



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

Halılarda Kalınlık ve Rezilyans Ölçümü İçin Yenilikçi Bir Test Cihazı Tasarımı Ve Geliştirilmesi

Design and Development of an Innovative Test Device for Measuring the Carpet Thickness and Resilience

Halil İbrahim ÇELİK¹, Burak ŞAHİN², Hatice Kübra KAYNAK^{1*}, Elif GÜLTEKİN¹

¹Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

²Gaziantep Üniversitesi, Uçay ve Havacılık Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 30 Haziran 2021 (30 June 2021)





Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

Halil İbrahim ÇELİK, Burak ŞAHİN, Hatice Kübra KAYNAK, Elif GÜLTEKİN (2021): Halılarda Kalınlık ve Rezilyans Ölçümü İçin Yenilikçi Bir Test Cihazı Tasarımı Ve Geliştirilmesi, Tekstil ve Mühendis, 28: 122, 90-99.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/1300759920212812203>

Arastırma Makalesi / Research Article

HALILARDA KALINLIK VE REZİLYANS ÖLÇÜMÜ İÇİN YENİLİKÇİ BİR TEST CİHAZI TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

Halil İbrahim ÇELİK¹
Burak ŞAHİN²
Hatice Kübra KAYNAK^{1*}
Elif GÜLTEKİN¹

¹Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

²Gaziantep Üniversitesi, Uzay ve Havacılık Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 12.04.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 07.06.2021

ÖZ: Bu çalışma kapsamında, halılarda kısa süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı, uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı, sıkıştırma ve rezilyans testlerinin ve kalınlık ölçümünün, beş numunede aynı anda otomatik olarak gerçekleştirilebileceği yenilikçi bir test cihazının tasarımı gerçekleştirilmiştir. Test cihazının otomasyonu tasarlanmış ve prototip imalatı yapılmıştır. Prototip ile kalınlık ve yük doğrulama çalışmaları yapılarak fonksiyonelliği test edilmiştir. İlâveten, prototip ünitenin halı kalınlık ölçümü için doğrulaması farklı halı numuneleri kullanılarak yapılmış ve mevcut ticari cihaza göre doğruluğu kanıtlanmıştır. Tasarlanan test cihazı, bahsi geçen testlerin tamamının tek bir test cihazı ile yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Karmaşık test prosedürlerinin tamamının otomasyona sahip bu test cihazı ile gerçekleştirilmesi ile, test prosedürlerini kolaylaştırılmasının yanı sıra, operatör kaynaklı hata riski de elimine edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Halı, rezilyans, kalınlık ölçümü, statik yükleme, test cihazı tasarımı

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE TEST DEVICE FOR MEASURING THE CARPET THICKNESS AND RESILIENCE

ABSTRACT: In this study, an innovative test device was designed to perform the prolonged static loading, brief static loading, compression and recovery tests and carpet thickness measurement automatically and on five specimens simultaneously. The automation system of the device was designed and a prototype was manufactured. The functionality of the test device was controlled by providing the verification of thickness and load measurements on prototype. In addition, the verification procedure of the prototype was conducted on different carpet samples and the trueness of the prototype was proved in comparison to commercially available test device. The designed test device provides to perform the mentioned carpet performance tests and measurements with a solo test device. Thanks to the fact that the whole complex test procedure is achieved by the automation system of the test device, the test operations will be simplified in addition to elimination of fault risks from operator side.

Keywords: Carpet, resilience, thickness measurement, static loading, test device design

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: tuluce@gantep.edu.tr

DOI: <https://doi.org/10.7216/1300759920212812203> www.tekstilmuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Halının görünümünün bozulmasını olmasını etkileyen en önemli etkenler mobilya vb. eşyaların altında uzun süre sıkıştırılmasından dolayı oluşan statik yükler sebebiyle halı havlarında meydana gelen deformasyondur. Halıya uygulanan bu yükler, zaman içerisinde halı havlarının yatmasına sebep olmaktadır. Böylece halının görünümü bozulmaktadır. Bu nedenle halı kalite ve performans değerlendirilmesi amacıyla statik yükleme sonrası kalınlık kaybı, sıkıştırma ve rezilyans en fazla başvuru alan testler arasındadır.

Halılara uygulanan statik yükleme sonrası kalınlık kaybı tespiti için, kısa süreli ve uzun süreli olmak üzere iki farklı test uygulanmaktadır. Bunlardan kısa süreli statik yükleme testi, halının sandalye ayağı gibi orta ölçüde yüklerin altında kısa süreli kalması sonucu meydana gelen deformasyonu taklit eder. Bu test için 220 kPa basınç 2 saat süreyle uygulanır ve sonrasında 1 saate kadar süren bekleme süreleri sonucunda kalınlık değişimi tespit edilir. Diğer yandan uzun süreli statik yükleme testi ağır mobilyaların halı üzerinde uzun süreli kalması sonucu meydana getirebileceği deformasyonu taklit eder. Bu test için ise 700 kPa basınç 24 saat süreyle uygulanır ve 24 saate kadar süren bekleme süreleri sonucunda halıda meydana gelen kalınlık değişimi tespit edilir. Her bir statik yükleme testi için standartlarda belirtilen yüklerin uygulanması için birer test düzeneğine ve yükleme öncesinde ve bekleme süreleri sonrasında da kalınlığın ölçülebilmesi için bir halı kalınlık ölçüm test cihazına ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer yandan farklı bir yaklaşımla, halıların sıkıştırma ve rezilyans tespiti, halı kalınlık ölçüm cihazı kullanılarak yapılabilmektedir. Bu test için, kalınlık ölçüm cihazı yardımıyla halıya bir ağırlık seti kullanılmak suretiyle farklı yükler uygulanmaktadır. Bu yüklerin uygulanması ve geri kaldırılması esnasında halıdan alınan kalınlık değerleri kullanılarak halının sıkıştırma ve rezilyans özelliklerine dair bulgular elde edilmektedir [1-5].

