






# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Kısa Devre Deneylerinde Limitör Özelliğinin Alçak Gerilim Devre Kesiciler Üzerindeki Etkisinin İncelemesi

 Halil İbrahim ŞEKER<sup>a,\*</sup>,  Muhammed CİNEK<sup>b</sup>,  İhsan PEHLİVAN<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya/TÜRKİYE

<sup>b</sup> ARGE, FEDERAL Elektrik Yatırım ve Ticaret A.Ş., Sakarya/TÜRKİYE

<sup>c</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya/TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hseker5@gmail.com

DOI : 10.29130/dubited.738546

### ÖZET

Devre kesiciler normal işletme şartlarında devreyi açma-kapamaya, normal olmayan (kısa devre yapması ve aşırı akım geçmesi) şartlarda ise devreyi otomatik olarak kesmeye yarayan mekanik açma-kapama düzenekleridir. Devre kesicilerin açma-kapama özelliğinin yanında en önemli fonksiyonu, normal dışı şartlarda devreyi korumasıdır. Alçak gerilimde kullanılan koruma yöntemleri genel olarak termik-manyetik ve elektronik koruma mekanizmaları ile sağlanmaktadır. Termik koruma, uzama katsayısı farklı olan iki metalin birleştirilmesi ile oluşan bimetalin ısı etkisinde şekil değiştirmesiyle sağlanmaktadır. Bimetal ısındığında uzama katsayısı büyük olan metal diğerinin üzerine doğru bükülür ve devre kesici mekanizmasının açılmasına yardımcı olur. Devre kesicilerde manyetik koruma, akımın oluşturduğu manyetik alan etkisindeki metal parçaların mıknatıslanması prensibi ile çalışan mekanik bir sistem ile yapılmaktadır. Kısa devre şartlarında ise manyetik korumanın yanı sıra limitör özelliği (akım sınırlama) en önemli koruma sistemidir. Limitör özelliği sabit kontakta verilen U formu ile hareketli ve sabit kontaklardan zıt yönde akım akmasına neden olmaktadır. Limitörün bu özelliğinden dolayı kısa devre sırasında sabit ve hareketli kontaklarda oluşan manyetik alan etkisiyle zıt bir kuvvet oluşmaktadır. Kısa devre akımında oluşan bu zıt kuvvet sabit kontak ve hareketli kontakın birbirinden hızlı bir şekilde ayrılmasını sağlamaktadır. Limitörsüz olan devre kesicide bu süre daha uzun olmakta ve bu süre içerisinde geçen yüksek akım şalterin koruduğu devreye zarar verebilmektedir.

Bu çalışmada, farklı tiplerde limitör özelliğine sahip olan ve limitör özelliğine sahip olmayan devre kesicilere IHP (International High Power Test Laboratory) laboratuvarında kısa devre deneyleri yapılmıştır. Limitörlü ve limitörsüz olarak farklı devre kesicilere yapılan kısa devre deneylerindeki açma süreleri ve ark sırasında açığa çıkan enerji miktarları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak limitör özelliğine sahip devre kesicinin açma süresinin daha kısa ve daha az ark enerjisi ile açtırma yaptığı görülmüştür. Ancak limitör özelliğine sahip olmayan devre kesicinin ise açma süresinin daha uzun ve daha çok ark enerjisi ile açtırma yaptığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Devre kesici, kısa devre test, limitör, akım sınırlama

