

En Uygun OG Gerilim Seviyesi, Ekipman Seçimi ve Bakım Stratejilerinin Belirlenmesi İçin Teknik Ekonomik Analizlere Dayalı Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi

Developing a Decision Support System Based on Technical Economic Analysis for Determining the Most Appropriate MV Voltage Level, Equipment Selection and Maintenance Strategies

Oğuzhan Elbil¹, Necati Keskin², Sude Kozalioğlu³, Andaç Kılıç⁴, Hasan Çelik⁵, Eda Erden⁶, Osman Bülent Tör⁷, Dr. Adnan Kaya⁸

^{1,2,3,4,5,6} ADM Elektrik Dağıtım A.Ş., Ar-Ge Müdürlüğü

oguzhan.elbil@admelektrik.com.tr, necati.keskin@admelektrik.com.tr,
sude.kozalioglu@admelektrik.com.tr, andac.kilic@admelektrik.com.tr, hasan.celik@admelektrik.com.tr,
eda.erden@admelektrik.com.tr

⁷EPRA Elektrik Enerji İnş. Ve Tic. Ltd. Şti.

osman.tor@epra.com.tr

⁸İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

adnan.kaya@ikcu.edu.tr

Özet

Türkiye’de bulunan ve Akdeniz iklimi yaşanan, kıyı boyunca ilçeleri olan GDZ ve ADM EDAŞ gibi dağıtım sistemlerinde; bölgeye özel coğrafi ve iklimsel şartlardan kaynaklı sorunları göz önüne alarak en uygun OG gerilim seviyesi, ekipman seçimi ve bakım stratejilerinin belirlenmesine yönelik araştırmalar yaparak, teknik-ekonomik analizler gerçekleştirilmesi ve karar destek yazılımı (algoritması) geliştirilmesi çalışmanın temel amacıdır. Çalışma; fayda/ maliyet analizleri, karar destek yazılımı geliştirilmesi ve OG şebeke yatırım optimizasyonu yapılarak işletmelerdeki OG seviyesinin Türkiye’de genel kabul görmüş olan 31.5 kV (bazı bölgelerde 34.5 kV) standart gerilim seviyesine dönüşüm stratejisini kapsamaktadır. Bu çalışma ile günümüz teknolojisi koşulları ve dağıtım şebekesine özgü karakteristikler (bölgesel, iklimsel vb.) göz önüne alınarak detaylı bir OG dönüşüm stratejisi üzerine bir analiz yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: OG dönüşümü, 31.5 kV dönüşümü, Optimum OG Seviyesi, Karar Destek Yazılımı.

Abstract

The purpose of this research is to develop a decision support system based on technical economic analysis for determining the most appropriate MV voltage level, equipment selection and maintenance strategies by considering the problems caused by region-specific geographical and climatic conditions for the electricity distribution companies where Mediterranean climate is the main climate such as GDZ and ADM EDAŞ located in Turkey. The study comprises the strategy of transforming the MV level to the standard voltage level of 31.5 kV (34.5 kV in some regions) which is generally accepted in Turkey by making benefit/ cost analyzes, development of decision support software and optimization of MV network investment. By taking today’s technology conditions and distribution network-specific characteristics (regional, climatic, etc.) into account, a detailed MV transformation strategy is examined with this study.

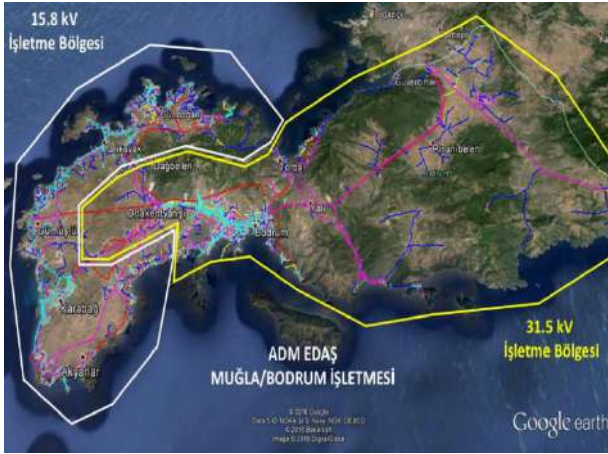
Keywords: MV transformation, 31.5 kV transformation, Optimum MV Level, Decision Support System.

