



## Sürünme Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı

Ömer KARABEY<sup>1\*</sup>, Ahmet AKKUŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Cumhuriyet University, Sivas, TURKEY  
(ORCID: [0000-0002-5726-9284](https://orcid.org/0000-0002-5726-9284)) (ORCID: [0000-0002-6881-9333](https://orcid.org/0000-0002-6881-9333))



**Anahtar Kelimeler:**  
Sürünme, sürünme testi,  
Sürünme test cihazı  
tasarımı, Yüksek sıcaklık  
fırın.

### Öz

Bilindiği üzere malzemelerin mekanik davranışları sıcaklık ile değişiklik göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda ise bu davranış daha da önem kazanmaktadır. Yüksek sıcaklıkta, statik veya dinamik zorlamalar altında olan bir malzemenin mekanik davranışını sürünme testi ile belirlenebilmektedir. Sürünme testleri uzun ve maliyetlidir. Buradaki maliyet hem test cihazı hem de cihazın işletme maliyetidir. Maliyeti düşürmek için daha düşük bütçeler ile yapılabilecek bir test cihazı tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Sürünme test cihazının konstrüksiyonu NPU65 profil ve 30 mm çaplı miller üzerine kurulmuştur. Profillerin ve millerin malzemesi S235JR(St37-2)'dir. Fırın kısmı ateş tuğlası ve refrakter tuğla ile yapılmıştır. Isıtıcı rezistanslar ise 22 awg Kanthal A1 teli ile sarılmıştır. Sıcaklık kontrolü ise REX-C100 PID kontrolcüsü ve 70A solid state röle ile sağlanmıştır. Fırın maksimum 1000 °C de çalışmaktadır. Sürünme numunelerinin tutma çeneleri, yüksek ergime noktası ve çok iyi bir sürünme davranışına sahip olan Inconel 718 süper alaşımından imal edilmiştir. Test numuneleri M12x1,75 sağ ve sol diş vida ile çenelere tutturulmuştur. Cihazda test numunesi maksimum 18 kN statik yük uygulanabilir. Numune boyundaki uzamalar ise 0,0005 mm hassasiyetli dijital komparatör ile zamana bağlı olarak kaydedilip sürünme grafiği oluşturulmaktadır.

## Designing and Manufacturing of a Creep Testing Machine

**Keywords:** Creep, Creep test, Creep test machine design, High temperature furnace.

### Abstract

From literature it is known, the mechanical behavior of materials changes with temperature. At higher temperatures, this behavior becomes even more important. The mechanical behavior of a material under high temperature, static or dynamic stresses can be determined by the creep test. Creep tests are long and costly. The cost here is both the testing machine and the processing cost of the instrument. To reduce the cost, a test device that can be made with lower budgets has been designed and manufactured. The construction of the creep test device is based on NPU65 profile and 30 mm diameter shafts. The material of the profiles and shafts is S235JR (St37-2). The furnace part is made of fire brick and refractory brick. The heating resistors are wrapped with 22 awg Kanthal A1 wire. Temperature control is provided by REX-C100 PID controller and 70A solid state relay. The oven operates at a maximum of 1000 °C. The gripping jaws of the creep specimens are made of Inconel 718 super alloy, which has a high melting point and a very good creep behavior. The test specimens were attached to the jaws with M12x1.75 right and left screw. A maximum static load of 18 kN can be applied to the test sample on the testing machine. The elongation in the sample length is recorded with a digital comparator with 0.0005 mm accuracy and a creep graph is created.

\*Sorumlu yazar: [omerkarabey@cumhuriyet.edu.tr](mailto:omerkarabey@cumhuriyet.edu.tr)

Geliş Tarihi: 01.12.2021, Kabul Tarihi: 15.02.2022

## 1. Giriş

Sabit bir sıcaklıkta, sabit bir gerilim ya da yükleme etkisi altında, malzemede zamanla oluşan kalıcı biçim değişikliğine " sürünme " denir. Sürünme deneyleri malzemenin akma dayanımından düşük gerilmelerde ve yüksek sıcaklıkta yapılır. Malzemedeki deformasyon miktarı; gerilme miktarına, sıcaklığa, zamana ve malzeme özelliklerine bağlıdır [1].

