



Öğretmen Adaylarının Fen Bilimleri Eğitiminde Sanal Tasarım ve Üç Boyutlu Yazıcı Entegrasyonunun İncelenmesi*

Adem Koç¹, Mutlu Nisa Ünal²

Özet

Fen bilimleri içeriğinde soyut kavramların oldukça yoğun olduğu bir öğrenme alanıdır. Konu ve kavramlara göre somutlaştırma işlemleri geleneksel laboratuvar ve fiziksel tasarım atölyelerinde gerçekleştirilebilse de, bu her zaman mümkün olamamakta ya da daha zor olabilmektedir. Bu sorunların üstesinden gelebilmek ve öğrenmede somutlaştırmanın önemine vurgu yapmak için, bu çalışma fen bilgisi öğretmen adaylarının katılımı ile soyut kavramların çoğunlukta olduğu Biyoloji III dersi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Haftalık olarak ikişer ders saati şeklinde mühendislik tasarım süreci aşamalarına ve proje tabanlı öğrenme yöntemine göre gerçekleştirilen bu uygulamada üç boyutlu tasarım programı olan Tinkercad programı ve üç boyutlu yazıcı kullanılmıştır. Uygulama süreci başında öğretmen adayları araştırmacılar tarafından ayrıntılı olarak bilgilendirilerek sanal ortamda tasarıma ilişkin çalışma yaprakları sunulmuştur. Haftalık belirlenen plan çerçevesinde uygulamalar biyoloji ve bilgisayar laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. 3-5'er kişilik gruplar halinde çalışan öğretmen adayları seçtikleri konuda gerçekleştirdikleri bireysel tasarımlarından sonra bir tasarıma karar verip, onu nihai tasarım olarak geliştirmişlerdir. Süreç sonunda her bir grubun nihai tasarımı üç boyutlu yazıcıda bastırılmış ve her gruptan gönüllü birer öğretmen adayı ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda elde edilen tema ve kodlar tablolastırılarak sunulmuştur. Öğretmen adaylarının sürece ilişkin olumlu görüş belirttikleri, bu tür uygulamaların sayısının artması gerektiği ve diğer konu alanlarında da benzer uygulamaların gerçekleştirilebileceği yönünde görüş belirttikleri görülmüştür.

Makale Bilgileri

Araştırma
Makalesi

Gönderim Tarihi

08/04/2023

Kabul Tarihi

09/01/2024

Yayın Tarihi

23/09/2024

Anahtar Kelimeler

Sanal tasarım,
3D yazıcı,
STEM eğitimi,
Proje tabanlı
öğrenme, Fen
bilgisi öğretmen
adayları

* Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından "2021-1-AP2-4365" numaralı proje ile desteklenmiştir.

1 Arş. Gör., Mersin Üniversitesi, 0000-0002-2721-3781, ademkoc@mersin.edu.tr

2 Prof. Dr., Mersin Üniversitesi, 0000-0001-6124-4576, mutlunisa@mersin.edu.tr

Atıf:

Koç, A. ve Ünal², M. N. (2023). Öğretmen adaylarının fen bilimleri eğitiminde sanal tasarım ve üç boyutlu yazıcı entegrasyonunun incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi [PAÜEFD]*, 62, 72-100. <https://doi.org/10.9779/pauefd.1279635>

Giriş

Fen, teknoloji, mühendislik ve matematik alanları, ABD başta olmak üzere yaklaşık son 60 yıldır ülkelerin ekonomik büyümesinin başlıca itici gücü olarak görülmektedir (Casey, 2012; Özçakır-Sümen ve Çalışıcı, 2019). Günlük yaşantımızın temel parçalarını oluşturan ve kısaca STEM olarak ifade edilen bu alanlar, beşeri bilimlerin en acil ihtiyaçlarını geliştirmek için oldukça önemlidir (Novak ve Wisdom, 2018; Trust ve Kommers, 2017; Verner ve Merksamer 2015). STEM eğitimi günlük yaşam bağlamında problem çözme sürecinde fen, teknoloji, mühendislik ve matematik alanlarının entegrasyonu olarak tanımlanabilmektedir. Fakat bu tanımın oldukça belirsiz olduğu ifade edilmektedir (English, 2016; Kelley ve Knowles 2016; Mobley 2015). Bu nedenle, entegrasyon kavramının niteliğini belirtmek için çoklu uygulama çerçeveleri kullanılmaktadır (Bell, 2016; Gardner ve Tillotson, 2019; Huri ve Karpudewan, 2019). Bu bağlamda ifade edilen entegre STEM eğitimi ise, bireylerin gerçek dünya problemlerinin çözümünde teknolojiyi keşfetmek için mühendislik tasarım sürecini düşünerek temel fen ve matematiksel bilgilerini kullanma olanağı sağlandığında gerçekleşmektedir (Moore ve diğerleri, 2014). Entegre STEM eğitimi okullarda uygulanmakta olan öğretim programlarının yapısına çok uygun olmadığı için, eğitim sürecinin amacına uygun olarak, öğretim programlarında yer alan fen ve matematik alanlarına teknoloji ve mühendislik uygulamaları dâhil edilerek gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır (Bybee, 2010). Bu durumda önemli olan nokta, entegre STEM eğitimi uygulama çerçevesi ile de uyumlu olarak fen ve matematiğin tanım, içerik ve uygulamalarına teknoloji ve mühendisliğin opsiyonel olarak değil temel bir bileşen olarak entegre edilebilmesi olarak ifade edilmektedir (National Research Council [NRC], 2010). Ayrıca ifade edilen entegrasyon kavramı bireylerin teknolojik okuryazarlıklarının da gelişimine katkı sağlayacak olan mühendislik tasarım sürecinin öğretime dahil edilerek fen, matematik ve diğer içerik alanlarında kullanılmasına vurgu yapmaktadır (Özçakır-Sümen ve Çalışıcı, 2019). Bu bağlamda bakıldığında entegre STEM eğitimi, bireylerin 21. yüzyıl becerileri olarak ifade edilen temel yeterliklere hazırlanmaları, karşılaştıkları problemlere disiplinler arası bakış açısı ile çözüm önerileri geliştirebilmeleri ve her öğretim kademesindeki öğrenciler için fen, teknoloji, mühendislik ve matematik alanlarında nitelikli bireyler olarak yetişmelerine olanak sağlaması açısından önemlidir (Meyrick, 2011).

STEM eğitiminde yer alan dört alanın entegre bir şekilde uygulanabilmesinin de geleneksel öğretim yaklaşımları ile çok mümkün olmadığı görülmektedir. Bunun yerine entegre STEM eğitimi uygulamalarında gerçek hayatta karşılaşılan problemler üzerine araştırma ve sorgulamaya dayalı proje tabanlı öğrenme (PTÖ) yöntemi gibi yaklaşımların daha uygun olduğu belirtilmektedir (Breiner ve

diğerleri, 2012). Disiplinler arası bir yaklaşım olarak ifade edilen PTÖ, ders dışı ya da ders içi konularla ilgili olmasına bakılmaksızın farklı disiplinlerle ilişkili olarak ele alınmalıdır (Doğanay ve Tok, 2012). Çok disiplinli bir yapıya sahip olan STEM eğitiminde de PTÖ yaklaşımı özellikle 21. yüzyıl ile birlikte büyük kabul görmüş ve günümüzde STEM eğitiminin önemli bir bileşeni haline gelmiştir (Egenrieder, 2007). PTÖ, öğrencilerin soruları keşfettikleri, hipotezleri formüle edip açıkladıkları, fikirleri tartıştıkları, yeni fikirler sundukları, gerçek yaşam problemleriyle uğraştıkları ve aktif olarak kendi anlayışlarını oluşturdukları bir sınıf ortamını ifade etmektedir (Krajcik ve Blumenfeld, 2006). PTÖ'de, öğrenciler günlük hayattan ya da ders konularından bir ilgi alanı seçerler ve mümkün olduğu kadar çok farklı bilgi türünü kullanarak, öğrendiklerini gerçek dünya ürünü oluşturmak için kullanarak araştırma sürecinde işbirliği içerisinde çalışırlar (Diffily, 2002). Belirlenen hedefe yönelik işbirliği içerisinde çalışan öğrenciler aynı zamanda kendi öğrenmelerini yapılandırır, yönlendirir, yaratıcılıklarını geliştirir ve sorunları işbirliği içerisinde çözerler. Bu yönüyle PTÖ, günlük hayatın gerçek öğrenme ortamına taşınmasının yanında öğrencilerin duygusal ve sosyal gelişimleriyle birlikte akademik başarılarını da destekleyen teknoloji tabanlı bir öğrenme ortamı sağlamaktadır (Erdem, 2002). İnteraktif bir öğrenme ortamı sunan proje tabanlı öğrenme aynı zamanda öğrencilerin proje konusuna olan ilgilerini geliştirmeleri için birçok fırsat sunarak üzerinde çalışmak istedikleri projenin bölümleri hakkında seçim yapmalarına olanak tanır (Diffily, 2001; 2002).

PTÖ, entegre STEM eğitimi uygulama çerçeveleri ile de uyumlu olarak beş temel özelliği içerir ve süreç, çözülmesi gereken dinamik bir soru ile başlar. Öğrenciler bu temel soruyu sorgulama ve problem çözme sürecine katılarak keşfederler ve soruyu araştırdıkça disiplinindeki temel fikirleri öğrenirler. Öğrenciler, öğretmenler ve grup üyeleri, bu temel soruyu cevaplamak için işbirlikçi çalışmalar gerçekleştirirler. Öğrenciler sorgulama süreçlerinde yetenekleri ölçüsünde öğrenme teknolojilerini kullanırlar ve temel soruya cevap veren somut ürünler oluştururlar (Krajcik ve Blumenfeld, 2006). Yapılandırmacı yaklaşıma dayanan PTÖ yaklaşımına göre düzenlenen STEM eğitiminin, normal sınıf ortamını aktif öğrenme ortamlarına dönüştürebilmek için birçok olanak sunduğu görülmektedir (Connors-Kellgren ve diğerleri, 2016; Krajcik ve diğerleri, 1994). Öyle ki eğitim sistemlerinde bu yaklaşımı tam anlamıyla özümsemiş olan ülkeler PISA ve TIMSS gibi uluslararası değerlendirme sınavlarında ilk sıralarda yer almaktadırlar (Tarhan ve Gülmez, 2021). Bu duruma bir kanıt olarak da ifade edilen uluslararası sınavlarda ilk sıralarda yer alan Japonya'nın araştırma sorgulamaya dayalı STEM eğitimi alanındaki zorunlu ders saatlerini azaltmasıyla bu sınavlardaki başarı sıralamasının gerilemesi gösterilebilmektedir (Marginson ve diğerleri, 2013). Fakat birçok avantaja sahip olan bu entegrasyon sürecinin başarıya ulaşabilmesi öğretmenin öğrencileri öğrenme

sürecine etkili bir şekilde motive etme ve yönlendirme becerisine (Kokotsaki ve diğerleri, 2016) ve ayrıca öğretmenin PTÖ yaklaşımının temel kriterlerini anlamasına bağlıdır (Han ve diğerleri, 2015). Bu nedenle Japonya da sonraki süreçte bu alana ağırlık vererek ilgili alandaki öğretmen niteliğini artırmaya odaklanmıştır (Marginson ve diğerleri, 2013). Ancak bu şartlar sağlandığında PTÖ yaklaşımın öğrencilerin anlamlı öğrenmelerine kayda değer bir katkı sağladığı, bu şartlar uygun bir şekilde yerine getirilmediğinde ise PTÖ yaklaşımın öğrencilerin anlamlı öğrenmelerini olumsuz etkileyebileceği ifade edilmektedir (Han ve diğerleri, 2015; Kingston, 2018). Bu durumda öğretmenlerin bu öğrenme yaklaşımını iyi bir şekilde özümsemiş olmaları gerektiği düşünülmektedir. Bunun içinde öğretmen adaylarının bu öğrenme yaklaşımını etkin bir şekilde uygulayacak niteliklere sahip olarak yetiştirilmesi gerektiği açıktır.

PTÖ yaklaşımı ile birlikte özellikle fen eğitimi alanında sürece diğer disiplinleri de entegre ederek bütünlük bir STEM eğitimini başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmek için Yeni K-12 Fen Eğitimi Standartları için Kavramsal Çerçeve Komitesi (The Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards) tarafından K-12 fen eğitime yönelik bir çerçeve oluşturulmuştur (NRC, 2012). Komitenin hazırlamış olduğu çerçeveye göre öğrenciler, özellikle mühendislik tasarım süreci yoluyla fenin nasıl kullanıldığını öğrenmeli ve mühendislik, teknoloji ve fen uygulamaları arasındaki ayrımları ve ilişkileri açıklayabilmelidir (NRC, 2012). Komite ayrıca K-12 müfredatlarında yer alan yeni teknoloji ve mühendislik uygulamalarına yönelik de standartlar geliştirmiştir. Fakat yeni gelişen teknoloji ve mühendislik uygulamalarının fen ve matematik disiplinleri ile bütünleştirilip başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için gerekli niteliklere sahip fen eğitimcileri yetiştirmek, öğretmen hazırlama programlarının en büyük sorunlarından biri olmaya devam etmektedir (Jaipal-Jamani ve Angeli, 2017). Bu bağlamda, gelişen teknoloji ile birlikte STEM eğitiminde gün geçtikçe daha çok yer almaya başlayan mühendislik tasarım süreci odaklı üç boyutlu (3D) yazdırma teknolojisinin aynı zamanda Framework for K-12 Science Education (K-12 fen eğitimi çerçevesi) ile de doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir (Quinn ve Bell, 2013).

Bilgisayar tabanlı dijital yazılımlar kullanarak tabakalı bir şekilde fiziksel modelin üretilmesini sağlayan 3D yazıcılar (Horejsi, 2014), üretim sürecinde sarf malzeme olarak farklı özelliklerde olabilen filament ya da toz, seramik, reçine gibi maddeleri kullanmaktadır (Şen ve diğerleri, 2020). Bilgisayar destekli tasarım ile birlikte 3D yazıcı destekli öğretim süreci bu teknolojilerin ortaya çıktığı ilk zamanlar oldukça maliyetli olarak görülmekle birlikte bu teknolojilerin gelişmesi ve çeşitlenmesi ile birlikte günümüzde maliyet açısından makul seviyelere düşmüş ve kullanımı yaygınlaşmıştır (Scalfani ve Sahib, 2013). Öyle ki 3D yazdırma

teknolojisi çok farklı disiplin alanlarında öğretim sürecinde kendine yer bulmuş fakat bu uygulamaların çok daha geliştirilerek yaygınlaşması gerektiği ifade edilmektedir (Ford ve Minshall, 2020). Çünkü öğrencilerin teknoloji ile etkileşimleri onların aynı zamanda 3D yazdırma teknolojisi ve STEM uygulamaları aracılığıyla tasarladıkları ürünlerin değerini fark etmelerine yardımcı olmaktadır. Bu durumda öğrencilerin, aynı anda tüm STEM alanlarını bütüncül olarak kullanmaya da doğrudan olanak sağlayan, 3D yazıcı teknolojisi ve benzer diğer modern üretim araçlarını kullanma becerilerinin gelişimine katkı sağlamaktadır (Şen ve diğerleri, 2020). Bu nedenle K-12 öğretim programları ile de uyumlu olan ve aynı zamanda entegre STEM eğitimi uygulamalarının da merkezinde yer aldığı görülen üç boyutlu yazdırma teknolojisinin öğretim sürecinde daha etkin bir şekilde kullanılması gerektiği düşünülmektedir. İfade edilen teknolojinin süreçte amacına uygun bir şekilde kullanılabilmesi ve PTÖ yaklaşımı odağında mühendisliğin STEM eğitimi ile bütüncül bir şekilde uygulanabilmesi için de bu teknolojilerin hizmet öncesi ya da hizmet içi öğretmen eğitimine etkin bir şekilde entegre edilmesi gerekmektedir (NRC, 2009). Literatür incelendiğinde üç boyutlu yazıcıların STEM eğitimi bağlamında kullanımına yönelik sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Web of Science veri tabanında '3D Printing' ve 'STEM Education' anahtar kavramları konu bazında ve eğitim-eğitim araştırmaları bağlamında tarandığında toplam 15 tane bilimsel makale çalışması yayınlandığı görülmektedir. Bu çalışmalardan da yalnızca Novak ve Wisdom (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın öğretmen adaylarına yönelik olduğu görülmektedir. Çalışma incelediğinde de çalışma grubunun sınıf öğretmeni adaylarından oluştuğu görülmektedir. Dolayısıyla ilgili veri tabanında fen bilgisi öğretmen adaylarının katılımıyla gerçekleştirilen benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürdeki bu boşluğa katkı sağlamak için gerçekleştirilen çalışma, K-12 Fen Eğitimi Çerçevesi (Quinn ve Bell, 2013) ile de doğrudan uyumlu olan sanal tasarım ve 3D baskı teknolojisinin fen bilgisi öğretmen eğitimine entegrasyonuna yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Sanal tasarım ve 3D baskı, STEM eğitiminde yer alan farklı disiplinlerin kesişim noktalarına odaklanarak bu disiplinler arasındaki bağlantıları daha açık hale getirmektedir (Novak ve Wisdom, 2018). Sanal tasarım ve 3D baskının bu avantajından daha çok yararlanabilmek için çalışma soyut kavramların ağırlıklı olduğu bir öğrenme alanı olan Biyoloji III dersi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla Biyoloji III dersi öğretmen adaylarına bu soyut kavramları somutlaştırma fırsatı sunmak amacıyla tercih edilmiş ve bu çerçevede öğretmen adaylarının sanal ortamda tasarladıkları kavramları 3D yazıcılar ile somut tasarımlara dönüştürme süreci ve bu sürece yönelik görüşleri incelenmiştir. Bu şekilde gerçekleştirilen uygulamaların, öğretmen adaylarına bu teknolojileri kullanma becerilerini

geliştirmesinin yanında, ders içeriğinde yer alan kavramların somutlaştırılarak anlamlı öğrenmelerine de katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Novak ve Wisdom, 2018).