1. Giriş

Akdeniz iklimi yaşanan ve kıyı boyunca ilçeleri olan ADM ve GDZ EDAŞ gibi dağıtım sistemlerinde, bölgeye özel coğrafi ve iklimsel şartlardan kaynaklı sorunlar çok fazla olmaktadır. Geçmişten bugüne bu tip sorunların temel taşının, dağıtım sistemlerinde bulunan havai hat şebekeleri ile açık şalt sahalarında yaşanan izolatör kirlenmeleri olduğu belirlenmiştir [1]. İzolatör kirlenmeleri genel olarak deniz ve göl kıyılarındaki bölgelerde açıkta bulunan dağıtım elemanlarının üzerinde tuz birikmesiyle oluşmaktadır. Dağıtım ekipmanları eğer açık ortamda bulunuyorsa kirlenmeleri kaçınılmazdır [2]. Kirlenen dağıtım ekipmanları ile doğru orantılı olarak kirlenmeye bağlı arızaların sayısı da artmaktadır. Bu tip arızalar genellikle havai hat şebekelerindeki izolatörlerin ve açık şalt sahalarındaki kesici, gerilim transformatörleri, parafudr vb. ekipmanlarının izolasyon yüzeyinde meydana gelen flashover arızalarından kaynaklanmaktadır [3]. Flashover, diğer adıyla Genel Parlama, bir yüzeyin aşırı ısınması sonucu çıkardığı yanıcı gazların tutuşup aniden parlamaya yüzeyi yakması olarak tanımlanabilmektedir.

Bu durum uluslararası olarak incelendiğinde, özellikle Çin vb. ülkelerde, 1980 ve 1990 yılları boyunca izolatör kirlenmesi kaynaklı flashover arızalarında artışlar görülmüştür. Örnek olarak, 1989 yılının ilk ve son zamanlarında Doğu Çin’de, 1990 yılının ilk zamanlarında Kuzey Çin’de ve 1996 yılının sonuna doğru Doğu ve Orta Çin’de şiddetli flashover arızaları meydana gelmiştir. Tüm bu şiddetli ve yaygın flashover arızaları bölgelerin ekonomilerinde ciddi kayıplara sebep vermiştir [4]. Daha önce yapılan çalışmalarda, özellikle büyük şehirlerde, elektrik dağıtım sistemlerinde halen orta gerilimde 34.5 kV ve 31.5 kV’nin yanında kullanılan 6.3 kV, 10.5 kV ve 15.8 kV’lik gerilim seviyelerinin günümüz şartlarında dağıtım sistemi bazında getirmiş olduğu kayıplar ve maliyet artışları nedenleriyle kabul edilemez olduğu bir gerçektir [5]. Ayrıca, 34.5 kV’lik sistemlerde bulunan daha az sayıda indirici merkez ve fider gereksinimi, fider yapısındaki basit radyal dağıtım düzeni ve uzaktan kumanda olanakları dolayısıyla bu sistemler diğerlerine göre çok daha avantajlıdır [6]. Öte yandan, şebekenin tek bir OG seviyesine dönüşmesi yedek malzeme ile

İlgili maliyetleri de önemli oranda azaltmaktadır [7]. Ülkemizde izolatör kirlenmelerinin en belirgin görüldüğü yerlerden biri olan ve çalışmanın fikrinin çıkış noktasını oluşturan ADM EDAŞ Dağıtım Bölgesi içerisinde yer alan Muğla ili Bodrum ilçesindeki dağıtım şebekesinin Google Earth haritası üzerindeki görüntüsü Şekil 1’de paylaşılmaktadır. Bu şekilde görüleceği üzere Bodrum işletmesi dağıtım sisteminde iki farklı orta gerilim seviyesi kullanılmaktadır. Bodrum işletmesinin yarımada civarında bulunan ve Yalıkavak mevkiisinden Bitez’e kadar olan kısımda sistem işletme gerilimi 15.8 kV iken yarımada iç kısımlarında ve Bodrum ilçesi ilçe merkezinde şebeke işletme gerilimi 31.5 kV’dır. Bodrum işletmesinde böyle bir ayrıma gidilmesinin sebebi izolatör kirlenmesi sonucu OG havai hat ve OG açık salt sahalarında meydana gelen kirlenmeye bağlı flashover oluşumudur [8-9]. Buna karşılık şebekedeki havai hatların tamamı 36 kV gerilim seviyesine uygun tasarlanmış durumdadır. Yarımada kıyısındaki bölgelerde 36 kV OG havai hatlar tesis edilmektedir ancak bu hatlar 15.8 kV seviyesinde işletilmektedir. Bu sayede izolatör kirlenmesine bağlı tek-faz toprak arızalarında ciddi azalmalar olduğu ilgili işletme tarafında bildirilmektedir. Diğer yandan 36 kV seviyesinde işletilmeye uygun tesis edilen hatların 15.8 kV’da işletilmesi hem şebeke teknik kayıplarını arttırmaktadır hem de Türkiye’de uygulanan OG dağıtım gerilim seviyesi standartlaştırılması çalışmalarına uygun düşmemektedir. Ek olarak, dağıtım şebekesinin planlama çalışmalarında yüksek güç talep eden bölgelere enerji naklini zorlaştırmaktadır [10].



