

## TİTREŞİM SÖNÜM ELEMANLARI ÜRETEN BİR FİRMADA İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜ VE DENEY TASARIMI YÖNTEMLERİ İLE SÜREÇLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Âli Yurdun ORBAK<sup>1</sup>, Tülin GÜNDÜZ CENGİZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>[orbak@uludag.edu.tr](mailto:orbak@uludag.edu.tr) Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16059 Bursa

<sup>2</sup>[tg@uludag.edu.tr](mailto:tg@uludag.edu.tr) Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16059 Bursa

### ÖZET

Kauçuk, genellikle bitki öz suyundan elde edilen bir lif tir. Doğal kauçuk ağaçların öz suyundan üretilirken, sentetik kauçuk kimyasal endüstri tarafından yağdan üretilir. Her iki tür de çok yönlü kullanımı olan maddelerdir. Ham kauçuğa lateks adı verilir. Pamuk veya viskonla karıştırılarak, kemer korse, lastik çorap (varis çorabı) yapımında kullanılır. Kauçuk ayrıca giysi, hortum ve lastik yapmak için esnek bir maddeye dönüştürülebilir. Kauçuğun emici özellikleri, onu özellikle otomobil süspansiyonunda ve titreşim sönümlemede kullanışlı madde yapar. Bu bildiri de kauçuk malzemelerden titreşim sönüm elemanları üreten bir firmanın seçilen ürünlerinin süreçleri istatistiksel kalite kontrollü ve deneysel tasarım yöntemleri ile iyileştirilecektir. Bu yöntemler yardımıyla ileride yapılacak tasarımlar için de bilgi edinilmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Kauçuk, vulkanizasyon, titreşim sönümleme, deneysel tasarım

### ABSTRACT

Rubber is a fiber that is produced from plant juice. While natural rubber is produced from trees' juice, synthetic rubber is produced from oil by the chemical industry. Both of these rubbers have various application areas. Raw rubber is called as latex. Latex is mixed with cotton or viscon to make girdle, elastic stockings etc. Rubber can also be transformed to a flexible material to make clothing, hose and tires. Rubber's absorbent property makes it a perfect choice in automotive suspension and vibration suppression. In this paper statistical quality control techniques and especially design of experiments are used on some of the chosen products of a firm that produces vibration suppression elements for automobiles in order to improve its processes. By use of these methods it is also aimed to obtain information for future designs.

**Keywords:** Rubber, vulcanization, vibration suppression, design of experiments

## 1. GİRİŞ

Kauçuk, temel tropik bitkilerin sütümsü öz suyundan (lâteks) doğal halde ya da petrol ve alkolün bileşimlerinden suni olarak elde edilen bir malzemedir. Esasen kauçuk terimi normalde Hevea Brasiliensis ağacından elde edilen malzemeye karşılık gelmekte olup, günümüzde ise bu terim uygulanan kuvvetin serbest bırakılmasıyla tekrar eski konumuna geri dönebilen malzemeler olarak adlandırılmaktadır [1]. 1770 yılında kurşun kalem yazısını silmek için kullanılan ekmek kırıntılarının yerine kauçuğun kullanılabileceği belirtilmiştir [2]. Daha sonra yapılan çalışmalarda, kauçuk maddesindeki uygun üretim koşullarından dolayı vulkanizasyon sürecinin keşfi gerçekleştirilmiştir.

Vulkanizasyon kauçuk ve sülfür arasındaki günümüzde dahi halen tam olarak anlaşılamayan bir reaksiyonlar kompleksidir. Bu reaksiyonlar uzun bir miktar yer değiştirme enerjisine sahip moleküllerin birbirine bağlanıp meydana gelen ağ örgüsü sayesinde yer değiştirmeyen yapının elde edilmesidir [3]. Bu reaksiyon sonucunda kauçuk molekül zincirleri arasında karşılıklı bağlanma meydana gelir. Böylelikle uygulanan dış kuvvet altında zincirlerin birbiri üzerinde kayması önlenerek istenilen elastik özellik malzemeye kazandırılmaktadır. Karışıma katılan kükürt miktarı düşükse (%0,5- %5) yumuşak kauçuk, yüksekse (%25-%35) sert kauçuk ya da ebonit elde edilir.

Günümüz modern vulkanizasyon işlemleri 140-180°C sıcaklıklarında gerçekleştirilmekte ve vulkanizasyon işleminin özellikleri yanında kauçuğun fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek için çeşitli katkı maddeleri eklenmektedir.

