

İstanbul Marmaray Raylı Elektrik Sistemlerinin İletim Şebekesi Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Evaluation Of The Effect Of Istanbul Marmaray Rail Electric Systems On The Transmission Network

Mehmet Zeki ÇELİK¹, İsmail KIYAK²

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Marmara Üniversitesi
zeki.celik@marmara.edu.tr

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Marmara Üniversitesi
imkiyak@marmara.edu.tr

Özet

Yüksek gerilim iletim sistemlerinin en önemli özelliği enerji iletiminin kesintisiz olarak sağlanabilmesidir. Bu nedenle, iletim sistemi minimum elektrik kesintisine sahip olmalıdır. Enerji iletim sistemlerine bağlı orta gerilim şebekelerinde harmonikleri azaltmak için mümkün olduğunca az elektrik kesintisi olmalıdır. Elektrikli trenler, orta gerilim dağıtım şebekeleri tarafından desteklenmektedir. Elektrik raylı sistemlerin dağıtım şebekesinde oluşturduğu harmonikler iletim sistemini de etkiler. Raylı enerji hatlarının birbirine bağlantılı bir yapıda olması, sistemdeki arızaların oluşturduğu harmoniklerin iletim ve dağıtım şebekesi üzerindeki etkisini artırmaktadır. Raylı sistemlerdeki herhangi bir arızaya dağıtım şebekesinin koruma sistemleri ile müdahale edilmektedir. Koruma sistemlerine bağlanan röleler, raylı sistemde oluşan harmoniklerin en aza indirilmesini sağlar. Dağıtım sistemi, iletim şebekesine bağlıdır. Dolayısıyla dağıtım şebekesinde oluşan harmoniklerin azalması, iletim sistemi üzerindeki etkilerin azalması anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada öncelikle raylı elektrik sistemleri hakkında bilgi verilecektir. Raylı sistemlerin bağlı olduğu elektrik bağlantılı sistemler anlatılacaktır. Raylı sistemlerin arızaları ve bu arıza anında meydana gelen harmonikler anlatılacak ve bu raylı sistemlerin harmonik etkilerinin minimumda tutulması için ne gibi önlemler alınması gerektiği hakkında bilgi verilecektir.

Abstract

The most important feature of high voltage transmission systems is that energy transmission can be provided uninterruptedly. Therefore, the transmission system should have minimal power outages. Medium voltage networks connected to energy transmission systems should have as few power outages as possible to reduce harmonics. Electric trains are powered by medium voltage distribution networks. The harmonics generated by electric rail systems in the distribution network also affect the transmission system. The fact that the rail power lines are in an interconnected structure increases the effect of the harmonics created by the failures in the system on the transmission and distribution network. Any failure of the rail systems is intervened with the protection systems of the distribution network. Relays connected to protection systems ensure that harmonics occurring in the rail system are minimized. The distribution system is

interconnected to the transmission network. Therefore, the decrease of harmonics formed in the distribution network means that the effects on the transmission system are reduced. In this study, information about rail electric systems will be given first. The electrical interconnected systems to which the rail systems are connected will be explained. The failures of the rail systems and the harmonics that occur at the time of this failure will be explained and information will be given about what measures to take to keep the harmonic effects of these rail systems to a minimum.

1. Giriş

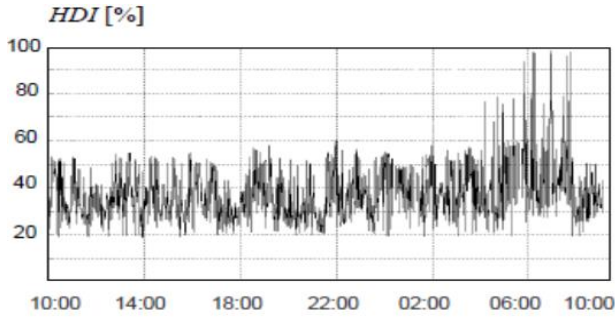
Dünyada raylı sistemlere olan ihtiyacın artması, elektrik sektöründe teknoloji kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Elektrikli raylı sistem sektöründe artan ihtiyaç, elektrik sistemlerinin önemini artırmıştır. Elektrikli raylı sistemlerde meydana gelebilecek herhangi bir kesinti hem şehir içi hem de şehir dışı ulaşım açısından bir maliyet yükü anlamına gelmektedir.