Halının, kısa süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı, uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı, sıkıştırma ve rezilyans özelliklerinin tespiti için halihazırda farklı yük uygulama düzenekleri ve halı kalınlık ölçüm test cihazına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ekipmanlar ile testlerin gerçekleştirilmesi esnasında ise yüklerin uygulanması, yükleme ve bekleme sürelerinin takibi, kalınlık ölçümünün gerçekleştirilmesi, verilerin alınması ve ilgili hesaplamaların yapılması bir operatör tarafından gerçekleştirilmek zorundadır. Mevcut halı kalınlık ölçüm cihazlarında kalınlık ölçümü, dikey yönde hareket eden bir mil üzerine sabitlenmiş baskı ayağının, cihazın tablasına yerleştirilmiş bir halı numunesi üzerine serbest bırakılması suretiyle ölçülmektedir. Bu durum, özellikle operatör değişikliğinde, baskı ayağının serbest düşme davranışının değişmesi sebebiyle ölçümlerde farklılığa sebep olmaktadır. Diğer yandan, ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda her bir halı numunesinden en az 5 adet örnek alınarak test edilmesi zorunludur. Yurt dışı menşeli üreticiler tarafından üretilen uzun süreli statik yükleme test düzeneği ile aynı anda 5 numuneyi test etmek mümkün olmadığından, aynı anda 5 numunenin test edilebilmesi için, 5 adet düzeneğin satın alınması

gerekmektedir. Aksi takdirde bir halının test edilmesi 9-10 gün sürmektedir. Diğer yandan kısa süreli statik yükleme testini gerçekleştirebilen bir ekipman ticari olarak mevcut değildir. Sonuç olarak, mevcut durum, bahsi geçen testler açısından; uygulamayı zahmetli hale getirmekte, test sürelerini makul ölçülerin dışına çıkarmakta, testleri operatör hatalarına açık hale getirmekte, elde edilen ölçümlerden ilgili bulguların hesaplanmasını zorlaştırmakta ve laboratuvar kurulum maliyetlerini arttırmaktadır.

Literatürde, halılarda performans ölçümünün yapıldığı birçok çalışmada statik yükleme testlerinin sıklıkla uygulandığı, ancak halı test cihazlarının tasarımı üzerine az sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Çelik ve arkadaşları (2016), aynı anda beş halı numunesine kısa ve uzun süreli statik yükleme yapabilen statik yükleme düzeneği tasarlamış ve üretmişlerdir. Geliştirilen düzeneğin doğruluğunu değerlendirmek için aynı halı numunesi, kısa ve uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı için, geliştirilen statik yükleme düzeneği ve ticari olarak mevcut ikamesi kullanılarak test edilmiştir. Her iki test için, geliştirilen statik yükleme düzeneği ile elde edilen kalınlık kaybı değerlerinin, ticari olarak mevcut ikame cihaza çok yakın sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada bahsi geçen statik yükleme düzeneğine ilişkin tescillenmiş bir patent mevcuttur [7]. Bu çalışmayı ve patenti takip eden başka bir patent başvurusu kapsamında, Çelik ve arkadaşları (2017), statik yüklemelerin 5 adet numuneye aynı anda ve bir PLC kontrol sistemi yardımıyla otomatik olarak yapılabilmesi ve yük miktarlarının bir servo motor ünitesi ile kontrol edildiği cihaz tasarımı yapmışlardır [8]. Alsayed ve arkadaşları (2020), yaptıkları çalışmada pnömatis sistem yardımıyla, halılarda kısa süreli ve uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı testlerini tek numuneye otomatik olarak uygulayabilen bir test cihazı prototipi geliştirdiklerini ifade etmişlerdir [9].

Bu çalışma kapsamında, halılarda kalınlık ölçümü, kısa süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı tayini, uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı tayini ve sıkıştırma ve rezilyans test ve ölçümlerinin tamamının tek bir cihaz ile ve otomatik olarak beş numune üzerinde aynı anda yapılabileceği çok fonksiyonlu, kullanıcı dostu, yenilikçi bir test cihazı tasarlanmış ve bu amaçla kullanılacak otomasyon geliştirilmiştir.

1.1. Tekniğin Mevcut Durumu ve Problemin Tanımlanması

Tekniğin mevcut durumu incelendiğinde, halıların kalınlık ölçümü, kısa süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı tayini, uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı tayini ve sıkıştırma ve rezilyans testleri için karşılaşılan zorluklar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Her bir test için ayrı cihaz ve ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır.
- Kısa süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı tayini için "ISO 3415:1986 Textile floor coverings - Determination of thickness loss after brief, moderate static loading" standardına

uygun olarak test prosedürünü gerçekleştirebilen bir test cihazı ticari olarak mevcut değildir.

- Uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı tayini için ticari olarak mevcut düzenek 10 kg'lık bir yükün asılmasını gerektirdiğinden testin uygulanmasında önemli bir zorluk oluşturmaktadır.
- İlgili ulusal ve uluslararası standartlar gereği testlerin, her bir numune için beş farklı örnek ile yapılması gerekmektedir. Uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı testinin gerçekleştirilmesi 9-10 gün gibi makul ölçülerin dışında uzun zaman almaktadır.
- Mevcut durumda yükleme işlemlerinin gerçekleştirilmesi, yük uygulama süresinin takip edilmesi, standart gereği iste-nilen süre dolduğunda yüklerin kaldırılması ve belirli aralıklar-larda numunelerin kalınlıklarının ölçülmesi işlemlerinin tamamı manuel olarak bir operatör tarafından takip edilmekte ve gerçekleştirilmektedir. Bu durum test prosedürünü oldukça zahmetli bir süreç haline getirmektedir.
- Mevcut teknolojiye testlerin uygulanması operatör kaynaklı hatalara açıktır.
- Mevcut sistemler, farklı uygulama alanları için ihtiyaç duyulabilecek standart dışı yük uygulamalarına imkan vermemektedir.

Bahsi geçen zorluklar göz önüne alındığında, yaşanan problemlerin çözümü için çoklu numune ile test imkanı sağlayabilen, operatör müdahalesi gerektirmeden otomatik olarak test süreçlerini gerçekleştirebilen ve farklı testleri tek cihaz ile yapabilme kabiliyetine sahip bir test cihazının tasarımı yapılmış ve kullanıcı dostu bir otomasyon geliştirilmesi hedeflenmiştir. Tasarımın tamamlanmasının ardından, tek ünitelerden oluşan bir prototip imalatı gerçekleştirilmiş ve ön uygulamalar ile sistem fonksiyonelliği test edilmiştir. İlaveten, prototip ünitenin halı kalınlık ölçümü için doğrulaması farklı halı numuneleri kullanılarak yapılmış ve mevcut ticari cihaza göre doğruluğu kanıtlanmıştır.

2. TEST CİHAZI TASARIMI

2.1. Tasarım Kriterleri

Hedeflenen test cihazı için aşağıda verilen kriterler dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmiştir.

1. Cihaz, ulusal ve uluslararası standartlarda tarif edildiği şekilde 2 kPa ile 700 kPa aralığında basınç uygulayabilme kabiliyetine sahip olmalıdır.
2. Cihaz, uluslararası standartlara uygun şekilde 300-1000mm² dairesel alana sahip baskı ayağına sahip olmalıdır.
3. Cihazda, baskı ayağı altındaki yükün haliye düzgün ve homojen olarak dağılımının sağlanması gerekmektedir.
4. Özellikle uzun süreli statik yükleme testi için 24 saat 700 kPa basınç uygulanması göz önüne alındığında, baskı ayağı

milinin yük uygulama sırasında sehime (difleksiyon) maruz kalmamasının sağlanması gerekmektedir.

