TÜBİTAK 2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI

Başvuru formunun Arial 9 yazı tipinde, her bir konu başlığı altında verilen açıklamalar göz önünde bulundurularak hazırlanması ve ekler hariç toplam 20 sayfayı geçmemesi beklenir (Alt sınır bulunmamaktadır). Değerlendirme araştırma önerisinin bilimsel niteliği, yöntemi, proje yönetimi ve yaygın etkisi başlıkları üzerinden yapılacaktır.

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

2025 Yılı

1. Dönem Başvurusu

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

A. GENEL BİLGİLER

Başvuru Sahibinin Adı Soyadı: Doğukan Şahin
Araştırma Önerisinin Başlığı: FDM Tipi 3B Yazıcılar İçin Modüler Kapalı Hazne Tasarımının Baskı Kalitesine Etkisi
Danışmanın Adı Soyadı: Çınar Narter
Araştırmanın Yürütüleceği Kurum/Kuruluş: İstanbul Ticaret Üniversitesi

ÖZET

Araştırma önerisi özetinin (1) bilimsel nitelik; (2) yöntem; (3) proje yönetimi ve (4) yaygın etki hakkında bilgileri kapsaması beklenir. Bu bölümün en son yazılması önerilir.

Bu proje, FDM tipi 3B yazıcılar için kullanıcı odaklı, modüler ve ısıl performansı iyileştirilmiş bir kapalı hazne tasarlamayı amaçlamaktadır. Günümüzde genellikle masaüstü 3B yazıcılar açık gövdeli yapıya sahiptir. Açık gövde kullanımı sırasında, baskı sürecinde ortam sıcaklığının değişmesi özellikle ABS ve Nylon gibi malzemelerde warping (baskı kenarlarının yukarı kalkması), katman ayrılması ve yüzey bozulması gibi hatalara yol açmaktadır. Ayrıca açık yazıcıların çalışması sırasında oluşan gürültü, sıcak hareketli parçalar ve plastik ısınması sonucu açığa çıkan emisyonlar kullanıcı güvenliği ve ergonomisi açısından sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle kapalı hazne tasarımı, hem baskı kalitesini artırmak hem de güvenli ve kontrollü bir kullanım ortamı sağlamak açısından önemlidir.
Proje kapsamında önce mevcut kapalı hazne örnekleri incelenecek, tasarım dili, malzeme tercihleri ve kullanım senaryoları değerlendirilecektir. Ardından kullanıcı deneyimi ve ergonomi göz önünde bulundurularak hazne hacminin düzenlenmesi, kapak açılma sistemleri ve baskı sürecinin görsel takibi için pencere konumlandırması gibi tasarım kararları geliştirilecektir. Form geliştirme aşamasında, hava akışının ısıyı eşit dağıtması için yüzey yönlendirmeleri değerlendirilecektir.
Bu çalışma, 3B yazıcı kullanımının yaygın olduğu eğitim kurumları, atölyeler ve ev tipi üretim alanlarında daha güvenli, daha sessiz, daha kontrollü ve daha kaliteli baskı elde edilmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Tasarlanacak kapalı hazne, yalnızca teknik bir donanım olarak değil, aynı zamanda kullanıcı deneyimini iyileştiren ürün odaklı bir tasarım çözümü sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: en az 3, en fazla 5 kelime yazılmalı ve kelimeler arasına virgül konulmalıdır.

1. ARAŞTIRMA ÖNERİSİNİN BİLİMSEL NİTELİĞİ

1.1. Konunun Önemi ve Araştırma Önerisinin Bilimsel Niteliği

Araştırma önerisinde ele alınan konunun kapsamı, sınırları ve önemi ortaya konulur. Araştırma önerisi kapsamında yapılacak çalışmalarla literatürdeki hangi eksikliğin nasıl giderileceği veya hangi soruna nasıl bir çözüm getirileceği ilgili literatüre atıfla açıklanarak araştırma önerisinin bilimsel niteliği ortaya konulur. Araştırma sorusu ve varsa hipotez(ler)i tanımlanır.
Projenin konusu, 12. Kalkınma Planı ve 2030 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi'nde yer alan kritik teknoloji alanları ile öncelikli Ar-Ge ve yenilik konuları ile ilişkili ise, ilişkilendirilme sebebi ve ilgili alana sağlayacağı yararlar açıklanmalıdır.

