

Türkiye Elektrik Dağıtım Şebekesinde Acil Durum Direği Tasarımı

Emergency Pole Design in Turkish Electricity Distribution Network

Mutlu BEKTAŞ¹, Tuba BUĞDAYCI AVŞAR¹, Oğuz Kaan ATAR¹, Büşra BÜYÜKBAŞ¹, İlker BEKTAŞ², Osman FAKIOĞLU³, Ömer Burak YÜCEL³

¹Yeşilirmak Elektrik Dağıtım A.Ş., Ar-Ge Birimi

Mutlu.bektas@yedas.com, tuba.avsar@yedas.com, oguz.atar@yedas.com, busra.buyukbas@yedas.com

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Elektrik Elektronik Bölümü

Ilkerbektas@outlook.com

³Mitaş Endüstri San. Tic. A.Ş., Ar-Ge ve Tasarım Birimi

ofakioglu@mitasindustry.com, obyucel@mitasindustry.com

Özet

Bu çalışmada ulusal-uluslararası acil durum direkleri incelenmiş olup ülkemiz elektrik dağıtım şebeke karakteristiği ve değişen iklim koşulları dikkate alındığında belirli standartlara göre tasarım yapılmasının riskli olacağı analiz edilmiştir. Özellikle kırsal ve engebeli arazilerde oluşan direk devrilmelerinin araç ulaşımının zor olması, personellerin yıkılan direğin yerine yeni direk taşınmasında zorlanması ve her geçen saniye kesintinin uzamasına neden olmaktadır. Bu sebeple taşınması kolay, parçalar halinde, hızlı kurulum yapıda ve uç iklim koşullarına dayanıklı yapıda LeGoPoLe direği tasarlanmış ve EN50341 ve ASCE standartlarında ERS (Emergency Restoration System) direkleri için ifade edilen en kötü senaryolar dikkate alınarak simüle edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Acil Durum Direği, SAIDI, SAIFI, Değişken İklim Koşulları

Abstract

In this study, national-international emergency poles were examined and it was analyzed that designing according to certain standards would be risky considering the electricity distribution network characteristics of our country and changing climatic conditions. Especially in rural and rough lands, the difficulty of vehicle access due to the overturning of the poles causes the personnel to have difficulty in transporting the pole to the place of the demolished pole and causes the interruption to prolong with each passing second. For this reason, the LeGoPoLe pole, which is easy to transport with a fast installation structure and resistant to extreme climatic conditions, has been designed and simulated considering the worst-case scenarios expressed for ERS (Emergency Restoration System) poles in EN50341 and ASCE standards.

Keywords: Emergency Pole, SAIDI, SAIFI, Unstable Climate Conditions

1. Giriş

Havai hatlar, elektrik enerjisinin bir konumdan başka bir konuma havadan taşınması yöntemidir. Havai hatlarının nehir, köprü ve su yolu gibi elektrik hattının geçmesi zor olduğu yerlerden kolayca geçebilmesi, kurulumunun yer altı kablolarına göre daha hızlı sürede tamamlanması, ulaşımın güç olduğu dağ, orman ve engebeli arazilerde enerji dağıtımının daha kolay olması gibi avantajları vardır. Bu avantajların yanı sıra çevresel etkenlerden kolayca etkilenmesi, uzun hatlar boyunca arıza tespitlerinin zorlayıcı ve uzun sürmesi gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar neticesinde elektrik dağıtım hatlarında arızalar, kesintiler vb. durumlar meydana gelmektedir. Elektrik dağıtım şirketlerinin en önemli amacı ise kesintisiz enerji sağlamaktır. Ancak çevresel koşullar, doğal afetler, işçilik hataları gibi etkenler elektrik direklerinin zarar görmesine neden olmaktadır. Bu durumlar uzun süreli enerji kesintilerine yol açmaktadır. Bu arızaların onarılması için ise hızlı ve ekonomik şekilde bu kesintilerin restore edilmesinin yollarından biri olan, acil durum direkleri mevcuttur. Bu acil durum direkleri farklı ülkelerde kullanılmaktadır [1][2].

Şekil 1’de ABD’nde şiddetli bir fırtına sonrası yıkılan 380 kV enerji nakil hattı gösterilirken, Şekil 2.’de ABD’de kurulan bir acil durum direği gösterilmiştir.



