

# Enerji İletim Hattı Güzergâh Seçiminde Yıldırım Faktörünün Değerlendirilmesi

Ahmet Yaşar YOLDAŞ<sup>1</sup>, Şükrü ÖZEN<sup>1</sup>, Kayhan ATEŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Dumlupınar Bulvarı  
Konyaaltı, Antalya

[ahmetyoldas@gmail.com](mailto:ahmetyoldas@gmail.com), [sukruozen@akdeniz.edu.tr](mailto:sukruozen@akdeniz.edu.tr), [kayhanates@akdeniz.edu.tr](mailto:kayhanates@akdeniz.edu.tr)

## ÖZET

*Enerji iletim hatlarında arıza kaynakları üzerinden yapılan incelemede %55 oranında arızanın kaynağının yıldırım olduğu tespit edilmiştir. Türkiye genelinde yıldırım yoğunluğu en yüksek olan bölge Antalya – Muğla arasında kalan kısımdır. Özellikle Batı Akdeniz bölgesinde bulunan mevcut yüksek ve çok yüksek enerji iletim hatlarında yaşanan arızaların önüne geçmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı ise yeni projesi yapılacak iletim hatlarının güzergâhları değerlendirilirken hatlar için en önemli arıza kaynağı olan yıldırım öncelikli çalışmaların yapılmasıdır. Literatürde yapılan incelemelerde yıldırımın tam olarak nereye düşeceği öngörülemediği için, yıldırımdan korunma amacıyla koruma teli, direk temel topraklama dirençlerinin 10 Ω ile sınırlandırılması, izolatör boylarının uzatılması gibi uygulamalar bulunmaktadır. Bu çalışmada ortaya konulan yöntem mevcut literatür çalışmalarına ek olarak ortaya koyulan yıldırım yoğunluk ve yıldırım şiddet haritaları üzerinden güzergâh seçimine ilişkin alternatif çalışmalardır. Antalya Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'nden alınan yıldırım verileri doğrultusunda yapılan değerlendirmede Antalya Bölgesi için son 8 yıllık yıldırım şiddeti ortalaması 15-20kA arasında değişirken bu oran Ülke genelinde 1-5 kA arasında değişmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda yapılan çalışmada Akdeniz bölgesinde enerji iletim hattı güzergâhı belirlenirken koordinat bazlı yıldırım analizleri yapılarak yıldırım şiddetine göre güzergâh seçimi yapılmıştır. Seçilen güzergâhtaki yıldırım verileri kullanılarak direk tesisi yapılacak noktalarda olması gereken üst topraklama değerleri belirlenerek örnek bir proje çalışması sunulmuştur.*

