



Çevresel Koşulların Katener Sistemi Üzerindeki Etkisi

Cengiz Görkem ELA^{*ID}, Abdurrahman KARAMANCIOĞLU^{ID}

Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Raylı Sistemler Mühendisliği, Eskişehir, Türkiye

**c.gorkemela@gmail.com*

(Alınış/Received: 19.09.2022, Kabul/Accepted: 27.10.2022, Yayınlama/Published: 31.01.2023)

Öz: Katener sistemi hesaplamalarında girdileri oluşturan coğrafi ve iklimsel değişkenlerin kontrolü elimizde değildir. Ancak doğru hesaplamalar sonucu elde edilecek bulgular ile sistemin daha güvenli ve konforlu çalışmasını mümkün kılmak elimizdedir. Çevresel koşulların katener sistemi üzerindeki etkisi iyi bir şekilde incelenmesi takdirde sistemin olası arızalarını önleme, daha doğru maliyet analizi yapabilme ve güvenli bir tasarım yapabilme imkanlarını sağlar. Bu amaç doğrultusunda, bu makalede çevresel koşulların katener sistem tasarımına etkileri ele alınmıştır. Çevresel koşullar olarak adlandırdığımız rakım, sıcaklık, rüzgar ve buz değişkenlerinin katener sistemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Rüzgar hızına bağlı olarak direk açıklıklarının ve dezeksman değerlerinin doğru seçilmemesi sonucu seyir teli ile pantograf temasının kesilebileceği sonucu vurgulanmıştır. Üç ilden toplanan iklimsel veriler bir arada girdi olarak kullanılıp özet sonuç çizelgeleri oluşturulmuştur. Özet çizelgeler maliyet açısından karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Katener, Elektrifikasyon, Elektrikli Demiryolu Tasarımı, Çevresel Koşullar, Raylı Sistemler Mühendisliği

Analysis of External Factors on Catenary System

Abstract: It is not possible to control the geographical and environmental conditions which are inputs of catenary system design. However, it is possible to enable operate the system more safely and comfortably with the results of correct calculations a proper design. If the effect of environmental conditions on the catenary system is well examined, it provides the opportunity to prevent possible failures of the system, to make a more accurate cost analysis and to make a safe design. For this purpose, the effects of environmental conditions, namely, the effects of altitude, temperature, wind and ice variables, on the catenary system are discussed in detail in this article. It has been emphasized that the contact of the contact wire and the pantograph may be cut off as a result of incorrect selection of the span and stagger values depending on the wind speed. Climatic data collected from three cities were used as input together and summary result tables were created. Summary charts are interpreted by comparing them in terms of cost.

Keywords: Catenary, Electrification, Electrified Railway Design, Environmental Conditions, Railway Systems Engineering

1. Giriş

Küreselleşmeye giden dünya düzeninin bir sonucu olarak giderek artan yük taşımacılığı ve artan nüfus sonucu oluşan yolcu taşımacılığı talepleri ulaşım sektöründeki gelişmeleri kaçınılmaz kılmaktadır. Konforlu, hızlı ve güvenli olmasından dolayı dünyada ve ülkemizde son dönemlerde demiryolu sektörüne ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Çağımızın teknolojisi kullanılarak yapılan bu yatırımların büyük bir çoğunluğu elektrikli demiryolu yapım işleri veya mevcut hatların elektrikleştirilmesi işleridir. Ekonomik olan elektrikli demiryolu sistemleri sayesinde daha az enerji harcayarak daha hızlı ve daha hacimli taşımacılık yapılabilmektedir. Bu özellik, elektrikli demiryolu sistemine doğa dostu olma özelliğini de beraberinde getirmektedir. Avrupa demiryolları için yolcu-km ve ton-km ile ilgili çevresel hedefler, toplam CO² emisyonlarını 2050 yılına kadar % 50 oranında azaltmak üzerine belirlenmiştir. Bir dizel trenin her 1,2 lt yakıt tüketmesi sonucunda yaklaşık olarak 26,5 g CO² ürettiği tahmin edilmektedir [1]. Dizel trenlere

kıyasla daha çevre dostu olan elektrikli trenler, CO² emisyonlarının azaltılması hedefine ulaşmada baş role sahip olacaklardır.

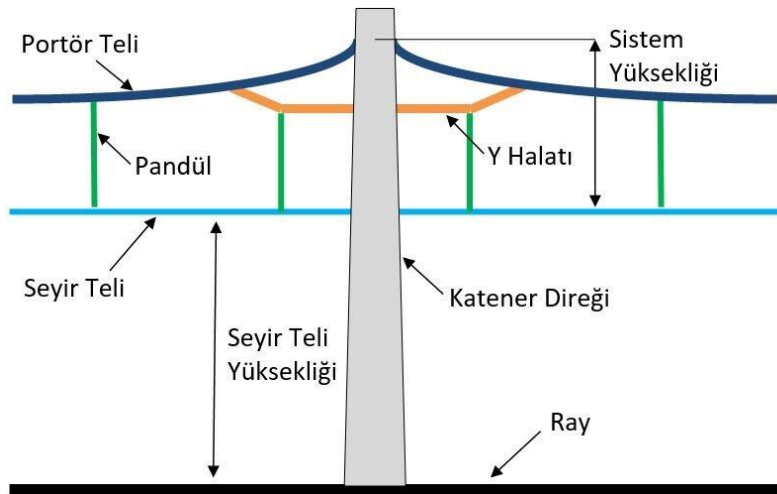
J. Octavio, C. Rebollo, A. Carnicero; hazırlamış oldukları makalede 1x25kV ve 2x25kV A.C. beslemeli katener sistemini ve bu sistemler için gerekli olan alt yapı elemanlarını incelemiştir. Seyir teli, portör teli, açıklık vb. gibi katener terimlerini açıklamıştır. Katener sisteminde oluşan dinamik hareketleri, temas kuvvetini ve seyir teli yükselmesi durumlarını detaylandırarak çeşitli hızlara göre dinamik simülasyon sonuçlarına yer vermiştir [2].