FDM (Fused Deposition Modeling) tipi 3B yazıcılar, düşük maliyetli ve erişilebilir olmaları nedeniyle eğitim kurumları, atölyeler ve ev ortamlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak genellikle açık gövdeli olan bu yazıcılarda çalışma ortamı sıcaklığının sabit olmaması, özellikle ABS ve Nylon gibi yüksek çekme davranışı gösteren malzemelerde warping, katman ayrılması ve yüzey kalitesi bozulması gibi baskı hatalarına yol açmaktadır. Bu durum yalnızca baskı kalitesini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda malzeme, zaman ve enerji kaybına da neden olur. Ayrıca açık gövdeli yazıcıların çalışması sırasında ortaya çıkan gürültü, sıcak yüzey temas riski ve plastik ısınmasına bağlı emisyonlar, kullanıcı sağlığı ve güvenliği açısından dikkate alınması gereken konulardır.
Literatürde kapalı hazne kullanımının baskı kalitesi üzerindeki teknik etkileri incelenmiş olsa da, mevcut çalışmaların çoğu yalnızca ısıl performans ve mekanik sonuçlara odaklanmaktadır. Kapalı haznenin kullanıcı deneyimi, ergonomi, görsel kontrol, mekân yerleşimi, bakım kolaylığı ve ürünle etkileşim gibi tasarım boyutlarıyla birlikte değerlendirilmesi konusunda belirgin bir boşluk vardır. Bu proje, işte bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Hazne, kullanıcı ihtiyaçlarına göre modüler olarak tasarlanacak; panel ve kapak konumları

farklı kullanım senaryolarına uyacak şekilde ayarlanabilecek, farklı yazıcı modellerine uyum sağlayacak ve taşınabilirlik kolaylığı sunacaktır.
Araştırmanın temel sorusu şudur:
"Kapalı hazne tasarımında form, malzeme, hava akışı ve kullanım senaryosuna yönelik modüler tasarım kararları, FDM tipi 3B yazıcılarda hem baskı kalitesini hem de kullanıcı deneyimini nasıl etkiler?"
Bu doğrultuda proje, yalnızca ısıl kararlılık sağlayan bir koruyucu kabin geliştirmeyi değil; kullanıcı için daha güvenli, sessiz, kontrollü ve erişilebilir bir baskı ortamı sunmayı hedeflemektedir. Modüler ve ayarlanabilir yapısı sayesinde hazne, farklı yazıcı modellerine ve kullanım alanlarına uyum gösterecek; kullanıcı, haznenin duvar ve panellerinin konumlarını ihtiyacına göre değiştirebilecektir.
Araştırmanın hipotezi:
"Kullanıcı odaklı ve ısıl olarak optimize edilmiş, modüler bir kapalı hazne tasarımı, baskı sürecindeki sıcaklık dalgalanmalarını azaltarak baskı kalitesini artıracak; aynı zamanda ergonomik erişim, görsel takip ve güvenlik açısından 3B yazıcının daha etkin kullanılmasına katkı sağlayacaktır."
Bu yönleriyle proje, yalnızca teknik bir iyileştirme değil; modüler tasarım, kullanıcı deneyimi ve güvenli kullanım süreçlerini bütünleştiren yenilikçi bir tasarım çözümü sunmaktadır.

1.2. Amaç ve Hedefler

Araştırma önerisinin amacı ve hedefleri açık, ölçülebilir, gerçekçi ve ulaşılabilir nitelikte olacak şekilde yazılır.