Organik hızlandırıcılar, vulkanizasyon zamanını inorganik hızlandırıcılara göre (kurşun oksit, magnezyum, kalsiyum) çok büyük miktarda azaltmaktadır. Organik hızlandırıcılar vulkanizasyon zamanını kısaltmanın yanında daha düşük sıcaklıklarda vulkanizasyona izin vermekte ve vulkanizasyon işleminde gerekli sülfür miktarını azaltmaktadır. Daha sonraki yıllarda ultra hızlandırıcılar kullanılarak daha düşük sıcaklıklarda vulkanizasyon gerçekleştirilebilmiştir. Ayrıca organik hızlandırıcılar sayesinde kauçuğun dayanıklılığı artmış ve fiziksel özellikleri özellikle de kopma mukavemeti artmıştır. Tüm bunların yanında organik hızlandırıcıların maliyeti düşürmesi kauçuğun sanayide kullanımını arttırmıştır. Bu nedenle de organik hızlandırıcıların bulunması kauçuk sanayinde önemli bir yere sahiptir. Kauçuk sanayinde diğer önemli bir katkı maddesi de antioksidanlardır. Kauçuk malzemelerin dayanıklılığı organik hızlandırıcılar ile artırılmasına rağmen antioksidanlar kauçuğun dayanıklılığını artırmada daha büyük öneme sahiptir. Kauçuk sanayinde önemli üçüncü katkı maddesi ise karbon siyahıdır. Karbon siyahı uzun yıllardan beri renklendirici olarak kullanılmasına rağmen ilk defa 1914 yılında malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği ve özellikle de yüksek oranda sürtünmeye maruz parçaların aşınma ve yırtılma dirençlerini arttırdığı bulunmuştur. Kauçuk kullanımının en fazla olduğu otomobil tekerleklerinde karbon siyahı katkı maddesinin kullanımı, malzemenin mekanik özelliklerini artırması yanında tekerleğin ömrünü de oldukça arttırmıştır [4].

Kauçuk ve vulkanizasyon ile ilgili kısa bilgilerden sonra bu bildiriye ilgilene referanslar için süreç ise şu şekilde akmaktadır. Kauçuk hamur hanesinde üretilen hamur, vulkanizasyon işlemiyle metalle birleştirilmektedir. Bu birleştirme esnasında ve hamur üretimi esnasında kauçuğun kendi yapısından kaynaklanan iç gerilmeler ve kimyasal reaksiyonlar sonucu hatalar oluşmaktadır. Oluşan bu hatalar farklı değişkenlere bağlı olup sistemin istenilen düzeyde parça üretimini engellemektedir. Bu değişkenler genel olarak sıcaklık, hamur sertliği, basınç, pişirilme süresi, makine tipi vb. gibi değişkenlere bağlıdır. Bu bildiriye değişkenlerin süreci nasıl etkilediği istatistiksel yöntemlerle tespit edilerek süreç iyileştirilmesi açıklanacaktır.

Kauçuk malzemeler viskoelastik davranış gösterdikleri için diğer mühendislik malzemeleriyle kıyaslandığında mekanik özellikler yükleme hızı ve sıcaklıktan daha çok etkilenir. Zaman faktörünün göz önünde bulundurulduğu sürünme ve gerilme gevşemesi özelliklerinin belirlenmesi ön plana çıkar [5]. Karbon siyahı konsantrasyonunun ve farklı sıcaklık ve süreler için uygulanan yaşlandırma işleminin EPDM kauçuğunun çekme dayanımı, uzama, sertlik değerleri ve yırtılma dayanımına etkileri üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır [6].

Vulkanizasyon sırasında kauçuğa, vulkanizasyon için gerekli zaman ve kükürt miktarını azaltan hızlandırıcılar, yaşlanmayı geciktiren antioksidanlar, mekanik dayanımı arttıran ve/veya ekonomi sağlayan dolgu maddeleri ile ayrıca yumuşatıcılar ve yağlayıcılar katılır.

