



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

3 BOYUTLU YAZICI İLE OYUNUMU TASARLIYORUM, OYNUYORUM VE MATEMATİK ÖĞRENİYORUM

I DESIGN, PLAY AND LEARN MATHEMATICS WITH 3D PRINTER

Yazarlar (Authors): Gözdegül Arık Karamık* 

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karamık G.A.,
“3 Boyutlu Yazıcı ile Oyunumu Tasarlıyorum, Oynuyorum ve Matematik Öğreniyorum” *Int.*
J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind., 6(3): 566-577, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1211867

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

3 BOYUTLU YAZICI İLE OYUNUMU TASARLIYORUM, OYNUYORUM VE MATEMATİK ÖĞRENİYORUM

Gözdegül Arık Karamık* 

Akdeniz Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: gkaramik@akdeniz.edu.tr

(Received: 29.11.2022; Revised: 08.12.2022; Accepted: 27.12.2022)

ÖZ

Oyun, hem derslerin hem de hayatın kendisinin öğrenilmesinde önemli bir araçtır. Öğrenciler oyunlaştırılabilen süreçlere adapte olabilmekte ve süreci içselleştirebilmektedir. Matematik öğretiminde önemli bir araç olan oyun hem matematiksel süreç becerilerini desteklemekte hem de öğrencilerin eğlenerek öğrenmelerine yardımcı olabilmektedir. Teknolojinin her geçen gün hızla ilerlediği günümüzde öğrencilerin teknoloji ile oyunu birleştirebilmeleri de matematik öğretimi için önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı 7. sınıf öğrencilerinin 3 boyutlu (3B) yazıcı ve CNC makinesinde oluşturabilecekleri oyunları geliştirmek ve bu sürecin matematiksel olarak hangi becerileri geliştirdiğini ortaya koymaktır. Bu bağlamdan hareketle alt problemler belirlenmiş olup çalışma nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması deseni ile hazırlanmıştır. Çalışma, Antalya ilinde öğrenim gören 12 (6 erkek ve 6 kız) öğrenci ile gerçekleştirilmiş olup kolay ulaşılabilir örnekleme çalışma grubu oluşturulmuştur. Araştırmada veriler gözlem formu, tanılayıcı form ve odak grup görüşme formu yardımı ile toplanmıştır. Araştırmacı tarafından hazırlanan gözlem formu katılımcıların her biri için 6 oturumluk uygulama sürecinde ayrı ayrı doldurulmuştur. Araştırma öncesinde çalışma grubunun demografik özellikleri, 3B yazıcı ve CNC makine kullanım bilgileri ve oyun oynama alışkanlıkları araştırmacı tarafından hazırlanan tanılayıcı form yardımı ile toplanmıştır. Araştırma sonrasında 6 öğrenci ile odak grup görüşmesi gerçekleştirilmiştir. Katılımcılarla altı oturumu uygulama olmak üzere 8 oturum gerçekleştirilmiştir. Oynamak istedikleri oyunlar belirlenmiş ve bu oyunların TinkerCAD ve CorelDraw programları ile nasıl çizilebileceği, makine kullanımında nelere dikkat edilebileceği tartışılmıştır. Altı oturumluk sürecin her birinde birer oyun materyali öğrenciler tarafından geliştirilmiş olup yazıcı ve CNC makinesinde ürünler elde edilmiştir. Uygulama sonrasında verilerin betimsel ve içerik analizine gidilmiştir. 7. sınıf öğrencilerinin 3B yazıcı ve CNC makinesi ile oluşturdukları oyunları tasarlama sürecinin ilişkilendirme ve temsil becerisini, oyun oynama sürecinin ise muhakeme ve iletişim becerisini geliştirdiğine yönelik bulgular elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazıcı, CNC Makinesi, Matematik Öğretimi, Oyun.

I DESIGN, PLAY AND LEARN MATHEMATICS WITH 3D PRINTER

ABSTRACT

Game is an important tool both in learning the lessons and in the learning of life itself. Students can adapt to gamification processes and internalize the process. The game, which is an important tool in teaching mathematics, both supports mathematical process skills and helps students learn while having fun. Today, where technology is advancing rapidly day by day, it is important for students to combine technology and games for mathematics learning. The aim of this study is to develop the games that 7th grade students can create on a 3D printer and CNC machine and to reveal which skills this process develops mathematically. Based on this context, sub-problems were determined and the study was prepared with a case study, which is one of the qualitative research methods. The study was carried out with 12 (6 male and 6 female) students studying in Antalya and group was formed with an easily

accessible sample. In the study, data were collected with observation form, diagnostic form and focus interview form. The observation form prepared by the researcher was filled in separately for each of the participants for the 6-week implementation period. Before the research, demographic characteristics of the study group, 3D printer and CNC machine usage information, and game playing habits were collected with the help of a diagnostic form prepared by the researcher. After the research, focus group interviews were held with 6 students. An 8-week session was held with the participants, six of which were practice. The games they want to play were determined and it was discussed how to draw these games with TinkerCAD and CorelDraw programs and what to pay attention to drawing. In each of the six-week period, a game material was developed by the students and products were obtained on the printer and CNC machine. After the application, descriptive and content analysis of the data was carried out. Findings have been obtained that the process of designing the games created by the 7th grade students with a 3D printer and CNC machine improves their association and representation skills, while the process of playing games improves their reasoning and communication skills.

Keywords: 3D Printer, CNC Machine, Teaching Mathematics, Game.

1. GİRİŞ

Farklı disiplinlerde (mimarlık, mühendislik, cerrahi) üç boyutlu (3B) yazıcı uygulama örneklerine ve kullanımlarına ulusal ve uluslararası literatürde [1-6] rastlamak mümkün olsa da eğitim alanında gerçekleştirilen çalışmalar sınırlıdır [7].

“Katmanlı Üretim” ve “Eklemeli Üretim” isimleri ile de anılan 3B yazıcılarla üretilen materyallerin tarihi 1983’e kadar uzanmakta olup matematik öğretimi için tasarlanmış 3B materyallerin üretimine ve uygulanmamasına rastlanmamaktadır. Oysa öğrencilerin kendi materyallerini üretebildikleri sürecin matematiksel becerileri de desteklemesi mümkündür.