Şekil 1. ADM EDAŞ Bodrum işletmesi dağıtım şebekesinin farklı OG işletme gerilimlerine göre Google Earth haritası üzerinde gösterilmesi

Bu çalışma, GDZ ve ADM EDAŞ gibi oldukça nemli ve tuzlu bir iklime sahip olan ve bu nedenle diğerlerine oranla daha yüksek OG havai hat arıza istatistiklerine maruz kalan işletmeler için standart 31.5 kV gerilim seviyesine dönüşümü rasyonelleştirmeyi amaçlar.

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın bu bölümünde; mevcut probleme yönelik ulusal ve uluslararası literatür taraması sonuçları, dağıtım şebekesi tasarım ve bakım prensipleri ve bir karar destek yazılımının geliştirilmesi açıklanmaktadır.

2.1. Bildirinin Türkiye ve Uluslararası Mevcut Uygulamaları

Türkiye’de bulunan ve kıyı kesime yakın olan elektrik dağıtım şirketlerinin (ADM ve GDZ EDAŞ gibi) OG havai hatlarında görece daha fazla arıza istatistikleri bulunmaktadır. Bunun en

önemli sebebi, OG seviyesindeki izolatörlerin havada bulunan nem, sıcaklık ve tuzdan oldukça etkilenmesidir. Bu etki özellikle ülkemizin yaz aylarında kıyı işletmelerde yaşanan talep artışı dolayısıyla, özellikle de puant dönemlerde daha büyük hissedilmektedir. Dünya çapında ise özellikle Çin gibi ülkelerde 1980 ve 1990 yılları boyunca izolatör kirlenmesi sonucu flashover arızaları yaygın olmakla birlikte, günümüzde ise bu problem hala baş göstermektedir [11]. Dolayısıyla sık sık yaşanan flashover arızaları ülkelerin elektrik sistemlerinde tedarik sürekliliğini ve ülke ekonomilerini olumsuz etkilemektedir.

Ülkemizde ve uluslararası anlamda, bu probleme zamanla pratik çözümler üretilmiştir. Bu pratik çözümler; kirlilik önleyici izolatörler kullanmak, yıkama sıklığını arttırmak, izolatörleri ince bir hidrofobik malzeme ile kaplamak, silikon kauçuk kompozit yapıda izolatörler kullanmak gibi sıralanabilmektedir [4]. Bu çözümlerin yanı sıra, bu çalışmada bahsedildiği gibi, işletmelerin gerilim seviyelerinin standart gerilim seviyesine (31.5 kV) dönüşümünün önemli vurgulanmakta ve probleme getirdiği çözümler anlatılmaktadır.

2.2. Bölgeye Özel Coğrafi ve İklimsel Şartlar Dikkate Alınarak Oluşturulan Dağıtım Şebekesi Tasarım ve Bakım Prensipleri

Çalışmanın bu bölümünde özellikle izolatör kirlenmesi yaşanan bölgelerde uygulanabilecek Tasarım Prensipleri (TP) açıklanmaktadır. Ardından her bir tasarım prensibi için uygulanabilecek Bakım Prensipleri (BP) paylaşılmakta, TP ve BP’lerin farklı kombinasyonlarda eşleştirilmesiyle dağıtım sistemi işletme senaryoları oluşturulmaktadır. Böylece oluşan her bir senaryo için “Arıza Engelleme Katsayısı (AEK)” tanımlanmıştır. Bu terim matematiksel bir ifade olup AEK değerinin nasıl hesaplandığı ve analizlerde nasıl kullanıldığına dair bilgiler verilmektedir. İlaveten analiz gerçekleştirilen dağıtım sisteminin bulunduğu bölgenin kirlenme karakteristiğini temsil etmesi amacıyla Ortam Hava Kirlilik (OHK) Seviyesi için AEK değerleri de hesaplanmaktadır.