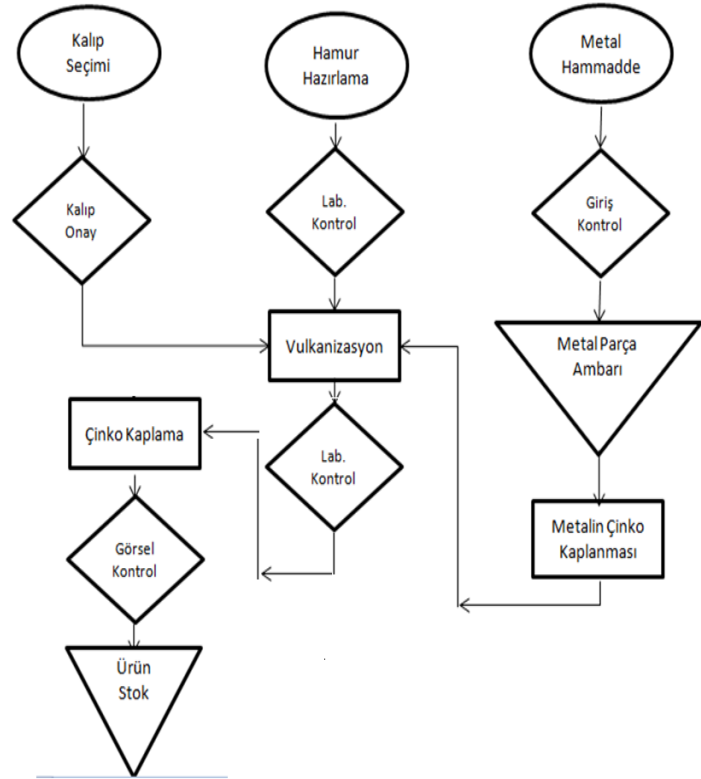
Vulkanizasyon sırasında kükürt oranının tek değişken olarak alınmaması, pişirici madde miktarı ile bir arada değerlendirilerek pişirme sistemlerinin seçilmesi gerektiği görülmüştür.

İşletmede esneme problemleri yaşanan parça için deneysel tasarım uygulanacaktır. Seçilen parçanın malzemesinin hamuru işletmenin kendi bünyesinde üretilmektedir. Çalışma kapsamında

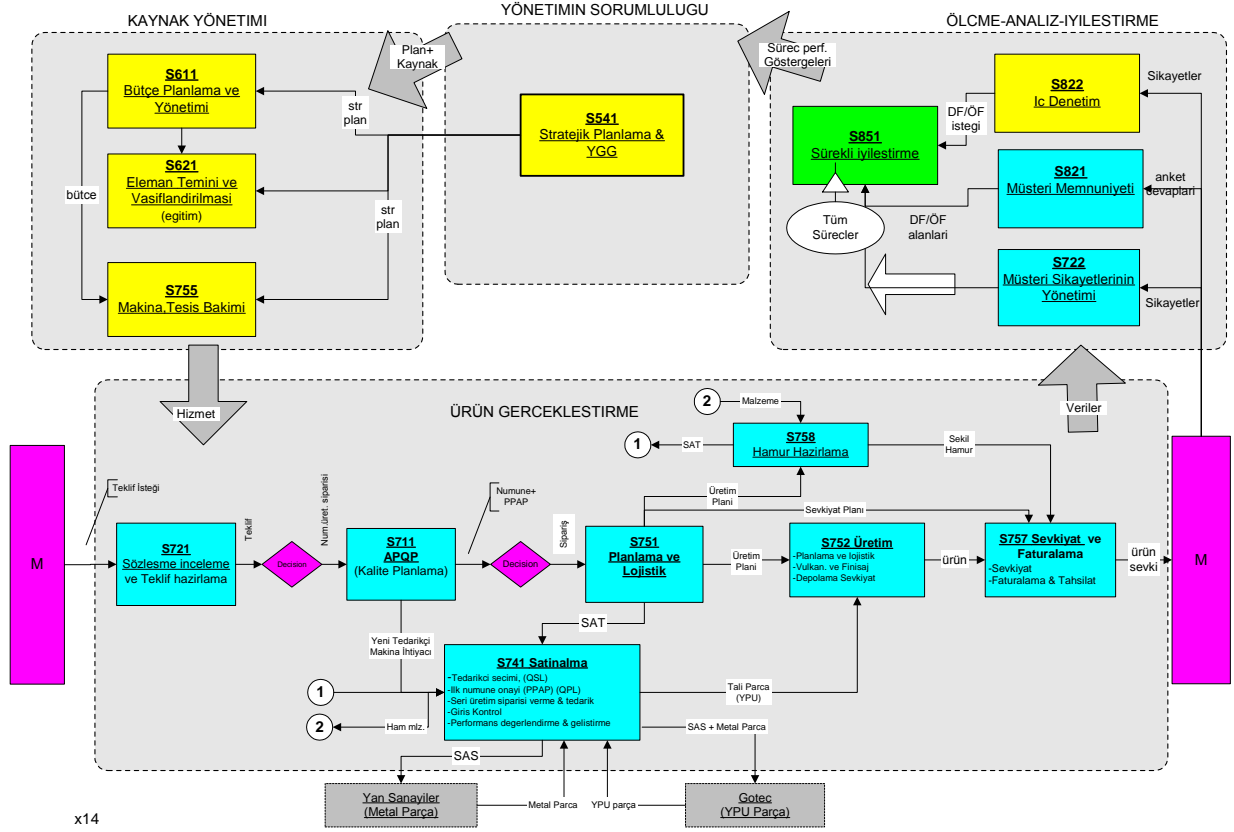
hamurun parçaya etkisi ve vulkanizasyonun etkisiyle ilgilenilecek ve esneme problemleri yeni belirlenen parametreler ile üretilip esneme problemlerinin ortadan kaldırılması sağlanacaktır.