Bu projenin temel amacı, FDM tipi 3B yazıcıların baskı sürecinde yaşanan sıcaklık değişimlerini kontrol altına alarak baskı kalitesini artıran ve aynı zamanda kullanıcı güvenliği ile ergonomisini geliştiren kullanıcı odaklı bir kapalı hazne tasarlamaktır. Mevcut açık gövdeli 3B yazıcılarda görülen warping, katman ayrılması ve yüzey bozulmaları gibi yaygın baskı hataları, kontrollü olmayan çevresel koşullardan kaynaklanmaktadır ve bu durum hem malzeme hem de zaman kaybına yol açmaktadır. Proje kapsamında, kapalı haznenin iç tasarımında ısı dağılımı, hava akışı ve panel yerleşimi gibi faktörler dikkate alınarak baskı sürecine uygun bir mikro-iklim oluşturulacaktır. Haznenin modüler yapısı sayesinde farklı yazıcı modellerine ve kullanım senaryolarına kolayca uyum sağlanabilecek, panellerin konumları ve kapak açılma mekanizmaları ihtiyaca göre değiştirilebilecektir. Baskı alanına güvenli erişim sağlayan ergonomik bir kapak sistemi tasarlanacak, kullanıcı baskı sürecini kesintisiz izleyebilecek şekilde şeffaf yüzeyler konumlandırılacak ve haznenin modüler gövde yapısı, bakım, temizlik ve kullanım kolaylığını artıracaktır. Bu yaklaşım, yalnızca baskı kalitesini iyileştirmekle kalmayacak, aynı zamanda 3B yazıcı kullanımını daha konforlu, güvenli ve erişilebilir hâle getirecek; kullanıcıların farklı malzemelerle çalışırken karşılaştıkları riskleri minimize edecektir. Proje, teknik performansın yanı sıra kullanıcı deneyimi ve ergonomi boyutlarını da bütünleştiren yenilikçi bir tasarım çözümü sunmayı hedeflemektedir.

2. YÖNTEM

Araştırmada uygulanacak yöntem ve araştırma tekniklerinin, amaç ve hedeflere ulaşmaya ne düzeyde elverişli olduğu ilgili literatüre atıf yapılarak ortaya konulur.

Yöntem bölümünün; araştırma tasarımı, bağımlı ve bağımsız değişkenler, istatistiksel yöntemler vb. unsurları içermesi gerekir. Araştırma önerisinde herhangi bir ön çalışma veya fizibilite yapıldıysa bunların sunulması beklenir. Araştırma önerisinde sunulan yöntemlerin çalışma takvimi ile ilişkilendirilmesi gerekir.

Araştırma Yöntemi

Bu araştırma, tasarım odaklı düşünme yaklaşımı ile deneysel karşılaştırmalı değerlendirme yöntemlerini bir arada kullanan karma bir yöntemle yürütülecektir. Projenin temel amacı, kapalı hazne tasarımının FDM (Fused Deposition Modeling) tipi 3B yazıcıların baskı kalitesi, kullanıcı güvenliği ve ergonomisi üzerindeki etkilerini sistematik ve bütüncül bir biçimde incelemektir. Literatürde, kapalı hazne kullanımının özellikle ABS ve Nylon gibi yüksek termal büzülme eğilimli filamentlerde warping, katman ayrılması ve yüzey deformasyonu gibi hata oranlarını azalttığı, ortam sıcaklığının kontrollü tutulmasının malzeme soğuma hızını düzenleyerek katmanlar arası bağ dayanımını güçlendirdiği belirtilmektedir. Bunun yanı sıra, polimerin termal geçmişi ve kristal yapı oluşumu, hem yüzey pürüzlülüğü hem de mekanik dayanım üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Kapalı hazne tasarımları ayrıca baskı süresince açığa çıkan UFP ve VOC içeren emisyonları kontrol ederek

kullanıcı sağlığı ve güvenliğine katkıda bulunmakta ve yazıcı kullanımını daha güvenli ve ergonomik hâle getirmektedir. Bu bağlamda, proje hem teknik baskı performansını hem de kullanıcı deneyimi, ergonomi ve güvenlik ölçütlerini bir arada değerlendiren bütüncül bir yaklaşım benimsemektedir.
Araştırmada kontrollü deneysel karşılaştırma yöntemi uygulanacaktır. Aynı yazıcı modeli, aynı baskı parametreleri ve aynı filament kullanılarak iki koşul değerlendirilecektir: kontrol koşulunda yazıcı hazne olmadan çalıştırılırken, deney koşulunda yazıcı tasarlanan kapalı hazne içerisinde çalıştırılacaktır. Bu yaklaşım, kapalı hazne tasarımının baskı kalitesi ve kullanıcı deneyimi üzerindeki etkilerini diğer değişkenlerden bağımsız olarak gözlemleme olanağı sunmaktadır.