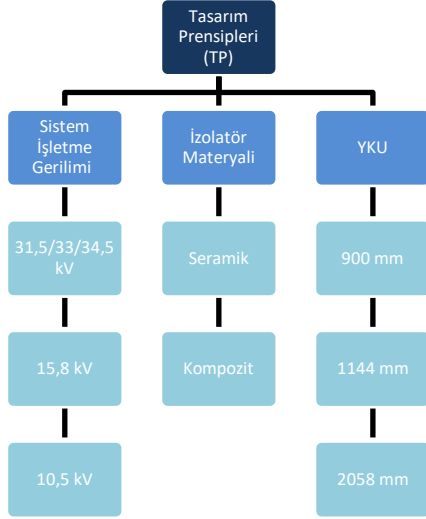
Tasarım Prensipleri (TP): İzolatör kirlenmesinin yol açma ihtimali bulunan arızaları azaltmak veya geciktirmek için farklı tasarım prensipleri geliştirilmiştir. Bunlar İşletme geriliminin düşürülerek efektif USCD değerinin artırılması, seramik yerine kompozit materyalden üretilmiş izolatörler tercih edilmesi, izolatörlerin Yüzeysel Kaçak Yolu Uzunluğu (YKU) [12] değerlerinin artırılması olarak sıralanabilir. Bahsedilen çözüm önerileri bu bildiriye tasarım prensipleri adı altında işlenmiş ve aşağıdaki gibi gruplanmıştır:

- İşletme Gerilimi,
- İzolatör Materyali,
- Yüzeysel Kaçak Yolu Uzunluğu (YKU)

Burada bahsi geçen Efektif USCD değeri, Eşitlik 1’de verilen Nominal YKU değerinin Faz-Nötr Sistem İşletme Gerilimine oranı olarak tanımlanabilmektedir.

$$Efektif\ USCD = \frac{Nominal\ YKU\ (mm)}{Faz-Nötr\ Sistem\ İşletme\ Gerilimi\ (kV, l-g)} \quad (1)$$

Aşağıdaki Şekil 2’de tasarım prensipleri oluşturulurken dikkate alınan tasarım parametreleri gösterilmektedir. Bu tasarım parametreleri farklı kombinasyonlar altında birleştirilerek toplam 13 adet Tasarım Prensipleri oluşturulmuştur.



Şekil 2. Tasarım prensipleri oluşturulurken dikkate alınan tasarım parametreleri

Tablo 1’de Efektif USCD kolonunda gösterilen değerler izolatör kirlenmesinin arızaya dönüşme süresini ve sıklığını belirleyen en önemli etkidir.

Tablo 1. İzolatör kirlenmesi olan dağıtım sistemleri için önerilen Tasarım Prensipleri (Havai Hat Gerilimi 36 kV kabul edilmektedir.)

TP	İşletme Gerilimi	İzolatör Materyali	YKU	USCD	Efektif USCD
TP_1	15,8	Seramik	900	44	99
TP_2	15,8	Kompozit	900	44	99
TP_3	15,8	Kompozit	1144	55	125
TP_4	31,5	Seramik	2058	99	113
TP_5	31,5	Kompozit	1144	55	63
TP_6	31,5	Kompozit	2058	99	113
TP_7	31,5	Seramik	1144	55	63
TP_8	31,5	Seramik	900	44	49
TP_9	31,5	Kompozit	900	44	49
TP_10	10,5	Seramik	900	44	148
TP_11	10,5	Kompozit	900	44	148
TP_12	10,5	Seramik	1144	55	189
TP_13	10,5	Kompozit	1144	55	189

Tablo1’den analiz yapılarak bir hesaplama yapılırsa; bir havai hattın TEDAŞ Şartnamesine uygun olarak 36 kV maksimum çalışma gerilimi için 900mm YKU değerine sahip izolatörler kullanılarak tesis edildiği bilinmektedir. Ancak ilgili havai hat 15.8 kV OG gerilim seviyesinde işletilmektedir. Bu durumda Efektif USCD Eşitlik 2’deki gibi hesaplanmaktadır:

$$Efektif\ USCD\ (\frac{mm}{kV, l-g}) = \frac{900}{\frac{15,8}{\sqrt{3}}} \cong 99 \quad (2)$$

Yukarıdaki hesaba göre Efektif USCD değeri 99 mm/ kV, l-g olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla pratikte USCD değeri 44 olan bir havai hattın 15.8 kV OG gerilim seviyesinde işletilmesinin izolatör kirlenmesi sonucu oluşacak arızalara etkisi, işletme gerilimi 36 kV olup USCD değeri 99 seçilmiş izolatörün izolatör kirlenmesi sonucu oluşacak arızalara vereceği tepki ile efektif olarak denktir.

