YILDIRIM ELEKTROMANYETİK DARBELERİNİN YÜKSEK GERİLİM HATLARINA ETKİLERİNİN İZOLATÖR VE TOPRAKLAMA AÇISINDAN İNCELENMESİ

Ahmet Yaşar YOLDAŞ^{1,2}, Şükrü ÖZEN¹

¹ Akdeniz Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Dumlupınar Bulvarı Konyaaltı, Antalya sukruozen@akdeniz.edu.tr

> ²TEİAŞ 19. Bölge Müdürlüğü Fabrikalar Mah. 3051 sk. Kepez, Antalya <u>ahmetyoldas@gmail.com</u>

ÖZET

Günümüz dünyasında ülkelerin büyümesinin temel göstergesi kaliteli, verimli enerji üretimi, tüketimi ve enerjideki arz güvenliğidir. Enerjinin kaliteli ve kesintisiz bir şekilde tüketiciye ulaştırmanın temel unsuru da kaliteli iletim sistemleridir. Kaliteli iletimi etkileyen en büyük sebeplerden biri yıldırımlardır. Yıldırım, enerji iletim hatlarında en fazla arızaya sebep olan doğa olayıdır. Bu çalışmanın amaçı yıldırım kaynaklı oluşan aşırı gerilimlerin sağlıklı bir şekilde toprağa akmasını sağlamak ve hatlarda yıldırımın oluşturduğu aşırı gerilim atlamalarını engellemek için çözüm yolları aramaktır. Bu amaç doğrultusunda PSCAD programı ile örnek bir iletim hattı modellenmiştir. Modellemede kullanılan direk bilgileri TEİAŞ literatüründen alınmıştır. Yıldırım bilgileri koordinat bazlı olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü 4. Bölge Müdürlüğünden alınmıştır. Farklı yıldırım şiddetleri kullanılarak seçilen iletim hattına düşürülmüştür. Direk ayak topraklama dirençleri ve arıza verileri TEİAŞ 19.Bölge Müdürlüğü'nden alınarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak enerji iletim hattının işletme koşullarında olması gereken üst topraklama değerleri ve alt izolatör boylarına ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler ışığında yıldırım kaynaklı arızaların sayısını düşürmek, enerji arz ve kalitesini yükseltmek adına ne gibi önlemler alınmalıdır sorularına cevap aranmıştır.

1. GİRİŞ

Yıldırımın dünyada yaklaşık 3 milyar yıldır var olduğu tahmin edilmektedir [1]. Evrim biyologlarına göre bazı canlı moleküllerinin olusmasında vıldırımın büvük öneme sahip olduğu düşünülmektedir. Amerikalı kimyagerler Harold C. Urey ve Stanley Miller, ılık su ile dört gazı (su buharı, metan, amonyak ve moleküler hidrojen) bir araya getirerek yıldırım yerine elektrik akımı vererek suni atmosfer olusturmustur [2]. Bir hafta sonra protein yapı taşları olan başit organik moleküllerin oluştuğunu görmüşlerdir. Dünyada ilk canlının oluştuğu anı

sayesinde simüle ederek yıldırım oluşabileceğini canlılığın kesfetmislerdir. Elektriksel anlamda 1800'lü yılların ortalarında Benjamin Franklin'in firtinali havada uçurtma uçurarak gerçekleştirdiği denevin sonucu yıldırımın elektriksel bir olay olduğunu bulması sürecin başlangıcı olarak kabul edilebilir. Bu deney sonucu iki vardımcısının ölmesiyle sonuclanmıs olup, paratonerin mucidi olarak bilim tarihindeki yerini almıştır. Franklin ile başlayan deneyler günümüzde halen daha yıldırımın işleme mekanizmasını ve sonuclarını analiz etmeye devam etmektedir.

Yıldırımların enerji iletim hatlarına olan etkileri düşünüldüğünde, bu çalışmada örnek olarak alınan 154kV 1272 MCM Oymapınar - Alanya II EİH devreye alındığı tarihten bugüne Yük Tevzi Bilgi Sisteminden alınan veriler doğrultusunda 4 yılda toplamda 101 defa arızadan açmış, toplamda 261.32 saat enerji kesintisi yaşanmıştır. Bu söz konusu hattın veriler ışığında ortamında modellemesi PSCAD Yapılan modellemenin yapılmıştır. üzerine Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınan yıldırım verileri eklenerek simülasyon yapılmıştır.

