

İletim Merkezlerinin Topraklama Ağlarının Tasarımında Lojistik Haritalı Genetik Algoritmalar Yardımıyla Don Etkisinin Belirlenmesi

Barış GÜRSU¹ Melih Cevdet İNCE²

¹TEİAŞ 13.İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü – Elazığ
²Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü – Elazığ

Özet: İletim Merkezleri, elektrik enerjisinin üretildiği noktadan tüketildiği noktaya kadar iletim hatları vasıtasıyla taşınmasında, farklı gerilim seviyelerinin oluşmasında, enterkonekte sistem zincirinin en önemli halkasını oluşturmaktadır. İletim merkezi kurulmadan önce yapılması gereken en önemli ve en ilk işlemlerden biri de topraklama ağlarının tasarımıdır. Topraklama ağı, iletim merkezinin yıllarca faaliyetini sürdüreceği her anda, kendisinden beklenen görevlerini eksiksiz yerine getirmelidir. Aksi takdirde telifi güç, can ve maddi kayıpların oluşması kaçınılmazdır. Bu nedenle, bu çalışmada, topraklama ağlarının tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar içerisinde, don olayının etkileri ortaya konulmuştur. Başlangıçta emniyeti sağlayacak şekilde dizayn edilen topraklama sistemi, sonradan don olayına bağlı olarak canlıların ve güç sisteminin güvenliği yönünden büyük tehlikeler arz edebilir. Bu çalışma, Lojistik Haritalı Genetik Algoritmalar (LHGA) metoduyla topraklama sisteminin emniyetinde don olayını sistematik olarak tartışır. Topraklama ağı tasarımında don olayının etkisi hem LHGA hem de Rassal Genetik Algoritmalar (RGA) dayalı Matlab' ta hazırlanan programlar ile belirlenmiştir. Böylece, bir yandan don tutmuş toprağın topraklama ağı tasarımındaki etkisi belirlenirken, diğer yandan LHGA' ın don etkili topraklama ağı tasarımı problemindeki performansı da izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İletim Merkezi, Topraklama Ağı, Mevsimsel Faktörler, Don Tutmuş Toprak, Lojistik Haritalı Genetik Algoritmalar, Rassal Genetik Algoritmalar.

The Determination of Freezing Effect for the Design of Grounding Grid via Logistic Mapping Genetic Algorithms for Power Transmission Substations

Abstract: Power transmission substations are the most important part of the interconnected system for the transfer of the electrical energy from the power plant to the consumption point, and for the the developing of different voltage levels. Before the construction of a substation, the first important and top priority operation is the design of the grounding grid. A grounding grid should be full operational during the lifetime of the power transmission system. Otherwise, unavoidable loss of lives or financial loss are arise. For this reason, this work deals with the freezing effect for the design of grounding grid, which is an important consideration factor. Initially, a secured designed grounding system will be dangerous for the lives and power system because of the freezing effect. This work discuss the effect of freezing for the system safety with the Logistic Mapped Genetic Algorithms (LHGA) method, systematically. The effect of freezing for the design of ground network is specified by the programs written in MATLAB both LHGA and Random Genetic Algorithms (RGA). Then, on the one hand, the effect of the frozen soil on the design of grounding network is determined, and on the other hand, the performance of the LHGA on the design problem of the grounding grid with freezing effect.

Key words: Substation, Grounding Grid, Seasonal Factors, Frozen Soil, Logistic Mapping Genetic Algorithms, Random Genetic Algorithms.

Giriş

Çok büyük yatırımlar ve emeklerle kurulan ve sonrasında yıllarca işletilen elektrik iletim sisteminin can damarı iletim merkezleridir. İletim merkezlerindeki çalışan her bir fonksiyonun elbette ki kendine göre önemi olmakla beraber, can damarı topraklama ağlarıdır. İletim merkezlerinde topraklama ağları, normal hallerde çalıştığını belli etmeyen bir tesis gibi görünse de, arıza hallerinde etkisini gösteren ve görevlerini yerine getiren çok önemli bir tesistir. Topraklama ağlarının kendisinden beklenen en genel görevi, elektrik iletim sürekliliğini sağlamaktır. Bunun için de kesintisiz, can kaybı olmayan, ekonomik iletim arzu edilmektedir. Dolayısıyla topraklama ağlarının, hem canlıları hem de çalışan teçhizatları arıza hallerinde oluşabilecek tehlikeli gerilim yükselmelerinden(ground potential rise) korumak ve teçhizatların işletilmesi için gereken toprak potansiyelini sağlamak gibi görevleri vardır.

