



3B yazıcı ile üretilen mobilya kulplarının performansının incelenmesi

Sedanur Şeker^{1*} 

ÖZ: Çalışmada, 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak PetG filament ile üretilen mobilya kulplarının mekanik dayanımları araştırılmıştır. Gri ve beyaz renk seçeneklerinde olmak üzere, %50 ve %80 iç doluluk oranlarına sahip kulp örnekleri üretilmiştir. Numuneler, TS 13866 “Mobilya Kulpları ve Ayakları” standardına uygun olarak test edilmiş ve bağlantı yönüne hem paralel hem de dik yönde en az 100 N sabit kuvvet uygulanarak değerlendirilmiştir. Her test, 60 saniyelik süreyle beş kez tekrarlanmış ve sonuçlar dayanım açısından analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, doluluk oranının mekanik dayanım üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. %80 doluluk oranına sahip örnekler, hem paralel hem de dik yönlü yüklemelerde yüksek dayanım sergilerken, %50 doluluk oranlı kulplarda özellikle dik yönde vida bağlantı noktalarında erken deformasyonlar gözlemlenmiştir. Renk farkı açısından ise beyaz PetG örnekleri, gri renklilere göre daha geç deformasyona uğramıştır. Ayrıca, testler boyunca metal kulplar en yüksek performansı göstermiştir. Bu çalışma, 3B yazıcı ile üretilen plastik kulpların, uygun malzeme ve üretim parametreleriyle geleneksel metal kulplara alternatif olabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Mobilya kulpu, Katmanlı üretim, Pet-G, 3B yazıcı

Investigation of the performance of furniture handles produced by 3D printing

ABSTRACT: In this study, the structural strength of furniture handles produced using 3D printing technology with PetG filament was investigated. Handle samples were manufactured in gray and white colors with infill ratios of 50% and 80%. The specimens were tested according to the TS 13866 “Furniture Handles and Legs” standard, and a constant force of at least 100 N was applied both parallel and perpendicular to the attachment direction. Each test was repeated five times for 60 seconds, and the results were analyzed in terms of durability. The data showed that the infill ratio plays a significant role in the structural strength. Samples with 80% infill demonstrated high strength under both parallel and perpendicular loads, while 50% infill handles exhibited early deformations at the screw connection points, especially under perpendicular loading. Regarding color, white PetG samples deformed later compared to gray ones. Additionally, metal handles showed the highest performance throughout the tests. This study indicates that plastic handles produced by 3D printing can be a viable alternative to traditional metal handles when appropriate materials and production parameters are used.

Keywords: Furniture handle, Additive manufacturing, PetG, 3D printing

1 Giriş

Mobilya aksesuarları, bir mobilya ürününün tamamlayıcı ve işlevsel unsurlarıdır. Sürgülü ray sistemlerinden menteşelere, kulplardan aydınlatma sistemlerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. 2024 ve 2025 yılları itibarıyla mobilya aksesuarları, sadece işlevsel değil, aynı zamanda estetik ve sürdürülebilirlik açısından da değerlendirilmektedir (Ekmekçioğlu, 2024).

Mobilya aksesuarları, mobilyanın genel görünümünü zenginleştiren dekoratif elemanlar olarak tasarım sürecinde kritik bir rol oynar. Çalışmalar, aksesuarların mobilyaya özgünlük ve karakter kazandırdığını ve tüketici tercihlerinde önemli etkisi olduğunu göstermektedir (Kaya ve Özkan, 2022). Aksesuarlar, mobilyanın kullanımını kolaylaştıran işlevsel bileşenlerdir. Örneğin, menteşeler, çekme kolları, raylar ve bağlantı elemanları mobilyaların açılıp kapanmasını, taşınmasını veya parçalarının sabitlenmesini sağlar (Kalaycıoğlu ve ark., 2017). Doğru seçilmiş ve kaliteli aksesuarlar, mobilyanın dayanıklılığını artırarak ürün ömrünü uzatır. Aynı zamanda, sürdürülebilir üretim süreçlerinde çevre dostu malzemelerden yapılmış aksesuarların kullanımı önem kazanmaktadır (Demirtaş ve Kılıç, 2023). Öztürk ve Yıldırım 2022 mobilya aksesuarlarının ergonomik tasarımının kullanıcı memnuniyeti üzerindeki etkisini incelemiştir. Ahşap aksesuarların tutma, kavrama ve kullanım kolaylığı açısından optimize edilmesi için öneriler sunulmuş ve saha deneyleri ile desteklenmiştir.

