafından etkilenebilir. Ayrıca, parçacık boyutu, yoğunluk, ıslanabilirlik ve akışkanlık gibi özellikler de toz tabanlı 3 boyutlu yazıcıları etkileyebilir [11].
- **Uygulanabilirlik:** Eklemeli imalat teknolojileri, yapı kompleksleri ve dokuları oluşturma yetenekleri açısından cazip teknolojilerdir. Buna ek olarak, 3 boyutlu yazıcılar, besin değeri eşsiz tasarlanmış yapılara dâhil edildiğinde daha esnek bir üretim teknoloji halini almaktadır. Eklemeli imalat teknolojisinin uygulanabilirliği de malzeme özelliklerine göre düzenlenir [11].
- **Son İşlem:** İdeal olarak, 3 boyutlu gıda bileşimi, fırında pişirme, kaynar suda haşlama veya yağda kızartma gibi işlem sonrası pişirmeye karşı dirençli olmalıdır. Pişirmeye dirençli yapılarda uygun fiziksel, kimyasal, reolojik ve mekanik özelliklere sahip malzemelerin doğru bir şekilde seçilmesi esastır [11].

2.2. Gıda Baskısında Uygulanan 3 Boyutlu Yazıcı Teknikleri

2.2.1. Seçici lazer sinterleme (SLS)

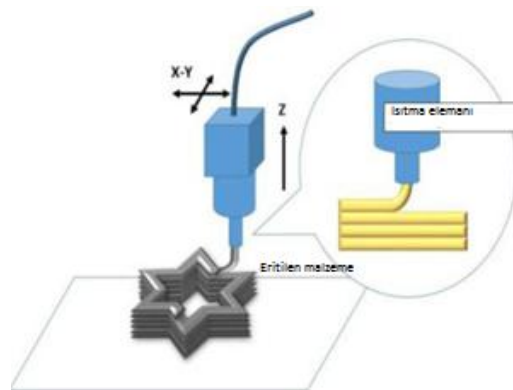
Bu teknikte toz tabakası yayıldıktan sonra, toz parçacıklarını kaynaştırmak için bir sinterleme kaynağı (Şekil 2(a)'da sıcak hava veya Şekil 2(b)'de lazer) X ve Y eksenleri boyunca hareket eder ve böylece birbirlerine bağlanan katı bir katman oluşturmaktadır. Her hareketin ardından ikinci bir başlık, yüzeyin üzerinden geçerek sinterlenecek yeni toz katmanını hazırlamakta ve ardından tekrar yüzeydeki ham madde (STL dosyasındaki modele göre) ısıtılarak şekil verilmektedir. Her katman ısıtıldıkça, platform Z ekseninde aşağıya doğru inmekte ve 3 boyutlu şeklin muhafaza edilmesini sağlamaktadır. Yazıcı başlığı X ve Y eksenlerinde hareket ederken, yazdırma platformu da Z ekseninde hareket etmektedir [3].



Şekil 2. SLS yazdırma tekniği. a) Sıcak hava sinterleme, b) Lazer sinterleme [3].

2.2.2. Katmanlı yığın modelleme (KYM)

Bu yöntem öncelikle plastik materyalleri modelleme amacıyla geliştirilmiştir. Şekil 3'te KYM yönteminin çalışma prensibi gösterilmiştir. Burada, eritilmiş yarı katı termoplastik malzeme hareketli bir KYM kafasından çekilmekte ve daha sonra bir alt tabakaya çökelmektedir. Gıda alanına uyarlanan KYM yönteminde X, Y ve Z eksenlerinde hareket kabiliyetine sahip yazdırma başlıkları kullanılmaktadır. Bu başlıklarda ekstrüzyona uğratılan ve erime noktasının hemen üzerinde platforma aktarılan gıda materyalinin hızlı bir şekilde katı forma geçmesi sağlanmaktadır. Daha sonra Z ekseninde hareket eden başlık, platforma aktardığı ve artık katı forma geçmiş olan gıda materyalinin üzerine ikinci tabakayı yazdırmaya başlamaktadır. Bu şekilde katmanlar halinde 3 boyutlu üretim tamamlanmaktadır. Bu sistemdeki önemli noktalardan biri, dış ortamın sıcaklığı ile yazdırılan materyalin sıcaklığı arasındaki ilişkidir. Yazdırma sıcaklığı, materyalin erime noktasının hemen üzerinde, dış ortamın sıcaklığı ise erime noktasından mutlaka düşük olmalıdır. Böylece yazdırılan gıda materyali hızlı bir şekilde katı forma geçebilmektedir [3,12-14].

