

## Taşıtlarda Katlanabilir Koltuk Sistemleri için Selonoid Aktüatör Tasarımı

Design and Analysis of Solenoid Actuator for Vehicle Foldable Seat Structure

Uğur DEMİR<sup>1</sup> 

*1Ar-Ge Merkezi, Coşkunöz Holding A.Ş., 16310, Bursa, Türkiye*

### Öz

Bu çalışmada motorlu araçlar için koltuk kilidi aktüatörleri ele alınmıştır. Genel olarak koltuk kilitleri, elektrikli ve mekanik olarak tahrik edilen iki modelden oluşurlar. Bu çalışmada elektrikli koltuk kilitleri üzerine odaklanılmıştır. Elektrikli koltuk kilitlerinde tahrik sistemleri için elektrik motorlu ve selonoid aktüatörlü olmak üzere iki yöntem mevcuttur. Dahası birçok uygulamada koltuk kilidini tahrik etmek için elektrik motorlarının selonoidlere göre daha fazla kullanıldığı görülmüştür. Koltuk kilidini tahrik etmek için elektrik motoru ve selonoid aktüatör modelleri incelenmiştir. Elektrikli koltuk kilidi için elektrikselsel ve mekanik tasarım gereksinimleri, otomotiv ana sanayi şartnameleri ve yasal regülasyonlar üzerinden ele alınmıştır. Elektrikli koltuk kilidi için mekanik gereksinimler, elektrik motoru ve selonoid aktüatör modellerinde benzerdir. Diğer taraftan, Elektrikli koltuk kilidi için elektrikselsel gereksinimler, elektrik motoru ve selonoid aktüatör arasında birçok farklılık göstermektedir. Elektrikli koltuk kilidi için sınır şartlar ve tasarım ile test kriterleri düşünüldüğünde, tahrik yönteminde selonoid aktüatör kullanımı, maliyet ve tasarım konuları açısından elektrik motoruna göre birçok avantaj sağlamaktadır. Elektrikli bir koltuk kilit mekanizmasının fonksiyonunu yerine getirebilmesi için gerekli olan tahrik kuvveti ve deplasmanı müşteri şartnameleri incelenerek tayin edilmiştir. Bu çalışmada, Ansys Maxwell ortamında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, selonoid'in tasarım kriterlerinde belirlenen bir süre dahilinde taşıyıcı hareket kolunun deplasmanı ve uyguladığı kuvvet analiz edilmeye çalışılmıştır. Analiz çalışmalarında Taguchi'nin deney tasarımı yöntemi kullanılarak kritik tasarım parametrelerinin belirlenmesinin ardından, ihtiyaç duyulan tasarım kriterlerini sağlayabilmesi için uygun tasarım modeli seçilerek çalışma tamamlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Aktüatör; sonlu elemanlar yöntemi; elektromekanik aktüatör; elektrikli koltuk kilidi; selonoid aktüatör, deney tasarımı

### Abstract

This study presents the seat latch actuators for the vehicle. There are generally two types of seat latch actuators which are electrical seat latch and mechanical seat latch. Electrical seat latch type was analyzed in this study. The structures of electrical seat latch actuator were defined as powered by electric motor and powered by solenoid. Besides, most of application for electrical seat latch uses the electric motor (brush electric motor) to actuate/open the latch. The types of electric motor and solenoid actuator were investigated. The design requirement, original equipment manufacturer specification and formal regulations show that mechanical and electrical requirements for electrical seat latch. The mechanical requirements are same for electric motor and solenoid actuator. On the other hand, electrical requirements for electrical seat latch show a lot of difference between electric motor and solenoid actuator. Therefore, using a solenoid actuator has more advantages than using electric motor to open the latch in terms of cost and design. The required actuation force and displacement to open the seat latch mechanism was defined by customer specifications. In terms of the displacement and produced force by solenoid, the mover (core) behavior of solenoid was investigated in the case of the limited duration of analysis on the Ansys Maxwell environment according to design constraints and criteria. The critical design parameters were determined by using Taguchi's design of experiment method. Then suitable solenoid model was determined for providing the desired design criteria.

**Keywords:** Actuator; finite element method; electromechanical actuator; electrical seat latch; solenoid actuator; design of experiment

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, sportif arazi aracı, kamyon, kamyonet, binek ve hafif ticari gibi birçok araç tipi katlanabilir koltuk sistemine sahiptir. Bu tip araçlarda katlanabilir koltuk sistemlerinin dik pozisyonda kalabilmesi için koltuk kilitleri kullanılmaktadır [1]. Koltuk kilitleri, gerekli olduğu durumlarda bagaj hacmini artırabilmek için koltuğun dik pozisyonundan serbest kalmasını sağlayan otomotiv komponentleridir. Bir koltuk kilidinde ait montaj, yerleşim alanı ve fonksiyonunu içeren bir görsel Şekil 1'de verilmiştir [2]. Aynı zamanda, koltuk kilitleri çarpışma anında

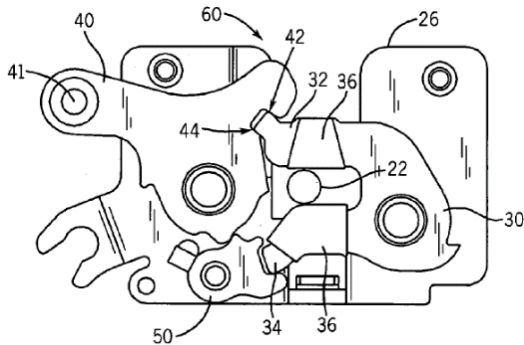
koltuğun kilitli kalarak bagaja yüklenmiş kütle için önüne doğru gelmesini engelleyen bir güvenlik elemanıdır. Koltuk kilitleri, bu işlemi bağlı buldukları kapı kilit karşılığını sıkıca kavrayarak gerçekleştirebilmektedir [3].



Şekil 1. Katlanabilir koltuk sistemi fonksiyonu [2]

### 1.1. Mekanik Koltuk Kilitleri

Koltuk kilitleri genellikle, araç gövdesine ya da araç koltuğuna monte edilen bileşenlerdir. Bir koltuk kilidi, taban braketini üzerinde dönebilen bir çene, mandal, sabitleme pin'i ve yaydan oluşur. Taban üzerinde yer alan çene, dönerek, araç gövdesi üzerine yerleştirilen kilit karşılığını kavramaktadır. Taban braketini üzerinde yer alan mandal ise, çenenin kilitlenmesine ya da serbest kalmasına izin verir. Bu mekanik etkileşimde, yay ise çenenin mandalı kavramasını sürdürmesi için gerekli olan elastik kuvveti sağlamaktadır [4]. Koltuk kilidinin, kavrama ve serbest bırakma pozisyonu, kilit karşılığının pozisyonu ile sınırlıdır [5].



Şekil 2. Arka koltuk kilit mekanizması [6]

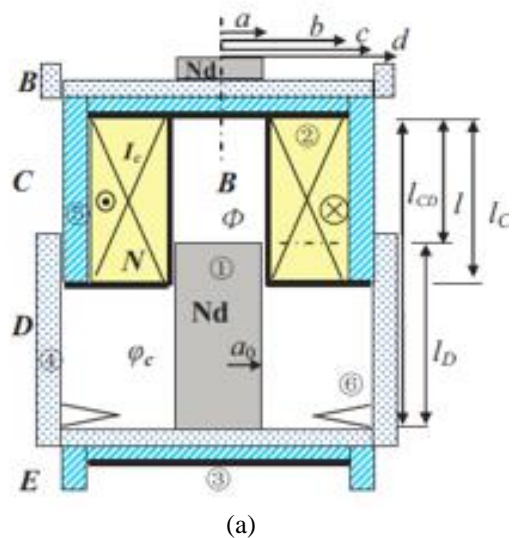
Otomotivde kullanılan kilit mekanizmaları genellikle benzerdir. Bir koltuk kilidi, otomotivde kullanılan birçok kilit mekanizması ile benzer yapıya sahiptir. Tipik bir arka koltuk kilidi, araç koltuğunun dik pozisyonda durmasını ya da serbest kalarak katlanabilmesini sağlamaktadır. Şekil 2'de arka koltuk kilidine ait bir görsel paylaşılmıştır. Buradaki görselde gıcırda gibi mekanik gürültüleri önlemek için mandal (32) üzerine enjeksiyonlanan bir sönümlenme malzemesinden (36) bahsedilmiştir. Bu sayede, kilit karşılığı (22) mandal üzerindeki sönümlenme malzemesi (36) arasında sıkışarak, mekanik gürültü problemi çözülebilmektedir [6].