Uluslararası Matematik öğretmenleri Konseyi [National Council of Teachers of Mathematics (NCTM)] matematik için becerileri problem çözme, muhakeme ve ispat, iletişim, ilişkilendirme ve temsil olarak tanımlamakta ve her bir becerinin önemli olduğunu vurgulamaktadır. NCTM (2000) tarafından; problem çözme öğrencilerin fikirlerini geliştirmede bir araç olup akıl yürütme ve ispat da matematiksel süreç ile ilgili karar verme ve cevapları anlamlandırma olarak ifade edilmektedir. Buna ek olarak; iletişim, matematiksel fikirlerin konuşulması, yazılması ve açıklanmasını içermektedir. İlişkilendirme standardı, matematiksel fikirler arasındaki ilişkiyi ve gerçek dünya ve diğer disiplinlerle ilişkiyi ifade eder. Ayrıca temsil ise matematiksel fikirlerin ifadesinde diyagram, manipülatif, grafik, tablo ve sembollerin kullanılmasını içermektedir[8].

Ulusal arenaya bakıldığında ise 2009 yılında yayınlanan Matematik Dersi Öğretim Programında (MDÖP) beceriler; Türkçe’yi doğru, etkili ve güzel kullanma, eleştirel düşünme, yaratıcı düşünme, iletişim, problem çözme, araştırma, karar verme, bilgi teknolojilerini kullanma ve girişimcilik olarak belirlenmiştir. MDÖP’de bu genel becerilere ek olarak matematiğe özgü beceriler; problem çözme, iletişim, ilişkilendirme ve akıl yürütme olarak ifade edilmekte tahmin becerisi akıl yürütme içerisinde aktarılmaktadır [9]. Günümüz öğretim programlarında tam olarak beceri tanımı yapılmasa da dersin özel amaçlarında tahmin etme ve zihinden işlem yapma becerilerine yer verilmekte [10], beceri temelli soruların yer aldığı yayınlar MEB tarafından öğrencilere sunulmaktadır [11].

Bu beceriler, farklı yöntemlerle veya farklı uygulamalar ile kazandırılabilir. Bu yöntemlerden biri de oyunla öğrenmedir. Oyun hem derslerin hem de hayatın kendisinin öğrenilmesinde önemli bir araçtır. Öğrenciler oyunlaştırılabilen süreçlere adapte olabilmekte ve süreci içselleştirebilmektedir. Matematik öğretiminde önemli bir araç olan oyun hem matematiksel süreç becerilerini desteklemekte hem de öğrencilerin eğlenerek öğrenmelerine yardımcı olabilmektedir. Teknolojinin her geçen gün hızla ilerlediği günümüzde öğrencilerin teknoloji ile oyunu birleştirebilmeleri de matematik öğretimi için önem arz edebilmektedir. Bu süreçlerde eksik olan ise genellikle öğrencilerin oyunların kazandırmayı amaçladığı belirli bilgi ve becerileri edinmelerini sağlayan etkili tasarım süreçleridir [12].

Bu önemden hareketle 3B yazıcılarla ve CNC makinesinde oluşturulabilecek materyallerin etkili tasarım süreçlerinde öğrenciler tarafından hazırlanması ve hazırlanan materyallerin oyun tabanlı öğrenme ile sınıf ortamına taşınması önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı 7. sınıf öğrencilerinin 3B yazıcı ve CNC makinesinde oluşturabilecekleri oyunları tasarlama ve oynama süreçlerinin matematiksel becerileri kazandırma bağlamında incelenmesidir. Çalışmanın alt problemleri;

1) 7. sınıf öğrencilerinin 3B yazıcı ve CNC makine yardımı ile oluşturdukları oyunları tasarlama sürecinin kazandırdığı matematiksel beceriler nelerdir? Bu becerilerin göstergeleri nelerdir?

2) 7. sınıf öğrencilerinin 3B yazıcı ve CNC makine yardımı ile oluşturdukları oyunları oynamalarının kazandırdığı matematiksel beceriler nelerdir? Bu becerilerin göstergeleri nelerdir? şeklindedir.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Deseni

Çalışma nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması deseni ile hazırlanmıştır. Durum çalışması, gerçek yaşam ya da güncel sınırlı bir sistem hakkında çoklu durum kaynakları aracılığı ile detaylı ve derinlemesine bilgi toplanan bir durum betimlemesidir [13]. Tanımlayıcı durum deseninde olgunun derinlemesine tanımlanması amaç olup çalışmanın durumu yani sınırlı sistemi 3B yazıcı ve CNC makinesinde oyun tasarlama ve tasarlanan oyunları oynama sürecinin matematiksel becerilere etkisidir.

2.2. Çalışma Grubu ve Uygulama Süreci

Çalışma, Antalya ilinde MEB'e bağlı bir ortaokulda öğrenim gören 12, 7. sınıf öğrencisi ile gerçekleştirilmiş olup kolay ulaşılabilir örneklemle çalışma grubu oluşturulmuştur. Araştırma öncesinde çalışma grubunun demografik özellikleri, 3B yazıcı kullanım bilgileri ve oyun oynama alışkanlıkları araştırmacı tarafından hazırlanan tanımlayıcı form yardımı ile toplanmıştır. Çizelge 1'de katılımcıların demografik özellikleri yer almaktadır. Öğrenciler S1, S2, ... , S12 olacak şekilde kodlanmıştır. Dijital Oyun (D.O.) ve oyun (O) tercihleri de çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 1. Demografik/tanımlayıcı özellikler.

K	C	3B Yazıcı Kullandı mı?	CNC Makinesini Kullandı mı?	Oyun Oynama Tercihi
S1	K	Hayır	Hayır	D.O.
S2	K	Hayır	Hayır	D.O.
S3	K	Hayır	Hayır	D.O.
S4	K	Hayır	Hayır	D.O.
S5	K	Hayır	Hayır	O.
S6	K	Hayır	Hayır	O.
S7	E	Hayır	Hayır	O.
S8	E	Evet (Aile Kullanımı)	Evet (Aile Kullanımı)	O.
S9	E	Hayır	Hayır	D.O.
S10	E	Hayır	Hayır	D.O.
S11	E	Hayır	Hayır	D.O.
S12	E	Hayır	Hayır	D.O.

Çizelge 1'e bakıldığında katılımcıların 6 erkek ve 6 kız öğrenciden oluştuğu, bir öğrenci dışında 3D yazıcı ve CNC makinesini daha önce kullanmadığı, kullanan öğrencinin ise babasına ait iş yerinde bu aletlerin olduğu ve oyun oynama tercihlerinin ağırlıklı olarak dijital oyun olduğu görülmektedir.