5. Baskı ayaklarının sabitlendiği hareket elemanının doğrusal hareketinin hassas olması sağlanmalıdır.
6. Cihaz bahsi geçen testlerin tamamının gerçekleştirilebilmesi amacıyla 2 kPa, 5 kPa, 10 kPa, 20 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa, 200 kPa ve 220 kPa yük değerlerini $\pm 0,2$ kPa hassasiyette uygulayabilmelidir.
7. Cihaz 0-50 mm aralığında ve 0,01mm hassasiyette kalınlık ölçümü yapabilmelidir.
8. Cihaz, yük uygulanması esnasında uygulanan yükü bir kapalı çevrim sistemi içerisinde kontrol edebilmeli ve yük uygulama ünitesine geri bildirim sağlayabilmelidir.
9. Cihaz, 5 adet örneğin aynı anda test edilmesi amacıyla 5 ayrı ünitenin yan yana konumlandırılacağı bir gövdeye sahip olmalıdır.
10. Cihaz, alınan kalınlık ölçümü verilerinden standartlarda öngörülen hesaplamaları gerçekleştirebilecek bir ara yüze sahip olmalıdır.

Belirlenen tasarım kriterlerine ilaveten, üretim kolaylığı, mali-yet, ergonomik uyum, kontrol edilebilirlik, beklenen işlevi yeri-ne getirme performansı gibi kriterler açısından da değerlendirmeler yapılarak cihaz tasarımı gerçekleştirilmiştir.

2.2. Cihaz Yapısal Tasarımı

Test cihazı için, tasarım kriterleri göz önüne alındığında pnömatik bir sistem ile yük uygulamanın uygun bir prensip olacağına karar verilmiştir. Cihaz, istenilen miktarda yükü oluşturacak pnömatik sistem (piston silindirleri, oransal regülatör, valf, filtre regülatör), lineer hareket eden baskı ayakları, baskı ayağının hareketini ölçen pozisyon sensörü, uygulanan yük miktarının ölçülmesini sağlayan yük hücresi, ölçülen yük miktarına göre piston hareketinin kontrol edilmesini sağlayan PLC sistemi ve kontrol panelinden oluşmaktadır.

Cihaz için, testlerin gerçekleştirileceği 5 ayrı ünitenin yan yana konumlandırılacağı bir şase, ünitelerin hemen yanında ise dokunmatik panel ekranının yer aldığı bir cihaz gövde tasarımı yapılmıştır. Genel olarak test cihazının tasarımı yapılırken bazı pnömatik sistem malzemelerin göz önünde bulunmasının cihazın estetik görünümünü bozacağı düşünüldüğünden, bu elemanların cihaz şasesinin alt bölmesine yerleştirilmesi planlanmıştır. Cihazın güvenlik fonksiyonu açısından tüm malzemelerinin elektrik bağlantılarının yer aldığı elektrik panosunun cihazın alt bölmesine yerleştirilmesine karar verilmiştir. Test cihazının gövde tasarımı ve ekipmanların gövde üzerinde yerleşimi Şekil 1'de verilmiştir.

Halıda uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı testi için 700 kPa yük 24 saat boyunca halı numunesine uygulanmaktadır. Oluşturulacak yükün büyüklüğü dikkate alındığında test ünitesinin imalatında kullanılan malzemelerin bu yüklerle karşı

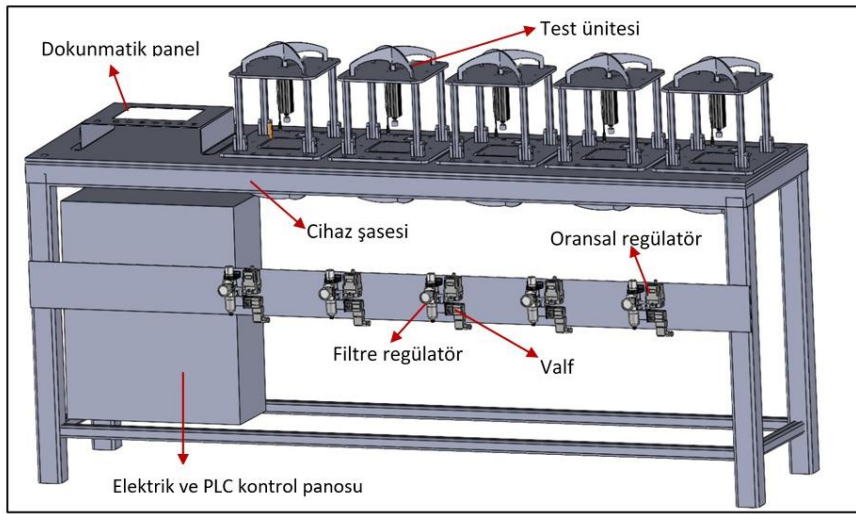
direnci sağlaması gerektiği görülmektedir. Bu nedenle, test ünitesinin tasarımı yapılırken üst plakanın ortasına yerleştirilen piston silindirin alt plakaya uyguladığı yükün plaka düzlemine homojen bir şekilde yayılması için ünite köşelerine metal çubuklar yerleştirilmiştir. Plaka üzerinde yüksek miktarda yük uygulanmasından dolayı oluşabilecek sehmi (difleksiyon) önlemek için test ünitesinin alt ve üst kısımlarında kavisli yapı oluşturulmuştur. Böylece her bir ünite içerisinde halı numunesine uygulanacak yük miktarının eşit ve kontrollü bir şekilde dağıtılması sağlanmıştır. Ünite tasarımı yapılırken piston silindirin halı numunesi ile arasındaki mesafe piston silindirin stroke (100 mm) özelliğine göre belirlenmiştir. Halı test ünitesi için uygun görülen iskelet tasarımı Şekil 2’de verilmiştir.

Kalınlık ölçümü için 300-1000 mm² alana sahip baskı ayağı ile standartlarda belirtilen basıncı oluşturacak yükün sağlanması için, 25 mm çapında, maksimum kapasitesi 1 MPa olan ve 100 mm stroke kapasitesine sahip piston silindiri seçilmiştir. Kompresör tarafından beslenen basınçlı hava, valf ve oransal regülatör kullanılarak baskı ayağına iletilmektedir.