2. YILDIRIM HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Temel olarak yıldırım meteorolojik bir fenomendir. Yılda ortalama 6.000 240.000 kisinin kisinin ölümüne yaralanmasına sebep olan yıldırım, firtina esnasında elektrostatik deşarj elektromanyetik olarak olusan. radyasyon üreten doğal bir sürectir. Yıldırım kanalından geçen elektrik akımı sebebiyle gök gürültüsü oluşur. Yıldırım kanalından geçen yükler, gectiği noktada havanın aniden ısınmasına yol açar ve bu ani genleşme sonucu gök gürültüsü ortaya çıkar. Yıldırım ortalama olarak 100.000.000 V, 20-30kA siddetinde olup, geçtiği noktayı 30.000 C dereceye kadar ısıtabilir. Yıldırım bulutları genellikle 2 km uzunluğa sahiptir. Sekil 1'de görüleceği üzere yeryüzünden ortalama 2 km yükseklikte olup bu mesafe 500 m ile 10 km arasında değiskenlik gösterebilir. Atlama yönünden yıldırım üç ana tipe ayrılır [3]. Bunlar:

- Bulut içi deşarj
- Buluttan buluta deşarj
- Buluttan yere deşarj

2.1. Yıldırım Oluşma Sürecine ait Genel Teoriler

Yıldırımın oluşabilmesi için yıldırım bulutu ile yeryüzü arasında iletkenliğin oluşması gerekmektedir. Bununla ilgili teorilerden birisi olan Elster ve Geitel'e göre, yıldırım bulutundaki yüklerin, etki ile elektriklenme yoluyla meydana geldiğini öne sürülmüştür [4]. Buna göre yerkürenin toplam elektrik yükü 5,4x10^-5 C olduğu kabul edilir. Bu yükün oluşturduğu elektrik alanı içinde bulunan su zerreciklerinin alt tarafi pozitif ve üst tarafı negatif olmak üzere kutuplaşır. Yere doğru inmeye başlayan zerrecikler, havanın su zerreciğine göre yavaş hareket eden iyonlarına yaklaşır. Su zerreciğinin pozitif tarafı negatif iyonu çekerken, pozitif iyonu iter. Bu durumun sonucu olarak su zerrecikleri pozitif yüklü elektrik halini alır. Bu durumu toplama vurduğumuzda yıldırımın oluşacağı bulutun tabanı negatif elektrik yüklerini bir araya getirir. Simpson ve Lomonossow'un teorisine göre [4] yıldırım bulutundaki elektrik yükleri atmosferdeki sıcaklık farkından dolayı oluşan hava akımlarının ver değistirmesi ile olusur. Hareket eden hava akışları buluttaki su zerreciklerine etki eder. Bu durum kinetik hareketi ortaya çıkartır. Hareket zerreciklerin sürtünmesivle sonucu elektrik yükleri oluşur. Diğer bir teori sahibi Frenkel'e göre ise havada pozitif ve negatif yükler bulunur. Bu yükler, yerkürenin negatif yüklerini ittirmeye ve iyonosferin pozitif yükleri ile bir araya gelmeye yönlendirir [4]. Bu teoriye göre yerküre sürekli olarak yük kaybetmektedir. Azalan elektrik yükünü takviye etmesi gerekmektedir. Bu işleminin takviye sürekli olarak yaşanması gerekmektedir. Bu teorilerle birlikte genel olarak yıldırım oluşumu ve yük yayılımı Şekil 2'de gösterilmistir.



Şekil 1: Yıldırım Bulutu ve bulut içi yük dağılımı.



Şekil 2: Yıldırımın oluşum şekli.

2.2. Adım Lider Oluşumu



Şekil 3: Adım Lider Oluşumu

temelini Yıldırımın oluşturan ilk vıldırım filizi olarak tabir edilebilecek kısmı adım liderdir. Negatif bir yük civarındaki elektrik merkezi alan 10kV/cm'ye ulaştığında (10 kV/cm büyük su damlaları bulunan havanın delinme gerilimi) iyonize olmuş olan kanaldan, buluttan yere doğru adım lider aracılığıyla yıldırım oluşmaya başlar. İyonlaşmış kanalda elektron hızı, ışık hızının 1/10'u kadardır [5]. Şekil 3'de görüleceği gibi her seferinde ortalama 10m-200m yol alarak aşağıya doğru ilerleyen dalga(adım lider) 2-3µs ilerler, durur ve daha sonra bir yeni dalga daha eklenerek yoluna devam eder. Bu dalga adım adım ilerlediği için adım lider (stepped leader) olarak adlandırılır. Adım lider ile yeryüzü arasındaki mesafe yaklaşık 15m-50m olduğunda, bulut kaynaklı dalgaya karşılık yerden pozitif bir kanal buluta doğru oluşmaya başlar. Şekil 2'den görüleceği üzere pozitif kanal ve adım birleşir. Ortalama lider 20 kA (maksimum 200 kA civarında) seviyesindeki akım, adım liderinin oluşturduğu iyonize kanal boyunca verden buluta doğru akar. Adım lider ve kollarındaki elektron yükü akan bu akım ile nötralize edilir.