M. Tutucu ve N. Güzel, hazırlamış oldukları makalede binlerce ampere ulaşabilecek akımın, geri dönüş devresi içerisinde akması sonucunda işletme esnasında raylarda ve araçların iletken kısımlarında gerilime sebep olabileceğinden bahsetmiştir. Çalışmalarında bir yüksek hızlı tren elektrifikasyon sistemi için topraklama ve geri dönüş devresi tasarlamış, temas gerilimi değerleri hem arıza hem de işletme koşulları için bilgisayar simülasyonu ile hesaplamışlardır. Geri dönüş devresinin farklı bağlantıları için elde edilen simülasyon sonuçlarını çalışma içerisinde göstermişlerdir [3].

Katener sistemi inşa edilecek bölgenin çevresel koşulları yeterince iyi analiz edilmediği takdirde istenmeyen durumlar oluşabilir. Örneğin, seyir teli ile demiryolu aracı arasındaki temas kesilebilir, bu durum hem elektriksel hem de mekanik açıdan arızalara neden olabilir. Rüzgar ve buz yükü hesapları doğru yapılmadığı takdirde direk ve temel tipleri hatalı seçilebilir ve tasarım ve maliyet açısından mağduriyet oluşabilir.

2. Metot

Seyir teli pantografin temas etmesi ile enerjiyi demiryolu aracına aktaran iletkenidir. Portör teli hem seyir telini mekanik açıdan taşır hem de elektriksel açıdan hattaki akım taşınırken seyir teline yardımcı olur. Seyir teli ve portör teli birbirine belirli aralıklarla pandül adı verilen iletkenlerle bağlanır. Pandüller, seyir teli ve portör teli arasındaki mekanik bağlantıyı sağlarken aynı zamanda seyir ve portör telleri arasındaki akım geçişinin yapılmasını sağlar. Seyir teli ve portör teli arasındaki mesafeye sistem yüksekliği denir. Y halatı olarak adlandırılan iletken ise iki direk arasındaki orta açıklık ve destek alanı arasındaki gerginlik farkını dengelemek amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 1'de sistem yüksekliği ve katenerin diğer ana bileşenleri görülmektedir.



Şekil 1. Katener ana bileşenleri

Pantograf üzerindeki karbon şeritlerin düzgün bir şekilde aşınmasını sağlamak için seyir telinin hat ekseninden içeri ve dışarı çektirilmesi suretiyle dezeksman değerleri oluşturulmaktadır. Seyir

telinin hat ekseninden direğe doğru çektilmesi (-) negatif dezeksman, seyir telinin hat ekseninden direğe ters yönde itilmesi (+) pozitif dezeksman olarak adlandırılır.

2.1. Rakımın katener sistemi üzerindeki etkisi

Katener sistemi hesaplamalarında hava yoğunluğu, dinamik rüzgar basıncını doğrudan etkilediğinden dolayı önemli bir detaydır. Hava yoğunluğu, atmosferdeki birim hacimdeki hava kütlesi olarak tanımlanmaktadır. Havanın yoğunluğu, sıcaklığa ve hava basıncına bağlıdır. Hava basıncı, rakım ile ters hava yoğunluğu ile ise doğru orantılı değişkenlik göstermektedir. Sıcaklığın sabit olduğu düşünülürse, yükseklik arttıkça basınç düştüğü için hava yoğunluğu da düşmektedir. Hava yoğunluğu, EN 50119 uyarınca Denklem 1. ile hesaplanmaktadır [4]:

$$\rho = 1,225 \frac{288}{T} e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H} \quad (1)$$

Burada; ρ hava yoğunluğunu (kg/m^3), T sıcaklığı (K) ve H rakımı (m) göstermektedir.

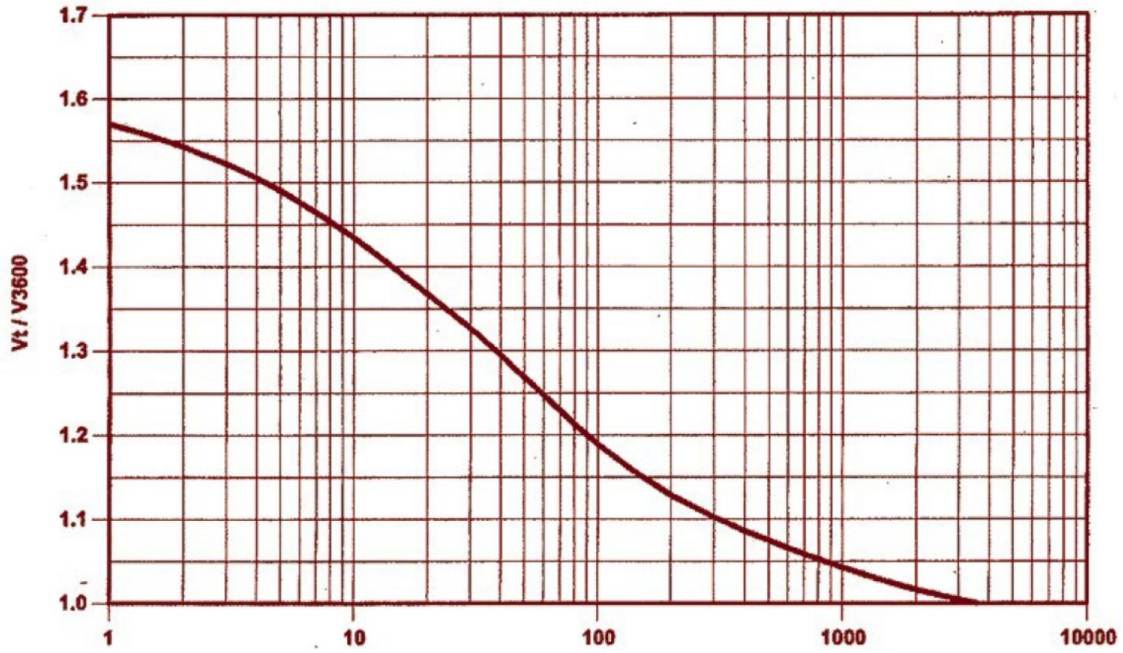
Rakımı yüksek bir yere katener sistemi kurulmak istenmesi durumunda hava yoğunluğu daha az olacağı için rüzgar basıncı ve dolayısıyla sisteme etki eden rüzgar kuvveti rakımı düşük olan yere kıyasla daha az olacaktır.