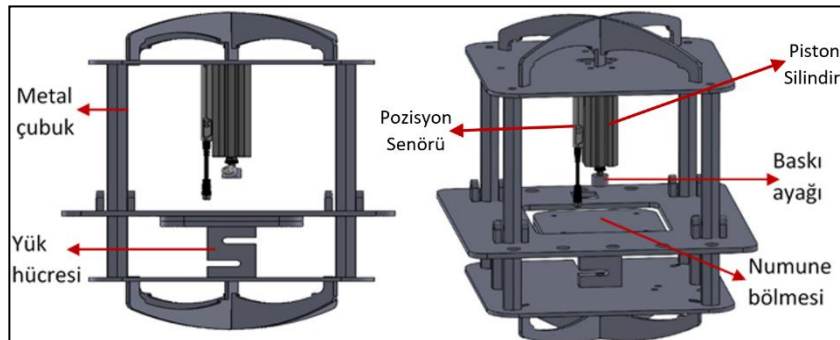
PLC sistemi pistonla gönderilecek olan hava miktarının ve besleme süresinin ayarlanabilmesi için gerekli sinyalleri üretmek için oransal regülatöre göndermektedir. Bu şekilde standartta belirtilen basınçlar gerekli süre kadar uygulanarak ilgili süre sonunda yükün kaldırılması sağlanmaktadır.

Hedeflenen yükün doğru uygulanabilmesi amacıyla, numunenin yerleştirileceği plakanın altına numuneye uygulanan yük miktarı ile ilgili geri bildirim verecek olan yük hücresi yerleştirilmiştir. Böylelikle, PLC sistemi bu yük hücresinden aldığı değer ile hedeflenen yükün numune üzerinde oluşturulup oluşturulmadığını değerlendirebilecektir. Bu amaçla, maksimum ölçüm kapasitesi 50 kgf ve ölçüm hassasiyeti ise 0,001 kg olan, S tipi yük hücresi kullanılmıştır.

Piston silindir bloğu üzerine yerleştirilen pozisyon sensörü ile baskı ayağının hareketi ölçülebilmektedir. Pozisyon sensörü 100 mm ölçüm kapasitesine ve analog çıkışa sahiptir ve ölçüm hassasiyeti 0,01 mm’dir. Dolayısıyla cihaz 100 mm ± 0,01 mm hassasiyette kalınlık ölçümü yapabilecektir.



Şekil 1. Test cihazı gövde tasarımı ve ekipmanların gövde üzerinde yerleşimi



Şekil 2. Halı test ünitesi iskeleti ve ekipmanların yerleşimi

Cihaz, kullanıcının kolay kontrol etmesini sağlamak amacıyla bir LCD ekrana sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. İstenilen testin seçilmesi, testin başlatılması veya istenilen bir anda testin sonlandırılması vb. işlemler LCD ekran üzerinden kolaylıkla yapılabilecektir. İlave olarak, cihaz aldığı kalınlık değerleri ile ilgili standartlarda öngörülen hesaplamaları yaparak bu ekran üzerinde gösterebilecektir. Kullanıcı anlık olarak alınan ölçüm değerlerini ve test sürelerinin ilerleyişini de bu ekran üzerinden takip edebilecektir.

2.3. Cihaz Otomasyon Tasarımı

Cihaz otomasyonun PLC yazılımı ile gerçekleştirilmesi tasarlanmıştır. Geliştirilen cihazın kontrol diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Ara yüzden kullanıcı tarafından seçilen test prosedürüne göre yük değerleri set yük değeri olarak belirlenecektir. Set yük değerine uygun olarak kontrol ünitesi tarafından üretilen sinyal oransal regülatöre gönderilecek ve valften uygun basınçta hava akımının verilmesi sağlanacaktır. Piston silindirinün düşey yöndeki hareketi sayesinde, üzerine monte edilmiş olan baskı ayağı halı numunesi üzerine istenilen yükü uygulamak üzere inecektir. Baskı ayağı tarafından uygulanan yük miktarı, halı numunesinin alt kısmına monte edilmiş yük hücresi tarafından ölçülerek kontrol ünitesine geri bildirim sağlanacaktır. Kontrol ünitesi, yazılımda bulunan işlem basamağında set edilen değer ile yük hücresinden gelen değer arasındaki farkı azaltacak yönde uygun komutları, kesiksiz olarak oransal regülatöre gönderecek ve numune üzerinde uygulanan yükün istenilen değerde ve istenilen sürede sabit kalmasını sağlayacaktır.

Prototip ünite üzerinde kullanılan PLC yazılımı ile kalınlık ölçümü için gerekli olan 2kPa, kısa süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı testi için gerekli olan 220 kPa, uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı testi için gerekli olan 700 kPa ve sıkıştırma ve rezilyans testi için gerekli olan 5, 10, 20, 50, 100, 150 ve 200 kPa yükler uygulanmaktadır. Bu amaçla, prototip cihazın uygulayacağı yük miktarının kilogram-kuvvet cinsinden hesaplanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu hesaplama yapılırken, öncelikle standartta yer alan baskı ayağının alanı için izin verilen aralık (300-1000mm²) dikkate alınmıştır. Prototip ünitenin baskı ayağının çapı 20 mm olarak üretilmiştir. Uygulanması gereken

yük miktarları Denklem 1 ile kgf cinsinden elde edilmiştir. Yük hücresinden alınan geri bildirimler kgf olarak alındığından standartlarda yer alan kPa yükleri program ara yüzünde kgf birimine çevrilerek gösterilmiştir (Tablo 1).

$$F = \frac{P \times A \times 10^{-3}}{g} \quad (1)$$

Burada;