Tasarım prensipleri için YKU değerleri 3 ana başlık altında incelenebilmektedir. Bunlar; 900 mm, 1144 mm, 2058 mm’dir. Bu değerlerden 900 mm değeri Türkiye dağıtım sistemlerinde

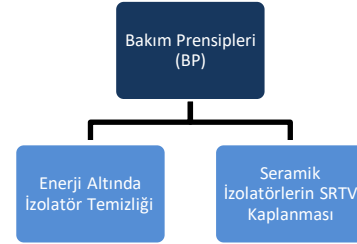
kullanılan standart YKU değeridir. Diğer yandan 1144 mm değeri 36 kV havai hat tesisat geriliminde tesis edilen izolatörler için OHK seviyesi olarak “Çok Ağır” seviyesinin kullanılması durumunda ortaya çıkan YKU değeridir ve Eşitlik 3’deki gibi hesaplanmaktadır:

$$YKU\ (mm) = \frac{36}{\sqrt{3}} \times 55 \cong 1144\ mm \quad (3)$$

2058 mm değeri ise USCD= 99 mm alınırsa ortaya çıkan YKU değeridir. Burada alınan USCD=99 mm değeri, ADM EDAŞ Bodrum İşletmesi’nde 36 kV hatların 15.8 kV seviyesinde işletilmesi ile ortaya çıkan efektif USCD değeridir. USCD değerinin 99 alınmasının sebebi Efektif USCD değerinin uygulamada izolatör kirlenmesi kaynaklı arızaların engellenmesinde başarılı sonuçlar vermesidir. 2058 mm YKU değeri Eşitlik 4’deki gibi hesaplanmaktadır:

$$YKU\ (mm) = \frac{36}{\sqrt{3}} \times 99 \cong 2058\ mm \quad (4)$$

Bakım Prensipleri (BP): Yapılan çalışmalar sonucunda izolatör kirlenmesi arızalarının meydana gelme ihtimalini azaltmak veya geciktirmek için farklı Bakım Prensipleri geliştirilmiştir. Bunlar, havai hatlarda herhangi bir enerji kesintisi yapılmadan izolatörlerin enerji altında temizlenmesi ve seramik izolatörlerin SRTV kaplanmasıdır. İzolatör temizliği ve SRTV Kaplama yönteminin farklı kombinasyonlarda bir araya getirilmesiyle toplam 8 adet bakım senaryosu oluşturulmuştur. Bakım prensipleri senaryoları Şekil 3’de incelenebilmekte ve oluşturulan her bir bakım senaryosu Tablo 2’de gösterilmektedir.



Şekil 3. Bakım Prensipleri

Tablo 2. İzolatör kirlenmesi olan dağıtım sistemleri için önerilen Bakım Prensipleri

BP	İzolatör Temizlik Sayısı (Adet/ Yıl)	SRTV Kaplama
BP_1	0	Yok
BP_2	1	Yok
BP_3	2	Yok
BP_4	3	Yok
BP_5	0	Var
BP_6	1	Var
BP_7	2	Var
BP_8	3	Var

Seramik izolatörlerin yüzeylerine SRTV Kaplama yapılması bu izolatörlere hidrofobik yapı kazandırmak amacıyla gerçekleştirilmektedir.

Tasarım ve Bakım Prensiplerinin İzolatör Kirlenmesi Kaynaklı Arıza İstatistiklerine Etkisinin Modellenmesi: Arıza Engelleme Katsayısı (AEK): Tasarım ve Bakım Prensiplerine ait oluşturulan senaryoların her biri izolatör kirlenmesi kaynaklı arızaların meydana gelme olasılığını engelleme gücüne göre belirli bir kat sayıya sahiptir. Bildiride adlandırıldığı üzere Arıza Engelleme Katsayısı (AEK) buna

karşılık gelen değeri tanımlamaktadır. Dolayısıyla daha yüksek AEK değerine sahip bir işletmede, daha düşük AEK değerine sahip bir işletmeye oranla daha az izolatör kirlenmesi kaynaklı arızalar oluşmaktadır. Aşağıdaki Tablo 3’de birbirinden farklı senaryolar için arıza sayısı hesaplamaları için kullanılan AEK değerleri, modelledikleri ilgili değişkenler ve ilgili prensipler verilmiştir. Buradaki AEK_1 değeri incelenirse, bu değer Efektif USCD’nin izolatör kirlenmesi kaynaklı arızalar için etkisini modellemektedir.