Katılımcılarla altı oturumu uygulama olmak üzere toplam sekiz oturumluk bir süreç gerçekleştirilmiştir. İlk oturum, oynamak istedikleri oyunlar belirlenmiş ve ikinci oturum bu oyunların *TinkerCAD* ve *CorelDraw* programları ile nasıl çizilebileceğine ve süreçte nelere dikkat edilebileceği tartışılmıştır. Dört oturumluk sürecin her birinde birer oyun materyali öğrenciler tarafından geliştirilmiş olup 3B yazıcı ve CNC makinesinden ürünler elde edilmiştir. Uygulama ilk iki oturum 2 ders saati sürmüştür olup diğer oturumlarda elde edilen ürünlerle oynamaları için 2 saate ek iki ders saati süre tanınmıştır. 8. oturum ise öğrencilerle 3B yazıcı ve CNC makinesinin farklı şekilde kullanımları ve oyun, matematik, teknoloji üçlemesi şeklinde odak grup görüşmesi gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonrasında üç boyutlu yazıcı ile 3x3'lük XOX oyunu, 4x4'lük "Yan Yana Olmasın" oyunu, CNC makinesinde ise DAAL ve ÜÇAL oyunları öğrenciler ve araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. 3B yazıcı ile oluşturulan oyunlar Şekil 1'de verilmektedir. Şekil 2'de ise CNC makinesinde oluşturulmuş oyunlar yer almaktadır.



Şekil 1. 3B yazıcı yardımı ile elde edilen ürünler.



Şekil 2. CNC makinesi yardımı ile elde edilen ürünler.

Kullanılan 3B yazıcı Creality Ender 3 V2 Pro olup filament; ABS 1.75 mm, baskı alanı; 22x22x25 cm ve maksimum hareket hızı; 180 mm/s'dir. Ayrıca kullanılan CNC makinesi CO2 Lazer CNC olup, ebatı 600x400 mm ve makine gücü 80 watt'tır. Buna ek olarak soğutma ünitesi ve hava kompresörüne sahiptir.

Uygulama sonrasında 12 öğrenci arasında isteğe bağlı olarak belirlenen 6 öğrenci (3 kız ve 3 erkek öğrenci) ile odak grup görüşmesi yapılmıştır. İki oturum şeklinde gerçekleştirilen

odak grup görüşmesi 115 dakika ve 125 dakika sürmüştür.

2.3. Veri Toplama Araçları ve Süreci

Araştırmanın durum çalışması olmasından ve derinlemesine veri toplama gereğinden hareketle veriler; değerlendirme formları (DF), tanılayıcı form (TF), değerlendirme rubrikleri (DR) ve odak grup görüşme formu (OGF) yardımı ile toplanmıştır. Veri toplama araçları ve kullanım zamanları Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Veri toplama araçları ve süreci.

Oturum	Süre	İşlem	Veri Toplama Araçları
1.	40'	Uygulama Öncesi Formların Uygulanması	TF
2.	40'+40'	3B Yazıcı ve CNC Makine Tanıtımı	DF(Öğrenciler) DR (Araştırmacı)
3.	40'+40'	3B Yazıcı ve CNC Makine Makine İçin Çizim Programı Uygulamaları	DF(Öğrenciler) DR (Araştırmacı)
4.	40'+40'	3B Yazıcı ve CNC Makine Uygulamaları	DF(Öğrenciler)
	40'+40'	Oyunların Oynanması	DR (Araştırmacı)
5.	40'+40'	3B Yazıcı ve CNC Makine Uygulamaları	DF(Öğrenciler)
	40'+40'	Oyunların Oynanması	DR (Araştırmacı)
6.	40'+40'	3B Yazıcı ve CNC Makine Uygulamaları	DF(Öğrenciler)

	40'+40'	Oyunların Oynanması	DR (Araştırmacı)
7.	40'+40'	3B Yazıcı ve CNC Makine Uygulamaları	DF(Öğrenciler)
	40'+40'	Oyunların Oynanması	DR (Araştırmacı)
	40'	Uygulama Sonrası Formların Uygulanması	DF
8.	115'+125'	Odak Grup Görüşmesi	OGF

Çizelge 2’de verilen DF, TF, DR ve OGF veri toplama araçları araştırmacı tarafından hazırlanmıştır. Her bir form, 3B yazıcı ve CNC makine kullanımında yetkin iki uzman ve üç matematik eğitimcisinin görüşü alınarak oluşturulmuştur. DF, her bir uygulama sonrasında öğrencilerin doldurması gereken konuya ait düşüncelerini ve fikirlerini paylaşıldığı formdur ve yarı yapılandırılmış 4 adet sorudan oluşmaktadır. TF, katılımcılar tarafından doldurulması gereken demografik özelliklerinin, makinelerin kullanımının ve oyun alışkanlıklarının tespitine yönelik hazırlanmış formdur. TF’den elde edilen veriler Çizelge 1’e işlenmiştir.

DR ise beş temel beceri için ayrı ayrı hazırlanmış rubriklerden oluşmaktadır. Rubrik oluşturma, görevin parçaları için ölçüt belirleme ve buna bağlı olarak puanlama yapma [14] olarak tanımlanabilir ki bu ölçütler NCTM tarafından belirlenen süreç becerileri için öğrencilerin kazanması beklenen davranışlardır. Araştırmacı tarafından hazırlanan beş rubrik için performans düzeyleri; Başlangıç Seviyesi (1 puan), geliştirilmeli (2 puan), yeterli (3 puan) ve Mükemmel (4 puan) olacak şekilde belirlenmiştir. Puanlama ve kriterler; uzman görüşü alınmak için üç matematik eğitimcisi ve 4 matematik öğretmenine iletilmiş gerekli düzeltmeler yapılarak son şeklini almıştır. Önerilen düzeltmeler muhakeme becerisi için ölçütlerden birinin çıkarılması, iletişim becerisi için ise karşılayan ölçütün değiştirilmesi yönündedir. 5 DR’nin son hali şu ölçütleri içermektedir; Problem çözme becerisi DR’si (PÇDR) 6 ölçütten oluşmaktadır. Bunlar; problem çözme yoluyla yeni matematiksel bilgi oluşturma, çözüm için çeşitli uygun stratejileri uygulama ve uyarılma, matematiksel problem çözme sürecini izlemek ve yansıtma, matematikte ve diğer bağlamlarda ortaya çıkan problemleri çözme şeklindedir. Muhakeme becerisi DR’si (MBDR) 7 ölçütten oluşmakta olup bunlar muhakeme ve ispatı matematiğin temel yönleri olarak tanıma, matematiksel varsayımlar yapma ve araştırma, matematiksel kanıtlar ve ispatlar

geliştirme ve değerlendirme, çeşitli akıl yürütme ve ispat yöntemlerini seçme ve kullanma şeklindedir.