3B baskı teknolojisinin gelişimi son yıllarda özellikle popüler hale gelmiş ve bilim, üretim, tasarım, tıp, havacılık, spor vb. çeşitli alanlara yaygın bir şekilde girmiştir. Mobilya sektörü de bu trende ayak uydurmakta ve birçok tasarımcı farklı şekil ve işlevlerle deneyler yapmaktadır (Jarza ve ark., 2023; Nasir ve ark., 2022). Son zamanlarda, 3B baskı teknolojisi ile elde edilen yeni bağlantı elemanları da ortaya çıkmış ve mobilya endüstrisinin ilgisini çekmiştir (Branowski ve ark., 2022, Smardzewski ve ark., 2016, Uysal, 2024). PLA, ABS gibi termoplastikler FDM teknolojisinde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeler, mobilya aksesuarlarının üretiminde mekanik dayanıklılık, esneklik ve estetik açıdan önemli rol oynar. PLA, biyobozunur yapısı ve baskı kolaylığı nedeniyle prototip ve dekoratif aksesuar üretiminde tercih edilirken, ABS daha yüksek darbe dayanımı ve ısı direnci sayesinde fonksiyonel parçalar için uygundur.

Literatürde, mobilya aksesuarlarının performansını artırmak amacıyla FDM’de kullanılan termoplastiklerin mekanik özelliklerinin optimize edilmesine yönelik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar, filament karışımları, dolgu malzemeleri ve baskı parametrelerinin düzenlenmesi gibi yöntemlerle aksesuarların dayanıklılığını artırmayı hedeflemektedir (Nicolau ve ark., 2022). Böylece, hem estetik hem de fonksiyonel açıdan yüksek kalitede mobilya aksesuarlarının FDM ile üretilmesi mümkün olmaktadır. Akkaş ve Güzel (2021), mobilya tamirinde geleneksel yöntemlerin yanı sıra ileri teknolojilerin kullanıldığı yenilikçi bir yaklaşımı incelemişlerdir. Çalışmalarında, özellikle 3B tarama ve 3B baskı teknolojilerinin mobilya üretimindeki tamir ve yenileme süreçlerine entegrasyonunu detaylandırmışlardır.

Nicolau ve ark. (2022), 3B baskı teknolojisinin mobilya tasarımında sağladığı esneklik ve fonksiyonelliği ön plana çıkaran yenilikçi bir modüler sistem yaklaşımı geliştirmiştir. Bu çalışma, özellikle hassas 3B baskılı bağlantı elemanlarının kullanımıyla mobilya parçalarının hızlı, sağlam ve özelleştirilebilir şekilde birleştirilmesine odaklanmaktadır. Ayrıca 3B baskı teknolojisi; klasikleşmiş, sınırlı tipteki donanım parçalarının yerine, küçük ölçekli özelleştirme ve daha çeşitli formların üretilmesini sağlamaktadır. Bu durum, mobilya aksesuarlarında esneklik ve çeşitliliği önemli ölçüde artırmaktadır (Petrova and Jivkov, 2024).

Svoboda ve ark. (2023) tarafından gerçekleştirilen araştırma, 3B baskı teknolojisinin panel mobilya üretim ve montaj süreçlerine getirdiği yenilikleri ve sürdürülebilirlik katkılarını

kapsamlı şekilde incelemiştir. Çalışmada, özellikle plastik bazlı 3B baskılı bağlantı parçalarının, klasik metal veya ahşap bağlantı elemanlarının yerine kullanılmasının montaj sürecinde esneklik sağladığı vurgulanmaktadır. Hsieh ve Ku'nun (2019) çalışmasında, mobilya donanım parçalarının (örneğin kulplar, menteşeler) geleneksel üretim sınırlamaları yerine, 3B baskı sayesinde kullanıcıya özel tasarımların ve yeni formların mümkün olduğu vurgulanmaktadır. Bu durum, özellikle küçük ölçekli üretimlerde maliyet-etkin çözümler sunar. 3B yazıcıyla üretilen bağlantı aksesuarlarının (ör. köşe elemanları) geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi eğilme ve rijitlik özelliklerine sahip olduğu deneysel olarak ortaya konmuştur. Özellikle PLA bazlı malzemelerle yapılan üretimlerde dayanıklılık yüksek çıkmıştır. Aiman ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, FDM tipi 3B yazıcılar ile üretilen modüler bağlantı elemanlarının yüksek taşıma kapasitesi (730 kg'a kadar) ve hafifliğiyle (yaklaşık 113 g) öne çıktığını göstermektedir (Aiman ve ark., 2020). Chen ve ekibi, 3B baskı ile üretilen mobilya aksesuarlarında en iyi üretim hassasiyetini elde etmek için nozzle sıcaklığı, doluluk oranı gibi parametreleri Taguchi yöntemiyle optimize etmiştir. Bu, daha dayanıklı ve doğru oturan aksesuarların üretimine olanak tanımaktadır (Chen ve ark., 2023).

Bu çalışmanın amacı; 3 B yazıcı kullanılarak farklı renklerde Pet-G tip filament ile üretilen mobilya kulplarının, iki farklı doluluk oranında (%50-80) üretilip mekanik dayanımlarının standarda tam uygun test yöntemi uygulanması ile incelenmesidir. Yapılan testler sonucunda, 3B yazıcıyla üretilen kulpların performansı endüstride yaygın olarak kullanılan metal kulplarla karşılaştırılmıştır. Bu sayede, geleneksel metal kulplar yerine 3 B yazıcıdan üretilen plastik kulpların kullanımının mümkün olup olmadığı değerlendirilmiştir.