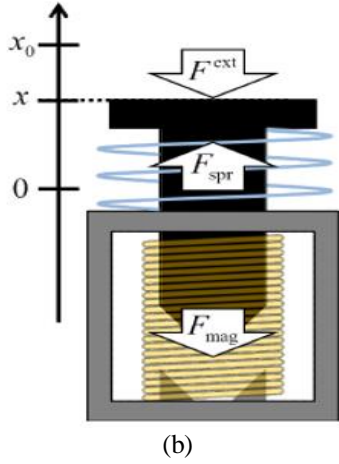
### 1.2. Elektrikli Koltuk Kilitleri

Elektrikli koltuk kilitleri, mekanik bir tahrik enerjisinden ziyade koltuğun serbest kalmasını sağlayan bileşenlerdir. Mekanik kilitler, mekanik olarak içten ve dıştan araç gövdesine bağlıdır. Elektrikli kilitler ise mekanik bir bağlantıdan ziyade uygun bir konuma yerleştirilen bir mikro anahtardan alınan bir sinyal ile kilidin serbest kalmasını sağlamaktadır [7]. Kilit fonksiyonunu sağlayan aktüatörler, elektriksel ve mekanik bileşenlerden oluşurlar. Bundan dolayı, özellikle mekanik bileşenler, ürün içerisine toz girişinden negatif olarak etkilenebilirler. Dolayısıyla, kilit sistemleri ürün içine doğru sızabilecek yabancı maddelere karşı IP67 gereksiniminin sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Genelde, elektrikli kilitler küçük elektrik motorları ile tahrik edilirler. Bazı regülasyonlarda ise elektrikli kilitler için manuel (elle) açılabilme opsiyonu zorunlu kılınabilmektedir. Ayrıca, elektrikli koltuk kilitleri için serbest bırakma zamanı endüstriyel uygulamalarda farklı zamanlarda gerçekleşebilmektedir. Bazı uygulamalarda ise dişli oranına bağlı olmak kaydıyla kilidin serbest kalma zamanı, ortalama 200 milisaniye almaktadır [8]. Orijinal ekipman üreticileri (OEM) ve yasal regülasyonlarda, kritik güvenlik elemanlarının hem mekanik hem de elektriksel olarak aktive edilmesi bir gerekliliktir [9].

### 1.3. Selonoid Aktüatörler

Bir selonoid için tasarım parametreleri, hareket mesafesine bağlı olarak ihtiyaç duyulan kuvvetin üretilebilmesi göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır. Bazı çalışmalarda, selonoid aktüatörler için sabit mıknatıslı tertibatlar kullanılmıştır. Sabit mıknatıslı bir selonoid'e ait görsel Şekil 3'de verilmiştir [10].





Şekil 3. Selonoid modeli (a) sabit mıknatıslı (b) sabit mıknatıssız [10,16]

Şekil 3 (a)' da gösterilen aktüatör, temel olarak, sabit mıknatıs, ferit bir nüve ve bir yaydan oluşur [10]. Sabit mıknatıs kullanımı, daha düşük güçlerle yüksek kuvvetler üretebilme imkanı sağladığından üretim açısından maliyet avantajı sağlamaktadır [11]. Birçok robotik uygulamada, doğrusal ve rotasyonel harekete ihtiyaç duyar. Özellikle doğrusal hareket gereksinimleri bazı uygulamalarda önemli bir ihtiyaç haline gelmektedir. Doğrusal bir hareketi üretmek için genellikle iki metot kullanılır. Bu metotlardan ilki rotasyonel hareketin, doğrusal harekete dönüştürülmesi aracılığı ile sağlanırken, diğer metotta doğrusal hareket farklı bir ekipmana ihtiyaç duyulmaksızın lineer bir aktüatör ile sağlanır. Burada bahsedilen ilk metotta, mekanik kayıplar ve ilave tasarım maliyetleri ortaya çıktığından daha çok doğrusal hareketlerin lineer aktüatörler vasıtasıyla üretilmesi tercih edilmektedir [12]. Selonoid aktüatörlerin kontrolü temel elektromanyetik formüller ile tanımlanabilmektedir [13]. Selonoid aktüatörler, güç iletim sistemleri gibi birçok kontrol prosesinde de kullanılmaktadır [14]. Selonoid aktüatörler, valf ve anahtar olarak da kullanılabilir. Selonoidlerin öne çıkan en önemli özellikleri ise düşük maliyet ve basit yapılarıdır. Bir selonoidin temel yapısında, bir taşıyıcı hareket kolu, bir yay, bir stator, bir bobin ve tipine bağlı olarak sabit mıknatıs yer almaktadır [15]. Şekil 3 (b), sabit mıknatıssız bir selonoid üzerindeki kuvvetleri göstermektedir. Bu kuvvetler,  $F_{ext}$  (Dış Kuvvet),  $F_{spr}$  (Yay Kuvveti) ve  $F_{mag}$  (Mıknatıslanma Kuvveti) olarak isimlendirilmektedir [16]. Bir selonoid'in pozisyonunu hesaplamak için indüktans ve pozisyon arasındaki ilişkiyi incelemek gerekir. Selonoid aktüatöre ait bir devre (1) numaralı eşitlik ile formüle edilebilir.

$$v = Ri + \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Buradaki  $v$ ,  $R$ ,  $\Phi$  ve  $t$ , sırasıyla voltaj, iç direnç, akı ve zamanı temsil etmektedir. Akı ise eşitlik (2) ile hesaplanır.

$$\Phi = Li \quad (2)$$

Buradaki  $L$  selonoid'in indüktansını ve  $i$  ise selonoid'in bobini üzerinden geçen akımı temsil etmektedir. Aynı zamanda, voltaj ve akım, dc (doğru akım) ve ac (alternatif akım) bileşenlerine sahiptir. Dolayısıyla buradaki voltaj ve akım eşitlik (3) ve (4) ile temsil edilmektedir.

$$v = v_{ac} + V_{dc} \quad (3)$$

$$i = i_{ac} + I_{dc} \quad (4)$$

Bir selonoid'in indüktansını hesaplamak için eşitlik (1)'den eşitlik (4) kadar olan formülasyonlar göz önüne alındığında, indüktans değeri eşitlik (5) ile tanımlanabilir.

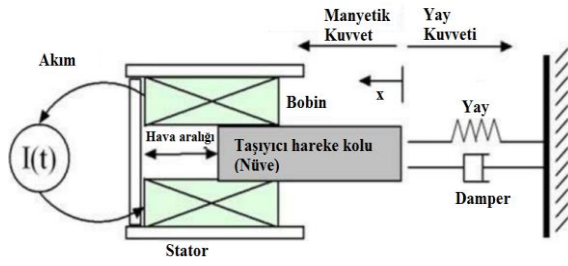
$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{v_{ac}}{i_{ac}}\right)^2 - \left(\frac{V_{dc}}{I_{dc}}\right)^2} \quad (5)$$

Eşitlik (5)'de  $\omega$ ,  $v_{ac}$ , ve  $i_{ac}$ , açısal frekans, ac voltajın genliği ile ac akımın genliklerini temsil etmektedir [15]. Selonoid'in bobini üzerinden geçen akım manyetik bir alan oluşturur. Selonoid bobini üzerine şarj edilen enerji ise eşitlik (6) daki gibi hesaplanır [17].

$$W_{mag} = \frac{V}{2} L(x, i) i^2 \quad (6)$$

Buradaki  $V$  hacim katsayısı,  $L$  bobin indüktansı,  $x$  taşıyıcı hareket kolunun pozisyonu,  $i$  geçen akım'ı temsil etmektedir. Taşıyıcı hareket kolu ile stator arasındaki hava aralığı mesafesinin değişimi, selonoid üzerindeki bobinin indüktansını değiştirir. Ayrıca akım arttığında, manyetik saturasyonun bir sonucu olarak, indüktans değeri değişir. Buradaki indüktans, taşıyıcı hareket kolunun pozisyonu  $x$  ve bobin üzerinden geçen akımını bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Manyetik kuvvet  $F_{mag}$  ise eşitlik (7)'deki gibi hesaplanabilir [18].