İletişim becerisi DR’si (İBDR) için 8 ölçüt belirlenmiş olup bunlar; iletişim yoluyla matematiksel düşüncelerini organize etme ve pekiştirme, matematiksel düşüncelerini akranlarına ve öğretmenlerine tutarlı ve açık bir şekilde iletme, başkalarının matematiksel düşüncesini ve stratejilerini analiz etme ve değerlendirme ve matematiksel fikirleri tam olarak ifade etmek için matematiğin dilini kullanma şeklindedir. İlişkilendirme becerisi DR’si (İEBDR) ise 6 ölçüt içermekte olup matematiksel fikirler arasındaki bağlantıları tanıma ve kullanma, tutarlı bir bütün oluşturmada matematiksel fikirlerin nasıl birbirine bağlandığını ve birbiri üzerine nasıl inşa edildiğini anlama ve matematik dışındaki bağlamlarda matematiği tanıma ve uygulamayı içermektedir. Temsil beceri DR’si (TBDR) için 9 ölçüt belirlenmiştir. Bu ölçütler matematiksel fikirleri düzenleme, kaydetme ve iletme için temsiller oluşturma ve kullanma, problemleri çözme için matematiksel temsiller arasından seçim yapma, uygulama ve tercüme etme ve fiziksel, sosyal ve matematiksel olayları modelleme ve yorumlama için temsilleri kullanma ölçütlerini içermektedir. Her bir ölçüt için alınabilecek maksimum puan 4, minimum puan 1’dir.

Araştırma sonrasında DR’den aldıkları puanlar (bir yüksek bir orta bir de düşük puan) göz önüne alınarak 6 öğrenci ile odak grup görüşmesi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan beş açık uçlu soru uygulama ve tasarım sürecini, matematiksel becerileri ve oyun hakkındaki düşüncelerini açığa çıkarmak amacı ile araştırmacı tarafından hazırlanmış ve alan uzmanlarınca kontrolleri sağlanmıştır. Son hali verilen sorular gruba uygulanmıştır. Çalışmada verilen direk alıntılar odak grup görüşmesinden alınarak aktarılmıştır.

Çalışmanın geçerlik güvenilirliğini artırmak adına farklı veri toplama yöntemi kullanma ve

araştırmacı çeşitlenmesine (triangulation) [15] gidilmiştir. Farklı yöntem olarak katılımcılarla ile yapılan görüşmeler ve araştırmacıların süreci değerlendirme için rubrikler yardımı ile yaptıkları gözlemlerle veriler elde edilmiştir.

2.4. Veri Analizi

Uygulama sonrasında katılımcılardan DF ve OGF ile elde edilen verilerin betimsel ve içerik analizine gidilmiştir. Betimsel analiz için oluşturulan çerçeve rubrikler için oluşturulan çerçeveye aynı olup matematiksel süreç becerilerini içermektedir. Oluşturulan çerçeveye göre veriler işlenmiştir. Buna ek olarak; betimsel olarak özetlenen ve yorumlanan veriler içerik analizine tabi tutulmuş [15], tema ve alt temalar oluşturulmuştur. Araştırmacı ve iki alan uzmanı kod ve temalara ilişkin analizleri gerçekleştirmiş, kod ve temaların tutarlılığı üzerinde konuşmuş ve fikir birliğine varmışlardır. [16] tarafından içsel tutarlılık olarak adlandırılan ve kodlayıcıların görüş birliği olarak kavramsallaştırılan bu benzerlik: aynı kodlamaların toplam kodlamalara bölünmesi şeklinde hesaplanmakta olup üç kodlayıcı arasındaki görüş birliği % 89 olarak bulunmuştur.

Araştırmacı ve farklı iki uzman tarafından video kayıtlarının izlenmesi ile de veri analizi çeşitlenmesine gidilmiştir. DR ile katılımcıların hem tasarım sürecinde hem de oyun oynama sürecinde her bir beceri için almış oldukları puanlar hesaplanmıştır. Bu puanlamalar bulgularda yer almakta olup iki sürecin değerlendirmesine ait ortalama Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Katılımcıların (K) tasarım süreci ve oyun sürecinde aldıkları DR puanları.

K	PÇ DR	MB DR	İB DR	İEB DR	TB DR
S1	16p	21p	20p	12p	25p
S2	24p	27p	31p	24p	33p
S3	22p	24p	25p	18p	30p
S4	21p	25p	27p	19p	26p
S5	21p	25p	27p	19p	26p
S6	19p	22p	22p	20p	27p
S7	24p	27p	32p	24p	35p
S8	19p	22p	22p	21p	27p
S9	22p	24p	25p	18p	30p
S10	16p	21p	22p	12p	26p
S11	19p	23p	21p	19p	27p
S12	19p	24p	23p	20p	27p

Çizelge 3’de yer alan puanlar için her bir araştırmacının her bir katılımcı için puanlamalarının birbirine çok yakın olması nedeni ile üç araştırmacının ortalama puanlarının alındığı söylenebilir. Çizelgeye göre fazla puana sahip olan (S2 ve S7), ortalama bir puana sahip olan (S1 ve S10) ve az puana sahip olan (S3 ve S9) katılımcılarla odak grup görüşmesi gerçekleştirilmiştir. Direkt alıntılar odak grup görüşmesinde katılımcılar tarafından beyan edilen ifadeler olarak bulgulara eklenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. “7.Sınıf Öğrencilerinin 3B Yazıcı ve CNC Tezgâhı Yardımı İle Oluşturdukları Oyunları Tasarlama Sürecinde Kazandıkları Matematiksel Beceriler Nelerdir? Bu Becerilerin Göstergeleri Nelerdir?” Alt Problemine Yönelik Bulgular

Katılımcıların 3B yazıcı ve CNC tezgâhı yardımı ile oluşturdukları oyunların, tasarım sürecinde aldıkları DR puanları Çizelge 4’de verilmektedir.

Çizelge 4. Katılımcıların (K) tasarım sürecinde aldıkları DR puanları.