Bağımsız değişkenler, hazne formu, gövde panel malzemeleri, kapak açılma ve erişim mekanizması, hava akışı yönlendirme ve menfez düzeni ile iç hacim oranlarını kapsamaktadır. Bağımlı değişkenler ise warping (mm olarak taban kenar kalkması), katman yapışma bütünlüğü, yüzey kalitesinde bozulma derecesi, çalışma gürültü seviyesi ve kullanıcı memnuniyeti ile güvenlik algısıdır. Bu değişkenler, hazne tasarımının baskı performansına ve kullanıcı deneyimine olan etkilerini nesnel ve kapsamlı biçimde ortaya koymayı sağlayacaktır.

Kullanıcı Analizi ve Tasarım Kriterleri
Araştırmada, 3B yazıcıları aktif olarak kullanan kişilerle yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilecektir. Görüşmeler, baskıyı izleme alışkanlıkları, sıcak parçalara temas riski, çalışırken gürültüye tolerans ve baskı bitiminde parça çıkarma ergonomisi gibi konulara odaklanacaktır. Elde edilen veriler, erişim kolaylığı, görsel kontrol alanı, mekânsal ayak izi, kapak kullanım konforu ve temizlik/bakım kolaylığı gibi tasarım kriterlerinin önceliklendirilmesini sağlayacaktır. Haznenin modüler ve taşınabilir yapısı sayesinde kullanıcı, farklı kullanım senaryolarına göre panellerin konumlarını ve kapak sistemlerini kolayca uyarlayabilecek, bakım ve temizlik süreçlerini daha hızlı, güvenli ve verimli bir şekilde gerçekleştirebilecektir. Ayrıca modüler tasarım, farklı yazıcı modelleri ve boyutlarıyla uyum sağlayarak kullanıcıya esnek ve çok yönlü bir kullanım deneyimi sunmaktadır.

Deneysel Testler ve Ölçüm Yöntemleri
Kapalı hazne tasarımının performansı, çeşitli ölçüm yöntemleri ile değerlendirilecektir. Warping, dijital kumpas kullanılarak taban kenarı kaldırma yüksekliği ölçümü ile belirlenecek; katman yapışması görsel ve dokunsal incelemelerle değerlendirilecektir. Yüzey kalitesi, standardize ışık altında makro fotoğraf karşılaştırmaları ile analiz edilecektir. Çalışma gürültüsü, 1 metre mesafeden ölçülecek ve kullanıcı deneyimi ise 5 maddelik Likert ölçeği anketi aracılığıyla kaydedilecektir. Bu ölçüm ve değerlendirme yöntemleri, kapalı hazne tasarımının baskı kalitesi, ergonomi ve kullanıcı güvenliği üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde ortaya koyacaktır.
Araştırma, modüler tasarımın sağladığı adaptasyon yeteneğini, kullanıcı geri bildirimleri ve deneysel sonuçlarla birleştirerek, FDM tipi 3B yazıcılar için hem teknik performansı artıran hem de kullanıcı deneyimini optimize eden bütüncül bir tasarım çözümü sunmayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca teknik iyileştirmeler getirmekle kalmayacak, aynı zamanda güvenli, erişilebilir ve kullanıcı odaklı bir baskı ortamı yaratmayı sağlayacaktır.

3. PROJE YÖNETİMİ

3.1 Çalışma Takvimi

Araştırmada yer alacak başlıca faaliyetler, her bir faaliyetin hangi sürede gerçekleştirileceği, başarı ölçütü ve araştırmanın başarısına katkısı "Çalışma Takvimi" doldurularak sunulur.