2.3. Geri Dönüş Darbe Modeli (RSC)

Geri dönüş darbesi ya da Geri dönüş darbe akımı (Return Stroke Current: RSC) adım lider vasıtasıyla oluşan yıldırım kanalının yere 15-50 metre arası mesafe kalmasından itibaren yerden yukarıya yani bulut kaynaklı negatif dalgaya karşılık yerden pozitif bir kanal da buluta doğru hareket etmeye başlar. Geri dönüş darbe modeli diye tabir edilen fenomen budur. İlk deşarjdan 40 µs sonrası ikinci bir yük merkezi aynı kanalı takip ederek boşalır. Birinci deşarj gibi adım adım değil ikinci deşarj ışık hızına yakın ilk deşarjın 10 katı sürede gerçekleşir. Bu deşarj esnasında yine RSC olur [6].

2.4. Kublaj Modelleri

Yıldırım elektromanyetik darbesi sonucu ortaya iletim hattında ya da hattın etrafında elektromanyetik alanlar oluşur. Bu oluşan alanlar iletim ve dağıtım hatlarına fazlasıyla zarar verir. Darbe noktası ile hat arasında kublaj oluşur. Bu durum değişik modeller kullanılarak elde edilir. Bu modellerde temel nokta mükemmel iletken bir zeminin olmasıdır.



Şekil 4 a) Kublaj modeli geometrisi b) Yıldırımın Kublaj Etkisi

2.5. Rusck Modeli

Rusk modeli ile ilişkili iletim hattı denklemleri, iletken yüzeydeki toplam elektrik alanı skaler ve vektör potansiyelleriyle ilişkilendirilerek türetilmiştir. Rusck tarafından verilen ilgili iletim hattı eşleşme denklemleri türevi aşağıdaki matematiksel denklemlerle gösterilmiştir.

$$\frac{\partial \phi(x,t)}{\partial x} + L \cdot \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial i(x,t)}{\partial t} + C. \frac{\partial \phi(x,t)}{\partial t} = C'. \frac{\partial \phi^{i}(x,t)}{\partial t}$$
(2)

Burada;

 ϕ :Darbenin düştüğü hattın olduğu bölgedeki skaler potansiyel

 ϕ^{i} :Bağlı olarak toplam uyarılmış skaler potansiyeldir.

i(x,t) toplam hat akımı ve L' ve C⁺ hatta karşılık gelen endüktans ve kapasitanstır. Hattaki uyarılmış toplam gerilim:

$$u(x,t) = \phi(x,t) + \int_{0}^{h} \frac{\partial A z^{i}(x,z,t)}{\partial t} dz \qquad (3)$$

Burada h iletken yüksekliği, Az, vektör potansiyelin dik bileşenidir. Yıldırım Elektromanyetik darbesinin düştüğü noktaya yakın bulunan iletim hattında elektromanyetik dalga darbesi sonucu oluşabilecek aşırı gerilime karşı oluşturulan basitleştirilmiş denklem Rusck tarafından önerilmiştir [7].

$$V_{\text{max}} = \frac{Z_0.I_0.h}{d} \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \right)$$
(4)

$$Z = \frac{1}{4\pi} \cdot \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \tag{5}$$

Burada ise;

Z: Karakteristik empendans,

IO: Yıldırım akımının tepe değeri,

d: Yıldırımın düştüğü yer ile hat arası mesafe.

Eğer üstteki denklemde Z yerine 30Ω alırsak ve yıldırım hızını $0,29 \times 10^8$ m/s ile 2.4×10^8 m/s arasında değiştiği kabul edilir ve bu olgudan yola çıkılırsa ve bu değer 1.2×10^8 m/sn olduğu varsayılarak hesaplanırsa [8];

$$V_{\text{max}} = 38.8. \frac{I_0.h}{d} (Volt)$$
 (6)

Rusck modeli benzeri yakaşımlar Agrawal modeli, Rachidi modeli, Chowdhuri modeli gibi farklı kublaj modeli bazlı yaklaşımlar mevcuttur. Literatürde Rusck ve Agrawal modelleri simülasyonlarla karşılaştırıldığında sağlıklı sonuçlar vermektedir.