K	PÇ DR	MB DR	İB DR	İEB DR	TB DR
S1	16p	18p	15p	16p	36p
S2	24p	24p	30p	24p	36p
S3	22p	22p	22p	22p	32p
S4	21p	22p	25p	23p	30p
S5	21p	25p	27p	23p	30p
S6	19p	22p	22p	20p	27p
S7	24p	28p	32p	24p	36p
S8	19p	22p	22p	21p	27p
S9	22p	22p	23p	20p	34p
S10	16p	18p	19p	15p	29p
S11	19p	23p	21p	19p	27p
S12	19p	24p	23p	20p	27p

Çizelge 4’e bakıldığında katılımcıların farklı matematiksel becerilerine ait puanlarının değişiklik gösterdiği görülmektedir. En yüksek değerlendirme puanına sahip katılımcıların S2, S4, S5 ve S7 olduğu en düşük puanlamaya ise S1, S10 ve S8’nin sahip olduğunu göstermektedir. Her bir beceri için bakıldığında; PÇDR için alınabilecek en yüksek puan 24 olup S2 ve S7’nin tam puan aldığı görülmektedir. MBDR için alınabilecek maksimum puan 28, İBDR için maksimum

puan 32 olup S7'nin maksimum puana sahip olduğu görülmektedir. İEBDR için maksimum puan 24 olup S2 ve S7'nin bu puana sahip olduğu görülmektedir. TBDR için ise alınabilecek en yüksek puan 36'dır ve S1, S2 ve S7'nin bu puana sahip olduğu görülmektedir. Katılımcıların tasarım sürecinde kazandığı becerilerin ilişkilendirme ve temsil becerileri olduğu diğer becerileri de sergilediği görülmektedir.

3B yazıcı ve CNC makine yardımı ile oluşturdukları oyunların tasarım sürecinde sergiledikleri becerilere ait göstergeler ise Çizelge 5'de verilmektedir.

Çizelge 5. Oyun Tasarım süreci matematiksel beceri göstergeleri.

Beceri	Gösterge	Katılımcı	f
Problem Çözme (PÇB)	Yeni matematiksel bilgi oluşturma	S2,S7,S9	3
	Çözüm için stratejiler belirleme	S2,S3,S7,S9	4
	Belirlenen stratejileri uygulama	S2,S3,S7,S9	4
	Problem çözme sürecini yansıtmaya	S7,S9, S4,S5	4
Muhakeme (MB)	Varsayımlarda bulunma	S2, S5,S7,S2	3
	Matematiksel kanıtlar ortaya koyma	S2,S3,S4,S5,S7	5
	Akıl yürütme yöntemini seçme	S11, S2,S7,S12	4
İletişim (İB)	Matematiksel düşüncelerini akranlarına aktarma	S2,S5,S7	3
	Matematiksel düşüncelerini öğretmene aktarma	S2,S5,S7	3
	Arkadaşlarının düşüncelerini analiz etme	S2,S5,S7	3
	Arkadaşlarının stratejilerini analiz etme	S2,S5,S7	3
İlişkilendirme (İEB)	Matematiksel fikirler arasında bağlantı kurma	S2,S5,S4,S7	4
	Matematiksel fikirlerin birbirinin üzerine inşasını anlama	S2,S5,S4,S7	4
	Matematik dışındaki bağlamlarda matematiği tanıma	S2,S4,S7	3
Temsil (TB)	Matematiksel fikirleri düzenleme	S2,S1,S9,S7	4
	Uygun matematiksel temsili seçme	S2,S1,S9,S7	4

Çizelge 5'e bakıldığında PÇB için tasarım sürecinde katılımcıların yeni matematiksel bilgiyi oluşturdukları, çözüm için stratejiler belirledikleri, belirlenen stratejileri uyguladıkları ve bunu problem çözme sürecini

yansıttıkları görülmektedir. Buna ek olarak; Çizelge 4'de PÇDR'den yüksek puan alan öğrencilerin bu davranışları gösterdiği de görülmektedir. Bu katılımcılar S7, S9, S4 ve S5'dir. MB için bakıldığında katılımcıların varsayımlarda bulunduğu, matematiksel kanıtları ortaya koyduğu ve akıl yürütme yöntemini seçtiği görülmektedir.

Örneğin S7;

“Şimdi çizimi yapıyoruz ama oynayacağımız oyunda taban alanlarının örtüşmemesi lazım yani üstüne koyduğumuz parçanın taban alanı gittikçe küçülmeli ya da tam olmalı bence... Aslında alanlarını hesaplasak kenar uzunluklarına karar versek kenar uzunluklarını direk yazmasak daha uygun.”

S2;

“Şimdi bu kullanacağımız filament oluşturacağımız şekilleri nasıl etkileyecek? Yani aynı şekiller yan yana gelmeyecek aynı renlerde peki malzemeden kaynaklı renk sıkıntısı yaşamaz mıyız? Bu benim bulacağım strateji etkiler mi? Etkilemesin” şeklinde ifade etmektedir.

İlişkilendirme becerisi için; matematiksel fikirler arasında bağlantı kurdukları, matematiksel fikirlerin birbirinin üzerine inşasını anladıkları, matematik dışındaki bağlamlarda matematiği tanıdıkları görülmektedir. İEB'ye ait göstergeler S2, S4, S10 ve S7 tarafından gösterilmiş olup S10;

“Biz CNC'de bu şekilleri keserken oyun oynayacağız diye seviniyordum ama fark ettim ki problem çözdüm, dikdörtgenin alanından üçgenin alanını buldum. Aslında biz kendi oyunumuzu yapmadık sadece ben orada matematik de yaptım. En çokta ders dışında matematiği görmek ve parçası olmak beni mutlu etti.”

şeklinde ifade edilmiştir.

Tasarım sürecine ait temsil becerisi için ise matematiksel fikirleri düzenledikleri, uygun matematiksel temsili seçtikleri ve matematiksel modelleme için temsilleri kullandıkları görülmektedir. Bu göstergeler S2, S1, S9 ve S7 tarafından sergilenmiştir. S1;

“Şimdi biz oyun tasarlamaya başladık ama yazıyorum bir şey eksik gibi.. Taban alanlarının azaldığını ve kaç tane şekil

kullanacağımızı belirlemek için öğretmenimiz soru sorunca dedim grafik çizeyim.”

S2;

“Bir sürü şekil var alanları farklı kenarları farklı eee biz bu şekilleri belirlemeden nasıl CNC’den yararlanacağız dedim ve birşeyler yazdım. Sonra fark ettim ki örüntü var aralarında o örüntüye göre tekrar yazım. Sonra kenar uzunluklarına bağlı alandaki artışta örüntülü olunca çok ahenkli oldu. şeklinde düşüncesini ifade etmiştir.