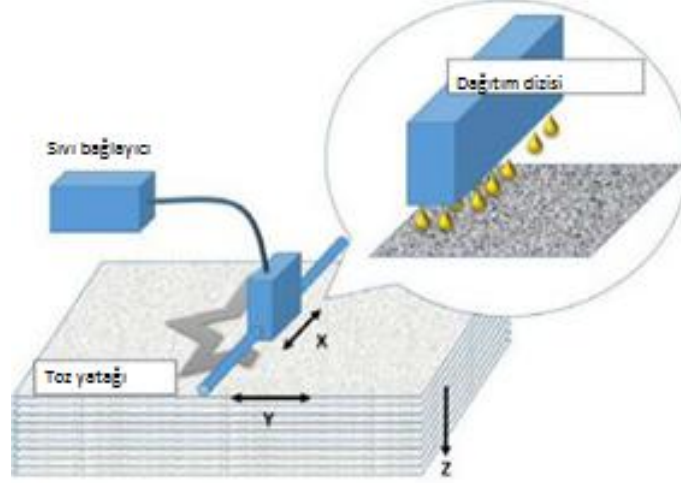


Şekil 3. Katmanlı yığın modelleme yöntemi çalışma prensibi [3].

2.2.3. Bağlayıcı sıvılarla yazdırma (BSY)

BSY yönteminde, yazdırma platformu ve materyal formu SLS yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Ancak güç kaynağı olarak lazer kullanılmamaktadır. Şekil 4'te BSY yönteminin şematik resmi gösterilmiştir. Toz malzemesi, genellikle bağlayıcı maddenin boşaltılmasından kaynaklanan problemleri

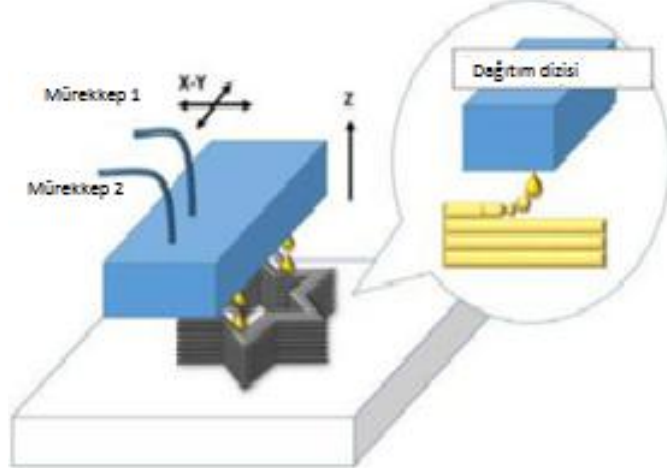
en aza indirmek için su sisi ile dengelenir. Şeker ve nişasta gibi toz formdaki gıda ham maddelerinden oluşan yazdırma platformu üzerine, birden fazla yazıcı başlığı olan sistemler aracılığı ile X ve Y eksenleri boyunca sıvı uygulanarak şekiller oluşturulmaktadır. Ardından ikinci katmana geçilmekte ve katmanlar oluşturuldukça, yazdırma platformu Z ekseninde aşağı doğru hareket etmektedir [15]. 3D Systems firması tarafından gerçekleştirilen Sugar Lab projesinde BSY prensibi ile şeker üretimi yapılmıştır. Bu yöntem diğer yöntemlere göre oldukça hızlıdır; fakat kurulum maliyeti oldukça yüksektir [16].