2 Materyal ve Metot

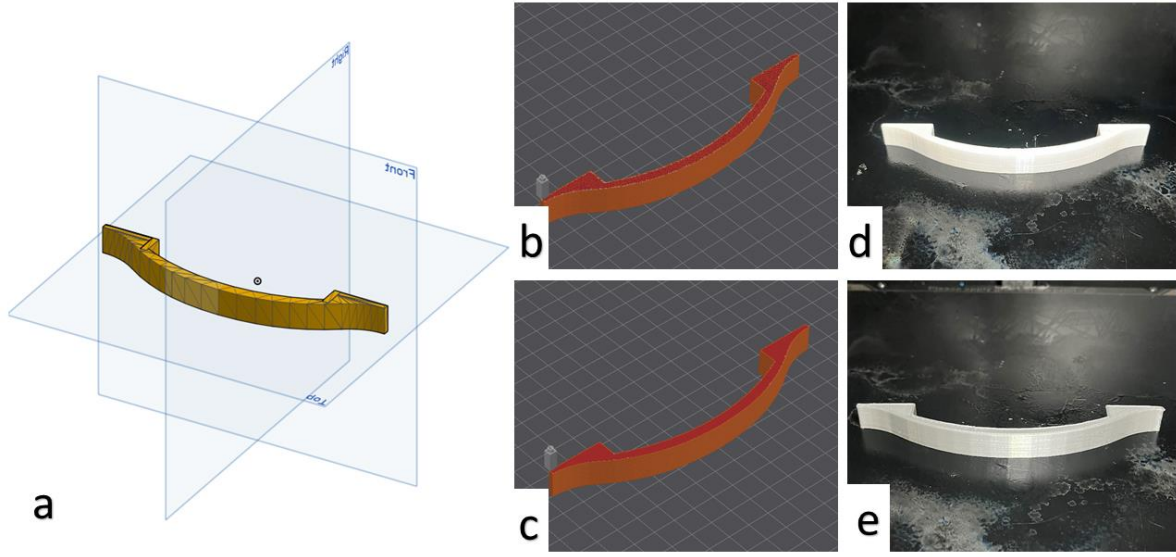
2.1 Materyal

Bu araştırmada, mobilya kulp örnekleri, PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) malzemesi kullanılarak 3B yazıcıyla üretilmiştir.

PETG malzemesinin tercih edilme nedeni; kolay baskı sürecine sahip olması, PLA ve ABS filamentlerin avantajlarını bir arada sunması, sıcaklık ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması, yüksek mekanik mukavemet değerleri sunması, düşük maliyetli olması ve çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilirliğidir. Bu özellikleri nedeniyle çalışma kapsamında kullanılmaya uygun bulunmuştur.

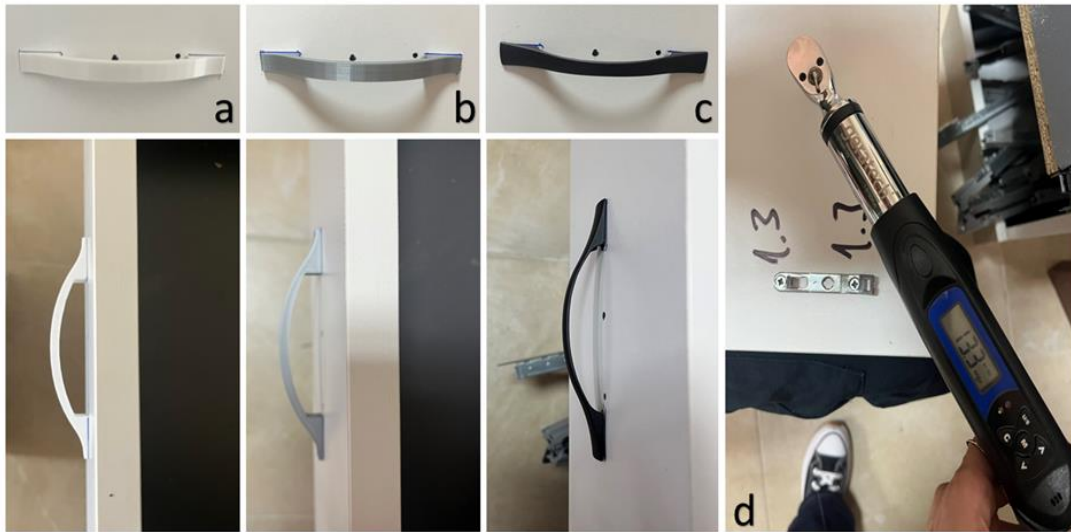
Kullanılan PETG filament, ticari bir filament üreticisinden hazır olarak temin edilmiştir. Numuneler gri ve beyaz olmak üzere iki farklı renkte ve iki farklı iç dolu oranıyla üretilmiştir. Örnek kulp tasarımları Onshape yazılımı kullanılarak oluşturulmuş (Şekil 1.a), ardından STL formatında kaydedilmiştir.