# Investigation of the Effect of Limiter Feature on Low Voltage Circuit Breakers in Short Circuit Experiments

## ABSTRACT

Circuit breakers are mechanical opening-closing devices that are used to open-close the circuit under normal operating conditions, and to break the circuit automatically in abnormal conditions (short circuit and overcurrent flow). Apart from the opening-closing feature of the circuit breakers, its most important function is to protect the circuit under abnormal conditions. Protection methods used in low voltage are generally provided with thermal-magnetic and electronic protection mechanisms. Thermal protection is provided by changing the shape of bimetal, which is formed by joining two metals with different elongation coefficients. When bimetal is heated, the metal with a high coefficient of elongation bends over the other and helps the circuit breaker mechanism to open. In circuit breakers, magnetic protection is done by a mechanical system working on the principle of magnetizing metal parts under the effect of the magnetic field created by the current. In short circuit conditions, besides magnetic protection, current limiting feature is the most important protection system. The current limiting feature causes the current to flow in opposite directions from the moving and fixed contacts with the U form given to the fixed contact. Due to this feature of the current limiting, an opposing force occurs due to the magnetic field effect formed in the fixed and moving contacts during the short circuit. This opposing force, which occurs in the short circuit current, provides a quick separation of the fixed contact and the moving contact. In the circuit breaker without current limiting feature, this period is longer and the high current passing through this period may damage the circuit protected by the breaker.

In this study, short circuit experiments were carried out in the IHP (International High-Power Test Laboratory) laboratory with different types of current limiting and circuit breakers that do not have a current limiting feature. The breaking times in the short circuit tests of different circuit breakers with and without current limiting feature and the amount of energy released during the arc were compared. As a result, it was observed that the breaking time of the circuit breaker with current limiting feature is shorter and with less arc energy. The circuit breaker that does not have a current limiting feature, on the other hand, was found to break longer with more arc energy.

*Keywords: Circuit breaker, short circuit test, current limiting*

## I. GİRİŞ

Elektriksel güç sistemleri genel olarak güç üretim sistemi, yüksek gerilim, orta gerilim ve alçak gerilim dağıtım sisteminden oluşmaktadır. Güç sisteminde, alçak gerilim dağıtım sistemi son kullanıcılar tarafında bulunan ve AC sistemi için 1000V altında çalışma gerilimine sahip olan sistemlerdir. Özellikle, alçak gerilim devre kesici (AGDK), alçak gerilim dağıtım sistemindeki birçok uygulama alanında anahtar bileşendir. Örneğin, birçok ticari ve endüstriyel uygulamada, okulda ve yerleşim birimlerinde güç sistemlerini korumak, kontrol etmek ve düzenlemek için kullanılmaktadır [1]. Alçak gerilim cihaz üretim ölçeği ve pazarı çok büyüktür. Bu önemli endüstriyel talep, birçok insanın AGDK araştırmalarına odaklanmasının sebeplerinden birisidir. Alçak gerilim devre kesici, uzun süre aşırı yüklenmeden veya kısa devreden kaynaklanan hasarlardan kişileri ve ağırları korumak için kullanılmıştır. Temel işlevi bir arıza durumunu tespit etmek ve sürekliliği durdurarak en kısa sürede elektrik akışını kesmektir. Devre kesiciler, tek bir ev cihazını koruyan küçük cihazlardan tüm şehri besleyen yüksek gerilim devrelerini korumak için tasarlanmış büyük şalt cihazına kadar değişen boyutlarda üretilebilmektedir [2-3]. Bu yüzden devre kesicilerde koruma yöntemleri önem arz etmektedir. Alçak gerilimde kullanılan koruma yöntemleri genel olarak termik-manyetik ve/ veya

elektronik koruma ile sağlanmaktadır. Kısa devre şartlarında ise manyetik korumanın yanı sıra limitör özelliği (akım sınırlama) en önemli koruma sistemidir. Sunulan bu çalışmanın ikinci bölümünde devre kesici ve ünitelerinden, üçüncü bölümde limitör özelliği ve tasarımından, dördüncü bölümde ise deney ve analiz sonuçlarından bahsedilmiştir.