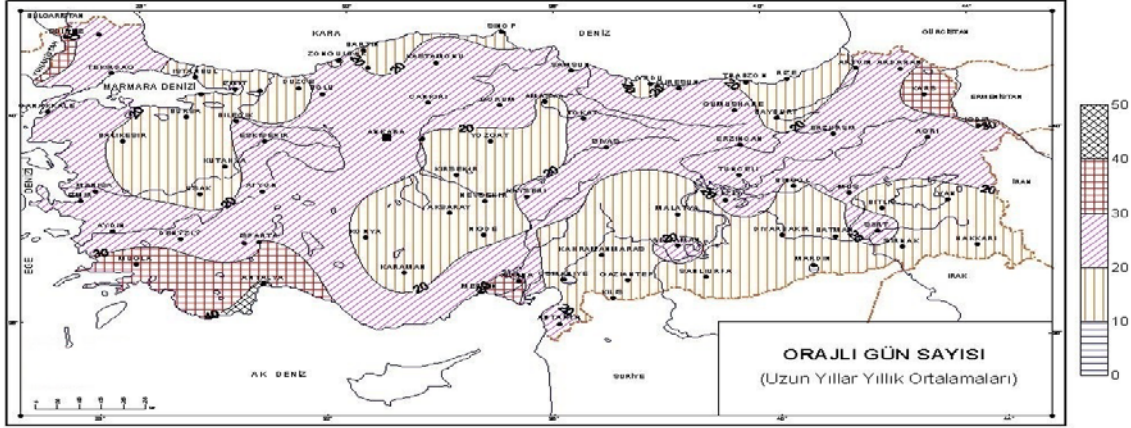
## 1.GİRİŞ

Yıldırım yaklaşık 3 milyar yıllık tarihiyle dünya üzerinde var olan doğa fenomenidir. Yıldırım yılda ortalama 2000 kişinin ölümüne, 240.000 kişinin yaralanmasına sebep olmakta [1], orman yangınlarına, büyük çaplı enerji kesintilerine kadar hayatın birçok noktasında sorun oluşturmaktadır. Atmosferde bulunan elektrik yüklerinin hızlı bir şekilde deşarj olması olarak tanımlanabilecek yıldırım genelde 3 farklı şekilde gözlemlenir [2]. Bunlar: Bulutlar arası, buluttan yeryüzüne, yeryüzünden buluta şeklindedir. Ayrıca değerlendirileceği konuma göre ya da oluştuğu bölgeye göre de farklı şekillerde tanımlanan birçok alt yıldırım tipi bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenecek olan ise yıldırımın buluttan yere düşmesi sonucu oluşan aşırı gerilimlerin enerji iletim hatlarında

oluşturduğu arızaların önüne geçilebilecek alternatif bir yaklaşım sunmaktır.

### 1.1 Araştırmanın arka planı

Türkiye'de yılda ortalama 2 milyon civarında yıldırım düşmektedir [3]. Bu sayının büyük çoğunluğu ise Akdeniz bölgesinin sahil bandına düşmektedir. Özellikle Muğla – Antalya arasında kalan Batı Akdeniz kısmı en yoğun yıldırım alan bölgedir (Şekil 1). Yıldırım enerji iletim ve dağıtım şebekesinde bulunan havai hatlar için en büyük arıza sebebidir. Bu veriler doğrultusunda hatlarda yaşanan arızalar incelendiğinde de en yüksek arıza istatistiğine sahip başlık yıldırım olarak karşımıza çıkmaktadır. Yıldırım düşmesine karşı önleyici tedbirlerin aksine yerinde giderici faaliyetlerle bugüne kadar çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 1. Türkiye Geneli Yıldırım Haritası

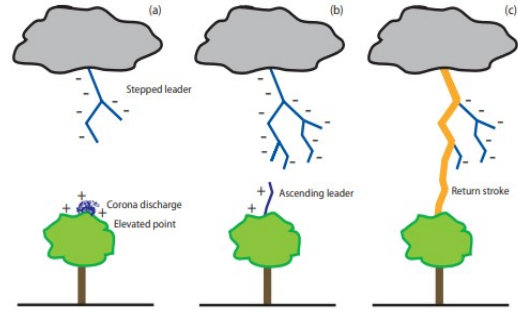
Bu giderici faaliyetlerin başında mevcut direklerin topraklama dirençlerinin düşürülmesi, izolator değişimi ve izolator boyunun uzatılması bulunmaktadır. Bu çalışmada ise proaktif bir yaklaşım sunularak hat yapılmadan gerekli önlemler doğrultusunda çalışma gerektiğidir.

## 2. ENERJİ İLETİM HATLARINDA YILDIRIM

### 2.1 Enerji iletim hatlarına Yıldırım düşmesi

Yapay yıldırımlar dışında kontrolsüz bir elektrik yükü olarak tanımlanan yıldırım enerji iletim ve dağıtım hatlarındaki birincil öncelikli arıza sebebidir. Yıldırım kaynaklı arızayı anlayabilmek için öncelikle yıldırımı tam olarak anlamak gerekmektedir. Yıldırım öncü lider (stepped leader) [4] aracılığıyla  $\mu$ s mertebesinde adım adım ilerleyen bir akım yolu oluşturur (Şekil 2). Oluşan akım yolu karşıt yüküyle buluşması ya da yeryüzüne ulaşmasıyla devresini tamamlar. Problemin oluştuğu nokta ise bu yüksek miktardaki kontrolsüz yük deşarjıyla başlar. Yıldırım yükünün toprağa sağlıklı bir şekilde akabilmesi için karşısında herhangi bir engel bulunmamalıdır. Yıldırım elektrik yükü, yüksek direnç değerleri ile karşılaştığında ilerleyişinde noktasal

yoğunlaşma meydana gelecek, o noktadaki elektriksel potansiyelde artış meydana getirecektir. Arızanın başlangıcı olarak referans alınması gereken nokta da burasıdır.