$$F_{mag} = \frac{V}{2} \left| \frac{\partial L(x, i)}{\partial x} \right| i^2 \approx \frac{V}{2} \left| \frac{\partial L(x, i)}{\partial x} \right| i_{dc}^2 \quad (7)$$

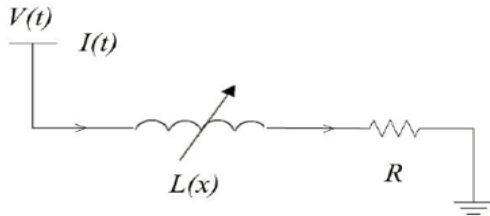


Şekil 4. Selonoid bir aktüatör için kütle-yay-damper modeli [18]

Bir selonoid'e ait kütle-yay-damper modeli Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu sistemin matematiksel modeli ise eşitlik (8)'deki gibi hesaplanabilir.

$$m \frac{d}{dt} \left( \frac{dx}{dt} \right) + c \frac{d}{dt} + kx(t) = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A I(t)^2}{2(e+x_0-x(t))^2} \quad (8)$$

Buradaki  $x(t)$  taşıyıcı hareket kolunun zaman bağlı yer değiştirmesini,  $\mu_0$  havanın geçirgenliğini,  $A$  taşıyıcı hareket kolunun kesit alanını,  $N$  bobin sarım sayısını,  $\mu_r$  bobin ve taşıyıcı hareket kol arasındaki dielektrik malzemenin geçirgenliğini,  $x_0$  taşıyıcı hareket kolu ile stator arasındaki hava aralığını,  $e$  selonoid'in geometrisinden kaynaklanabilecek ilave hava aralığını temsil etmektedir. Ayrıca  $m$  kütle,  $k$  yay katsayısı ve  $c$  damper katsayısını temsil etmektedir.



Şekil 5. Selonoid'in eşdeğer devre modeli [18]

$I(t)$  bobin üzerinde zamana bağlı geçen akımı temsil eder. Genellikle pratik uygulamalarda akım kaynağından ziyade gerilim kaynağı giriş kaynağı olarak kullanılır.  $V(t)$  selonoid'in giriş kaynağını temsil etmektedir. Şekil 5'de bir selonoid'e ait elektriksel eşdeğer devre modeli gösterilmiştir. Buradaki  $R$  selonoid'in direncini,  $L(x)$  taşıyıcı hareket koluna bağlı indüktansı,  $x$  taşıyıcı kolun pozisyonu (hava aralığını) temsil etmektedir.  $L(x)$  eşitlik (9)'daki gibi formülize edilebilir.

$$L(x) = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{e+x_0-x(t)} \quad (9)$$

$I(t)$  akımı, taşıyıcı hareket kolunun uygulayacağı manyetik kuvveti belirler. Cheung, gerilim kaynağı ile sürülen bir selonoid'in dinamik akım davranışı üzerine çalışmıştır. Dinamik indüktans değişimini

incelendiğinde, devre dinamiği eşitlik (10)'daki gibi hesaplanabilmektedir [18-19].

$$L(x) \frac{dI(t)}{dt} + \frac{dL(x)}{dt} I(t) + I(t)R = V(t) \quad (10)$$

## 2. METOT

Elektrikli koltuk kilitleri için tasarım şartnameleri, müşteri gereksinimleri ve yasal regülasyonlar, mekanik ve elektriksel kriterlerden oluşmaktadır. Bu kriterlerin büyük bir çoğunluğu mekanik sınır şartları ve gereksinimlerden oluşmaktadır. Bu kriterler Tablo 1'de verilmiştir [20].

Tablo 1. Tasarım doğrulama kriterleri [20].

No	Test İsmi	Kabul Kriterleri
1	Statik Test $F_x=2960$ daN, $F_y=325$ daN, $F_z=1262$ daN Bileşke= $3235$ daN (Static Test)	Test Sonrası Kırılma/Kopma Olmaması Gerekli.
2	Açılma Eforu (Unlock Effort)	Uygulanamaz. (Elektrikli Aktüatörler için Uygulama Dışı)
3	Kilitlenme Eforu (Lock Effort)	<25daN
4	Klimatik Dayanım - $30^\circ\text{C} / +70^\circ\text{C}$ , 5000 Çevrim (Climatic Durability)	Test Sonrası Ürün Fonksiyonelliğini Devam Ettirmeli.
5	Isınma Direnci (Heat Resistance)	80°C de 22 saat Boyunca ve Sonrasında Görsel Değişim Olmamalı. Fonksiyonel Bozukluk Olmamalı.
6	Gıcırdama ve Gürültü Testi (Squeak and Rattle Test)	Müşteri Tarafından Özel İstekler Doğrultusunda Gerçekleştirilir.
7	Fonksiyonel Test (25Nm Tork Altında) (Functional Test under Fixing Condition)	Kilit Fonksiyonunu Korumalı ve Açılmamalı.
8	Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)	Bir Komponent Olarak Motor Tanımlı Laboratuvarlarda Test Edilmeli.
9	Montaj – Demontaj (Assembly – Disassembly)	3 Kez Montaj-Demontaj Sonrası Fonksiyonel Bozulma Olmamalı.
10	Perçin Pinlerinin Tork Direnci (Torque Resistance of Riveting Pins)	Perçin Pinleri, 25 +/- 3 Nm Torka Dayanmalı, Fonksiyonel Bozulma Olmamalı.
11	Korozyon Direnci (Corrosion Resistance)	Fonksiyonel Bozukluk Olmamalı.

Elektrikli ve mekanik (manuel) koltuk kilitleri bir araç için güvenlik elemanları olduğu için ECE (Economic Commission for Europe) regülasyonlarını güvenlik kriterleri açısından doğrulanması gerekir. Ayrıca elektrikli bir koltuk kilidinin Tablo 1’de yer alan EMC (Elektromanyetik Uyumluluk) gereksinimini de sağlaması gerekir. Burada mekanik olan güvenlik gereksinimlerinden ziyade, elektriksel gereksinimler incelenmeye çalışılmıştır [20]. Bu çalışmada ele alınan koltuk kilidi otomotiv ana sanayilerinden olan JLR (Jaguar Land Rover) standartlarında yer alan gereksinimlere göre değerlendirilmiştir. Bu şartnameye göre, elektrik - elektronik komponentler ve bunların alt sistemleri kategorize edilmektedir. Bu kategoriler, pasif modül (P), indüktif aygıtlar (R), elektrik motorlar (BM) ve aktif elektronik modüller (EM yada AX) den oluşmaktadır. Tablo 2’de tasarım kriterleri için seçim matrisi yer almaktadır. Temel olarak, elektrikli koltuk kilitleri için selonoid yada elektrik motorlu aktüatör tiplerini bu seçim matrisi üzerinden seçilmesi öngörülmektedir. Burada selonoid aktüatörler için (R), elektrik motorlu aktüatörler için (BM) kategorisi seçilmektedir [21].

**Tablo 2.** Tasarım kriteri seçim matrisi [21].

✓	Kriter Tipi	Test Adı	Komponent Kategorisi				
			P	R	BM	EM	AX
Kriter Uygulanabilirliği (✓)	Radyo Frekans Emisyon Testi (RF Emissions)	RE 310			✓	✓	✓
		CE 420			✓	✓	✓
	Geçici Rejim Yayılım Testi (Conducted Transients)	CE 410		✓	✓	✓	
	Radyo Frekans Bağışıklık Testi (RF Immunity)	RI 112				✓	✓
		RI 114				✓	✓
		RI 115				✓	✓
	Manyetik Alan Emisyon Testi (Magnetic Field Emissions)	RE 320			✓,3	✓,3	
	Manyetik Alan Bağışıklık Testi (Magnetic Field Immunity)	RI 140			✓,2	✓,2	
	Eşleşme Bozukluk Testi (Coupled Disturbances)	RI 130				✓	✓
		RI 150				✓	✓

Kesintisiz Bozukluk Testi (Continuous Disturbances)	CI 210				✓	✓
Geçici Rejim Testi (Transients)	CI 220	✓			✓	✓
Yeniden Başlatma Testi (Power Cycling)	CI 230				✓	✓
Şasi Değişim Testi (Ground Offset)	CI 250				✓	✓
Düşük Geçici Rejim Testi (Low Voltage Transients)	CI 265				✓,1	✓,1
Aşırı Voltaj Dayanımı (Voltage Overstress)	CI 270	✓	✓	✓	✓	✓
Elektrostatik Deşarj (ESD)	CI 280	✓		✓,2	✓	✓

## 2.1. Elektrikli Koltuk Kilitleri için EMC Gereksinimleri

Elektrikli koltuk kilitleri için belirlenen iki tahrik sistemi olan BM ve R kategorileri Tablo 2’de belirtilen test gereksinimlerini sağlaması gerekir. Eğer BM kategorisini kullanan bir elektrikli koltuk kilit kategorisini kullanıyorsanız, EMC için RE 310, CE420, CE410, RE320, RI 140, CI270 ve CI280 test kriterlerini sağlayarak tasarımı doğrulanır. Diğer taraftan, eğer R kategorisinden bir selonoid tahrik sistemi kullanıyorsanız, sağlamanız gereken test kriterleri CE410 (conducted transients) ve CI270 (voltage overstress)’dir. Buradan da anlaşılacağı üzere R kategorisinin kullanımı, maliyet ve tasarım kriterleri açısından BM kategorisine göre 5 test kriterini (RE310, CE420, RE320, RI 140 ve CI280) eleyerek avantaj yaratmaktadır.