2.6. Yıldırım Kanalının Akım Tespiti Yöntemleri

Yıldırım kanalındaki akım tespiti için farklı modeller ve denklemler mevcuttur. Bu denklemlerin başında Bruce-Golde modeli, Pierce ve Cianos modeli ve Heidler modelleri bulunmaktadır. Bruce-Golde modelinde hem ilk hem de dönüş darbesi için bir formül ortaya atılmıştır. Bu formülde α,β,γ ve δ zaman sabitleri olup [9] ayrıntısı mevcuttur.

$$i_{ilk}(0,t) = I_0 (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

$$i_{ikincil}(0,t) = \frac{I_0}{2} (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$
(7)

Burada IO yıldırım kanalı taban akımının pik değeridir. Pierce ve Cianos, Bruce - Golde modeline göre daha gerçekçi bir dalga boyu sağlayacak öneri getirerek alttaki matematiksel denklemi ortaya sürmüşlerdir [10].

$$i(0,t) = I_0 (e^{-\Omega t} - e^{-\beta t}) + I_{0i} (e^{-\gamma t} - e^{\gamma t})$$
 (8)

Burada I_{0i} , γ ve δ için tablo altta gösterilmektedir.

Değişkenler	Birincil Darbe	Birincil Darbe	İkincil Darbe	İkincil Darbe
	Bruce	Pierce ve	Bruce	Pierce ve
TABLO I	Golde	Cianos	Golde	Cianos
	Modeli	Modeli	Modeli	Modeli
I0 [kA]	22	20	15	10
I0i [kA]	-	2.1	-	2.1
α [s ⁻¹]	4.4×10^4	$2x10^{4}$	4.4×10^4	$2x10^{4}$
β [s ⁻¹]	4.6x10 ⁵	$2x10^{6}$	4.6×10^{5}	2x10 ⁶
γ [s ⁻¹]	-	1000	-	1000
δ [s ⁻¹]	-	10000	-	10000

Tablo 1: B-G Modeli ve P-C Modeli zaman sabitleri

Bir diğer yöntem ise Heidler modelidir. Sağlıklı yıldırım modellemesi yapılırken kullanılan matematiksel yöntem [11]:

$$i(t) = \frac{I_0}{\eta} \frac{(t-\tau_1)}{(t/\tau_2)^n + 1} \exp(-t/\tau_2) . u(t) (Amper)$$
(9)
$$\eta = \exp\left[-(\tau_1/\tau_2) (n\tau_2/\tau_1)^{1/n}\right]$$

1₀ : Yıldırım Akımı Tepe Değeri,

 τ_{1} , τ_{2} : Akım yükselme ve gecikme zaman sabiti,

n:Diklik Faktörüdür.

3. İLETİM HATTININ PSCAD İLE MODELLENMESİ

İletim hattı PSCAD ile modellenirken kullanılan yöntemin Bergeron modeli kullanılmasının sebebi toprak arızası, aşırı gerilim ve yıldırım kapsamında CIGRE tarafından önerilmekte ve 15km ve üzeri hatların tamamında yıldırım simülasyonu için tavsiye edilmektedir. Bu tavsiyenin sebebi ise tek zaman adımında yıldırım dalgasının hattın tamamını gezmesidir. Bu hesaplama, ışık hızında giden bir yıldırım darbesinin 50ms içinde 15km yol alması tanımlanır. olarak Yine CIGRE tarafından temel frekans ve yük akışlarında, röle test ve çalışmalarında doğru sonuç alındığı belirtilmiştir [12].

3.1. İzolatör, Direk ve Atlamanın Modellenmesi

İzolatör üzerinde atlamanın incelenebilmesi için devre PSCAD ile modellenirken 1460mm izolatör yerine 80pF'lık kondansatörler kullanılmıştır. referans Gauss yasası alınarak. "U=E.d" ilişkisinden yola çıkılarak mesafe arttıkça oluşacak gerilim de artacaktır. İzolatör bovu arttikca kondansatör değeri artmaktadır. Bununla birlikte simülasyonda iletken ile direk konsolu arasında bulunan izolatörün paraleline yüksek gerilim