Tasarımlar, Creality Print 6.0 dilimleme programında G kodlarına çevrilmiş (Şekil 1.b,c) ve üretim aşaması Creality K1 MAX model 3B yazıcı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.c). 3B yazıcı özelliklerinden doluluk oranı değiştirilerek çalışma yapılmıştır (Şekil 1. d,e). Bu özellikler haricinde makine özellikleri (Katman yüksekliği;0.3 mm, Nozül boyutu; 0.4 mm, Yazıcı hızı; 50 mm/sn, Dış katman hızı; 25 mm/sn, iç katman hızı; 35 mm/sn, İç dolgu hızı; 50mm/sn, Nozül sıcaklığı; 260°C, Yatak sıcaklığı; 65°C, Alt-üst katman; 3 katman) sabit bırakılmıştır.



Şekil 1. a. Numunelerin hazırlanması, G kodu tanımlaması; **b.** %50, **c.** %80, test numunelerinin hazırlanması; **d.** Beyaz PETG, **e.** Gri PETG.

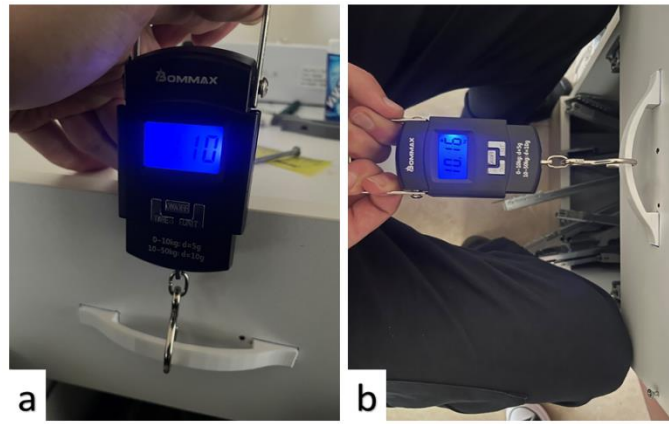
Filament malzemeden üretilen kulplar ile endüstride yaygın olarak kullanılan metal kulplar (tercih edilen metal alaşım malzemeden üretilen), montaja hazır hale getirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılacak çekmece ön kapakları, homojen yüzey yapısı ve kolay işlenebilirliği nedeniyle MDF (Medium Density Fiberboard-Orta Yoğunlukta Lif Levha) malzemeden seçilmiştir. Kulplar, kapakların tam orta noktasına hizalanacak şekilde, aynı vida tipi (18 x 3.5 mm yonga levha vidası) kullanılarak monte edilmiştir (Şekil 2.a,b,c). Deney sonuçlarının güvenilirliğini artırmak ve montaj kaynaklı değişkenlikleri ortadan kaldırmak amacıyla, tüm vidalama işlemleri sabit bir tork değeri olan 1.33 Nm ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, bir torkmetre yardımıyla kontrol edilerek uygulanmış, böylece tüm numunelerde eşit sıkılıkta montaj sağlanarak standardizasyon oluşturulmuştur (Şekil 2. d).



Şekil 2. Montajlanmış numune örnekleri; a. Beyaz PETG, **b.** Gri PETG, **c.** Metal Kulp, **d.** Vidaların torkmetre ile sabitlenmesi.

2.2 Metot

Montajı yapılan numuneler üzerinde gerçekleştirilen testler, TS 13866 “Mobilya Kulpları ve Ayakları” standardı esas alınarak uygulanmıştır. Bu kapsamda, her kulp numunesi (üçer tekrarlı olmak üzere), imalatçının belirttiği montaj ve kullanım koşullarına uygun şekilde bağlantısı yapılmış halde test edilmiştir. Deney sırasında, kulp bağlantı yönüne paralel ve dik olacak şekilde, her iki yönde de ayrı ayrı olmak üzere en az 100 N’luk sabit bir kuvvet, her bir yönde 60 saniye süreyle (kronometre ile süreler tutulmuştur) ve 5 kez arka arkaya uygulanmıştır (uygulamada Ommax markalı kuvvetölçer tercih edilmiştir). Bu uygulama, kulpun yapısal bütünlüğünü ve bağlantı noktalarının dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Mobilya kulpunun mekanik dayanım testine ilişkin deney düzeneği ve kuvvetin uygulanma yönleri Şekil 3’te (Şekil 3.a dikine, 3.b. paralel) şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Standarda uygun testlerin yapılması; **a.** Dik yönde 100N uygulaması, **b.** Paralel yönde 100N uygulaması.