## 2. SİSTEM ANALİZİ

İlgilenilen firmanın ürettiği titreşim elemanlarının birçoğu kauçukla beraber işleme giren metal bileşenlerden oluşmaktadır. Birleşime girecek olan metal parçalar tedarikçilerden temin edilmektedir. Bu metaller ilk olarak giriş kalite kontrolde (GKK) belirli yöntemlerle tolerans ölçümlerden geçirildikten sonra parçaların üretime geçip geçmeyeceğine karar verilir. Herhangi bir müşteri şikâyeti bulunmayan parçalar esnek şekilde, en az bir şikâyet almış olan tedarikçi parçaları sıkı ölçümlerden geçirilir. Kabul edilen metaller, metallerin taşlama işlemi ve yapıştırıcı ilavesi için başka ilgili firmalara gönderilir. Yapıştırıcı ilavesi ve taşlama işleminden sonra metaller üretime girmeden önce gözle kontrolü ve yapıştırıcı kalınlığının ölçümleri yapıldıktan sonra üretime girmek için üretim hammadde deposunda bekletilmektedir. Kauçuk imalatı, işletmede yer alan hamurhanede, her farklı hamur için gerekli kimyasal maddeleri ekleyerek yapılmaktadır. Kauçuk hamurhanesinden çıkan hamur önce kauçuk laboratuvarına gönderilir orada gerekli deneyler ve benzetimler yapıldıktan sonra onay alan hamur üretime gönderilir ve vulkanizasyon işlemi gerçekleştirilir. Vulkanizasyon işleminden sonra en az 2 saat soğutulan ürün kontrol için üretim laboratuvarına gönderilir. Orada yapılan deneyler sonucu parçalar yeterli spesifikasyon değerleri içinde ise üretimin devam etmesi yönünde karar verilir. Eğer parçanın esneme, mukavemet, ömür, vb. limitleri müşteri isteği dışında ise üretim durdurulur. Eğer sorun hamurun yapısından kaynaklanıyorsa tekrar kimyasallar eklenmesi için hamurhaneye karıştırılmak için gönderilir. Tekrar aynı süreçlerden geçen hamur vulkanizasyona hazır hale geldiğinde üretime gönderilir. Üretim laboratuvarında hata çıkmayınca kadar bu işlemler tekrarlanmaktadır. Daha sonra çinko ile kaplanarak %100 göz kontrolü yapıldıktan sonra teslimata hazır parça halini alan ürünler satışa hazır hale gelir. Bu bildiriye kullanılacak parçanın akış diyagramı Şekil 1’de üretim akış şeması ise Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Seçilen parçanın akış diyagramı



Şekil 2. Seçilen parçanın üretim akış şeması

Bu bildiride, süreç iyileştirmesi amacıyla istatistiksel süreç kontrolü [7] ve özellikle deneysel tasarım yöntemlerinden [8, 9] faydalanılacaktır. Deneysel tasarım yöntemi olarak, tam faktöriyel yöntemi benimsenmiştir. Bu sayede tüm faktörlerin etkisi incelenebilecektir.