### 2.1.1. Geçici Rejim Emisyonu : CE410

Elektrikli koltuk kilit modülü, Tablo 3’de belirtilen kriterler uygulandığında gerilim (transient voltage) üretmemesi gerekir.

**Tablo 3.** Geçici rejim emisyon gereksinimleri [21].

Uygulanabilirliği	Test Altındaki Ürün	Kriter	Limitler
Güç Kaynağı Hattı Üzerindeki Geçici Rejim Emisyonu	Röle, Elektrik Motorları ve Selonoid Valfler	$\leq 2$ ms $> 2$ ms	+75 V / -80 V 20 V

### 2.1.2. Aşırı Voltaj Dayanımı : CI 270

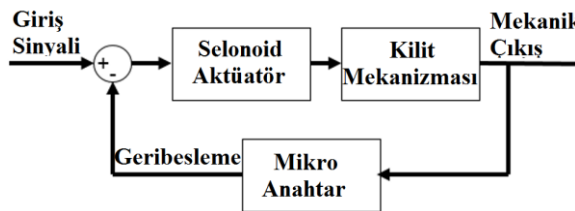
Elektrikli koltuk kilit modülleri, Tablo 4’de belirtilen aşırı voltaj ve süre kriterlerine karşı dayanım göstermelidirler.

**Tablo 4.** Aşırı voltaj dayanım gereksinimi [21]

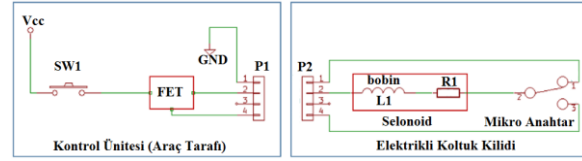
Voltaj Genliği (V)	Uygulama Süresi
-14 (-0.7, +0)	$\geq 60$ saniye
19 (+0.95, -0)	$\geq 60$ dakika
28 (+1, -0)	$\geq 60$ saniye

## 2.2. Koltuk Kilit Mekanizması için Selonoid Aktüatör Tasarımı

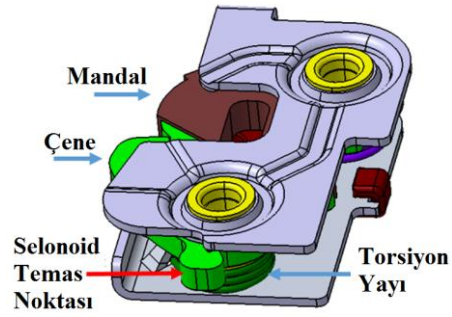
Genel olarak, selonoid aktüatörlü koltuk kilitleri, bir selonoid, bir mikro anahtar, kilit mekanizması ve elektriksel bağlantılardan oluşur. Selonoid aktüatörlü bir koltuk kilidinin kontrol diyagramı Şekil 6’da gösterilmiştir. Buradaki mikro anahtar, kilit mekanizmasında geri besleme almak için kullanılmıştır. Mikro anahtar üzerinde gelen geri besleme, kilit mekanizmasını açık ya da kapalı olma durumlarını göstermektedir.

**Şekil 6.** Selonoid aktüatörlü elektrikli koltuk kilidinin kontrol diyagramı

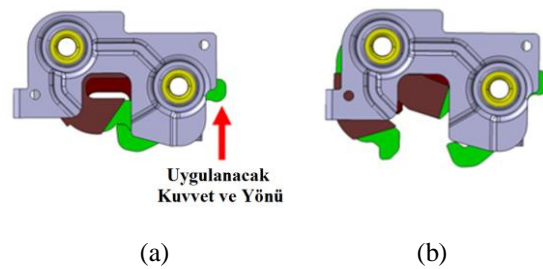
Selonoid aktüatörlü koltuk kilidinin elektriksel devre şeması Şekil 7’de gösterilmiştir. Buradaki devre şemasında hem araç üzerinde kontrol ünitesi hem de selonoid aktüatörlü koltuk kilidi içindeki elektriksel bağlantılar gösterilmiştir.

**Şekil 7.** Selonoid aktüatörlü elektrikli koltuk kilidinin elektriksel devre şeması

Şekil 7’de gösterilen bir SW1 anahtarı ile tetiklenen bir transistör (FET), P1 ve P2 konnektörleri üzerinden selonoid’in mikro anahtarının konumuna bağlı olarak selonoid’i enerjilendirmektedir. Kilit mekanizması ise dönebilen bir çene, bir mandal, bir torsiyon yayı ve mekanik bağlantı elemanlarından oluşur. Burada bahsedilen kilit mekanizmasına ait görsel Şekil 8’de verilmiştir.

**Şekil 8.** Koltuk kilidi mekanizma modeli

Aynı zamanda, Şekil 8 mandal ile çene arasındaki mekanik bağlantıyı açmak için tahrik edilmesi gereken temas bölgesi / kolunu da göstermektedir. Bunun yanında, kilit mekanizmasının kilitli ve açık olduğu pozisyonları göstermek için Şekil 9 verilmiştir. Şekil 9 (a)’da kilitli olan mekanizma, kırmızı ok yönünde temas koluna uygulanan bir kuvvet ile Şekil 9 (b)’deki kilidin açık olduğu pozisyona geçmektedir.

**Şekil 9.** (a) Koltuk kilit mekanizmasının kilitli durumu, (b) Koltuk kilit mekanizmasının serbest durumu

Kilit mekanizmasının açılması için gerekli olan minimum kuvveti bulabilmek için bir test gerçekleştirilmesi gerekir. Bu test bir dinamometre ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 9 (a)’da gösterilen temas kolu ve kuvvet yönünde bir dinamometre ile 15

Newton'luk bir kuvvet 3mm'lik bir deplasman boyunca uygulanarak kilit mekanizmasını açmak için gerekli olan minimum kuvvetin bulunduğu otomotiv ana sanayiinde orijinal ekipman üreticileri tarafından belirtilmektedir. Bulunan bu kuvvet değeri, eşitlik (11)'de verilen yay kuvveti ve sürtünme kuvvetinden oluşmaktadır.

$$F_{release} = F_{spring} + F_{friction} \quad (11)$$

Bu çalışmada yapısal olarak farklı tiplerde selonoid'ler tasarlanmış ve incelenmiştir. Bu selonoid tipleri Taguchinin deney tasarım yöntemine göre tayin edilen selonoid'lerdir. Eşitlik (11)'de gösterilen kuvvet değeri ele alınarak, selonoid'in boyutlarını hesaplamak için eşitlik (12) ile eşitlik (15) arasındaki eşitliklerden yararlanılabilir.

$$F \cdot x = \frac{1}{2} Li^2(t) \quad (12)$$

$$P = V \cdot i(t) = \frac{Fx}{t} \quad (13)$$

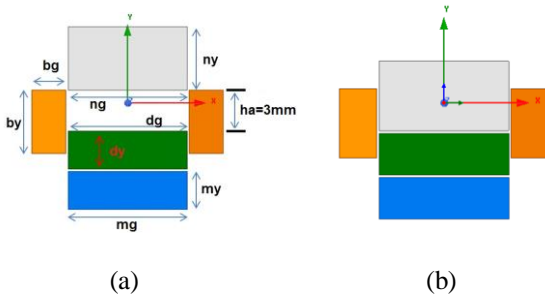
$$R = \frac{\rho \cdot l}{s} \quad (14)$$

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 A}{l} \quad (15)$$

Eşitlik (12) ve (15) selonoid'in bobin uzunluğu, sarım sayısı, bobin ve tel çaplarını hesaplamak için kullanılırlar.