Şekil 2. Yıldırımın oluşması esnasında öncü lider (Stepped Leader)

### 2.2 Yıldırımın Enerji İletim Hatlarında Oluşturduğu Arızalar

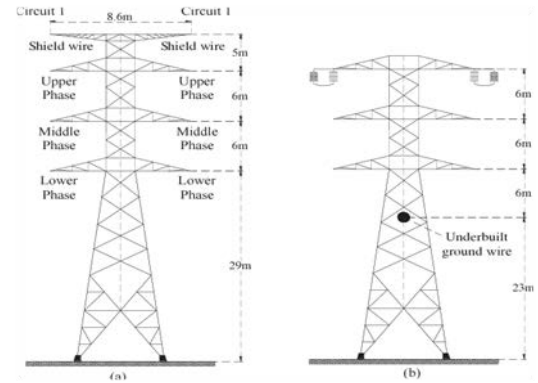
Yıldırımın enerji iletim hattına ait direğe ya da koruma teline düştüğü andan itibaren izleyeceği 3 yol vardır. İlki koruma teli üzerinden bir sonraki direğe, 2.si bir önceki direğe doğru, 3.sü ise çarptığı direk üzerinden toprağa akmak olacaktır. Toprağa akmak istediği noktada direk temel topraklama direncinin yüksek olması halinde ise toprak potansiyel artışı (GPR: Ground Potential Rise) [6] oluşacaktır. Bu potansiyel artış ile direk üzerinde indüklenen aşırı gerilim yükselecek ve izolator üzerinden sabit frekanslı ve gerilimli enerji akışı olan iletkenine doğru

atlama yapacaktır. Bu geri atlama (Back Flashover) ile dış etmenlerden izole kalması gereken enerjili iletkenlerde istenmeyen gerilim dalgalanmaları, gezen dalgalar, frekans bozulmaları vb birçok istenmeyen durum oluşacaktır [7]. Bu durumda sistemde oluşacak bozulmalar üretim santrallerinden tüketiciye kadar birçok noktada istenmeyen sonuçlar doğuracaktır. Enerji iletim hatlarında yıldırımın oluşturduğu bir diğer zarar ise olası yıldırımın koruma teline düşmesi sonucu koruma telinin zarar görmesi sonucu kopmasıdır. Kopan koruma teli ya da OPGW enerjili kısma temas edecek böylece faz toprak arızalanmalara sebep olacaktır. Diğer seçeneklere göre daha düşük olsa bile bir diğer durum yıldırımın enerjili iletkenlere düşmesidir. Bu durumda da hem kısa vadede hem de uzun vadede problem oluşmaktadır. İletken kopması sonucu kalıcı hasar oluşmakta ve giderilene kadar hatlar enerjisiz kalmaktadır. İletken kopmaması halinde de yine sabit frekansa sahip sistemde istenmeyen aşırı gerilimler ile frekans bozulmaları yaşanacaktır. Ayrıca iletken liflerinde oluşabilecek zedelenmeler orta vadede lif atıkları oluşturabilir. Bunun sonucunda da faz-faz veya faz-toprak arızaları meydana gelebilmektedir.

### 2.3 Enerji İletim Hatlarında Yıldırımdan Korunma

Hatların yıldırımdan korunma yöntemleri arasında ilk sırada iletim ve dağıtım sistemindeki hatlarda direk gövdesi üzerinden topraklı koruma telleri kullanılmaktadır. Yüksek arıza sayısına sahip hatlarda topraklama iyileştirmeleri, izolatör uzatmaları gibi yöntemlerle de başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca “underbuilt wires” [8] olarak tanımlanan ve şekil 3 de gösterilen sistem ile 2 direk arasında

yeraltından veya havai olarak ilave bağlantı yapılarak düşük toprak direnci elde edilmekte ve GPR deki artışların önüne geçebilmektedir. Ayrıca hat parafudrları ve canlı paratoner sistemleri de yıldırımdan korunma amacıyla kullanılan diğer alternatif yöntemlerden bazılarıdır [9]. Özellikle hat üzerine tesis edilen paratonerlerle yıldırım için sivri uçlar oluşturulmakta ve bu noktalara yıldırımın düşmesi sağlanarak iyi topraklama ile sistem işletilmektedir. Bu sistemin dezavantajı ise düşecek yıldırım şiddetini önceden tahmin edecek veri olmadığı için hat yakınında oluşan aşırı gerilimlerin oluşturduğu dalgalanma sonucu hatlardaki koruma elemanları devreye girerek enerji akışını keserek sistemi korumaktadır.