ÇALIŞMA TAKVİMİ (*)

Tarih Aralığı	Faaliyetler**	Kim(ler) Tarafından Gerçekleştirileceği	Başarı Ölçütü ve Araştırmanın Başarısına Katkısı***
Başlangıç(?) 4 hafta	Literatür taraması & kullanıcı görüşmeleri	Doğukan Şahin	Başarı Ölçütü: En az 6–8 akademik kaynak incelenmiş ve kullanıcı ihtiyaç listesi oluşturulmuş olmalıdır. Katkısı: Tasarım sürecinin bilimsel temele ve gerçek kullanıcı gereksinimlerine dayanmasını sağlar.
6 hafta	Tasarım ve alternatif geliştirme	Çağrı Çalışkan	Başarı Ölçütü: En az 3 farklı tasarım alternatifi üretilmiş ve karşılaştırma kriter tablosu ile değerlendirilmiş olmalıdır. Katkısı: En uygun tasarım yönünün belirlenmesini sağlar.
4 hafta	Prototip üretimi	Doğukan Şahin Çağrı Çalışkan	Başarı Ölçütü: Seçilen tasarımın işlevsel, montajlanabilir ve kapalı hazne olarak kullanılabilir gerçek ölçekli prototipi tamamlanmış olmalıdır. Katkısı: Tasarımın uygulanabilirliği ve üretime uygunluğu doğrulanır.
2 hafta	Baskı testleri & veri analizi	Doğukan Şahin Çağrı Çalışkan	Başarı Ölçütü: Haznesiz baskı ile prototipli baskı karşılaştırılarak warping, yüzey kalitesi ve kullanıcı değerlendirme verileri raporlanmış olmalıdır. Katkısı: Tasarımın performans etkisi bilimsel verilerle kanıtlanır.
2 hafta	Raporlama & sunum	Doğukan Şahin Çağrı Çalışkan	Başarı Ölçütü: Son rapor ve sunum paftası tamamlanıp teslim edilmiştir. Katkısı: Projenin sonuçları sistemli, anlaşılabilir ve akademik olarak sunulur.

(*) Çizelgedeki satırlar ve sütunlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.
(**) Literatür taraması, sonuç raporu hazırlama aşamaları, araştırma sonuçlarının paylaşımı, ve malzeme alımı ayrı birer iş adımı olarak gösterilmemelidir.
(***) Başarı ölçütü, ölçülebilir ve izlenebilir nitelikte olacak şekilde nicel veya nitel ölçütlerle (ifade, sayı, yüzde, vb.) belirtilir. Bu sütundaki değerlerin toplamı 100 olmalıdır.

3.2 Risk Yönetimi

Araştırmanın başarısını olumsuz yönde etkileyebilecek riskler ve bu risklerle karşılaşıldığında araştırmanın başarıyla yürütülmesini sağlamak için alınacak tedbirler (B Planı) aşağıdaki Risk Yönetimi Tablosu'nda ifade edilir. B Plan(lar)ının uygulanması araştırmanın temel hedeflerinden sapmaya yol açmamalıdır. B Plan(lar)ına geçilmesi durumunda yöntem değişikliğine gidiliyor ise bu durum detaylandırılmalıdır.

RİSK YÖNETİMİ TABLOSU*

En Önemli Riskler	Alınacak Tedbirler (B Planı)
Prototip üretim malzemelerinin temininde gecikme yaşanması	Malzemelerin alternatif tedarikçilerden listelenmesi; gecikme durumunda ilk aşamada küçük ölçekli maket prototip ile tasarım doğrulamasının yapılması
Baskı testlerinde sonuçların net ayrışmaması (kontrol-deney farkının az olması)	Test parçası geometrisi değiştirilir (warp'a duyarlı köşe geometrileri tercih edilir); test sayısı artırılır (n ≥ 5 örnek)

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

3.3.Araştırma Olanakları

Bu bölümde projenin yürütüleceği kurum ve kuruluşlarda var olan ve projede kullanılacak olan altyapı/ekipman (laboratuvar, araç, makine-teçhizat, vb.) olanakları belirtilir.

ARAŞTIRMA OLANAKLARI TABLOSU (*)

Kuruluşta Bulunan Altyapı/Ekipman Türü, Modeli (Laboratuvar, Araç, Makine-Teçhizat, vb.)	**Projede Kullanım Amacı**
Atölye	Prototip *yapmak ve monte etmek* için.
3D printer	Aynı modeli *hazneli ve haznesiz* basıp **performans karşılaştırması** yapmak için.

