



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 19.10.2023
Kabul Tarihi : 15.01.2024

Received Date : 19.10.2023
Accepted Date : 15.01.2024

EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ABS CIVATA NUMUNESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ABS BOLT SAMPLE FABRICATED BY ADDITIVE MANUFACTURING METHOD INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES

Muhammed Tayyip KOÇAK^{1,2} (ORCID: 0000-0003-2276-2658)
*Mehmet Said BAYRAKLILAR*³ (ORCID: 0000-0002-5365-4441)
Osman ÜLKİR^{4*} (ORCID: 0000-0002-1095-0160)

¹ Siirt Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye

² İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

³ Siirt Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye

⁴ Muş Alparslan Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Muş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Osman ÜLKİR, o.ulkir@alparslan.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, eklemeli imalat (Eİ) yöntemiyle üretilen civata numunesinin boyutsal doğruluğu ve elastisite modülü hesaplanmıştır. Basılı civata örneğinin boyutu, etkin elastisite modülü ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) modeliyle karşılaştırılarak tespit edildi. Bu model, katı modelleme yazılımı olan SolidWorks kullanılarak tasarlandı. Numunelerin üretiminde Eİ yöntemlerinden olan eriyik yığıma modellemesi (EYM) kullanılmıştır. Bu yöntemde birçok termoplastik malzeme kullanılmakla birlikte, mevcut çalışmada civataların üretiminde akrilonitril bütadien stiren (ABS) tipi malzeme tercih edilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile civata numunelerin tek eksenli çekme mukavemeti gözlemlenmiş ve gerilme-gerinim eğrileri kullanılarak esneklikleri tespit edilmiştir. Etkin elastisite modülü, ANSYS yazılımı kullanılarak bilgisayar simülasyonu ile sonlu elemanlar analizi yapılarak oluşturuldu. Gerçek zamanlı uygulanan çekme testi sonucunda en yüksek mukavemet değeri 35.258 MPa olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar neticesinde ölçülen çekme mukavemeti değerleri ile simülasyon sonuçlarının uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, gerçek dünya uygulamalarında kullanılmak üzere 3 boyutlu baskılı ABS civatalarının oluşturulması, test edilmesi ve optimize edilmesinin birçok yönünün anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, EYM, sonlu elemanlar analizi, ABS.

ABSTRACT

In this study, the dimensional accuracy and elasticity modulus of the bolt sample produced by the additive manufacturing (AM) were calculated. The size of the printed bolt sample was determined by comparing it with the effective modulus of elasticity and the computer-aided design (CAD). This model was designed using SolidWorks, a solid modeling. Fused deposition modeling (FDM), one of the AM methods, was used in the fabrication of the samples. Although many thermoplastic materials are used in this method, acrylonitrile butadiene styrene (ABS) type material was preferred in the of bolts in the current study. The uniaxial tensile strength of the bolt samples was observed and their flexibility was determined using stress-strain. The effective elasticity module was created by performing finite element analysis with computer simulation using ANSYS. As a result of the real-time tensile test, the highest strength value was measured as 35.258 MPa. As a result of experimental studies, it was determined that the measured tensile strength values and simulation results were compatible. This work will help understand many aspects of creating, testing, and optimizing 3D printed ABS bolts for use in real-world applications.

Keywords: Additive manufacturing, FDM, finite element analysis, ABS.

To Cite: KOÇAK, M. T., BAYRAKLILAR, M. S., & ÜLKİR, O., (2024). EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ABS CIVATA NUMUNESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 269-277.

GİRİŞ

Eklemeli imalat (Eİ) veya 3D baskı olarak da bilinen dijital üretim teknolojisini kullanarak üç boyutlu bir nesne oluşturma süreci, ilgili bilgisayar destekli tasarım (CAD) modeliyle başlamaktadır. Ayrıca malzemenin sıralı olarak eklenmesiyle biriktirilmesini, sertleştirilmesini ve bağlanmasını içerir. Geleneksel üretim süreci, son kırk yılda 3D baskı sayesinde istikrarlı bir geçiş yaşadı (Jiang & Stringer, 2018; Singh vd., 2017). Tasarım ve modifikasyon özgürlüğü, ekonomik ve hızlı üretim ve üretim hatası olasılığının azalması gibi birçok fayda nedeniyle birçok endüstride karlı bir seçenek haline gelmiştir. Son derece karmaşık geometrileri nispeten az zorlukla oluşturma kapasitesi, 3D baskının geleneksel üretim süreçlerine göre temel avantajlarından biridir (Meng vd., 2020; Prakash vd., 2018).