Şekil 3. a. Klasik çift devre EİH b. Alt korumalı EİH (Underbuilt wires)

### 3. ENERJİ İLETİM SİSTEMİNİ YILDIRIMDAN KORUMAK İÇİN ALTERNATİF YÖNTEM

Bu çalışmanın ortaya koyduğu ana tema bu noktada devreye girmektedir. Geleneksel yaklaşımların dışında sunulan alternatif çalışma ise yıldırım yoğunluk ve yıldırım şiddet haritalarından faydalanmaktır. Hat tesis sürecinin temeli sayılan güzergâh seçimi aşamasında yani projenin başında mevcutta da kullanılan yerinde müdahale yerine proje aşamasında koordinatlı yıldırım verileri

değerlendirilerek alternatif güzergâh oluşturulmaktadır. Alternatif güzergâh bulunamaması halinde ancak yerinde farklı projelerle çözüm aranmalıdır.

### 3.1 Yıldırım Haritaları

Bu çalışmanın temeli yıldırım yoğunluk ve yıldırım şiddet haritaları üzerine kurulmuştur. Yapılan çalışmada Antalya bölgesi üzerinde tespit edilen 7.5 yıllık yıldırım verisi kullanılmıştır. Bu yıldırım verisi içeriğindeki pozitif ve negatif tüm yıldırımlar, akım şiddetlerine göre belirli aralıklarla sınıflandırılmıştır. Koordinatlarına göre sınıflandırılan yıldırım verileri belirli haritalandırma yöntemleri (üçgenleme) [10] kullanılarak akım şiddetine göre haritalandırılmıştır. Herhangi 2 nokta arasında yapılacak hattın güzergâhı

üzerine yerleştirilen bu veriler ile hangi noktalarda hattın daha yüksek yoğunluklu yıldırıma maruz kalacağı belirlenmiştir. Belirlenen yüksek yıldırım yoğunluğuna sahip bölgelerde topografyanın verdiği imkân doğrultusunda hat güzergâhında revizyon yapılmaya çalışılmıştır. Güzergâh değişikliğinin yapılamadığı noktalarda ise o bölgenin yıldırım şiddetine yönelik topraklama projeleri geliştirilmiştir. Söz konusu yüksek yıldırım yoğunluğuna sahip bölgelerde direğin dikileceği noktada yüksek topraklama direnci var ise izolator boyunda oynama ve gerekli görülmesi halinde daha yüksek gerilim seviyelerine geçilerek hattın yıldırıma karşı dayanımı artırılmasıyla ilgili [11] çalışma verileri referans alınmıştır.



Şekil 4. Antalya geneli 50kA üstü Yıldırım Verisi (Daire büyüdükçe Yıldırım şiddeti artıyor.)

### 3.2 Örnek Çalışma

Şekil 5'deki görselde Antalya ili üzerinde rastgele seçilen 2 nokta arasında yaklaşık 20 km'lik 154kV'luk bir hat yapılması planlanmıştır.

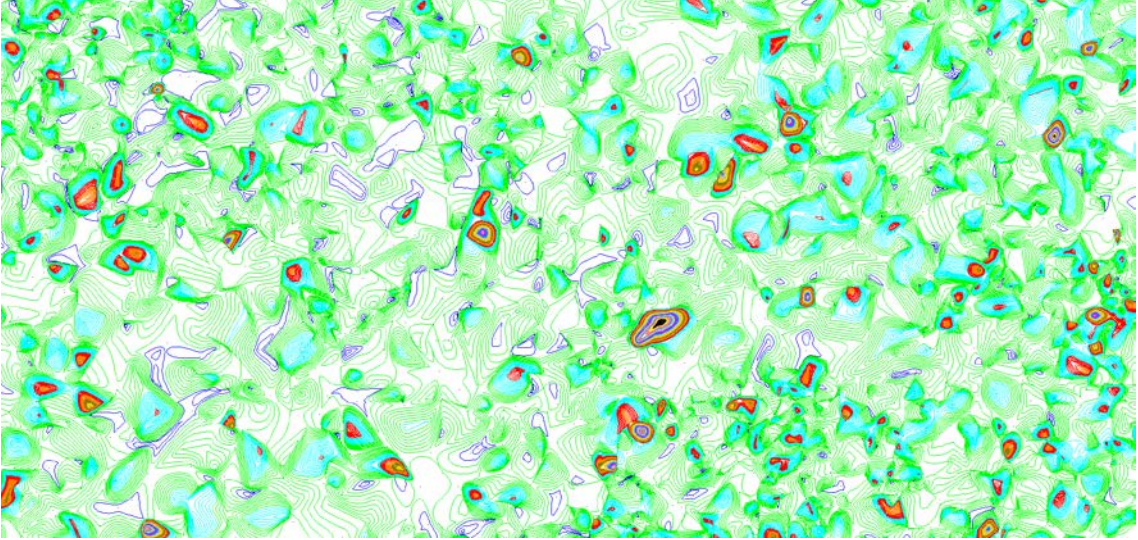
Planlanan hat güzergâhı için güzergâh seçim şartnamesindeki maddeler doğrultusunda ön güzergâh belirlenmiş, şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 5. 2 İndirici merkez arasında seçilen güzergâh. Kırmızı güzergâh yıldırımın değerlendirilmeye alınmadığı, Sarı ise yıldırımın değerlendirmeye alındığı güzergâh