Şekil 4. Bağlayıcı sıvılarla yazdırma yöntemi çalışma prensibi [3].

2.2.4. Mürekkep Jet Yazdırma (MJY)

Şekil 5'te mürekkep püskürtmeli gıda baskısı yönteminin şematik resmi gösterilmiştir. Bu yöntemde şırınga tipi baskı kafası, içinde bulunan malzemeyi akışı/damlacıklarını isteğe bağlı bir şekilde dağıtır. Günlük hayatta kâğıt çıktısı almak için kullanılan klasik yazıcıların çalışma prensibi ile aynıdır. Yazdırılacak materyal çok küçük damlacıklar halinde bir başlık aracılığıyla yazdırma platformuna püskürtülmektedir. Yazdırılması istenen geometrik şekle göre aralıklarla veya sürekli olarak dozajlama yapılabilen bu yöntemde, önceden hazırlanmış ürünlerin tamamlanmasında (örneğin, pizza tabanının üzerine domates sosu eklenmesi, hareketli bant üzerinde pişmekte olan kurabiyelerin üzerine çikolata sosu eklenmesi gibi) oldukça hızlı ve hatasız çözümler sunulmaktadır [11].



Şekil 5. Mürekkep jet yazdırma yöntemi çalışma prensibi [3].

Farklı gıdalar için farklı yazdırma yöntemleri kullanılmaktadır. Çizelge 1'de yukarıda tanımlanan baskı teknikleri kullanılarak yazdırılan gıda örnekleri verilmiştir [16].

Çizelge 1. 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş gıda ürünleri ve yazdırma teknikleri [16].

Gıda Ürünü	Kullanılan Ham Maddeler	Kullanılan Yazıcı Tipi
Kurabiye	Şeker, un, yumurta, tere yağ	KYM
Makarna	Durum buğdayı irmiği, su	KYM
Çikolata	Kakao yağı, şeker, kakao, tere yağ, lesitin	KYM
Eritme peynir, soslar ve kaplamalar	Peynir, çikolata, domates, gamlar, şeker, tuz	Mürekkep Jet Yazdırma
Et ve deniz ürünleri	Deniz tarağı, hindi eti	KYM, Biyoyazıcı

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Lokum üretimi; Lokum nişasta, şeker ve su ana maddelerinden oluşan yurtdışında Türk ismiyle özdeşleşerek şöhret bulmuş yegâne Türk gıda maddesidir. Lokum üretiminde tatlandırıcı olarak şeker, su bağlayıcı ve doku yapıcı madde olarak da nişasta kullanılmaktadır. Lokum; şeker, mısır nişastası ve suyun uygun oranlarda karıştırılması ile belirli bir sıcaklık ve sürede açık kazan veya buhar ceketli, otomatik karıştırıcılı kazanlarda pişirilmesi sonucu elde edilen bir gıdadır. Pişirme süresi kazanın cinsine göre 1–2 saat arasında değişebilmektedir. Elde edilen sıcak ve akıcı durumdaki lokum, içine nişasta serpilmiş alçak kenarlı tahta tabla ya da çelik tepsilere dökülüp üstüne nişasta serpilir ve küçük parçalar halinde kesilir ve lokum elde edilir. Şekil 6’da ülkemizde mevcut tekniklerle üretilen lokum çeşitlerine örnekler verilmiştir.