P ilgili standartta belirtilen basınç değeri, kPa

F uygulanan basınca karşılık gelen kuvvet değeri, kgf

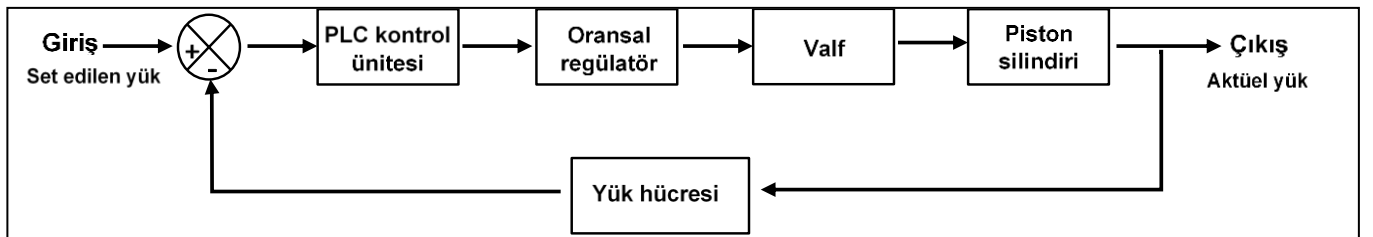
A baskı ayağının alanı, 314,15 mm²

g yerçekimi ivmesi, 9,81 m/s²

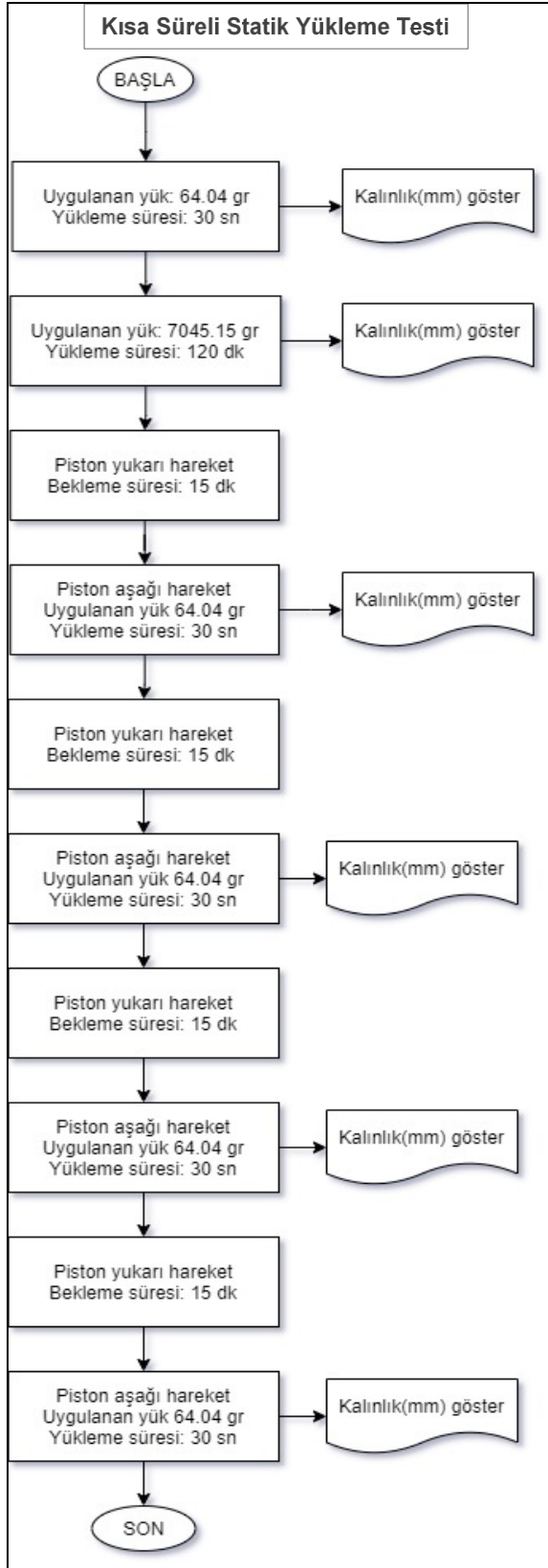
Tablo 1. Halı test standartlarında yer alan yük miktarları ve bunlara karşılık gelen kuvvet değerleri

| Test Baskı Değerleri | kPa | gf | kgf |
|-------------------------------|-----|----------|--------|
| Kalınlık ölçümü | 2 | 64,04 | 0,064 |
| Kısa süreli yükleme testi | 220 | 7045,15 | 7,045 |
| Uzun süreli yükleme testi | 700 | 22416,41 | 22,416 |
| Sıkıştırma ve rezilyans testi | 5 | 160,11 | 0,160 |
| | 10 | 320,23 | 0,320 |
| | 20 | 640,46 | 0,640 |
| | 50 | 1601,17 | 1,601 |
| | 100 | 3202,34 | 3,202 |
| | 150 | 4803,51 | 4,804 |
| | 200 | 6404,68 | 6,405 |

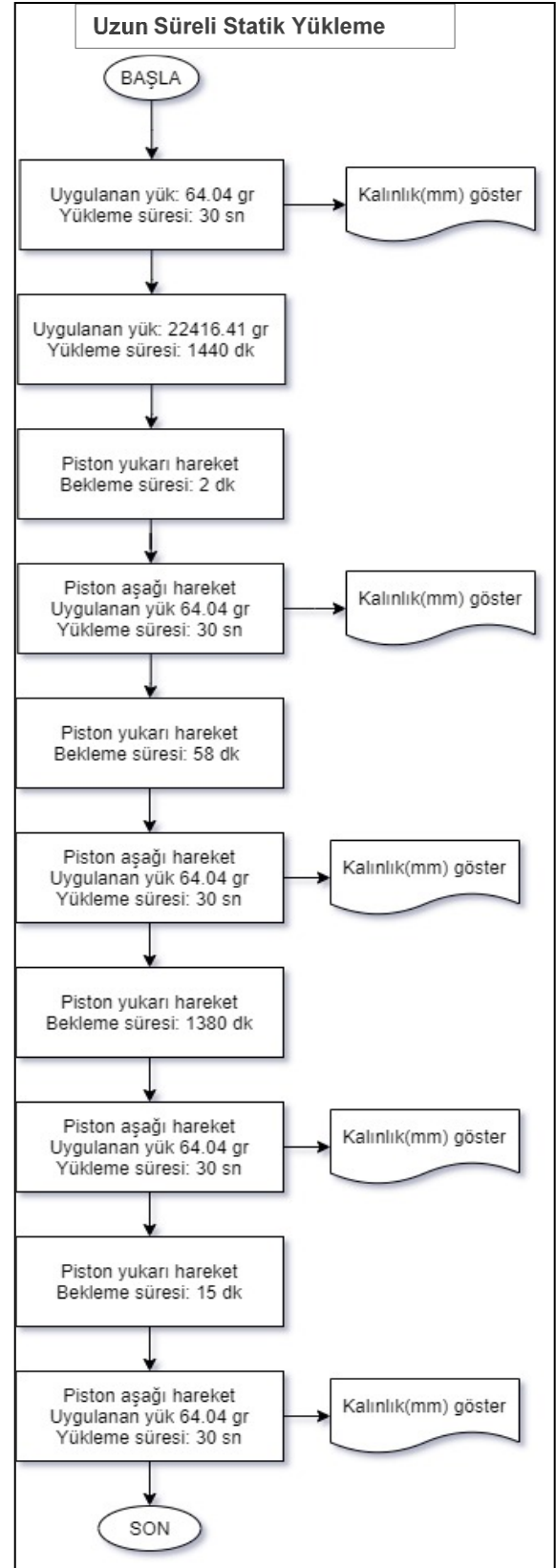
Test cihazının, kısa süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı tayini, uzun süreli statik yükleme sonrası kalınlık kaybı tayini ve sıkıştırma ve rezilyans testleri için gerçekleştireceği işlem adımları, Şekil 4, 5 ve 6'da verilmiştir.