devre kesici yerleştirilmiştir. Gerilimin zamana göre artış hızına bağlı olarak devre kesici çalışmaktadır. Devre kesici çalıştığı anda anahtar "0" konumuna gelerek yük akışını durdurmaktadır. Yıldırım sonucu direk ve ayaktaki dirençlerden oluşan aşırı gerilimin pik değeri tablolarda referans alınmıştır. Açmaların gözlendiği noktalar da bu pik değerlerdir.Bu modelleme yapılırken tek direk üzerine düsen vıldırım baz alınmış ve diğer direklerde oluşan durum göz ardı edilmiştir. Çalışmanın temel mantığı bir hattın tamamı için değil sadece bir kısmı için yapılmış olması ve noktasal çözüm önerileri sunmasıdır. Bu noktadaki temel amac direk üzerinde izolatör ile direk ayak direnci arasında yıldırımın toprak şiddetine bağlı olarak sınır değerler belirlemektir. Bu sınır değerler ile direkten iletkene atlamaların önüne geçilmesi planlanmıştır. Bu islem sırasında koruma iletkeni üzerinden diğer direklere giden vıldırım göz ardı edilirken doğruluğun sağlanabilmesi için 2 koruma kulesine de aynı anda yıldırım düşürülmüştür. Kayıpların göz ardı edilebilmesi icin PSCAD ortamında devreye kazanç modülü (Gain Module) eklenmistir.

Öncül lider (Stepped Leader) ya da öncül yayılma olarak direğe yıldırımın ilk düşme anından itibaren her 40 µs'de bir deşarj olur. Bu deşarj toplamda ortalama olarak 20ms sürer. Bu sürecin anındaki desari üzerinden olusma devam edildiğinde: Bir elektrottan ilerleyen bir lider akım diğerine ulaştığında veya her iki elektrottan ilerleyen lider akımlar hava boşluğunun ortasında buluştuğunda, geri atlama (back flashover) oluşur [13]. Bu geri atlama. atlamanın gerçekleştiği noktadır.

Direk PSCAD ortamında tasarlanırken, programın kütüphanesinde bulunan 2 koruma teli bulunan direk modeli (Flat Tower) kullanılmıştır. Bu direk modeli üzerinde iletkenler arası mesafe. iletkenin yerden yüksekliği ve koruma telinin iletkene olan mesafesi ve 2 koruma teli arasındaki mesafe değerleri arıza noktasında bulunan PB+12 tip ve boyundaki direk değerleri referans alınmıştır. Direğin direncini girilen iletken yüksekliği ve koruma bilgileri ışığında program belirlemiştir. İletken bilgileri olarak 1272 MCM Pheasant iletkenin değerleri metrik bazda direnç, dış çap, damar çapı değerleri girilmiş vine koruma teli için 70mm² kesit üzerinden bilgileri girilmiştir. Girilen ışığında bilgiler gerekli direnc hesaplamalarını program yapmıştır [14].

3.2. Farklı Toprak direnç değerlerine göre oluşan gerilimler

Yapılan simülasyon sonucuna göre 10kA, 30kA ve 50kA yıldırım için elde edilen sonuçlar sırasıyla tablo 2, tablo 3 ve tablo 4'de gösterilmektedir. Bu duruma göre yıldırımın akım değeri arttıkça atlamanın olduğu direnç değerlerindeki düşme ve gerilimlerdeki artış gözlenmektedir.

İzolatör Boyu (mm)	Ayak Direnci Ω	Atlama anında hatta okunan Anlık Gerilim (kV)
1460	357	710
1660	525	875
1860	664	990
2060	835	1100
2260	1068	1180
2460	1411	1300
2660	1953	1400

Tablo 2: 10kA yıldırım durumunda atlamanın oluştuğu direnç ve hatta okunan gerilim

İzolatör Boyu (mm)	Ayak Direnci Ω	Atlama anında hatta okunan Anlık Gerilim (kV)	
1460	33	1500	
1660	43	1590	
1860	54	1750	
2060	66	1900	
2260	79	2120	
2460	93	2300	
2660	109	2500	

Tablo 3: 30kA yıldırım durumunda atlamanın oluştuğu direnç ve hatta okunan gerilim

İzolatör Boyu (mm)	Ayak Direnci Ω	Atlama anında hatta okunan Anlık Gerilim (kV)
1460	7	1510
1660	11	1550
1860	14	1610
2060	20	1800
2260	28	2180
2460	34	2380
2660	40	2580

Tablo 4: 50kA yıldırım durumunda atlamanın oluştuğu direnç ve hatta okunan gerilim

Bu noktada izolatör boyu arttırıldıkça, direk üzerinde oluşan aşırı gerilimlerin izolatör üzerinden iletkene geçmemesi için izolatör boyu arttırılarak atlama geriliminin arttırılması sağlanmıştır. 1460mm izolatör boyu için 10kA'lik yıldırımda atlama anındaki direnç 357Ω iken, izolatör boyunun artırılmasıyla 2660mm izolatör boyunda bu değer 1953 Ω'a kadar çıkmaktadır. Aynı durumu 50kA'lik vıldırım icin incelediğinde 1460mm izolatör boyu icin 7 Ω avak direnci atlamanın

gerçekleşmesi için üst değer iken bu durum 2660mm izolatör boyu için 40 Ω 'a çıkmıştır. 10kA'lik yıldırım için oluşan atlama gerilimi 1460mm izolatör için 710kV'dur. Bu tasarımda ayak 357Ω direncinin altında kaldığı noktalarda hatta acma mevdana gelmemektedir. Aynı simülasyon 50kA yıldırım için denendiğinde 1460mm izolatör boyu için atlama anında hatta okunan gerilim 1510 kV'dur. 7Ω ve üzeri tüm ayak dirençlerinde atlama meydana gelmektedir.