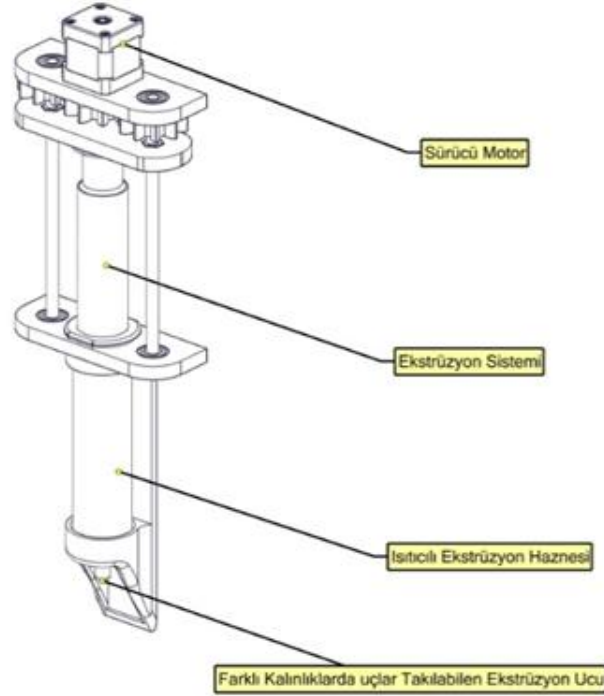
Şekil 6. Mevcut tekniklerle üretilen lokum çeşitleri [17].

3.2. 3B Yazıcı

Yapılan deneysel çalışmada Şekil 7’de gösterilen Mech marka 3 boyutlu yazıcı kullanılmıştır. Gıda üretiminde en önemli nokta, ekstruder sisteminin gıdanın içeriğini bozmadan yazdırılmasıdır. Bu nedenle, plastikler için kullanılan geleneksel ekstruder sistemi yerine, gıdalara uygun ekstruder sistemi tasarlanmıştır. Geliştirilen ekstruder hassas sıcaklık kontrollü, içine konulan gıda ürününün bir kısmını veya tamamını istenilen sıcaklığa çıkarabilmektedir. Cam göstergeli paslanmaz çelik bir haznedan üretilen ekstruder itki sistemi yüksek çözünürlüklü step motor ile hareketlendirilmiş, böylece çok hassas dozajlama yapılabilir. Şekil 8’de tasarlanan ekstruder sisteminin üç boyutlu modeli gösterilmiştir.



Şekil 7. Mech marka yazıcı.



Şekil 8. Tasarlanan 3 boyutlu ekstruder modeli.

3.3. Ekstruderin Optimizasyonu İçin Yapılan Ön Çalışma

Gıdalardaki özel tasarım talebini karşılayan 3 boyutlu gıda yazıcılarının en önemli parçası olan ve her gıda için farklı tasarlanabilen ekstruderleri üretebilmek için ön çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada hedeflenen, şekillendirilmek istenen gıdanın yapısına ve viskozitesine uygun bir ekstruder tasarlamaktır. Ön çalışmalarda, tedarikçi firma tarafından temin edilen çikolata çeşitleri olan chocofun, maxbar, biscoleta stix ve çikolata türevleri olan gofresh kaplama, kokolin sade hamur kullanılmıştır.

Çalışmada üzerinde durulan en önemli nokta, ideal kabul edilebilecek viskozite aralıklarında, kolay şekillendirilebilir uygun çikolata türünü belirleyebilmektir. Bunun nedeni eklemeli imalat olarak bilinen 3 boyutlu yazıcılarda ilk kat döküldükten sonra ikinci katmanın ve sonraki katmanların çökmeye sebep olmaksızın tamamen kalıp bir şekil elde edebilmektir.