Sürünme test cihazları, aynı çekme test cihazları gibi çalışmaktadır. Burada çekme testinden farklı olarak uygulanan çekme kuvveti test esnasında değişken değildir ve test yüksek sıcaklıklarda yapılmaktadır. Genellikle malzeme ergime sıcaklığının %40'ı (0,4Te) üzerindeki sıcaklıklarda sürünme testleri yapılmaktadır. Sürünme test cihazlarında uygulanan yük mekanik ve elektromekanik olarak iki farklı şekilde uygulanır. Mekanik olarak çalışan sistemlerde genellikle kaldıraç veya palanga sistemi mantığı ile yükleme yapılır. Ani yüklemelerden kaçınmak için yükleme manuel veya otomatik bir asansör ile gerçekleştirilir. Elektromekanik yüklemelerde ise step, servo, hibrit motorlar veya hidrolik sistemler kullanılmaktadır. Cihazların fırın kısmı refrakter malzemeler, ısıtıcı rezistans, termokupl ve kontrolcüden oluşmaktadır. Numune tutucu çeneler yüksek sıcaklıkta sürünmeye dayanıklı malzemelerden yapılmakta ve genellikle vidalı bağlantı ile numuneler sabitlenmektedir. Profesyonel test cihazlarında numunelerdeki boyca uzamalar yüksek sıcaklık ekstansometresi ile ölçülmektedir. Bunun yanında boyca uzama LVDT (Linear Variable Differential Transformer) veya komparatör benzeri yüksek hassasiyetli cihazlarla ölçülerek kaydedilebilir. Literatürde çalışmamıza ışık tutan bazı çalışmalar şunlardır:

Momoh, Ajueyitsi ve Onipede (2008) yaptıkları çalışmalarında mekanik bir çekme ve sürünme test cihazı tasarlamışlardır. Tasarlanan cihazda fırın bulunmamaktadır. Ortam sıcaklığında testler yapabilmek ve öğrencilerin laboratuvar deneyimini artırabilmesi tasarlanmıştır. Boyca uzamayı ölçmek için saatli komparatör kullanmışlardır. Test esnasında numune boyundaki değişimleri not alarak sürünme grafiklerini oluşturmuşlardır. Alüminyum ve kurşun malzemeler ile testleri gerçekleştirmişlerdir [2].

Momoh, Shuaib-Babata ve Adelegan (2010) yaptıkları çalışmalarında normalde var olan mekanik bir çekme ve sürünme test cihazını modifiye ederek alüminyum, kurşun ve termoplastik malzemeler için düşük bütçeli bir sürünme test cihazına dönüştürmüşlerdir. Boyca

uzamayı saatli komparatör ile ölçmüşlerdir. Yükleme ise kaldıraç sistemi ile yapmışlardır. Maksimum 110 °C sıcaklıkta teflon malzemeler üzerinde test yaparak sürünme eğrilerini oluşturmuşlardır [3].

Hosseini, Sereshki, Shariati, Jalali ve Crotofino (2012) yaptıkları çalışmalarında kayalarda sürünme olayı için sürünme test cihazı yapmışlardır. Burada metallerdeki sürünme testinin aksine numuneye basma kuvveti uygulanmaktadır. Uygulanmak istenen kuvvet bir kuvvet kolu üzerinde hareketli bir ağırlık ile sağlanmıştır. Silindirik bir tuz kayası üzerinde sürünme testlerini yapmışlardır. Boyca değişimleri dijital komparatör yardımıyla ölçmüşler ve kaydetmişlerdir [4].

Ravi, Laha, Sakthy, Mathew ve Jayakumar (2014) yaptıkları çalışmalarında sıvı sodyum içinde sürünme testi yapabilecekleri bir sürünme test cihazı tasarlayıp imalatını gerçekleştirmişlerdir. Test numunelerine yüklemeyi kaldıraç kolu ve ağırlıkları ile yapmışlardır. Yüklemede elektrikli bir asansör sistemi kullanmışlardır. Numunedeki boyca uzamayı LVDT ile ölçüp kaydetmişlerdir. AISI 316L için 873 K de ve 225 MPa' da sürünme testlerini yapmışlardır [5].

Alaneme, Bamike ve Omlenyi (2014) yaptıkları çalışmalarında çift tutma çeneli sürünme test cihazı imal etmişlerdir. Silindirik ve levha tipli numuneleri bağlamışlardır. Boyca uzamayı saatli komparatör ile yapmışlardır. Yükleme kısmı kaldıraç ve ağırlıklar ile yapılmıştır. Teflon malzemelerdeki sürünmeyi ölçerek sistemlerini test etmişlerdir. Yaklaşık olarak \$700 maliyetle projeyi tamamlamışlardır [6].

Zubair Khan ve diğerleri (2015) yaptıkları çalışmalarında yüksek sıcaklıklarda sürünme testi yapabilecekleri bir sürünme test cihazı tasarlamış ve yapılışını anlatmışlardır. 10 kN luk maksimum yükleme ve 700 °C maksimum sıcaklık kapasitelidir. Konstrüksiyonun gerilme analizini yapmışlardır. Boyca uzamayı nasıl kaydettiklerini belirtmemişlerdir. Alüminyum 6061 malzemesi ile sürünme testleri yapmışlardır [7].