2.2. Sıcaklığın katener sistemi üzerindeki etkisi

Katener sistemi hesaplamalarında önemli bir yere sahip olan hava yoğunluğunun diğer değişkeni sıcaklıktır. Hava yoğunluğu sıcaklık ile ters orantılıdır. Bir numaralı formülde görüleceği üzere hava basıncının yani rakımın sabit olduğu düşünülürse; sıcaklık arttıkça hava yoğunluğu azalmaktadır, sıcaklık azaldıkça hava yoğunluğu artmaktadır.

2.3. Rüzgarın katener sistemi üzerindeki etkisi

Rüzgar yükü, dinamik rüzgar basıncının sistem elemanları üzerindeki etkisidir. Rüzgar herhangi bir yönden herhangi bir açı ile esebilir fakat hesaplamalar sırasında incelenen elemana göre en kritik senaryo düşünülmelidir. Katener sisteminde iletkenler, direkler ve çelik konstrüksiyonlar (portal, yarım portal vb.) üzerindeki rüzgar yükü dikkate alınmalıdır. Dinamik rüzgar basıncı hesaplamalarında rüzgarın en etkin $+ 5^\circ\text{C}$ 'de meydana geldiği göz önünde bulundurularak hava yoğunluğu hesaplanmaktadır [4]. Dinamik rüzgar basıncı hesabının diğer bir girdisi ise rüzgar hızıdır. Rüzgar hızı olarak hesaplama yapılacak bölgede son 50 yılda gerçekleşen 10 metre yükseklikteki 10 dakikalık periyoda sahip ortalama rüzgar hızı (m/sn) verilerinden en yüksek olanı alınmaktadır [5]. On dakikalık periyotta olmayan verilerin dönüştürülmesi gerekmektedir. Periyot dönüştürme işlemi Şekil 2'de verilen "Durst Eğrisi" yardımıyla yapılabilir [6].



Şekil 2. Durst eğrisi [5]

Örnek olarak, üç saniyelik periyot ile ölçülmüş en fazla rüzgar hızı V_3 :33 m/sn ise, Durst Eğrisinden $V_3/V_{3600}=1,53$ oranı elde edilir, Böylece $V_{3600}=21,6$ m/sn değeri bulunur, 10 dk'lık periyot (10.60=600 sn) için Durst Eğrisinden $V_{600}/V_{3600}=1,09$ oranı bulunur. Böylece $V_{600}=23,55$ m/sn değeri hesaplanır.

Bir akışkan olan havanın rüzgar etkisiyle teller ve diğer yapı elemanları üzerinde oluşturduğu hava basıncına “Dinamik Rüzgar Basıncı” denir. Dinamik rüzgar basıncı Denklem 2. ile hesaplanmaktadır [7]:

$$q_p(z) = (1 + 7 I_V(z)) \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot V_m^2(z) \quad (2)$$

Burada; $I_V(z)$ türbülans yoğunluğunu, ρ hava yoğunluğunu (kg/m^3) ve $V_m(z)$ ortalama rüzgar hızını (m/sn) göstermektedir.

Yuvarlak kesitli d çaplı bir iletken üzerindeki birim rüzgar kuvveti Denklem 3. ile hesaplanmaktadır [4]:

$$q_{WC} = q_p \cdot G_C \cdot d \cdot C_C \cdot \cos^2 \phi \quad (3)$$

Burada; q_{WC} iletkene etkiyen birim rüzgar kuvvetini (N/m), q_p dinamik rüzgar basıncını (N/m^2), G_C yapısal tepki faktörünü (0,75), d iletken çapını (m), C_C Çekme faktörünü (1), Φ geliş açısını (0° -Rüzgar kuvveti en fazla hatta dik durumda oluşmaktadır) göstermektedir.

Yapılara etkiyen rüzgar kuvveti Denklem 4. ile hesaplanmaktadır [4]:

$$Q_{Wstr} = q_p \cdot G_{str} \cdot A_{str} \cdot C_{str} \quad (4)$$

Burada; Q_{Wstr} yapıya etkiyen rüzgar yükünü (N), q_p dinamik rüzgar basıncını (N/m^2), G_{str} yapısal rezonans faktörünü (1), A_{str} rüzgar etki alanını (m^2), C_{str} çekme faktörünü (Katener direkleri için 1,4) göstermektedir.

Direk açıklıkları, kurp yarıçapına, tellere uygulanan gerdirme kuvvetine, rüzgar hızına ve dezeksman değerlerine bağlıdır. En yüksek direk açıklığı aliyman (kurpsuz) kısımlarda kullanılmaktadır. Aliyman hesaplamalarda “999999” olarak sayısallaştırılmaktadır. Kurplar, farklı doğrultudaki doğru yolları birleştiren, yolun eğri kısımlarıdır. Aliyman olan yol ikinci bir aliyman ile kesiştiğinde demiryolu araçları köşeli olan bu kısımdan geçemeyeceği için ancak adına kurp (eğri/viraj) denilen yollar ile geçebilir. Kurp değeri küçüldükçe iki destek noktasındaki açıklık değeri de küçültülmektedir. Uygun şartlarda işletmenin sağlanabilmesi için katener sistemi tasarımında kullanılan direk açıklığı Denklem 5. ile hesaplanmaktadır [8]:

$$c = \sqrt{8R \cdot Z_f \cdot (U_N + U_{\max}) / [(q_w \cdot e \cdot A \cdot R) + Z_f]} \quad (5)$$

Burada; R kurp değerini (999999 m, 2500 m vb.), Z_f seyir ve portör teli germe kuvvetleri toplamını (N), U_N destek noktasındaki seyir telindeki sapmasını (m), U_{\max} açıklıktaki en fazla seyir teli sapma değerini (m), q_w dinamik rüzgar basıncını (N/mm²), e çekme faktörünü (1,25), A seyir ve portör teli çapları toplamını (m) göstermektedir.