Çalışmada değerlendirme yöntemi olarak, TS 13866 standardına uygun testlerin ardından, her numunenin "standartı geçip geçmediği" esasına dayalı bir sınıflandırma yapılmıştır. Bu yöntemle, her kulpun uygulanan test koşullarını başarıyla karşılayıp karşılamadığı belirlenmiştir. Buna ek olarak, kırılma ya da deformasyon yaşanan numunelerde, hasarın meydana geldiği bölgeler detaylı şekilde incelenmiş; kırılmanın hangi kuvvet uygulaması sırasında ve hangi yapısal noktada gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda, 3B yazıcıdan üretilen kulplar ile endüstride kullanılan metal kulplar arasında yapısal dayanım açısından karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmaya ait deney deseni Çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. Fiziksel özellikler

Kulp Malzemesi	Renk	Dolgu Deseni	Yükleme	Tekrar Sayısı
Pet-G	Gri	%50	Paralel/100N Dik/100N	5
		%80		
	Beyaz	%50		
		%80		
Metal	-	-		

Bu değerlendirmeler sonucunda, yazıcıdan üretilen kulpların hangi koşullarda kullanılabilir olduğu, hangi tasarım ve üretim parametrelerinin performansı etkilediği gibi çıkarımlarda bulunulmuştur.

3 Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, TS 13866 standardına uygun olarak gerçekleştirilen mekanik testler sonucunda elde edilen veriler sunulmakta ve değerlendirmeler yapılmaktadır. Farklı doluluk oranları ve renklerde PETG filament kullanılarak üretilen 3B kulp numuneleri ile endüstriyel metal kulplar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. 3B kulp numuneleri ile endüstriyel metal kulplar karşılaştırma sonuçları

Kulp Malzemesi	Renk	Dolgu Oranı	Sonuç 1		Sonuç 2		Sonuç 3		Sonuç 4		Sonuç 5	
			Paralel	Dik	Paralel	Dik	Paralel	Dik	Paralel	Dik	Paralel	Dik
Pet-G	Gri	%50	+	x	+	x	+	x	+	x	x	+
		%80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Beyaz	%50	+	+	+	+	+	x	+	x	x	+
		%80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Metal	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

X: kaldı, +: geçti

Ayrıca, örneklem büyüklüğünün sınırlı olması nedeniyle, gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı Fisher's Exact Test kullanılarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel analizler SPSS 2024 programı ile gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur. Analizde grup değişkeni malzeme-renk-dolgu-yön kombinasyonu, sonuç değişkeni ise (+ / x) kaldı/ geçti olarak tanımlanmıştır.

Yapılan testler sonucunda, farklı kulp malzemeleri, renkleri ve dolgu oranlarının mekanik dayanım üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Testler, hem paralel hem de dik yönlü yüklemeler altında, beş farklı senaryo üzerinden gerçekleştirilmiş olup, her bir test 5 kez tekrar edilmiştir. Bu tekrarlar sayesinde malzemelerin tutarlılığı ve tekrarlanabilir dayanım değerleri gözlemlenebilmiştir. Testler sırasında, özellikle düşük dolgu oranına sahip örneklerde, bazı testlerin 3. veya 4. tekrarında vida bağlantı noktalarında ayrılmalar meydana gelmiştir. Bu durum, malzemenin uzun süreli ya da tekrarlı yüklemeler altındaki davranışını değerlendirme açısından önemli bir gözlemdir. Vida yerlerinde oluşan bu ayrılmalar, özellikle katmanlar arası dayanımın düşük olduğu durumlarda (örneğin %50 dolgu oranı ve dik yöndeki zorlamalar) daha sık gözlemlenmiştir.

Çizelge 3. Test sonuçlarının istatistiksel incelenmesi

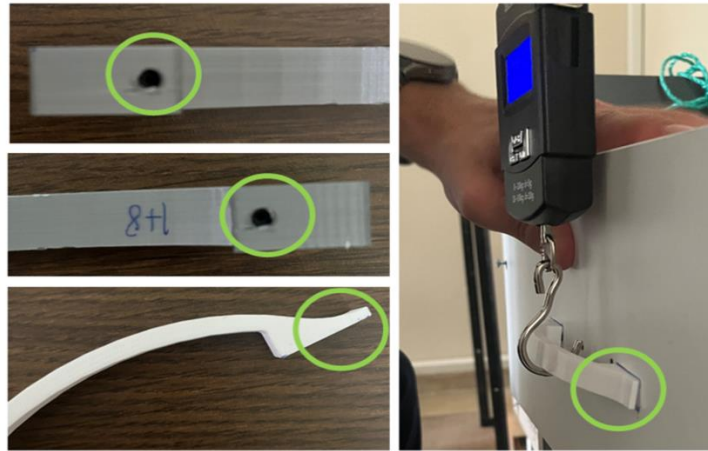
Kulp Malzemesi	Renk	Dolgu Oranı	Test Yönü	Başarı Oranı (0-1)
Metal	-	0	Dik	1.00
Metal	-	0	Paralel	1.00
PetG	Beyaz	50	Dik	0.60
PetG	Beyaz	50	Paralel	0.80
PetG	Beyaz	80	Dik	1.00
PetG	Beyaz	80	Paralel	1.00
PetG	Gri	50	Dik	0.20
PetG	Gri	50	Paralel	0.80
PetG	Gri	80	Dik	1.00
PetG	Gri	80	Paralel	1.00