Özellikle şehir içi ulaşım sektöründe elektrikli ray kullanımı hem mevcut hava kirliliği açısından hem de ülke ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle elektrikli raylı sistemlerde elektrik kesintileri en aza indirilmelidir. Kesintileri önlemek için elektrikli raylı sistemlerde harmoniklerin azaltılması gerekmektedir.

Elektrikli raylı sistemdeki harmonikler, güç kalitesi yönleri, sık ve güçlü geçişler hakkında çalışmak ve yorum yapmak zordur. Bu nedenle demiryolu harmoniklerinden kaynaklanan olası sorunları önlemek için bazı standartlar oluşturulmuş ve bu standartlara çeşitli önerilerde bulunulmuştur. İletim şebekesinde harmoniklerin neden olduğu kirlilik limitleri için en yaygın kullanılan standart IEEE 519-1992 standardıdır. Yaygın olarak kullanılan standardın yanı sıra EN 50238/2003 gibi nitelikli özelliklere sahip demiryolu standartları ve genel EMC standartları EN 61000 ile uyumlu olan EN 50121 veya EN 62236 gibi demiryolu sistemlerine uygulanabilen bazı genel EMC standartları, geliştirildi. Ayrıca her demiryolu şirketinin bulunduğu coğrafyaya veya altyapısına göre standartları vardır. Tüm bunlara ek olarak elektrikli trenlerin yükleme durumuna göre cer yükü harmonikleri için uygun tahmin yöntemleri oluşturulmuştur [1], [2], [3], [4].

Uluslararası standartlara uygun olarak belirlenen Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği, iletim sisteminde belirli noktalarda sınırlı harmoniklere sahiptir. Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliğine göre iletim sistemine bağlı fider veya trafo gibi şebeke elemanlarının bakım ve onarım amacıyla planlı olarak kapatılması, iletim sisteminde harmonikler oluşturur. Bu harmoniklerle oluşan gerilim ve akımdaki faz dengesizliklerinde harmonik bileşenlerin toplamı %2'yi geçmemelidir. Bunun yanı sıra iletim sisteminin bağlantı elemanlarında meydana gelen arızaların sık ve kısa süreli olduğu da belirtilmektedir. [5].

Romanya'da elektrik santralleri tarafından üretilen elektrik enerjisi, 110kV üç fazlı iletim hatları ile elektrikli demiryolu trafo merkezlerine taşınmaktadır. Romanya'da bir demiryolu hattının elektrik besleme gerilimi 25 kV 'dur. Tek fazlı 110kV/25kV transformatörler ile iletim sisteminden demiryolu ağına dönüşüm 25 kV'a düşürülmüştür. Düşük gerilim seviyesi, yüksek gerilim şebekesinden trenlere istenilen özelliklerde elektrik enerjisi sağlar. Demiryolu iletim ağındaki her trafo, üç fazlı sistemin iki fazına bağlıdır. Elektrikli demiryolu ağı hattının her bölümü bağımsız olarak bir trafo merkezi tarafından beslenir. Demiryolu, elektrik şebekesinin birbirine bağlı bir sistemi olduğu için her fazı yaklaşık 50 km uzunluğundadır ve ana besleme hattı 150 km boyunca bu şekilde dengede tutulmaktadır. Demiryolu iletim ağına meydana gelen akım harmoniklerindeki akım dalgalanması gün boyunca analiz edilmiştir. Akımın harmonik bozulma faktörünün grafiksel gösterimi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Elektrikli demiryolu hattında harmonik bozulma [6]

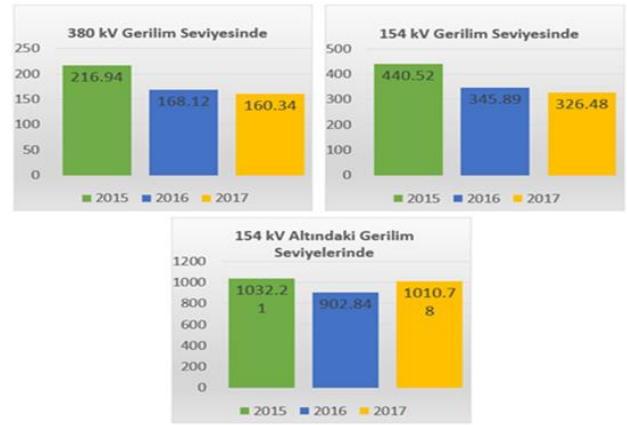
Şekil 1'de görüldüğü gibi elektrikli demiryollarında meydana gelen akımın harmonik bozulma faktörü (HDI) değerleri toplu taşıma saatlerinin yoğunluğuna göre değişmektedir. Yoğun toplu taşıma saatlerinde harmonik bozulma %60 ile %100 arasındadır. Enerji etkisi önemsiz sayılabilir çünkü toplu taşımanın yoğun olduğu saatlerde değerler çok daha düşüktür. Harmonik bozulma değerleri, elektrikli trenlerde pantografin temas direncindeki bir değişiklik ile ilişkilendirilebilir. Şekil 1'e bakıldığında İGE değerlerindeki değişimin yüksek trafik yoğunluğu ile ilişkili olduğu görülmektedir. Elektrikli demiryollarında en çok kaydedilen İGE değerleri %20 ile %40 arasındadır. Bu değerlerden hareketle tren trafiğinin yoğun olmadığı söylenebilir [6].