Katener hattı tellerine rüzgar sebebiyle kuvvet uygulandığında telleri yatay olarak saptırır ve bir şişme meydana getirir. Oluşan yatay sapma rüzgar yüküyle doğru orantılı teldeki gerilmeyle ters orantılıdır. Seyir telindeki kabul edilebilir sapma, pantograf çalışma aralığıyla sınırlanmıştır. Katener hattı, yatay sapmayı izin verilen sınırlar içinde tutmayı ve yukarıda belirtilen faktörler değerlendirilerek pantografin telden çıkmamasını sağlamak üzere tasarlanır [9].

Sıfır çizgisi ile pantograf eksenindeki fark (c_r) Denklem 6. ile hesaplanır:

$$c_r = (x \cdot (x - l)) / (2 \cdot R) \quad (6)$$

Burada; c_r sıfır çizgisi ile pantograf eksenindeki farkı (m), x istenen konumu (m, en fazla sapmayı bulmak için 1/2 olarak hesaba dahil edilir.), l açıklığı (m), R kurp değerini (m) göstermektedir.

Pantograf çalışma uzunluğu (N), pantograf yanal salınımlarından (r) kaynaklı olarak azalan pantograf üzerindeki kullanılabilir alandır. İlk önce Denklem 7. ile pantografin hat merkezinden ne kadar saptığı hesaplanır. Daha sonra Denklem 8. ile pantograf yanal sapması elde edilir. Son olarak Denklem 9. ile pantograf çalışma uzunluğu bulunur [9]:

$$L = 0,74 + (0,04 \cdot H) + (0,15 \cdot H \cdot C) - (0,075 \cdot C) + (2,5/R) \quad (7)$$

$$r = L - D \quad (8)$$

$$N = T - r \quad (9)$$

Burada; L pantografin hat merkezinden sapmasını (m), H en yüksek seyir teli konumunu (m, nominal seyir teli yüksekliği + uplift), C deveri (m), R kurp değerini (m), r pantografin yanal hareketini (m), D yarı pantograf uzunluğunu (m), N pantografin çalışma uzunluğunu (m), T yarı iletken şerit uzunluğunu (m) göstermektedir.

Rüzgar yükü olmadığı durumda, “x” m uzaklıktaki sıfır çizgisi ile seyir teli arasındaki mesafe “ c_s ” olarak tanımlanmıştır ve Denklem 10. ile hesaplanmaktadır [9]:

$$c_s = S_b + ((S_a - S_b) \cdot x) / l \quad (10)$$

Burada; c_s sıfır çizgisi ile seyir teli arasındaki farkı (m), S_b önceki dezeksmanı (m), S_a sonraki dezeksmanı (m), x istenen konumu (m), l açıklığı (m) göstermektedir.

Rüzgar yükü sebebiyle oluşan, “x” m uzaklıktaki sıfır çizgisi ile seyir teli arasındaki mesafe “ e_w ” olarak tanımlanmıştır ve Denklem 11. ile hesaplanmaktadır, (+) yönde ve (-) yönde oluşan rüzgar yükü sapmaları Denklem 12. ve Denklem 13. ile bulunmaktadır [9]:

$$e_w = [(Q_{WCc} + Q_{WCm}) \cdot x \cdot (1 - x)] / (2 \cdot T) \quad (11)$$

$$+e = c_s + e_w \quad (12)$$

$$-e = c_s - e_w \quad (13)$$

Burada; +e (+) yöndeki sıfır çizgisi ile seyir teli arasındaki toplam farkı (m), -e (-) yöndeki sıfır çizgisi ile seyir teli arasındaki toplam farkı (m), e_w rüzgar yükü altında seyir teli sapmasını (m), c_s sıfır çizgisi ile seyir teli arasındaki farkı (m), Q_{WCc} seyir teline etkiyen rüzgar yükünü (N/m), Q_{WCm} portör teline etkiyen rüzgar yükünü (N/m), X istenen konumu (m), L açıklığı (m) T seyir ve portör teli toplam gergi kuvvetini (N) göstermektedir.

Limit değerler, “ c_r ” ve “N” kombinasyonları olarak tanımlanabilir. Seyir telinin bu aralık içerisinde kalması gerekmektedir. Limit değerler, Denklem 14., Denklem 15., Denklem 16. ve Denklem 17. ile elde edilmektedir [9].

$$+limit = c_r + N \quad (14)$$

$$-limit = c_r - N \quad (15)$$

$$-limit < +e < +limit \quad (16)$$

$$-limit < -e < +limit \quad (17)$$

2.4. Buzun katener sistemi üzerindeki etkisi

Açık arazide bulunan iletkenler, direkler ve tesisler havanın soğumasıyla buzlanmaya maruz kalırlar. Buzlanma katener sistemini ağırlık ve alan artışı olacak şekilde etkilemektedir. Birim buz ağırlığı Denklem 18. ile elde edilmektedir [10]:

$$G_b = k \cdot \sqrt{d} \quad (18)$$

Burada; G_b iletken etkiyen birim buz ağırlığını (kg/m), d iletken çapını (mm), k buz bölgesi katsayısını (Birinci buz yükü bölgesi için 0; İkinci buz yükü bölgesi için 0,2; üçüncü buz yükü bölgesi için 0,3; dördüncü buz yükü bölgesi için 0,5; beşinci buz yükü bölgesi için 1,2) göstermektedir.

İletkendeki buz ağırlığı hesaplandıktan sonra iletkenin buzlu durumdaki toplam ağırlığını bulmak için iletkenin kendi ağırlığının da hesaba dahil edilmesi gerekmektedir.