4. ÖRNEK SİMÜLASYON

Örnek alınan hat 154kV 1272 MCM Oymapınar Alanya II E.İ.Hattıdır. Şekil 6'da simülasyon genel görünümü bulunmaktadır. Bu hattın en çok açma yaşanan kilometre ve direk bilgileri belirlenmistir. Belirlenen kilometredeki direk tipi, boyu, gövde yüksekliği, iletkenin direk üzerindeki yerleşim planı, koruma teli cinsi ve kesiti ve toprak ayak direnci verilerinin tamamı PSCAD ortamında programa tanıtılmıştır. İletken tipi olarak 1272 MCM Pheasant iletkenin kilometrik bazda empedans ve reaktans bilgileri girilmistir. İletken o direğin bulunduğu koordinatlarda ve arıza tarihlerinde MGM 4.Bölge Müdürlüğünden alınan yıldırım şiddetlerine göre modelleme yapılmıştır. Bu modelleme yapılırken meteoroloji verisinde yıldırım kac amper ise hatta o amperde yıldırım düşürülmüştür.



Şekil 6: PSCAD Hat Modeli.

PSCAD içinde yıldırım modellemesi yapılırken IEEE ve CIGRE tarafından tanımlanmış olan yıldırım modeli Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7: IEEE ve CIGRE Yıldırım Modeli.

PSCAD ortamında hazırlanan modelin görüntüsü şekil 6'da verilmektedir.

Modelleme yapılan hat 154kV 1272 MCM Tek Devre Oymapınar - Alanya II Enerji İletim Hattıdır. Yük Tevzi Sisteminden Bilgi alınan arıza kayıtlarına göre hattın en fazla arıza veren noktaları incelenmiştir. Hattın tesisinin yapılmasından bu yana 101 defa açma yapmış olduğu tespit edilmiştir. Meteoroloji Bölge yıldırım Müdürlüğü'nden alınan koordinat bilgileri ışığında hattın 5 direklik kısmının simülasyonu yapılmıştır. Yıldırım iletim hattının koruma teliyle direğin bağlantı noktasına düşürülmüş ve oluşan açmalar gözlenmiştir. Hattın modellemesinde mevcut hatta kullanılan tek devre pheasant iletken tipine uygun PA serisi direkler kullanılmıştır. Sekil 8'de direğin **PSCAD** modellemesi gösterilmektedir.



Şekil 8: PSCAD Direk Modeli.

4.1. 154kV Oymapınar Alanya II E.İ.Hattı PSCAD ile Simülasyonu

154kV Π Oymapınar Alanya E.İ.Hattının simülasyonu yapılırken ve MGM verileri arıza sıklığına karşılaştırılarak hatta yakın düşen vıldırım koordinatları incelenmistir. Arıza noktalarına yakın vıldırım yoğunluğunun fazla olduğu noktalar incelenmistir. 62 no'lu PB+12 tip ve boyundaki direğin bulunduğu noktaya ilişkin en yakın 2 yıldırım verisi seçilmiş ve simülasyon direğin en son ölcülen topraklama direnci üzerinden tanımlanmıştır. Hattın bulunduğu noktaya

düsen 2 adet yıldırımın birisi 10kA diğeri 25 kA'dir. Hatta kullanılan izolatör boyu 1460mm'dir. 62 no'lu direğin ayak direncleri sırasıyla A:3134Ω, B:1211Ω, C:398.8 Ω. D:326,4 Ω Res:148,9 Ω 'dur. Bu veriler ışığında şekil 9'dan görüleceği üzere 10kA'lik yıldırım hatta uygulandığında açma görülmemiştir. Bununla birlikte 25kA şiddetinde yıldırım 62 no'lu direğe düşürüldüğünde Şekil 10'dan da görüleceği üzere hatta açma yaşanmıştır. Yıldırımın düştüğü saat ile mesafe koruma rölesinden alınan saat birbirini tutmaktadır. Bu sonuclar ışığında hattın 25kA'lik yıldırım sonucunda acmava gittiği anlasılmaktadır.