Şekil 1. ABD'de Fırtına Sonrası Yıkılan Enerji Nakil Hattı



Şekil 2. ABD'de kurulan bir acil durum direği

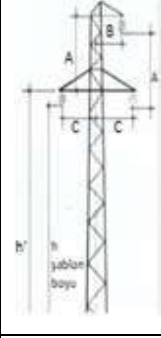
Bu çalışma ile farklı ülkelerde kullanılan acil durum direklerinin eksik yönleri ve riskleri belirlenmiş ve yük analizleri dikkate alınmıştır. Kompozit- alüminyum karışımı hafif, parçaları birleştirilebilir, hidrolik sistemli ve konsol izolatör kullanımlı direk geliştirilmesi planlanmış, hesaplama, simülasyon ve yük analizlerinden bu çalışmada bahsedilmiştir.

2. Tasarlanan LeGoPoLe Direği Özellikleri

LeGoPoLe direği, enerji kesintisi yaşanan ve özellikle araç ulaşımının zor olduğu ya da olmadığı noktaya müdahale amacıyla iki kişinin taşıyabileceği modüller halinde tasarlanmış bir direk olmasından dolayı enerji temininin daha kolay ve pratik (hızlı) bir şekilde gerçekleşmesini ve arızanın giderilmesini sağlayacaktır. Araziye ulaştığı esnada yere yatık ve yatay pozisyonda direk modüllerinin birleştirilmesi ile kolay ve hızlı bir kurulum gerçekleşecektir. Kurulan direk geçici kullanım amaçlı tek devre, taşıyıcı ve aç-durdurucu modüler direk olacaktır. Tasarlanan LeGoPoLe direğinin mevcut direklerden farkı, arıza yaşanan noktaya hızlı götürülebilmesi ve ilave makine – teçhizata ihtiyaç duyulmadan kolay kurulum ile kesintinin kısa sürede sonlandırılmasıdır. Tablo 1.'de mevcut taşıyıcı direğin (3/0 AWG, tek devre, galvaniz demir direk) özellikleri verilmiştir.

Aynı zamanda BER, BES, BET ve BEY olarak dört tip taşıyıcı direkler sahada aktif olarak kullanılmaktadır [3][4]. Tablo 1' de görüleceği üzere direk boyutları farklılık göstermektedir. LeGoPoLe direğinin burada özgün içeriği olan arazi koşuluna göre istenilen boyda ayarlanabilmesi, mevcut direklerin bölgeye temin edilmesindeki zorlukların önüne geçecektir.

Tablo 1. Mevcut taşıyıcı direğin özellikleri

	BER	BES	BET	BEY
				
A:	2,6 m	3 m	4,5 m	4,5 m
B:	1,3 m	1,4 m	2,15 m	2,15 m
C:	1,56 m	2,25 m	3,65 m	3,65 m

LeGoPoLe direk, enerji nakil hatlarında kullanılmakta olan tüm direk tipleri yerine (BER, BES, L, LA, P, R, DU, K gibi) ve YG iletken tertiplerinde (3 AWG, 1/0 AWG, 3/0 AWG) kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır.

3. Elektrik Dağıtım Direk için Mevcut Standart ve Yönetmelikler

Literatür taraması kapsamında incelenen kritik ulusal mevzuat Tablo 2.'de listelenmiştir. ENH tasarımı ve proje uygulamalarında öne çıkan en kritik ulusal mevzuat Elektrik Kuvvetli Akım Tesis (EKAT) Yönetmeliğidir.

Tablo 2. Kritik ulusal mevzuat

Mevzuat	Tarih	İçerik
EKAT (Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri) Yönetmeliği	İlk Vers:1978 Güncelleme: 2000	-Yüklenme -Kapasite -İletken,Güzergah
TEDAŞ(YG) Dağıtım Hatları Proje Şartnamesi	2008	-Yüklenme -Kapasite -İletken,Güzergah
TEİAŞ Dağıtım Hatları Proje Teknik Kılavuzu	2000	-Yüklenme -Kapasite -İletken,Güzergah
TEİAŞ YG ENH Direk Tasarımı Teknik Şartnamesi	2021	-Yüklenme -Kapasite -İletken,Güzergah
TS EN 1991-1-4 Standartı	2007	-Rüzgâr Yüğü

TS EN 1993-3-1 Standartı	2007	-Kapasite (Çelik Yapılar genelinde)
Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik	2016 Çevre ve Şehircilik Bak.	-Kapasite (Çelik yapılar genelinde)

değişmekte olup, tüm Türkiye’de sabit varsayılmıştır (Tablo 4.). Türkiye’deki orta gerilim (OG) şebekelerde kullanılan direklerin yüksekliği 0-15 ile 15-40 metre civarı olup, EKAT Yönetmeliğine göre bu yükseklikteki iletkenlere etkimesi beklenen dinamik rüzgâr basıncı 53 kg/m² varsayılmaktadır.