Testlerde kullanılan Pet-G malzemesi, dolgu oranı arttıkça performans açısından belirgin bir iyileşme göstermiştir. Özellikle %80 dolgu oranına sahip Pet-G örnekleri, hem paralel hem de dik yönlerde uygulanan tüm testlerde başarılı sonuçlar vermiştir. Bu da, yüksek dolgu oranının parça mukavemetini artırarak, test boyunca vida bölgelerinde oluşabilecek deformasyonları engellediğini göstermektedir. Buna karşılık, %50 dolgu oranına sahip gri renkli Pet-G örnekleri, tüm dik yönlü testlerde başarısız olmuş ve bu örneklerde vida bağlantı bölgelerinde erken ayrılmalar tespit edilmiştir. Bu durum, düşük dolgu oranının katmanlar arası yapışmayı zayıflattığını ve tekrarlı yüklemelerde yapısal bütünlüğün korunamadığını ortaya koymaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Test sonunda PETG gri renk malzeme ile üretilen numunelerin deformasyonuna dair görüntüler

Beyaz renkli Pet-G malzeme, aynı dolgu oranında (%50) gri renge göre daha iyi bir performans sergilemiştir. Bazı dik yön testlerinde ayrılma görülsede, bu genellikle 4. veya 5. tekrar sırasında meydana gelmiş, gri örneklerdeki kadar erken deformasyon gözlemlenmemiştir. Bu farkın, malzemenin renk pigmentine bağlı olarak farklı üretim özelliklerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Tüm bu sonuçların yanı sıra, metal kulplar testlerde en yüksek başarı oranını göstermiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Test sonunda PETG beyaz renk malzeme ile üretilen numunelerin deformasyonuna dair görüntüler

Metal malzeme, hem paralel hem de dik yönlü uygulamalarda hiçbir testte başarısızlık göstermemiş, tüm tekrarlar boyunca yapısal bütünlüğünü korumuştur. Vida bağlantı noktalarında herhangi bir gevşeme veya ayrılma tespit edilmemiştir. Bu da metal kulpların, mekanik dayanım açısından diğer malzemelere göre çok daha üstün olduğunu göstermektedir. Her bir numunenin standardı geçip geçmediği belirlenmiş, kırılma veya deformasyon gözlemlenen örneklerde hasarın olduğu bölgeler ve kırılmanın meydana geldiği tekrar tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, 3B yazıcıdan üretilen mobilya kulplarının yapısal dayanımı açısından endüstriyel ürünlerle rekabet edebilirliğini ortaya koymak amacıyla tartışılmıştır. Ayrıca test sonuçlarının istatistiksel analizi göstermiştir ki, metal kulplar hem paralel hem dik yönde %100 başarı göstermiştir. PETG gri renkli ve %50 dolgu oranına sahip numuneler ise paralel yönde %80, dik yönde %20 başarı oranı ile en zayıf grup olarak belirlenmiştir. PETG %50 dolgu oranına sahip diğer numuneler paralel yönde %80, dik yönde %60 başarı göstermiştir. Buna karşılık, her iki renk için %80 dolgu oranına sahip PETG numuneleri hem paralel hem dik yönde %100 başarı sağlamıştır. Gerçekleştirilen "geçti/kaldı" testlerinde, PETG malzeme ile basılmış numunelerin yaklaşık %85'inin test yükü altında bütünlüğünü koruduğu ve "geçti" olarak sınıflandırıldığı belirlenmiştir. "Kaldı" olarak değerlendirilen örneklerin büyük bir kısmında, baskı yönüne dik uygulanan kuvvetler sonucu katman ayrılması (delaminasyon) veya bağlantı bölgelerinde çatlama gözlemlenmiştir. Bu, FDM tabanlı üretimde sıkça karşılaşılan, katmanlar arası yapışmanın yetersiz kalmasıyla ilgili bilinen bir zayıflığı yansıtmaktadır (Górski ve ark. 2024). Hasar bölgeleri incelendiğinde, genellikle bağlantı deliklerinin çevresinde veya montaj sırasında vidalama yapılan alanlarda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu durum, PETG malzemenin özellikle keskin köşe veya stres birikimi olan alanlarda kırılma davranışları sergileyebileceğini ortaya koymaktadır. Literatürde de benzer şekilde, PETG'nin elastik deformasyonu tolere edebilmesine rağmen ani yüklenmelerde yüksek stres noktalarında kırılmalar gösterebildiği bildirilmiştir (Budzinski ve Federowicz, 2025). Literatürde benzer şekilde, PETG'nin elastik deformasyonu tolere edebilmesine rağmen ani yüklenmelerde yüksek stres noktalarında kırılmalara uğrayabileceği raporlanmıştır (Ertek, 2025). Ayrıca, baskı parametreleri ve malzeme geometrisinin mekanik performansı doğrudan etkilediği ve katman yönüne bağlı kırılma riskini artırabileceği çeşitli çalışmalarla desteklenmiştir (Ergene ve ark., 2023; Kuruoğlu ve ark., 2022). Bu bulgular, FDM tabanlı PETG üretiminde, özellikle bağlantı noktalarında ve keskin köşelerde meydana gelen zayıf bölgelerin mekanik dayanımını artırmak için baskı parametrelerinin optimizasyonu ve post-process işlemlerinin önemini ortaya koymaktadır.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Günümüzde teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte, 3B yazıcı sistemleri birçok sektörde önemli bir yer edinmiştir. Özellikle inşaat, tıp, otomotiv, savunma sanayi, mühendislik ve mimarlık gibi alanlarda, hem prototipleme hem de son kullanım ürünlerinin üretiminde 3B yazıcıların yaygın kullanımı dikkat çekmektedir. Bu sistemler, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ortamında oluşturulan modellerin, G kodları aracılığıyla katmanlı üretim prensibiyle fiziksel nesnelere dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, farklı renklerde Pet-G filament kullanılarak %50 ve %80 doluluk oranlarında 3B yazıcıyla üretilen mobilya kulplarının dayanımını test ederek, bu parçaların performansını geleneksel metal kulplarla karşılaştırmak ve plastik kulpların alternatif olarak kullanılıp kullanılamayacağını değerlendirmektir. Çıkan sonuçlar:

- Kulp malzemesi, renk ve dolgu oranı mekanik dayanımı önemli ölçüde etkilemiştir. Deneylerde bu değişkenlerin farklı kombinasyonları, parçaların hem

paralel hem de dik yöndeki yüklemelere karşı gösterdiği dirençte belirgin farklar oluşturmuştur.

- Testler, her senaryo için beş tekrar yapılarak gerçekleştirilmiş ve bu sayede malzemelerin tutarlılığı ile dayanım davranışları güvenilir şekilde gözlemlenmiştir.
- Düşük dolgu oranına sahip (%50) örneklerde, özellikle dik yönlü yüklemelerde katmanlar arası ayrılmalar ve vida bağlantı noktalarında erken deformasyonlar meydana gelmiştir. Bu durum, dolgu oranının yapısal bütünlük üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymuştur.
- Dolgu oranı arttıkça (özellikle %80) Pet-G malzemenin mekanik dayanımı belirgin şekilde iyileşmiştir. Yüksek dolgu, vida bölgelerinde oluşabilecek hasarları azaltarak parçanın genel dayanımını artırmıştır.
- Beyaz renkli Pet-G örnekleri, aynı dolgu oranına (%50) sahip gri renklilere kıyasla daha geç deformasyona uğramıştır. Bu farkın, renk pigmentlerinin üretim sürecine veya malzeme yapısına etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Metal kulplar, tüm testler boyunca en yüksek mekanik performansı göstermiş ve herhangi bir deformasyon belirtisi göstermemiştir. Bu, metalin diğer malzemelere kıyasla yük taşıma kapasitesinin çok daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Test sonuçları doğrultusunda, mekanik dayanımın artırılması için özellikle dik yönlü yüklemelere maruz kalacak parçalarda yüksek dolgu oranı (%80 ve üzeri) tercih edilmelidir. Pet-G malzemesi, yüksek dolgu oranlarında başarılı performans gösterdiğinden, yapısal bütünlüğün kritik olduğu uygulamalarda güvenle kullanılabileceği düşünülmektedir. Renk pigmentlerinin malzeme dayanımı üzerindeki etkisi göz önüne alındığında, üretim sürecinde mümkünse pigment katkısı düşük veya nötr renkli (örneğin beyaz) malzemeler tercih edilmelidir. Ayrıca, tekrarlı yüklemelere maruz kalacak bağlantı noktalarında, vida bölgelerinin dayanımını artırmak amacıyla metal kulp gibi daha rijit ve sağlam çözümler önerilmektedir. Bu bulgular, ürün tasarımı ve malzeme seçiminde daha güvenli, uzun ömürlü ve fonksiyonel çözümler geliştirilmesi açısından yol gösterici olacaktır.

Yazar Katkıları

Sedanur Şeker: Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma, Makale Yazma, inceleme ve düzenleme.

Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazar çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

Aiman, A. F., Sanusi, H., Haidiezul, A. H. M., and Cheong, H. Y., (2020). Design and structural analysis of 3B printed modular furniture joints, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 27 February, 932(1), 012101, Penang, Malaysia, DOI: [10.1088/1757-899X/932/1/012101](https://doi.org/10.1088/1757-899X/932/1/012101)

Akkaş, G., and Güzel, E., (2021). Strength of a chair renovated with additive production systems and reverse engineering approach, *European Journal of Science and Technology*, 32, 1150–1155, DOI: [10.31590/ejosat.1054613](https://doi.org/10.31590/ejosat.1054613)