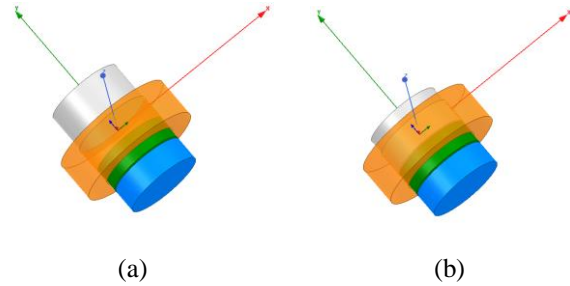
### 2.3. Selonoid İçin Tasarım Kısıtları ve Gereksinimleri

Bir selonoid modeline ait 2 boyutlu görünümü Şekil 10'da verilmiştir. Burada Şekil 10 (a) bobinin enerjisiz olduğu durumu, Şekil 10 (b) ise bobinin enerjili olduğu durumu temsil etmektedir.



Şekil 10. Model Selonoid için (a) enerjisiz ve (b) enerjili pozisyonlarda 2 boyutlu görünümü

Şekil 11'de ise Şekil 10'de gösterilen 2 boyutlu selonoid'lerin 3 boyutlu görüntüleri verilmiştir. Şekil 10 ve Şekil 11'de yeşil ile temsil edilen bölgeler durdurucu olarak kullanılmış ve polyamid malzemeden oluşmaktadır. Turuncu ile gösterilen bölgeler bobinin sarımlarıdır ve bakırdan oluşmaktadır. Gri ile gösterilen bölge taşıyıcı hareket kolunu temsil etmektedir ve çelik (steel1008), mavi bölge ile gösterilen alan ise sabit mıknatısı temsil etmektedir. Ayrıca sabit mıknatıs için mıknatıslanma yönü Y eksenine boyuncadır. Buradaki gösterimler ve malzeme tanımları Ansys Maxwell ortamında tanımlanmıştır.



Şekil 11. Model selonoid için (a) enerjisiz ve (b) enerjili pozisyonlarda 3 boyutlu görünümü

Şekil 10'da gösterilen selonoid parametreleri Tablo 5'de parametre kodu, birimi ve açıklaması ile birlikte verilmiştir. Tablo 5'deki selonoid parametreleri, kuvvet gereksinimleri ile tasarım hacmi ve kısıtları göz önünde bulundurularak Taguchi'nin deney tasarım metodu kullanılarak kritik parametrelerin tespiti ve uygun model seçim sürecine tabi tutulacaktır. Tasarım hacmi ve kuvvet gereksinimleri dikkate alındığında selonoid parametrelerinin alabileceği maksimum ve minimum değerlerde Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Selonoid parametreleri

Parametre Kodu	Değer		Birimi	Açıklaması
	Min.	Maks.		
bg	2	3	mm	Bobin Kesit Alanının Genişliği
by	3	5	mm	Bobin Kesit Alanının Yüksekliği
ng	5	10	mm	Taşıyıcı Hareket Kolunun (Nüve) Genişliği
ny	3	5	mm	Taşıyıcı Hareket Kolunun (Nüve) Yüksekliği
dg	5	10	mm	Durdurucu Parçanın Genişliği
dy	1	3	mm	Durdurucu Parçanın Yüksekliği
mg	0,5	10	mm	Sabit Mıknatısın Genişliği

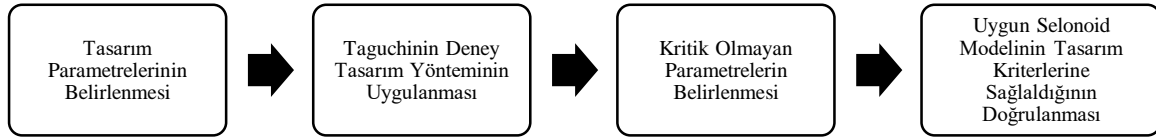
my	0,5	3	mm	Sabit Mıknatısın Yüksekliği
ha	3	3	mm	Hava Aralığı Mesafesi
N	750	2500	-	Bobinin Sarımlar Sayısı (Bobin Kesit Alanına Bağlıdır)

Şekil 11’de gösterilen model –Y ekseninde 200 milisaniye boyunca analiz edilerek, taşıyıcı hareket kolunun 3mm deplasman boyunca 15 Newtonluk kuvveti uygulaması ve kilit mekanizmasını açması için yeterli olması gerekmektedir. Ansys Maxwell programında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülecek analiz modeline geçici rejim analizi boyunca 12 Volt genliğe sahip bir PWM (Darbe Genlik Modülasyon) sinyali %25 ON ve %75 OFF olacak şekilde dolayısıyla 50 milisaniye ON ve 150 milisaniye

OFF olarak uygulanması JLR’nin şartnamesinde belirtilmektedir.

#### 2.4. Kritik Parametrelerin Belirlenmesi için Deney Tasarımı

Taguchi’nin deney tasarım yöntemi ile kritik tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Taguchi’nin deney tasarım yönteminde öne sürdüğü konu bir sistemin fonksiyonelliğini etkileyen faktörlerdir. Bu faktörler sistemin kontrol edilebilirliği ile ilgilidir. Taguchi’nin yönteminde ise çeşitli gürültü varyasyonlarında, tasarım parametrelerinden daha az etkilenen kontrol faktörlerinin bulunmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca Taguchi’nin yöntemi tasarım parametrelerinin tüm kombinasyonlarının test ya da analiz edilerek zaman ve maliyet gibi unsurların israf edilmesini / fazladan kullanılmasını önleyerek büyük bir avantaj da sağlayabilmektedir[22].



Şekil 12. Kritik parametrelerin belirlenmesi ve uygun tasarımın seçim diyagramı

Şekil 12’deki gösterim, tasarım parametreleri belirlenen bir tasarım için Taguchi’nin deney tasarım yönteminin uygulanarak elde edilen sonuçlar üzerinden kritik olmayan parametrelerin belirlenerek ihtiyaç duyulan selonoid modelinin seçim adımlarını vermektedir. Tablo 5’deki parametrelerin, Taguchinin ortogonal deney tasarım tablosuna entegrasyonu düşünüldüğünde Taguchinin L12 tablosunun kullanılması gerekmektedir. Bu durumda oluşan deney dizisi Tablo 6’da verilmiştir. Ayrıca tasarım

hacmindeki bazı kısıtlardan dolayı (örnek: taşıyıcı hareket koluna ait genişlik, durdurucu ve sabit mıknatısın genişliğini de etkiler) durdurucu ve sabit mıknatısın genişlikleri taşıyıcı hareket kolunun genişliğine bağlı olarak maksimum değerleri yeniden düzenlenmiştir. Ayrıca bobin parametrelerinden sarım sayısı da bobin kesit alanının genişliğine ve yüksekliğine bağlı olarak Tablo 6’da yeniden düzenlenmiştir.