Chukwunke, Okolie, Ugwuegbu ve Sinebe (2016) yaptıkları çalışmalarında termoplastik, alüminyum veya kurşun benzeri malzemelerde sürünme testi yapabilmek için bir sürünme test cihazı tasarlayıp imal etmişlerdir. Cihaz kapasitesi maksimum 300 °C sıcaklık, 2457 N yükleme ve 10 mm boyca uzamayı ölçebilmektedir. Boyca uzama için 0,01 mm hassasiyetli saatli komparatör kullanmışlardır. Teflon malzeme üzerinde testler yapmışlardır [8].

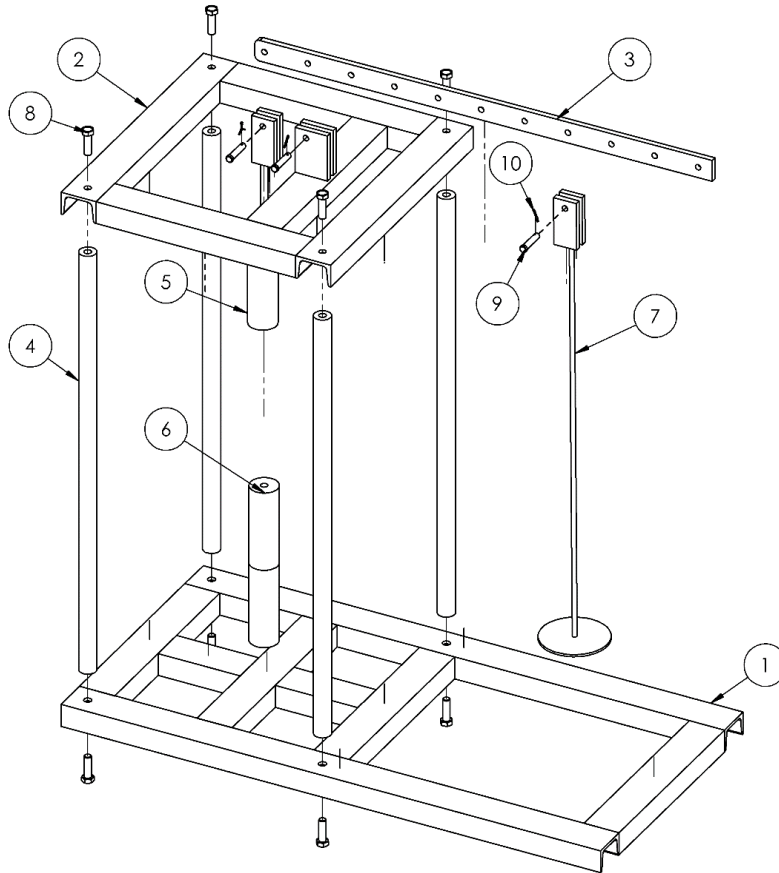
Hiyoshi, Itoh, Sakane, Tsurui ve Tsurui (2019) yaptıkları çalışmalarında minyatür numuneler için çok eksenli bir sürünme test cihazı imal etmişlerdir. Artı işareti şeklinde bir test numunesi için tasarlamışlardır. Merkezde 5x5 mm kare parça ve bu karenin kenarlarından artı şekli oluşturacak şekilde devam eden ince levhalardan oluşmaktadır. Numune tutma kısımları ile 50x50 mm boyutundadır. Yatay olarak çift eksenli çekme kuvveti uygulayarak testleri yapmışlardır. Test cihazı 2 kN yükleme ve 1 kW fırına sahiptir. Optik kamera ile boyca değişmeyi ölçmüşlerdir. 304 paslanmaz çelik numuneler ile testleri yapmışlardır [9].

Yapılan bu çalışmada statik yüklemeli bir sürünme test cihazı tasarlanıp imalatı gerçekleştirildi. Kaldıraç sayesinde test numunesine maksimum olarak 18 kN yükleme yapılabilir. Yükleme manuel olarak yapılmaktadır. Numunelerin tutma çeneleri M12x1,75 sağ ve sol diş ile test numunesini tutmaktadır. Test cihazı için 1100 W 'lık bir fırın imalatı yapılmıştır. Aynı

zamanda bu fırın için kontrol ünitesi de imal edilmiştir. Veri aktarımı yapılabilecek dijital bir komparatör (Mahr 1086R) ile veriler Microsoft Excel programına aktarılarak sürünme eğrileri elde edilmiştir.