Buna ek olarak S1 ve S9 odak grup görüşmesinde arkadaşlarını onaylayarak görüşmeyi sonlandırmıştır. Kişisel fikirlerini beyan etmek istemedikleri görülmüştür. Katılımcıların oyun oynama sürecinde aldıkları DR puanları Çizelge 6’da verilmektedir.

Çizelge 6. Katılımcıların (K) oyun oynama sürecinde aldıkları DR puanları.

K	PÇ DR	MB DR	İB DR	İEB DR	TB DR
S1	16p	24p	25p	8p	14p
S2	24p	28p	32p	20p	30p
S3	22p	26p	28p	14p	28p
S4	21p	28p	29p	15p	22p
S5	21p	25p	27p	15p	22p
S6	19p	22p	22p	20p	27p
S7	24p	26p	32p	21p	34p
S8	19p	22p	22p	21p	27p
S9	22p	22p	23p	20p	34p
S10	16p	24p	25p	9p	23p
S11	19p	23p	21p	19p	27p
S12	19p	24p	23p	20p	27p

Çizelge 6’ya bakıldığında katılımcıların farklı matematiksel becerilerine ait puanlarının değişiklik gösterdiği görülmektedir. En yüksek değerlendirme puanına sahip katılımcıların S2, S3, S4, S5, S9 ve S7 olduğu en düşük puanlamaya ise S1, S10 ve S8’nin sahip olduğunu göstermektedir. Her bir beceri için bakıldığında; PÇDR için alınabilecek en yüksek puan 24 olup S2 ve S7’nin tam puan aldığı görülmektedir.

MBDR için alınabilecek maksimum puan 28 olup S2, S4, S7 ve S9’un yüksek puan aldığı görülmektedir. İBDR için maksimum puan 32 olup S2, S3, S4 ve S7’nin yüksek puana sahip olduğu görülmektedir. İEBDR için maksimum puan 24 olup S2, S6 ve S7’nin yüksek puan aldığı görülmektedir. TBDR için ise

alınabilecek en yüksek puan 36’dır ve S2, S3, S7’nin yüksek puan aldığı görülmektedir. Katılımcıların oyun oynama sürecinde kazandığı becerilerin matematiksel muhakeme ve iletişim becerileri olduğu diğer becerileri de sergilediği görülmektedir. S2, S4 ve S7’nin 3B yazıcıdan elde edilen “Yan yana olmasın” oyununu oynamasına ait görüntü Şekil 3’de yer almaktadır.



Şekil 3. Oyun oynama süreci.

3.2. “7.Sınıf Öğrencilerinin 3B Yazıcı ve CNC Makine Yardımı İle Oluşturdukları Oyunları Oynama Sürecinde Kazandığı Matematiksel Beceriler Nelerdir? Bu Becerilerin Göstergeleri Nelerdir?” Alt Problemine Yönelik Bulgular

3B yazıcı ve CNC makine yardımı ile oluşturdukları oyunların oynama sürecinde sergiledikleri becerilere ait göstergeler ise Çizelge 7’de verilmektedir.

Çizelge 7. Oyun oynama süreci matematiksel beceri göstergeleri.

Beceri	Gösterge	Katılımcı	f
Problem Çözme (PÇB)	Yeni matematiksel bilgi oluşturma	S2,S7,S3,S4,S9	5
	Çözüm için stratejiler belirleme	S2,S3,S4,S9	4
	Belirlenen stratejileri uygulama	S2, S7,S9	3
Muhakeme (MB)	Varsayımlarda bulunma	S1,S2,S5,S3,S4, S7,S9, S10	8
	Matematiksel kanıtlar ortaya koyma	S1,S2,S5,S3,S4, S7,S9, S10	8
	Akıl yürütme yöntemini seçme	S1,S2,S5,S3,S4, S7,S9, S10	8
İletişim (İB)	Matematiksel düşüncelerini ekranlarına aktarma	S2,S3,S4, S5,S7, S9,S12	7
	Matematiksel düşüncelerini öğretmene aktarma	S2,S3,S4, S5,S7, S9,S12	7
	Arkadaşlarının düşüncelerini analiz etme	S2,S3,S4, S5,S7, S9,S12	7

	Arkadaşlarının stratejilerini analiz etme	S2,S3,S4, S5,S7, S9,S12	7
İlişkilendirme (İEB)	Matematiksel fikirler arasında bağlantı kurma	S2, S6 ve S7	3
	Matematik dışındaki bağlamlarda matematiği tanıma	S2, S6 ve S7	3
Temsil (TB)	Matematiksel fikirleri düzenleme	S2, S3, S7	3

Çizelge 7'ye bakıldığında PÇB için göstergelerin; yeni matematiksel bilgi oluşturma, çözüm için stratejiler belirleme ve belirlenen stratejileri uygulama olduğu belirlenmiştir. PÇB için göstergelerin tümünü sergileyen S2 ve S7'dir. S7;

“Çok düşündüm aslında oyunu kazanmak için strateji geliştirdim. Sadece oyun değildi zaten matematik problemi vardı bütün oyunlarda bence. Vardı değil mi? Mesela alan hesaplamayı bilmek gerekiyordu, şekillerin özelliklerini bilmek gerekiyordu mesela silindiri! Sayılarla oynadım şekillerle oynadım ve sonunda hep bir yol buldum. Ben aslında kendi yolumu buldum değil mi? Formüllerden biraz farklıydı çünkü!” şeklinde düşüncesini ifade etmektedir.

MB'nin göstergeleri; varsayımlarda bulunma, matematiksel kanıtlar ortaya koyma ve akıl yürütme yöntemini seçme olduğu görülmektedir. MB'ye ait göstergeler S1, S2, S5, S3, S4, S7, S9 ve S10 tarafından sergilenmiştir. İB'nin göstergelerinin; matematiksel düşüncelerini akranlarına aktarma, matematiksel düşüncelerini öğretmene aktarma, arkadaşlarının düşüncelerini analiz etme ve arkadaşlarının stratejilerini analiz etme şeklinde olduğu görülmektedir. Bu göstergeler S2, S1, S10, S3, S4, S5, S7, S9 ve S12 tarafından sergilenmiştir. S10;

“ Ama oğlum yanlış oynuyorsun bak şekle baktın ama renye bakmadın. Yani demem o ki sana hepsini bütün düşüneceksin. Bak bana ben alında hem yataya hem çapraza bakarak ilerliyorum. Aslında senin yolunda doğru ama iki hamle sonra tikanırsın benden söylemesi”, S1 tarafından ise;

“Öğretmenim neden böyle bir yol izledim açıklayabilirim. Herkes açıklayınca bende konuşmak istedi. Ben CNC'de yaptıklarımızda herkes gibi alana bakmadım kenar uzunluklarına baktım ve bence doğru benim gittiğim yol. Hem oyunu kazandım hem de doğru yaptım.”