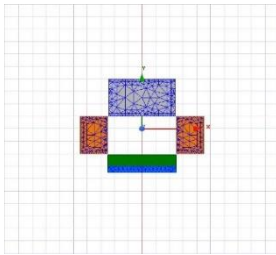
Tablo 6. Selonoid parametreleri için Taguchi’nin L12 deney tasarım tablosu

Deney No	bg (mm)	by (mm)	ng (mm)	ny (mm)	dg (mm)	dy (mm)	mg (mm)	my (mm)	N (-)	ha (mm)
1	2	3	5	3	5	1	5	0,5	750	3
2	2	3	5	3	5	3	5	3	750	3
3	2	3	10	5	10	1	10	0,5	750	3
4	2	5	5	5	5	1	5	3	1250	3
5	2	5	10	3	10	3	10	3	1250	3
6	2	5	10	5	5	3	5	0,5	1250	3
7	4	3	10	5	5	1	5	3	1500	3
8	4	3	10	3	10	3	10	0,5	1500	3
9	4	3	5	5	5	3	5	3	2500	3
10	4	5	10	3	5	1	10	3	2500	3
11	4	5	5	5	5	3	5	0,5	2500	3
12	4	5	5	3	5	1	5	0,5	2500	3

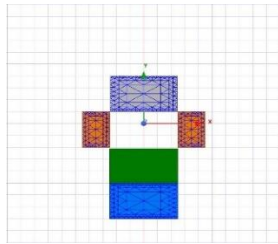


### 3. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR

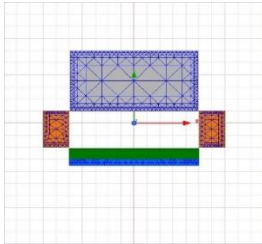
Bu bölümde deney tasarımı için parametreleri Tablo 6'da oluşturulan selonoid modellerinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 6'daki analiz modellerinin sonlu elemanlar görünümlerine ilişkin  $t=0$  anındaki pozisyonları Şekil 13'de verilmiştir. Şekil 13'de verilen 12 farklı selonoid modeli, Taguchi'nin deney tasarım tablosundaki yer alan 8 parametre ve 2 seviyeden oluşan sistemler için önerdiği L12 ortogonal deney dizisi kullanılarak oluşturulmuştur. Buradaki analiz kombinasyonlarında, selonoid'in taşıyıcı hareket kolu üzerindeki deplasman-zaman ve kuvvet-zaman grafikleri incelenmiştir.



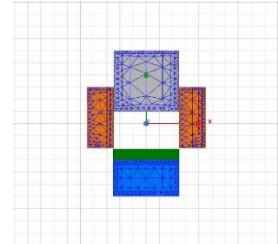
Deney No :1



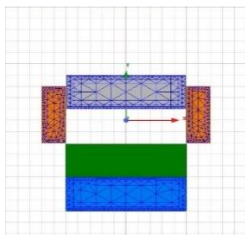
Deney No :2



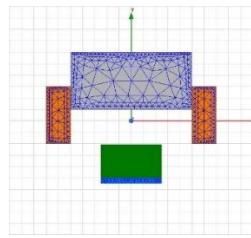
Deney No :3



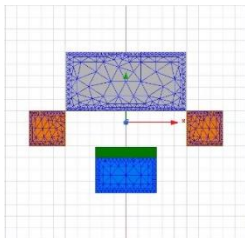
Deney No :4



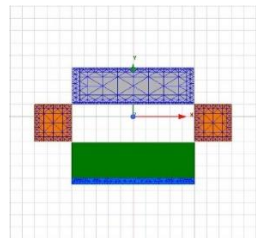
Deney No :5



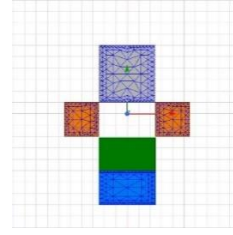
Deney No :6



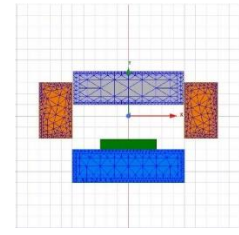
Deney No :7



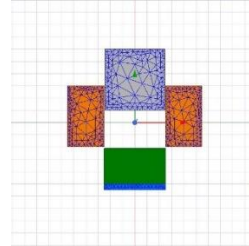
Deney No :8



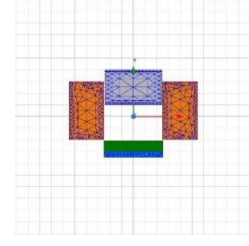
Deney No :9



Deney No :10



Deney No :11



Deney No :12

Şekil 13. Deney tasarım tablosundaki selonoidler için sonlu eleman modellerinin görünümleri

Yapılan analizlerde elde edilen kuvvet-zaman ve deplasman zaman grafiklerinde taşıyıcı hareket kolunun 3 mm'lik deplasman ilk ulaşma anı, 200 milisaniye boyunca elde edilen maksimum kuvvet, 200 milisaniye boyunca elde edilen ortalama kuvvet ve 200 milisaniye anındaki kuvvet değerleri incelenmiştir. Burada incelenmeye çalışılan maksimum kuvvet değerinin minimum 15 Newton olması gerekmektedir. Ortalama kuvvet ve 200 milisaniye anındaki kuvvet ise 15 Newton'un altında olması gereken değerlerdir. Eğer bu değerler 15 Newton'un üstünde bir kuvvet ile sonuçlanırsa, elektrikli koltuk kilit mekanizmasının tekrar kilitlenme pozisyonuna girmesini engelleyerek fonksiyonu önlemektedir. 3 mm deplasmana ulaşması dikkate alındığında elektrikli koltuk kilidini enerjilendirmek için kullanılan PWM sinyalinin  $t=0$  anından  $t=50$  milisaniye anları arasında aktif olmasından dolayı 3 mm'lik deplasmana ilk 50 milisaniyede ulaşılması beklenmektedir. Tablo 7'de deney tasarım tablosundaki yer alan ve Şekil 13'de gösterilen 12 adet analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 7. Deney tasarım tablosundaki selonoidler için analiz sonuçları

Deney No	3mm Deplasmana Ulaşma Zamanı (milisaniye)	Maksimum Kuvvet Değeri (N)	Ortalama Kuvvet Değeri (N)	200 milisaniye Anındaki Kuvvet Değeri (N)
1	17	-14,31	-11,67	-11,81
2	10	-33,78	-29,04	-28,83

3	24	-15,78	-12,43	-12,77
4	7	-188,70	-174,76	-177,14
5	9	-67,65	-65,32	-67,65
6	46	-3,45	-2,96	-3,45
7	8	-309,94	-299,92	-309,94
8	33	-3,30	-3,02	-3,30
9	13	-39,20	-34,65	-35,57
10	6	-200,92	-196,05	-200,92
11	38	-2,90	-2,10	-2,09
12	22	-12,52	-11,00	-11,82

Analiz sonrasında elde edilen bulgular Deney No:1, Deney No:3 ve Deney No:12'deki analiz modellerinin

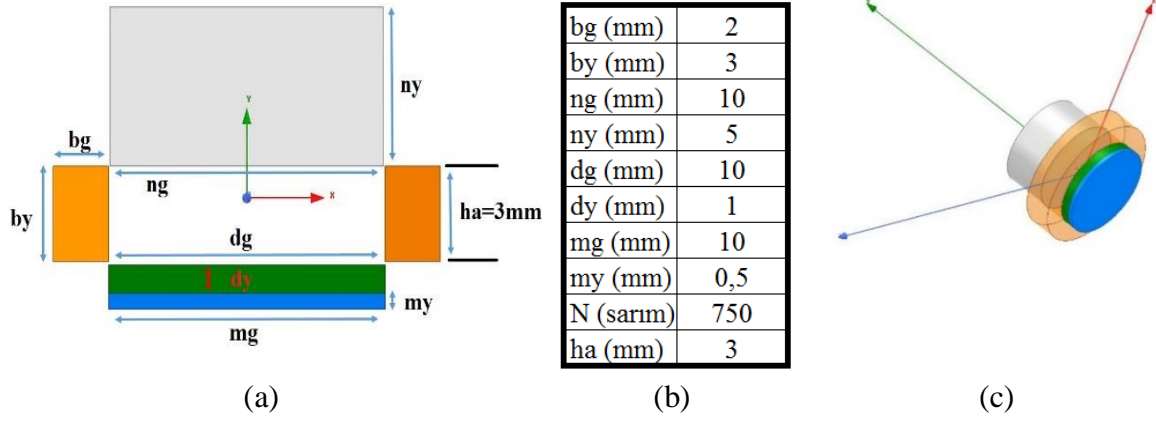
tasarım kriterlerine en fazla yaklaşan sonuçlar verdiğini göstermiştir. Özellikle Deney No:3 modelinin tasarım kriterlerini sağladığı görülmüştür. Tablo 7'de elde edilen sonuçlar Taguchi'nin deney tasarımı mantığında ele alınarak önce Tablo 7 için işaret gürültü oranlarının tayini yapılmıştır. Bu işaret gürültü oranları üzerinde parametreler için belirlenen iki seviye olan maksimum ve minimum değerleri, Taguchi'nin deney tasarım yönteminde belirttiği dizi üzerinde tekrar değerlendirilmiştir. Böylece parametreler için derecelendirme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar selonoid modelinde belirtilen hangi parametrelerin önem derecelerinin daha yüksek ve sonuca doğrudan etkilediği göstermiştir. Selonoid parametreleri için öncelik sıralaması Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 8.** Selonoid parametreleri için öncelik sıralaması