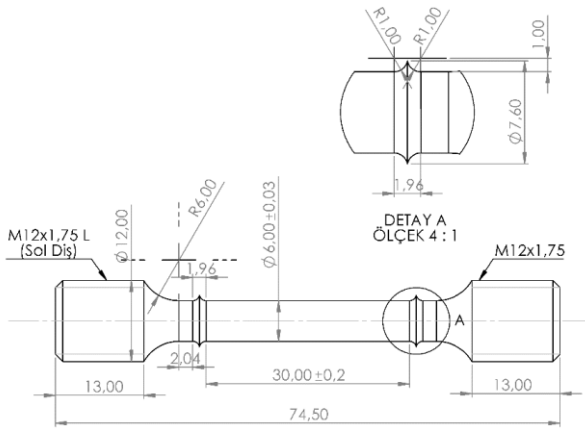
## 2. Materyal ve Metot

Sürünme test cihazı tasarımında piyasada düşük maliyetle bulunabilecek malzemeler seçilmeye çalışılmıştır. Ana konstrüksiyonda NPU65 profil ve 30 mm çaplı transmisyon mili kullanılmıştır. Profil, lama ve millerin malzeme kalitesi S235JR (ST37-2)' dir. Konstrüksiyon ana olarak iki parçadan oluşup profiller kaynaklı bağlantı ile birleştirilmiştir. İki parça ise 30 mm çaplı 4 adet transmisyon mili ile M12 cıvatalarla birleştirilmiştir. Fırın konstrüksiyonu ise 25x3 mm lama, 8 mm çaplı mil, 30x30 mm L profil malzemelerinin kaynaklı bağlantısıyla yapılmıştır. Ana konstrüksiyonun patlatılmış montaj hali Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Sürünme Test Cihazı Ana Konstrüksiyonu (1-Alt tabla, 2-Üst tabla 3-Kaldıraç kolu 4-30mm transmisyon milleri 5-Numune üst tutucu 6-Numune alt tutucu 7-Yükleme kolu 8-M12 sabitleme cıvataları 9-Mafsal pimleri 10-Kopilya)

Şekil 1’de verilen montaj resminde 8 ile numaralandırılmış olan cıvatalar M12x1,75x40 DIN933 8.8 kalitesindedir [13]. 3 numaralı kaldıraç kolu ve 9 numaralı mafsal pimleri ise St 52-3 (S355J0) malzemesinden imal edilmiştir. Kaldıraç kolunun maksimum oranı 1:9’dur. 844 mm uzunluğunda 10x40 mm kesitindedir. Yükleme kolu 7 farklı konumda kullanılabilir ve hassas yükleme ayarı yapılabilir. Alt ve üst konstrüksiyon şekilde gösterildiği gibi 4 adet 30 mm çapında 800 mm yüksekliğinde transmisyon milleri ile birleştirilmiştir. 5 ve 6 numaralı numune tutucular ise yüksek sıcaklıkta sürünmeye dayanıklı ve korozyon direnci yüksek olmasından dolayı 40mm çaplı INCONEL 718 süper alaşımından imal edilmiştir. TSE EN ISO 204:2009 ve ASTM E139-11 standartlarına göre sürünme numunesi boyutları belirlenmiştir. Sürünme numunesi resmi ve boyut bilgileri Şekil 2’de gösterilmiştir. Numune tutuculara ise bu sürünme numunesine göre M12x1.75 sağ ve sol dış açılmıştır. Bu şekilde test numuneleri iki tutucuya da tek bir cıvata sıkma hareketiyle sabitlenmiştir.



Şekil 2. Sürünme Numunesi Teknik Resmi (TS EN ISO 204:2009) [11]

Fırın kısmının dış yüksekliği 370 mm ve kesiti 330x330 mm’dir. Fırının iç kısmı ise 100 mm çapında ve 120 mm yüksekliğinde bir silindirik şekilde tasarlanıp imalatı yapılmıştır. Fırın duvarlarında ateş tuğlası, refrakter tuğla ve şamot harcı kullanılmıştır [12]. Burada ateş tuğlası ısıyı absorbe ederek fırının iç kısmının sıcaklığının daha dengeli olmasını sağlamaktadır. Dıştaki refrakter

tuğla ise düşük ısı iletim katsayısı sayesinde fırının enerji kaybını azaltmaktadır. En dış kısmında ise yalıtım malzemesi olarak seramik elyaf kullanılmıştır. K tipi kafalı termokupl kullanılmıştır. Fırın rezistansı 1200 °C sıcaklığa dayanıklı Kanthal A1 telinden 8 mm çapta sarılmıştır. Rezistans teli ömrü için maksimum 1000 °C’de çalıştırılacaktır. 22 AWG (Ø0,65 mm) tel kullanılarak 1100 W’lık bir rezistans yapılmıştır. Hesaplamaları aşağıda verilmiştir [10]:

$$20\text{ °C de tel direnci} = R_{20} = 4,19\ \Omega/\text{m}$$

$C_t = 1,05$  (800 °C’de tel direncinin değişim katsayısı)

$$R_t = R_{20} \times C_t, \quad (\Omega/\text{m}) \quad (1)$$

$$R_t = 4,19 \times 1,05 = 4,3995\ \Omega/\text{m}$$

$$I = \frac{P}{U}, \quad (A) \quad (2)$$

$I = 1100/220$  ise  $I = 5\text{ A}$  (Rezistansın çekeceği akım)

$$R = \frac{V}{I}, \quad (\Omega) \quad (3)$$

$R = 220/5 = 44\ \Omega$  (Toplam rezistans direnci)

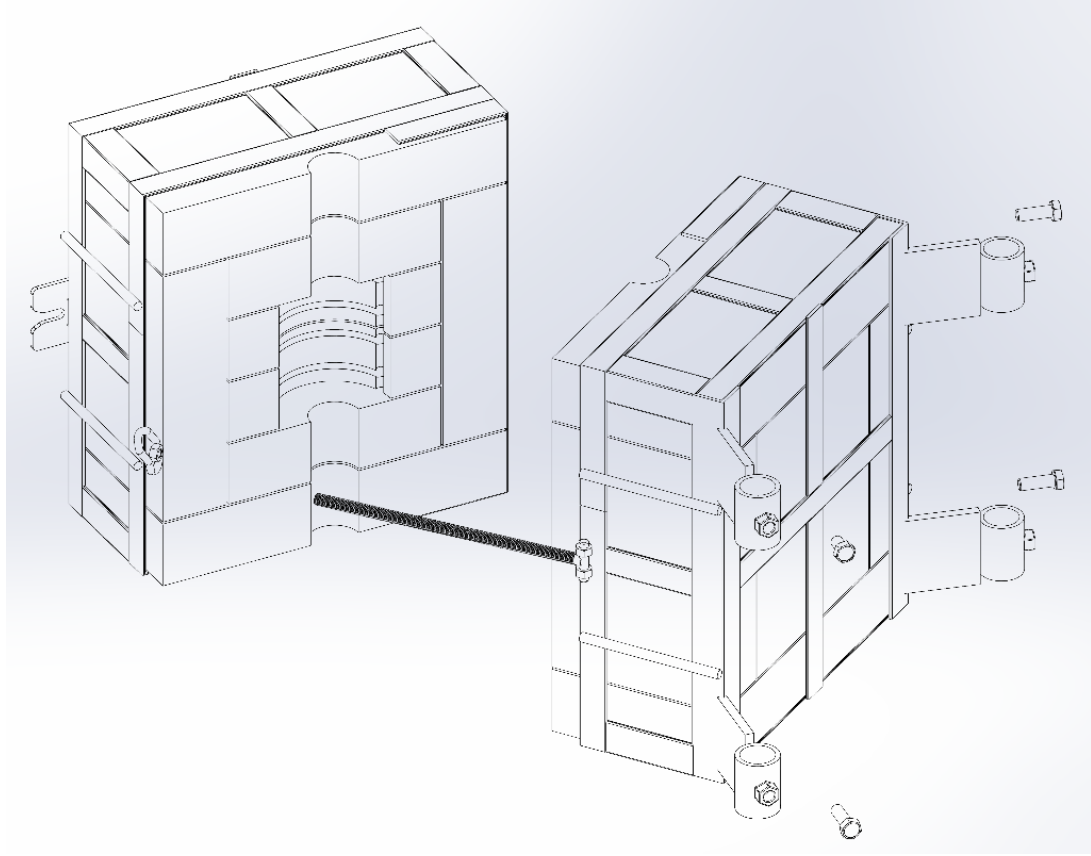
$$L = \frac{R}{R_t}, \quad (m) \quad (4)$$

$L = 44/4,3995 \cong 10,1\text{ m}$  toplam tel uzunluğudur.