Nihai ürünün ihtiyaçlarına bağlı olarak Eİ tekniklerinin farklı çeşitleri vardır. Bunları genel olarak sınıflandırmak için yedi kategori kullanılmaktadır: malzeme ekstrüzyonu, bağlama püskürtme, vat fotopolimerizasyonu, tabaka laminasyonu, yönlendirilmiş enerji biriktirme ve malzeme püskürtme (Goh vd., 2019; Liv vd., 2020; Magazine vd., 2022). Eriyik yığma modelleme (EYM) olarak da bilinen kaynaşmış filament üretimi (FFF), malzeme ekstrüzyonu şemsiyesi altına giren bir tür eklemeli imalat (Eİ) tekniğidir.

EYM teknolojisi, önceden belirlenmiş bir rota boyunca hangi erimiş malzemenin biriktirileceğini dikkatlice seçerek, parçaları katman katman oluşturur. Bitmiş fiziksel parçalar, termoplastik polimerlerin filamentleri kullanarak oluşturulur (Alafaghani vd., 2017; Nieto & Molina, 2019). EYM yazıcılar, üretilen parçaya bağlı olarak çok çeşitli filament malzemeleri kullanabilir. Malzemeler arasında akrilonitril bütadiyen stiren (ABS), plastik, poliaktik asit (PLA), polimer plastik, naylon, Polietilen tereftalat glikol (PETG), ahşap filamentler, metal filamentler ve daha fazlası bulunur.

Dünya çapında 3D yazıcıların en büyük kurulu tabanını oluşturan EYM, çoğu endüstride en yaygın olarak kullanılan teknolojidir (Cattenone vd., 2018; Chacon vd., 2017). Hâlihazırda kullanımda olan yöntemlerden biri olan EYM, şu anda yaygın olarak kullanılan bir 3 boyutlu yazdırma yöntemidir. Sürekli bir termoplastik filament, yarı akışkan bir duruma ısıtılır ve daha sonra bir dizi küçük malzeme boncuklarının biriktirilmesi için malzeme ekstrüzyonuna dayalı bir işlem olan EYM'de kullanılır (Turan vd., 2022). Basılı ürüne destek olarak hizmet etmek için, serbest bırakılabilir malzeme parçaları sıklıkla biriktirilir. EYM, bilimsel araştırmalarda güncel bir konu olmuştur. Bu araştırma makaleleri, sayısal simülasyonlar, çevresel etkiler, parametrelerin optimizasyonu ve işlem sonrası teknikler gibi EYM sürecinin önemli özelliklerini analiz etmiştir (Arif vd., 2018; Durao vd., 2019). Vahed vd. EYM kullanılarak işlenen ABS viskoelastik özelliklerini geliştirmek için bu araştırma, kısıtlı veri testlerinin kara kutu yapay zeka modellemesi ile entegre edilmesine ve ardından buluşsal optimizasyonun gerçekleştirilmesine dayanan iki aşamalı bir metodoloji önermiştir (Vahed vd., 2022). Süreç parametrelerinin önemini ölçmek için Lenth'in istatistiksel tekniği kullanıldı. EYM ortamlarının birleşik etkilerinde önemli derecede doğrusal olmama ve karmaşıklık gözlemlendi. Andrzejewski vd. (2022), sunulan araştırmanın odak noktası, üç farklı türde polimer dolgu maddesinin, EYM prosesi için tasarlanan yüksek kristalli PLA üzerindeki etkilerinin karşılaştırılmasıdır. Oluşturulan materyallerin etkililiğini belirlemek yapılan çalışmanın amacıydı. Ekstrüzyon birkaç farklı kompozit malzeme oluşturmak için kullanıldı. BC ve talk dolgu maddesi için izin verilen maksimum içerik ağırlıkça yüzde 20 ve MMT için ağırlıkça %5'ti. Hazırlanan numuneler üzerinde çekme, eğilme ve charpy testleri, termal analiz (DSC, DMTA), HDT/Vicat testleri ve yapı analizi dâhil olmak üzere derinlemesine malzeme analizleri yapıldı. Testin sonuçları, nano tip dolgu maddelerinin çok küçük miktarlarda bile mikro metrik parçacıklardan daha etkili olabileceğini kesin olarak kanıtlamıştır.

Geçtiğimiz on yılda bilgi işlem teknolojisindeki hızlı ilerleme, yenilikçi tasarımlar oluşturmak, tasarım maliyetlerini azaltmak ve üretilen parçanın çeşitli niteliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için simülasyon teknolojisinin fiziksel üretimle birlikte kullanılmasına neden oldu. Fiziksel test ve süreç simülasyonu arasındaki bu sinerjiyi kolaylaştırmak için çok sayıda gelişmiş yazılım aracı kullanılmaktadır. Eklemeli üretim bağlamında, gelişen tüm teknolojilerde olduğu gibi, tek eksenli çekme testi gibi testler kullanılarak elde edilen sonuçlardan elde edilen noktaların, SolidWorks gibi bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli mühendislik uygulamalarından elde edilen sonuçlara bağlanması büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, mevcut çalışma, eriyik yığma modellemesi yöntemiyle üretilen dişli civata numunesini evrensel bir test makinesinde çekme gerilimi testi kullanarak analiz etmeyi ve aynı mekanik özelliklere sahip bir numune için elde edilen simülasyon sonuçlarını karşılaştırmayı amaçlamıştır.