Tablo 4. EKAT yönetmeliğinde dinamik rüzgâr basıncı

Dinamik Rüzgâr Basıncı (kg/m ²)	Dinamik Rüzgâr Basıncı (kg/m ²)				
	Arazi Üzerindeki Yükseklik (m)	Direk	Travers	İletken	Rüzgâr hızı (m/s)
0-15	55	55	44	26,53	95,5
15-40	70	70	53	29,12	104,83
40-100	90	90	68	32,98	118,75
100-150	115	115	86	37,09	133,54
150-200	125	125	95	38,99	140,35

3.1. LeGoPoLe’ün Optimum Buz Yüküne Uyarlanması

Uluslararası literatür incelendiğinde EKAT Yönetmeliğinin ilk yayınlandığı tarihlerde (1978) birçok Avrupa ülkesinde de buz yükü varsayımlarında $q = k \sqrt{d}$ formüldeki benzer bir yaklaşım uygulanmıştır. Bazı ülkeler $q = k \sqrt{d}$ formülü kullanmış bazıları ise daha farklı formüller kullanmışlardır. Tablo 3.’de EKAT standartlarına dayanılarak Türkiye’de hesaplanan en fazla buz yükü (kg/m) ve Fransa’da olağan dışı bölgede hesaplanan buz yükü (kg/m) verileri verilmiştir.

Tablo 3. Türkiye-Fransa buz yükü karşılaştırılması

Ülke Adı	Yönetmelik	İletkenin Cins / Çap (mm)	Hesaplanan Buz Yükü (Kg/m)
Türkiye	EKAT	Pigeon (12,75 mm)	4,284
Fransa	EKAT	Pigeon (12,75mm)	12

Diğer yandan, Avrupa ülkelerinde bu yaklaşımın yerini zamanla istatistiksel yöntemlere dayalı karakteristik buz yükü (kg/m) veya iletken üzeri buz kalınlığı (cm) yaklaşımı almıştır. Bölgelerde meteorolojik açıdan meydana gelebilecek en sert koşullar için yıllık aşılma olasılığı hesaplamalarına dayalı bu istatistiksel yöntem günümüzde hem Avrupa hem de Kuzey Amerika ülkelerinde genel kabul görmüş bir uygulamadır. (EN 50341 ve ASCE Standartları – Tablo 2.)

LeGoPoLe direği ise daha önce Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerinde EN50341 ve ASCE standartlarında ERS (Emergency Restoration System) direkleri için ifade edilen en kötü senaryolar dikkate alınarak yükler (buz ve rüzgâr yükleri) hesaplanmıştır. Hesaplanan buz yükü verilerine ve günümüzde kabul görmüş en sert koşullar için istatistiksel hesaplamaları göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır.

3.2. LeGoPoLe ’nin Rüzgâr Basıncı ve Yüküne Optimum Uyarlanması

İletken üzerindeki rüzgâr yükü hesaplamalarında en kritik parametre dinamik rüzgâr basıncıdır (P). EKAT Yönetmeliğinde dinamik rüzgâr basıncı, arazideki direk üzerindeki iletkenin askı yüksekliğine bağlı olarak

Uluslararası literatür incelendiğinde ise, Avrupa ülkelerinde rüzgâr yükü hesabı için EN 1991-1-4 Standartı öne çıkmaktadır (Tablo 5.). Bölgelerde meteorolojik açıdan meydana gelebilecek en sert rüzgâr koşulları için yıllık aşılma olasılığı hesaplamalarına dayalı bu istatistiksel yöntem Kuzey Amerika ülkelerinde de genel kabul görmüş bir uygulamadır (ASCE Standartları- Tablo 2.).