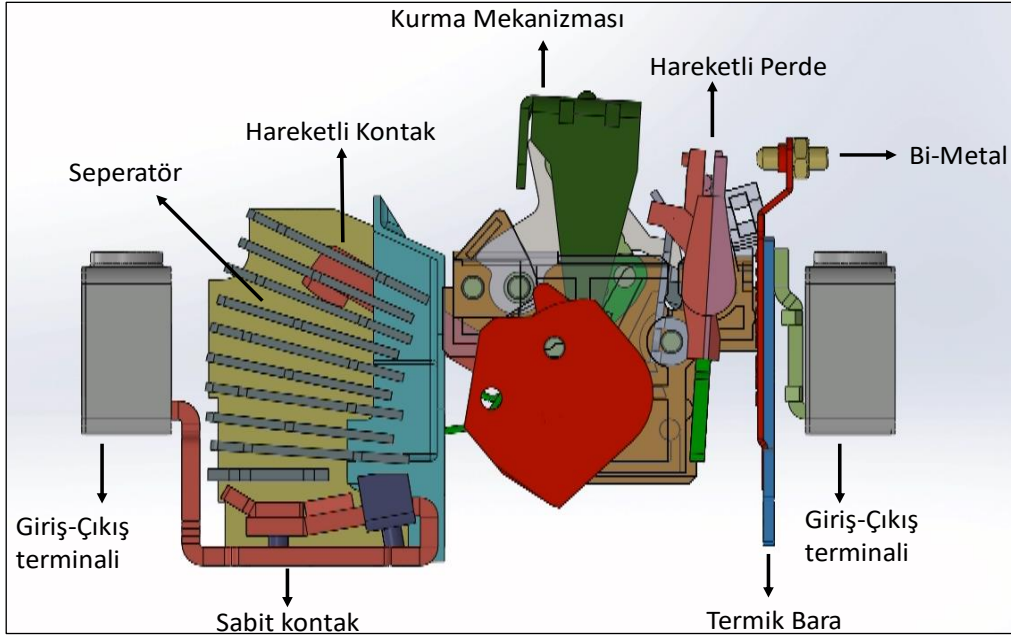
## **II. DEVRE KESİCİLER VE ÜNİTELERİ**

Elektrik enerjisinin güvenli şekilde dağıtılmasında, iletiminde kullanılan malzemelerin ve gereçlerin kalite standartları, bu malzemelerin ömürlerini ya da çalışma verimliliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Elektriksel sistemlerde malzemenin ömrünü ve tahribatını etkileyen sebepler iç ve dış faktörler olmak üzere iki grupta incelenebilir. İç faktörler, kullanılan iletken malzemedeki imalat kusurları, malzemenin geçen elektrik akımı miktarı ve bu akımın meydana getirebileceği ısıya göre aşınma ve yanma olarak verilebilir. Dış faktörler ise, atmosferik koşullar etkisiyle veya çeşitli etkilerle mekanik darbelere maruz olma durumudur. Devre kesiciler, devre yük altındayken elektrik arklarını söndürme donanımlarına sahip olmaları yönüyle diğer anahtarlama sistemlerine göre daha fazla tercih edilmektedir. Bu yüzden devre kesiciler kendilerinden sonraki devrede bulunan cihazları aşırı akımlara karşı korumakta ya da aşırı akımların vereceği tahribatı ortadan kaldırmaya çalışmaktadır [4]. Devre kesiciler ters zaman mantığı ile çalışmaktadır. Bir başka ifadeyle devreden geçen akım, anma akım değerini aştığında akım arttıkça açma süresi azalmaktadır. Alçak gerilim devre kesicilerde genel olarak koruma yöntemleri termik, manyetik ve mikroişlemci tabanlı elektronik koruma diye adlandırılabilir.

### **A. TERMİK-MANYETİK DEVRE KESİCİLER**

Termik koruma devre kesici içerisinde bulunan bimetal malzeme ile sağlanmaktadır. Termik koruma, uzama katsayıları farklı olan iki metalin birleştirilmesi ile oluşan ve bimetal diye adlandırılan malzemelerin mekanik bir sistemi tetiklemesi ile koruma sağlayan sistemlerdir. Akımın artmasıyla doğru orantılı olarak bimetal ve kontaklar üzerindeki sıcaklık artmaktadır. Bunun sonucunda uzama katsayısı büyük olan metal diğer metalin üzerine doğru bükülmekte ve kesici içerisindeki mekanik düzeneğin açılmasına yardımcı olmaktadır. Böylece anma akımının üstündeki akımlarda devre kesiciyi açarak, devreden aşırı akım geçmesine izin vermemektedir.