MATERYAL VE METOT

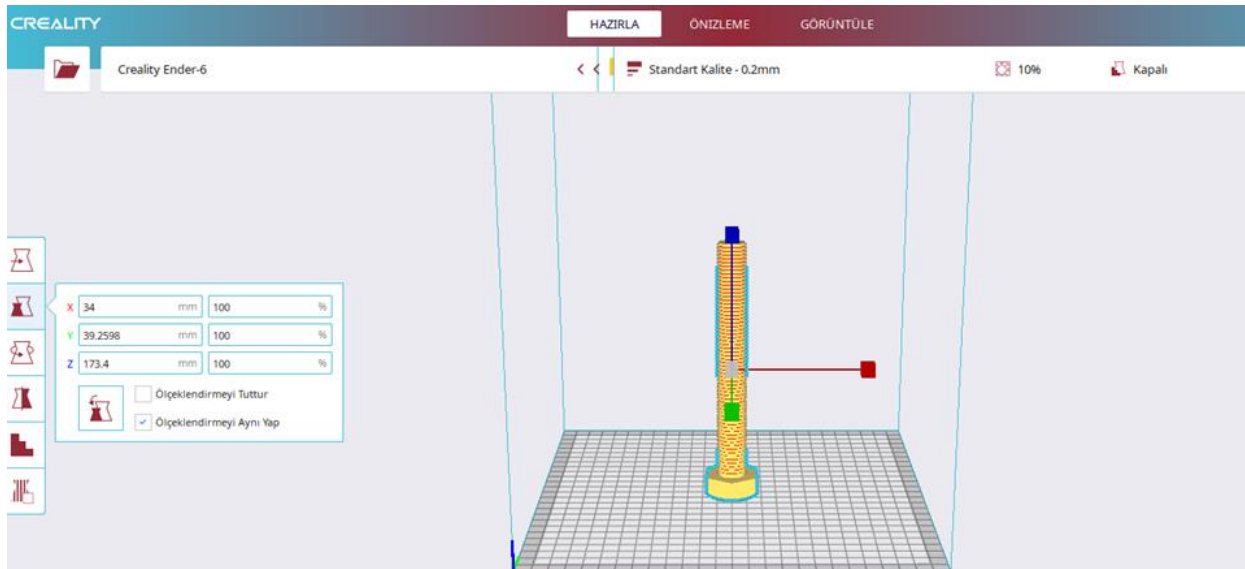
3D Yazıcı

Creality Ender 6, katı bir termoplastik malzemeyi sıcak bir nozul dan tabaka halinde platform üzerinde çıkarmak için bir ekstrüder (Şekil 1) kullanan, ardından termoplastik malzemenin istenen nesneyi oluşturmak için hızla katılaştığı modern bir 3D yazıcıdır. Bu yazıcı ile EYM tabanlı 3 boyutlu baskı elde edilebilmektedir. Creality Ender 6 marka yazıcı 250x250x400 mm geniş baskı hacmine sahiptir. Ayrıca 0.1 mm çözünürlükte baskı hızı 150 mm/s'ye ulaşabilmektedir. Creality yazıcı ile polilaktik asit (PLA), akrilonitril bütadien stiren (ABS), termoplastik poliüretan (TPU), naylon, yüksek etkili polistiren (HIPS) ve iletken filament türleri ile baskı yapmak mümkündür. Bu çalışmada cıvata numunelerinin üretiminde ABS malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin bazı teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. ABS plastiği asit ve bazlara karşı dayanıklı olduğu gibi elektriksel yalıtımı da çok iyidir. Bu plastik, polibütadien içerisinde stiren akrilonitrilin polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolimerdir. İçerdiği madde oranları %20 akrilonitril, %20 bütadien, %60 stiren şeklinde oluşarak malzemenin karakteristiklerini meydana getirmektedir. Stiren maddesi plastiğe parlaklık ve iyi yüzey verir (Ulker, 2023).



Şekil 1. Numunelerin Üretiminde Kullanılan 3D Yazıcı Cihazı

Katı modelleme yazılımı olan SolidWorks de 3D olarak tasarlanan dişli cıvata numuneleri standart üçgen dili (STL) formatında kaydedilir. STL, 3D yazdırma ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) için yaygın olarak kullanılan bir dosya formatıdır. Daha sonraki süreçte bu dosya Creality yazıcının dilimleme programına aktarılır. Bu yazıcı dilimlere programı olarak Creality Slicer 4.8 yazılımını kullanmaktadır. Şekil 2, dilimleme programı hakkında önemli bilgileri göstermektedir. Numunelerin üretiminde Tablo 1'deki parametreler kullanıldı.