Bu çalışmada, ülkemiz genelinde elektrikli raylı sistemlerin artması nedeniyle harmonik etkilerin tren sistemleri üzerindeki etkileri incelenecektir. Tren hatlarının beslendiği fiderlerde iletim sistemindeki harmonik bozulmaların iletim şebekesini nasıl etkilediği incelenecektir. İletim şebekesindeki harmoniklerin etkilerinin hangi yollarla azaltılabileceği konusunda bilgi verilecektir.

2. Literatür Çalışması

154 kV trafo merkezlerinde demiryollarına ait bazı fiderler bulunmaktadır. Demiryollarının fiderlerinin gerilim seviyesi 36 kV 'dur. Dağıtım gerilim seviyesindeki fiderlerde meydana gelen arızalar, akım ve gerilimde meydana gelen harmonik bozulmalar açısından ele alınmıştır.

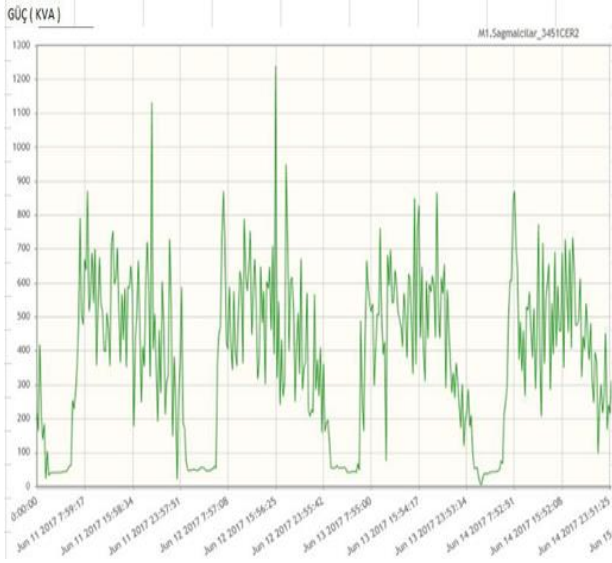
Demiryollarının darbe yüklü trafosuna enerji verilmesi, sistemde gerilim ve akım dalgalanmalarına neden olur. Ayrıca tren katener hattındaki arızalar ve elektrikli tren motorlarının anahtarlama durumları akım ve gerilim dalgalanmalarına neden olur. Şekil 2, farklı voltaj seviyeleri için elektrik şebekesinde meydana gelen voltaj dalgalanmalarının sayısını göstermektedir.



Şekil 2: Yıllara göre farklı gerilim seviyelerinde meydana gelen gerilim dalgalanmaları [7]

Şekil 2'de 380 kV ve 154 kV gerilim seviyeleri için gerilim dalgalanmalarının yıldan yıla azaldığı görülmektedir. Ancak, 154 kV altındaki voltaj seviyeleri için aynı durum söz konusu değildir. Şekil 2'de görülen düzensiz sayıda gerilim harmoniğinin nedeni iletim ve dağıtım şebekelerinde meydana gelen gerilim dalgalanmalarıdır. Dağıtım şebekesinde meydana gelen arızaların iletim şebekesine yansıdığı bilinmektedir. Bunun nedeni, aynı enterkonnekte elektrik şebekesi içinde olmalarıdır [7].