Şekil 6'da gösterilen bölge Şekil 5'te verilen arazinin yıldırım yoğunluk haritası olup yeşil ile başlayan çizgiler 5kA ve katlarıyla artmakta olan eş yıldırım şiddet haritalarıdır. Güzergâh

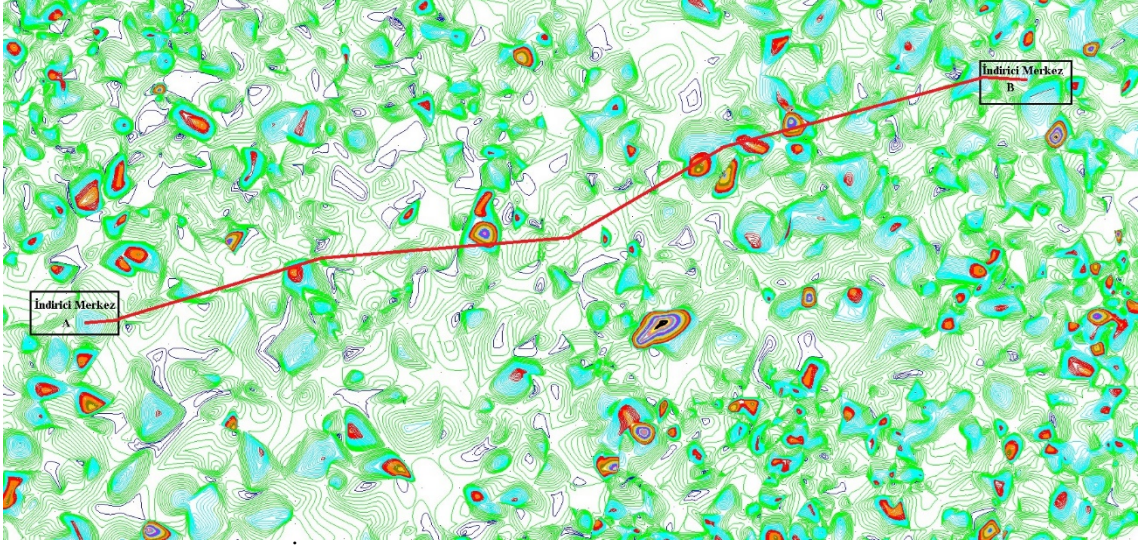
seçimi öncesinde değerlendirilmesi gereken yıldırım yoğunluk haritaları, hat güzergâh seçiminde ve işletilmesinde büyük öneme sahip olacak olan haritalardır.



Şekil 6. 2 adet indirici TM ve bu iki TM'nin bağlantısı için seçilen bölge

Seçilen güzergâh ile yıldırım yoğunluk haritaları üst üste bindirildiği anda hattın geçtiği güzergahta geçmiş yıllarda o bölgeye düşen yıldırım şiddetlerinin ortalaması görülmektedir. Bu bilgi doğrultusunda hattın güzergahında geçilmesi zorunlu olan

bölgelerde seçilen direk tipi, izolator boyu ve topraklama direnç değerleri [11] karşılaştırılarak bölgedeki ortalama yıldırım şiddeti ve aldığı en yüksek yıldırım akım bilgisi ile hattın bu noktalarda arıza verip vermeyeceği değerlendirilmiştir.