Yöntem

Araştırmanın Modeli

Öğretmen adayları tarafından sanal ortamda tasarlanarak 3D yazıcılar ile somut tasarımlara dönüştürülme sürecinin incelendiği bu araştırma nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması desenine uygun olarak tasarlanmıştır. Durum çalışması araştırmacının belirli bir zaman periyodunda bir veya birkaç durumu araştırma amacına uygun veri toplama araçları (gözlemler, görüşmeler, görsel-işitseller, dokümanlar, raporlar) ile derinlemesine incelediği, durumların ve buna bağlı temaların tanımlandığı nitel bir araştırma yaklaşımıdır (Creswell, 2007). Araştırmada incelenen durum; öğretmen adaylarının sanal ortamda oluşturdukları 3D yazıcılar ile somut tasarımlara dönüştürülme sürecidir.

Çalışma Grubu

Bu araştırmanın çalışma grubunu 2021-2022 eğitim öğretim yılı bahar döneminde bir devlet üniversitesinin fen bilgisi öğretmenliği ikinci sınıf düzeyinde öğrenim gören ve ilgili dersi alan 41 öğretmen adayı oluşturmaktadır. Öğretmen adayları Tinkercad programını daha önce kullanmamışlar ve 3D yazıcılardan ilk kez bu uygulamayla tasarım oluşturmuşlardır. Çalışma süreci sonunda, toplamda 9 farklı grupta çalışmalarını gerçekleştiren öğretmen adayları arasından rastgele seçilmiş 6 kişi ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Diğer üç öğretmen adayı ile görüşmeler, ortak bir zaman uygunluğu sağlanamadığından gerçekleştirilememiştir. Görüşme katılımcıları seçiminde her bir gruptan bir temsilcinin olmasına ve gönüllülük esasına dikkat edilmiştir.

Çalışmada Kullanılan Ölçme Araçları

Yarı Yapılandırılmış Görüşme Formu

Uygulama sürecinde veriler, araştırmacıların gözlemlerinden elde edilen verilerle birlikte, öğretmen adaylarının gruplar halinde doldurduğu formlarda yer alan kazanım ve bireysel tasarım görselleri ile yarı yapılandırılmış görüşme kayıtlarından elde edilmiştir.

Veri Toplama Süreci

Bu çalışmada bütünlük STEM etkinliği olarak öğretmen adaylarının biyoloji konuları kapsamında yer alan soyut kavramları sanal ortamda modelleyerek 3D yazıcılar ile somut tasarıma dönüştürmeleri şeklinde gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de Yükseköğretim Kurulu tarafından hazırlanarak 2018-2019 eğitim öğretim yılından itibaren uygulamaya

koyulan Fen Bilgisi Öğretmenliği Lisans Öğretim Programı içerisinde yer alan Biyoloji III dersi kapsamında yer alan uygulamalar öncelikle biyoloji laboratuvarında geleneksel laboratuvar uygulamaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ders kapsamında yer alan uygulamaların genellikle fiziksel laboratuvarda uygulanmasının güç olmasından dolayı öğretmen adayları mitoz bölünme evreleri ve DNA yapısının gözlenmesi gibi deneylerde görüntü elde etmekte zorlanmışlardır. Buradan hareketle araştırmanın problem durumu; öğretmen adaylarına öğretmen olduklarında böyle bir durum ile karşılaşmaları durumunda sorunu nasıl bir yol ile aşabilecekleri sorusu çerçevesinde oluşturulmuştur. Bu duruma alternatif bir çözüm yolu olarak sanal ortamda bu kavramlara ilişkin özgün tasarımların geliştirilerek, geliştirilen tasarımların da 3D yazıcılar ile somut birer modele dönüştürülebileceği açıklanmıştır.

Çalışma grubunu oluşturan öğretmen adayları ile çalışmalar dersin iki saatlik uygulama bölümünde üniversitenin eğitim fakültesinde yer alan biyoloji ve bilgisayar laboratuvarlarında dönüşümlü olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama sürecine ilişkin haftalık olarak gerçekleştirilen uygulamalar Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1

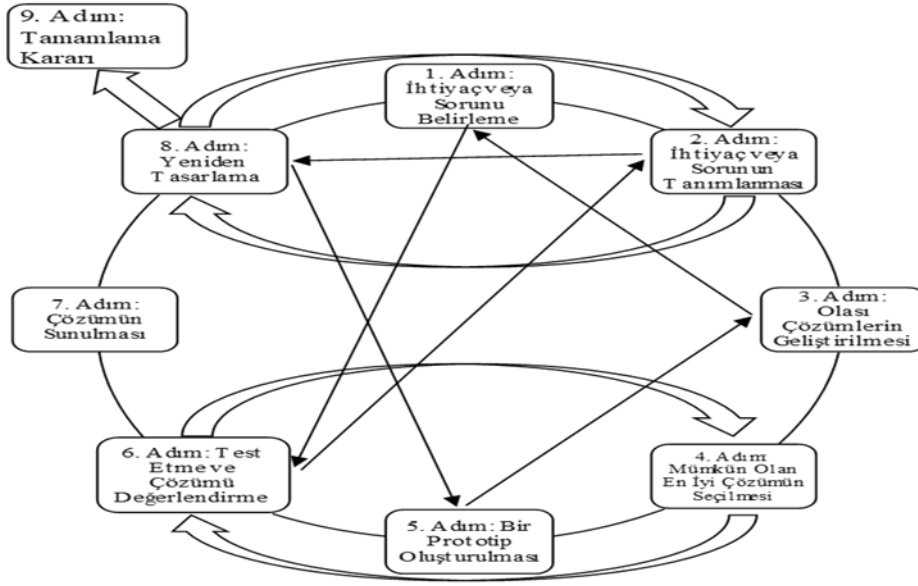
Uygulama Sürecine İlişkin Haftalık Olarak Gerçekleştirilen Uygulamalar

Hafta	Uygulama	Uygulama Yeri
1	Araştırmacılar tarafından uygulama sürecine yönelik genel bilgilendirme yapılması.	Derslik
2	Araştırmacılar tarafından uygulama süreci, proje tabanlı öğrenme ve Tinkercad hakkında detaylı sunumun yapılması	Bilgisayar Lab.
3-4	Öğretmen adayları ile araştırmacılar eşliğinde Tinkercad programında eş zamanlı tasarımların yapılması.	Bilgisayar Lab.
5	Serbest zaman çalışmaları için araştırmacılar tarafından hazırlanan Tinkercad çalışma yapraklarının öğretmen adayları ile paylaşılması.	Biyoloji Lab.
6	Soğan kökünde mitoz hücre bölünmesi deneyinin yapılması.	Biyoloji Lab.
7	Öğretmen adaylarının Tinkercad programı kullanma becerilerinin geliştirilmesi için araştırmacılar eşliğinde eş zamanlı tasarımların yapılması.	Bilgisayar Lab.
8	DNA izolasyonu deneyinin yapılması. Proje tabanlı öğrenme yöntemine göre en fazla 5 kişilik grupların oluşturularak ders içeriğine göre konu seçiminin gerçekleştirilmesi.	Biyoloji Lab.
9	Dönem ara sınavları.	-
9	Öğretmen adaylarının oluşturdukları grupları ve grup olarak seçtikleri konuları ifade etmeleri.	Bilgisayar Lab.

	Öğretmen adaylarının Tinkercad programı kullanma becerilerinin geliştirilmesi için araştırmacılar eşliğinde eş zamanlı tasarımların yapılması.	
10-11	Öğretmen adaylarının belirledikleri konularda bireysel tasarımlarını Tinkercad programında - gerçekleştirmeleri.	
12	Bireysel tasarımların incelenerek grup olarak bir tasarımın belirlenmesi. Karar verilen tasarımın nihai tasarım olarak geliştirilmesine yönelik önerilerin ifade edilmesi.	Bilgisayar Lab.
13	Karar verilen nihai tasarımların grup olarak işbirliği içerisinde geliştirilmesi. .stl uzantılı olarak indirilen nihai tasarımlardan birinin 3 boyutlu yazıcıda yazdırılması.	Bilgisayar Lab.
14	Araştırmacılar tarafından her gruptan seçilen birer gönüllü temsilci ile uygulama süreci ve 3 boyutlu yazıcıların fen eğitiminde kullanımına ilişkin yarı yapılandırılmış görüşmelerin gerçekleştirilmesi.	Ofis

Tablo 1'e göre dönemin başladığı ilk hafta öğretmen adaylarına ders ve süreç hakkında genel bilgilendirme yapılarak, öğretmen adaylarının dersin konu kapsamı, hedef, kazanım ve süreçte uygulanacak ölçme değerlendirme yöntemlerinden haberdar olmaları sağlanmıştır. Dersin iki saatlik teorik bölümünde dönem boyunca dersler işlenmeye devam etmiştir. Uygulama bölümünde ilk haftadan sonraki üç haftalık, yani toplamda altı saatlik, uygulama bilgisayar laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve bu süreçte öğretmen adaylarına uygulama süreci hakkında detaylı bilgilendirme yapılmıştır. Kullanılacak sanal tasarım programına kayıt olunarak bir tasarımın başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesine yönelik detaylı adımların yer aldığı çalışma yaprakları hazırlanarak öğretmen adayları ile paylaşılmıştır. PTÖ yöntemi ve Tinkercad programı hakkında bilgilendirilen öğretmen adaylarından en fazla beşer kişilik çalışma grupları oluşturmaları istenmiştir. Öğretmen adaylarının Tinkercad programını öğrenme sürecinde araştırmacı ile birlikte eş zamanlı tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Ardından dönemin beşinci haftasında biyoloji laboratuvarında "soğan kökünde mitoz hücre bölünmesi" deneyi gerçekleştirilmiş ve öğretmen adaylarının çoğu burada mikroskop altında ya net görüntü elde edememiş ya da elde ettikleri görüntüleri netleştirememişlerdir. Buradan yola çıkarak, gerçek bir problem durumu ile karşılaştırılmış olan öğretmen adaylarına "öğretmen olduğunuzda bu deneyi ortaokul düzeyinde yapıp benzer bir durum ile karşılaştığınızda nasıl bir çözüm yolu geliştirdiniz?" sorusu yöneltilmiş ve önceki haftalarda gerçekleştirilen sunumlar anlamlandırılmaya çalışılmıştır. Ardından sürecin altıncı haftası öğretmen adayları ile tekrar bilgisayar laboratuvarında Tinkercad programına yönelik eş zamanlı

uygulamalar gerçekleştirilmiş ve programı kullanma becerilerinin gelişmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Yedinci ve ara sınavlardan önceki son haftada öğretmen adayları ile biyoloji laboratuvarında gerçekleştirilen deneyde “DNA izolasyonu” uygulaması gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Çilek ve muz meyveleri ile gerçekleştirilen uygulamada öğretmen adayları DNA’yı izole etmeyi başarmış fakat mikroskop altında DNA’nın halkasal yapısını görmekte zorlanmışlardır. Buradan hareketle ilk uygulamadan sonraki problemle tekrar karşı karşıya bırakılan öğretmen adaylarına fen bilimleri gibi soyut kavramların çoğunlukta olduğu alanlarda benzer durumlarla sıklıkla karşılaşabilecekleri vurgusu yapılmıştır. Buradan hareketle öğretmen adaylarına Biyoloji III dersi kapsamında yer alan konulardan birini seçmeleri istenmiştir. Karar verdikleri konuyu, grup üyelerinin bilgilerini ve tasarım sürecinde ihtiyaç duyulan fen, teknoloji, mühendislik ve matematik kazanımlarını araştırmacılar tarafından oluşturulan forma yazmaları istenmiştir. Sekizinci hafta dönem ara sınavlarının olmasından dolayı uygulamalara ara verilmiş ardından görüşülen dokuzuncu haftada öğretmen adaylarından grup olarak belirledikleri konuları belirtmeleri istenmiştir. Programa ilişkin kullanım becerilerinin gelişmesine yönelik eş zamanlı tasarım yapılarak sonlandırılan haftadan sonra öğretmen adaylarına belirledikleri konularda bireysel tasarımlarını gerçekleştirmeleri için iki hafta süre verilmiş, iki haftalık süreçte laboratuvar uygulaması gerçekleştirilmemiştir. Süreçte öğretmen adaylarının yaptıkları bireysel tasarımlara ilişkin görüntüleri doldurdukları forma eklemeleri istenmiştir. Ardından 12. haftada bilgisayar laboratuvarında gerçekleştirilen derste grup olarak belirledikleri konuda bireysel olarak gerçekleştirdikleri tasarımlardan birine karar vererek bu kez grup olarak iş birliği içerisinde belirledikleri tasarımı geliştirerek nihai tasarımlarını oluşturmaları istenmiştir. 13. haftada gerçekleştirilen derste çoğu grubun nihai tasarımını oluşturduğu görülmüş, eksiklikleri bulunan gruplar ile birlikte tüm grupların 14. haftaya kadar araştırmacının mail adresine tasarımlarının “.stl” uzantılı dosyalarını ve tasarım sürecine ilişkin kazanım ve bireysel tasarımlarının bulunduğu formu göndermeleri istenmiştir. 14. ve son haftada gerçekleştirilen uygulamada karar verilen bir tasarım üç boyutlu yazıcıda bastırılarak öğretmen adaylarının yazdırma sürecini görmeleri sağlanmıştır. Sürecin ardından farklı gruplardan gönüllü altı öğretmen adayı seçilerek süreç ve fen bilimleri eğitiminde sanal tasarım ve 3D yazıcıların kullanılabilirliği hakkında yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 1*Mühendislik Tasarım Süreci Aşamaları (Hynes ve diğerleri, 2011)*

Öğretmen adayları uygulama sürecini Şekil 1'de gösterilen Hynes vd., (2011) ortaya koyduğu mühendislik tasarım süreci kapsamında gerçekleştirmişlerdir. Literatürde farklı mühendislik tasarım süreci modelleri de (Brunsell, 2012; Moore ve diğerleri, 2014; NRC, 2009; Wendell ve Rogers, 2013) yer almakla birlikte bunların farklı sayıda fakat benzer özelliklere sahip basamaklardan oluştuğu görülmektedir. Tüm mühendislik tasarım süreci modellerinde basamaklar arasında hiyerarşik bir sıra olmayıp, farklı basamaklar arasında hareket esnekliğinin bulunduğu göz önünde bulundurulmalıdır (Guzey ve diğerleri, 2016) Bu araştırma da literatürde en kullanışlı mühendislik tasarım süreci modellerinden biri olması (Mesutoğlu, 2017) ve STEM eğitimi ile ilgili çalışmalarda en çok tercih edilen mühendislik tasarım süreci modellerinden biri olması (Adıgüzel-Ulutaş ve diğerleri, 2023) nedeniyle Hynes vd., (2011) tarafından geliştirilen model tercih edilmiştir. Öğretmen adayları biyoloji laboratuvarında gerçek problem durumları ile karşılaştırılmasının hem mühendislik tasarım süreci hem de PTÖ yaklaşımının felsefesi ile uyumlu olduğu düşünülmektedir. Gerçek bir sorun ile karşılaştırılan öğretmen adayları böylece bu ve benzeri sorunlarla meslek hayatlarında nasıl baş edebileceklerini düşünürken hayal güçlerini kullanmışlar ve bir plan dâhilinde sorunlara çözüm önerileri geliştirmişlerdir. Ardından gruplarda yer alan öğretmen adayları bireysel tasarımlarını geliştirmişler ve geliştirdikleri bireysel tasarımları grup içerisinde tartışarak en iyi buldukları birini seçmişlerdir. Test etme aşaması olarak düşünülebilecek bu aşamadan sonra

öğretmen adayları gruplarında belirledikleri bir tasarımı iş birliği içerisinde çalışıp geliştirerek nihai tasarımlarını oluşturmuşlardır.

Veri Analizi

Öğretmen adaylarının oluşturmuş oldukları form ve tasarımları araştırmacılar tarafından hazırlanan dereceli puanlama anahtarı ile değerlendirilmiştir. Buna göre tasarımın boyutları, görselliği (biçim, kenar ve köşeler, şekil dönüştürme, bakış açısı), işlevselliği ve yaratıcılığı olmak üzere toplam 4 kategori altında yedi alt kategoriden oluşan tasarım değerlendirme dereceli puanlama anahtarına ilişkin tasarımın boyutları kategorisinin örnek maddeleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2

Tasarım Değerlendirme Dereceli Puanlama Anahtarı Örnek Madde

Ölçütler	Geliştirilmeli	Orta	İyi
Tasarımın Boyutları	1. Oran Tasarımda kullanılan şekillerin tamamı, birbiriyle ve tasarımın tamamıyla orantılı gözüküyor. Oranlama yetersiz.	Tasarımda kullanılan şekillerin yarısı, hem birbiriyle hem de bütünlü orantılı gözüküyor. Oranlama kısmen yeterli.	Şekillerin tamamına yakını, hem diğer şekillerle hem de bütünlü orantılı gözüküyor. Oranlama oldukça yeterli.

Tablo 2’de örnek maddesi verilen dereceli puanlama anahtarında yer alan diğer ölçütler bağlamında da öğretmen adaylarının yaptığı tasarımlar değerlendirilmiş ve dereceli puanlama anahtarında yer alan iyi, orta ve geliştirilmeli kategorileri için birer örnek tasarım bulgular bölümünde Tablo 3’te sunulmuştur.

Uygulama süreci sonunda farklı gruplardan altı öğretmen adayı ile görüşmeler araştırmacılar tarafından hazırlanan yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla bireysel olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen görüşmelere ilişkin araştırmacılar tarafından hazırlanan yarı yapılandırılmış görüşme formunda yer alan maddeler şu şekildedir:

1. Tinkercad programını öğrenme sürecinde zorlandınız mı? Zorlandıysanız programın sizi zorlayan yönleri ne oldu? Açıklayabilir misiniz?
2. Tinkercad programı uygulamalarının beğendiğiniz ve beğenmediğiniz yönleri nelerdir? Cevabınızın sebebini açıklayınız.
3. Tinkercad programının ilkökul ve ortaokul öğrencilerinin kullanılabilirliği hakkında ne söylersiniz.
4. Tinkercad programı ve 3 boyutlu yazıcılar ile desteklenmiş öğretme sürecinin öğreticiliği ve uygulanabilirliği hakkında neler söyleyebilirsiniz? (zaman-maliyet-öğreticilik açısından)

5. 3 boyutlu yazıcıların ülkemizde Fen Bilimleri dersindeki konularının öğretim sürecinde kullanılabilirliği hakkında bir öğretmen adayı olarak ne düşünüyorsunuz?