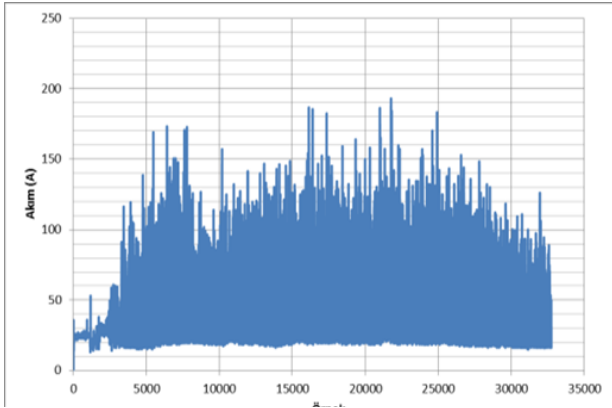
Elektrikli raylı sistemlerde tren geldiğinde veya hareket ettiğinde trafonun yük durumuna göre akım ve gerilim değerleri değişir. Elektrikli tren çalışmaya başlar başlamaz demiryolu ağı akım-zaman grafiğine göre en yüksek akım değerine ulaşır. Tepe akım değerine ulaştıktan sonra minimum akım seviyesine geri döner. Elektrikli trenlerin bu çalışma koşulundan dolayı transformatörler sabit akım çekmezler. Elektrikli trenleri besleyen transformatörler çok hızlı değişen güç değerlerine maruz kalmaktadır. Bu, ağda yüksek miktarda harmonik oluşturur. Şekil 3, elektrikli ray sistemini besleyen trafo tarafından çizilen güç grafiğinin zamana bağlı değişimini göstermektedir. [8].



Şekil 3: Raylı sistem trafo güç grafiği [8].

Raylı sistem trafosunun sabit bir güç eğrisi yoktur. Elektrikli trenlerin durma ve hareket etme özelliklerinden dolayı demiryolu ağında hızla değişen bir güç eğrisi vardır. Demiryolu ağına bağlı elektrikli trenlerin durma ve kalkış özellikleri akım dalgalanmalarına neden olur.

Demiryolu ağındaki akım dalgalanmaları, iletim sistemine bağlı trafoları da etkiler. Demiryolu ağına bağlı iletim şebekesinde bağlı fiderden çekilen akımın grafiği Şekil 4'te gösterilmektedir.



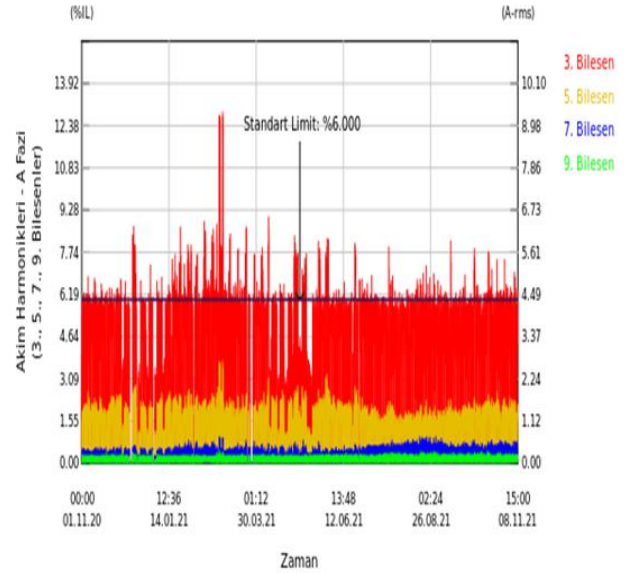
Şekil 4: İletim ağı raylı besleyici akış grafiği [8].

İletim şebekesine bağlı demiryolu fiderinden 2 saniye aralıklarla alınan mevcut örneğin grafiği Şekil 4'te gösterilmektedir. Elektrikli trenlerin bağlı olduğu fiderlerin değişen yük profili iletim şebekesini de etkilemektedir. Elektrikli raylı sistemler incelendiğinde oluşan harmoniklerin birçok faktörle değiştiği görülmektedir. Harmoniklerdeki dalgalanmaların elektrikli tren yükü, tren yolculuk mesafesi, istasyon sayısı ve artan gerilim yükü gibi faktörlerden kaynaklandığı görülmektedir. Şekil 4'teki grafikte iletim şebekesine bağlı demiryolu fiderlerinden alınan akımın sabit kalmadığı ve sürekli değiştiği görülmektedir. [8].