Buz yükü hesaplanırken, buz tabakasının iletken boyunca silindirik olarak iletken etrafında olduğu kabul edilmektedir. Buz tabakasının iletkenin etrafını kaplamasıyla birlikte iletken, kendine tesir eden rüzgar yükleri açısından daha büyük bir çapa sahip olur. Bu yüzden bu durumdaki iletkenlere etkiyen rüzgar kuvvetinin hesabı için öncelikle, iletkenin buzla kaplı haldeki çapının belirlenmesi gerekmektedir. Buzla kaplı haldeki iletken üzerinden rüzgar yükünün değerlendirilmesi gerekir. Buz ve rüzgar yüklerinin ortak olarak düşünüldüğü yük kombinasyonunda (EN 50119 Yük Durumu D), belirtildiği üzere rüzgar yükünün yarısı hesaba katılmaktadır. Buzlu durumdaki iletken çapı Denklem 19. ile elde edilmektedir [4]:

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \cdot k / (\pi \rho)} \quad (19)$$

Burada; D buzlu durumda iletken çapını (mm), d iletken çapını (mm), k buz bölgesi katsayısını, ρ buz yoğunluğunu (kg/m³, 600 kg/m³ alınır) göstermektedir [11].

3. Bulgular

Bu bölümde Türkiye Buz Yükü Haritasından [10] seçilen üç farklı buz yükü bölgesi için yapılan hesaplama sonuçları yer almaktadır. Hesaplamalarda çevresel koşullar haricindeki değerler üç il için de sabit tutularak tipik değerler seçilmiştir. Birinci buz yükü bölgesinden Osmaniye ili, ikinci buz yükü bölgesinden Eskişehir ili, dördüncü Birinci buz yükü bölgesinden ise Kırklareli ili seçilmiştir. Birinci buz yükü bölgesinde buz oluşumu beklenmemektedir. Bu nedenle sadece rüzgar yükünün olduğu durum düşünülerek hesaplama yapılmıştır. İkinci ve dördüncü buz yükü bölgesinde buz yükü oluşmaktadır. Buz yükünün olduğu durumda rüzgar yükü “EN 50119 Standardı Yük Durumu D”ye göre yarıya indirilmiştir. Seçilen üç ile ait meteorolojik veriler Tablo 1’de yer almaktadır. Tablo 1’de 5 sn’lik periyot değerleri verilen rüzgar hızları, Durst Eğrisi kullanılarak EN 50125-2 standardı gereğince 10 dk’lık periyotlara çevrilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 1. Osmaniye, Eskişehir, Kırklareli illeri meteorolojik verileri [12]

Şehir	Rakım	Min. Sıcaklık	Yıl	Maks. Sıcaklık	Yıl	Maks. Rüzgar	Yıl
Osmaniye	121 m	-8,5 °C	1989	45 °C	2020	43,7 (m/sn)	2008
Eskişehir	788 m	-28,6 °C	2019	40,6 °C	2000	28,3 (m/sn)	2016
Kırklareli	194 m	-15,8 °C	1972	42,5 °C	2000	34,4 (m/sn)	1972

Hesaplamalarda kullanılan tipik değerler Tablo 2’de verilmiştir. Tipik değerler üç hesaplamada da sabit tutularak değişken çevresel koşulların sisteme olan etkisinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Tablo 2. Tipik değerler

Sembol	Açıklama	Değer
Z	Rüzgarın Yerden Yüksekliği (m)	10
Z _{0,II}	II. Bölgeye Ait Arazi Faktörü	0,05
Z _{max}	Rüzgarın Yerden Maksimum Yüksekliği (m)	200
K _r (z)	Arazi Faktörü	0,19
C _r (z)	Pürüzlülük Faktörü	1,006
C _o (z)	Orografi Faktörü	1
K _I	Türbülans Faktörü	1
I _v (z)	Türbülans Yoğunluğu	0,188
Z _f	Seyir ve portör teli germe kuvvetleri toplamı (N)	30000
U _{max}	Açıklıktaki en fazla seyir teli sapma değeri (m)	0,4
e	Çekme faktörü	1,25
A	Seyir ve portör teli çapları toplamı (m)	0,0237
R	Kurp (m)	999999
C	Dever (m)	0
S _b	Önceki dezeksman (m)	-0,2
S _a	Sonraki dezeksman (m)	0,2
D	Yarı Pantograf Uzunluğu (m)	0,8
T	Yarı iletken şerit uzunluğu (m)	0,6
D _c	Seyir teli çapı (m)	0,0132
D _m	Portör teli çapı (m)	0,0105
D _r	Geri dönüş iletkeni çapı (m)	0,0175
G _{yc}	Seyir teli birim ağırlığı (N/m)	10,5

Sembol	Açıklama	Değer
Gycm	Portör teli birim ağırlığı (N/m)	5,85
Gycr	Geri dönüş iletkeni birim ağırlığı (N/m)	6,62

Tablo 1’de verilen meteorolojik veriler ile hesaplanan üç şehre ait dinamik rüzgar basınçları Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 3. Dinamik rüzgar basıncı karşılaştırma tablosu

Buz Yükü Bölgesi / Seçilen İl	1 / Osmaniye	2 / Eskişehir	4 / Kırklareli
Dinamik Rüzgar Basıncı (N/m ²)	1149,47	561,1	890,34

Tablo 3 incelendiğinde dinamik rüzgar basıncını belirleyen çevresel koşulun rüzgar hızı olduğu sonucu elde edilmektedir. Son 50 yıl içinde kaydedilen rüzgar hızı değeri fazla olan Osmaniye ilinin dinamik rüzgar basıncı değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Meteorolojik veriler dikkate alınarak hesaplanan üç ile ait direk açıklıkları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Direk açıklıkları karşılaştırma tablosu

Buz Yükü Bölgesi / Seçilen İl	1 / Osmaniye	2 / Eskişehir	4 / Kırklareli
Hesaplanan Direk Açıklığı (m)	58	93	74
Kullanılan Direk Açıklığı (m)	58	65	65