### 3. UYGULAMA

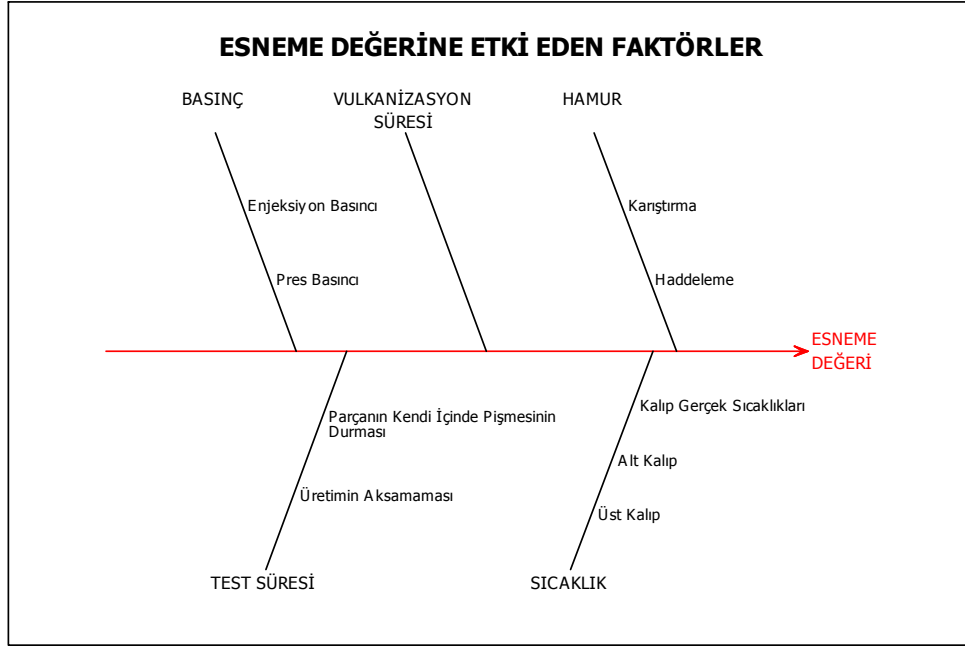
Deneysel tasarım yönteminin uygulanması için donanımsal şartlar firma tarafından sağlanmıştır. Deneylerin gerçekleştirilebilmesi için gereken metal parçalar tedarik edildiği gibi ürünlerin imal edilebilmesi için gereken kauçuk, firmada kauçukhanede üretilmiştir.

Deneye tabi tutulacak vulkanizasyon işlemi preshanedeki 100 tonluk kauçuk enjeksiyon preste gerçekleştirilecektir. Bu pres 230 bar basınçlı kauçuğu pres kalıplarına enjekte edebilecek özelliğe sahiptir.

Deneyler gerçekleştirildikten sonra deney sonuçlarını gözlemleyebilmek için ölçüm yapılacak araçlar ve cihazlar kalite laboratuvarından elde edilmiştir. Esneme testi için Zwick/Roell marka cihaz kullanılmıştır. Test işlemi 10 mm/dakika hızda 100 N, 275 N ve 450 N'luk yorma şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Deney sıralarını belirlemek, bazı hazırlık işlemlerini kolaylaştırmak ve deney sonuçlarını istatistiksel olarak analiz etmeyi kolaylaştırmak adına Minitab adlı yazılımın 15. versiyonu kullanılmıştır.

Kauçuğun esneme değerini etkilediği öngörülen parametrelerin bir listesi kaynak taraması ve firma çalışanlarının tecrübeleri ile oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Esneme değerine etki eden faktörler için balık kılıçlı diyagramı

Bu parametreler temelde “hamur parametreleri” ve “süreç parametreleri” olarak ikiye ayrılmaktadır. Firma tarafından yapılan yönlendirme gereği bu çalışmada “süreç parametreleri” ile ilgilenilmesine karar verilmiştir. Bu faktörler Tablo 1’de verildiği şekilde iki seviyede incelenmiştir.

Çalışmanın tutarlılığının artırılması ve daha sonraki bölümlerde irdelenecek ilk deney setinin bir takım eksik sonuçları sebebiyle iki deney seti gerçekleştirilmesine ilk deney seti sonrası karar verilmiştir.

Tablo 1. Faktörler ve Seviyeler

	Faktör	1. Deney Seti		2. Deney Seti	
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 1	Seviye 2
1.	Pres Üst Kalıp Sıcaklığı	185 °C	190 °C	<b>165 °C</b>	<b>175 °C</b>
2.	Pres Alt Kalıp Sıcaklığı	190 °C	195 °C	<b>190 °C</b>	<b>195 °C</b>
3.	Vulkanizasyon Süresi	460 saniye	510 saniye	<b>400 saniye</b>	<b>510 saniye</b>
4.	Esneme Testi Bekleme Zamanı	5 saat	52 saat	<b>6 saat</b>	<b>52 saat</b>

“Pres Üst Kalıp Sıcaklığı” ve “Pres Alt Kalıp Sıcaklığı” parçanın üretildiği presin üst ve alt plakalarının pres makinesinde ayarlanan sıcaklıklarını ifade etmektedir. Parçalar üretilirken kalıbın gerçek sıcaklığı makinede ayarlanandan farklı olabileceğinden bu değerlerde olası değerlendirmeler için deneyler sırasında ölçülmüştür.