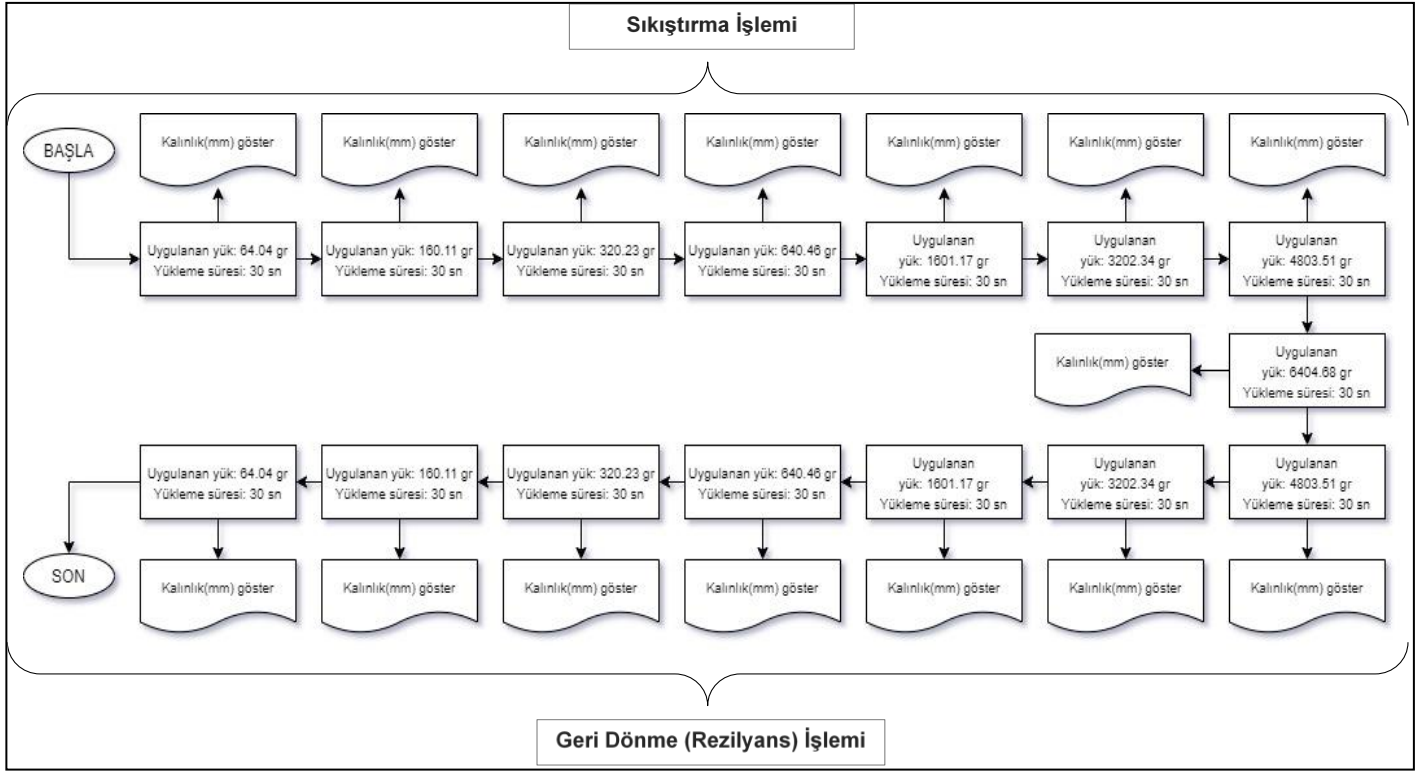
Şekil 3. Test cihazının kontrol blok diyagramı



Şekil 4. Kısa süreli statik yükleme testi yazılım akış diyagramı



Şekil 5. Uzun süreli statik yükleme testi yazılım akış diyagramı



Şekil 6. Sıkıştırma ve rezilyans testi akış diyagramı

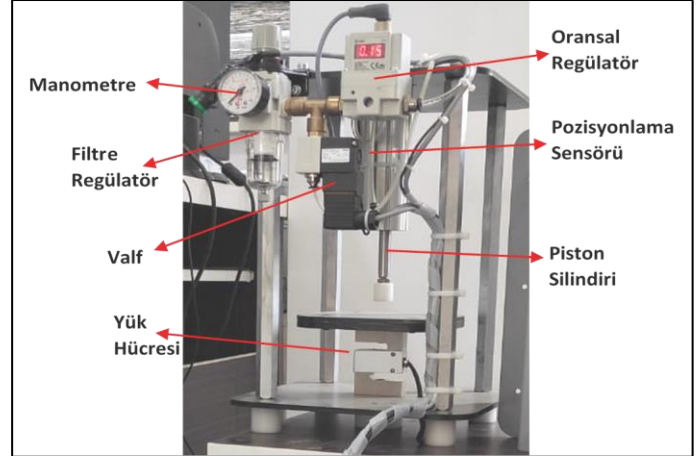
3. GELİŞTİRİLEN TEST CİHAZININ DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI

3.1. Doğrulama Çalışmaları için Prototip İmalat

Halı test cihazı için 5 üniteli sistemin tasarımı tamamlandıktan sonra, tasarlanan test cihazının fonksiyonelliğinin gerçek koşullarda değerlendirilmesi amacıyla bir ünite için prototip imalatı gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). Prototip ünite imalatında, test edilecek halı numunesinin yerleştirilebileceği bir platform ve bu platformun altına halı numunesine uygulanacak yükü ölçebilecek bir yük hücresi yerleştirilmiştir. Üst ve alt plakaların bağlantısı için dört kenarı metal çubuk kullanılarak bir sistem düzeneği oluşturulmuştur. Üst plakanın orta kısmına piston silindiri konumlandırılmıştır. Böylece halı numunesinin merkezine yük uygulaması sağlanmıştır. Kalınlık verilerinin otomatik olarak alınmasında kullanılan pozisyon sensörü piston silindiri üzerine uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Oluşturulan sistem düzeneğinin arka tarafına gerekli pnömomatik sistem ekipmanları (monometre, oransal regülatör, filtre regülatör, valf vb.) yerleştirilmiştir.

3.2. Kalınlık ve Ağırlık Doğrulama Çalışmaları

Üretimi yapılan prototip test ünitesinin kalınlık ölçüm doğruluğunun yapılması amacıyla kalınlıkları kumpas yardımıyla ölçülen farklı kalınlıklardaki malzemeler (Şekil 8) karşılaştırma amacıyla prototip ile ölçülmüştür. Elde edilen değerler Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 7. Prototip sistem düzeneği

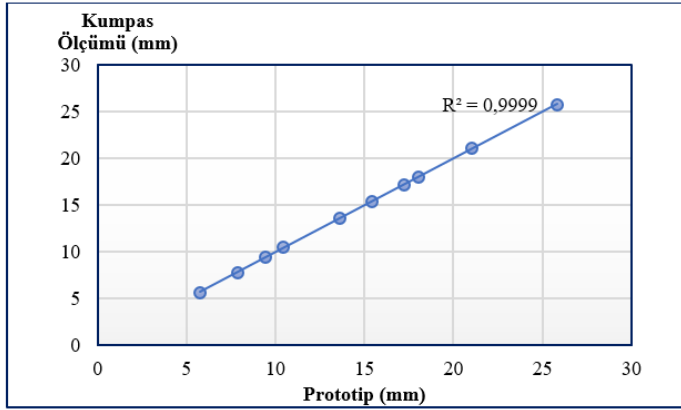


Şekil 8. Farklı malzemelerden alınan kalınlık ölçümleri

Tablo 2. Kalınlık ölçüm doğruluğu için elde edilen değerler

| Kumpas (mm) | Prototip (mm) |
|-------------|---------------|
| 5,75 | 5,70 |
| 18,06 | 18,05 |
| 7,86 | 7,79 |
| 9,46 | 9,49 |
| 17,24 | 17,18 |
| 25,86 | 25,81 |
| 13,63 | 13,65 |
| 21,04 | 21,08 |
| 10,43 | 10,47 |
| 15,40 | 15,35 |

Kalınlık ölçüm doğruluğu için kumpas ve cihaz prototipi ile alınan değerler incelendiğinde, elde edilen değerler arasında çok yüksek bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 9).