Tablo 4 incelendiğinde direk açıklığı hesabında dinamik rüzgar basıncının dolayısıyla rüzgar çevresel faktörünün etkili olduğu söylenebilmektedir. Osmaniye ilindeki dinamik rüzgar basıncı fazla olduğu için iletkenlere gelen rüzgar kuvveti de fazla olmaktadır. Bu durumda, rüzgar etkisi nedeniyle iletkenlerin pantograf temasının kesilmesini önlemek için direk açıklığının düşürülmesi gerekmiştir. Teorik olarak Eskişehir ilinde 93 m, Kırklareli ilinde ise 74 m direk açıklığı kullanılabilir ancak buz yükü oluşan bu illerde direk açıklığı arttıkça direk tipini, temel boyutlarını, tij çapını, tij boyunu ve tij kalitesini arttırmak gerekecektir. Hattın daha güvenli işletilmesini sağlamak ve arızalara daha hızlı müdahale edebilmek adına UIC 799’a göre direk açıklığı hesaplamadan bağımsız olarak 65 m ile sınırlandırılmıştır [13].

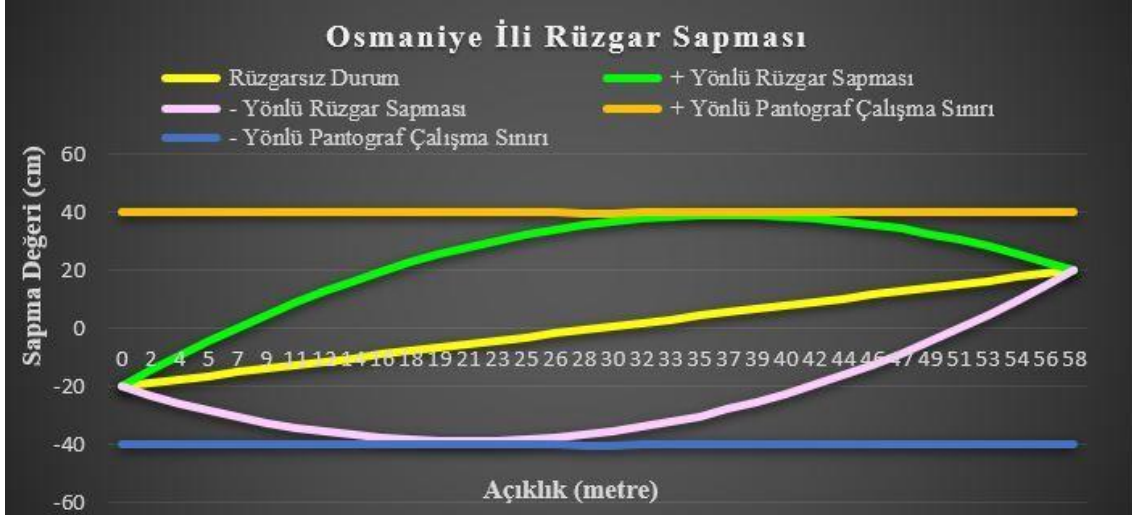
Seçilen illerdeki katener iletkenlerine gelen birim rüzgar yükleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Birim rüzgar yükleri karşılaştırma tablosu

Buz Yükü Bölgesi / Seçilen İl	1 / Osmaniye	2 / Eskişehir	4 / Kırklareli
Seyir teline etkiyen birim rüzgar yükü (N/m)	14,35	8,72	21,19
Portör teline etkiyen birim rüzgar yükü (N/m)	11,41	8,11	19,88
GDI’ye etkiyen birim rüzgar yükü (N/m)	19,02	9,6	22,99

Tablo 5 incelendiğinde iletkenlere gelen birim rüzgar yükü hesabındaki belirleyici çevresel faktörün rüzgardan ziyade buz yükü bölgesi olduğu tespit edilebilmektedir. Dördüncü buz yükü bölgesinde bulunan Kırklareli ilindeki iletkenler diğer illere göre daha fazla buzla kaplandığı için rüzgarın etki alanı büyümektedir. Osmaniye ilindeki yüksek rüzgar hızına rağmen Kırklareli ilindeki rüzgarın etki alanının fazla olması iletkenlerin daha fazla birim rüzgar kuvvetine maruz kalmasına sebebiyet vermiştir. İkinci buz yükü bölgesindeki Eskişehir ilinde de buz nedeniyle iletken çaplarında artış olacaktır ancak bu artış sebebiyle oluşan birim rüzgar kuvveti, buz yükü oluşmayan Osmaniye ilindeki yüksek rüzgar hızı nedeniyle oluşan birim rüzgar kuvvetini geçebilecek seviyede değildir.

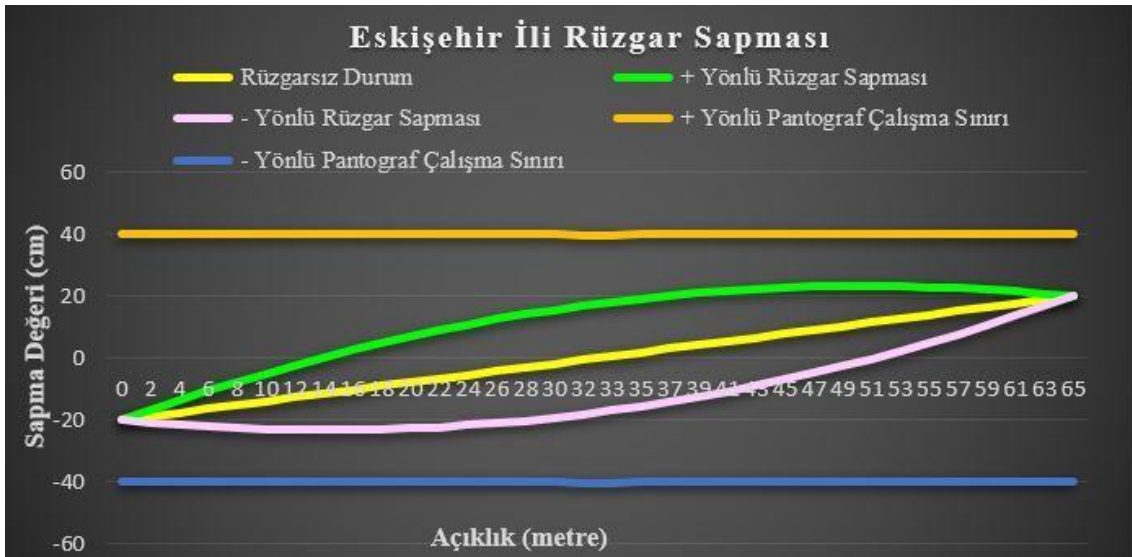
Şekil 3’te Osmaniye ili rüzgar sapması grafiği görülmektedir.