Şekil 7. Rastgele seçilen 2 İndirici Transformatör Merkezi için oluşturulan güzergâh

Şekil 7 dikkatle incelendiğinde 5 noktada hat yüksek yıldırım yoğunluğuna sahip bölgelerden geçmektedir. Bu 5 noktadaki yıldırım şiddeti sırasıyla 35, 55, 50, 35 ve 45 kA Amper olup, [11]'deki çalışmaya göre izolator boyu 1860 mm seçildiğinde topraklama direncinin olması gereken maksimum değer  $8 \Omega$  olmalıdır. Direğin dikileceği noktalarda yapılan topraklama ölçümü sonucu ise sırasıyla 19, 45, 14, 51 ve  $9 \Omega$  çıkmıştır. [11]'de verilen değerlere dayanarak bu noktada hattın olası yıldırım düşmesi sonucu açması kaçınılmazdır. Güzergâh değiştirilmemesi halinde yapılması gerekenler ise:

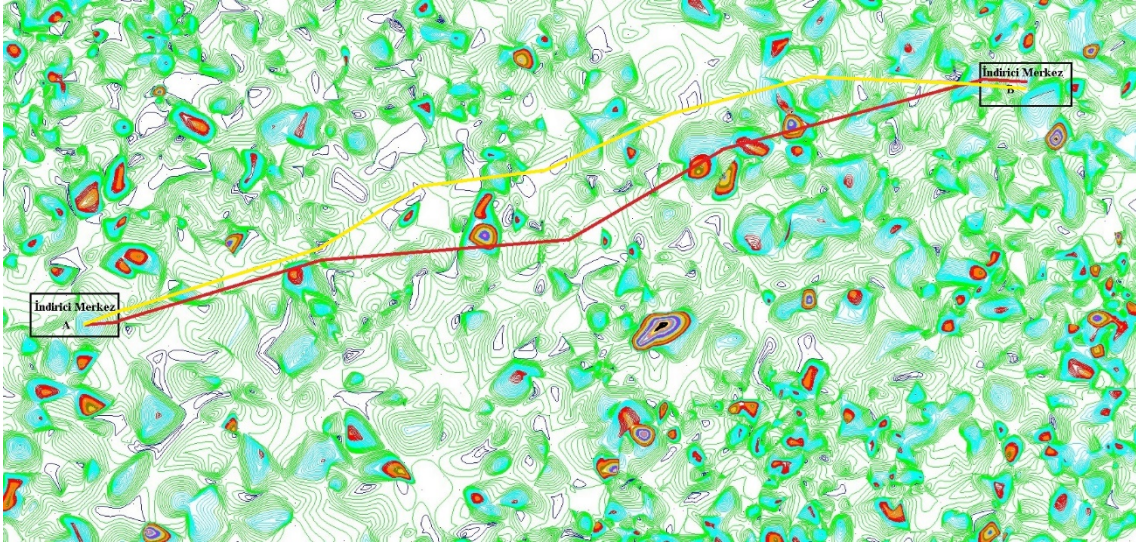
- İzolator boyunu yeni direk tiplerine göre daha da uzatmak
- İzolator boyuna uygun direk seçimine gitmek
- İlave topraklama yaparak direnç değerini düşürmek

Yukarıda belirtilen alternatifler değerlendirildiğinde izolator boyunun uzatılması halinde salınım kaynaklı iletken konsol arası mesafe atlama açıklığının altında kalabilmektedir. Bu durumda izolator boyuna uygun direk seçimine gidilmelidir. Bu değişiklik için de bir üst gerilim mertebesine sahip direkler seçilmeli ve bu durumda da 3

katına kadar maliyet artışları gözlenmektedir. Bölgenin jeolojik yapısı kaya zemin vb direnç değerlerinin yüksek olduğu formatta ise olası ilave topraklama yöntemlerinin ya da ilave topraklama kazığı kullanmanın herhangi bir faydası olmamaktadır. Çözumsuzluğa sıklıkla itilen bu gibi durumlarda yüksek maliyetlerden kaçmak gerekir. Hattın orta ve uzun vadede yüksek şiddetli yıldırımlar sonucu koruma telinin zedelenmesiyle lif atığı oluşması sonucu faz-toprak arızaların meydana gelmesi ya da kopması, aynı şekilde olası aşırı gerilimlerden dolayı izolatorlerde oluşacak geri atlama sonucu yorgunluk ve aşırı sıcaklığa maruz kalarak gevreme ve kılcal çatlak oluşması gibi uzun vadede kalıcı arıza olarak tanımlanabilecek birçok probleme sebep olacaktır. Yukarıda belirtilen bu durumlar enerjinin arz güvenliği, sistem dalgalanmaları, şebeke frekansında bozulmalar, enerji kesintileri, iletken kopması sonucu orman yangınları birçok olumsuzluk meydana getirmektedir. Bu olumsuzlukların önüne geçebilmek için alınacak tedbirlerin başında tehlikeyi kaynağında yok etmek gibi proaktif bir yaklaşım sergilemek önemlidir. Yıldırım