Yıldırım, kısa devreler, devreye alma-devreden çıkarma manevraları, elektro statik deşarjlar yüksek gerilimli iletim merkezlerinde çok yüksek akımların akmasına ve dolayısıyla çok yüksek gerilimlerin oluşmasına sebebiyet verir. Ortaya çıkan bu gerilimler canlılar için hayati tehlikeler oluşturabileceği gibi, elektriksel teçhizatlar için de oldukça yüksek maddi kayıpların oluşmasına neden olabilir. Elektriksel teçhizatların zarar görmesi de sistemde enerji kesintilerine

neden olacaktır. Öyleyse topraklama ağlarının görevlerinin, en başta insan ve canlı emniyetini sağlamak, enerji kesintilerini önleyerek sistem devamlılığını sağlamak, teçhizatların zarar görmesini engelleyerek kesintisiz ve ekonomik iletim sağlamak ve rölelerin arızaları algılayabilmelerine imkan verecek ya da işletme esnasında teçhizatlar için gereken toprak potansiyelini sağlamaktır.

Yüksek gerilimli bir iletim merkezi kurulduktan ve işletmeye alındıktan sonra, topraklama ağıyla ilgili bir sorunu telafi edebilmek çok zor olduğu kadar çok da tehlikelidir. İletim merkezindeki tüm teçhizatlar topraklama ağı üzerine yerleştirilmiş ve topraklama ağıyla irtibatlanmıştır. Topraklama ağından kaynaklanan bir hatayı işletme esnasında ve enerjili sistemde düzeltmeye çalışmak son derece tehlikelidir. Hata düzeltimi sırasında oluşacak bir faz-toprak arızasında arıza akımı topraklama ağıyla toprağa iletileceğinden, ağı üzerinde çalışanlar için ölümcül kazalara neden olabilir. Bu nedenle topraklama ağı üzerinde yapılacak çalışmaların enerjisiz durumda yapılması zorunludur. Ancak elektrik talebinin yoğunluğu nedeniyle, iletim merkezinin günlerce enerjisiz bırakılması isteği de TEİAŞ(Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) Yük Tevzi İşletmecileri tarafından kabul görece bir durum değildir. Öyleyse daha, boş bir arazi durumundayken tasarımı başlayan topraklama ağının en baştan itibaren

titizlikle ve tutarlı olarak ele alınması zaruridir. Topraklama ağı tasarımına etki edecek tüm parametreler, dikkatlice ve etraflıca irdelenmelidir. Bu çalışmada bu parametrelerden biri olan, don tutmuş toprağın etkisi tartışılacaktır.

Topraklama ağı konusu üzerinde literatürde birçok çalışma mevcut (Ma ve Dawalibi 2009), (Coa 2006), (Cao ve ark. 2008), (Puttarach Ve ark. 2007), (Gürsu ve İnce 2008), (Gürsu ve İnce 2007), (Gürsu ve İnce 2008) iken topraklama ağına mevsim şartlarının etkisi üzerinde çok az çalışma vardır (He ve ark. 2003). Çalışmamızdaki amaçlarımızdan biri, topraklama ağı tasarımında don tutmuş toprağın etkisini göstermek ve bu hususu dikkatlere sunmaktır. Bir başka amacımız, tüm iletim sistemi işletme birimlerinde çalışanların, özellikle sebebi bilinmeyen ya da tüm araştırmalara rağmen bulunamayan arızalarda akla getirilmesi gereken bir arıza kaynağının don tutmuş toprak ve don tutmuş toprak içinde kalan topraklama ağının olabileceğini göstermektir. Nihai olarak da amacımız, toprağın don derinliğinin belirlenip don derinliğinin altındaki bir derinliğe topraklama ağının döşenmesi ya da don durumuna göre tasarlanması gerektiği olgusunu yerleştirmektir. Bahsedilen bu amaçlar, hem LHGA hem RGA yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Emniyet Kriteri

IEEE Std.80-2000 topraklama ağlarının tasarımında en başta dikkate alınması gereken emniyet şartının $GPR < E_{dokunma}$ olduğunu göstermiştir. GPR (ground potential rise), toprak potansiyel artışıdır. Bir kısa devre anında topraklama ağıyla toprağa iletilen arıza akımı, tehlikeli olabilecek gerilim yükselmelerine neden olabilir. IEEE Std.80-2000, tehlikeli gerilim yükselmelerini sınırlandırarak topraklama ağının tasarlanması gerektiğini ifade etmiştir. Gerilim artışlarının güvenli sınırdan kalması için, dokunma gerilimi limit değerinden küçük olması gerekmektedir. $E_{dokunma}$ dokunma geriliminin müsaade edilebilir maksimum değeri olup, 50 kg ağırlığındaki insan vücudu için denklem (1)'deki gibi hesaplanır.