Zamandan kazanç elde etmek ve yüksek viskoziteye sahip olan ürünün akışını sağlayabilmek için pistonlu şırıngalar kullanılmıştır. Kullanılan şırıngaların ekstruderleri ve boyutları farklıdır. Ekstruderleri belirlemek ve üründe yığılma olmadan kalıp şekil elde edebilmek için bu farklılıklar kullanılmıştır. En uygun sıcaklıktaki ürün akışkanlığını belirleyebilmek için değişik deneyler yapılmıştır. Belirlenen sıcaklık aralıkları referans alınarak, optimum akış hızları saptanmaya çalışılmıştır. Üretilen ürünün kalitesi açısından en kısa sürede şekillendirilmesini sağlamak önemli bir noktadır. Yapılan deneyler sonucunda Çizelge 2’de görüldüğü gibi ürün için uygun aralıklar seçilerek ‘‘Maxbar’’ çikolata türü tercih edilmiştir.

Çalışmalar sonucunda kontrol edilmesi gereken parametrelerin, gıdanın viskozitesi, reolojik özellikleri, jelleşme mekanizması, termal özellikleri, parçacık boyutu dağılımı, basınç ve sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Tüm bu parametreler doğrultusunda; ürünün renginde, tadında, kokusunda ve besin değerlerinin üzerinde olumsuz etkiler oluşturmadan 3 boyutlu yazıcılar aracılığıyla farklı şekillerde gıda ürünleri üretilmiştir.

Çizelge2. Çikolata ve türevleri ile yapılan ön çalışma sonuçları.

Çikolata ve Türevleri	Viskozite (cP)	Verim (%)	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
Chocofun	4,250	1.73	29.5
Maxbar	28,250	91.4	28.0
Biscolata Stix	20,750	65.7	30.5
Kokolin Sade Hamur	18,500	60.7	40.0
Gofresh Kaplama	28,500	95.7	40.0

4. DENEYSSEL SONUÇLAR

Tasarlanan ekstruder sisteminin kullanıldığı yazdırma deneyleri lokum ve çikolata malzemeleri için gerçekleştirilmiştir. Şekil 9’da lokum, Şekil 10’da çikolata malzemenin yazdırılması ile elde edilen ürünler gösterilmiştir.



Şekil 9. Yazdırılan lokum ürünleri.



Şekil 10. Yazdırılan çikolata ürünleri.

3 boyutlu yazıcıda yazdırılan lokum ve çikolata ürünlerinde farklı yazdırma parametreleri ve sıcaklık değerleri denenmiştir. Yarı viskoz özelliğe sahip lokum ve çikolata için en uygun baskı parametreleri için; baskı hızı 50 mm /dk, baskı sıcaklığı 40°C, katman yüksekliği 1 mm ve akış hızı %20 olarak belirlenmiştir. Ürünler, bu baskı parametreleri kullanılarak yazdırılmıştır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, gıdaların 3 boyutlu yazıcıda yazdırılması üzerine çalışılmıştır. Özellikle günlük hayatta renk ve çeşitlilik bakımından geniş bir yelpazeye sahip çikolata ve lokum ürünlerinin üç boyutlu yazıcı ile yazdırılması ve bu ürünlerin yazdırılmasında kullanılmak için ekstrüder tasarımı incelenmiştir. Sonuç olarak itici ve döner mekanizmaya sahip ekstrüder sisteminin viskoz gıda üretiminde kullanılabilirliği ve 3 boyutlu yazıcıların gıda üretiminde kullanışlı bir teknoloji olduğu görülmüştür.

Gıda ürünlerinin reolojik özelliklerinden dolayı baskı öncesinde ve sonrasında muhtemel sorunlarla karşılaşabilmektedir. Baskı sırasında üründe çökme ya da yığılma oluşumu, ekstrüder içerisinde ürünün donması nedeniyle ekstrüder ucunda tıkanma, doğru baskı hızının ayarlanamaması, zemin tutuş sorunu, gıda yüzeyinde oluşabilecek belirgin gözenekler gibi sorunlar en yaygın olan problemlerdir. Meydana gelebilecek sorunların önüne geçebilmek için, baskı parametrelerinin yani baskı için gerekli sıcaklık, viskozite, basınç, partikül büyüklüğü, reolojik özellikleri doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Buna ilave olarak, gıdalarda tasarım kolaylığını sağlayabilmek için mevcut ürün reçetelerinde de değişikliklerin yapılabilmesi ve baskıya uygun yeni gıda reçetelerinin oluşturulabilmesi de mümkündür.