**Şekil 9.** Kumpas ve prototip ile alınan kalınlık değerleri ilişkisi

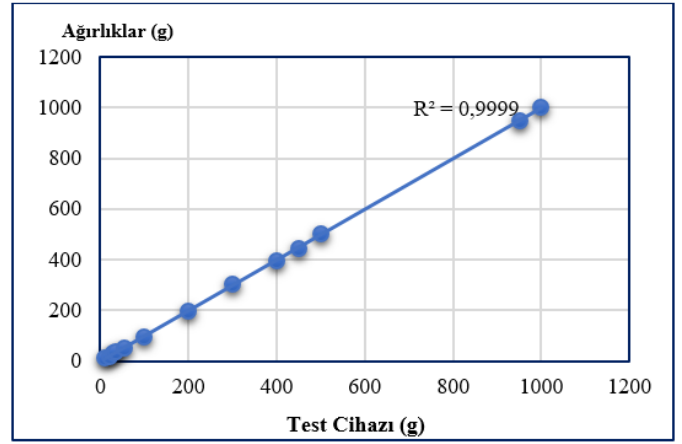
Prototipinin, kalınlık ölçümünü doğru yapabilmesinin yanı sıra, numune platformunun altına yerleştirilen yük hücresinin uygulanan yükü doğru ölçerek sisteme doğru geri bildirim sağlaması da önem arz etmektedir. Bu nedenle, ağırlığı bilinen bir ağırlık seti (Şekil 10) kullanılarak yük hücresinin ölçümleri doğrulanmıştır. Yük hücrelerinden alınan değerler ile bilinen değerler karşılaştırmalı olarak Tablo 3'te verilmiştir.

**Şekil 10.** Yük hücreleri doğrulamasında kullanılan ağırlık seti

Yük hücreleri doğruluğu için alınan değerler incelendiğinde, elde edilen değerler arasında çok yüksek bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 11).

Tablo 3. Yük hücreleri doğruluğu için elde edilen değerler

| Ağırlıklar (g) | Prototip (g) |
|----------------|--------------|
| 10 | 12 |
| 20 | 18 |
| 30 | 31 |
| 35 | 36 |
| 55 | 54 |
| 100 | 97 |
| 200 | 197 |
| 300 | 303 |
| 400 | 398 |
| 450 | 446 |
| 500 | 503 |
| 950 | 949 |
| 1000 | 1003 |

**Şekil 11.** Gerçek ağırlık değerleri ile yük hücrelerinden alınan değerler arasındaki ilişki

3.3 Halı Numunesi Üzerinde Test ve Değerlendirme

Üretilen prototip ünitenin halı kalınlık ölçümü için doğrulaması farklı halı numuneleri kullanılarak yapılmıştır. Kalınlık ölçümü için uygulanacak olan doğrulama çalışmasında “doğruluk” kriteri göz önüne alınmıştır. Doğruluk kriteri; “gerçeklik” ve “kesinlik” saptamalarıyla belirlenmektedir. Bu çalışmada gerçeklik tespiti yapılmış ve bu amaçla prototipten alınan ölçümler referans bir cihazdan alınan ölçümler ile kıyaslanmıştır. Gerçeklik tespiti için, prototip ünite ve ticari olarak mevcut bir halı kalınlık ölçüm cihazı ile 6 farklı halı numunesinin kalınlıkları ISO 1765 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Ardından karşılaştırma için gerekli istatistiksel analizler uygulanmıştır. Halı numunelerinden mm cinsinden alınan kalınlık ölçümleri ve bu ölçümlerden elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Her iki cihazdan elde edilen sonuçlar SPSS paket programı kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Analizde elde edilen betimleyici istatistikler Tablo 5'te verilmiştir. Sonuçlara uygulanan bağımlı örneklem t testi analiz sonuçları Tablo 6'da görülmektedir. Bulgular incelendiğinde %95 güven aralığında prototip ünite ve ticari olarak mevcut test cihazının ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig. (2-tailed) = 0.638 > 0.05).

Tablo 4. Prototip ünite ve ticari olarak mevcut test cihazı ile elde edilen kalınlıklar (mm)

| Numune Sayısı | Halı-1 | | Halı-2 | | Halı-3 | | Halı-4 | | Halı-5 | | Halı-6 | |
|----------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| | Prototip | Ref. Cihaz | Prototip | Ref. Cihaz | Prototip | Ref. Cihaz | Prototip | Ref. Cihaz | Prototip | Ref. Cihaz | Prototip | Ref. Cihaz |
| 1 | 9,63 | 10,56 | 6,69 | 7,94 | 15,57 | 15,11 | 17,01 | 17,89 | 16,54 | 17,14 | 16,55 | 18,04 |
| 2 | 9,84 | 10,04 | 7,80 | 7,41 | 15,23 | 15,55 | 18,18 | 15,65 | 16,54 | 16,68 | 16,54 | 17,63 |
| 3 | 9,25 | 10,77 | 6,50 | 8,11 | 15,19 | 14,91 | 17,86 | 15,39 | 18,45 | 16,95 | 16,25 | 17,18 |
| 4 | 9,08 | 10,77 | 6,98 | 7,74 | 15,23 | 15,01 | 16,80 | 16,78 | 18,27 | 17,10 | 19,20 | 17,35 |
| 5 | 8,96 | 10,54 | 6,64 | 7,59 | 14,96 | 14,55 | 17,65 | 16,83 | 16,25 | 18,07 | 17,99 | 17,10 |
| Ortalama | 9,35 | 10,53 | 6,92 | 7,75 | 15,23 | 15,02 | 17,50 | 16,50 | 17,21 | 17,18 | 17,30 | 17,46 |
| Standart Sapma | 0,33 | 0,27 | 0,47 | 0,25 | 0,19 | 0,32 | 0,52 | 0,90 | 0,95 | 0,47 | 1,13 | 0,34 |