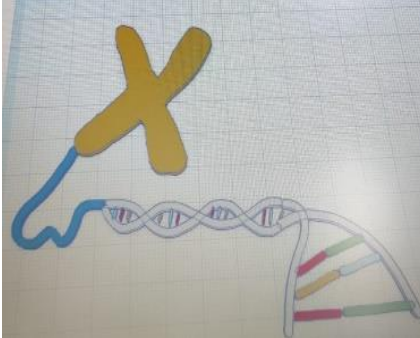

6. Okullarda bilgisayar ve 3 boyutlu yazıcı bulunmalı mı? Bu konuda ne düşünüyorsunuz?

İfade edilen sorular ve görüşme esnasında görüşmenin akışına göre sorulan sonda sorularıyla gerçekleştirilen görüşmeler esnasında öğretmen adayının onayıyla ses kaydı alınmış, sonrasında ses kayıtları transkript edilerek içerik analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonucu elde edilen bulgularda görüşmeye katılan öğretmen adayları ÖA1, ÖA2,...,ÖA6 şeklinde kodlanmış, doğrudan yapılan alıntılarda bu kodlar kullanılmıştır.

Bulgular

Öğretmen adayları oluşturdukları gruplarda Biyoloji III dersi kapsamında belirledikleri konularda Tinkercad programında bireysel tasarımlarını yapmışlardır. Ardından araştırmacılar tarafından hazırlanan PTÖ tasarım formunda konu ve tasarım süreci ile ilgili fen, teknoloji, mühendislik ve matematik alanları ile ilişkili olduğunu düşündükleri kazanımları ve bireysel tasarımlarına yönelik ekran görüntülerini eklemişlerdir. Ardından grup içerisinde bireysel tasarımlardan birine karar vererek nihai tasarım olarak geliştirmişlerdir. Belirlenen bir tasarım uygulamaların gerçekleştirildiği bilgisayar laboratuvarında 3 boyutlu yazıcıda yazdırılarak öğretmen adaylarının yazdırma sürecini görmeleri sağlanmıştır. Diğer 7 grubun nihai tasarımları süreç sonunda araştırmacıların ofisinde yazdırılmıştır. Süreçte tüm grupların nihai tasarımlarının çıktısı alındıktan sonra tasarımlar araştırmacılar tarafından hazırlanan dereceli puanlama anahtarı yardımıyla puanlanmıştır. Belirlenen dört ölçüt ve alt ölçütlerle birlikte toplamda yedi ölçütte değerlendirilen tasarımlar niteliğine göre iyi, orta ve geliştirilmeli şeklinde değerlendirilmiştir. Bu bağlamda her nitelik için birer örnek Tablo 3'te sunulmuş ve gerekli açıklamalar tablonun altında ifade edilmiştir.

Tablo 3*Değerlendirilen Tasarım Örnekleri*

Sıra	Tinkercad Görüntüsü	Tasarım			Nitelik
		3D	Yazıcı	Baskısı	
1					İyi
2					Orta
3					Geliştirilmeli

Tablo 3 incelendiğinde boyut, görsellik, işlevsellik ve yaratıcılık ölçütleri ile görsellik ölçütü altında geometrik şekiller, kenar ve köşeler, şekilleri dönüştürme, bakış açısı alt ölçütlerinde incelenen tasarımların niteliğine göre iyi, orta ve geliştirilmeli şeklinde değerlendirildiği görülmektedir. Buna göre ilgili kategorilerde niteliksel olarak iyi şeklinde değerlendirilen tasarım incelendiğinde boyut ölçütünde oransal olarak tasarımda kullanılan şekillerin tamamına yakınının, hem diğer şekillerle hem de bütünle orantılı olduğu ve tasarım genelinde oranlamanın oldukça yeterli olduğu görülmektedir. Görsellik ölçütünde geometrik şekiller alt ölçütü bağlamında değerlendirildiğinde

tasarımda 6'dan fazla çeşitte geometrik şekillerin mevcut olduğu görülmektedir. Bu ölçüt altındaki diğer bir alt ölçüt olan kenar ve köşeler alt ölçütüne göre değerlendirildiğinde tasarımda birbirine temas eden şekillerin tüm kenar ve köşelerin birbirleriyle düzenli ve hizalanmış şekilde konumlandırıldığı görülmektedir. Dönüştürme alt ölçütünde bakıldığında tasarımı oluşturan şekillerin hemen hemen hepsinde boyutsal, eksiltmeli ve eklemeli dönüştürme yapıldığı, gruplandırmaların oldukça yeterli olduğu görülmektedir. Aynı ana ölçütte yer alan son alt ölçüt olan bakış açısı alt ölçütüne göre de tasarımın üç boyutlu yapısının hangi açıdan bakılırsa bakılsın düzgün olduğu görülmektedir. Tasarım işlevsellik ölçütüne göre ele alındığında uygun bir şekilde çalışma alt ölçütünde incelendiğinde tasarımın işlevsel olması gereken bölümlerinin, tamamen ölçütlere uygun ve çalışacak şekilde tasarlandığı ve tam işlevsel olduğu değerlendirilmiştir. Bu yönüyle tasarımın oluşturulma amacına uygun bir şekilde hizmet edeceği söylenebilir. Son ölçüt olan yaratıcılık ölçütü yenilik alt ölçütüne göre değerlendirilen tasarım yenilikçi bir özellik ya da işlev açısından oldukça yaratıcı bir tasarım şeklinde değerlendirilmiştir.

Niteliksel olarak orta şekilde değerlendirilen tasarım incelendiğinde boyut ölçütünde oransal olarak tasarımda yer alan bazı şekillerin hem diğer şekillerle hem de bütünle orantılı görünmediği bu nedenle oranlamanın kısmen yeterli olduğu şeklinde değerlendirildiği görülmektedir. Görsellik ölçütünde geometrik şekiller alt ölçütü bağlamında değerlendirildiğinde tasarımda geometrik şekillerde kısmen bir çeşitlilik sağlandığı, 3 ile 5 çeşit şekil kullanıldığı görülmektedir. Bu ölçüt altındaki diğer bir alt ölçüt olan kenar ve köşeler alt ölçütüne göre değerlendirildiğinde tasarımda birbirine temas eden şekillerden bazılarında kenar ve köşelerin düzenli olmadığı veya girinti, çıkıntılar oluşturan hizalama problemlerinin olduğu görülmektedir. Dönüştürme alt ölçütünde bakıldığında tasarımı oluşturan şekillerin yaklaşık yarısında boyutsal, eksiltmeli ve eklemeli dönüştürme yapıldığı, gruplandırmaların yeterli olduğu değerlendirilmiştir. Aynı ana ölçütte yer alan son alt ölçüt olan bakış açısı alt ölçütüne göre de tasarımın üç boyutlu yapısının farklı açılardan bakıldığında kısmen düzgün görüldüğü değerlendirilmiştir. Tasarım işlevsellik ölçütüne göre ele alındığında uygun bir şekilde çalışma alt ölçütünde incelendiğinde tasarımın işlevsel olması gereken bölümlerinin, kısmen ölçütlere uygun ve çalışacak şekilde tasarlandığı görülmüş ve yarı işlevsel olarak değerlendirilmiştir. Bu yönüyle tasarımın oluşturulma amacına kısmen uygun bir şekilde hizmet edeceği söylenebilir. Son ölçüt olan yaratıcılık ölçütü yenilik alt ölçütüne göre değerlendirilen tasarımda yenilikçi bir özellik ya da işlevin kısmen bulunduğu, buna rağmen yine de yaratıcı bir tasarım olarak değerlendirilebileceği görülmektedir.

Niteliksel olarak geliştirilmeli şeklinde değerlendirilen tasarım incelendiğinde ise boyut ölçütünde oransal olarak tasarımda sadece birkaç şekil, hem diğer şekillerle hem de bütünle orantılı gözükmediği, oranlamanın yetersiz olduğu görülmektedir. Görsellik ölçütünde geometrik şekiller alt ölçütü bağlamında değerlendirildiğinde tasarımda kullanılan geometrik şekillerde çeşitliliğin çok az olduğu, çoğunlukla aynı geometrik şekillerin tekrar tekrar kullanıldığı görülmektedir. Bu ölçüt altındaki diğer bir alt ölçüt olan kenar ve köşeler alt ölçütüne göre değerlendirildiğinde birbirine temas eden şekillerin kenar ve köşelerinde düzensizlikler veya birbirine göre hizalama problemleri olduğu değerlendirilmiştir. Dönüştürme alt ölçütünde bakıldığında tasarımı oluşturan şekillerin bir kaçında boyutsal, eksiltmeli ve eklemeli dönüştürme yapıldığı, gruplandırmaların yetersiz olduğu görülmektedir. Aynı ana ölçütte yer alan son alt ölçüt olan bakış açısı alt ölçütüne göre de tasarımın üç boyutlu yapısının tek bir açıdan bakıldığında düzgün olduğu, farklı bakış açılarında bozulmalar olduğu görülmektedir. Tasarım işlevsellik ölçütüne göre ele alındığında uygun bir şekilde çalışma alt ölçütünde incelendiğinde tasarımın işlevsel olması gereken bölümlerinin ölçütlere uygun ve çalışacak şekilde tasarlanmadığı, işlevsel olmadığı değerlendirilmiştir. Bu yönüyle tasarımın oluşturulma amacına uygun bir şekilde hizmet edemeyeceği söylenebilir. Son ölçüt olan yaratıcılık ölçütü yenilik alt ölçütüne göre değerlendirilen tasarımda yenilikçi bir özellik ya da işlevin bulunmadığı, bu nedenle yaratıcı bir tasarım olarak değerlendirilemeyeceği görülmektedir.

Uygulama süreci sonunda farklı gruplardan toplam altı öğretmen adayının sürece ve fen bilimleri konularının öğretiminde sanal tasarım programı ile 3D yazıcıların kullanımına ilişkin görüşleri alınmıştır. Gerçekleştirilen görüşmelerin analiz edilmesi sonucu açığa çıkarılan tema ve kategoriler Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4

Görüşme Sonucu Belirlenen Tema Ve Kodlar

Tema	Kod	Frekans
Tinkercad programını kullanırken zorlanma durumu	Şekil oluşturma	ÖA1, ÖA4, ÖA6
	Farklı açılardan bakma	ÖA1, ÖA3, ÖA4
	3D tasarım programlarına yabancı olma	ÖA2, ÖA3, ÖA5
	Zorluk yaşamama	ÖA3, ÖA5
	Adapte olma	ÖA1
	Arayüz	ÖA1
Tinkercad programı uygulamalarının beğenilen yönleri	Ücretsiz olması	ÖA1, ÖA5
	Harici bir uygulama indirmeye gerek olmaması	ÖA1, ÖA5
	Soyut kavramları somutlaştırabilme	ÖA2, ÖA6
	Kullanım kolaylığı	ÖA5

	Telefon, tablet gibi cihazlarda kullanılabilmesi	ÖA5	
	Çizim yaparak şekil oluşturma	ÖA4	
	Tasarım yapabilme özgüveni kazandırma	ÖA4	
	Eş zamanlı çalışmaya imkân sağlama	ÖA3	
	Türkçe dil desteği	ÖA3	
Tinkercad programı uygulamalarının beğenilmeyen yönleri	Arayüz	ÖA1, ÖA2	
	Eş zamanlı çalışmada sorun	ÖA3	
	Eş zamanlı çalışmada sesli iletişim olmaması	ÖA3	
	Çalışma düzlemini hareket ettirme zorluğu	ÖA4	
	Şekil oluşturma zorluğu	ÖA4	
Tinkercad programını ilkökul ve ortaokul öğrencilerinin kullanabilirliği	İlkokul için uygun	ÖA4	
	Ortaokul için uygun	ÖA1, ÖA3, ÖA4, ÖA6	
	Her iki kademe için de öğretmen rehberliğinde uygun	ÖA2	
	Kolay, orta, zor olarak seviyelere ayrılırsa uygun	ÖA5	
Tinkercad programı ve 3 boyutlu yazıcılar ile desteklenmiş öğretme sürecinin öğreticiliği ve uygulanabilirliği	Zaman	Uygun ÖA3, ÖA4, ÖA5	
	Maliyet	Uygun değil	ÖA1, ÖA6
		Uygun	ÖA3, ÖA4, ÖA5
	Öğreticilik	Uygun değil	ÖA1, ÖA6
		Uygun	ÖA1, ÖA2, ÖA3, ÖA4, ÖA5, ÖA6
	Uygun değil	-	
3 boyutlu yazıcıların Fen Bilimleri dersindeki konularının öğretim sürecinde kullanılabilirliği	Kullanılabilir	ÖA1, ÖA2, ÖA3, ÖA4, ÖA5	
	Fen bilimleri dışında diğer alanlar için de kullanılabilir	ÖA3, ÖA4	
	Öğretmene bağlı	ÖA3	
	Biyoloji için uygun, diğer alanlarda kullanımı çok uygun değil	ÖA6	
Okullarda bilgisayar ve 3 boyutlu yazıcı bulunması	Olmalı	ÖA1, ÖA2, ÖA3, ÖA5, ÖA6	
	Olsa da olur, olmasa da olur	ÖA4	
Uygulama süreci	Grup çalışması	ÖA2, ÖA4, ÖA6	
	Bireysel çalışma	ÖA1	
	Hem grup hem bireysel	ÖA3	

Tablo 4'te uygulama sürecinin ardından farklı gruplardan gönüllü olarak seçilen 6 öğretmen adayı ile gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmeler sonucu belirlenen tema ve kodlar görülmektedir. Öğretmen adaylarına ilk olarak uygulama sürecinde kullanılan sanal tasarım programı olan Tinkercad'i kullanmada zorlanıp zorlanmadıkları sorulmuştur. Görüşmeye katılan 6 öğretmen adayından yalnızca bir tanesi daha önce farklı bir sanal tasarım programını kullandığını belirtmiş ve programlar arasındaki farklılıktan dolayı bu programa başlangıçta adapte olmakta zorlandığını belirtmiştir. Bu duruma örnek olarak ÖA1 şu ifadeyi kullanmıştır: "Mesela oluşturduğumuz tasarımın sol arka tarafına bakmak isterken önceden kullandığım programlarda sadece farenin ortasındaki tuşa basarak çeviriyorduk. Bu programda ise sağ tuşa basarak çeviriyoruz. Bu durumda başlangıçta adapte olmamı zorlaştırdı". ÖA2, ÖA3 ve ÖA5 3 boyutlu tasarım programlarını daha önce hiç kullanmadığını belirtmiştir. ÖA3 ve ÖA5 programı kullanmada genel olarak bir sorun yaşamadığını belirtirken ÖA3 tasarım sürecinde çalışma düzlemine yerleştirilen şeklin farklı açılardan bakıldığında düzgün görünmesi ile ilgili sorun yaşadığını belirtmiştir. Arayüz ile ilgili sorun yaşadığını belirten ÖA1, karar verdiği tasarıma ilişkin uygun şekilleri programın menüsünden bulmakta zorlandığını ifade etmiştir. Bu durum ile ilgili düşünceleri şu şekilde belirtmiştir: "Aradığımız şeyleri direk bulamıyorduk. O da yan tarafta açılan pencerenin içerisinde tek tek hepsine bakmamız gerekti. Ondan dolayı biraz sıkıntı oldu". Bunun dışında öğretmen adaylarının en çok zorlandıklarını belirttikleri bir diğer durumun şekil oluşturma olduğu görülmektedir. ÖA1 adapte olmak dışında çok fazla zorlandığı durum olmadığını belirterek yalnızca kompleks şekilleri oluşturmada biraz zorlandığını belirtmiştir. Bu durumu "tasarımın bir köşesinde küçük bir boşluk oluşturacağınız zaman onu oluşturmak biraz daha zor oluyor, çünkü program daha çok tasarımın tamamında etki gösteriyor. Yani yaptığımız tasarımın tamamında boşluk oluşturuyor" şeklinde ifade eden ÖA1, bu durumun belki de programdan değil de kendi öğrenme eksikliğinden kaynaklanıyor olabileceğini de ifadesine eklemiştir. Aynı koda ilişkin ÖA4 programı kullanma konusunda çok zorlanmadığını ifade ederken istediği şekli oluşturmada oldukça zorlandığını belirtmiştir. Bu durumu "programı kullanma konusunda zorlandım fakat tasarım yaparken kullanacağım şekli seçerken, hatta iç içe şekilleri yerleştirirken çok zorlandım" şeklinde ifade etmiştir. Aynı durumu ÖA6 "şekil eklerken zorlandım. Birçok şekil bölümü var ama çoğu Geometri ve matematiğe yönelik, fen ile ilgili çok şekil yok. O yüzden biz de kendimiz biraz daha yaratıcılık ile üretmeye çalıştık" şeklinde ifade etmiştir. Bu durumun olumlu tarafının da yaratıcılıklarının gelişimine katkı sağlaması olduğunu belirtmiştir. Ama yine de zorlayıcı bir durum olarak gördüğü bu noktanın programa fen bilimleri ile ilgili ayrı bir bölüm açılmasının yararlı olabileceğini belirtmiştir. Bu durumu da "bizim konumuz biyoloji

ile ilgili olduğu için mesela orda ayrı bir bölümde fen ile ilgili hazır şekiller yer alabilirdi” cümlesi ile ifade etmiştir.