Tablo 3. AEK değeri, ilgili değişkenleri ve prensipleri

AEK	Modellediği İlgili Değişken	İlgili Prensip
AEK_1	Efektif USCD	TP
AEK_2	İzolator Materyali	TP
AEK_3	İzolator Temizliği	BP
AEK_4	SRTV Kaplama	BP
AEK_5	Hava Kirliliği	OHK
AEK_TP	AEK_1 ve AEK_2	-
AEK_BP	AEK_3 ve AEK_4	-
AEK_H	AEK_TP, AEK_BP ve AEK_5	-

2.3. Pilot Bölge Arıza İstatistiklerinin Karar Destek Yazılımına Girilmesi ve Kullanılması

Bütün yukarıda anlatılan parametreler (TP, BP ve AEK) ile birlikte 104 hücrelik bir İşletme Senaryo Matrisi oluşturulmuştur. Bu senaryolardan 76 âdeti geçerli Dağıtım Sistemi Senaryosu olarak kabul edilmektedir. Geri kalan 28 âdeti kompozit izolator olup SRTV kaplaması yapılmayan senaryolardır. Oluşturulan senaryo matrisinden sonra excel tabanlı çalışan Karar Destek Yazılımı ile bir Pilot Bölge Arıza Matrisi oluşturulmuştur. Bu matris ise her bir senaryonun AEK değerlerinin yazılı olduğu AEK Matrisi’ndeki katsayılarla bölünmüş ve Hesaplanan Arıza Matrisi (HAS) oluşturulmuştur. Hesaplanan Arıza Matrisi’ne uygulanan fayda/ maliyet analiz sonuçları ise her bir senaryonun maliyetlerinin yer aldığı ve nihai matris olarak kabul edilen Nihai Maliyet Matrisi (NİM)’i oluşturmaktadır. Nihai Maliyet Matrisi, analizi gerçekleştirilen dağıtım şebekesi veya işletmenin senaryolar bazında yatırım maliyeti ve indirgenmiş yıllık işletme maliyeti toplamını vermektedir. Ayrıca Nihai Maliyet Matrisi, OG dönüşüm Karar Destek Yazılımının son çıktısı olduğu dolayısıyla birçok çıkarıma ve sonuca bu matris ile ulaşılabilmektedir. Elde edilen nihai arıza matrisi sonrasında oluşan 76 adet arıza verisi, analizi gerçekleşen pilot bölge için **DigSilent PowerFactory** şebeke analiz yazılımında kullanılmaktadır. Şebeke analiz yazılımı, hesaplanan arıza matrisindeki her bir senaryo için arıza istatistiklerini otomatik olarak almakta ve bu verileri güvenilirlik analizlerinde kullanılmaktadır.

3. Analiz Sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde, Fayda/ maliyet analizi sonuçları, İzolator Kirlenmesi Kaynaklı Yatırım ve İzolator Kirlenmesi Kaynaklı İşletme Maliyeti olarak detaylıca verilmektedir.

3.1. Fayda/ Maliyet Analiz Sonuçları

İKK Yatırım Maliyeti: İzolator kirlenmesi kaynaklı yatırım maliyetleri; izolator materyalinden kaynaklı maliyet ve SRTV kaplama maliyeti olarak ikiye ayrılmaktadır. Yapılan analiz çalışmaları sonucunda, eşit tasarım gerilimi (kV) ve YKU (mm) altında kompozit yapıli izolatorlerin silikon yapıli

izolatorlerden daha maliyetli olduğu görülmektedir. Ayrıca YKU değeri arttıkça izolatorlerin maliyetlerinin de doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmektedir. Seramik yapıdaki izolatorlere eğer SRTV adı verilen kaplama işlemi uygulanırsa, tıpkı kompozit yapıdaki izolatorler kadar verimli olabilmektedir. Ülkemizde henüz fazla yaygınlaşmamış bu durum için fayda/ maliyet analizi sonuçlarında ise hat tipi faktörü çok etkili olmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda, en çok maliyet gerektiren hat tipinden en aza sırasıyla; Swallow, Pigeon, Raven, Hawk olarak tespit edilmiştir.