Şekil 2. Dilimleme Yazılımının Ana Ara Yüzü

Tablo 1'deki parametreler, katı modeli oluşturulmuş numunelerin G kodlarını ortaya çıkarmak için 3D yazıcının dilimleme programında tanımlanmıştır. Bütün cıvata numuneleri aynı baskı parametreleri kullanılarak üretilmiştir. G kodları, yazdırılacak parçanın yazıcı masası üzerindeki konumu ve açısı gibi ayarları tanımlamaktadır. Dilimleme programında üretilen G kodları USB yardımıyla 3D yazıcıya aktarılarak parça baskıya hazır hale getirilir. Bu işlemden sonra gerekli ABS filament malzeme yazıcıya takılır ve imalata geçilir. İmalat işlemine başlamadan önce, numunenin ilk katmanının imalat sırasında cam baskı yatağına daha iyi yapışmasını sağlamak için baskı yatağına ince bir yapışkan film uygulandı.

Tablo 1. 3D Yazıcı Baskı Parametreleri

Özellik	Değer
Doluluk Oranı	%80
Katman Yüksekliği	0,1 mm
Duvar Kalınlığı	3 mm
Dolgu Deseni	Üçgen
Baskı Sıcaklığı	230 °C
Tabla Sıcaklığı	70 °C
Baskı Hızı	60 mm/s
Materyal	ABS

Deney Düzenegi

Cıvata test numunelerinin üretimi yapılırken numunelerin kalitesini ve açılarının doğruluğunu etkileyen en önemli parametre plastik filament malzemesi seçimidir. Bu çalışma, baskı sıcaklığı ve yatak sıcaklığı gibi diğer parametrelerin ele alınmasında zorlukla karşılaştı. Yazıcının nozul kısmı termoplastik malzemeyi eritmesi ve istenilen nesneyi oluşturması için 200°C -230°C arasında farklı baskı sıcaklıkları düzenlenerek birçok numunenin doğru bir şekilde yazdırılması denenmiştir. Ayrıca yatak sıcaklığının nozul hareket ederken nesneyi sabitleyeceği düşünülmüştür. Nesneyi katman katman yazdırmak için verilen G kodunu çevirerek bir eksen üzerinde uygun tabla sıcaklığının 70°C olduğu tespit edildi. Belirlenen optimum parametreler neticesinde ABS malzeme kullanılarak üretilen M20 cıvata numunesi Şekil 3'te verilmiştir. Aynı özellikler belirlenerek bu cıvata numunesinden beş adet üretilmiştir.

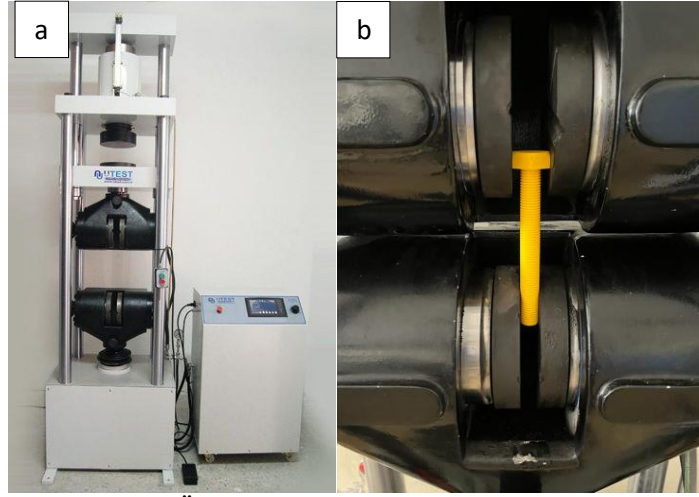


Şekil 3. 3D Yazıcıyla Üretilen M20 Cıvata

Bu çalışma, somunla bağlantı sırasında ve elemanları tutmak için somuna bağlandığında cıvataya etki eden olası gerilmeleri araştırmaktadır. Bunun için üretilen numunelere çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi, tasarım ve kalite kontrol açısından en önemli testlerden biridir. Bu test ile numunenin mekanik özellikler açısından maksimum verime sahip olup olmadığı tespit edilebilmektedir. Çekme testi için Şekil 4'deki cihaz kullanılmıştır. Ünlversal test makinesi, çekme dayanımı, basınç dayanımı gibi birçok uygulamaya sahiptir. Cıvata bu araştırmada örnek numune olduğundan, orijinal uzunluğu ve çapı ayarlamak için parametreleri manuel olarak alınmıştır. Daha sonra cıvata başı üst kelepçeye sabitlenir ve cıvata tamamen pimlenmişken tek eksenli bir yük uygulanmaktadır. Bu yük için cıvata ucunu alt kelepçeye sabitleyerek maksimum cıvata başı alanını almalı ve tam pim konumuna yerleştirmelidir. Deneysel çalışmalar 1.5 mm/s'lik bir çekme hızında gerçekleştirilmiştir. ABS malzeme ile üretilen numunelerin çekme testi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim diyagramları Şekil 5'de verilmiştir. Uygulanan kuvvet ve uzama miktarına göre hesaplanan gerilme, gerinim ve elastite modülü değerleri ise hesaplanmıştır.