Manyetik koruma sistemi ise, aşırı akım veya kısa devre gibi durumlarda devre kesicinin içindeki manyetik akımın oluşturduğu mıknatıslanma etkisi ile sabit nüve kendisine hareketli nüveyi çeker ve bu hareket ile açtırma mekanizmasına çarparak devre kesicinin açılmasına neden olmaktadır. Tüm bu termik ve manyetik koruma mekanizması, yüksek büyüklükteki hata akımlarıyla açılmak üzere kalibre edilmektedir. Şekil 1’de termik ve manyetik koruma ünitelerini içeren mekanik yapı verilmiştir [5-6]. Şekil 2’de devre kesiciye ait bir resim verilmiştir.



*Şekil 1. Devre kesici çalışma mekanizması bölümleri*

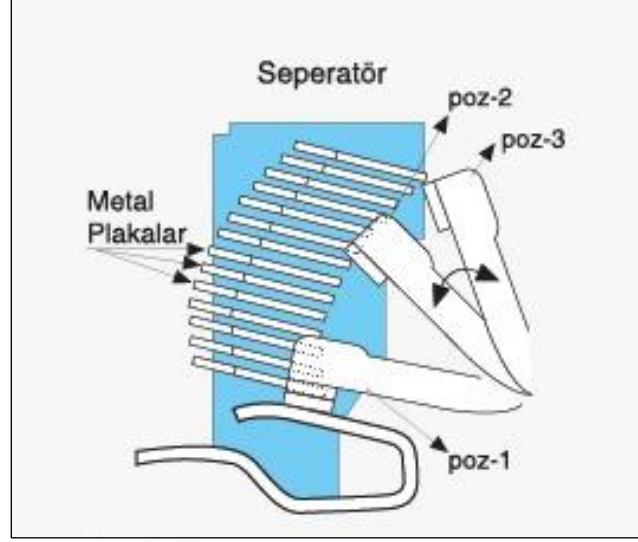


*Şekil 2. Devre kesicinin sabit ve hareketli bara resmi*

Devre kesicilerde gövde ve kapak malzemesi genel olarak EN 605 12-20-2 standardına göre cam elyafı polyester reçineden imal edilmektedir. Literatürde BMC (Bulk Moulding Compound) olarak adlandırılan bu malzemenin elektriksel ve mekaniksel dayanım değerleri çok yüksektir. 160 °C'lik sıcaklığa sürekli olarak dayanabilmekte ayrıca IEC 695-2-1'e uygun olarak 960 °C sıcaklıktaki kızgın tel dokundurulduğunda alev almamaktadır.

Kontaklar devre kesicilerin en önemli parçalarındandır. Devre kesicide iletilen ve kesilen akım değerlerine göre uygun kontak alaşımı hesaplanmaktadır. Genel olarak kullanılan gümüş, wolfram, grafit ve nikel alaşımli kontaklar kullanılmaktadır. Hareketli kontak sabit kontaklardan ayrılırken kısa bir süre daha havadan akım akmaya devam etmektedir. Bu olay ark diye adlandırılmakta ve çok kısa süre içerisinde söndürülmesi gerekmektedir. Kontakların ayrılması sırasında oluşan arkın etrafındaki manyetik alan, arki seperatörlere doğru itmektir. Böylelikle arkın boyu uzar, incilir ve seperatör