şeklinde düşüncelerini ifade edilmektedir;

İEB'nin göstergeleri; matematiksel fikirler arasında bağlantı kurma ve matematik dışındaki bağlamlarda matematiği tanıma şeklindedir ve ve bu göstergeler S2, S6 ve S7 tarafından sergilenmiştir. TB için ise gösterge; matematiksel fikirleri düzenlemedir ve S2, S3, S7 tarafından sergilenmiştir. S7;

“Aslında matematik her yerdeymiş. Sadece oyun desem değil sadece matematik desem değil ikisi bir arada gibi ama ayrıda gibi. Ama çok iyi oldu bence biz bu matematiği nerede kullanacağız diyordum aslında her yerdeymiş.” şeklinde düşüncesini ifade etmektedir.

Buna ek olarak S3 ve S9 odak grup görüşmesinde arkadaşlarını onaylayarak görüşmeyi sonlandırmıştır. Kişisel fikirlerini beyan etmek istemedikleri görülmüştür.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

7. sınıf öğrencilerinin 3B yazıcı ve CNC makine yardımı ile oluşturdukları oyunları tasarlama sürecinde PÇB, MB ve İB'lerine ait göstergelere öğrenci davranışlarında rastlandığı ama bu sürecin ağırlıklı olarak ilişkilendirme ve temsil becerisini geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, 3B Yazıcı Kalem Teknolojisinin kullanıldığı çalışmada [17] öğrencilerin somut materyaller üretmesi ve bu materyallerle çalışmaları açısından benzerlik göstermektedir. Fakat matematiksel beceriler çalışma sürecinde “öğrencilerin becerilerinin artışı” şeklinde verilmiş olup genellenmesi açısından bu çalışma ile örtüşmemektedir. 7. sınıftaki öğrenciler tarafından geliştirilen üç boyutlu modellerin Fen bilgisi dersinde sunulmasının bilgilerin somutlaştırılmasını olumlu yönde etkilediğinin ifade edildiği çalışma [18] ile kısmen örtüşmektedir. Başka bir ifade ile farklı disiplinlere ait olduğu ve çalışma içinde hazırlanan ve kullanılan modellerin bilgilerin somutlaştırılmasına destek olduğu ve buna bağlı olarak da matematiksel becerileri geliştirdiği söylenebilir.

Bir diğer ulaşılan sonuç ise 7. sınıf öğrencilerinin 3B yazıcı ve CNC makine yardımı ile oluşturdukları oyunları oynama sürecinin; PÇB, İEB ve TB'lerine ait göstergelere öğrenci davranışlarında rastlandığı ama ağırlıklı olarak muhakeme ve iletişim becerisini geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Her iki süreç içinde; her bir katılımcının farklı göstergelere sahip olduğu, farklı matematiksel

becerilerinin geliştiği ulaşılan bir diğer sonuçtur.

Oyunun matematiksel tutuma, akademik başarıya ve problem çözmeye yönelik etkileri alanyazında yer almakta olup [19-22] 3B yazıcı ve CNC makinesi ile geliştirilen materyalin kullanımına alanyazında araştırmacı tarafından rastlanmamıştır. Strateji geliştirmesi beklenen zekâ oyunlarının incelenmesi ile farklı zekâ oyunlarının matematiksel becerileri geliştirdiği belirlenmiş olup [23], bu çalışma ile ortak bulgular barındırdığı söylenebilir. Başka bir ifade ile 3B yazıcı ve CNC makinesi ile geliştirilen materyallerden ikisi zekâ oyunu kategorisindeki oyunlarla yüksek oranda benzerlik göstermekte olup bu materyallerle oynanan süreç muhakeme ve iletişim becerisini geliştirmektedir.

Genel olarak bakıldığında ise öğrenme sürecinde 3B yazıcıların, soyut kavramları sınıf içinde fiziksel nesnelere dönüştürmenin eğitim ortamlarını uygun hale getirdiği, öğretimin kalitesi üzerinde olumlu ve derin bir etkiye sahip [24] olduğu bu çalışma ile dolaylı olarak ilişkilendirilebilir. Başka bir ifade ile bu çalışma için olumlu etki 3B yazıcılarla oyun tasarlama ve uygulama aşamasında matematiksel becerilerin gelişimidir.

İlköğretimde 3D yazıcı kullanımının öğrencilerin, zihinsel döndürme becerisi üzerindeki etkisini incelemiş olup öğrencilerin zihinsel döndürme becerilerinin hızla geliştiği, kızların uzamsal becerilerinin erkeklerden daha hızlı olduğu ve 3D yazıcı uygulamalarının erkeklerin zihinsel döndürme becerilerini önemli ölçüde geliştirdiğini göstermiştir [25]. Bu çalışma ile benzer kısımlar olsa da farklılar daha fazla dikkat çekmektedir. Öncelikle iki araştırmada incelenen yetenekler farklı olup bu çalışmada zihinsel döndürme becerisi akıl yürütme becerisi içerisinde yer almaktadır. Bu araştırmada cinsiyet bazında bir farklılığa rastlanmamıştır.

Matematiğe özel olmayan fakat matematiğinde bir disiplin olarak belirlendiği FeTeMM (Fen, Teknoloji, Mühendislik, Matematik) çalışmalarında [26-28] da 3d yazıcı kullanımına rastlanmaktadır. Akademik başarısı düşük olan öğrencileri FeTeMM'e dâhil etmek için 3D yazıcıların kullanımına dâhil edildiği ve buna bağlı olarak öğrencilerin iletişimlerini

geliştirdiği ve uygulamalı olarak problem çözmeye deneyimi yaşattığı sonucuna ulaşılmış [26] olup bu çalışma ile de benzer sonuçlar içermektedir. İki çalışmanın ayrıldığı nokta ise bu çalışmanın sadece matematik öğretimine yönelik beceri gelişimini incelemesidir.