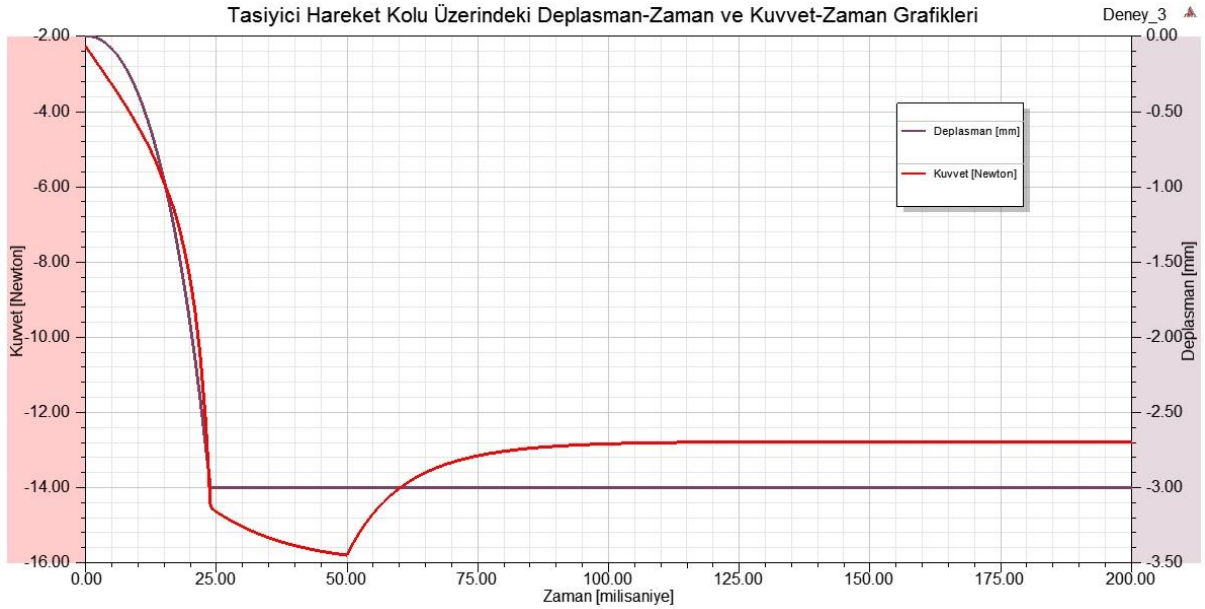
Etkilenen Faktörler	Tasarım Parametrelerinin Önem Dereceleri									
	bg	by	ng	ny	dg	Dy	mg	my	N	ha
<b>3mm Deplasmana Ulaşma Zamanı (milisaniye)</b>	5	7	6	3	8	2	4	1	-	-
<b>Maksimum Kuvvet Değeri (N)</b>	6	8	3	4	7	2	5	1	-	-
<b>Ortalama Kuvvet Değeri (N)</b>	8	5	3	7	4	2	6	1	-	-
<b>200 milisaniye Anındaki Kuvvet Değeri (N)</b>	7	6	3	8	5	2	4	1	-	-
<b>Genel Sıralama</b>	7	7	3	5	6	2	4	1	-	-

Elde edilen sonuçlar selonoid modelinde belirtilen hangi parametrelerin önem derecelerinin daha yüksek ve sonuca doğrudan etkilediği göstermiştir. Selonoid parametreleri için öncelik sıralaması Tablo 8'de verilmiştir. Tablo 8'de görüldüğü üzere selonoid modeli için en önemli parametre mıknatısın yüksekliği olarak bulunmuştur. Bunu sırasıyla durdurucu malzemenin yüksekliği ve nüve genişliği takip

etmektedir. Bu bilgiler ve tolerans öngörülerini dikkate alınarak Deney No:3'teki selonoid modelini optimize edecek olursak, mıknatıs yüksekliği, durdurucu malzemenin yüksekliği ve nüve genişliği üzerinde çalışılabilir. Şekil 14, Deney No:3 selonoid modeline ait 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünümle parametre değerlerini göstermektedir.



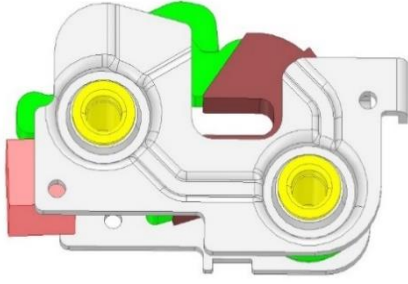
Şekil 14. Deney No:3 selonoid modeline ait görseller (a) 2 boyutlu görünüm, (b) parametre değerleri, (c) 3 boyutlu görünümü



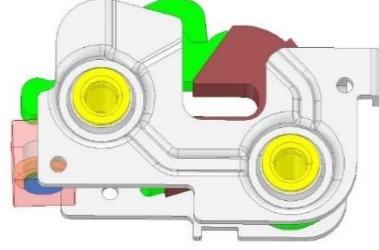
Şekil 15. Deney No:3'teki selonoid modeline ait kuvvet-zaman ve deplasman-zaman grafikleri

Deney No:3'ten elde edilen analiz sonuçlarında kuvvet-zaman ve deplasman-zaman değişimleri incelenmiştir. Şekil 15'de Deney No:3'te tanımlanan selonoid modeli için kuvvet-zaman ve deplasman-zaman grafikleri gösterilmiştir. Şekil 17'deki deplasman-zaman grafiğinden anlaşılacağı üzere 24 milisaniye anında taşıyıcı hareket kolunun göstermiş olduğu deplasman 3 mm'ye ulaşmaktadır. Sonrasında ise 200 milisaniye boyunca deplasman değişimi, durdurucu malzemenin göstermiş olduğu dirençten ötürü oluşmamaktadır. Buradaki taşıyıcı hareket kolu üzerindeki kuvvet-zaman değişimi ise 50 milisaniyede

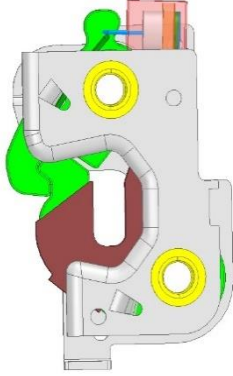
maksimum değerine ulaşarak 15 Newton değerini aşmaktadır. Sonrasında ise analiz sonuçları 50-200 milisaniye aralarında azalarak 15 Newton'un altına düşerek, Deney No:3'teki selonoid modelinin istenen tasarım kriterleri sağladığını göstermektedir. Deney No:3'teki selonoid modeli için yapılan analizler, selonoid modelinin doğrulanması işlemini gerçekleştirmiştir. Dolayısıyla bir sonraki adımda kilit mekanizması ile selonoid modelini entegrasyonu / montajı yer almaktadır. Bu entegrasyon çalışmasına ilişkin detaylar Şekil 16'da gösterilmiştir.



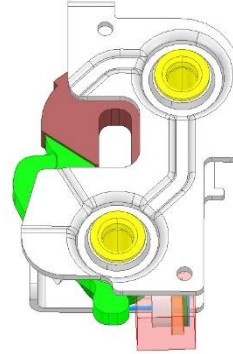
(a) Elektrikli Koltuk Kilidi Tam Görünümü



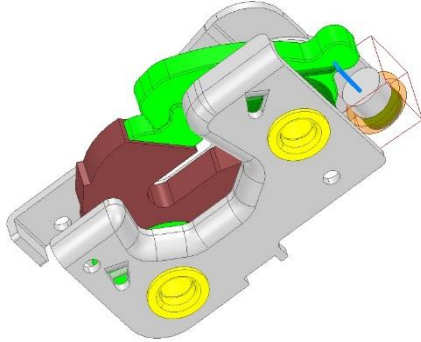
(b) Selonoidin Saydam Görünümü



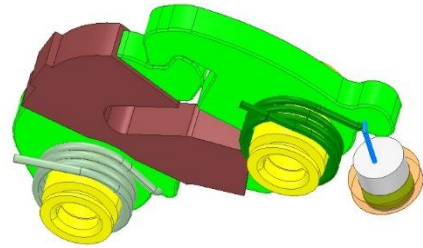
(c) Elektrikli Koltuk Kilidi Alttan Görünüm