Tablo 2. ABS Malzemenin Teknik Özellikleri

Baskı Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Eğilme Direnci (MPa)	Etki Direnci (kJ/m ²)
210-230	1,04	40	40	75	7,6



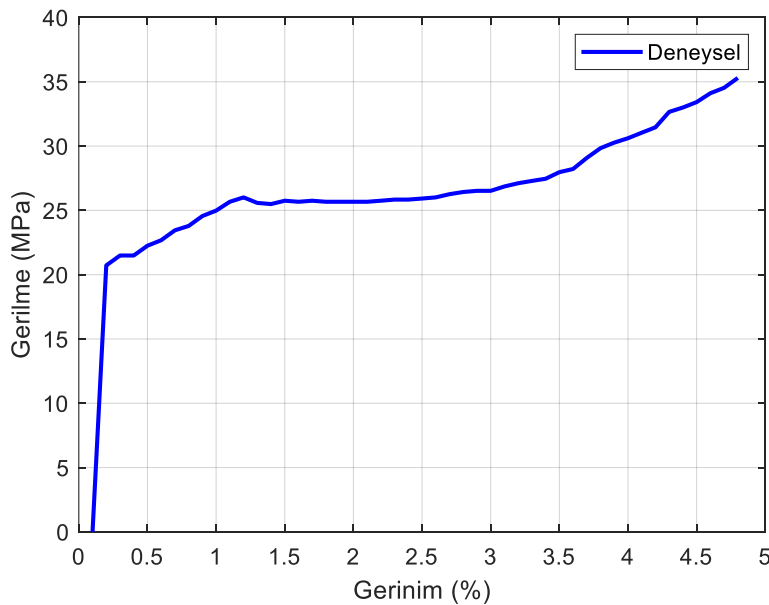
Şekil 4. a. Üniversal Test Makinesi b. Sabit Numune

SONUÇLAR

Bu bölümde hem deneysel hem de simülasyon çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Deneysel çalışmalar, cıvata numunelerine yapılan çekme testlerini kapsamaktadır. Daha sonra sonlu elemanlar analizi sonucundaki çekme mukavemeti değerleriyle ölçülen değerler karşılaştırılmıştır. Test numunesi olarak EYM yöntemiyle ABS malzemeden üretilmiş dişli cıvata kullanılmıştır. Tutarlı bir analiz elde etmek ve oluşabilecek herhangi bir istatistiksel hatayı ortadan kaldırmak için beş özdeş test numunesi üretildi ve deneysel aşamalar tamamlandı. Test numuneleri Tablo 1'deki kriterlere göre aynı baskı parametreleri kullanılarak üretildi. Üretilen numunelere aynı test parametreleri girilerek çekme testleri yapılmıştır. Buradaki asıl amaç, aynı üretim ve test parametresine göre beş özdeş numunenin davranışlarında farklılık olup olmadığını tespit etmektir.

Çekme Testi için Deneysel Sonuçlar

Çekme testi sonucu elde edilen mukavemet bulguları bu bölümde sunulmuştur. Yük ve gerinim için test boyunca ölçüm birimleri olarak sırasıyla kilo Newton ve milimetre kullanıldı. ABS malzemesi kırılğan olduğu için nihai gerilme mukavemeti düşük çıkmıştır. Bu durumda bir numune kullanılarak yapılan çekme testinden sonra tekrar tekrar kırılmasına neden olur. Test edilen beş özdeş cıvata numunesinden üç numunenin güvenilir sonuçlar ürettiğini ve bunların ek çalışma ve simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırma için dikkate alındığını, diğer iki hatalı sonucun ise göz ardı edildiğini belirtmek gerekir. Bir tane cıvata numunesinin çekme testi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim eğrisi Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Cıvata Çekme Testi Numunesi İçin Gerilme-Gerinim Eğrisi

Çekme deneyi sırasında elde edilen gerilme, gerinim ve elastisite modülü değerleri aşağıdaki denklemlerle bulunur.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

$$\% \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (3)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (4)$$