Diğer bir faktör olan “Vulkanizasyon Süresi” kauçuk kalıba enjekte edildikten sonra makinenin otomatik olarak beklediği süreyi ifade eder. Bu sırada kalıptaki kauçuk pres yardımıyla hem sıkıştırılır hem de belirlenen sıcaklıklara maruz bırakılarak kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi yani diğer bir deyişle vulkanizasyon işleminin gerçekleşmesi sağlanır.

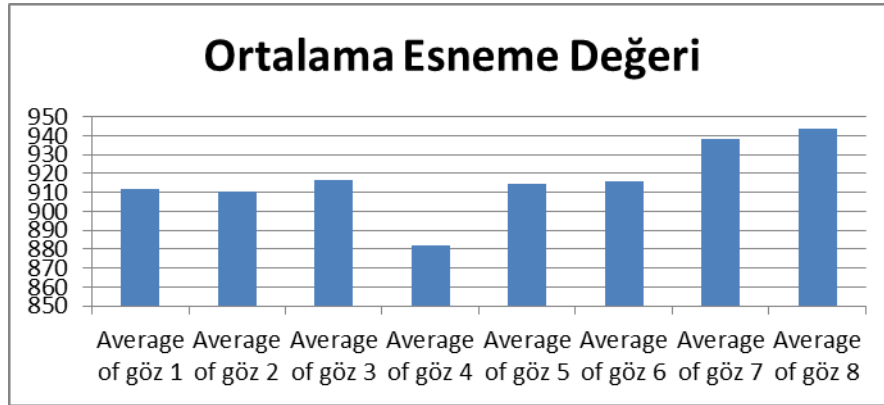
Kauçuk bileşenli seçilen parça prestan çıktıktan sonra da kendi halinde kimyasal reaksiyonlara devam eder. Bu sebepten parça üretildikten sonra esneme değerinin ölçüleceği esneme testinin

üretimden ne kadar zaman sonra gerçekleştirildiği önem kazanmaktadır. "Esneme Testi Bekleme Zamanı" ise bu bekleme zamanını ifade eder.

Tablo 1'de belirtilen faktörlerin seviyeleri firma tarafından daha önce yapılan üretim işlemlerinde en çok kullanılan değerler olarak seçilmiştir. Kauçuk, parçanın üretildiği prese üst kısımdan enjekte edilmektedir. Kauçuğun prese gelirken henüz yolda pişmeye başlayıp kalıp içinde kavrulabileceği şüphesi sebebiyle ikinci deney setinde üst plaka sıcaklığı daha düşük seçilmiştir. Bunun yanında vulkanizasyon süresinden kazancın doğrudan çevrim zamanından kazanç olduğu düşünülürse kısa vulkanizasyon süresinin olumlu bir sonuç oluşturacağı dikkate alındığından ikinci deney setinde daha düşük bir değer seçilmiştir. Son olarak 5 saatin yaz aylarında parçaların soğuması için yeterli zaman olmayacağı ikinci deney setinde testler sırasında görüleceğinden erken test zamanı değeri 6 saate çıkartılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uygulama bölümünde sunulan deney setlerindeki deneyler, sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Müşteri talebine göre seçilen parçanın esneme değerleri 950 N/mm ile 1190 N/mm arasında olması gerekirken sonuçlar incelendiğinde 1. deney setinde parçaların büyük çoğunluğu istenilen aralık dışında kalmıştır. Genel olarak ortalama esneme değerleri ise Şekil 4'de görüldüğü gibi gerçekleşmiştir.