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

4. ARAŞTIRMA ÖNERİSİNİN YAYGIN ETKİSİ

Araştırma önerisi kapsamındaki çalışmadan elde edilmesi öngörülen çıktılar amaçlarına göre belirlenen kategorilere ayrılarak belirtilir; ölçülebilir ve gerçekçi hedeflere dayandırılır.

Çıktı, Etki ve Kazanımlar	Öngörülen Çıktı(lar), Etki(ler) ve Kazanım(lar)
Bilimsel/Akademik Çıktılar (Ulusal/Uluslararası Makale, Kitap Bölümü, Kitap, Bildiri vb.)	Çalışma sonucunda **3B yazıcı kapalı hazne tasarımı** ve baskı kalitesi ilişkisini ele alan **bilimsel bir araştırma raporu** ve **sunum paftası** hazırlanacaktır. Proje sonucunda üniversite içinde veya tasarım/üretim odaklı öğrenci etkinliklerinde **poster sunumu** yapılması hedeflenmektedir. Bu sayede konuya dair literatüre **öğrenci düzeyinde katkı** sağlanmış olacaktır.
Ekonomik/Ticari/Sosyal Çıktılar (Ürün, Prototip, Patent, Faydalı Model, Tescil, Görsel/İşitsel Arşiv, Envanter/Veri Tabanı, Çalıştay, Eğitim, Bilimsel Etkinlik vb.)	Proje sonunda geliştirilen kapalı hazne tasarımı **modüler, düşük maliyetli ve kullanıcı güvenliğini artıran** bir ürün niteliği taşıyacaktır. Ev, okul atölyesi ve makerspace kullanıcılarının 3B yazıcıları **daha güvenli ve verimli** kullanmasına katkı sağlaması beklenmektedir. Çıktı olarak **ürün prototipi**, **tasarım dosyaları** ve **kullanım rehberi** elde edilecektir. Bu çıktılar ileride **ticari üretime uyarlanabilirlik** açısından temel teşkil edecektir.

Yeni Proje(ler) Oluşturmasına Yönelik Çıktılar (Ulusal/Uluslararası Yeni Proje vb.)	Bu proje, ileride **gürültü azaltma**, **emisyon filtreleme**, **akıllı sensörlü hazne sıcaklık kontrolü** veya **farklı yazıcı tiplerine uyarlanabilir modüler hazne sistemleri** gibi konular için **yeni araştırma projelerinin başlangıç altyapısını** oluşturacaktır. Ayrıca prototip, ilerleyen aşamalarda **TÜBİTAK 2209B / Teknofest / Üniversite tasarım yarışmaları** gibi platformlarda genişletilmiş proje olarak devam ettirilebilir.

5. BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER KONULAR

Sadece araştırma önerisinin değerlendirilmesine katkı sağlayabilecek bilgi/veri (grafik, tablo, vb.) eklenebilir.

ÖZGÜN DEĞER

Konunun Önemi, Araştırma Önerisinin Özgün Değeri ve Araştırma Sorusu/Hipotezi

Üretim teknolojilerindeki demokratikleşme, 3B yazıcıların yalnızca endüstriyel düzeyde değil, ev ve okul ölçeğinde de kullanılabilir hâle gelmesini sağlamıştır. Özellikle FDM (Fused Deposition Modeling) tipi yazıcılar, düşük donanım maliyeti ve kullanım kolaylığı nedeniyle öğrenciler, tasarımcılar, mühendislik grupları, sanatçılar ve bireysel maker toplulukları tarafından yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu durum, bireyin nesne üretim sürecinde edilgen bir tüketiciden çıkarak aktif üretici hâline geldiği yeni bir kültürel ve teknolojik dönemi desteklemektedir.

Fakat bu hızlı yaygınlaşma, FDM baskının çevresel koşullara duyarlılığını görünür hâle getirmiştir. FDM baskı, eritilmiş termoplastik tabakalarının üst üste konmasıyla gerçekleştiği için baskı ortamının sıcaklık stabilitesi, hava akışı, soğuma hızı gibi çevresel faktörler çıktının kalitesini doğrudan belirler. Açık gövdeli yazıcılarda bu çevresel koşullar kontrol edilemez durumdadır. Özellikle ABS, ASA, Nylon ve PETG gibi amorf veya yarı kristalin yapıda termoplastikler baskı sırasında hızlı soğuma eğilimine sahiptir. Soğuma hızındaki farklılık ise iç gerilme birikmesine, bu da warping (taban kalkması) ve delamination (katman ayrılması) gibi baskı hatalarına yol açar.