- Branowski, B., Starczewski, K., Zablocki, M., and Sydor, M., (2020). Design issues of innovative furniture fasteners for wood-based boards, *BioResources*, 15(4), 8472–8483, DOI: [10.15376/biores.15.4.8472-8495](https://doi.org/10.15376/biores.15.4.8472-8495)
- Budzinski, B., and Federowicz, K., (2025). Evaluation of PLA and PETG as 3d-printed reference materials for compressive strength testing, *Materials*, 18(16), 3794, DOI: [10.3390/ma18163794](https://doi.org/10.3390/ma18163794)
- Chen, C. H., Yang, Y. Y., and Liu, H. Y., (2023). Study on the application of 3D printing to wooden furniture connectors, *Journal of Physics Conference Series*, 19-21 May, 2631(1), 012006, Kenting, Taiwan, DOI: [10.1088/1742-6596/2631/1/012006](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2631/1/012006)
- Demirtaş, F., ve Kılıç, E., (2023). Sürdürülebilir ahşap mobilya aksesuar üretimi: Çevresel yaklaşımlar, *Çevre Teknolojileri Dergisi*, 18(1), 58–68.
- Ergene, B., Ispartalı, H., ve Karakılınç, U., (2023). Eriyik yığma modelleme ile üretilen PETG parçaların katman yüksekliğine ve test sıcaklığına bağlı darbe davranışı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(3), 1345–1360, DOI: [10.17341/gazimmfd.1065131](https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1065131)
- Ertek, C., (2025). Polietilen Tereftalat glikol (PETG) malzeme kullanılarak eklemeli imalat yöntemi ile elde edilen honeycomb ve T-rib kafes yapıların çekme dayanımlarının araştırılması, *Teknik Meslek Yüksekokulları Akademik Araştırma Dergisi*, 4(1), 39–48.
- Ekmekçioğlu, D., (2024). Endüstriyel tasarımda sürdürülebilirlik girdisinin mobilya endüstrisi üzerinden değerlendirilmesi, *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 14(2), 686-706, DOI: [10.20488/sanattasarim.1603466](https://doi.org/10.20488/sanattasarim.1603466)
- Górski, J., Kowalczyk, M., and Nowak, P., (2024). Evaluation of 3D-printed connectors in chair construction compared to traditional wood joints, *Journal of Wood Science*, 70(1), 22, DOI: [10.1186/s10086-024-02140-3](https://doi.org/10.1186/s10086-024-02140-3)
- Hsieh, S. H., and Ku, Y. C., (2019). The research on the characteristics of furniture hardware design through 3D printing, *Proceedings of the 4th International Conference on Material Science and Engineering*, 26–31 July, ss. 381–389, Orlando, FL, USA, DOI: [10.1007/978-3-030-23522-2_44](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23522-2_44)
- Jarza, L., Cavlović, A. O., Pervan, S., Spanic, N., Klarić, M., and Prekrat, S., (2023). Additive technologies and their applications in furniture design and manufacturing, *Drvna Industrija*, 74(2), 115–128, DOI: [10.5552/drwind.2023.0012](https://doi.org/10.5552/drwind.2023.0012)
- Kalaycıoğlu, H., Aras, U., ve Çınar, T., (2017). Mobilyada tamamlayıcı elemanlar “aksesuarlar”, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 1188–1198.
- Kaya, M., and Özkan, S., (2022). Mobilya aksesuarlarında estetik ve fonksiyonellik dengesi, *Tasarım ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 15(3), 201–215.
- Kuruoğlu, Y., Akgün, M., ve Demir, H., (2022). FDM yöntemiyle üretilen ABS, PLA ve PETG numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve çekme dayanımının modellenmesi ve optimizasyonu. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 6(3), 358–369. DOI: [10.46519/ij3dptdi.1148923](https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1148923)
- Nasir, O., Iqbal, M. F., and Kamal, M. A., (2022). An appraisal of 3D printing technology in interior architecture and product design, *Architecture Engineering and Science*, 3(3), 188–197, DOI: [10.32629/aes.v3i3.1009](https://doi.org/10.32629/aes.v3i3.1009)

- Nicolau, A., Pop, M. A., and Coşereanu, C., (2022). 3D Printing application in wood furniture components assembling, *Materials*, 15(5), 1768, DOI: [10.3390/ma15051768](https://doi.org/10.3390/ma15051768)
- Öztürk, H., ve Yıldırım, S., (2022). Ahşap mobilya aksesuarlarında ergonomi ve kullanıcı deneyimi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 34(4), 312–326.
- Petrova, B., and Jivkov, V., (2024). Application of 3D printing in furniture construction, *Materials*, 17(19), 4848, DOI: [10.3390/ma17194848](https://doi.org/10.3390/ma17194848)
- Smardzewski, J., Rzepa, B., and Kilic, H., (2016). Mechanical properties of externally invisible furniture joints made of wood-based composites, *BioResources*, 11(1), 1224–1239, DOI: [10.15376/biores.11.1.1224-1239](https://doi.org/10.15376/biores.11.1.1224-1239)
- Svoboda, J., Nováková, A., and Veselý, P., (2023). Print to build: Sustainable assembly of panel furniture using 3D printed connectors, *Sustainability*, 15(24), 16715, DOI: [10.3390/su152416715](https://doi.org/10.3390/su152416715)
- TS 13866, (2019). Mobilya kulpları ve ayakları. Türk standartları enstitüsü, Ankara.
- Uysal, M., (2024). Some printing parameters affecting the screw withdrawal strength of materials used in joints developed in 3D printers for furniture, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 7(2), 150-162, DOI: [10.33725/mamad.1555655](https://doi.org/10.33725/mamad.1555655)