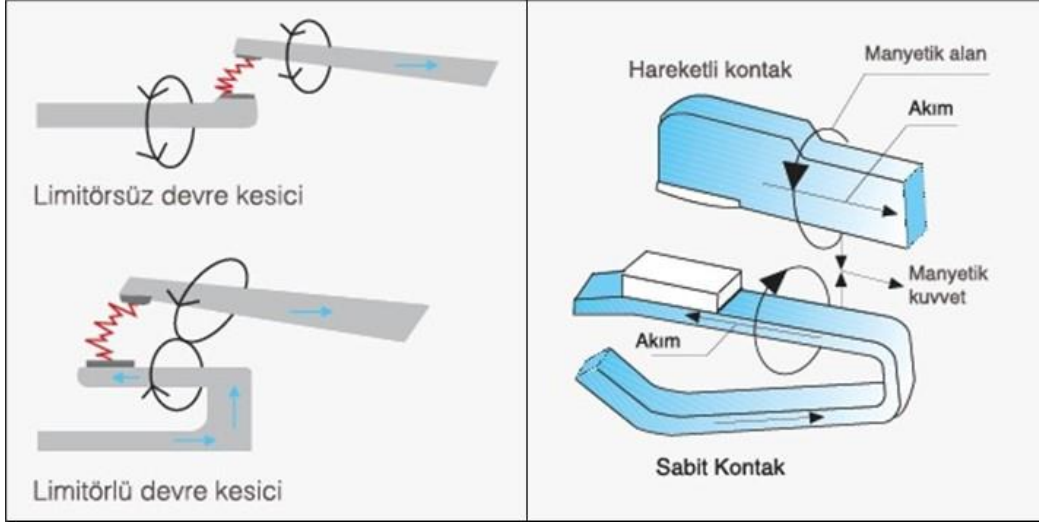
plakalarına çarpıp bölünerek sönmleme olayı gerçekleşmektedir. Ayrıca seperatörlerin yan kısımlarında kullanılan malzemenin özelliğinden dolayı, arkın oluşturduğu yüksek sıcaklık sonucunda bir gaz çıkar ve bu gaz arkın söndürülmesinde önemli etkiye sahiptir [7, 8]. Şekil 3'te seperatör yapısı verilmiştir.



Şekil 3. Alçak gerilim devre kesicilerindeki seperatör yapısı [9]

### **III. LİMİTÖR (AKIM SINIRLAMA) ÖZELLİĞİ**

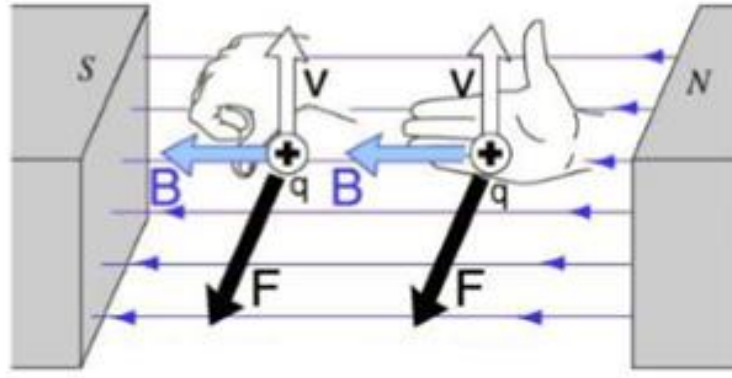
Kısa devre şartlarında ise manyetik korumanın yanı sıra limitör özelliği en önemli koruma sistemidir. Limitör özelliği sabit kontakta verilen U formu ile hareketli ve sabit kontaklardan zıt yönde akım akmasına neden olmaktadır. Limitörün bu özelliğinden dolayı kısa devre sırasında sabit ve hareketli kontaklarda oluşan manyetik alan etkisiyle zıt bir kuvvet oluşmaktadır. Kısa devre akımında oluşan bu zıt kuvvet sabit kontak ve hareketli kontakın birbirinden daha hızlı bir şekilde ayrılmasını sağlamaktadır. Limitörsüz olan devre kesicide bu süre daha uzun olmakta ve bu süre içerisinde geçen yüksek akım devre kesiciye ve devre kesicinin koruduğu devreye zarar verebilmektedir. Şekil 4' te oluşan manyetik alan yönleri verilmiştir [9-10].