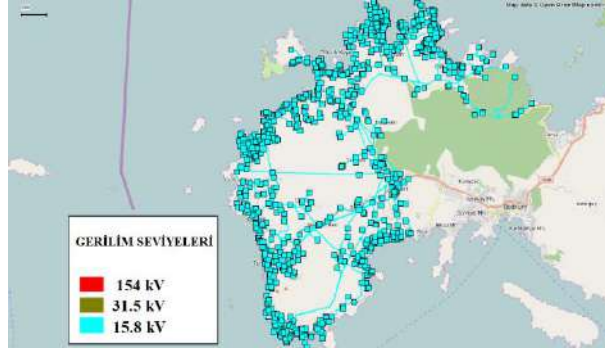
İKK İşletme Maliyeti: İzolator kirlenmesi olan OG havai hat şebekelerinde ve açık şalt sahalılarında bakım yapılması bir zorunluluk olarak kabul edilmekte ve bakım yapılmayan bölgelerde bu durumun bedeli arıza sayısı istatistiklerinin kötüye gitmesi ile ödenmektedir. En iyi dünya örnekleri incelendiğinde, yalnızca spesifik olarak havai hat izolatorlerinin temizliği için üretilen ve sadece bu amaçla kullanılması gereken özel bir boumlu araç ile hattın enerji kesintisi yapılmadan temizlik işleminin gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır. İzolator temizliği için gerçekleştirilen fayda/ maliyet analizi sonuçlarında ise ormanlık alanda bulunan hatların yol kenarından giden hatlara oranla daha maliyetli olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca hat tipi bakımından ise en çok maliyet gerektiren hat tipinden en aza sırasıyla; Swallow, Raven ve Pigeon neredeyse eşit seviyede, en son Hawk olarak tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Çalışmanın bu bölümünde, çalışma için seçilen pilot bölge için fayda/ maliyet analizi, karar destek yazılımı ve DigSilent PF modelleme yazılımı yardımı ile optimum OG seviyesi tespiti yapılmaktadır.

Çalışma kapsamında, incelenmek üzere ADM EDAŞ Bodrum İşletmesi seçilmiş ve karar destek yazılımı ile fayda/ maliyet analizleri gerçekleştirme işlemi yapılmıştır. Bodrum İşletmesi’nde iki farklı gerilim seviyesi kullanılmaktadır. Şekil 4’de 15.8 kV olarak işletilen Bodrum İşletmesi’nin DigSilent PF şebeke analiz yazılımında modellenen görüntüsü verilmiştir. Pilot işletmenin DigSilent PF’de ortaya çıkan modeli ile Karar Destek Yazılımı sonuçları entegre edilmiş ve Bodrum İşletmesi’nin Nihai Maliyet (NİM) Matrisi oluşturulmuştur. Tablo 4’de 15.8 kV’da işletilen Bodrum İşletmesi’nin Nihai Maliyet Matrisi (NİM) verilmiştir. Tablo 4’de bulunan 104 hücre içerisinde 28 âdeti TP gereği kompozit izolator olup SRTV kaplama yapılmayan senaryoları (Tablo 4’de “U” olarak adlandırılmaktadır.) ifade etmekte ve Tasarım Prensipleri Senaryoları içerisinde adlandırılan “S” seramik materyali, “K” ise kompozit materyali ifade etmektedir. Toplamda 76 adet geçerli Dağıtım Sistemi Senaryosu bulunmaktadır ve bu senaryolar Tablo 4’de mavi renk ile ifade edilmiştir.

Optimum İşletme Senaryosu: Mevcut durumda 15.8 kV toplamda 900 mm Seramik yapıda havai hat uzunluğu ile işletilen Bodrum İşletmesi, Tablo 4’de bulunan çıktılara göre TP1_BP1 senaryosu ile işletilmektedir. Fakat Tablo 4’de görülen Karar Destek Yazılımı çıktılarına göre, Bodrum İşletmesi için çok daha düşük maliyet gerektiren bir senaryo mevcuttur. Bu senaryo, Optimum İşletme Senaryosu olarak adlandırılmıştır.