kaynağında yok etmek gibi bir şans şu an için bulunmamaktadır. Yıldırım kaynağı olarak değerlendirilmesi gereken noktayı yıldırımın düşebileceği yani yıldırım yoğunluğunun yüksek olduğu noktalar olarak değerlendirilirse, bu bölgelerden uzak durmak bu çalışmanın temel fikrini oluşturmaktadır. Yıldırım kaynaklı arızaların sıklığı düşünüldüğünde hatlarda oluşan dış etmenli arızaların yaklaşık olarak %55'ini [12] yıldırım oluşturmaktadır. Yeni yapılması planlanan hatlarda işletme esnasında yaşanacak en önemli arıza unsuru yıldırım olup, bu ve bunun gibi çalışmaların sayısının artırılması

gerekmekte olup alternatif planlama yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmalıdır. Hat güzergahını yıldırıma göre revize etmek yeni yapılacak hatlar için belirleyici etmenlerin başında gelmelidir. Buna örnek olarak yapılan çalışma ve bunun getireceği maliyet fazlalığı algısı ise üzerinde durulmaması gereken bir durumdur. Yeni yapılan bir hattın maliyeti ne olursa olsun işletilemedikten sonra tamamen boşuna yapılmış bir yatırım demektir. Bu çalışmada değerlendirilecek ilk durum seçilen 2 nokta arasında hat tasarlamak ikinci durum ise yıldırım yoğunluğu yüksek olan bölgelerden geçen hatta alternatif sunmak olacaktır.



Şekil 8. Revize Güzergâh

Şekil 7'de yıldırım haritaları göz önüne alınmadan topografyanın el verdiği ölçüde, maliyeti en düşük seviyede tutacak şekilde en kısa yoldan 20 km'lik bir hat güzergahı belirlenmiştir. Seçilen hat güzergahının üzerine yıldırım haritalarının oturtulmasıyla karşılaşılan durumda ise yüksek yıldırım yoğunluğuna sahip 5 noktada şiddetle revizyona gidilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu direklerin bulunduğu noktaların değiştirilmesiyle oluşturulan yeni güzergâh Şekil 8'de sarı olarak gösterilmektedir. Kırmızı ile gösterilen

yıldırım etkisi göz önüne alınmadan güzergahın uzunluğu 20,3 km olup, kullanılan direk sayısı 52'dir. Bu 52 direğin tesisi için 753,8 ton galvanizli demir kullanılması gerekmektedir. Şekil 8'de verilen yıldırım verilerine göre seçilen sarı güzergahın toplam uzunluğu ise 20,5 km olup, kullanılan direk sayısı 56'dır. 56 direğin tesisi için 801,5 ton galvanizli malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Aradaki fark 26,7 ton [13] olup, işletme esnasında olabilecek kesintilerden, arz güvenliğinin tehlikeye atılmasından ya da o hattın beslediği

indirici merkezde olası sistem sıfırlanması sonucu oluşacak kaybın yanında önemsenmeyecek kadar küçüktür. Ayrıca üzerinde durulması

gereken en önemli nokta da yapılacak tesisin belirlenen görevi tamamen yapıp yapamayacağı olmalıdır.

Tablo 1. Yaklaşık Maliyet Karşılaştırma Tablosu

	Uzunluk (km)	Toplam Direk Sayısı	Toplam Direk Ağırlık (ton)	Maliyet \$
Güzergah A (Kırmızı)	20,3	52	753,8	942.250,00\$
Güzergah B (Sarı)	20,5	56	801,5	1.001.875,00\$