3. Materyal ve Yöntem

Kentsel toplu taşımada raylı sistemlerin kullanımı, kentlerin değişmesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu şehirlerde planlanan veya mevcut raylı sistem hatlarının elektrik şebekesine etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Raylı sistemin etkilerinin incelenmesi sonucunda demiryolu elektrik şebekelerinin planlamasının da doğru yapılarak geliştirildiği görülecektir. Elektrifikasyon sistemleri geliştirilmelidir. Raylı elektrik sistemleri, gerilim seviyesi demiryolu gerilim seviyesine düşürülerek iletim şebekesinin trafo merkezlerinden enerjilendirilir. İletim sisteminde gerilim seviyesi düşürülen elektrik, herhangi bir doğrultucu grubuna ihtiyaç duyulmadan demiryolu iletim şebekesine verilir [9].

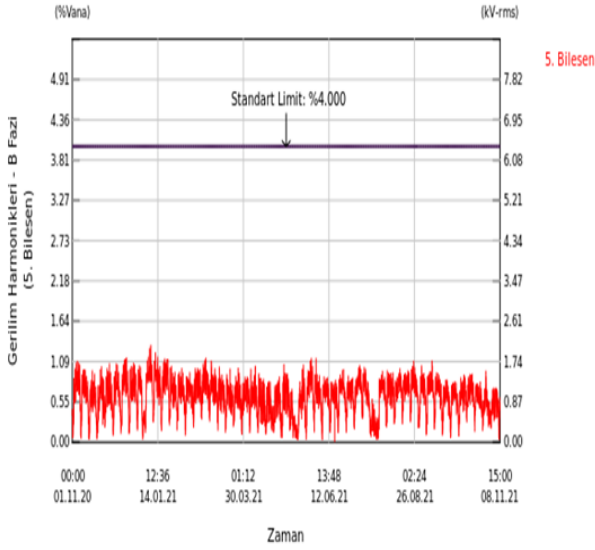
İletim ve dağıtım şebekelerine bağlı koruma sistemleri sayesinde arızaların giderilmesini ve bu arızaların nedenlerinin belirlenmesini sağlar. Raylı elektrik sistemlerini besleyen trafo merkezlerinin olası bir arıza durumunda arz güvenliğini sağlayacak şekilde çalıştırılması gerekmektedir. Bunun için raylı elektrik sistemini besleyen trafo merkezlerinde yapılan röle ayarları dağıtım şirketi ile koordineli olarak yapılmalıdır. Aynı şekilde elektrikli raylı sistemlerin enterkonnekte sistemi etkilememesi için raylı sistem bakım ve onarım işlemlerinin düzenli olarak yapılması ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Raylı sistemde oluşabilecek voltaj arızaları hem iletim ve dağıtım sisteminin güvenliğini riske atması hem de toplu ulaşım aksamlarına neden olması nedeniyle kabul edilemez. Trafo merkezlerinde kullanılacak koruma sistemleri özenle seçilmelidir. Bu nedenle trafo merkezlerinde kullanılacak rölelerin düzgün çalışması ve arıza kayıtlarını doğru alması gerekir. 170 kV Trafo Merkezlerinde yapılan demiryolu fiderlerinde yapılan ölçümlerde şebekenin etkileri incelenmiştir.



Şekil 5: 170 kV DDY Fideri Akım Harmonikleri

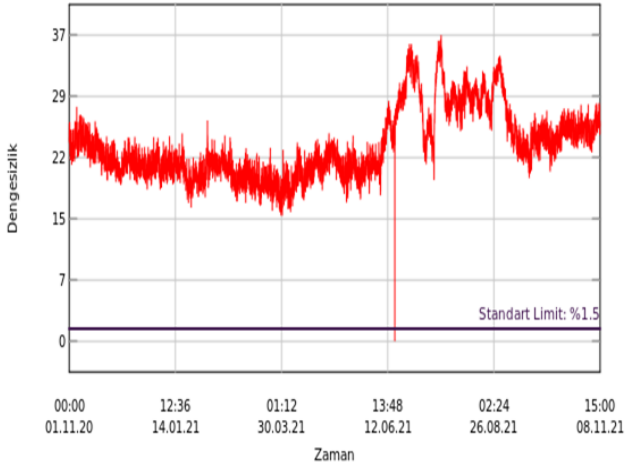
Şekil 5, demiryollarına ait bir besleyicide oluşan harmonik grafiği göstermektedir. Harmoniklerde meydana gelen akım dalgalanmaları görülür. Şebekedeki diğer fiderlerden gelen etkiler ile Şekil 5'te gösterilen harmoniklerin ortalama değerleri nasıl aştığı görülmektedir.