KAYNAKLAR

1. Dünya Gıda, “Gıda sektöründe üç boyutlu yazıcıların kullanım olanakları”, Erişim Tarihi: Aralık 2018, <http://www.dunyagida.com.tr/kose-yazisi/gida-sektorunde-uc-boyutlu-yazicilarin-kullanim-olanaklari/5590>
2. Atölye Vizyon, “3 boyutlu tasarım ve yazıcılar”, Erişim Tarihi: Aralık 2018, <https://www.atolyevizyon.com/3-boyutlu-yazicilar/>
3. J. Sun, Z. Peng, W. Zhou, J. Y.H.Fuh, G. S. Hong, A. Chiu, “ A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication,” ,Procedia Manufacturing, Volume 1, Pages 308–319,2015.
4. Lipton, J, Arnold, D & Nigl, F. Multi-material food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing, Solid Freeform Fabrication Symposium, 2010, USA, Austin TX.
5. Van, Bommel K & Spicer, A. Hail the snail: hegemonic struggles in the slow food movement. Organization Studies, 2011, 32(12), 1717-1744.
6. Bollini, M., Barry, J. & Rus, D. (2011). Bakebot: baking cookies with the PR2, In: The PR2 workshop: challenges and lessons learned in advancing robots with a common platform, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 25–30 September 2011, San Francisco, USA.
7. Beetz, M., Klank, U., & Kresse, I. (2011). Robotic roommates making pancakes, In: Proceedings of 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 26 Oct–28 Oct 2011, Bled, Slovenia
8. Kirchmayer, D.M., Gorkin Iii, R., In Het Panhuis, M., 2015. An overview of the suitability of hydrogel-forming polymers for extrusion-based 3D-printing. J. Mater. Chem. B 3 (20), 4105e4117.
9. J. I. Lipton, M. Cutler, F. Nigl, D. Cohen and H. Lipson, “Additive manufacturing for the food industry,”Trends in Food Science & Technology 43, 114-123,2015.
10. Wall Street International Science & Technology, “To eat, at the press of a button”, Erişim Tarihi: Aralık 2018, <https://wsimag.com/science-and-technology/43923-to-eat-at-the-press-of-a-button>
11. F. C. Godoi, S. Prakash, B. R. Bhandari, “3-d printing technologies applied for food design: Status and prospects,” Journal of Food Engineering, 179, 44-54, 2016.

12. Crump, SS. Fast, Precise, Safe Prototypes with FDM. In: ASME Annual Winter Conference, 1991, 50, 53-60, USA: Atlanta.
13. Cohen, DL, Jeffrey, IL, Cutler, M, Coulter, D, Vesco, A &Lipson, H. Hydrocolloid Printing: A Novel Platform for Customized Food Production. In Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, 2009, USA, Austin, TX
14. Hao, L, Mellor, S, Seaman, O, Henderson J, Sewell N, Sloan and Material, M. Characterization and process development for chocolate additive layer manufacturing. Virtual and Physical Prototyping 2010, 5:57-64.
15. Walters, P, Huson, D, Southerland, D. Edible 3D Printing, In proceeding of 27th International Conference on Digital Printing Technologies , 2011, USA, Minnesota.
16. C. Değerli, S. N. El, “Üç Boyutlu (3D) Yazıcı Teknolojisi ile Gıda Üretimine Genel Bakış,”Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknolojisi Dergisi, 5(6):593-599,2017.
17. EMR Grup, “Lokum Çeşitleri”, Erişim Tarihi: Aralık 2018, <http://www.emrgrup.net/tr/urunlerimiz/gida/3/>