$$E_{dokunma-50} = (1000 + 1.5C_s \rho_s) \cdot 0.116 / \sqrt{t_s} \quad (1)$$

Denklem (1)'de ρ_s yüzey tabakasında kullanılan malzemenin özdirenci, t_s kısa devre süresi iken C_s de yüzey tabakası düzeltme katsayısı olup Denklem (2)'deki gibi hesaplanır.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} \quad (2)$$

Denklem (2)'de ρ topraklama ağının kurulacağı alanın uniform toprak özdirenci, h_s de yüzey tabakasında kullanılan malzemenin kalınlığıdır.

Normal şartlar altında, topraklanan elektriksel cihazlar 0 Volt toprak potansiyelinde çalışır. Yani, topraklanan nötr iletkenin potansiyeli, referans toprak olarak adlandırılan ve potansiyel değerinin yaklaşık 0 Volt olarak kabul edildiği, topraklayıcıdan yaklaşık 20 metre uzaklıktaki toprak potansiyeline neredeyse eşittir. Bir toprak arızası süresince, trafo merkezi topraklama ağıyla toprağa iletilen hata akımının bir bölümü, referans toprak potansiyeline bağlı olarak, ağ potansiyelinin yükselmesine neden olur. Bu yükselen ağ potansiyelinin olabilecek maksimum değeri GPR'yi ifade eder. Bir trafo merkezi topraklama ağının maksimum elektrik potansiyeli, referans toprağın potansiyelinde varsayılan uzak bir topraklama noktasına bağlı olarak ulaşabilir (Gürsu ve İnce 2008). Bu gerilim, IEEE Std.80-2000' de aşağıdaki (4) denklemi ile verilen

ağın topraklama direnci R_t ile maksimum ağ akımı I_G 'nin çarpımına eşittir.

$$I_G = D_f \cdot S_f \cdot I_f \quad (3)$$

$$GPR = I_G \cdot R_t \quad \text{bir veya iki} \quad (4)$$

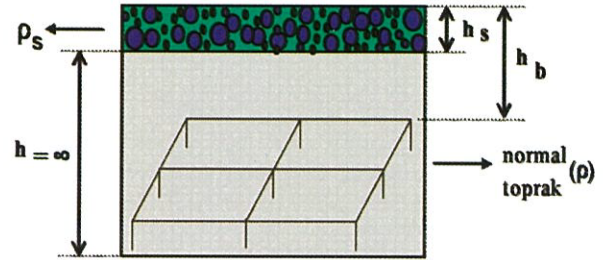
(3) denkleminde D_f , t_f arıza süresinde azaltma faktörüdür ve uygulamalarımızda 1 alınmıştır. S_f , arıza akım dağılım faktörünü ifade eder ve uygulamalarımızda 0.1 olarak alınmıştır. I_f , simetrik toprak arıza akımının rms değeri olup, her uygulama için iletim merkezi verilerine göre farklı olur.

Mevsimsel Faktörlerin Etkisiyle Değişen Hesaplamalar

$GPR < E_{dokunma}$ emniyet şartındaki tüm hesaplamalar, yani denklem (1), (2) ve de (4)'deki R_t hesabı mevsimsel faktörlerin etkisiyle değişmektedir. Çünkü mevsimsel faktörlerin etkileri nedeniyle uniform toprak modeli değişerek iki katmanlı toprak modeline dönüşmektedir. Denklem (1) ve (2), toprak modeli uniform olduğunda kullanılmaktadır. Denklem (4)'de de R_t hesabı uniform toprak modeli için başka, iki katmanlı toprak modeli için başka şekillerde hesaplanmaktadır.

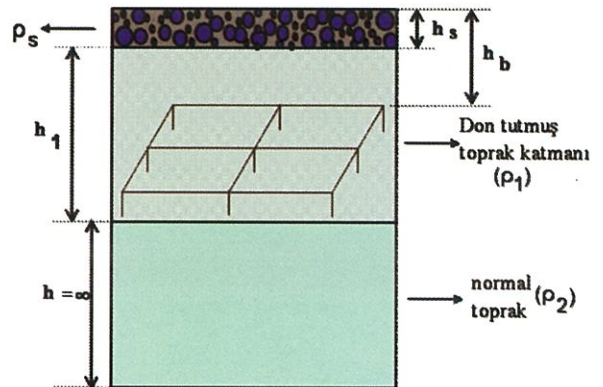
Toprak Modelinin Değişmesi ve Topraklama Direnci Hesabı

Uniform toprak modelinde toprak, hem yatayına hem de derinlemesine homojen kabul edilmiştir. Toprak özgül direnci ölçümleri, farklı istikametlerde yapılmış ve hepsinin ortalaması alınarak o alanın toprak özgül direnci tek bir değer olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. Mevsimsel Faktörlerin Etkisinin Olmadığı Toprak Modeli (Uniform Toprak Modeli)

Ancak mevsimsel faktörlerin etkisiyle toprak modeli artık uniform olmamaktadır. Mevsimsel etkilerle toprak, iki katmanlı toprak modeline dönüşmektedir. Derinlemesine iki farklı toprak katmanı oluşmaktadır.