Burada; F çekme kuvvetini, A deney örneğinin ilk kesit alanını, L_0 örneğin ilk ölçü boyunu ve ΔL örnekte meydana gelen uzama miktarını gösterir. Çekme deneyi sonucunda kuvvet (F) - uzama (ΔL) eğrisi elde edilir. Ancak, bu eğri ile birlikte kullanılan örneğin boyutlarını da vermek gerekir. Bu nedenle, bu eğri yerine daha evrensel olan gerilme - gerinim eğrisi kullanılır. F ve ΔL için elde edilen okuma çiftlerinden, F başlangıçtaki kesit alanına (A) bölünerek σ ve ΔL numunenin başlangıçtaki boyuna (L_0) bölünerek ϵ hesaplanır. Apsise ϵ ve ordinata σ değerleri yerleştirilerek gerilme-gerinim diyagramı elde edilir (Şekil 5). Elastik şekil değişimi, σ - ϵ diyagramının doğrusal olarak değiştiği ilk bölümünde gerçekleşmektedir. Burada uygulanan gerilme ve bu gerilmenin meydana getirdiği elastik birim şekil değişimi arasında Hooke kanunu geçerlidir. Hooke kanunu olarak bilinen bu denklemdeki (Denklem 4) E oranı sabiti elastisite modülü olarak adlandırılır. Uygulanan kuvvet ve uzama miktarına göre beş özdeş numune için hesaplanan gerilme, gerinim ve elastisite modülü değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Cıvata Çekme Testi Numunelerin Sonuçları

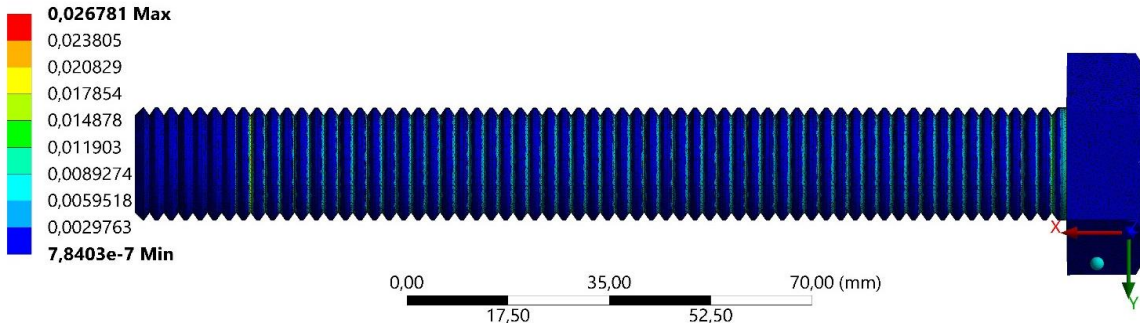
ABS	Gerilme (MPa)	Gerinim (%)	Elastisite Modülü (MPa)
Numune-1	34,259	3,768	909,581
Numune-2	35,746	3,867	924,385
Numune-3	35,258	3,951	915,862
Numune-4	32,589	3,329	978,942
Numune-5	33,985	3,526	963,845

Çekme Testi için Simülasyon Sonuçları

Gerçek zamanlı elde edilen deneysel sonuçların doğruluğunu ispat etmek için cıvata numunesine sonlu elemanlar analizi uygulanmıştır. Bu analiz ANSYS yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım, bilgisayar destekli olarak mühendislik çalışmalarında analiz ve simülasyonların yapılabildiği bir bilgisayar destekli mühendislik programıdır. ANSYS programı mekanik, yapısal analiz, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve ısı transferi gibi farklı disiplinlerde etkili çalışmalara olanak verir. Literatürde fiziksel deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında sayısal simülasyonların daha doğru sonuçlar verdiği genel olarak kabul edilmektedir. Bunun nedeni, deneylerin sonuçlarının doğası gereği insan hatasından, yanlış kalibrasyondan ve diğer dış etkilerden arınmış olmasıdır.

D: Static Structural

Equivalent Elastic Strain
Type: Equivalent Elastic Strain
Unit: mm/mm
Time: 49 s
14.12.2023 22:03