Görüşmede belirlenen diğer tema Tinkercad programının öğretmen adayları tarafından beğenilen ve beğenilmeyen yönlerine yöneliktir. Buna göre öğretmen adayları en çok programın ücretsiz olması, soyut kavramların somutlaştırılmasına olanak sağlaması ve herhangi bir ek uygulama indirmeye gerek kalmadan kullanılabilmesini beğendiklerini belirtmişlerdir. ÖA1 programın en beğendiği özelliğinin ücretsiz olduğunu belirtirken bu durumu “gayet iyi bir program ve ücretsiz, en güzel yönü de herhâlde bu” şeklinde ifade etmiştir. ÖA5 de programın en beğendiği yönünün öncelikle ücretsiz olması olduğunu “en başta hocam ücretsiz olması çok avantajlı” ifadesiyle belirtmiştir. ÖA5 ayrıca “bilgisayar ve telefonda kullanılabilir ve bir uygulama indirmeye gerek kalmaması da bir avantaj” ifadesiyle farklı akıllı cihazlardan herhangi bir ek uygulamaya gerek olmadan kullanılabilmesinin programın önemli bir avantajı olduğunu dile getirmiştir. ÖA1 de bu durumu “bir de herhangi bir uygulama vs. indirmemize gerek kalmadan internet bağlantısı ile online olarak kullanabiliyoruz” şeklinde ifade etmektedir. Soyut kavramları somutlaştırmada etkili olduğunu belirten ÖA2 bu durumu “çok yararlı bir uygulama çünkü soyut olan birçok kavramı somutlaştırarak öğrencilerin daha iyi öğrenmelerini sağlayabilir” şeklinde ifade etmiştir. ÖA6 da aynı durumu “ilerde öğretmen olduğumuzda öğrencilere elimizde bir şey olacak, mesela mitoz bölünme evrelerini anlatıyoruz soyut bir şekilde ama onlar kafalarında bunu somutlaştıramıyorlar. Gözleri önüne çok getiremiyorlar. Bu açıdan iyi olduğunu düşünüyorum” ifadesiyle belirtmiştir. Programın beğenilen bir diğer önemli özelliği işbirliği içerisinde çalışabilmeye olanak sağlaması olarak ÖA3 tarafından dile getirilmiştir. Birçok grupta öğretmen adaylarının çoğunlukla bir araya gelerek tasarımlarını oluşturdukları görülmüş fakat ÖA3 çalışma arkadaşları ile bir araya gelemediğini belirtmiştir. Bu durumun da aslında programın önemli bir özelliğini keşfetmelerine yol açtığı görülmektedir. Programın işbirliği içerisinde eş zamanlı çalışmaya olanak sağladığını belirten ÖA3 bu duruma ilişkin memnuniyetini “işbirliği içerisinde eş zamanlı tasarım yapmamıza imkân veriyor. Bu yönüyle de çok kullanışlı ve proje tasarlamak için çok kullanışlı bir program” ifadesiyle dile getirmiştir. Tinkercad programına ilişkin öğretmen adayları tarafından diğer beğenilen yönlerin de tasarım yapma özgüveni kazandırması, çeşitli akıllı cihazlardan kullanılabilir olması, çizim yoluyla şekil oluşturulabilir olması ve Türkçe dil desteği sayılıyor olması şeklinde ifade olduğu belirlenmiştir.

Öğretmen adaylarının Tinkercad programına ilişkin beğenmediği noktaların da beş kod altında toplanabildiği görülmektedir. Buna göre öğretmen adaylarının programın arayüzünden çok hoşlanmadıkları görülmektedir. Diğer taraftan programın önemli bir özelliği olarak

görülen eş zamanlı çalışmaya olanak sağlamasında bazen sistemsel hatalar olduğu ve sesli iletişimin olmaması nedenlerinden dolayı bu duruma yönelik olarak bir eksiklik olarak ifade edilmiştir. ÖA3 buna ilişkin rahatsızlığını “takım arkadaşım ile çalışırken ben birkaç değişiklik yaptığımda sistem beni atıyordu, ben aynı şekilde yaptığımda sistem arkadaşımı atıyor, sayfayı güncellemek zorunda kalıyoruz. Bu da dikkat dağıtıyor. Bir de sesli bir sistem olsa eş zamanlı tasarım yapanlar arasında o an aynı tasarım üzerinde çalışanlar sesli diyagramı kurabilse çok daha iyi bir program olurdu” şeklinde ifade etmiştir. Ayrıca ÖA4 zorlandığı hususlar da olan şekil oluşturma ve çalışma düzlemini hareket ettirme ile ilgili durumları programa ilişkin beğenmediği noktalar olarak da belirtmiştir.

Tinkercad programının ilk ve ortaokul düzeyindeki öğrencilerinin kullanılabilirliği hakkında belirlenen temaya öğretmen adaylarının genellikle ortaokul kademesindeki öğrenciler için programın uygun olduğunu ifade ettikleri görülmüştür. Öğretmen adayları ilkökul düzeyindeki öğrencilerin de bu programı uygun bir rehberlik ve planlama ile biraz zorlansalar da öğrenebileceklerini ifade etmişlerdir. Bu durumu ÖA1 “ilgilerini daha çok tasarım yönündeki şeylere çekersek ortaokul öğrencilerine hitap eder bence. İlkokul öğrencileri için biraz daha zor olabilir” şeklinde ifade etmiştir. ÖA3 aynı durumu “5. sınıftan itibaren program aktif olarak kullanılabilir. Çünkü beşinci sınıfta artık öğrenciler kavrama, algılama, bir şey tasarlama seviyesindedir, ama şöyle de bir şey var yeni nesle baktığınızda teknoloji ile iç içe olduklarından belki biraz daha indirebiliriz yaş seviyesini” şeklinde dile getirmiştir. ÖA6 da bu duruma ilişkin görüşlerini “ortaokul düzeyine daha uygun olduğunu düşünüyorum. İlkokul düzeyindekilerin zaten konu kazanımları çok yoğun değil. Yani fen anlamında örneğin vücudumuzu tanıyalım gibi şeyler. DNA, hücre, hücre bölünmeleri gibi soyut kavramlar olduğu için ortaokula daha uygun olduğunu düşünüyorum.” şeklinde ifade etmiştir. Her iki öğrenim kademesindeki öğrenciler için de uygun olduğunu belirten ÖA4 ise bu konudaki görüşlerini “ben küçük çocuklardan beklentisi yüksek birisiyim. O yüzden her iki kademedeki öğrencilerin de kullanabileceklerini düşünüyorum” şeklinde dile getirmiştir. ÖA2 ise her iki kademedeki öğrenciler için öğretmen önderliğinde programın kullanılmasının daha uygun olacağını ifade ederken ÖA5 bu durumla ilgili olarak programın kolay-orta-zor şeklinde farklı zorluk seviyelerine ayrılarak farklı öğrenim kademelerine daha uygun bir şekilde hitap edebileceğini ifade etmiştir.

3 boyutlu yazıcı ve Tinkercad programı ile desteklenmiş öğrenme sürecinin öğreticiliği ve uygulanabilirliği şeklinde belirlenen temada öğretmen adayları genellikle zaman ve maliyet açısından olumsuz görüş belirtmişlerdir. Bu uygulamaların öğretim sürecinde çok fazla zaman alacağını belirten öğretmen adayları ayrıca ülke ve kurum şartları göz önüne alındığında bu durumun oldukça maliyetli

olabileceğini de belirtmişlerdir. Diğer taraftan öğretmen adaylarının bu teknolojiler ile desteklenen öğretim sürecinin oldukça verimli olacağı üzerine fikir birliğine vardıkları görülmektedir. Bu üç kodu bütüncül bir şekilde değerlendiren ÖA3 görüşlerini şu şekilde ifade etmiştir: “Süreçte harcanan zaman ve maliyete değer hocam. Çünkü örneğin ben hücre tasarlamıştım. Hücreyi kâğıt üzerinde görmek iki boyutlu bir şey. Neyin nerede olduğunu saptamak biraz hayal gücünü kısıtlayabilir. Sonuçta orada çizilen şey gerçek hücrenin tam şekli değil. Örneğin bir su şişesini bile kâğıda çizdiğimizde tam anlamıyla göremiyoruz. Ama Tinkercad programında tasarlayıp 3 boyutlu yazıcıda yazdırdığımızda tam şeklini gördüğümüz için tam anlamıyla nasıl olduğunu normal bir nesne olarak görebiliyoruz. Biyolojide kullandığımız organları falan olan insan modelinde olduğu gibi mesela. Bu şekilde değerlendirebiliriz”. Yine ÖA5’de görüşlerini benzer bir şekilde ifade ederken, öğretmen adaylarının genelde kâğıt üzerine çizilen iki boyutlu görsellerden üç boyutlu tasarımların daha etkili bir öğrenme sağlayacağını düşündükleri görülmektedir. Zaman açısından 3 boyutlu yazıcıların yazdırma süresi ve 3 boyutlu tasarım programları için öğretim programı konu yoğunluğundan dolayı çok vakit ayıramayacağını ifade etmektedirler. Maliyet açısından ülke şartlarına göre değişebileceğini ama öğrencinin karşılaması açısından maliyetli olacağını, gerekli bütçe okullar tarafından karşılanacaksa makul olacağını ifade etmektedirler.

Diğer tema fen bilimleri bağlamında yer alan konuların öğretim sürecinde bu uygulamaların kullanımına yönelik olarak belirlenmiştir. Bu temada görüşmeye katılan öğretmen adaylarının tamamına yakını uygulamaların gerçekleştirildiği biyoloji konuları dışındaki diğer fen bilimleri konuları için de benzer uygulamaların gerçekleştirilebileceğini ifade etmişlerdir. ÖA6 bu uygulamaların biyoloji konularının öğretiminde daha uygun olduğunu ifade ederken ÖA3 bu tür uygulamaların kullanımının konudan ziyade öğretmene bağlı olarak gerçekleştirilebileceğini ifade etmiştir. Öğretmen adaylarının ayrıca diğer alanlarda da bu teknolojilerin kullanılabilmesini ifade ettikleri görülürken bu süreçte öğretmenin yaklaşım ve donanımının da önemli olduğunu özellikle belirttikleri görülmüştür. ÖA3 öğretmenlerin bu teknolojileri kullanabilecek yeterliklere sahip olarak yetişmeleri gerektiği yönündeki görüşünü “3 boyutlu yazıcıların uygulama derslerinde kullanılıp öğretmen adaylarına öğretilmesi gerekiyor. Şu an mesela bu şekilde teknolojik araçları sizin dersinizde ilk kez gördüm ileride tekrar görür müyüz emin değilim ama kesinlikle daha çok olmalı. Umuyorum ki buna özel bir ders açılır hatta” şeklinde ifade etmiştir.

Bu teknolojilerin okullarda bulunup bulunmaması ile ilgili belirlenen temada öğretmen adaylarının bulunması yönünde görüş bildirdiği, bir öğretmen adayının bulunsa da olur bulunmasa da olur şeklinde görüş belirttiği görülmüştür. Bulunmasının elbette ki katkısının olacağını belirten ÖA4 bu konudaki düşüncesini “evet yani katkısı olacaktır ama

illa ki gerekli mi bunu bilemedim” ifadesiyle dile getirmiştir. ÖA1 bu teknolojilerin okul ortamında bulunmasının ve öğretim sürecinde yararlanılmasının yanı sıra öğrencilerin de bunları etkin bir şekilde kullanabiliyor olması yönünde görüş belirtmiştir. Bu teknolojilere erişimin daha kolay olması gerektiğini de “bence zaten 3 boyutlu yazıcı her okulda bir tane değil, her sınıfta bir tane olmasını gerekir” ifadesiyle belirtmiştir. ÖA3 de ilk ve ortaokullarda bu teknolojilerin bulunması gerektiğini belirterek ama öncelikle öğretmen yetiştiren kurumlarda bu teknolojilerin bulunması ve etkin bir şekilde kullanılması gerektiğini belirtmiştir. ÖA5 de bulunması gerektiği yönündeki görüşünü “okulda 3 boyutlu yazıcıların olması gerekiyor. Bu sayede öğretmenler konuya göre tasarımlar oluşturup bu tasarımları öğretim sürecinde öğretim materyali olarak kullanabilir. Bilgisayar laboratuvarları ile birlikte kolay-orta-zor şeklinde kategorilere ayrılmış olan Tinkercad programı da o yaş grubu hangi kategoriye uygunsa onların kullanılması eğitim sistemimiz için çok güzel bir detay olur” ifadesiyle gerekçelendirmiştir. ÖA2 ve ÖA6 da kısaca bulunması gerektiği yönündeki görüşlerini ifade etmişlerdir.

Diğer taraftan görüşmelerde belirlenen son tema uygulama sürecinde bireysel mi yoksa grup çalışmalarının mı daha etkili olacağı yönündeki tema olmuştur. Bu temaya ilişkin belirlenen kodlarda bireysel, grup ve hem bireysel hem grup şeklinde farklılaşma olduğu görülmektedir. Grup çalışmasının süreçte daha etkili olacağı fakat grup çalışmasına ilişkin gerekli beceri ve sorumluluk bilincinin küçük yaş gruplarında aşılması gerektiğinin belirtildiği görülmüştür. Grup çalışmasındansa bireysel çalışmayı tercih ettiğini belirten ÖA1 bu konudaki gerekçesini “görev paylaşımı yapıldığı zaman herkes aynı sürede bitiremiyor ve bu durum bana dezavantaj oluşturuyor” şeklinde ifade etmiştir. Fakat küçük yaş gruplarından itibaren grup çalışmalarına ilişkin gerekli bilgi ve becerilerin öğretildiğinde grup çalışmalarının daha etkili olabileceğini de sözlerine eklemiştir. Bu konudaki düşüncesini de “grup çalışması ilkokuldan itibaren tüm sorumluluklarıyla öğretildiğinde etkili olacaktır” şeklinde ifade etmiştir. ÖA3 ise Tinkercad programının hem bireysel hem de grup olarak çalışıldığında etkili olabileceğini ifade etmiştir. Bireysel çalışıldığında kişinin tek başına bir projeyi tasarlayıp tamamlayabilme becerisine katkı sağladığını belirtirken grup çalışmalarında ise işbirliği içerisinde çalışma becerilerinin gelişebileceğine vurgu yapmıştır. Bu konudaki görüşünü de “bireysel olarak bir kişi tasarım ve proje yapabiliyorsa bu çok iyi bir şey. 3 boyutlu tasarım yaparken her açıdan, farklı açılardan bakma fırsatı olduğu için bu çok büyük şans. Bu olanağı çok güzel. Bireysel olarak bir proje için kişi bunu kullanabilir. Grup olarak da bence 4 kişi maksimum olmalı. 4 kişiden fazlası kargaşaya neden olur. Ama 4 kişi iletişim halinde çalışma yaparsa çok başarılı olur” ifadesiyle dile getirmiştir.

Buna göre çalışma kapsamında sanal tasarım programı olarak yararlanılan Tinkercad programını kullanma sürecinde öğretmen

adaylarının alışma sürecinde biraz zorlandıkları fakat bu durumu aşabildiklerini ifade ettikleri görülmüştür. Programda birçok şekil bölümü olmasına rağmen fen bilimleri özelinde şekil bölümü olmamasının bir dezavantaj olduğunu belirttikleri ve böyle bir bölüm eklenmesinin yararlı olabileceğini ifade ettikleri görülmüştür. Ayrıca öğretmen adayı görüşlerine göre programın kolay-orta-zor şeklinde seviyelere ayrılmasının programı yeni kullanmaya başlayanlar ve küçük yaş grupları için avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan programın ücretsiz olması, soyut kavramları kolaylıkla somutlaştırmaya olanak sağlaması ve herhangi bir ek uygulamaya gerek kalmadan internet bağlantısı olan telefon, tablet ve bilgisayar gibi akıllı cihazlarda kullanılabilir olması öğretmen adaylarının en beğendiği yönler olarak ifade edilmiştir. Programa ilişkin en beğenilmeyen yön ise programın arayüzü olmuştur. Öğretmen adaylarının genel olarak istedikleri şekilleri bulmakta zorlandıklarını ifade ettikleri görülmüştür. Öğretmen adaylarının programa ve uygulama sürecine rehberlik edecek öğretmenlerin ifade edilen koşulları sağlamaları durumunda ilk ve ortaokul düzeyinde bu uygulamaların kullanılabileceğini ifade ettikleri görülmüştür. Fakat bu uygulama sürecinin zaman ve maliyet açısından her zaman uygun olmayabileceğini belirten öğretmen adayları her koşulda bu uygulamalar ile desteklenen sürecin oldukça öğretici olacağını ifade ettikleri görülmüştür. Bu uygulamaların yalnızca fen bilimleri özelinde değil, diğer disiplin alanlarında da kullanılabileceği ifade edilirken aslında burada konu ya da disiplin alanından ziyade öğretmenin tutum ve niteliğinin önemli olduğu ifade edilmiştir. İlk ve ortaokullarda 3D yazıcı bulunmasının ve etkin bir şekilde kullanılmasının önemli olduğu ama öncelikle bu teknolojilerin öğretmen yetiştiren kurumlarda bulunması gerektiğinin ifade edildiği görülmüştür. Bu tür uygulama süreçlerinde bireysel ya da grup olarak çalışılmasının da küçük yaşlarda grup çalışması için gerekli beceri ve sorumluluk bilinci geliştirildiği takdirde grup çalışmasının daha etkili olacağını ifade edildiği görülmektedir.

Tartışma

Gerçekleştirilen çalışma fen bilgisi öğretmen eğitimine sanal tasarım ve 3D baskı teknolojisini entegre ederek bu sürece yönelik olarak öğretmen adaylarının görüşlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Fen bilgisi öğretmen adayları ile gerçekleştirilen uygulamaların fen bilgisi öğretmen eğitimine 3 boyutlu sanal tasarım programlarının ve 3 boyutlu yazıcıların entegre edilmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Uygulama sürecinde problem durumunun belirlenmesinde çıkış noktasını oluşturan fiziksel laboratuvar ortamında her soyut kavramın net ve anlaşılır bir şekilde somutlaştırılmamasından yola çıkılarak öğretmen adayları gerçek bir problem durumu ile baş başa bırakılmıştır. Bu yönüyle Hynes vd., (2011) tarafından ileri sürülen mühendislik tasarım süreci aşamaları ile de

uyumlu olduğu görülen süreç aynı zamanda PTÖ tabanlı STEM eğitim yaklaşımı odağında sürdürülmüştür. Geleneksel laboratuvar ortamının sınırlılıklarını azaltmaya yönelik olarak gerçekleştirilen uygulamaların sanal tasarım programları yerine uygun sarf malzemeler ile fiziksel ortamda yapılmasının daha uygun olabileceği şeklindeki bir eleştiriye öğretmen adaylarının olumsuz görüş belirttikleri görülmüştür. Sanal ortamda gerçekleştirilen tasarımlarda deneme-yanılma yoluyla en uygun tasarımı elde edene kadar birçok tekrar şanslarının olduğunu belirten öğretmen adayları bu yönüyle gerçekleştirilen uygulamaların sürdürülebilirlik açısından da oldukça önemli olduğunu vurgulamışlardır. Gerçekleştirilen uygulama sürecinde çoğu öğretmen adayının sanal tasarım programı ve 3 boyutlu yazıcıyı ilk kez gördükleri görülmüştür. Bu yönüyle teknoloji çağı olarak adlandırılan günümüzde geleceğin öğretmenleri olan öğretmen adaylarının öğretim sürecinde kullanılabilecek her türlü teknolojiyi etkin bir şekilde kullanabilecek nitelikte yetişmesi gerektiği düşünülmektedir. Mühendislik tasarım becerileri ile birlikte PTÖ yaklaşımı ile birlikte işbirlikli öğrenme becerilerini gerektiren uygulamaların öğretmen adaylarının ifadesiyle aynı zamanda Tinkercad programının özelliklerinden dolayı yaratıcılıklarının gelişimine de katkı sağladığı görülmektedir. Gerçekleştirilen uygulamalarda grup olarak çalışan öğretmen adaylarının ifadesinden bu grup çalışmasına yönelik gerekli bilgi ve becerilerin küçük yaş gruplarında kazandırılması gerektiğinin önemi sonucuna da ulaşılarak bu tür uygulamaların K-12 seviyesinde de uygun şekilde gerçekleştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Süreçte kullanılan Tinkercad sanal tasarım programının gerçekleştirilen tasarım üzerinde eş zamanlı çalışmaya imkân sağlaması da işbirlikli çalışma için büyük bir avantaj olarak görülmektedir. Bu durum küçük yaş gruplarında gerekli bilgi ve becerilerin kazandırılmasında programın kullanılmasının önemini ayrıca ortaya koymaktadır. Ayrıca öğretmen adayları bu tür teknoloji ve tasarım odaklı uygulamaların konu alanından ziyade öğretmenin tutum ve niteliğine bağlı olduğunu ifade etmelerinden de, bu uygulamaların K-12 seviyesi için önemli olduğu kadar öğretmen eğitiminde de önemli olduğu anlaşılmaktadır. Fakat öğretmen adaylarının ifadelerinden öğretmen eğitiminde bu tür uygulamaların az olduğu, benzer uygulamaların sayısının artması gerektiğini düşündükleri anlaşılmaktadır. Bu bağlamda K-12 seviyesinde bu tür uygulamaları gerçekleştirecek öğretmen adaylarının bu teknolojilere daha fazla maruz kalması gerektiği düşünülmektedir.