Tablo 5. Avrupa ülkelerinde rüzgâr yükü hesabı için EN 1991-1-4 Standartı

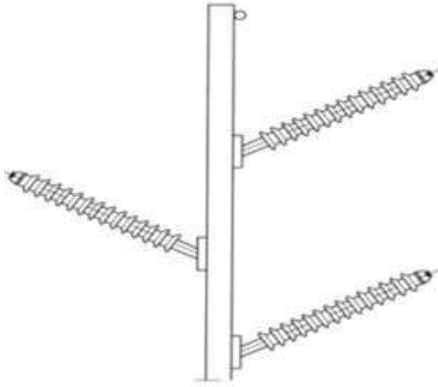
Mevzuat	Tarih	İçerik
EN 1991-1-4 Standartı (Eurocode)	2011	- Rüzgâr yükü
EN 50341-1 Standartı (Eurocode)	2012	-Yüklenme (buz & rüzgâr) -Kapasite -İletken, Güzergâh
ASCE (American Society of Civil Engineers) Standartları	ASCE 74 (2010) ASCE 15 (2015)	-ASCE 74: Yüklenme -ASCE 15: Yapı tasarımı

Yapılan analizler ve veriler doğrultusunda LeGoPoLe direği, Uluslararası Güncel Standartlarına uyumlu olup uç iklim koşullarında; rüzgâr yüküne ve basıncına dayanıklılık açısından uygun olarak tasarlanmıştır.

4. Tasarım ve Malzeme

Personellerin iklim ve ulaşımın zor olduğu yerlere direk ve parçalarını taşınması amacıyla hafiflik ön plana çıkarken, standartlar incelendiğinde ise dayanımı yüksek olarak tasarlanan direğin çeliğe nazaran sırasıyla üçte bir ve beşte bir oranda düşük birim ağırlığa sahip alüminyum ve cam yünü elyaf kompozit malzemelerden oluşan hibrit bir direk yapısı üzerine odaklanılmıştır. Cam elyaf takviyeli geri dönüştürülebilir polimer malzeme ile takviye edilerek fiziksel ve kimyasal mukavemet değeri artırılmış polyester veya vinil ester reçineden oluşan kompozit bir malzemedir. Birim ağırlığına nazaran yüksek mukavemet göstermesi bakımından öne çıkmaktadır. Yüksek dayanımları olan alüminyum ve cam yünü elyaf, kompozit malzemelerin kullanımıyla yüksek dayanım ağırlık oranı elde edecektir [5][6][7].

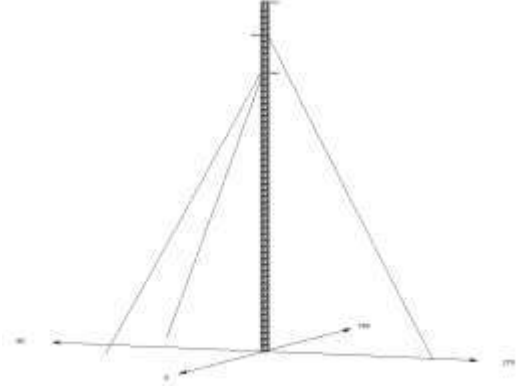
LeGoPoLe direğinin hafif olmasını yanı sıra yük dayanımının direk üstünde eşit dağıtılması gerekmektedir. Konsol izolatörlerin portatif direğe sağ ve sol taraflarından dikey açıda montelenmesi hesaplanmaktadır. Bu plan Şekil 3.'de gösterilmiştir. Bu neticede direğin düşey yükü dengelenmiş olacak ve kurulan yeni direk zor iklim koşullarında dahi kurulsa konsol izolatörler sayesinde direğin emniyeti ve enerji güvenliliği sağlanacaktır. Konsol izolatör kullanımı alüminyum profillerden oluşacak konsol ile askı izolatör gereksinimini de ortadan kaldıracaktır [5].



Şekil 3. İzolatör traversler (Delta konfigürasyonu)

Lenteli direkler vandalizm tehlikesi olmayan coğrafyalarda kafes ve poligon direkleri kayda değer oranda hafifletmeleri bakımından tercih edilmektedir. Temel olarak, lenteler, direklere etkileyen yatay yükleri karşılamakta ve bu sayede direk gövdesine etkileyen eğilme momenti etkilerini minimize ederek dikmeler üzerindeki aksel yüklerde ciddi oranda düşüş sağlamaktadırlar. Bu düşüş, kesit alanı gereksinimini azaltarak direk gövdelerinin hafifletmesini mümkün kılmaktadır. Fabrika testlerinin gerçekleştirdiği bir çalışmada lenteli bir kafes direğin, lentesiz olanlara göre %40 daha hafif tasarlanabileceğini belirlemiştir [8].