Şekil 3. Osmaniye ili rüzgar sapması grafiği

Şekil 3'te görüleceği üzere sırasıyla - 20 cm ve + 20 cm dezeksman değerlerine sahip seyir teli her iki yönden esmesi muhtemel rüzgar düşünüldüğünde 58 metre açıklıkta + 40 ve - 40 cm sapsmaya maruz kalmaktadır. Bu değerler aynı zamanda 160 cm'lik pantografin çalışma sınırları olduğu için 58 metreden fazla açıklık kullanılması durumunda veya 20 cm değerlerinden büyük dezeksman kullanılması durumunda seyir teli ile pantograf temasının sağlanamaması durumu ortaya çıkabilir ve demiryolu aracı enerjisiz kalabilir.

Şekil 4'de Eskişehir ili rüzgar sapması grafiği görülmektedir.



Şekil 4. Eskişehir ili rüzgar sapması grafiği

Şekil 4'te görüleceği üzere sırasıyla - 20 cm ve + 20 cm dezeksman değerlerine sahip seyir teli her iki yönden esmesi muhtemel rüzgar düşünüldüğünde 65 metre açıklıkta yaklaşık olarak + 25 ve - 25 cm sapsmaya maruz kalmaktadır. Bu değerler 160 cm'lik pantografin çalışma sınırları (+40 cm/- 40 cm) içerisinde kaldığı için seyir teli ile pantograf temasının sağlanamaması durumu söz konusu değildir.

Şekil 5'te Kırklareli ili rüzgar sapması grafiği görülmektedir.



Şekil 5. Kırklareli ili rüzgar sapması grafiği

Şekil 5'te görüleceği üzere sırasıyla - 20 cm ve + 20 cm dezeksman değerlerine sahip seyir teli her iki yönden esmesi muhtemel rüzgar düşünüldüğünde 65 metre açıklıkta yaklaşık olarak + 35 ve - 35 cm sapmaya maruz kalmaktadır. Bu değerler 160 cm'lik pantografin çalışma sınırları (+40 cm/- 40 cm) içerisinde kaldığı için seyir teli ile pantograf temasının sağlanamaması durumu söz konusu değildir.

Seçilen illerdeki meteorolojik verilere göre hesaplanan katener iletkenleri ağırlıkları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Birim iletken ağırlıkları karşılaştırma tablosu

Buz Yükü Bölgesi / Seçilen İl	1 / Osmaniye	2 / Eskişehir	4 / Kırklareli
Seyir Teli Birim Ağırlığı (N/m)	10,5	17,62	28,32
Portör Teli Birim Ağırlığı (N/m)	5,85	12,2	21,74
Geri Dönüş İletkeni Birim Ağırlığı (N/m)	6,62	14,83	27,14

Tablo 6 incelendiğinde birim iletken ağırlığı hesaplamasında buz çevresel koşulunun belirleyici olduğu görülmektedir. Buz yükü oluşmayan Osmaniye iline ait iletkenlerin birim ağırlıkları en az iken, ciddi buz yükü oluşumuna maruz kalan Kırklareli ilindeki iletkenlerin birim ağırlıkları en fazladır. Buz yükü bölgesi seviyesi arttıkça iletkenlerin birim ağırlıkları da artmaktadır.

Çevresel koşulların farklı olması nedeniyle katener direklerine gelen yükler de farklılık göstermektedir. Direk fonksiyonları dikkate alınarak direklere gelen yüklere göre seçilen H profil direk tipleri ve 100 km'lik hat kesimindeki yaklaşık direk adetleri Tablo 7'de yer almaktadır. Direk tipleri ve adetleri sonucunda oluşan toplam direk ağırlığı karşılaştırması da Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Yüz kilometrelik hat kesiminde direk maliyet karşılaştırması

Buz Yükü Bölgesi / Seçilen İl	1 / Osmaniye	2 / Eskişehir	4 / Kırklareli
Tekli Konsol Direği (8m)	HE 240 A	HE 220 A	HE 260 A
Tekli Konsol+Antişöminman Direği (8m)	HE 260 A	HE 240 A	HE 280 A
Tekli Konsol+Antişöminman Ankraj Direği (8m)	HE 260 A	HE 240 A	HE 260 A
Tekli Konsol+Katener Ankraj Direği (9m)	HE 240 B	HE 220 B	HE 260 B

Buz Yüğü Bölgesi / Seçilen İl	1 / Osmaniye	2 / Eskişehir	4 / Kırklareli
Çiftli Konsol Direği (8m)	HE 240 B	HE 240 B	HE 260 B
Çiftli Konsol Sapan Direği (8m)	HE 240 B	HE 240 B	HE 260 B
Tekli Konsol Direği Adedi	900	800	800
Tekli Konsol+Antişöminman Direği Adedi	100	100	100
Tekli Konsol+Antişöminman Ankraj Direği Adedi	200	200	200
Tekli Konsol+Katener Ankraj Direği Adedi	200	200	200
Çiftli Konsol Direği Adedi	200	200	200
Çiftli Konsol Sapan Direği Adedi	200	200	200
Toplam direk ağırlığı (kg)	999.000	864.300	1.053.100

Tablo 7’de görüleceği üzere Kırklareli ilinin yaklaşık 100 km’lik hat kesiminde Eskişehir iline kıyasla 188.800 kg daha fazla çelik kullanımı ihtiyacı oluşmaktadır. Osmaniye ilinde direk açıklığı daha düşük olduğu için daha fazla sayıda direk kullanımı gerekmektedir. Bu durum, Osmaniye ilinde buz yükü olmamasına rağmen çelik kullanımlarını dördüncü buz yükü bölgesindeki Kırklareli iline yakın değerlere ulaştırmaktadır. Çevresel koşulların temel hacmine, tij adedine vb. kalemlere olan etkilerini görebilmek amacıyla benzer karşılaştırma tabloları hazırlanabilir.