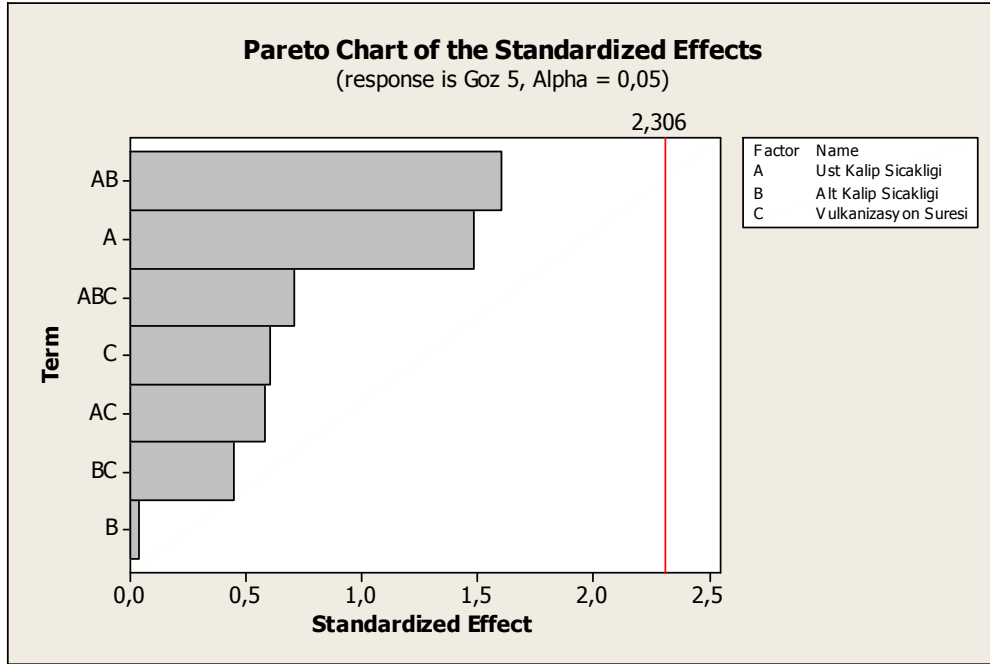
Şekil 4. Gözlerin ortalamalarının değişimleri

Deneyel tasarım sonucuna göre dört faktörden sadece "Esneme Testi Bekleme Zamanı" esneme değerine etken faktördür. Parçaların esneme değerleri aralığı dışında çıkması istenilen bir durum olmadığından süreç dâhilinde ikinci deney setinin yapılması uygun görülmüştür.

2. deney setinde seviyelerde ilgili değişiklikler yapılmış ve etken faktör olan test zamanı analizden ayrılmıştır. Fakat iki deney setini karşılaştırabilmek adına ölçümler yine iki seviyede (6. ve 52. Saatlerde) ve iki tekrarlı(replikasyon) olarak gerçekleştirilmiştir. İlk deney setinde kullanılan hamur 7 dakika karıştırılmıştır. Fakat ikinci deney setinde bu süre 9 dakikaya çıkartılarak daha homojen bir hamur elde edilmesi amaçlanmıştır.

2. deney seti sonuçlarına göre tüm parçalar esneme değeri aralığındadır. Ancak deneyel tasarım analizi açısından ilk deney setine göre önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir.

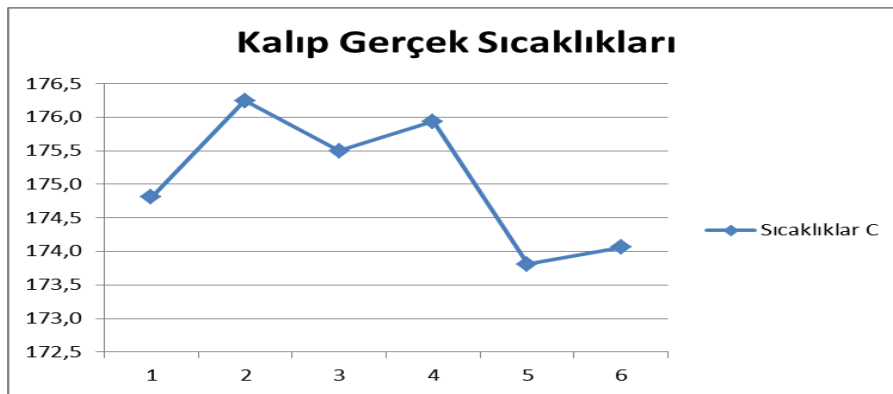
3 faktörlü durumda hiçbir faktörün etken faktör olarak çıkmadığı tüm sonuçlara bakıldığında görülmektedir. Beşinci göz için örnek pareto diyagramı Şekil 5'de görülebilir:



Şekil 5. İkinci deney seti örnek sonucu (Göz 5 için)

Hata değeri ikinci sette de yine oldukça yüksektir. Hatanın nereden kaynaklandığına ilişkin yapılan incelemelerde makine hatasının göz ardı edilemeyeceği açıkça görülmektedir. Sonuçlar incelenecek olursa aynı göz için tüm süreç değerlerinin aynı olduğu iki replikasyonda 8 göz için esneme değerlerinin birbirinden oldukça farklı olduğu görülmektedir.