Tablo 5. Betimleyici istatistikler

| | Ortalama | N | Standard Sapma | Ortalamanın Standart Hatası |
|----------------|----------|---|----------------|-----------------------------|
| Prototip Ünite | 13,9210 | 6 | 4,61900 | 1,88570 |
| Referans Cihaz | 14,0793 | 6 | 4,01003 | 1,63709 |

Tablo 6. Bağımlı örneklem t testi sonuçları

| | Eşleştirilmiş Farklar | | | | | t | df | Anlamlılık (2-yönlü) |
|----------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|--------|----|----------------------|
| | Ortalama | Standard Sapma | Ortalamanın Standart Hatası | Farkların %95 Güven Aralığı | | | | |
| | | | | Minimum | Maksimum | | | |
| Prototip – Referans Cihazı | -0,15833 | 0,77495 | 0,31637 | -0,97159 | 0,65492 | -0,500 | 5 | 0,638 |

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, halı performans değerlendirmesinde en fazla başvurulan testlerden; kısa süreli statik yüklenme, uzun süreli statik yüklenme ve sıkıştırma ve rezilyans testlerini ve kalınlık ölçümünü, otomatik olarak ve beş numune üzerinde aynı anda yapabilecek çok fonksiyonlu ve yenilikçi bir test cihazının tasarımı yapılmış, otomasyon algoritmaları geliştirilmiş ve üretilen prototip üzerinde kalınlık ve yük ölçümüne ilişkin ön doğrulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, farklı halı numuneleri kullanılarak halı kalınlık ölçüm doğrulaması yapılmıştır.

Halı test cihazı 5 üniteli olarak tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan test sisteminin gerekli işlevleri gerçekleştirme durumu imalatı yapılan prototip ünite ile kontrol edilmiştir. Prototip üniteye gerekli kalibrasyonlar yapıldıktan sonra, test cihazı ile elde edilecek olan kalınlık (mm) ölçümü için ve yük hücresi ölçümü için doğrulama çalışması yapılmıştır. Geliştirilen prototip ünite ile kalınlık ve yük ölçümlerinin, yüksek doğrulukta ($R^2 = 0,99$) gerçekleştirildiği ortaya konulmuştur. Daha sonra geliştirilen prototip ile ISO 1765 standardına uygun olarak halı kalınlık ölçümlerinin doğruluğu istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Referans cihaz ve prototipten elde edilen ölçümlere %95 güven aralığında uygulanan istatistiksel analize göre ölçüm-ler arasında anlamlı bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Böylece, geliştirilen sistemden elde edilen halı kalınlık değer-lerinin mevcut ticari cihaza göre doğruluğu kanıtlanmıştır.

Gerçekleştirilen cihaz tasarımı ile farklı yüklenme ekipmanları ve cihaz gerektiren test ve ölçümler tek bir test cihazı ile yapılabilecektir. Bu açıdan, bahsi geçen test cihazının, kalite kontrol

laboratuvarlarının yatırım maliyetini önemli ölçüde azaltabileceği düşünülmektedir. İlaveten, aynı anda beş numunenin test edilebilmesi, testlerin çok daha kısa sürede tamamlanarak sonuçların elde edilebilmesini sağlayacaktır. Tasarımı yapılan cihaz ile, statik yüklerin uygulanması, bekleme sürelerinin sonunda yüklerin kaldırılması ve belirlenen sürelerin sonunda kalınlık ölçümlerinin alınması ve alınan kalınlık ölçümleri ile standartlarda belirtilen hesaplamaların yapılması gibi test prosedürlerinin tamamı otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Cihazın sahip olduğu otomasyon sayesinde, hataya açık olan karmaşık test prosedürleri için operatör kaynaklı hata riski elimine edilmiş olacak ve aynı zamanda daha hassas ölçümler alınabilecektir.

Tasarımı yapılan cihazın, mevcut standartlar dışında, kullanıcı tarafından belirlenebilecek farklı yüklenme miktarları, yüklenme süreleri ve ölçüm aralıkları tanımlanabilen özgün test prosedürü uygulamasına sahip olması cihazın halı dışındaki hacimli tekstil yüzeyleri için kullanımına da imkan sağlayacaktır.

Önemli bir tekstil üreticisi olan ülkemiz için yabancı menşeli tekstil test cihazlarının ithal ediliyor olması büyük bir kayıp niteliğindedir. Ülkemizde diğer farklı test cihazlarında olduğu gibi tekstil test cihazlarında da önemli oranda dışa bağımlılık bulunmaktadır. Yurt dışı firmalar tarafından üretilen ve basit düzenekler içeren test cihazları ciddi maliyetler oluşturmaktadır. Tekstil test cihazlarının yerli ve milli olarak ülkemizde üretilmesi ile ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlanmış olacaktır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan test cihazı, mevcut teknolojinin ötesinde, yurtdışından temin edilen uluslararası ikameleri ile rekabet edebilecek düzeydedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma “TÜBİTAK 119M691” numaralı ve “Halılarda Statik Yükleme Testlerinin Çoklu Numuneler Üzerinde Otomatik Olarak Uygulanabileceği Fonksiyonel Bir Test Cihazının Geliştirilmesi” başlıklı proje kapsamında sağlanan destekle yapılmış olup yazarlar TÜBİTAK’a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

1. BS 4939:1987, ISO 3416-1986 Method for determination of thickness loss of textile floor coverings after prolonged heavy static loading
2. ISO 3416:1986 Textile floor coverings - Determination of thickness loss after prolonged, heavy static loading
3. ISO 3415:1986 Textile floor coverings - Determination of thickness loss after brief, moderate static loading.
4. BS 4098:1975 Method for the determination of thickness, compression and recovery characteristics of textile floor coverings.
5. ISO 1765:1986 Machine-made textile floor coverings - Determination of thickness
6. Çelik, H.İ., Şahin, B., Kaynak, H.K., (2016), *Development of A Carpet Static Loading Test Device*, 16th AUTEX World Textile Conference, 8–10 June, Ljubljana, Slovenya.
7. Çelik, H.İ., Kaynak, H.K., Şahin, B., *Halılarda Kısa Süreli-Orta ve Uzun Süreli-Ağır Statik Yükleme Testlerini Çoklu Numune İle Gerçekleştirebilen Test Cihazı*, Tescil Tarihi: 21.05.2020, Tescil No: TR2016/05214.
8. Çelik, H.İ., Kaynak, H.K., Şahin, B., *Halılarda Kısa Süreli-Orta ve Uzun Süreli-Ağır Statik Yükleme Testlerini Çoklu Numune İle Otomatik Olarak Gerçekleştirebilen Test Cihazı*, Başvuru No: TR2017/13754, Başvuru Tarihi: 18.09.2017
9. Alsayed, M., Kaynak, H.K., Çelik, H.İ., (2020), *Design of a Test System for Compressibility and Resilience Performance Measurement of Floor Coverings*, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(2), ss. 469-475.