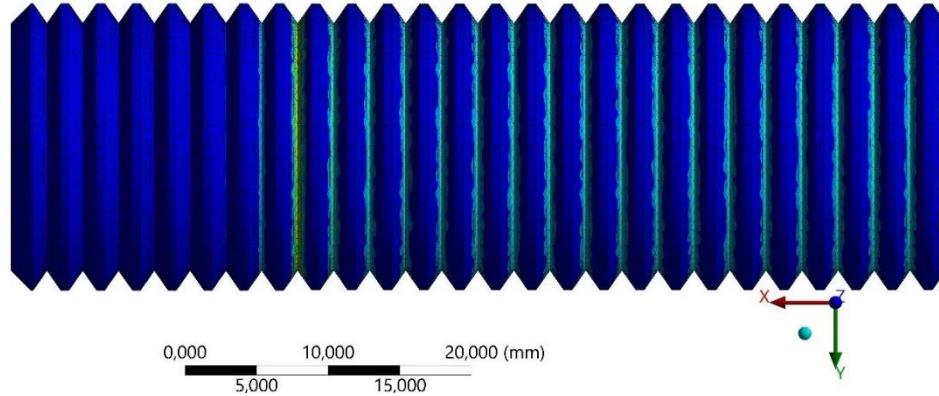


Şekil 6. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

Şekil 6 ve 7’de gösterilen modelleme sonuçlarından, civatanın dış açma kısmının düzgün şekilde dağılmış birçok kırılma noktasına sahip olduğu, buna karşılık civatanın gövdesinde herhangi bir kırılma noktasının olmadığı görülebilir. Gerilme-gerinim eğrisi mühendislik açısından önemlidir çünkü bir malzemenin yüklendiğinde nasıl deforme olduğuna ışık tutar. Sağlamlık, dayanıklılık ve daha fazlasını içeren çok çeşitli önemli mekanik nitelikler sunar.

D: Static Structural
Equivalent Elastic Strain
Type: Equivalent Elastic Strain
Unit: mm/mm
Time: 49 s
14.12.2023 22:05

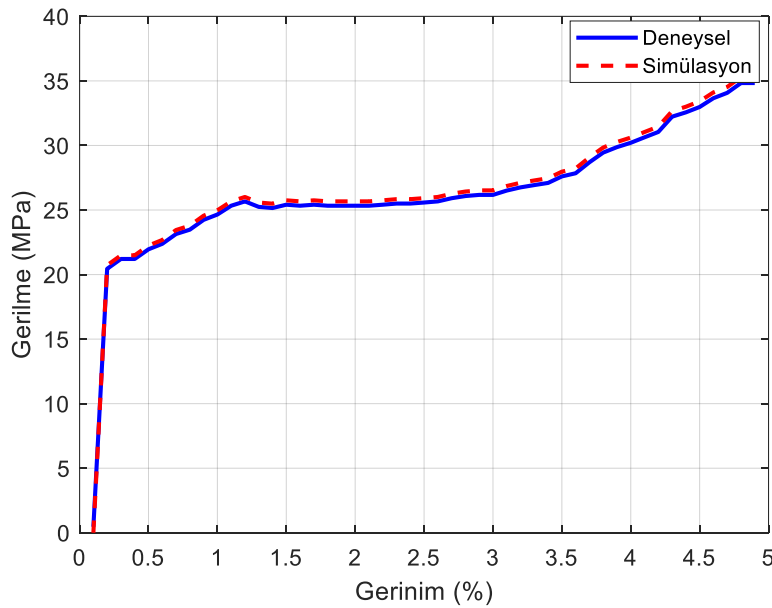
0,026781 Max
0,023805
0,020829
0,017854
0,014878
0,011903
0,0089274
0,0059518
0,0029763
7,8403e-7 Min



Şekil 7. Simülasyon Sonuçlarındaki Kırılma Noktası

TARTIŞMA

Deneyel ve simülasyon çekme testi sonuçları tamamlandıktan sonra gerilme-gerinim ilişkisinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Gerilim ve gerinimler Y ve X eksenleri boyunca gösterilmiştir. Deneyel verilere dayalı olarak aynı bağlantıyı gösteren yeşil çizginin aksine, kırmızı çizgi sonlu elemanlar simülasyonundaki gerilme-gerinim ilişkisini yansıtır. Gerilme değerleri MPa cinsinden gösterilmiştir. Şekil 8’de simülasyon ve deney için gerilme-gerinim ilişkilerinin karşılaştırması gösterilmektedir. Simülasyona karşılık gelen çizginin grafikteki iki çizgiden daha doğru olduğu bilinmesine rağmen, deneyel sonuçla eşleşen çizgi davranışı da yakından taklit etmektedir. Yaklaşık 21.56 MPa’lık bir gerilme değerine ve yaklaşık %0.25’lik bir gerinim değerine kadar her iki çizgi de aynı özellikleri göstermiştir. Deneyel veriler söz konusu olduğunda bu eşik noktadan sonra gerilme değerlerinde küçük bir düşüş görülebilir. Bu tür bir davranış, literatürdeki daha önceki ilgili bulgularla tutarlıdır.