$$N = \frac{L}{\pi \times d} \quad (5)$$

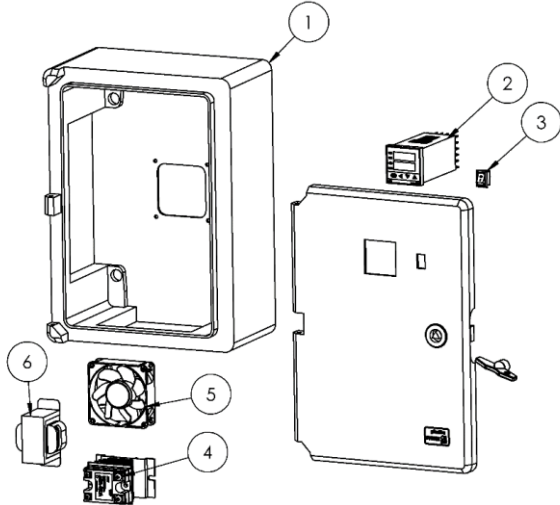
$N = (10,1 \times 1000) / (\pi \times 8) \cong 402$  tur tel sarım yapılmalıdır.

Fırının montaj resmi Şekil 3’de gösterilmiştir. Fırın ana olarak iki parçadan oluşmakta olup 10 mm’lik pim menteşeler ile birbirine bağlanmışlardır. Fırını askıda tutmak için 30 mm’lik millere 4 adet geçme boru yapılmıştır. Bu borular ise M10 cıvatalar ile sabitlenmiştir.



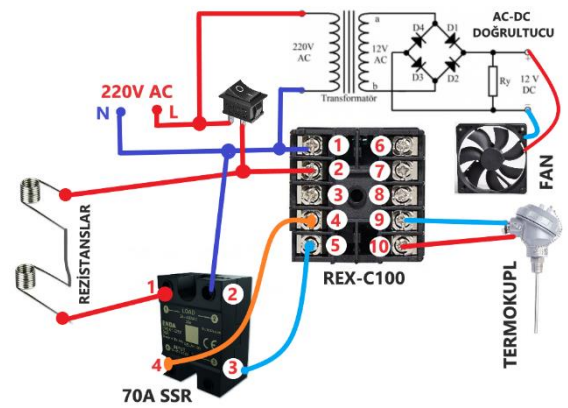
Şekil 3. Sürünme Test Cihazı Fırını

Fırın sıcaklık kontrolü REX C100 PID kontrolcüsü ve 70A solid state röle ile sağlanmıştır. Sıcaklığı ölçmek için K tipi daldırma termokupl kullanılmıştır. Rezistans bağlantıları seramik klemensler ile yapılmıştır. Kablo da 4 mm çaplı yanmaz elyaf kablo kullanılmıştır. Ayrıca kablo üzerine 6 mm çaplı cam elyaf makaron ile ekstra bir koruma sağlanmıştır. Cihazın kontrol kutusunun tasarımı Şekil 4’de verilmiştir.



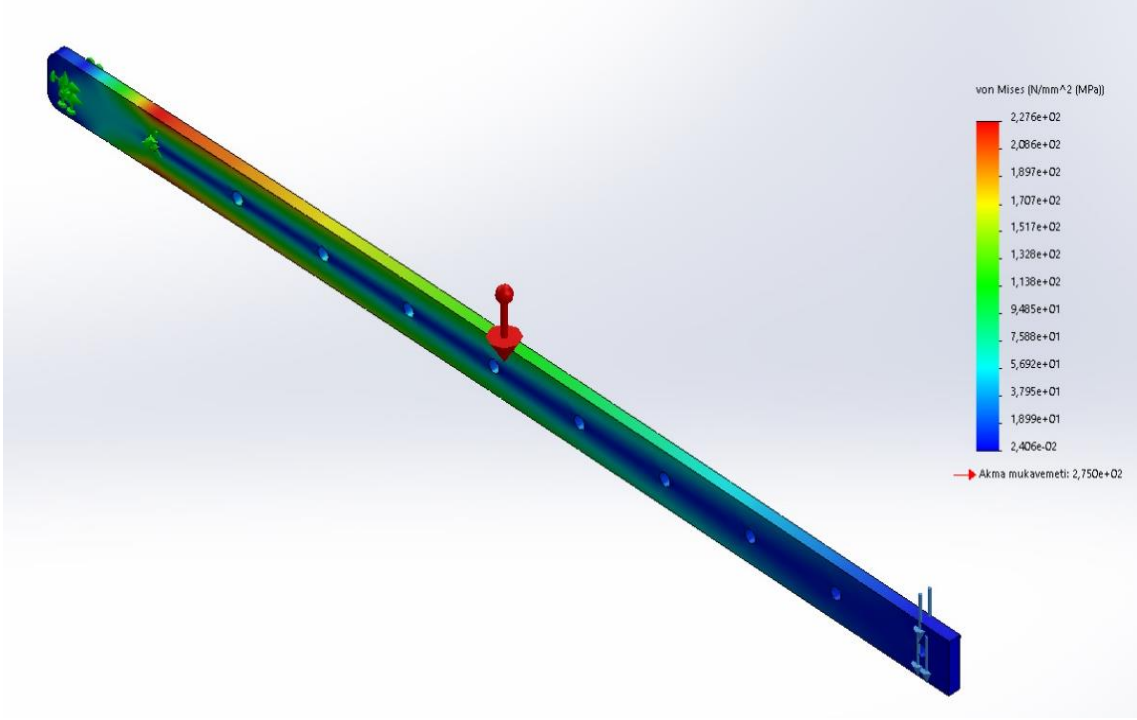
Şekil 4. Kontrol Kutusu (1-Kutu 2- REX C100 PID kontrolcüsü 3-Güç Anahtarı 4-70A Solid State Röle 5- Sirkülasyon fanı 6- Transformör)