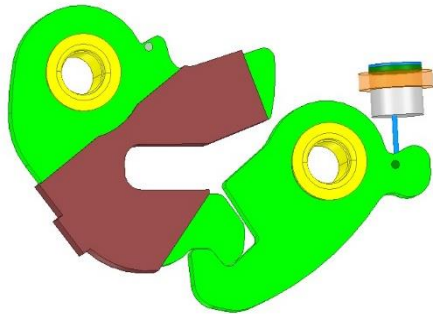
(d) Elektrikli Koltuk Kilidi Üstten Görünüm



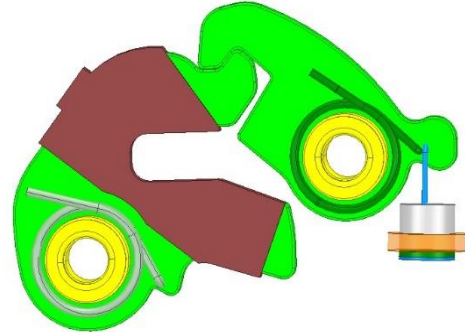
(e) Elektrikli Kilit Mekanizmasının Dıştan Görünümü



(f) Elektrikli Kilit Mekanizmasının İçten Görünümü



(g) Mekanik Bağlantının Üstten Görünümü



(h) Mekanik Bağlantının Alttan Görünümü

**Şekil 16.** Koltuk kilit mekanizması ile selonoid aktüatörün entegrasyon / montaj görüntüleri

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada üst segment araçlarda kullanılan koltuk kilidi sistemleri incelenmiştir. Katlanabilir koltuk ünitelerinde elektrikli koltuk kilitleri için tahrik sistemleri ele alınarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Yapılan araştırmalarda solenoid'li ve elektrik motorlu tahrik sistemlerinin kullanıldığı görülmüştür. Otomotiv ana sanayi beklentileri ve yasal regülasyonlarda yer alan tasarım kısıtları ile test şartnameleri (EMC beklentileri vb.) dikkate alındığında solenoid'li tahrik modelinin tasarım ve maliyet açısından avantaj sağladığı görülmüştür. Solenoid'li bir tahrik sistemi kullanıldığında, sağlamanız gereken test kriterleri CE410 (conducted transients) ve CI270 (voltage overstress)'dir. Dolayısıyla solenoid kullanımı, maliyet ve tasarım kriterleri açısından elektrik motoru kategorisine göre 5 test kriterini (RE310, CE420, RE320, RI 140 ve CI280) eleyerek avantaj yarattığı görülmüştür. Çalışmada solenoid tipleri ile ilgili literatür taraması yapılarak, mekanik ve elektrikselsel açıdan matematiksel modelleri incelenmiştir. Ayrıca koltuk kilit mekanizmasının açılabilmesi için gerekli olan kuvvetin 15 Newton olduğu ve bu kuvvetin 200 milisaniye içinde uygulanarak 3 mm'lik deplasman sağlaması gerektiği ana sanayi beklentileri ile şartnamelerinde yer almaktadır. Bununla birlikte tasarım kısıtları (tasarım uzayı) göz önüne alınarak temel solenoid parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen solenoid tasarım parametreleri Taguchi'nin deney tasarım yöntemi ile incelendiğinde, kritik parametrelerin mıknatıs yüksekliği, durdurucu malzemenin yüksekliği ve nüve genişliği olduğu görülmüş, ayrıca uygun tasarım kriterlerini sağlayan solenoid modelinin deney tablosu üzerinden Deney No:3'teki solenoid modeli olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada yapılan analizlerin tamamı Ansys Maxwell ortamında sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Taguchi'nin deney tasarım yöntemi ile 8 parametre 2 seviye için gerçekleştirilmesi gereken 256 deney ile harcanacak zamandan ve maliyetten tasarruf edilerek, Tablo 6'da gösterilen 12 deney ile büyük bir avantaj sağladığı da görülmüştür. Deney No:3'teki solenoid modelinin tasarım kriterlerini sağlaması ile birlikte kilit mekanizması için entegrasyon / montaj çalışması gerçekleştirilerek tasarım tamamlanmıştır.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Marmara Üniversitesi ve Coşkunöz Holding A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Honda Motor Co. Ltd., (2011). Vehicle Seat Latch Striker and Assist Handle. *US8066328B2*.
- [2] Solmaz E., Akbulut U., & Yıldız M.E., (2014). Adapting A Latch Mechanism to Whole Seat Frames and Releasing Systems. *OTEKON2014*

*7th Automotive Technologies Congress, Bursa, Turkey.*

- [3] Porter Group LLC., (2008). Vehicle Seat Latch. *US007431371B2*.
- [4] Hyundai Motor Company, (2014). Seat Latch Structure. *US008672386B2*.
- [5] Austem Co., Ltd., (2011). Latch Assembly for Vehicle Seat. *US007959205B2*.
- [6] Johnson Controls Technology Company, (2015). Two Way Positive Locking Latch. *US006908137B2*.
- [7] Magna Closures S.p.a., (2014). Electrical Vehicle Latch. *US20140175813A1*.
- [8] Bur, A., Dierauer, P., and Ricks, L., (2003). Honeywell's Automotive Door Latch Design is Ideal for Corporate Latch Strategy. *SAE-2003-01-1190*, pp. 1-8.
- [9] Udriste, D. and Negrus, E., (2003). Construction and Kinematics of Automotive Side Door Latch Mechanisms. *SAE-2005-01-0881*, pp. 1-7.
- [10] Obata S., Kimura K., and Saito Y., (2012). Development of Functional Force Solenoid Actuator. *IEEE Mechatronics-REM*, pp. 14-19, Paris.
- [11] Hüner E., Aküner M.C., and Demir U., (2015). A New Approach in Application and Design of Torodial Axial-Flux Permanent Magnet Open-Slotted NN Type (TASPMOS-NN) Motor. *Tehnički vjesnik* 22, 5, 1193-1198.
- [12] Obata S., and Haneyoshi T., Saito Y., (2014). New Linear Solenoid Actuator for Humanoid Robot. *IEEE Mechatronics*, pp. 367-370, Tokyo.
- [13] Obata S., A, (2014). Basic Electromagnetic Theory for Controlling Solenoid Actuators. *IEEE Mechatronics*, pp. 400-405, Tokyo.
- [14] Meng F., Zhang H., Cao D., and Chen H., (2016). System Modeling and Pressure Control of a Clutch Actuator for Heavy-Duty Automatic Transmission systems. *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol.65, No.7, pp. 4865-4874.
- [15] Nagai S., Nozaki T., and Kawamura A., (2015). Real-time Position Sensorless Estimation of Position and Force of Solenoid Actuator for Haptic Devices. *EPE'15 ECCE-Europe 17th European Conference on*, pp. 1-9.
- [16] Nagai S., and Kawamura A., (2016). Realization of Bilateral Control by Compact Solenoid Actuators without Position and Force Sensors. *IEEE Advanced Motion Control*, pp. 1-6, New Zealand.
- [17] Nagai S., Nozaki T., and Kawamura A., (2016). Environmental Robust Position Control for Compact Solenoid Actuators by Sensorless Simultaneous Estimation of Position and Force. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol.63, No.8, pp. 5078-5086.
- [18] Li C., Yang H., Jenkins L.L., Dean R., Flowers G.T. and Hung Y., (2016). Enhanced-

- Performance Control of an Electromagnetic Solenoid System Using a Digital Controller. *IEEE Transaction on Control System Technology*, Vol.24, No.5, pp. 1805-1811.
- [19] Doeuff R. L. and Zaim M. H., (2010). Rotating Electrical Machines, Chapter 1, Edition 1, Wiley.
- [20] European Regulations related to Crash Testing, Uniform provisions concerning with the approval of vehicles with regard to seats, their anchorages and any head restraints, (2002). *ECE R-17, Reg. 17 - Rev.4*.
- [21] Jaguar Land Rover Limited – Engineering Standard, (2013). Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical/Electronic Components and Subsystems. *JLR-EMC-CS V1.0 Amendment 4.*,
- [22] Demir, U., and Aküner, M.C., (2017). Using Taguchi Method in Defining the Critical Rotor Pole Data of LSPMSM Considering the Power Factor and Efficiency, *Tehnički vjesnik* 24, 2, 347-353.