Literatür incelendiğinde öğretmen adaylarının meslek hayatlarında STEM eğitimi uygulamalarında bu teknolojileri amacına uygun bir şekilde nasıl kullanacaklarını ve sürece 3D baskının kullanımını nasıl entegre edilebileceğine yönelik sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmektedir (Novak ve Wisdom, 2018; Trust ve Kommers, 2017; Verner ve Merksamer, 2015). Bu yönüyle de gerçekleştirilen bu çalışmanın sanal

tasarım ile 3D baskı teknolojisinin K-12 fen bilimleri öğretim programına ve öğretmen eğitimine nasıl entegre edilebileceğine dair literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca öğretmen adaylarının ifadelerinden sanal ortamda tasarım yapmalarının kendilerinde tasarım yapmaya yönelik özgüven geliştirdiği ve işbirliği içerisinde çalışmalarının da işbirliği içerisinde çalışma becerilerine katkı sağladığı anlaşılmaktadır. Bu yönüyle de PTÖ'nin STEM eğitimi yaklaşımında yaratıcılık, sorumluluk ve iş birliği gelişimine katkı sağladığı (Connors-Kellgren ve diğerleri, 2016) görülmektedir.

Öğretmen adayları ile gerçekleştirilen uygulamaların soyut kavramların yoğunlukta olduğu Biyoloji 3 dersi kapsamında gerçekleştirilmesi benzer uygulamaların fen bilimleri kapsamında yer alan diğer konuların öğretim sürecinde de kullanılabilirliğini düşündürmektedir. Bu durumdan hareketle öğretmen adaylarının görüşleri incelenmesi sonucunda, öğretmen adayları da benzer uygulamaların konu ve öğretmen niteliğine göre her alanda kullanılabileceğini ifade ettikleri görülmüştür. Literatürde gerçekleştirilen ve 3 boyutlu tasarım programları ile 3 boyutlu yazıcıların kullanıldığı farklı araştırmaların da bu durumu desteklediği görülmektedir (Bilgin ve diğerleri, 2015; Kahraman ve Maraş, 2022; Lucas, 2021; Novak ve Wisdom, 2018; Özçakır-Sümen ve Çalışıcı, 2019; Pabuçcu-Akış ve Demirer, 2022; Şen ve diğerleri, 2020; Verner ve Merksamer, 2015). Literatür incelendiğinde daha birçok farklı alanda sanal tasarım ve 3 boyutlu yazdırma teknolojisinin kullanımı ile ilgili birçok çalışmanın olduğu görülmektedir (Ford ve Minshall, 2020; Horejsi, 2014; Scalfani ve Sahib, 2013; Şen ve diğerleri, 2020). Ayrıca fen bilimleri konuları özelinde bakıldığında soyut kavramların her durumda geleneksel laboratuvar ortamında somutlaştırılmasının zor olduğu görülmektedir (Emrahoğlu ve Sağlıker, 2010; Güngör-Seyhan ve Okur, 2020; Koç-Ünal, 2019). Fiziksel materyallerle gerçekleştirilen tasarımlarla bu sorun aşılına çalışılsa da tam anlamıyla STEM alanları işe koşulmasının mümkün olmadığı görülmektedir. Gerçekleştirilen uygulamaların sanal ortamda gerçekleştirilmesi sürdürülebilirlik anlamında katkı sağlarken aynı zamanda tasarım sürecine de teknolojiyi doğrudan entegre etme olanağı sağlamaktadır. Bu yönüyle değerlendirildiğinde ve öğretmen adaylarının ifadeleri de göz önünde bulundurulduğunda bu tür uygulamaların yaratıcılık ve işbirliği içerisinde çalışma becerileri başta olmak üzere daha birçok becerinin gelişimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç

Gerçekleştirilen bu çalışma fen bilgisi öğretmen adaylarının katılımı ile Biyoloji III dersi kapsamında belirtilen adım ve süreçler ile sınırlı olarak değerlendirilmiştir. Öğretmen adayları haftalık iki ders saati şeklinde uygulanan ve iki saat teorik anlatımdan sonra gerçekleştirilen

uygulamaların yorgunluğa sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Bundan dolayı uygulamaların ders yoğunluğunun az olduğu günde gerçekleştirilmesinin daha verimli olabileceğini ifade etmişlerdir. Bu bağlamda bu sınırlık ve dezavantajın üstesinden gelebilmek için alanda çalışma gerçekleştiren araştırmacıların bu durumu göz önünde bulundurmaları yararlı olabilir. Ayrıca literatürde yer alan çalışmalarda ilgili uygulamaların çok fazla alanda ele alındığı görülmektedir. Öğretmen eğitimi bağlamında değerlendirildiğinde fen bilimleri başta olmak üzere konu ve kavramlara göre diğer öğretmenlik alanlarında da sanal tasarım programları ve 3 boyutlu yazıcıların sürece dâhil edilmesi sağlanabilir. Bu şekilde eğitim sürecine teknoloji entegre edilmesi sağlanarak öğretmen adaylarının meslek öncesinde bu teknolojilere hakim olarak yetişmeleri sağlanabilir. Hizmet içi öğretmenlere yönelik de gerekli şartlar sağlanarak hizmet içi eğitimler verilebilir.

Etik Kurul İzin Bilgisi: *Bu araştırma, Mersin Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulunun 03/03/2022 tarihli 88 sayılı kararı ile alınan izinle yürütülmüştür.*

Yazar Çıkar Çatışması Bilgisi: *Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.*

Yazar Katkısı: *Yazarlar araştırma sürecine eşit oranda katkı sağlamışlardır.*

Kaynakça

- Adıgüzel-Ulutaş, M., Elmas, R., Karakaya, F. ve Yılmaz, M. (2023). Türkiye’de Yapılan STEM Eğitimi Yaklaşımı Çalışmalarının Mühendislik Tasarım Süreci Uygulamaları Bağlamında İncelenmesi. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 21(2), 1111-1130. <https://doi.org/10.37217/tebd.1294562>
- Bell, D. (2016). The reality of STEM education, design and technology teachers' perceptions: A phenomenographic study. *International Journal of Technology And Design Education*, 26(1), 61-79. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9300-9>
- Bilgin, I., Karakuyu, Y. ve Ay, Y. (2015). The effects of project based learning on undergraduate students' achievement and self-efficacy beliefs towards science teaching. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 11(3). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1015a>
- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships. *School Science and Mathematics*, 112(1), 3-11. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>
- Brunsell, E. (Ed.). (2012). *Integrating engineering and science in your classroom*. NSTA press.
- Bybee, R. W. (2010). What is STEM education? *Science*, 329(5995), 996.

- Casey, B. (2012). *STEM Education: Preparing for the Jobs of the Future*, A Report by the (U.S. Congress) Joint Economic Committee Chairman's Staff Senator Bob Casey, April 2012.
- Connors-Kellgren, A., Parker, C. E., Blustein, D. L., & Barnett, M. (2016). Innovations and challenges in project-based STEM education: Lessons from ITEST. *Journal of Science Education and Technology*, 25(6), 825-832. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9658-9>
- Creswell, J. W. (2007). *Qualitative inquiry & research design: Choosing among five approaches* (2. Baskı). SAGE Publications.
- Diffily, D. (2001). *Real-world reading and writing through project-based learning*. Real World Reading, Reports. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED453520.pdf>
- Diffily, D. (2002). Project-based learning: Meeting social studies standards and the needs of gifted learners. *Gifted Child Today*, 25(3), 40-59.
- Doğanay, A. ve Tok, Ş. (2012). Öğretimde çağdaş yaklaşımlar. İçinde, Doğanay, A. (Ed.), *Öğretim ilke ve yöntemleri* (239-297). Pegem Akademi.
- Egenrieder, J. A. (2007). Community-focused, project-based learning to promote diversity in STEM. *Journal of Virginia Science Education*, 1(2), 5-16.
- Emrahoğlu, N. ve Sağlıker, Ş. (2010). Kütle çekimi ve genel görelilik kuramının öğretimi için hazırlanan bilgisayar destekli ders yazılımının öğrencilerin akademik başarısına etkisi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 237-248.
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM education*, 3(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Erdem, M. (2002). Proje tabanlı öğrenme. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22, 172-179.
- Ford, S., & Minshall, T. (2019). Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131-150. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Gardner, M., & Tillotson, J. W. (2019). Interpreting integrated STEM: Sustaining pedagogical innovation within a public middle school context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(7), 1283-1300. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9927-6>
- Guzey, S. S., Moore, T. J., Harwell, M., & Moreno, M. (2016). STEM integration in middle school life science: Student learning and attitudes. *Journal of Science Education and Technology*, 25, 550-560. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9612-x>
- Güngör-Seyhan, H. ve Okur, M. (2020). Fen bilimleri laboratuvarlarında mobil teknoloji desteğinin önemi hakkında öğretmen görüşlerinin incelenmesi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 17(1), 1242-1271. <https://doi.org/10.33711/yyuefd.809127>

- Han, S., Yalvac, B., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2015). In-service teachers' implementation and understanding of STEM project-based learning. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(1), 63–76. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1306a>
- Horejsi, M. (2014). Teaching STEM with a 3D Printer. *The Science Teacher*, 81(4), 10.
- Huri, N. H. D., & Karpudewan, M. (2019). Evaluating the effectiveness of Integrated STEM-lab activities in improving secondary school students' understanding of electrolysis. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(3), 495-508. <https://doi.org/10.1039/C9RP00021F>
- Hynes, M., Portsmore, M., Dare, E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). Infusing engineering design into high school STEM courses. https://digitalcommons.usu.edu/ncete_publications/165
- Jaipal-Jamani, K., & Angeli, C. (2017). Effect of robotics on elementary preservice teachers' self-efficacy, science learning, and computational thinking. *Journal of Science Education and Technology*, 26(2), 175-192. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9663-z>
- Kahraman, E. ve Maras, M. (2022). Analysis of pre-service science teachers' development processes of 3D designs and design products. *International Journal of Technology in Education (IJTE)*, 5(2), 296-320. <https://doi.org/10.46328/ijte.223>
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kingston, S. (2018). Project based learning & student achievement: What does the research tell us? (PBL evidence matters, volume 1, no. 1). Buck Institute for Education.
- Koç-Ünal, İ. (2019). *Sanal ve gerçek laboratuvar uygulamalarının, 5. sınıf fen dersi elektrik ünitesi öğretiminde öğrencilerin akademik başarıları üzerine etkisinin incelenmesi*. [Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving schools*, 19(3), 267-277. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). *Project-based learning*. The Cambridge handbook of the learning sciences (s. 317-34).
- Krajcik, J. S., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., & Soloway, E. (1994). A collaborative model for helping middle grade science teachers learn project-based instruction. *The Elementary School Journal*, 94, 483–497. <https://doi.org/10.1086/461779>
- Lucas, K. L. (2021). The use of 3-D modeling and printing to teach the central dogma of molecular biology. *Science Activities*, 58(2), 70-76. <https://doi.org/10.1080/00368121.2021.1918048>

- Marginson, S., Tytler, R., Freeman, B., & Roberts, K. (2013). STEM: Country comparisons, international comparisons of science, technology, engineering and mathematics (STEM) education. Australian Council of Learned Academies, Final report. <http://hdl.handle.net/10536/DRO/DU:30059041>
- Mesutoğlu, C. (2017). *Developing teacher learning progressions for K-12 engineering education: Teachers' attitudes and their understanding of the engineering design*. [Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Meyrick, K. M. (2011). How STEM education improves student learning. *Meridian K12 School Computer Technologies Journal*, 14(1), 1-6.
- Mobley, M. C. (2015). Development of the SETIS instrument to measure teachers' self-efficacy to teach science in an integrated STEM framework.
- Moore, T. J., Stohlmann, M. S., Wang, H. H., Tank, K. M., Glancy, A. W., & Roehrig, G. H. (2014). Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education. In *Engineering in pre-college settings: Synthesizing research, policy, and practices* (pp. 35-60). Purdue University Press.
- National Aeronautics and Space Administration. (2011). *Beginning engineering, science and technology educator guides: An educator's guide to the engineering design process grades 6-8*. https://www.nasa.gov/pdf/630754main_NASAsBESTActivityGuide6-8.pdf
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (committee on a conceptual framework for new K-12 science education standards. Board on science education, division of behavioral and social sciences and education ed.). Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2010). *Standards for K-12 engineering education?* The National Academies Press.
- National Research Council. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. The National Academies.
- Novak, E., & Wisdom, S. (2018). Effects of 3D printing project-based learning on preservice elementary teachers' science attitudes, science content knowledge, and anxiety about teaching science. *Journal of Science Education and Technology*, 27(5), 412-432. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9733-5>
- Özçakır-Sümen, Ö. ve Çalışıcı, H. (2019). STEM proje tabanlı öğrenme ortamında sınıf öğretmeni adaylarının geliştirdikleri matematik projelerinin incelenmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 38(1), 238- 252. <https://doi.org/10.7822/omuefd.521012>
- Pabuçcu-Akış, A. ve Demirer, I. (2023). Integrated STEM activity with 3D printing and entrepreneurship applications. *Science Activities*, 60(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/00368121.2022.2120452>

- Quinn, H., & Bell, P. (2013). How designing, making, and playing relate to the learning goals of K-12 science education. In *Design, Make, Play* (pp. 35-51). Routledge.
- Scalfani, V. F., & Sahib, J. (2013). A model for managing 3D printing services in academic libraries. *Issues in Science and Technology Librarianship*, 72(Spring), 1-13.
- Şen, C., Ay, Z. S. ve Kiray, S. A. (2020). A design-oriented STEM activity for students' using and improving their engineering skills: the balance model with 3D printer. *Science Activities*, 57(2), 88-101. <https://doi.org/10.1080/00368121.2020.1805581>
- Tarhan M. ve Gülmez A. (2021). Girişimcilik becerisinin kazandırılmasında proje tabanlı öğrenme yaklaşımı: Japonya örneği. *Ulusal Eğitim Akademisi Dergisi (UEAD)*, 5(1), 175-188. <https://doi.org/10.32960/uead.881576>
- Trust, T., & Kommers, S. (2017). From 2D thinking to 3D printing: preservice and in-service teacher teams explore a new technology. In M. Grasseti & S. Brookby (Eds.), *Advancing Next-Generation Teacher Education through Digital Tools and Applications*: Information Science Reference.
- Verner, I., & Merksamer, A. (2015). Digital design and 3D printing in technology teacher education. *Procedia Cirp*, 36, 182-186. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.041>
- Wendell, B. K., & Rogers, C. (2013). Engineering design-based science, science content performance, and science attitudes in elementary school. *Journal of Engineering Education*, 102, 513e540. <http://dx.doi.org/10.1002/jee.20026>



Examining the Integration of Virtual Design and 3D Printing in Science Education for Prospective Teachers*

Adem KOC¹, Mutlu Nisa UNALDI CORAL²

Abstract

This study was carried out with the participation of preservice science teachers. A three-dimensional design program Tinkercad and a three-dimensional printer were used in this research in line with the stages of engineering design process and project-based learning method. At the beginning of the implementation process, the preservice teachers were informed in detail by the researchers and provided with design guidelines in the virtual environment. Trials were carried out in biology and computer laboratories according to the weekly plan. Working in groups of 3-5, preservice teachers agreed on a design after having worked on their projects individually on the topic they chose and developed the one they agreed on as the outcome. At the end of the process, the final design of each group was printed through a 3D printer and semi-structured interviews were conducted with one volunteer teacher from each group. Based on the emerging themes and codes, it was discerned that positive feedback was provided by the preservice teachers concerning the conducted process. Their recommendations highlighted the necessity for an increased prevalence of such applications. Furthermore, they advocated that analogous applications and technological advancements should be inherently integrated into the training curriculum across diverse fields.

Article Details

Research
Article

Received
08/04/2023
Accepted
09/01/2024
Published
23/09/2024

Key words

Virtual design,
3D printing,
STEM
education,
Project-based
learning,
Prospective
science
teachers

* This study was supported by Mersin University Scientific Research Projects Unit with the project number "2021-1-AP2-4365".