Şekil 10: 25kA için simülasyon sonucu



I _{lighming} (kA)	İzolatör Gerilimi V _{STRING} (kV)	Hatta Okunan Gerilim V _{LINE} (kV)	I _{lightning} (kA)	İzolatör Gerilimi V _{STRING} (kV)	Hatta Okunan Gerilim V_{LINE} (kV)
5	81	83	55	830	1733 (atlama)
10	162	166	60	851	1924 (atlama)
15	243	249	65	809	2105 (atlama)
20	323	330	70	825	2268 (atlama)
25	407	416	75	833	2419 (atlama)
30	488	500	80	827	2581 (atlama)
35	583	569	85	860	2734 (atlama)
40	652	667	90	869	2908 (atlama)
45	731	748	95	951	3070 (atlama)
50	812	1404 (atlama)	100	960	3226 (atlama)

Tablo 5: 1660mm izolatör boyu ve toprak direncinin 10 Ω olması halinde simülasyon sonucu

I _{lightning} (KA)	İzolatör Gerilimi V _{STRING} (<u>kV</u>)	Hatta Okunan Gerilim V _{LINE} (kV)	I _{lightning} (kA)	İzolatör Gerilimi V _{STRING} (<u>kV</u>)	Hatta Okunan Gerilim V _{LINE} (kV)
5	81	83	55	894	915
10	163	167	60	977	1000
15	244	250	65	1055	1079
20	325	333	70	1138	1164
25	406	416	75	1217	1245
30	488	500	80	1305	2151 (atlama)
35	569	582	85	1331	2569 (atlama)
40	649	663	90	1364	2804 (atlama)
45	733	750	95	1392	3048 (atlama)
50	811	829	100	1394	3229 (atlama)



5. SONUÇLAR

Görüldüğü üzere 154kV tek devre 1272 MCM Oymapınar Alanya II E.İ.Hattının yıldırım verileri incelendiğinde 25kA siddetindeki yıldırımda açmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda 25kA şiddetindeki yıldırım için 1460mm izolatör boyunda olması gereken maksimum toprak direnci 46Ω 'dur. 62 no'lu direğin eşdeğer ayak direncinin 149 Ω olduğu göz önüne alınırsa hattın açması kaçınılmazdır. Bu direk için değerlendirmelere devam edilirse 149 Ω toprak direncinde 25 kA yıldırım için en az olması gereken izolatör boyu en az 2250 mm olmalıdır. Başka bir deyişle 1460 mm izolatör boyu için 20kA yıldırım bile 74 Ω ve üzeri tüm topraklama direnclerinde hatta acma gözlenmektedir. Yıldırım ortalama siddetinin 20-30kA civarında olduğu göz önünde bulundurulsa 30 kA için 33 Ω direnç değeri üst limittir. 154kV sistem genelinde 1660mm izolatörler kullanılmakta olup muhtelif hatlarda 1460 mm izolatörlerin kullanıldığı bilinmektedir. 62 no'lu direk için 1660 boyunda izolatör kullanılması mm halinde çıkan sonuç 74 Ω 'dur. Yıldırımın 20kA olması halinde 1660 mm izolatörde 96 Ω ve üzerindeki topraklama direnclerinde acmalar vaşanmaktadır. Görüleceği üzere vıldırımın 20 - 30 kA bandı ve üzerinde lokasvonlar kesinlikle olan icin topraklama üzerinde calısmaların yapılması gerekmektedir. Topraklama direncinin düşürülemediği noktalar için izolatör boylarında uzamaya gidilmesi gerekmektedir. Söz konusu direğin aynı izolatör boyunda ayak direnci 10 Ω'a düşürülmüş olsaydı 45kA yıldırıma kadar acmanın gözlenmeyeceği görülmüştür. İzolatör boyunun 1660 mm olması halinde bu değer 50kA'e, 2650mm olması halinde bu değer 80kA'e kadar çıkmaktadır. Meteorolojik bilgiler incelendiğinde 62 no'lu direğin bulunduğu noktaya arıza esnasındaki firtinada düşen yıldırımların şiddetlerinin 10kA ile 72kA arasında görülmüştür. Simülasyon olduğu sonucuna göre 10 Ω toprak direncinde tablo 5 ve 6 dan da görüleceği üzere 1660mm izolatörde 50kA yıldırımda acma gözlenirken, aynı direnc değerinde 2660mm izolatörde 80kA seviyesinde açma gözlenmektedir.