4. ÖNERİLER

Matematik eğitiminde 3B yazıcı ve CNC makinelerinin kullanımının sadece STEM kapsamında değil birçok kapsamda kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu kullanım ve uygulamaların bütün sınıf seviyelerinde artırılması, akademik başarıya, tutuma, öz düzenlemeye, üst biliş etkilerinin incelenmesi araştırmacılara önerilmektedir. Oyun açısından bakıldığında ise yazıcının özelliklerine bağlı olarak somut materyallerin oluşturulmasına katkı sunacağı ve bunun sonucunda da oyunun araç olarak kullanılması ile matematik öğretiminin gerçekleştirilmesine ait uygulama ve araştırmalar yapılması hem araştırmacılara hem de uygulayıcılara önerilmektedir.

Etik Kurul İzin Bilgisi

Bu araştırma, Akdeniz Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu 2022/510144 tarih ve sayılı izni ile yürütülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., Darwood, A., "3D printing in dentistry", *British Dental Journal*, Vol.219, Issue 11, Pages 521-529, 2015.
2. Zhang, C., Ouyang, D., Pauly, S., Liu, L., "3D printing of bulk metallic glasses", *Materials Science and Engineering*, Vol.145, Issue 100625, Pages 1-42, 2021.
3. Altunkaynak, D., Duman, B., Çetinkaya, K. "5 Axis 3d printer design and application", *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, Vol. 4, Issue. 2, Pages 124-138, 2020.
4. Rajabi, M., McConnell, M., Cabral, J., Ali, M. A., "Chitosan hydrogels in 3D printing for biomedical applications." *Carbohydrate Polymers*, Vol. 260, Issue 117768, Pages 1-20, 2021.
5. Sachyani Keneth, E., Kamyshny, A., Totaro, M., Beccai, L., Magdassi, S., "3D Printing Materials For Soft Robotics." *Advanced Materials*, Vol. 33, Issue 19, Pages 2-17, 2021.

6. Gül, M., “Development of 3d printer for use in biomedical engineering”, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, Vol.2, Issue 3, Pages 85-92, 2018.
7. Ford, S., Minshall, T., “Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education.” *Additive Manufacturing*, Vol. 25, Pages 131-150, 2019.
8. National Council for Teachers of Mathematics (NCTM), “Principles and standards for school mathematics” Pages 5-35, Reston Publishing, Virginia, 2000.
9. MEB (Milli Eğitim Bakanlığı), “İlköğretim matematik dersi öğretim programı ve kılavuzu.” Devlet Kitapları Müdürlüğü, Ankara, 2009.
10. MEB (Milli Eğitim Bakanlığı), “Matematik dersi öğretim programı (İlkokul ve ortaokul 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. sınıflar)”, Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı, Ankara, 2018.
11. MEB (Milli Eğitim Bakanlığı), “5, 6, ve 7. Sınıf düzeylerinde beceri temelli sorular”, [Skills-based questions for grades 5, 6, and 7] <https://odsgm.meb.gov.tr/www/5-6-ve-7-sinif-duzeylerinde-beceri-temelli-sorular-yayimlanmistir/icerik/491>, October 10, 2022.
12. Tobias, S., Fletcher, J. D., Wind, A. P., “Game-based learning.” In: Spector, J., Merrill, M., Elen, J., Bishop, M., *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, Pages 485-503, Springer, New York, 2014.
13. Creswell, J. W., “Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative”. Pages 224-288, Prentice Hall Upper Saddle River, NJ., 2002.
14. Hafner, J., Hafner, P., “Quantitative analysis of the rubric as an assessment tool: an empirical study of student peer-group rating.”, *International Journal of Science Education*, Vol. 25, Issue 12, Pages 1509-1528, 2003.
15. Yıldırım, A., Şimşek, H., “Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri”, Sayfa 253-284, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2016.
16. Huberman, M., Miles, M. B., “The qualitative researcher's companion.”, Pages 150-178, Sage Publication, New York, 2002.
17. Çopur, S., Türkdoğan, A., “3B yazıcı kalem teknolojisinin matematik dersinde uygulanmasından yansımalar”, [Reflections from the Application of 3D Printing Pen Technology in Mathematics Lesson], Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı 1, Sayfa 106-136, 2021.
18. Burkaz, S., “Fen ve teknoloji öğretiminde üç boyutlu modellerin yapılandırmacı öğrenme ortamında kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, [Application of three-dimensional modelling in the context of constructivist learning in teaching science and technology] [Thesis in Turkish], Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, 2012.
19. Tural, H., “İlköğretim matematik öğretiminde oyun ve etkinliklerle öğretimin erişimi ve tutuma etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, [The effects of teaching mathematics in elementary school by games and activities on achievement and attitude] [Thesis in Turkish], Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2005.
20. Ke, F., Grabowski, B., “Gameplaying for maths learning: cooperative or not?”, *British journal of educational technology*, Vol. 38, Issue 2, Pages 249-259, 2007.
21. Ritzhaupt, A., Higgins, H., Allred, B., “Effects of modern educational game play on attitudes towards mathematics, mathematics self-efficacy, and mathematics achievement.” *Journal of Interactive Learning Research*, Vol. 22, Issue 2, Pages 277-297, 2011.
22. Ke, F., “A case study of computer gaming for math: Engaged learning from gameplay?”. *Computers & education*, Vol. 51 Issue 4, Pages 1609-1620, 2008.
23. Erdoğan, A., Çevirgen, A. E., Atasay, M., “Oyunlar ve matematik öğretimi: Stratejik zekâ oyunlarının sınıflandırılması.” [Games and Mathematics Teaching: A Classification of Strategic Brain Games], Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 10, Sayı ERTE Özel Sayısı, Sayfa 287-311, 2017.
24. Micallef, J., “Beginning design for 3D printing.”, Pages 142-144, A press, New York, 2015.
25. Chen, M., Zhang, Y., and Zhang, Y. (2014). “Effects of a 3D printing course on mental rotation ability among 10-year-old primary students”, *International Journal of Psychophysiology*, Vol. 94, Issue 2 Page 240, 2014.
26. Easley, W., Buehler, E., Hurst, A., & Salib, G., “Fabricating engagement: Benefits and challenges of using 3D printing to engage underrepresented students in STEM learning”, *ASEE Annual Conference and Exposition*, Pages 1052-1061, United States, 2017.

27. Sun, Y., & Li, Q., “The application of 3D printing in STEM education”, IEEE international conference on applied system invention (ICASI), Pages 1115-1118, Japan, 2018.

28. Ma, T., Xiao, X., Wee, W., Han, C. Y., & Zhou, X., “A 3D virtual learning system for STEM education.”, International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality, Pages 63-72, Berlin, 2014.