¹ Mersin University, 0000-0002-2721-3781, ademkoc@mersin.edu.tr

² Mersin University, 0000-0001-6124-4576, mutlunisa@mersin.edu.tr

Suggested Citation:

Koc, A. & Unaldi-Coral, M. N. (2024). Examining the integration of virtual design and 3D printing in science education for prospective teachers. *Pamukkale University Journal of Education [PUJE]*, 62, 72-100. <https://doi.org/10.9779/pauefd.1279635>

Introduction

Science, technology, engineering and mathematics have been considered as the main driving force of the economic growth in countries for the last 60 years, especially in the USA (Casey, 2012; Ozcakir-Sumen & Calisici, 2019). These fields that constitute the pillars of our daily life and abbreviated as STEM are crucial to respond to the most urgent needs of humanities (Novak & Wisdom, 2018; Trust & Kommers 2017; Verner & Merksamer, 2015). STEM education is defined as the integration of science, technology, engineering, and mathematics in the problem-solving process on daily basis. However, this definition is considered to be rather vague (English, 2016; Kelley & Knowles, 2016; Mobley, 2015). Therefore, multiple applications are used to define the concept of integration (Bell, 2016; Gardner & Tillotson, 2019; Huri & Karpudewan, 2019). With this respect, integrated STEM education emerges when individuals are provided with the opportunity to apply their basic science and mathematical knowledge on the engineering design process to explore technology while dealing with real-world problems (Moore et al., 2013). Since integrated STEM education is not found to be effectively applicable in terms of the curriculum of mainstream education, the idea is to embed STEM education into the curriculum through the inclusion of technology and engineering applications in the fields of science and mathematics in accordance with the desired outcome of the learning process (Bybee, 2010). With this regard, the essential point is that technology and engineering can be integrated into the definition as a basic and indispensable element not an optional one in terms of content and practices of science and mathematics (National Research Council [NRC], 2010). In addition, the integration mentioned above emphasizes the use of design engineering process which will contribute to the development of individuals' technological literacy by incorporating these designs into the curriculum when science, mathematics and other content areas are taught (Ozcakir-Sumen & Calisici, 2019). Furthermore, integrated STEM education is an important aspect for preparing individuals in line with the basic competencies and essential skills of 21st century. In addition, such integrated education shall enable the young generation to find out solutions to the problems they encounter through an interdisciplinary perspective. Afore-mentioned educational model is believed to empower students at every grade to become qualified individuals in the fields of science, technology, engineering and mathematics (Meyrick, 2011).

It is seen that the integrated model of the four fields in STEM education is not effectively applicable in traditional teaching methodologies. Instead, it is stated that project-based learning (PBL) method based on research and inquiry on real-life problems is proved to be much more effective in the integrated STEM educational applications (Breiner et al.,

2012). PBL, which is known to be an interdisciplinary approach, should be applied in all disciplines regardless of extracurricular or in-class subjects (Doganay & Tok, 2012). PBL approach has been widely accepted in STEM education due to its multidisciplinary structure, especially in the 21st century, and it has become an important part of STEM education today (Egenrieder, 2007). PBL refers to a classroom environment where students explore questions, formulate and explain hypotheses, discuss ideas, present new ideas, tackle real-life problems, and actively form their own understanding (Krajcik & Blumenfeld, 2006). In PBL, students choose an area of interest from everyday life or opt for a course topic and work collaboratively in the research process using diverse skills and types of knowledge as possible to create a real-world product (Diffily, 2002). Working collaboratively towards the determined goal, students are expected to structure and direct their own learning while developing their creativity. By doing so, they are also able to solve problems collaboratively. In this respect, PBL provides a technology-based learning environment that supports the academic success of students with a focus on their emotional and social development. In addition, everyday problems are brought to a real learning environment (Erdem, 2002). Offering an interactive learning environment, project-based learning also provides many opportunities for students to develop their interest in the project topic allowing them to choose the area of interest they wish to work on (Diffily, 2001; 2002).

PBL includes five key features in line with the framework of integrated STEM practices, and the process begins with a dynamic question to be solved. Students are to explore this fundamental question by participating in the questioning and problem-solving process, and as they learn to think outside the box with respect to the question, they learn the key ideas in the discipline. Students, teachers, and group members work collaboratively to answer the fundamental question at stake. Students use learning technologies to the extent of their abilities in their inquiry process and create concrete products that answer the basic question (Krajcik & Blumenfeld, 2006). Constructivist STEM education based on PBL offers many opportunities to transform the normal classroom environment into active learning environments (Connors-Kellgren et al., 2016; Krajcik et al., 1994). The countries that have fully integrated this approach in their education systems rank first in international assessment exams such as PISA and TIMSS (Tarhan & Gulmez, 2021). As a proof of this situation, Japan can be shown as the success of the country declines although it used to rank the first in international exams once it has reduced the compulsory course hours in the field of inquiry-based STEM education (Marginson et al., 2013). However, the success of this integration process along with its advantages depends on the teacher's ability to effectively motivate and direct students to the learning process (Kokotsaki et al., 2016). Likewise,

the success also depends on the teacher's understanding of the main criteria of the PBL approach (Han et al., 2015). For this reason, Japan focused on increasing the quality of teachers in the field of PBL in the next period (Marginson et al., 2013). However, only when are these conditions met, PBL approach shall prove to make a significant contribution to the meaningful and effective learning of students. If these conditions fail to be fulfilled, the PBL approach may negatively affect the students' learning process (Han et al., 2015; Kingston, 2018). Therefore, teachers are expected to fully comprehend this learning approach. Without any doubt, preservice teachers are to be trained to have the necessary qualifications in order to put into practice this learning approach effectively.

The Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards was created through incorporation of PBL to implement integrated STEM education effectively (NRC, 2012). According to the framework prepared by the committee, students are expected to learn how science is applied especially through the engineering design process, and should be able to be aware of the distinctions and relationships between engineering, technology and science practices (NRC, 2012). The committee has also developed standards for new technology and engineering practices in K-12 curricula. However, providing adequate training for science teachers and empowering them with the necessary qualifications to implement the practices of newly developing technology and engineering applications in science and mathematics continues to be one of the biggest problems of teacher training programs. (Jaipal-Jamani & Angeli, 2017). The importance of three-dimensional (3D) printing technology with a focus on engineering designs is increasing day by day in STEM education thanks to the cutting-edge technology. Similarly, 3D printing is directly related to the Framework for K-12 Science Education (Quinn & Bell, 2013).

3D printers enable the production of multi-layered physical models with digital software (Horejsi, 2014). 3D printers use different materials such as filaments, powder, ceramics and resins as consumables in the production process (Sen et al., 2020). Although computer aided design and 3D printer assisted teaching process were expensive and not cost-effective in the beginning, the costs have decreased to reasonable levels as a result of technological advancements and diversification and its use has become widespread (Scalfani & Sahib, 2013). In the light of the explanations provided above, 3D printing technology has become an indispensable part of teaching process in different disciplines, however the applications and practices concerning 3D technology are to be advanced and should be more accessible and available (Ford & Minshall, 2020). Easy access to 3D applications promotes students' interactions with technology and help them realize the value of the

products they design through 3D printing and other practices in STEM. Wider access to such technology contributes to the development of students' ability to use 3D printers and other innovative production tools which is holistically associated with all STEM fields (Sen et al., 2020). For this reason, it is believed that 3D printing technology, which is compatible with K-12 curricula and is also at the heart of the integrated STEM educational practices, should be applied more effectively in the teaching process. In order for the expressed technology to be effectively utilized in accordance with its purpose throughout the process, and for engineering to be holistically applied to STEM education with a focus on the PBL approach, these technologies need to be integrated into pre-service or in-service teacher training (NRC, 2009). When the literature is examined, it is observed that there are a limited number of studies on the use of 3D printers in the context of STEM education. A search based on the keywords '3D Printing' and 'STEM Education' in the Web of Science database, focusing on subject matter and educational research, reveals a total of 15 scientific articles published. From these studies, it is evident that only the study conducted by Novak and Wisdom (2018) is oriented towards prospective teachers. Upon closer inspection, it is also noted that the study group consisted of prospective elementary school teachers. Thus, no similar study involving the participation of prospective science teachers was found in the relevant database. To contribute to this gap in the literature, the present study was conducted, specifically focusing on the integration of virtual design and 3D printing technology into the training of prospective science teachers, which is directly aligned with the K-12 Science Education Framework (Quinn & Bell, 2013). Virtual design and 3D printing, by focusing on the intersection points of different disciplines in STEM education, make the connections between these disciplines more explicit (Novak & Wisdom, 2018). To maximize the benefits of virtual design and 3D printing, the study was conducted within the context of Biology III, a learning area dominated by abstract concepts. Therefore, Biology III was chosen to provide prospective science teachers with the opportunity to concretize abstract concepts. In this context, the study examined the process of prospective teachers designing concepts in a virtual environment and transforming them into tangible designs using 3D printers. It is believed that such applications, in addition to enhancing the skills of prospective teachers in using these technologies, will also contribute to the meaningful learning of concepts in the course content (Novak & Wisdom, 2018).

Method

Research Design

This research, which examines the process of transforming it into concrete designs with 3D printers by being designed in a virtual environment by pre-service teachers, was designed in accordance with the case study pattern, one of the qualitative research methods. A case study is a qualitative research approach in which the researcher examines one or more situations in a certain period of time with data collection tools (observations, interviews, audio-visuals, documents, reports) suitable for the purpose of the research, and the situations and related themes are defined (Creswell, 2007). The situation examined in the research; It is the process of transforming pre-service teachers into concrete designs with 3D printers created in the virtual environment.

Participants

The study group of this research consists of 41 teacher candidates studying at the second year science teaching level of a state university in the spring semester of the 2021-2022 academic year and taking the relevant course. Preservice teachers have not used the Tinkercad program before and they created a design from 3D printers with this application for the first time. At the end of the study process, semi-structured interviews were conducted with six randomly selected participants among the teacher candidates who carried out their work in a total of 9 different groups. Interviews with the other three teacher candidates could not be conducted due to the inability to find a common time availability. Attention was paid to having a representative from each group and to the principle of voluntariness in the selection of interview participants.

Data Collection Tools

Semi-Structured Interview Form

During the implementation process, the data were obtained from the observations of the researchers, from the forms filled by the preservice teachers as a group, and from the semi-structured interview records.

Implementation Process

In this study, as an integrated STEM activity, it was carried out by preservice teachers to transform abstract concepts within the scope of biology subjects into concrete designs with 3D printers by modeling them in a virtual environment. The applications included in the Biology III course in the Science Teaching Undergraduate Curriculum, which was prepared by the Council of Higher Education and put into practice as of the 2018-2019 academic year, were primarily carried out in the form of traditional laboratory applications in the biology laboratory. Preservice teachers had difficulty in obtaining images in experiments

such as mitotic division stages and observation of DNA structure, since the applications included in the course are generally difficult to implement in the physical laboratory. From this point of view, the problem situation of the research; It was created within the framework of the question of how the preservice teacher can overcome the problem in case they encounter such a situation when they become teachers. As an alternative solution to this situation, it has been explained that original designs related to these concepts can be developed in the virtual environment and the developed designs can be converted into concrete models with 3D printers.

Studies with the preservice teachers forming the study group were carried out alternately in the biology and computer laboratories of the education faculty of the university in the two-hour application part of the course. Weekly practices regarding the implementation process are shown in Table 1.

Table 1

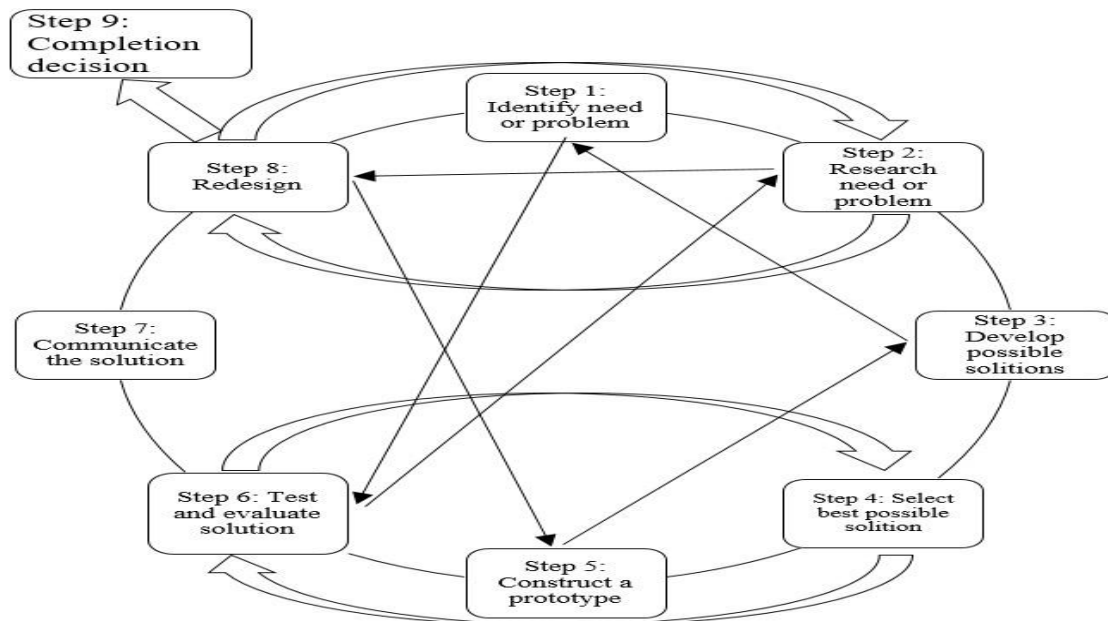
Weekly practices regarding the implementation process

Weeks	Practices	Practices Place
1	General information about the implementation process by researchers.	Computer Laboratory
2	Detailed presentation by researchers about the implementation process, project-based learning and Tinkercad.	Computer Laboratory
3	Making simultaneous designs in Tinkercad program in company with teacher candidates and researchers.	Computer Laboratory
4	Sharing the Tinkercad worksheets prepared by the researchers for free time studies with the teacher candidates.	Computer Laboratory
5	Performing mitosis cell division experiment in onion root.	Biology Laboratory
6	Simultaneous designs with researchers to improve pre-service teachers' skills in using Tinkercad program.	Computer Laboratory
7	Performing DNA isolation experiment. According to the project-based learning method, groups of up to 5 people are formed and the subject is selected according to the course content.	Biology Laboratory
8	The midterm exams.	-
9	Pre-service teachers express the groups they created and the topics they chose as a group. Simultaneous designs with researchers to improve pre-service teachers' skills in using Tinkercad program.	Computer Laboratory

10-11	Pre-service teachers realizing their individual designs on the subjects they have determined in Tinkercad program.	-
12	Determining a design as a group by examining individual designs. Expressing suggestions for the development of the decided design as the final design.	Computer Laboratory
13	Collaborative development of the final designs decided upon as a group. 3D printing of one of the final designs downloaded as .stl extension.	Computer Laboratory
14	Conducting semi-structured interviews about the application process and the use of 3D printers in science education with one volunteer representative selected by the researchers from each group.	Office

According to Table 1, in the first week of the term, general information about the course and the process was given to the preservice teachers, and it was ensured that the preservice teachers were informed about the subject scope of the course, objectives, achievements and assessment and evaluation methods to be applied in the process. In the two-hour theoretical part of the course, lectures continued throughout the semester. In the application part, the application was carried out in the computer laboratory for three weeks after the first week, that is, six hours in total, and in this process, detailed information was given to the preservice teachers about the application process. By enrolling in the virtual design program to be used, worksheets containing the detailed steps for successful realization of a design were prepared and shared with the preservice teachers. The preservice teachers, who were informed about the PBL method and the Tinkercad program, were asked to form study groups of at most five people. Simultaneous designs were carried out with the researcher in the process of learning the Tinkercad program of the preservice teachers. Then, in the fifth week of the semester, the "mitosis cell division in the onion root" experiment was carried out in the biology laboratory, and most of the preservice teachers either could not obtain a clear image or could not clarify the images they obtained under the microscope. From this point of view, the preservice teachers who were compared with a real problem situation were asked, "When you were a teacher, how would you develop a solution when you did this experiment at the secondary school level and faced a similar situation?" The question was asked and the presentations made in the previous weeks were tried to be interpreted. Then, in the sixth week of the process, simultaneous applications for the Tinkercad program were carried out with the preservice teachers in the computer laboratory, and it was tried to develop their skills in using the program. In the last week before the

seventh and mid-term exams, "DNA isolation" application was tried to be carried out in the experiment carried out with the preservice teachers in the biology laboratory. In the application performed with strawberry and banana fruits, the preservice teachers succeeded in isolating the DNA, but they had difficulty seeing the circular structure of DNA under the microscope. From this point of view, it was emphasized that the preservice teachers, who were confronted with the problem after the first application, could frequently encounter similar situations in areas where abstract concepts such as science are the majority. From this point of view, preservice teachers were asked to choose one of the subjects included in the Biology III course. They were asked to write the subject they decided on, the knowledge of the group members and the science, technology, engineering and mathematics achievements needed in the design process on the form created by the researchers. Due to the midterm exams in the eighth week, the practices were interrupted, and in the ninth week of the interview, the preservice teachers were asked to indicate the subjects they determined as a group. After the week, which ended with a simultaneous design for the development of usage skills related to the program, the preservice teachers were given two weeks to carry out their individual designs on the subjects they determined, and laboratory practice was not carried out in a two-week period. In the process, preservice teachers were asked to add images of their individual designs to the form they filled out. Then, they were asked to decide on one of the designs they made individually on the subject they determined as a group in the lesson held in the computer laboratory in the 12th week, and this time they were asked to develop the design they determined in cooperation as a group and create their final designs. During the 13th week, it was seen that most of the groups created the final design, and all groups, including the groups with deficiencies, were asked to send the ".stl" files of their designs to the researcher's e-mail address until the 14th week, and the form containing the achievements and individual designs of the design process. In the 14th and last week, a design that was decided in the application was printed on a three-dimensional printer, allowing preservice teachers to see the printing process. After the process, six volunteer preservice teachers from different groups were selected and semi-structured interviews were held about the use of virtual design and 3D printers in process and science education.

Figure 1*Engineering Design Process Stages (Hynes et al., 2011)*

Preservice teachers carried out the implementation process within the scope of the engineering design process presented by Hynes et al., (2011) shown in Figure 1. While various engineering design process models exist in the literature (Brunsell, 2012; Moore et al., 2013; NRC, 2009; Wendell & Rogers, 2013), it is observed that they consist of different but similarly structured steps. In all engineering design process models, it should be noted that there is no hierarchical order among the steps, and there is flexibility in movement between different steps (Guzey et al., 2016). This research has chosen the model developed by Hynes et al. (2011) due to its recognition as one of the most useful engineering design process models in the literature (Mesutoglu, 2017) and being one of the most preferred engineering design process models in STEM education studies (Adiguzel-Ulutas et al., 2023). It is thought that the comparison of prospective teachers with real problem situations in the biology laboratory is compatible with both the engineering design process and the philosophy of the PBL approach. Preservice teachers, who were compared with a real problem, thus used their imaginations while thinking about how to deal with these and similar problems in their professional lives and developed solutions to the problems within a plan. Then, the preservice teachers in the groups developed their individual designs and discussed the individual designs they developed within the group and chose the one they found the best. After this stage, which can be considered as the testing stage,

the preservice teachers created their final designs by working together and developing a design they determined in their groups.