Bu çalışmadan çıkarılması gereken temel sonuç 1460mm izolatör tipinin 154kV sistemlerden tamamen cıkartılması va da ilave izolatör eklenerek izolatör boylarında uzamaya gidilmesi gerekliliğidir. Bölgedeki arıza noktalarındaki direklerin ayak dirençleri incelendiginde 18 Ω ile 315 Ω arasında olduğu görülmüştür. 10kA yıldırım için 357 Ω'da açma gözlenirken 50kA'de 7 Ω , 60kA ve üzeri tüm vıldırım siddetlerinde 1Ω değerinde bile açmanın yaşandığı görülmüştür. Arıza noktaları etrafında toplanan veriler ışığında yıldırım ortalama 30 – 40kA aralığında olup, şekil 11'de yapılan simülasyonda 1660 mm izolatör boyunda, topraklama direnci üst değeri 19 Ω cıkmıştır.

- 154kV enerji iletim hatlarında yıldırım kaynaklı arızaların önüne geçmek için, uygulanması gereken minimum topraklama direncinin 1660mm izolatör kullanılan hatların tamamında en az 18 Ω ve altındaki değerlerde tutulması gerektiği ortaya çıkmıştır.
- 1460mm boyundaki izolatörler sistemden çıkartılmalı ya da ilave izolatör baklası eklenerek boyları uzatılmalıdır.
- Toprak direncinin mevsimsel olarak değişme aralığının fazla olduğu yerlerde direk tesisinden önce belli

periyotlarda yapılacak topraklama ölçümlerine göre izolatör boylarında değişikliğe gidilmesi gerekmektedir.

- İzolatörlerin yeteri kadar uzatılamaması halinde bir üst gerilim seviyesinde direkler kullanılmalıdır.
- Bir üst gerilim seviyesi olarak ülkemizde 380kV direkler bulunmakta olup, ağırlıkları fazladır. Bundan dolayı sistemdeki direk çeşitliliğinin 230 kV direk modelleriyle güçlendirilmesi gerekmektedir.
- İsokeraunik bazdaki haritaların literatürde herhangi bir fonksiyonunun kalmadığı gözlenmiş olup, tamamen sayısal ve koordinat bazlı yıldırım haritalarının ortaya çıkartılması gerekmektedir.
- Sağlıklı yıldırım haritaları çıkartılması için T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı ortak bir çalışması ile bu verileri oluşturabilirse çok daha sağlıklı analizler yapmak mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] C. Marsh, California: Most Devastating Disasters, S:42,Gallopade, 1998.
- [2] S.L. Miller, Science 117, A Production of Amino Acids under Possible Primitive Earth Conditions, s:528, 1953
- [3] T. Thanasaksiri, Improving the Lightning Performance of Overhead Distribution Lines. TENCON 2004. IEEE Region 10 Conference, pp. 369-372, 21-24 November. Chiang Mai, Thailand. 2004
- [4] Ozkaya, M. Yüksek gerilim tekniğinde deşarj olayları. İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 1152, İstanbul, ss 25-38. 1979
- [5] Wagner, C. F., McCann, G. D. 1942. Induced voltages on transmission lines. AIEE Transactions, 61:916-929.
- [6] Djalel, D., Ali H. and Fayçal, C. 2007. The Return-Stroke of Lightning Current, Source of Electromagnetic Fields: Study, Analysis and Modelling, American Journal of Applied Sciences, 4(1): 42-48.

- [7] Rusck, S. 1997. Protection of Distribution Lines in Lightning, London:Academic Press, pp. 747-771.
- [8] Idone, V.P. and Orville, R. E. 1982. Lightning Return Stroke Velocities in the Thunderstorm, Research International Program. Journal of Geophysical Research, 87(1): 4903-4915
- [9] Bruce, C.E.R. and Golde, R.H. 1941. The lightning discharge, J. Ins. Elect. Eng. Pt.2, vol.88, pp.487-520.
- [10] Pierce, E.T. and Cianos, N. A. 1972. Ground-lightning environment for engineering usage, Stanford: Research Institute, Report, Technical Report 1.
- [11] Heidler, F. 1985. Travelling current source model for LEMP calculation, Proc of the 6th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zurich, March 5-7.
- [12] <u>https://e-cigre.org/publication/556-power-</u> system-technical-performance-issuesrelated-to-the-application-of-long-hvac-<u>cables</u>
- [13] Diendorfer, G. Uman, M. 1990. An Improved Return Stroke Model with Specified Channel-Base Current. Journal of Geophysics Research, 95(D9):13621-13644.
- [14] <u>https://hvdc.ca/knowledge-</u> <u>base/read,article/160/pscad-user-s-guide-</u> <u>v4-6/v:</u>