İncelenen bir diğer durum ise şekil 7’ de verilen yüksek gerilim enerji iletim hattının geçtiği güzergahta maruz kaldığı yıldırım şiddetleri ve buna alternatif sunulacak çözüm önerileridir. Yapılan incelemede hattın yukarıda da belirtilen 5 noktasında topraklama dirençlerinin istenen 10  $\Omega$ ’un üstünde olduğu ve yıldırım yoğunluğunun yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu noktalarda hat sürekli yıldırım darbelerine maruz kalacaktır. Bu maruziyet sonucu sistem dayanımının, zincirin en zayıf halkasının referans noktası olarak görülmesi gerektiği için, hattın kalanında sistem ne kadar iyi olursa olsun belirtilen bu noktalar doğrudan arıza kaynak noktaları olacaktır. Bu bakış açısıyla durum değerlendirildiğinde sistemin düzenli olarak bu noktalarda arıza vermesi kaçınılmazdır. Ayrıca yıldırım haritalarıyla tespit edilen bu bilgiler doğrultusunda yerinde yapılacak bazı çalışmalarla mevcut hatlarda da iyileştirmelere noktasal bazda gidilebilecektir.

#### 4. SONUÇ

Yıldırımın havai hatlar üzerindeki yadsınamaz zararlı etkisi incelendiğinde üretim, iletim ve dağıtım şebekelerinin tamamı karşımıza çıkmaktadır. Yıldırım sistem frekans bozulmaları, harmonikler, gerilim düşme ve yükselmeleri, AG, OG ve YG teçhizat arızaları, tüketici mağduriyetleri, enerji kesintileri, iletken ve koruma teli

kopmaları ve hatta sistemin arz güvenliğini tehlikeye düşürebilecek sorunlar oluşturmaktadır. Bu çalışma ile yıldırım yoğunluğu yüksek olan bölgelere güzergâh seçimi esnasında dikkat edilmesi halinde işletme esnasında yaşanabilecek birçok problemin önüne geçilebilecektir. Kısa vadede ilk yatırım miktarını -hat uzunluğunu da referans olarak- değerlendirmeye aldığımızda %10 ( $\pm 2$ ) arttırılabileceği öngörülmektedir. Ayrıca işletme esnasında arıza endeksi yüksek olan hatlar için de noktasal çözüm önerileri getirecektir. Bu çalışma 30 yıldan daha uzun süre işletilecek ve devamında da yenilenmesi aşamasında aynı direk yerlerinin kullanılması gereken havai hatlar için çok daha fazla önem kazanmaktadır.



## KAYNAKLAR

- [1] <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/lightning> Erişim:10.05.2023
- [2] Chowdhuri, P; Li, S; Yan, P IEE Proceedings. Generation, Transmission and Distribution; Journal Volume: 148; Journal Issue: 1; Other Information: PBD: Jan 2001
- [3] A.Oztopal, Türkiye'nin Yıldırım ve Şimşek Gözlemlerinin İncelenmesi, Dokuz Eylül University-Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering Volume 19, Issue 56, May 2017
- [4] Cooray V., Arevalo L. Modeling the Stepping Process of Negative Lightning Stepped Leaders, Atmosphere, Dec 2017
- [5] Korovkin N., Adamyan Y., Minevich T. Investigating the lightning resistance of composite materials for ensuring safe operation of transport infrastructure facilities, Transportation Research Procedia 36 (2018) (p. 320–325)
- [6] F. P. Zupa and J. F. Laidig, "A Practical Ground Potential Rise Prediction Technique for Power Stations," in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-99, no. 1, pp. 207-216, Jan. 1980
- [7] C. Buccella, S. Cristina and A. Orlandi, "Frequency analysis of the induced effects due to the lightning stroke radiated electromagnetic field," in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 34, no. 3, pp. 338-344, Aug. 1992,
- [8] S. Visacro, F. H. Silveira and A. De Conti, "The Use of Underbuilt Wires to Improve the Lightning Performance of Transmission Lines," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 27, no. 1, pp. 205-213, Jan. 2012.
- [9] V. D. Selemir et al., "Reproduction of current pulse of lightning discharge of positive lightning with amplitude of 90 kA on lightning rod using MCG based power source," PPS-2001 Pulsed Power Plasma Science 2001.
- [10] A. Varlık, F. Uray., Üçgenleme ve Enterpolasyon Temelli Lidar Filtreleme Algoritmalarının Performans Analizi, AKU J. Sci. Eng.17 (2017) Special Issue (156-165)
- [12] TEİAŞ, 2019 Faaliyet Raporu, [www.teias.gov.tr/faaliyet-raporlari](http://www.teias.gov.tr/faaliyet-raporlari), TEİAŞ Genel Müdürlüğü, Erişim: 20.05.2023
- [13] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, <https://www.teias.gov.tr/enerji-iletim-hatti-proje-dokumanlari>, Erişim:20.05.2023.