Data Analysis

The forms and designs created by the preservice teachers were evaluated with the rubric prepared by the researchers. Accordingly, the sample items of the design dimensions category of the design evaluation rubric, which consists of seven sub-categories under a total of 4 categories, namely the dimensions of the design, its visuality (form, edges and corners, shape transformation, point of view), functionality and creativity, are presented in Table 2.

Table 2

Design evaluation rubric sample item

Criteria	Should be improved	Medium	Good
Dimensions of the Design	Not all of the shapes used in the design seem proportional to each other and to the whole design. The ratio is insufficient.	Half of the shapes used in the design do not seem proportional to each other and to the whole. The ratio is partially sufficient.	Almost all of the shapes seem proportional to both the other shapes and the whole. The ratio is quite adequate.

In the context of the other criteria in the rubric, the sample item of which is given in Table 2, the designs made by the preservice teachers were evaluated and a sample design for the good, moderate and improved categories in the rubric is presented in Table 3 in the findings section.

At the end of the application process, six preservice teachers from different groups were interviewed individually through a semi-structured interview form prepared by the researchers. The items in the

semi-structured interview form prepared by the researchers regarding the interviews are as follows:

1. Did you have difficulty in learning the Tinkercad program? If you had difficulties, what were the aspects of the program that made it difficult for you? Can you explain?
2. What are the aspects of the Tinkercad program applications that you like and dislike? Explain the reason for your answer.
3. What would you say about the usability of the Tinkercad program for primary and secondary school students?
4. What can you say about the teaching and applicability of the Tinkercad program and the teaching process supported by 3D printers? (in terms of time-cost-instructional)
5. What do you think as a preservice teacher about the usability of 3D printers in the teaching process of the subjects in the Science course in our country?
6. Should schools have computers and 3D printers? What do you think about this?

During the interviews with the questions expressed and the probe questions asked according to the flow of the interview, audio recordings were taken with the approval of the preservice teacher, and then the audio recordings were transcribed and subjected to content analysis. In the findings obtained as a result of the analysis, the preservice teachers participating in the interview were coded as PT1, PT2, ..., PT6, and these codes were used in direct quotations.




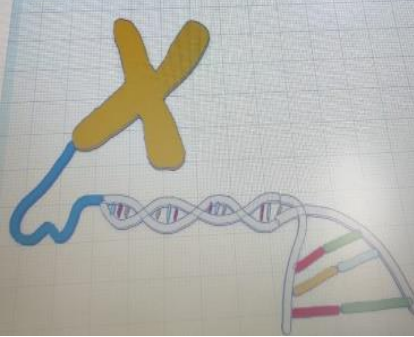

Findings

In the groups they formed, the preservice teachers made their individual designs in the Tinkercad program on the subjects they determined within the scope of Biology III course. Then, in the PBL design form prepared by the researchers, they added the acquisitions they thought related to the subject and the design process, science, technology, engineering and mathematics, and screenshots of their individual designs. Then, they decided on one of the individual designs within the group and developed it as the final design. A determined design was printed on a 3D printer in the computer laboratory where the applications were carried out, allowing preservice teachers to see the printing process. The final designs of the other 7 groups were printed in the researchers' office at the end of the process. After the final designs of all groups were printed out in the process, the designs were scored with the help of a rubric prepared by the researchers. The designs, which were evaluated in seven criteria in total, together with the four criteria and sub-criteria, were evaluated as good, moderate and developed according to their quality. In this context, an example for

each attribute is presented in Table 3 and the necessary explanations are given below the table.

Table 3

Evaluated design examples

Rank	Design		Qualification
	Tinkercad Image	3D Printed Image	
1			Good
2			Medium
3			Should be improved

When Table 3 is examined, it is seen that the designs examined in the dimensions, visibility, functionality and creativity criteria and in the sub-criteria of geometric shapes, edges and corners, transforming shapes, point of view under the visibility criterion are evaluated as good, moderate and developed according to their quality. Accordingly, when the design, which is evaluated as qualitatively good in the relevant categories, is examined, it is seen that almost all of the shapes used in the design proportionally in the size criterion are proportional to both

the other shapes and the whole, and the proportion throughout the design is quite sufficient. When the geometric shapes in the visibility criterion are evaluated in the context of the sub-criterion, it is seen that there are more than 6 types of geometric shapes in the design. When the edges and corners, which is another sub-criterion under this criterion, are evaluated according to the sub-criterion, it is seen that all the edges and corners of the shapes that come into contact with each other in the design are positioned regularly and aligned with each other. When we look at the transformation sub-criterion, it is seen that dimensional, subtractive and additive transformations are made in almost all of the shapes that make up the design, and the groupings are quite sufficient. According to the perspective sub-criterion, which is the last sub-criterion in the same main criterion, it is seen that the three-dimensional structure of the design is smooth no matter from which angle it is viewed. When the design is considered according to the functionality criterion, when it is examined in the working sub-criterion appropriately, it has been evaluated that the parts of the design that should be functional are designed to be fully functional and fully functional in accordance with the criteria. In this respect, it can be said that the design will serve in accordance with the purpose of its creation. The last criterion, the creativity criterion, was evaluated according to the innovation sub-criterion, and the design was evaluated as a highly creative design in terms of an innovative feature or function.

When the design, which is evaluated as medium qualitatively, is examined, it is seen that some shapes in the design proportionally in the size criterion do not appear proportional to both other shapes and the whole, therefore the proportion is considered to be partially sufficient. When evaluated in the context of the geometric shapes sub-criterion in the visibility criterion, it is seen that there is a partial diversity in geometric shapes in the design, and 3 to 5 types of shapes are used. When evaluated according to the sub-criterion of edges and corners, which is another sub-criterion under this criterion, it is seen that in some of the shapes that come into contact with each other in the design, the edges and corners are not regular or there are alignment problems that create indentations and protrusions. When we look at the transformation sub-criterion, it has been evaluated that dimensional, subtractive and additive transformations are made in about half of the shapes that make up the design, and the groupings are sufficient. According to the perspective sub-criterion, which is the last sub-criterion in the same main criterion, it has been evaluated that the three-dimensional structure of the design appears partially smooth when viewed from different angles. When the design is considered according to the functionality criterion, when it is examined in the working sub-criterion appropriately, it is seen that the parts of the

design that should be functional are partially designed in accordance with the criteria and are designed to work, and are evaluated as semi-functional. In this respect, it can be said that the design will partially serve the purpose of its creation. It is seen that an innovative feature or function is partially found in the design, which is evaluated according to the creativity criterion, which is the last criterion, and the sub-criterion of innovation, although it can still be considered as a creative design.

When the design, which is considered to be developed qualitatively, is examined, it is seen that only a few shapes in the design in terms of size do not appear proportional to both other shapes and the whole, and the proportion is insufficient. When the geometric shapes in the visibility criterion are evaluated in the context of the sub-criterion, it is seen that there is very little variation in the geometric shapes used in the design, and mostly the same geometric shapes are used repeatedly. When evaluated according to the sub-criterion of edges and corners, which is another sub-criterion under this criterion, it is evaluated that there are irregularities in the edges and corners of the shapes in contact with each other or alignment problems with each other. When we look at the transformation sub-criterion, it is seen that dimensional, subtractive and additive transformations are made in some of the shapes that make up the design, and the groupings are insufficient. According to the perspective sub-criterion, which is the last sub-criterion in the same main criterion, it is seen that the three-dimensional structure of the design is smooth when viewed from a single point of view, and there are distortions in different points of view. When the design is considered according to the functionality criterion, when it is examined in the working sub-criterion appropriately, it is evaluated that the parts of the design that should be functional are not designed to comply with the criteria and work, and are not functional. In this respect, it can be said that the design cannot serve the purpose of its creation. It is seen that there is no innovative feature or function in the design, which is evaluated according to the creativity criterion, the last criterion, the sub-criterion of innovation, and therefore cannot be considered as a creative design.

At the end of the application process, a total of six preservice teachers from different groups were asked for their opinions on the process and the use of virtual design program and 3D printers in teaching science subjects. The themes and categories revealed as a result of the analysis of the interviews are presented in Table 4.

Table 4

Themes and codes determined as a result of the interview

Themes	Codes	Frequency
Difficulty using	Create a shape	PT1, PT4, PT6
Tinkercad program	Looking from different angles	PT1, PT3, PT4

	Being unfamiliar with 3D design programs		PT2, PT3, PT5
	Have no difficulties		PT3, PT5
	Don't adapt Interface		PT1
	Interface		PT1
Liked aspects of Tinkercad program applications	It's free		PT1, PT5
	No need to download an external app		PT1, PT5
	Concretizing abstract concepts		PT2, PT6
	Ease of use		PT5
	Can be used on devices such as phones, tablets		PT5
	Creating shapes by drawing		PT4
	Build self-confidence in design		PT4
	Enabling simultaneous work		PT3
Turkish language support		PT3	
Disliked aspects of Tinkercad program applications	Interface		PT1, PT2
	Problem with simultaneous operation		PT3
	No voice communication in simultaneous operation		PT3
	Difficulty moving the workplane		PT4
	Difficulty creating shapes		PT4
Usability of Tinkercad program by primary and secondary school students	Suitable for primary school		PT4
	Suitable for middle school		PT1, PT3, PT4, PT6
	Suitable for both levels under teacher guidance		PT2
	Suitable if it is divided into levels as easy, medium, hard		PT5
Teaching and applicability of the teaching process supported by Tinkercad program and 3D printers	Time	Suitable	PT3, PT4, PT5
		Not available	PT1, PT6
	Cost	Suitable	PT3, PT4, PT5
		Not available	PT1, PT6
	Tutorial	Suitable	PT1, PT2, PT3, PT4, PT5, PT6
		Not available	-
Usability of the subjects of 3D printers in the Science course in the teaching process	Available		PT1, PT2, PT3, PT4, PT5
	Can be used for other fields besides science		PT3, PT4
	Dependent on teacher		PT3
	Suitable for biology, not very suitable for use in other fields		PT6
Availability of computers and 3D printers in schools	Should be		PT1, PT2, PT3, ÖA5, PT6
	It happens whether it happens or not		PT4
Application process	Group work		PT2, PT4, PT6

Individual work	PT1
Both group and individual	PT3

Table 4 shows the themes and codes determined as a result of semi-structured interviews with 6 preservice teachers who were voluntarily selected from different groups after the implementation process. Teacher candidates were first asked whether they had difficulty using Tinkercad, the virtual design program used in the implementation process. Only one of the 6 preservice teachers who participated in the interview stated that she had used a different virtual design program before and stated that she had difficulty in adapting to this program at the beginning due to the difference between the programs. As an example of this situation, PT1 used the following statement: "For example, while we wanted to look at the left back side of the design we created, in the programs I used before, we only translated it by pressing the middle button of the mouse.

In this program, we turn it by pressing the right button. This made it difficult for me to adapt in the beginning". PT2, PT3 and PT5 stated that they had never used 3D design programs before. While PT3 and PT5 stated that they did not have any problems in using the program in general, PT3 stated that during the design process, the shape placed on the working plane looked smooth when viewed from different angles. Stating that he had a problem with the interface, PT1 stated that he had difficulty in finding the appropriate shapes for the design he decided on from the program's menu. She expressed her thoughts on this situation as follows: She expressed her thoughts on this situation as follows: "We couldn't find what we were looking for directly. We had to look at all of them one by one in the window that opened on the side. It was a bit of a problem because of that". Apart from this, it is seen that another situation that the preservice teachers stated that they had the most difficulty was forming a shape. PT1 stated that there was no situation where she had too much difficulty other than adapting, and she only had a little difficulty in creating complex shapes. PT1 who expressed this situation like "when you create a small space in one corner of the design, it is a little more difficult to create it, because the program is more effective in the whole design. In other words, it creates a gap in our entire design", added that this may be due to his own learning deficiency, not the program. While she stated that she did not have much difficulty in using the PT4 program for the same code, she stated that she had a lot of difficulty in creating the shape she wanted. She expressed this situation as "I had a hard time using the program, but I had a hard time choosing the shape I would use while designing, and even placing the nested shapes". But for the same situation, PT6 said, "I had difficulties while adding a shape. There are many shape

sections, but not many shapes related to science, most of them for Geometry and math. That's why we tried to produce ourselves with a little more creativity." She stated that the positive side of this situation is that it contributes to the development of their creativity. However, she stated that this point, which she saw as a challenging situation, would be beneficial to open a separate section on science in the program. She expressed this situation with the sentence "For example, since our subject is about biology, there could be ready-made figures related to science in a separate section."

The other theme determined in the interview is about the aspects of the Tinkercad program that are liked and disliked by the preservice teachers. Accordingly, preservice teachers stated that they liked the program being free, allowing abstract concepts to be embodied, and being able to be used without the need to download any additional applications. While PT1 stated that the most favorite feature of the program is that it is free, she expressed this situation as "it is a very good program and it is free, and this is probably the best part". PT5 also stated that the most favorite aspect of the program is that it is free first, with the statement "First of all, it is very advantageous for my teacher to be free". PT5 also stated that "it can be used from computer and phone and it is an advantage that there is no need to download an application" and that it is an important advantage of the program that it can be used from different smart devices without the need for any additional application. PT1 also explained this situation as "any application etc. We can use it online with an internet connection without the need to download it". Stating that it is effective in concretizing abstract concepts, PT2 stated that this is a very useful application because it can enable students to learn better by concretizing many abstract concepts. PT6 stated the same situation as "When we become teachers in the future, we will have something to do with students, for example, we explain the stages of mitosis in an abstract way, but they cannot concretize it in their minds. They can't bring much in front of their eyes. "I think it is good in this respect" she expressed in this statement. Another important feature of the program that was appreciated was expressed by PT3 as the opportunity to work in cooperation. In many groups, it was seen that the preservice teachers mostly came together and created their designs, but PT3 stated that they could not come together with their colleagues. It is seen that this situation actually led them to discover an important feature of the program. Stating that the program allows simultaneous working in cooperation, PT3 is satisfied with this situation: "It allows us to design simultaneously in cooperation. In this respect, it is very useful and a very useful program for designing projects". It was determined that the other aspects liked by the preservice teachers about the Tinkercad program were that it gave them self-confidence in designing, that it could be used from various

smart devices, that it could be used by drawing shapes, and that it had Turkish language support.

It is seen that the points that preservice teachers do not like about the Tinkercad program can be grouped under five codes. Accordingly, it is seen that preservice teachers do not like the interface of the program very much. On the other hand, it has been expressed as a shortcoming for this situation due to the fact that there are sometimes systemic errors in allowing simultaneous work, which is seen as an important feature of the program, and there is no voice communication. PT3 expressed his discomfort regarding this: "When I was working with my teammate, when I made a few changes, the system kicked me out. When I did the same, the system kicked me out and we had to update the page. This is distracting. If there was an audio system, it would be a much better program if those who were working on the same design could set up the audio diagram among the simultaneous designers." In addition, PT4 also stated the situations related to creating shapes and moving the working plane, which are the issues that she had difficulty with, as the points she did not like about the program.

It has been observed that the preservice teachers generally stated that the program is suitable for students at the secondary school level on the theme determined about the usability of the Tinkercad program for primary and secondary school students. Preservice teachers stated that primary school students can also learn this program with appropriate guidance and planning, even if they have some difficulties. This situation PT1 said, "If we draw their attention to design things, I think it will appeal to secondary school students. It may be a little more difficult for primary school students". PT3 used the same situation as "5. The program can be used actively from the first grade. Because in the fifth grade, students are at the level of understanding, perceiving and designing something, but there is another thing when you look at the new generation, maybe we can lower the age level a little more because they are intertwined with technology. PT6 also expressed their views on this situation as "I think it is more suitable for secondary school level. The subject acquisitions of primary school students are not very intense anyway. In other words, things like getting to know our body, for example, in terms of science. I think it is more suitable for middle school because there are abstract concepts such as DNA, cell and cell divisions." expressed as. Stating that it is suitable for students at both education levels, PT4 expressed their opinions on this subject as "I have high expectations from young children. That's why I think students at both levels can use it." While PT2 stated that it would be more appropriate to use the program under the leadership of a teacher for students at both levels, PT5 stated that the program could be divided

into different difficulty levels as easy-medium-hard and more appropriately addressed to different education levels.

In the theme, which was determined as the teaching and applicability of the learning process supported by the 3D printer and Tinkercad program, the preservice teachers generally expressed negative opinions in terms of time and cost. Preservice teachers, who stated that these applications would take a lot of time in the teaching process, also stated that this situation could be quite costly considering the country and institution conditions. On the other hand, it is seen that the preservice teachers agreed that the teaching process supported by these technologies would be quite productive. PT3 evaluated these three codes in a holistic way and expressed his views as follows: "It is worth the time and cost spent in the process, my teacher. Because, for example, I designed a cell. Seeing the cell on paper is a two-dimensional thing. Figuring out what's where can take some imagination. After all, what is drawn there is not the exact shape of the actual cell. For example, when we draw a water bottle on paper, we cannot see it properly. But when we design it in Tinkercad program and print it on a 3D printer, we can see its full shape, so we can see it exactly as a normal object. Like the human model with organs and stuff that we use in biology. This is how we can evaluate it". Again, while expressing their views in a similar way in PT5, it is seen that preservice teachers generally think that three-dimensional designs will provide more effective learning than two-dimensional visuals drawn on paper. In terms of time, they state that they cannot allocate much time for the printing time of 3D printers and 3D design programs due to the intensity of the curriculum. They state that in terms of cost, it may vary according to the conditions of the country, but it will be costly for the student to meet, and it will be reasonable if the necessary budget is met by the schools.

The other theme was determined for the use of these applications in the teaching process of the subjects in the context of science. Almost all of the preservice teachers who participated in the interview on this theme stated that similar applications could be carried out for other science subjects, except for biology subjects, where the applications were carried out. While PT6 stated that these practices were more appropriate in teaching biology subjects, PT3 stated that the use of such practices could be carried out depending on the teacher rather than the subject. While it was seen that the preservice teachers also stated that these technologies could be used in other fields, it was observed that they specifically stated that the approach and equipment of the teacher is also important in this process. PT3 stated that teachers should be trained with the competencies to use these technologies: "3D printers should be used in practice lessons and taught to preservice teachers. For example, I have seen such technological tools in your class for the first time, I am not sure if we will

see them again in the future, but there should definitely be more. I hope that even a special lesson will be opened for this”.