Şekil 2. Mevsimsel Etkili Toprak Modeli (İki Katmanlı Toprak Modeli)

Üst katman, mevsim şartlarının etki yaptığı katman, alt katman da mevsim şartlarının etki yapmadığı normal toprak katmanıdır. Dolayısıyla mevsimsel şartların etkisiyle, toprak modeli önceden uniform iken iki katmanlı toprak modeli haline dönüşmektedir.

GPR hesabında kullanılan topraklama direnci $R_{t_{bir}}$ veya $R_{t_{iki}}$, mevsimsel faktörlere göre hesaplanır.

Örneğin, mevsimsel faktörlerin etkisi dikkate alınmadığında uniform toprak modeli yani $R_{t_{bir}}$ hesaplanırken, mevsimsel faktörlerin etkisi dikkate alındığında $R_{t_{iki}}$ hesaplanmalıdır. Yani toprak modeli, artık iki katmanlı hale gelmiştir. Topraklama ağı don tutmuş toprağa döşenirse, hesaplamalarda don tutmuş toprak katmanının öz direnci kullanılmalıdır.

Uniform yani bir katmanlı toprak modeli için Denklem (5)'deki Sverak'ın formülü kullanılmaktadır (IEEE Std.80-2000).

$$R_{t_{bir}} = \rho \cdot \left[\frac{1}{(L_c + n_r \cdot l_r)} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h_b \cdot \sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (5)$$

Mevsimsel faktörlerin etkisi ele alındığında uniform toprak modeli iki katmanlı hale dönüşecek ve Denklem(6)'daki formül ile topraklama direnci hesaplanacaktır.

$$R_{t_{iki}} = \frac{1}{\sqrt[3]{\left(\frac{1}{R_c}\right)^3 + \left(\frac{1}{R_r}\right)^3}} \quad (6)$$

Denklem (6)'da R_c topraklama ağı iletken direnci, R_r topraklama ağı çubuk direncidir. Bunların hesaplanması da iletken ve çubukların iki katmanlı toprağın yerleştirileceği katmana göre değişmektedir. İletken ve çubuklar üst katmanda olursa üst katman toprak öz direnci, alt katmanda olursa alt katman toprak öz direnci hesaplamalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada mevsimsel don etkisi gösterileceğinden, topraklama ağı iletken ve çubuklarının iki katmanlı toprağın üst, yani don tutmuş katmanında olduğu formülleri (Denklem 7 ve 8) kullanılacaktır.

$$R_g = \rho_1 \cdot \left[\frac{1}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{1}{L_c} \cdot \left(\frac{1}{2\pi} \ln \frac{0.061 \Delta l}{d} \right) \right] \cdot \left(1 - \frac{2.256 \cdot h_b}{\sqrt{A}} \right) - \rho_1 \cdot \frac{\ln(1-K)}{2\pi \cdot (h_1 + h_0)} \quad (7)$$

$$R_r = \frac{\rho_1 \cdot g_0 \cdot F_0}{L_r \cdot n_r} + \frac{\rho_1}{h_1} \cdot \phi \quad (8)$$

$$\Delta l = \sqrt{\Delta l_x \cdot \Delta l_y} \quad (9)$$

$$h_0 = C_f \cdot \sqrt{\frac{A}{2\pi}} \cdot \ln(1-K) \cdot \frac{K-1}{2K} \quad (10)$$

$$g_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{2L_r}{a} \right) - 1 + \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \ln 2) \cdot h_b}{L_r}} \right] \quad (11)$$

$$F_0 = F \cdot \left[L_r \rightarrow \frac{L_r}{1-0.9K} \right] \quad (12)$$

$$F = 1 + \left(n_r - \frac{1}{\sqrt{n_r}} \right) \cdot \frac{R_s}{R_r} \quad (13)$$

$$\frac{R_s}{R_r} = \frac{\sqrt[3]{\frac{L_r}{r_1} \left[\frac{1}{8} + \left(\frac{L_r}{L_r + \frac{r_1}{2}} \right)^3 \right]}}{\ln \left(\frac{4L_r}{a} \right) - 1} \quad (14)$$

$$r_1 = \frac{A}{2\pi L_r} \quad (15)$$

$$\phi = \frac{\frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{1}{1-K} \right)}{\sqrt{\left(\frac{n_r}{F_0} - 1 \right)^2 \cdot \left(\frac{L_r + h_b}{h_1} \right)^2 + 1}} \quad (16)$$