Şekil 4. Sabit kontak limitörlü ve limitörsüz modeli [9]

Elektrik yükleri hareket ettiklerinde çevresinde bir manyetik alan oluşturmaktadır. Manyetik alan çizgileri her zaman kapalıdır fakat bazı durumlarda manyetik alan çizgilerini, N kutuplu bir uçtan S kutuplu uca doğru hareket eden çizgi gibi düşünülebilir. Akım taşıyan teldeki, bir  $q$  yükü  $v$  hızıyla  $B$  manyetik alanına girdiğinde yüke bir manyetik kuvvet etki etmektedir. Bu manyetik kuvvet, Lorentz denklemi ile eşitliği denklem 1' de verilmiştir. Yüklü parçacığın hızı  $V$ , manyetik akı yoğunluğu ise  $B'$  dir [11-12].

$$\vec{F} = q(\vec{V} \times \vec{B}) \quad (1)$$



Şekil 5.  $V$  hızı ile hareket eden  $q$  yüküne etki eden manyetik kuvvet

## IV. FARKLI LİMİTÖR YAPILARININ TASARIMI VE KISA DEVRE DENEY ANALİZİ

Son yıllarda devre kesme sistemlerinde genel olarak temelde çözülmesi istenen, kısa devre oluşması veya aşırı akım geçmesi sırasında oluşan yüksek enerjili arkın soğutulması hücre içinden tahliyesini sağlamaktır. Ark söndürme prensibi, ark akımını elektromanyetik bir kuvvetle süpürerek fırlatmak ve ark tahliyesini sağlayabilmek üzerine kurulmuştur. 50.000 Kelvin sıcaklığa kadar varan ark akımının plazma haline gelmesinden gövde dışarısına atılmasına kadar gerçekleşen işlemdir. Bu yüksek enerji oluştuğunda şebeke akımında ve geriliminde rezonanslar meydana getirebilmekte ve diğer ekipmanlar kısa süreli ya da uzun süreli kesintilere maruz kalabilmektedir. Bu zararları önleyebilmek için literatürde birçok çözüm bulunmaktadır. Bunlar sülfür heksaflorür (SF6) gazlı kesici, karbondioksit (CO2) gazlı kesici, vakumlu kesici vb. çözümler kullanılmaktadır [13-14].

Bu çalışmada ark sırasında oluşan yüksek enerjinin azaltılması, kontakların daha kısa sürede açması ve arkı en kısa sürede sönmek için üç farklı sabit kontak yapısı tasarlanmış aynı zamanda kısa devre deneyleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Üç farklı sabit kontak bara yapısına sahip devre kesici 3D tasarımı Solidworks programı kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 6’da devre kesicilere ait limitörüz, yarı limitörlü ve limitörlü sabit bara yapılarının üç boyutlu tasarımı verilmiştir.



Şekil 6. Sabit kontaktaki üç farklı modelin üç boyutlu tasarımları

Tasarıma uygun olarak numunesi hazırlanan sabit kontak baraları ile gerçekleştirilen 200A-400V özelliklere sahip bir devre kesiciye ilk önce standart termik ve manyetik açma testleri yapılmıştır. Termik ve manyetik testlerden başarılı bir şekilde geçtiği görülmüştür. Daha sonra IHP laboratuvarında (International High Power Test Laboratory) 50kA-400V değerleri uygulanarak kısa devre deneyleri yapılmıştır. IHP laboratuvarında elde edilen kısa devre deney test sonuçları tablo 1’de verilmiştir. Üç farklı sabit baraya sahip devre kesicilerin her biri üç kez kısa devre deneyi ile test edilmiştir. Bu üç kez yapılan test sırasında koşullar aynı olup herhangi bir parametre değişikliği yapılmamıştır. Çünkü bir devre kesicinin IEC/EN 60947-2 standartlarına göre beyan kısa devre kesme kapasitesi (Ics)’ ne eşit kısa devre akımını 3 kez arka arkaya yapılan testlerden devreyi kesmesi gerekmektedir. Bu şartı tablo 1 incelendiğinde sağladığı görülmektedir. Şebekede sistemde bir arıza durumunda veya kısa devre olayında, devre kesicilerde aşırı termal enerji oluşmakta bu enerji joule integrali olarak da adlandırılmaktadır. Tablo 1’ de ifade edilen Joule integrali devre kesici kısa devre olayını tamamen kesene kadar devreden geçen akımın karesi ile orantılı olarak hesaplanan enerji miktarıdır. Bir başka ifade ile devreden geçen akımın karesi ile kısa devrenin tamamen kesildiği süre çarpılarak hesaplanmaktadır. Joule integraline ait matematiksel eşitliği Denklem 2’ de verilmiştir [15].