Enerji nakil hatlarında kullanılan lenteler genellikle çelik malzemeden oluşan halatlardır ve tasarım gereksinimlerine bağlı olarak değişen çeşitli çaplarda olurlar [9].



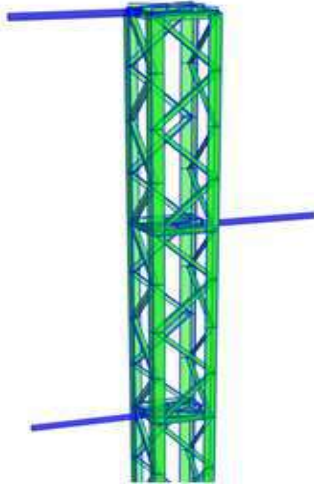
Şekil 4. İzolatör traversler (Delta konfigürasyonu)

5. Yöntem ve Simülasyon

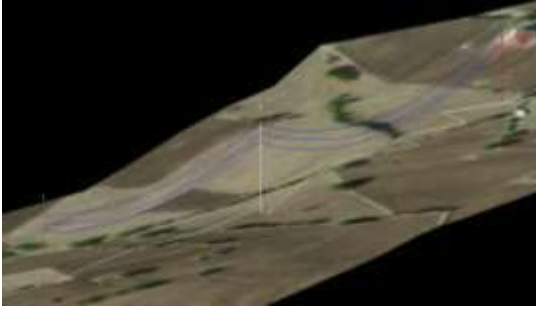
Bu aşamada ilk olarak belirlenen menziller ve atmosferik koşullar için sehim-gerilme analizleri ile yük hesapları yapılmıştır. Yükler hazırlanırken, TEDAŞ şartnamelerinin yanında EN 50341-1:2012 ve ASCE-74 (Tablo 5.) yönetmeliklerinden de faydalanılmıştır. Direklerin ön tasarımı aşamasında, dikmelerin haddelenmiş alüminyum köşebent profillerden veya plakadan soğuk büküm alüminyum C profillerden teşkil edildiği iki farklı alternatif üzerinde durulmuştur. Her iki alternatifte de çapraz elemanlar ve kuşakların bir kısmı kompozit malzeme ile modellenmiştir. Panellerde bulunan dikmeler bir alttaki panelin dikmelerin içine oturacak ve tek kesmeli bağlantılarla sabitlenecek şekilde yapılacaktır. Ön tasarımda panel yükseklikleri 2m olacak şekilde tasarlanmıştır. Direklerin fazlarının farklı şekillerde konumlanmaları irdelenmiştir. Direklerin sahada yatay olarak birleştirilmesi, temele mafsallı bir sistem yolu ile oturtulması ve ardından proje kapsamında hesaplama ve analizler doğrultusunda hidrolik sistem ile direğin kaldırılması değerlendirilmiştir [6].

Direklerin kesin tasarımında alüminyum kesitlerin AA-2005 ve ASCE-9457 yönetmeliklerine, lentelerin ASCE-91 yönetmeliğine, kompozit malzemelerin de ASCE Pre-Standard for LRFD of Pultruded FRP structures yönetmeliğine göre yapılması kararlaştırılmıştır [7]. Direklerin fazları düşey konumlanımda olacak ve konsollar post-izolatörlerden teşkil edilecektir.

Solidworks programı kullanılarak direk ve temellerin üç boyutlu katı modelleri oluşturulmuş, (Şekil 5.) PLS-CADD programında simülasyonu yapılmıştır. (Şekil 6.) Sonrasında montaj resimleri ve malzeme üretimi için gerekli imalat kartları hazırlanmıştır. Daha sonra direklerin birebir ölçekte prototip imalatları yapılmıştır. Ardından tasarım yükleri altında yük testleri yapılarak teorik yaklaşımlar doğrulanmıştır.