Test cihazının elektronik devre şeması ise Şekil 5’de verilmiştir.

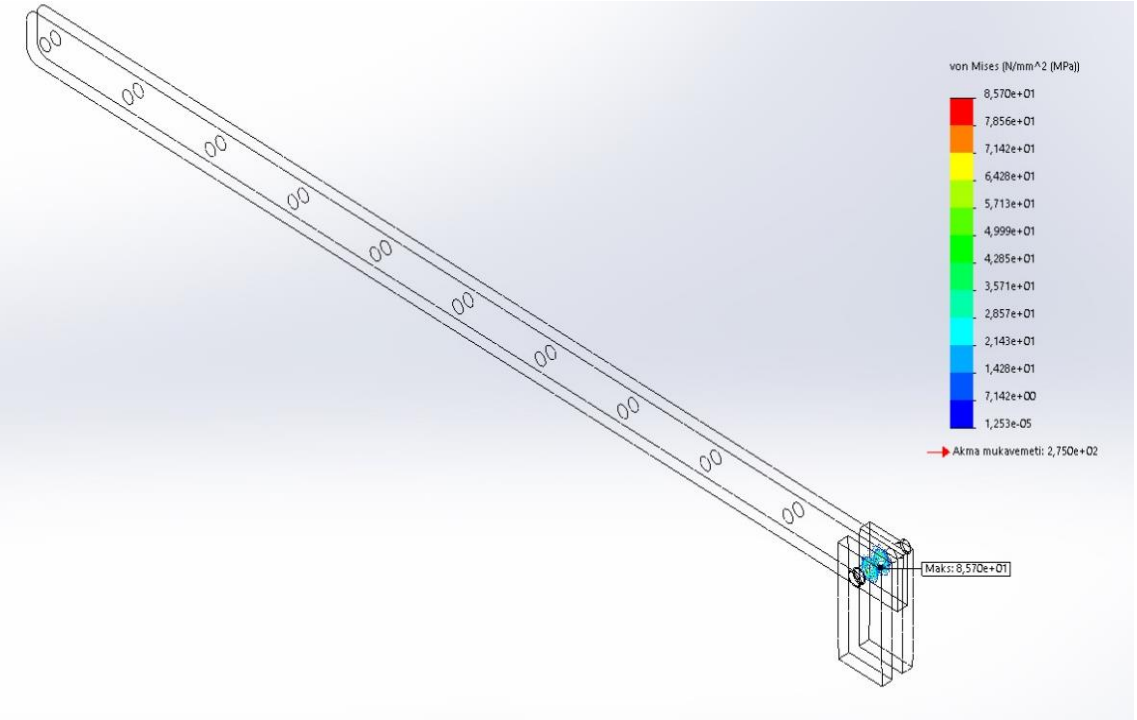


Şekil 5. Fırın Kontrol Devre Şeması

Ana yükü yani ölü ağırlığı taşıyacak kritik parçaların statik analizleri Solidworks programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6’da kaldırma kolunun gerilme analizi gösterilmektedir. 2000 N yüklemde maksimum von Mises gerilmesi 227 MPa çıkmıştır. Malzemenin akma dayanımı 275 MPa olduğundan güvenilirdir. Perno gerilme analizinde ise maksimum perno gerilmesi 85,7 MPa bulunmuştur (Şekil 7).



Şekil 6. Kaldıraç kolu statik analizi



Şekil 7. Perno yatak analizi

Tamamlanan sürünme test cihazının fotoğrafı Şekil 8’de sunulmuştur. Test numunesinin boyca uzaması, kaldıraca bağlı olan mafsallardan ölçülmektedir. Böylece mafsallın aksel dönme hareketinden dolayı ölçümlerin yapıldığı yüzey test numunesi ile aynı eksende olmaktadır. Ölçümler 0,0005 mm hassasiyetli

Mahr 1086R marka ve modeli komparatör ile USB arayüzünden bilgisayara aktarılmaktadır. Aktarılan bu veriler zamana bağlı olarak kaydedilerek Microsoft Excel programı ile sürünme grafikleri çizilmektedir.