Şekil 8. Deneyel ve Simülasyon Sonuçlarını Karşılaştıran Gerilme-Gerinim Diyagramı

SONUÇ

Bu çalışma, eklemeli imalat yöntemlerinden olan EYM tekniği kullanılarak üretilen dişli cıvatanın çekme testi dayanımı üzerine elde edilen sonuçları sunmuştur. Test sonucu elde edilen mukavemet değerleri ile sonlu elemanlar analizi neticesindeki bulgular karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, simülasyon ve deneysel değerler arasındaki farkın oldukça düşük olduğunu göstermiştir. İki sonucun da benzer eğilim gösterdiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde cıvata maksimum 35.258 MPa çekme dayanımı göstermiştir. Bu gerilimdeki gerinim miktarı ise %4.76 olarak tespit edilmiştir. Cıvatanın etkin elastisite modülü 915.862 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma, gerçek dünya uygulamalarında kullanılmak üzere 3 boyutlu baskılı ABS cıvatalarının oluşturulması, test edilmesi ve optimize edilmesinin birçok yönünün anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Siirt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Katmanlı İmalat ve Sismik İzolatör Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu makalenin yazarları, laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederler. Katmanlı Üretim ve Sismik İzolatör Laboratuvarı'na destekleri için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Alafaghani, A., Qattawi, A., & Ablat, M. A. (2017). Design Consideration for Additive Manufacturing: Fused Deposition Modelling. *Open Journal of Applied Sciences*. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2017.76024>
- Andrzejewski, J., Gronikowski, M., & Aniśko, J. (2022). A Novel Manufacturing Concept of LCP Fiber-Reinforced GPET-Based Sandwich Structures With an FDM 3d-Printed Core. *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma15155405>
- Arif, M. F., Kumar, S., Varadarajan, K. M., & Cantwell, W. (2018). Performance of Biocompatible PEEK Processed by Fused Deposition Additive Manufacturing. *Materials & Design*. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.03.015>
- Cattenone, A., Morganti, S., Alaimo, G., & Auricchio, F. (2018). Finite Element Analysis of Additive Manufacturing Based on Fused Deposition Modeling: Distortions Prediction and Comparison With Experimental Data. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1115/1.4041626>
- Chacón, J. M., Caminero, M. A., Plaza, E. G., & Núñez, P. J. (2017). Additive Manufacturing of PLA Structures Using Fused Deposition Modelling: Effect of Process Parameters on Mechanical Properties And their Optimal Selection. *Materials & Design*. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.065>
- Durão, L. F. C. S., Barkoczy, R., Zancul, E. de S., Ho, L. L., & Bonnard, R. (2019). Optimizing Additive Manufacturing Parameters for the Fused Deposition Modeling Technology Using a Design of Experiments. *Progress in Additive Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s40964-019-00075-9>
- Goh, G. D., Yap, Y. L., Tan, H. K. J., Sing, S. L., & Yeong, W. Y. (2019). Process–Structure–Properties in Polymer Additive Manufacturing via Material Extrusion: A Review. *Critical Reviews in Solid State and Material Sciences*. <https://doi.org/10.1080/10408436.2018.1549977>
- Jiang, J., Xu, X., & Stringer, J. (2018). Support Structures for Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. <https://doi.org/10.3390/jmmp2040064>
- Li, M., Lü, T., Dai, J., Jia, X., Gu, X., & Taguchi, D. (2020). Microstructure and Mechanical Properties of 308L Stainless Steel Fabricated by Laminar Plasma Additive Manufacturing. *Materials Science and Engineering A*. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138523>
- Magazine, R., Bochove, B. van, Borandeh, S., & Seppälä, J. (2022). 3D Inkjet-Printing of Photo-Crosslinkable Resins for Microlens Fabrication. *Additive Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102534>
- Meng, L., McWilliams, B., Jarosinski, W., Park, H.-Y., Jung, Y., Lee, J.-H., & Zhang, J. (2020). Machine Learning in Additive Manufacturing: A Review. *Jom*. <https://doi.org/10.1007/s11837-020-04155-y>
- Nieto, D. M., & Molina, S. I. (2019). Large-Format Fused Deposition Additive Manufacturing: A Review. *Rapid Prototyping Journal*. <https://doi.org/10.1108/rpj-05-2018-0126>
- Prakash, K. S., Nancharaih, T., & Rao, V. V. S. (2018). Additive Manufacturing Techniques in Manufacturing -an Overview. *Materials Today Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.642>

Singh, S., Ramakrishna, S., & Singh, R. (2017). Material Issues in Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Manufacturing Processes*. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.11.006>

Turan, S. R., Ülker, O., Kuncan, M., & Buldu, A. (2022). Stereolithografi Eklemeli İmalat Yöntemleriyle Farklı Doluluk Oranlarında Üretilen Numunelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*. <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1138450>

Ulker, O. (2023). Conductive Additive Manufactured Acrylonitrile Butadiene Styrene Filaments: Statistical Approach to Mechanical and Electrical Behaviors. *3D Printing and Additive Manufacturing*. <https://doi.org/10.1089/3dp.2022.0287>

Vahed, R., Rajani, H. R. Z., & Milani, A. S. (2022). Can a Black-Box AI Replace Costly DMA Testing?—A Case Study on Prediction and Optimization of Dynamic Mechanical Properties of 3D Printed Acrylonitrile Butadiene Styrene. *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma15082855>