$$I^2 t \text{ (Joule integrali)} = \int_{t_0}^{t_1} I^2 dt \quad (2)$$

**Tablo 1.** Devre kesicilerin kısa devre deneylerinin sonuçları

<b>1. DENEY</b>	<b>LİMİTÖRSÜZ</b>			<b>YARI LİMİTÖR</b>			<b>TAM LİMİTÖR</b>		
Fazlar	R	S	T	R	S	T	R	S	T
Joule İntegrali ( $kA^2s$ )	2923	4367	1285	1633	3425	1410	829	1408	326
Deney Akımı ( $kA, V, CosQ$ )	50, 400, 0,25			50, 400, 0,25			50, 400, 0,25		
Max Kesme Süresi ( $ms$ )	11,1			10			7,4		
<b>2. DENEY</b>									
Fazlar	R	S	T	R	S	T	R	S	T
Joule İntegrali ( $kA^2s$ )	4264	4367	1285	1006	1576	3587	105	1366	1024
Deney Akımı ( $kA, V, CosQ$ )	50, 400, 0,25			50, 400, 0,25			50, 400, 0,25		
Max Kesme Süresi ( $ms$ )	9,1			9,1			5,75		
<b>3. DENEY</b>									
Fazlar	R	S	T	R	S	T	R	S	T
Joule integrali ( $kA^2s$ )	2304	1299	4684	1235	1545	1355	1251	1024	144
Deney Akımı ( $kA, V, CosQ$ )	50, 400, 0,25			50, 400, 0,25			50, 400, 0,25		
Max kesme süresi ( $ms$ )	10,5			9,3			6,3		
<b>Ortalama Değerler</b>									
Enerji ortalaması ( $kA^2s$ )	2743			2106			813		
Maksimum kesme süresi ( $ms$ )	8,7			8,2			5,6		

Devre kesiciler yapılan üç deneyi de başarılı bir şekilde gerçekleştirmiş ve testten geçmiştir. Tablo 1’de limitörsüz devre kesicide oluşan ark enerjisi ve maksimum kesme süresinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Limitörlü devre kesicinin maksimum kesme süresi ve oluşan ark enerjisinde ise daha az olduğu görülmektedir.



## V. SONUÇLAR

Bu çalışmada 3 farklı sabit kontak bara yapısına sahip devre kesici 3D tasarımı Solidworks programı kullanılarak hazırlanmıştır. Üretilen bu farklı sabit kontak bara yapılarının kısa devre deneylerine etkisi incelenmiştir. Üç farklı sabit kontak bara yapısına sahip devre kesiciler ilk önce termik-manyetik testlere tabi tutulmuştur. Bu testlerden başarılı bir şekilde geçtiği gözlemlenmiştir. Limitörlü ve limitörsüz sabit bara yapısına sahip olan bu devre kesicilere IHP laboratuvarında kısa devre testi yapılmıştır. Limitörsüz devre kesicide kısa devre durumunda oluşan ortalama enerji miktarı  $2743 \text{ kA}^2\text{s}$  ve kesme süresi 8,7 ms olarak elde edilmiştir. Limitör özelliğine sahip devre kesicinin ise kısa devre testinde ark oluşumunda açığa çıkan ortalama enerji miktarı  $813 \text{ kA}^2\text{s}$  ve kesme süresi 5,6 ms olarak elde edilmiştir. Bir başka ifadeyle, limitör yapısına sahip olan alçak gerilim devre kesicilerinin açma sürelerinin daha kısa olduğu daha az ark enerjisi ile açtırma yaptığı görülmüştür. Dolayısıyla limitörlü yapıya sahip devre kesici kısa devre performansının limitörsüz yapılara göre daha iyi olduğu görülmüştür.