Şekil 8. Tasarlanan ve imalatı yapılan sürünme test cihazı

### 3. Sonuç ve Öneriler

Sürünme test cihazı tasarımı ve imalatı başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Toplam maliyeti dijital komparatör dahil yaklaşık olarak 9.000 TL'dir. Tasarımı yapılan ve üretilen sürünme test cihazının yapılacak akademik ve Ar-Ge çalışmalarında maliyeti oldukça düşüreceği açıktır. Komparatör verileri USB bağlantısı ile zamana bağlı olarak Microsoft Excel' e kayıt edilerek sürünme grafikleri oluşturulmaktadır. Bu konstrüksiyon üzerine yüksek sıcaklık ekstansometresi montajı yapıldığında profesyonel test cihazları gibi daha stabil ve daha hassas veri alımı olacaktır. Literatür çalışmalarında kullanılan sıcaklık ve kuvvet değerleri üretimi yapılan sürünme test cihazı tarafından karşılanmaktadır. Cihazın fırın kısmında sarılan rezistans tel çapı artırılarak ve seçilen çapa uygun olarak sarım yapılmasıyla fırın maksimum sıcaklığı 1300 °C 'ye kadar artırılabilir [10]. Kaldıraç kolu ve numune bağlama kolu yatakları arasındaki mesafe ne kadar az tutulursa kaldıraç kolu daha kısa tutulabilir ya da aynı boyda test numunelerine daha fazla yük uygulanabilir.

### Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından M-789 proje numarası ile desteklenmiştir.

### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] R. K. Penny and D. L. Marriott, *Design for Creep, 2nd ed.* Dordrecht, Netherlands: Springer, 2012.
- [2] J. J. Momoh, O. N. A. Ajueyitsi, and A. I. M. Onipede, “Development of a Low Cost Mechanically Operated Tensile and Creep Tesing Machine,” *Journal of Engineering and Applied Science*, vol. 3, no. 6, pp. 491–495, 2008.
- [3] J. J. Momoh, Y. Lanre, and G. O. Shuaib-Babata, “Modification and Performance Evaluation of a Low Cost Electro-Mechanically Operated Creep Testing Machine,” *Department of Mechanical Engineering, Federal Polytechnic*, vol. 16, pp. 83–94, 2010.
- [4] S. M. A. Hosseini, “Development of a New Creep Testing Equipment to Obtain Long-Term Deformation Parameters of Salt Rocks,” *Journal of Mining and Environment*, vol. 3, no. 1, pp. 27–32, 2012.
- [5] S. Ravi, K. Laha, S. Sakthy, M. D. Mathew, and T. Jayakumar, “Design of creep machine and creep specimen chamber for carrying out creep tests in flowing liquid sodium,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 267, pp. 1–9, 2014.
- [6] K. K. Alaneme, B. J. Bamike, and G. Omlenyi, “Design and performance evaluation of a sustained load dual grip creep testing machine,” *J. miner. mater. charact. eng.*, vol. 02, no. 06, pp. 531–538, 2014.
- [7] M. Z. Khan et al., “Design and Fabrication of High Temperature Creep Testing Machine,” *American Journal of Materials Engineering and Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 51–57, 2015.
- [8] J. Chukwuneke, P. Okolie, D. Ugwuegbu, and J. Sinebe, “Design analysis and fabrication of a tensile creep testing machine,” *Br. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 3, pp. 1–13, 2016.
- [9] N. Hiyoshi, T. Itoh, M. Sakane, T. Tsurui, and M. Tsurui, “Development of multiaxial creep testing machine for miniature specimen,” *MATEC Web Conf.*, vol. 300, p. 14001, 2019.
- [10] “Kanthal Handbook,” West-l.com. [Online]. Available: <https://www.west-l.com/uploads/tdpdf/06080303.pdf>. [Accessed: 06-Mar-2022].
- [11] “Metalik malzemeler-Gerilmeli tek eksenli sürünme deneyi-Deney metodu,” TS EN ISO 204, 2009.
- [12] Ş. Ş. Koçer, “Alümina Esaslı Hammadde Ve Atıklardan Alümina Esaslı Aerojel Tozu Üretimi Ve Karakterizasyonu,” Sakarya University, Sakarya, Turkey, 2019.
- [13] “Bağlama elemanları - Altıköşe başlı vidalar- Mamul kalitesi A ve B” TS EN ISO 4017, 2014.