Şekil 5. Üç Boyutlu Katı Model



Şekil 6. PLS-CADD'de simülasyonu yapılan
LeGoPoLe

6. Sonuç

Çevre koşullarının ve küresel iklimin sebep olduğu hava koşullarındaki değişimden kaynaklanan direk arızalanmaları ve yıkılmaları günümüzde enerji kesintilerinin uzamasına neden olmaktadır ve elektrik dağıtım firmalarına maddi olarak zararlar vermektedir. ABD, Hindistan gibi ülkelerde bu sorunlara çözüm için kullanılan acil durum direklerinin değişen iklim koşulları sebebiyle bir standarda bağlı olarak tasarlanmasının risk taşıması gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da görüldüğü üzere EKAT Yönetmeliği, EN 1991-1-4 standardı ve ASCE incelenmiş olup buz, rüzgâr yükünde ve yüklenmelerde belirlenen en zor koşullar dikkate alınarak LeGoPoLe direği tasarlanmıştır. Tasarlanan direk sayesinde çevresel etkenlerin teşkil ettiği risk seviyesi en aza indirgenecektir ve elektrik dağıtım şebekesinde kesiti süresi ve kesintiye bağlı etkilenen müşteri sayısı (SAIDI-SAIFI) azalacaktır. Özellikle doğal afet sonucunda gerçekleşen direk devrilmeleri müşterilere bildirimsiz kesinti olarak yansımaktadır. Bildirimsiz kesintilerin ise ivedi bir şekilde giderilmesi ve müşteri memnuniyetinin artırılması gerekmektedir. Tüm bu gerekçeler dikkate alındığında ülkemiz buz yükü bölgesinin hepsine uygun, kırsal ve ulaşım zor olduğu bölgeye sevk edilebilecek yapıda, Maksimum Rüzgâr Basıncı 53 kg/m² (EKAT) kadar dayanımlı, İletken Tipi 3 AWG, 1/0 AWG, 3/0 AWG uygun, %20 kadar arazi eğiminde kurulum

yapılabilecek, Buz Yoğunluğu 700 kg/m³ (TEİAŞ) kadar olabilen ve lentelerin ankrajlarının zemine sabitlenebilmesi için uygun coğrafi koşullar dikkate alınarak LeGoPoLe direk pilot saha denemesi yapılacaktır.

7. Teşekkür

Türkiye Elektrik Dağıtım şebekesinde yeni acil durum direğinin tasarım, analiz, test ve saha faaliyetlerinin uygulanmasına vermiş olduğu destekten dolayı Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na teşekkür ederiz.

8. Kaynakça

- [1] Knapper, J. (2008). Overhead power lines. İçinde *IET Seminar Digest* (C. 2008, Sayı 12395). <https://doi.org/10.1049/ic:20080533>
- [2] Orawski, G. Bradbury, J. Vanner, M.J. "Overhad distribution lines" 133, 409-424, 1986, <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-c.1986.0061>
- [3] Tür, M. & Aydoğmuş, Z. (2014). Dletim Hatları için Bulanık Mantık-Tabanlı Direk Tipi Seçimi . Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology , 2 (4) , 299-308 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gujsc/issue/7465/98272>
- [4] Prasad, D., Khan, M. I., Barua, P., & Agarwal, H. (2018). Transmission line restoration using ERS structure. *2017 14th IEEE India Council International Conference, INDICON 2017*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2017.8487631>
- [5] Korku, M. , Feyzullahoğlu, E. & İlhan, R. (2022). Farklı Türlerde Polyester ve Çekme Katkısı İçeren Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozit Malzemelerde Çevresel Koşulların Aşınma Davranışlarına Olan Etkilerinin İncelenmesi . *Politeknik Dergisi* , , 1-1 . DOI: 10.2339/politeknik.1105329
- [6] Dokšanović, Tihomir & Dzeba, Ivica & Markulak, Damir. (2017). Applications of aluminium alloys in civil engineering. *Tehnicki Vjesnik*. 24. 1609-1618. 10.17559/TV-20151213105944.
- [7] Zureick, A. H., & Weinmann, B. (2022). Revisiting the Net-Section Tensile Rupture Strength Limit State of Single-Bolt Connections in Pultruded Structures. *Journal of Composites for Construction*, 26(5), 04022050.
- [8] Lee, Su-Hyung, "Numerical Analyses on Moment Resisting Behaviors of Electric Pole Foundations According Their Shapes", *Korean Geotechnical Society*, 11,85-97,2013, <https://koreascience.kr/article/JAKO201336447760719.page>
- [9] Özçatalbaş, Y. (2020). Çeliklerin işlenebilirliği: kimyasal bileşim, mikroyapı, mekanik özellikler ve işlenebilirlik ilişkisi . *Politeknik Dergisi* , 23 (2) , 457-482 . DOI: 10.2339/politeknik.550000