Şekil 4. Bodrum İşletmesi DigSilent PF Modeli

Tablo 4. Pilot Bölge (15.8 kV'de işletilen Bodrum İşletmesi) Nihai Maliyet Matrisi

Nihai Maliyet Matrisi (NİM)	Pilot Bölge Senaryolar Bazında Yatırım Maliyeti ve İndirgenmiş Yıllık İşletme Maliyeti Toplamı (₺)							
	BP_1	BP_2	BP_3~7					BP_8
TP_1(15.8-S-900)	69.219.011	70.571.243	...	...	...	...	...	82.782.193
TP_2(15.8-K-900)	67.535.954	68.969.227	...	...	U	U	U	U
TP_3(15.8-K-1144)	67.701.508	69.160.580	...	...	U	U	U	U
TP_4(31.5-S-2058)	28.849.514	30.227.629	...	...	...	...	...	45.681.514
TP_5(31.5-K-1144)	26.026.586	27.391.101	...	...	U	U	U	U
TP_6(31.5-K-2058)	26.398.210	27.846.982	...	...	U	U	U	U
TP_7(31.5-S-1144)	27.077.937	28.315.343	...	...	...	...	...	41.712.535
TP_8(31.5-S-900)	27.709.716	28.861.227	...	...	...	...	...	41.017.466
TP_9(31.5-K-900)	25.901.026	27.214.107	...	...	U	U	U	U
TP_10(10.5-S-900)	103.137.713	104.602.734	...	...	...	...	...	116.844.427
TP_11(10.5-K-900)	101.525.252	103.026.063	...	...	U	U	U	U
TP_12(10.5-S-1144)	102.610.255	104.094.303	...	...	...	...	...	117.558.723
TP_13(10.5-K-1144)	101.713.279	103.225.484	...	...	U	U	U	U

Yapılan analiz sonuçlarına göre Bodrum İşletmesi için Optimum İşletme Senaryosu, en düşük maliyetli olan **TP9_BPI** senaryosudur. Bu senaryo Tablo 4'de koyu mavi renk ile ifade edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, Bodrum İşletmesi için, uzun vadede işletme gerilim seviyesinin **15.8 kV'den 31.5 kV'ya dönüştürülmesi** ve havai hat şebekelerinde **900 mm YKU** değerine sahip **kompozit yapıda izolatör** kullanılması gerektiği rasyonelleştirilmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma; ADM EDAŞ ve GDZ EDAŞ'ın birlikte yürütmüş olduğu EPDK destekli 28.05.2014 tarihli ve 5036 sayılı kurul kararı kapsamında gerçekleşen "Bölgeye özel coğrafi ve iklimsel şartlardan kaynaklı sorunları göz önüne alarak en uygun OG gerilim seviyesi, ekipman seçimi ve bakım stratejilerinin belirlenmesi için teknik ekonomik analizlere dayalı karar destek sistemi geliştirilmesi" Ar-Ge projesi kapsamında desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] GENÇOĞLU, Muhsin Tunay. "Kirlenmiş Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Doğru Akım Atlama Gerilimlerinin Hesaplanması." *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi* 2.1 (2003): 25-31.
- [2] Lambeth, P. J. "Variable-voltage application for insulator pollution tests." *IEEE transactions on power delivery* 3.4 (1988): 2103-2111.
- [3] Z. Guan and R. Zhang, "Calculation of DC and AC flashover voltage of polluted insulators," in *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 25, no. 4, pp. 723-729, Aug. 1990, doi: 10.1109/14.57096.
- [4] Lambeth, P. J. "Effect of pollution on high-voltage outdoor insulators." *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*. Vol. 118. No. 9R. IET Digital Library, 1971.
- [5] Nasibov, Fuad, et al. "A feasibility study of live working in Turkish electricity distribution system." *2017 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM)*. IEEE, 2017.
- [6] Güneş, Niyazi. *İzolatör kayıplarının modellenmesi*. MS thesis. Sakarya Üniversitesi, 2003.
- [7] Bilgili, Reşit. "OG Sarıyer şebekesi işletme optimizasyonu." (2003).
- [8] Bayır, İrfan Uğur. *Dağıtım otomasyon sistemleri ve TÜBİTAK İstanbul dağıtım otomasyon sistemi*. MS thesis. Sakarya Üniversitesi, 2007.
- [9] Şahin, Bülent. *SCADA sistemlerinin incelenmesi ve elektrik dağıtım şebekelerine uygulanması*. Diss. Marmara Üniversitesi (Turkey), 2000.
- [10] Akalp, Onur, İbrahim Kaya, and Serhat Berat Efe. "ICNASE'16."
- [11] Xidong, Liang, et al. "Development of composite insulators in China." *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 6.5 (1999): 586-594.
- [12] İzgi, Ercan. "Enerji iletim sistemlerinin çevresel faktörlere bağlı olarak toprak yolu analizi ve simülasyonu." (2006).