Jaber (2025), ABS ile yapılan baskılarda hazne içi sıcaklığın korunmasının warping ve katman ayrılmasını anlamlı derecede azalttığını deneysel olarak göstermiştir. Thumsorn ve diğerleri (2023), ortam sıcaklığının düşük olduğu baskılarda interlayer adhesion değerlerinin düşerek baskının kırılma dayanımının azaldığını raporlamıştır. Pang ve diğerleri (2025) ise baskının termal geçmişinin, polimer zincirlerinin kristal yapı düzenlenmesi üzerinde belirleyici olduğunu, yani ısı kararlılığının yalnızca geometrik deformasyonları değil, mikroyapısal dayanımı da etkilediğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, kapalı hazne kullanımının baskı kalitesinde temel bir değişken olduğunu kanıtlamaktadır.

Ancak literatürün büyük kısmı “kapalı hazne = sıcaklığı sabit tutan kutu” yaklaşımına sıkışmıştır. Çoğu araştırma haznenin ısı performansını ölçmüş, fakat hazne tasarımının:

- Kullanıcı güvenliği (sıcak yüzeylere temas riskinin azaltılması),
- Görsel izleme ve baskı sürecini gözlemleme ihtiyacı,
- Gürültü azaltma ve akustik konfor,
- Çalışma alanı yerleşimi ve mekânsal ergonomi,
- Bakım, temizlik ve erişim kolaylığı,
- Modülerlik ve farklı yazıcı boyutlarına uyarlanabilirlik,

gibi tasarım ve kullanıcı deneyimi boyutlarını değerlendirmemiştir.

Örneğin birçok kapalı hazne çözümü, baskı sürecinin görülmesini engellemekte, çıkarma ve temizleme aşamalarında kullanıcıyı zorlamaktadır. Bazıları ise yalnızca lazer kesilmiş pleksiden oluşan, soğutma ve hava yönlendirme prensiplerini gözetmeyen basit kutulardır. Bu tür tasarımlar baskı kalitesini iyileştirse bile kullanıcı dostu değildir ve üretim pratiği içinde sürdürülebilir bir çözüm sunmaz.

Üstelik çevresel faktörler yalnızca baskı performansını değil, kullanıcı sağlığını da etkiler. Du Plessis ve diğerleri (2022), FDM baskı sırasında ultrafine partikül (UFP) ve uçar organik bileşik (VOC) salınımı olduğunu ve kapalı hazne + filtreli havalandırma stratejilerinin maruziyet seviyesini anlamlı şekilde düşürdüğünü belirtmiştir. Bu özellikle ev, sınıf ve ortak atölye gibi insanların uzun süreli bulunduğu mekânlarda kritik önemdedir.

Dolayısıyla, kapalı hazne:

- Termal bir çözüm, *ve aynı zamanda*

- Kullanıcı güvenliği donanımı,
- Ergonomik bir ürün tasarımı,
- Mekân içi çalışma konforunu düzenleyen bir sistem

olarak ele alınmalıdır.
Bu proje, kapalı hazneyi yalnızca teknik bir eklenti olarak değil, ürün tasarımı problemi olarak tanımlar. Bu yönüyle çalışma literatürde eksik olan tasarım-temelli değerlendirme yaklaşımlarına katkı sunmaktadır.

6. EKLER

EK-1: KAYNAKLAR

Jaber, A. S. (2025). *Influence of Enclosure Temperature Control on ABS Printing Performance.* Engineering, Technology & Applied Science Research.

Thumsorn, S., et al. (2023). *Influence of Ambient Temperature on Interlayer Adhesion in FDM Printing.* Journal of Manufacturing and Materials Processing.

Pang, R., et al. (2025). *Effect of Thermal History on Polymer Crystallinity in Additive Manufacturing.* Journal of Manufacturing and Materials Processing.

Du Plessis, J., et al. (2022). *Control Technologies for Emissions in Additive Manufacturing.* Atmospheric Environment.