Deney sırasında ölçülen kalıp gerçek sıcaklıklarına göre ortalama sıcaklıklar Şekil 6'da verilmiştir. Bu sıcaklıklar kalıptaki gözlerin arasındaki 6 ölçüm noktasından alınmıştır.



Şekil 6. Kalıbın gerçek sıcaklıkları grafiği

Kalıptaki gözlerin esneme değeri üzerinde etkili olup olmadığı da deney sonuçlarına göre incelenmiştir. Esneme değerlerinin küçük değişikliklere sahip olduğu görülsede tüm gözler için

belirli bir eğilimde seyrettiği belirlenmiştir. Buradan gözlerin, esneme değeri üzerinde etkili olmadığı sonucuna varılabilir.

İki deney seti arasında esneme değerleri açısından büyük bir fark göze çarpmaktadır. İkinci deney setinde hamur 2 dakika daha fazla karıştırılmıştır. Bu sayede kauçukla karbon siyahı ve diğer maddelerin daha homojen karışması sağlanıp daha iyi bir kimyasal reaksiyon zinciri sağlanmış olabilir. Bu sebepten hamurun daha fazla karıştırılmasının esneme değerine olumlu yönde etki ettiği tahmin edilebilir.

Deney sonuçlarına göre üst ve alt kalıp sıcaklıkları ile vulkanizasyon süreleri esneme değerine etken faktörler değildir. Bu sebepten daha kısa çevrim zamanı için

- Üst kalıp sıcaklığı 165 °C
- Alt kalıp sıcaklığı 190 °C
- Vulkanizasyon süresi 400 saniye alınabilir.

Bu sayede daha kısa hazırlık zamanı ve işlem süreleri ile çevrim zamanında yaklaşık %20'lik bir iyileşme sağlanacağı öngörülmektedir.

Kalıbın 4. gözünün esneme değerleri ortalama olarak diğer gözlerle göre düşüktür. 4. gözün diğer bir özelliği ise kalıp gerçek sıcaklık değerleri açısından diğer noktalara göre yüksek olan 2. ve 4. sıcaklık ölçüm noktaları arasında yer alıyor olmasıdır. Yüksek sıcaklık olası bir kavrulmaya sebebiyet vererek esneme değerini düşürüyor olabileceğinden, kalıbın bu bölgesi kontrol edilmelidir.

İki deney seti açısından düşük seviye test zamanında farklılık bulunmaktadır (5-6 saat). İkinci deney setinde ilk üç parça 5 saatte ölçüldüğünde istenilen esneme değeri aralığı dışında iken 6 saat ölçümünde parçanın bu aralıkta olduğu tespit edilmiştir. Bu ise parçaların oda sıcaklığında iken ölçülmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

## 5. KAYNAKÇA

- [1] ANONİM. Elastomers and Rubbers, **Machine Design**, 61, 294-327, (1989).
- [2] CRAIG, A. S., **Rubber Technology. A Basic Course**, Oliver and Boyd Ltd., Edinburgh, (1963).
- [3] SAVRAN, H. Ö. **Elastomer Teknolojisi I**, Kauçuk Derneği Yayınları, İstanbul, 93-99, (2001).
- [4] ANONİM. Natural Rubber, Newsletter of the Rubber Foundation Information Center for Natural Rubber, 20, 4, 4 (2000).
- [5] GINIC-MARKOVIC, M., DUTTA, N. K., DIMOPOULOS, M., CHOUDHURY, N.R . ve MATISONS, J. G. Viscoelastic behaviour of filled, and unfilled, EPDM elastomer, **Thermochimica Acta**, 357-358, 211-216, (2000).
- [6] HAMZA, S. S. Effect of aging and carbon black on the mechanical properties of EPDM rubber, **Polymer Testing**, 17, 131-137, (1998).
- [7] OAKLAND, J. S. **Statistical Process Control**, Butterworth-Heinemann, (2008).
- [8] COX, D. R. ve REID, N. **The Theory of the Design of Experiments**, Chapman and Hall/CRC, (2000).
- [9] FUNKENBUSH, P. D. **Practical Guide To Designed Experiments: A Unified Modular Approach**, CRC Press, (2004).