Mevcut raylı sistem sayısı arttıkça harmonik sayısı artacak ve elektrik sisteminde uzun süreli akım dalgalanmaları meydana gelebilecektir.



Şekil 6: 170 kV DDY Fideri Gerilim Harmonikleri

Şekil 6, Demiryollarına ait bir besleyicide oluşan harmonik grafiği göstermektedir. Harmoniklerde meydana gelen gerilim dalgalanmaları görülür. Şebekedeki diğer fiderlerden gelen etkiler ile Şekil 6'da gösterilen harmoniklerin ortalama değerleri nasıl aştığı görülmektedir. Gerilim seviyesi iletim şebekesinin gerilim seviyesinden çok daha küçük olduğu için gerilim harmoniği standart limitin altında olacaktır. Mevcut raylı sistem sayısı arttıkça harmonik sayısı artacak ve elektrik sisteminde uzun süreli voltaj dalgalanmaları meydana gelebilecektir.



Şekil 7: 170 kV DDY Fideri Yıllık Dengesizlik Grafiği

Şekil 7'de Demiryollarına ait bir fiderde bir yıl içinde meydana gelen yük dengesizliği grafikte gösterilmiştir. Arıza anında sistemde oluşan yük dengesizlikleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Dağıtım fiderlerinden çekilen gücün küçük değerleri olduğundan iletim şebekesinde olası bir dalgalanmaya neden olmaz. Ancak dağıtım ağı için önemlidir. Mevcut raylı sistem sayısı arttıkça

oluşabilecek arıza durumları yük miktarını artıracak gibi sistem üzerindeki etkisi de artacaktır.

4. Sonuç

170 kV trafo merkezlerindeki devlet demiryolları fiderlerinde meydana gelen arızalar sırasında iletim şebekesinin yük değerleri incelenmiştir. Mevcut şehir içi ve şehir dışı elektrikli demiryolları sayısı dikkate alındığında enterkonnekte sistemdeki demiryolu sayısındaki artış iletim şebekesi üzerindeki etkiyi artıracaktır. İletim şebekelerinde raylı sistem etkisini azaltmak için trafo merkezlerinde reaktör trafolarının kullanılması sistem harmoniklerini azaltacaktır. Sistem harmoniklerinin azaltılması, iletim ve dağıtım ağlarını daha kararlı hale getirecektir. Bu nedenle elektrikli raylı sistemdeki artışın maliyet analizi şebeke etkileri ile karşılaştırıldığında, trafo merkezlerinde raylı sistem için reaktör bulunması sistemi uzun sürede daha istikrarlı hale getirecektir.

5. Kaynaklar

- [1] IEC 62236-1, Railway applications –Electromagnetic compatibility–Part 1: General.
- [2] W. Runge, Electromagnetic Compatibility (EMC) of Railway Applications – Guidance by European Standards, 2005, pp. 1-12
- [3] Xu, W. (2000, October). Comparisons and comments on harmonic standards IEC 1000-3-6 and IEEE Std. 519. In *Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No. 00EX441)* (Vol. 1, pp. 260-263). IEEE.
- [4] Xie, S. & Li, Q. (2006, November). A practical method for assessment of harmonic emission of electrified railway. In *IECON 2006-32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics* (pp. 2827-2831). IEEE.
- [5] Elektrik Şebeke Yönetmeliği, 09.05.2021 Tarihli ve sayılı 31479, 28/5/2014 Tarihli ve 29013 sayılı mükerrer Resmi Gazete.
- [6] Popescu, M. Bitoleanu, A. & Dobriceanu, M. (2008). Harmonic current reduction in railway systems. *WSEAS transactions on systems*, 7(7), 689-698
- [7] Mantaş, C. A. Yalman, Y. Tekşut, B. & Bayındır, K. Ç. Türkiye Elektrik İletim Şebekesinde Güç Kalitesi Parametrelerinin Yönetmelik ve Standartlar Işığında Yıllara Göre Değerlendirilmesi
- [8] Karakuş, F. & YUMURTACI, R. (2018). Raylı Sistemlerde Orta Gerilim Elektrifikasyon Sisteminin Modellenmesi Ve Besleme Senaryolarının Belirlenmesi. *EMO Bilimsel Dergi*, 8(1), 41-48
- [9] Melvyn Thong T. L., Adrian Cheong W. O., Hadi Wijaya, "Effective Use of Energy in Singapore Rapid Transit Systems", Urban Transit Conf. 2010 (WUTC2010).