4. Sonuç

Bu makalede çalışmada elektrikli demiryolu hatlarının yapımında veya mevcut hatların modernize edilmesinde coğrafi koşullar ve ilgili bölgenin iklim özelliklerinin tasarımı doğrudan etkilediği savunulmuştur. İklimsel verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan üç farklı il için tipik değerler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu ortaya çıkan verilerle oluşturulan karşılaştırma tabloları yardımıyla üç ile ait katener sistemindeki farklar ortaya koyulmuştur. Tasarım aşamasında çevresel koşulları dikkate alarak yapılacak hesaplamalar sayesinde çevresel koşulların katener sistemi üzerindeki etkisinin tespit edilebileceği ve böylece sistemin olası arızalarını önleme, daha doğru maliyet analizi yapabilme ve daha güvenli bir tasarım yapabilme imkanının olduğu gösterilmiştir. Rüzgar hızına bağlı olarak direk açıklıklarının ve dezeksman değerlerinin doğru seçilmemesi sonucu seyir teli ile pantograf temasının kesilebileceği vurgulanmıştır. Rüzgar ve buz yükleri doğru analiz edilerek direk ve temel tipleri belirlenmelidir, aksi takdirde sistemde büyük arızalar meydana gelebilmektedir.

Bu makaleden yola çıkarak yapılacak çalışmalarda sıcaklık değişimine bağlı olarak gerçekleşecek iletken boyundaki değişimlerin sistem üzerindeki etkisi ele alınabilir. Otomatik gergi cihazı ağırlıklarının iletken boylarındaki değişim nedeniyle yere ve otomatik gergi cihazına çarpmayacak şekilde çalışması istenir. Benzer bir şekilde çiftli konsol hoban sabit parça boyları da iletkenlerin boylarındaki değişim dikkate alınarak seçilmelidir. İletken boylarının sıcaklık sonucu uzaması sonucunda artacak sehim kısa devrelere neden olabilmektedir. Bu durumlardan yola çıkarak sonraki çalışmalarda çevresel koşulların neden olabileceği durumların hattın belirli noktalarına montajlanacak yazılım destekli sistemlerle izlenmesi hakkında olabilir.

Kaynakça

- [1] A. Colovic, L. Principe, M. Binetti and M. Ottomaneli, “A network design tool for railway electrification considering the environmental impact,” *IEEE International Conference on Environment*, pp. 1, September 2021.
- [2] J. Octavio, C. Rebollo and A. Carnicero, “The dependence on mechanical design in railway electrification,” *IEEE Electrification Magazine*, pp. 1-7, September 2013.
- [3] M. Tutucu, N. Güzel, “Demiryolu elektrifikasyon sistemlerinde topraklama ve temas gerilimi,” *Demiryolu Mühendisliği*, sayı. 14, ss. 122-129, Tem. 2021, doi:10.47072/demiryolu.936613.

- [4] *Demiryolu uygulamaları-sabit Tesisler-elektrikli cer havai temas hatları*, EN 50119, European committee for electrotechnical standardization, 2020.
- [5] *Demiryolu uygulamaları-donanım için çevre şartları-bölüm 2:sabit elektrik tesisleri*, EN 50125-2, European Norm, European committee for electrotechnical standardization, 2012.
- [6] *Minimum design loads for buildings and other structures*, ASCE7-05, American society of civil engineers, 2002.
- [7] *Yapılar üzerindeki etkiler-bölüm 1-4:genel etkiler-rüzgâr etkileri*, EN 1991-1-4, European committee for electrotechnical standardization, 2010.
- [8] *Kinematik gabarilerin uygulama sonuçları*, UIC 606-1, International union of railways, 1987.
- [9] F. Kiessling, R. Puschman, A. Schmirder, E. Schneider, *Contact lines for electric railways: planning, design, implementation and maintenance*. Erlangen, Germany: Publicis Publishing, 2009.
- [10] K. Evginer, "Türkiye'nin buz yükü haritası," *Türkiye Elektrik Kurumu*, TJKD: 621.315.1, pp. 1-14, 1970.
- [11] T.C. Resmi Gazete, Ankara, Türkiye, *Elektrik kuvvetli akım tesisleri yönetmeliği* 24246 sayılı. 2000. Accessed: Haz. 18, 2022. [Online]. Available: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=9949&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- [12] T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "Osmaniye, Eskişehir, Kırklareli," 2022. [Online]. Available: <https://www.mgm.gov.tr> [Accessed Haziran 18, 2022].
- [13] *Characteristics of a.c. overhead contact systems for highspeed lines worked at speeds of over 200 km/h*, UIC 799, International union of railways, 2002.

Özgeçmiş



Cengiz Görkem ELA

Antalya'da 1993 yılında doğmuştur. Lisans eğitimini Selçuk Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. Osmangazi Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Açık Mühendislik A.Ş.'de Katener Tasarım Uzmanı olarak çalışmaktadır. İlgi alanına giren araştırma konuları katener ve trafo sistemleridir.

E-Posta: c.gorkemela@gmail.com



Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

1984 yılında Hacettepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Yüksek lisans ve doktorasını aynı alanda sırasıyla 1987'de The Georgia Institute of Technology'de, 1991 yılında The University of Texas at Arlington'da tamamlamıştır. Halen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesidir.

E-Posta: akaraman@ogu.edu.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Cengiz Görkem ELA: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım. Kaynaklar, Doğrulama, Yazma-orijinal taslak hazırlama, Görselleştirme, İnceleme, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme. Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Kontrol.