It has been observed that preservice teachers stated that these technologies should be available in schools and a preservice teacher expressed his opinion about these technologies being found at schools as it didn't matter. Stating that its presence would certainly contribute, PT4 expressed his opinion on this subject with the phrase "yes, that is, it will contribute, but I did not know whether it was necessary or not". PT1 stated that these technologies are available in the school environment and used in the teaching process, as well as the fact that students can use them effectively. He also stated that access to these technologies should be easier with the statement "I think there should be one in every classroom, not just one in every school." PT3 also stated that these technologies should be found in primary and secondary schools, but he also stated that these technologies should be found and used effectively in teacher training institutions. PT5 also stated that "There should be 3D printers in school. In this way, teachers can create designs according to the subject and use these designs as teaching materials in the teaching process. The Tinkercad program, which is divided into categories as easy-medium-difficult together with the computer laboratories, also justifies the use of whichever category is suitable for that age group, which would be a very good detail for our education system. PT2 and PT6 also briefly expressed their opinion that it should be found.

On the other hand, the last theme determined in the interviews was the theme of whether individual or group work would be more effective in the implementation process. It is seen that there is differentiation in the codes determined for this theme in the form of individual, group and both individual and group. It has been observed that group work will be more effective in the process, but that the necessary skills and responsibility awareness regarding group work should be instilled in younger age groups. Stating that she prefers to work individually rather than group work, PT1 expressed her reasoning on this subject as "when task sharing is done, not everyone can complete it in the same time and this creates a disadvantage for me". However, he added that group work can be more effective when the necessary knowledge and skills about group work are taught from young age groups. He expressed his opinion on this subject as "group work will be effective when taught with all responsibilities starting from primary school". PT3 stated that the Tinkercad program can be effective both individually and as a group. He stated that when working individually, it contributes to the ability of a person to design and complete a project alone, while in group work, he emphasized that working skills can be improved in cooperation. He also expressed his opinion on this subject: "If an individual can design and project, this is a very good thing. This is a

great chance as there is an opportunity to look from every angle, from different angles while designing in 3D. This opportunity is very nice. An individual can use it for a project. As a group, I think there should be a maximum of 4 people. More than 4 people cause mayhem. But if 4 people work in communication, it will be very successful”.

Accordingly, it was seen that the preservice teachers had some difficulties in the process of using the Tinkercad program, which was used as a virtual design program within the scope of the study, but stated that they were able to overcome this situation. Although there are many shape sections in the curriculum, it has been observed that they stated that there is a disadvantage that there is no shape section specific to science and that it would be beneficial to add such a section. In addition, according to the opinions of the preservice teachers, it is thought that dividing the program into easy-medium-difficult levels will provide an advantage for those who are just starting to use the program and younger age groups. On the other hand, the fact that the program is free, allows to embody abstract concepts easily and can be used on smart devices such as phones, tablets and computers with internet connection without the need for any additional application were expressed as the most favorite aspects of the preservice teachers. The most disliked aspect of the program was its interface. It was observed that preservice teachers generally stated that they had difficulty in finding the shapes they wanted. It was observed that preservice teachers stated that these practices can be used at primary and secondary school level if the teachers who will guide the program and the implementation process meet the stated conditions. However, it was observed that the preservice teachers, who stated that this application process may not always be appropriate in terms of time and cost, stated that the process supported by these applications would be quite instructive in any case. While it is stated that these applications can be used not only in science but also in other disciplines, it is stated that the attitude and quality of the teacher is more important here than the subject or discipline area. It has been seen that it is important to have 3D printers in primary and secondary schools and to use them effectively, but it has been stated that these technologies should be found primarily in teacher training institutions. It is seen that it is stated that working individually or in groups in such practice processes will be more effective if the skills and responsibility awareness required for group work are developed at a young age.

Discussion

The study aims to determine the opinions of prospective science teacher regarding the integration of virtual design and 3D printing technology into science teacher education. It is thought that the practices carried out with preservice science teachers are important in

terms of integrating 3D virtual design programs and 3D printers into science teacher education. In the physical laboratory environment, which constitutes the starting point in determining the problem situation in the implementation process, the preservice teachers were left alone with a real problem situation, based on the fact that every abstract concept could not be embodied in a clear and understandable way. In this respect, the process, which is seen to be compatible with the engineering design process stages put forward by Hynes et al (2011), was also continued with the focus of PBL-based STEM education approach. It was observed that the preservice teachers expressed a negative opinion on the criticism that it would be more appropriate to use appropriate consumables in a physical environment instead of virtual design programs to reduce the limitations of the traditional laboratory environment. The preservice teachers, who stated that they had many chances of repetition until the most suitable design was obtained through trial and error in designs realized in the virtual environment, emphasized that the practices carried out in this aspect are also very important in terms of sustainability. During the implementation process, it was seen that most of the preservice teachers saw the virtual design program and 3D printer for the first time. In this respect, it is thought that preservice teachers, who are the teachers of the future today, which is called the age of technology, should be trained to be able to effectively use all kinds of technology that can be used in the teaching process. It is seen that applications that require cooperative learning skills together with the PBL approach together with engineering design skills contribute to the development of their creativity due to the features of the Tinkercad program, as stated by the preservice teachers. From the statements of the preservice teachers working as a group in the practices, it is understood that the necessary knowledge and skills for this group work should be gained in younger age groups, and it is understood that such practices should be carried out appropriately at the K-12 level. The fact that the Tinkercad virtual design program used in the process allows simultaneous work on the realized design is also seen as a great advantage for collaborative work. This situation also reveals the importance of using the program in gaining the necessary knowledge and skills in young age groups. In addition, since the preservice teachers stated that such technology and design-oriented practices depend on the attitude and quality of the teacher rather than the subject area, it is understood that these practices are important for the K-12 level as well as in teacher education. However, it is understood from the statements of the preservice teachers that such practices are rare in teacher education and they think that the number of similar practices should increase. In this context, it is thought that preservice

teachers who will carry out such applications at the K-12 level should be more exposed to these technologies.

When the literature is examined, it is seen that there are a limited number of studies on how preservice teachers can use these technologies in their professional life in STEM education applications and how to integrate the use of 3D printing into the process (Novak & Wisdom, 2018; Trust & Kommers 2017; Verner & Merksamer, 2015). With this aspect, it is thought that this study will contribute to the literature on how virtual design and 3D printing technology can be integrated into the K-12 science curriculum and teacher education. In addition, it is understood from the statements of the preservice teachers that designing in the virtual environment develops their self-confidence in designing and that working in collaboration contributes to their ability to work in collaboration. In this respect, it is seen that PBL contributes to the development of creativity, responsibility and cooperation in the STEM education approach (Connors-Kellgren et al., 2016).

The fact that the practices with preservice teachers were carried out within the scope of the Biology 3 course, where abstract concepts are concentrated, suggests that similar practices can be used in the teaching process of other subjects within the scope of science. Based on this situation, as a result of the examination of the views of the preservice teachers, it was seen that the preservice teachers stated that similar applications could be used in every field according to the subject and the qualification of the teacher. It is seen that different studies in the literature using 3D design programs and 3D printers support this situation (Bilgin et al., 2015; Kahraman & Maras, 2022; Lucas, 2021; Novak & Wisdom, 2018; Ozcakir-Sumen & Calisici, 2019; Pabuccu-Akis & Demirer, 2022; Sen et al., 2020; Verner & Merksamer, 2015). When the literature is examined, it is seen that there are many studies on the use of virtual design and 3D printing technology in many different fields (Ford & Minshall, 2020; Horejsi, 2014; Scalfani & Sahib, 2013; Sen et al., 2020). In addition, it is seen that it is difficult to concretize abstract concepts in the traditional laboratory environment in any case, especially in science subjects (Emrahoglu & Sagliker, 2010; Gungor-Seyhan & Okur, 2020; Koc Unal, 2019). Although this problem is tried to be overcome with designs made with physical materials, it is seen that it is not possible to fully employ STEM fields. The realization of the realized applications in the virtual environment contributes in terms of sustainability, while providing the opportunity to directly integrate technology into the design process. When evaluated from this aspect and considering the statements of preservice teachers, it is thought that such practices will contribute to the development of many skills, especially creativity and working in cooperation.

Conclusion

This study is limited to the steps and processes specified in the Biology III course with the participation of preservice science teachers. The preservice teachers stated that the practices applied in the form of two lessons per week and carried out after two hours of theoretical lectures cause fatigue. For this reason, they stated that it would be more efficient to carry out the applications on the day when the course intensity is low. In this context, it may be useful for researchers working in the field to consider this situation in order to overcome this limitation and disadvantage. In addition, it is seen that the related applications are discussed in many areas in the studies in the literature. When evaluated in the context of teacher education, virtual design programs and 3D printers can be included in the process in other teaching fields according to subjects and concepts, especially science. In this way, technology can be integrated into the education process, and it can be ensured that preservice teachers are trained in these technologies before starting their professional education carriers. In-service training can also be provided for in-service teachers by providing the necessary conditions.

Ethics Committee Approval: *This research was conducted with the permission obtained by the Mersin University Scientific Research and Publication Ethics Social and Human Sciences Board's decision dated 03/03/2022 and numbered 88.*

Conflict of Interest: *The authors declare that they have no conflict of interest.*

Author Contribution: *The authors equally contributed to the article.*

References

- Adiguzel-Ulutas, M., Elmas, R., Karakaya, F., & Yilmaz, M. (2023). Examination of the studies on STEM education approach in the context of engineering design process in Türkiye. *The Journal of Turkish Educational Sciences*, 21(2), 1111-1130. <https://doi.org/10.37217/tebd.1294562>
- Bell, D. (2016). The reality of STEM education, design and technology teachers' perceptions: A phenomenographic study. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(1), 61-79. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9300-9>
- Bilgin, I., Karakuyu, Y., & Ay, Y. (2015). The effects of project based learning on undergraduate students' achievement and self-efficacy beliefs towards science teaching. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 11(3). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1015a>
- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and

- partnerships. *School Science and Mathematics*, 112(1), 3-11. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>
- Brunsell, E. (Ed.). (2012). *Integrating engineering and science in your classroom*. NSTA press.
- Bybee, R. W. (2010). What is STEM education? *Science*, 329(5995), 996.
- Casey, B. (2012). *STEM Education: Preparing for the Jobs of the Future*, A Report by the (U.S. Congress) Joint Economic Committee Chairman's Staff Senator Bob Casey, April 2012.
- Connors-Kellgren, A., Parker, C. E., Blustein, D. L., & Barnett, M. (2016). Innovations and challenges in project-based STEM education: Lessons from ITEST. *Journal of Science Education and Technology*, 25(6), 825-832. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9658-9>
- Creswell, J. W. (2007). *Qualitative inquiry & research design: Choosing among five approaches* (2. Baskı). SAGE Publications.
- Diffily, D. (2001). *Real-world reading and writing through project-based learning*. Real World Reading, Reports. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED453520.pdf>
- Diffily, D. (2002). Project-based learning: Meeting social studies standards and the needs of gifted learners. *Gifted Child Today*, 25(3), 40-59.
- Doganay, A. & Tok, S. (2012). Öğretimde çağdaş yaklaşımlar. İçinde, Doğanay, A. (Ed.), *Öğretim ilke ve yöntemleri* (239-297). Pegem Akademi.
- Egenrieder, J. A. (2007). Community-focused, project-based learning to promote diversity in STEM. *Journal of Virginia Science Education*, 1(2), 5-16.
- Emrahoglu, N., & Sagliker, S. (2010). The effects of computer based- multimedia courseware on students academic achivement in the teaching the topics of gravitation and general relativity. *Journal of Çukurova University Social Sciences Institute*, 19(2), 237-248.
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Erdem, M. (2002). Project based learning. *Hacettepe University Journal of Education*, 22, 172-179.
- Ford, S., & Minshall, T. (2019). Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25 131-150. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Gardner, M., & Tillotson, J. W. (2019). Interpreting integrated STEM: Sustaining pedagogical innovation within a public middle school context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(7), 1283-1300. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9927-6>
- Guzey, S. S., Moore, T. J., Harwell, M., & Moreno, M. (2016). STEM integration in middle school life science: Student learning and attitudes. *Journal of*

Science Education and Technology, 25, 550-560.
<https://doi.org/10.1007/s10956-016-9612-x>

- Gungor-Seyhan, H., & Okur, M. (2020). Investigation of teachers' opinions about the importance of mobile technology support in science laboratories. *YYU Journal of Education Faculty*, 17(1), 1242-1271. <https://doi.org/10.33711/yyuefd.809127>
- Han, S., Yalvac, B., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2015). In-service teachers' implementation and understanding of STEM project-based learning. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(1), 63-76. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1306a>
- Horejsi, M. (2014). Teaching STEM with a 3D Printer. *The Science Teacher*, 81(4), 10.
- Huri, N. H. D., & Karpudewan, M. (2019). Evaluating the effectiveness of Integrated STEM-lab activities in improving secondary school students' understanding of electrolysis. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(3), 495-508. <https://doi.org/10.1039/C9RP00021F>
- Hynes, M., Portsmore, M., Dare, E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). Infusing engineering design into high school STEM courses. https://digitalcommons.usu.edu/ncete_publications/165
- Jaipal-Jamani, K., & Angeli, C. (2017). Effect of robotics on elementary preservice teachers' self-efficacy, science learning, and computational thinking. *Journal of Science Education and Technology*, 26(2), 175-192. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9663-z>
- Kahraman, E., & Maras, M. (2022). Analysis of pre-service science teachers' development processes of 3D designs and design products. *International Journal of Technology in Education (IJTE)*, 5(2), 296-320. <https://doi.org/10.46328/ijte.223>
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kingston, S. (2018). Project based learning & student achievement: What does the research tell us? (PBL evidence matters, volume 1, no. 1). Buck Institute for Education.
- Koc-Unal, İ. (2019). *Investigation of the effects of virtual and real laboratory applications on the academic achievement of 5th grade science course electric unit teaching*. [Master's thesis, Necmettin Erbakan University]. National Thesis Center.
- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267-277. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). *Project-based learning*. The Cambridge handbook of the learning sciences (s. 317-34).
- Krajcik, J. S., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., & Soloway, E. (1994). A collaborative model for helping middle grade science teachers learn project-based

- instruction. *The Elementary School Journal*, 94, 483–497. <https://doi.org/10.1086/461779>
- Lucas, K. L. (2021). The use of 3-D modeling and printing to teach the central dogma of molecular biology. *Science Activities*, 58(2), 70-76. <https://doi.org/10.1080/00368121.2021.1918048>
- Marginson, S., Tytler, R., Freeman, B., & Roberts, K. (2013). STEM: Country comparisons, international comparisons of science, technology, engineering and mathematics (STEM) education. Australian Council of Learned Academies, Final report. <http://hdl.handle.net/10536/DRO/DU:30059041>
- Mesutoglu, C. (2017). *Developing teacher learning progressions for K-12 engineering education: Teachers' attitudes and their understanding of the engineering design*. [Doctoral Thesis, Middle East Technical University]. National Thesis Center.
- Meyrick, K. M. (2011). How STEM education improves student learning. *Meridian K12 School Computer Technologies Journal*, 14(1), 1-6.
- Mobley, M. C. (2015). Development of the SETIS instrument to measure teachers' self-efficacy to teach science in an integrated STEM framework.
- Moore, T. J., Stohlmann, M. S., Wang, H. H., Tank, K. M., Glancy, A. W., & Roehrig, G. H. (2014). Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education. In *Engineering in pre-college settings: Synthesizing research, policy, and practices* (pp. 35-60). Purdue University Press.
- National Aeronautics and Space Administration. (2011). *Beginning engineering, science and technology educator guides: An educator's guide to the engineering design process grades 6-8*. https://www.nasa.gov/pdf/630754main_NASAsBESTActivityGuide6-8.pdf
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (committee on a conceptual framework for new K-12 science education standards. Board on science education, division of behavioral and social sciences and education ed.). The National Academies Press.
- National Research Council. (2010). *Standards for K-12 engineering education?* The National Academies Press.
- National Research Council. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. The National Academies.
- Novak, E., & Wisdom, S. (2018). Effects of 3D printing project-based learning on preservice elementary teachers' science attitudes, science content knowledge, and anxiety about teaching science. *Journal of Science Education and Technology*, 27(5), 412-432. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9733-5>

- Ozcakir-Sumen, O., & Calisici, H. (2019). An investigation of mathematics projects developed by prospective primary school teachers in STEM project-based learning environment. *Ondokuz Mayıs University Journal of Education Faculty*, 38(1), 238-252. <https://doi.org/10.7822/omuefd.521012>
- Pabuccu-Akis, A., & Demirer, I. (2023). Integrated STEM activity with 3D printing and entrepreneurship applications. *Science Activities*, 60(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/00368121.2022.2120452>
- Quinn, H., & Bell, P. (2013). How designing, making, and playing relate to the learning goals of K-12 science education. In *Design, Make, Play* (pp. 35-51). Routledge.
- Scalfani, V. F., & Sahib, J. (2013). A model for managing 3D printing services in academic libraries. *Issues in Science and Technology Librarianship*, 72(Spring), 1-13.
- Sen, C., Ay, Z. S., & Kiray, S. A. (2020). A design-oriented STEM activity for students' using and improving their engineering skills: the balance model with 3D printer. *Science Activities*, 57(2), 88-101. <https://doi.org/10.1080/00368121.2020.1805581>
- Tarhan M. & Gulmez A. (2021). Project-based learning approach to gaining entrepreneurship skills: Japan case. *National Journal of Education Academy*, 5(1), 175-188. <https://doi.org/10.32960/uead.881576>
- Trust, T., & Kommers, S. (2017). From 2D thinking to 3D printing: preservice and in-service teacher teams explore a new technology. In M. Grassetti & S. Brookby (Eds.), *Advancing Next-Generation Teacher Education through Digital Tools and Applications*: Information Science Reference.
- Verner, I., & Merksamer, A. (2015). Digital design and 3D printing in technology teacher education. *Procedia Cirp*, 36, 182-186. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.041>
- Wendell, B. K., & Rogers, C. (2013). Engineering design-based science, science content performance, and science attitudes in elementary school. *Journal of Engineering Education*, 102, 513e540. <http://dx.doi.org/10.1002/jee.20026>.