**TEŞEKKÜR:** Yapılan bu çalışmada 118C070 proje numarası ile destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)' na ve tasarım/deney aşamalarında desteklerini esirgemeyen FEDERAL Elektrik Yatırım ve Ticaret A.Ş. firmasına teşekkür ederiz.

## VI. KAYNAKLAR

- [1] F. Yang, Y. Wu, M. Rong, H. Sun, A. B. Murphy, Z. Ren, and C. Niu, "Low-voltage circuit breaker arcs simulation and measurements," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 46, no. 27, pp. 1-19, 2013.
- [2] P. Freton and J. J. Gonzalez, "Overview of current research into low-voltage circuit breakers," *The Open Plasma Physics Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 105-119, 2009.
- [3] F. Yang, M. Rong, Y. Wu, A. B. Murphy, J. Pei, L. Wang, and Y. Liu, "Numerical analysis of the influence of splitter-plate erosion on an air arc in the quenching chamber of a low-voltage circuit breaker," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 43, no. 43, pp. 1-12, 2010.
- [4] M. F. Yapıcıoğlu, H. H. Sayan, and H. Terzioğlu, "Karabük ilindeki alçak gerilim dağıtım sistemlerinde elektrik tüketiminin analizi," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 16, s. 1, 411-417, 2019.
- [5] L. Kui, L. U. Jian-Guo, W. Yi, Q. Zhi-jun and Y. Dong-mei, "Research on the overload protection reliability of moulded case circuit-breakers and its test device," *Journal of Zhejiang University-Science A*, vol. 8, no. 3, pp. 453-458, 2007.
- [6] Y. Yılmaz, "Alçak gerilim koruma ve kontrol sistemi," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 17-21, 2003.

- [7] F. Bizzarri, A. M. Brambilla, L. Ghezzi and F. Rigamonti, "Circuit level model of miniature circuit breakers," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, no. 6, pp. 2700-2709, 2018.
- [8] A. Abramovitz and M. Smedley, "Survey of solid-state fault current limiters," *IEEE Transactions on power electronics*, vol. 27 no. 6, pp. 2770-2782, 2012.
- [9] Wikipedia, URL: <https://federal.com.tr/limitorsuz-bir-devre-kesici-akimini-nasil-sinirlendirmektedir/> (Erişim zamanı; Nisan, 10, 2020).
- [10] H. Radmanesh, S. H. Fathi, G. B. Gharehpetian and A. Heidary, "A novel solid-state fault current-limiting circuit breaker for medium-voltage network applications," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 31 no. 1, pp. 236-244, 2015.
- [11] Ö. Görgüç, "Elektromanyetik fırlatıcı tasarımı ve namlu çıkış hızı ölçüm sistemi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2019.
- [12] O. C. Usta, "Yüksek gerilim enerji iletim hatlarının meydana getirdiği elektrik ve manyetik alanlar," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2010.
- [13] S. Sezginer, "Yapay sinir ağları ile elektriksel sistemlerde aşırı akım kavramı için kontrol sistemleri tasarımı," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [14] K. R. Cooper, "Proposed IEEE blue book-application guide for low voltage molded case circuit breakers and power circuit breakers," in *Conference Record. Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference*, IEEE, pp. 1-2, 1991.
- [15] Tartaglia, M., & Mitolo, M. "Evaluation of the prospective Joule integral to assess the limit short circuit capability of cables and busways," *In 2008 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, IEEE, pp. 1-5, 2008.