Eşitliklerde kullanılan; Δl_x : Ağdaki tek bir gözün x doğrultusu uzunluğu(m), Δl_y : Ağdaki tek bir gözün y doğrultusu uzunluğu(m), A :Ağ alanı(m²), d:Ağ iletkeni çapı(m), L_c :Ağ iletkeni toplam uzunluğu(m), C_f :Alan şekil faktörü(~0.9), n_r :Topraklama çubuğu sayısı, a:Topraklama çubuk yarıçapı(m), h_b ağ gömülme derinliğini ifade etmektedir (Salama ve ark. 1995), (Chow ve ark. 1996).

Müsaade Edilebilir Maksimum Dokunma Geriliminin Hesabındaki Değişim

Denklem (1), uniform toprak modeli için müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminin hesabını göstermektedir. Uniform toprak modelinde, yüzey tabakası kullanılmazsa C_s 1'e, ρ_s de ρ 'ya eşittir.

Mevsimsel faktörlerin etkisiyle uniform toprak modeli iki katmanlı toprak modeline dönüştüğünde, müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminin hesabında kullanılan C_s , Denklem (17)'deki gibi hesaplanır. Müsaade edilebilir maksimum dokunma gerilimi de yine denklem (1)'deki gibidir (Tommasini ve Pertusio 2003).

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09} \quad (17)$$

Toprağın Öz direncindeki Değişim

Donlu mevsimde, öz direnci artan don tutmuş bir toprak katmanı vardır. Bu mevsimde, donun etkisine bağlı olarak don tutmuş h_1 kalınlığındaki toprağın öz direnci belirgin şekilde artar.

Çalışmamızda normalde 100 $\Omega \cdot m$ olan toprağın öz direnci, don tuttuğunda 700 $\Omega \cdot m$ olacağı varsayılmıştır. (He, J. ve ark. 2003)'deki çalışmasında normalde 200 $\Omega \cdot m$ özgül dirence sahip olan toprağın, don tuttuğunda 200-5000 $\Omega \cdot m$ arasında olduğu belirlenmiştir. Yani donun etkisine bağlı olarak, don tutmuş toprağın öz direnci normal toprağın öz direncinden ~25 kata kadar fazla olabilmektedir. Çalışmamızda don tutmuş toprağın öz direnci, don etkisiz

normal toprağın özdirencinden sadece 7 kat fazla alınmıştır.

Türkiye' De Mevsimler ve Don Analizi

Toprağın yüzeyel katlarının özgül direnci mevsimlere göre çok büyük değişiklikler gösterir. Örneğin don tutmuş toprağın özdirenci normal duruma nazaran artar. Toprağın don tutması toprak modelinin değişmesine neden olur.

Farklı mevsimlerde toprak yüzey katmanının özdirencinin değişmesi, topraklama sisteminin emniyetine etki eder. Donlu mevsimde GPR, adım ve dokunma gerilimleri güvenli bölgeden tehlike bölgesine doğru hareket eder. Bu çalışma, don tutmuş toprağın tehlike etkisi yapmadan topraklama sistemini tasarlamayı amaçlar.

Günlük minimum sıcaklığın 0° C' ye eşit ve daha düşük olduğu günler don olaylı gün olarak kabul edilmiştir. Şekil 3' te 2008-2009 kış mevsimi Türkiye minimum sıcaklık haritası görülmektedir.



Şekil 3. Türkiye 2008-2009 Kış Mevsimi Minimum Sıcaklık Haritası

Şekil 3' te görüldüğü gibi Türkiye' de kış mevsiminde don olayının görülmeyen yerler çok azdır. Ege ve Akdeniz kıyıları hariç hemen hemen tüm bölgelerde don olayı görülmektedir. Don olayı Türkiye' nin bazı bölgelerinde yıl içerisinde 90 günü geçebilmektedir.

Kış mevsiminde Akdeniz, Ege ve Karadeniz kıyıları boyunca don olaylı gün sayısı ortalamaları 10 gün civarındadır. Marmara kıyıları, Ege bölgesinin kuzeyi ve iç batı Anadolu ve Güneydoğu Anadolu' nun batısında kış mevsiminde yaşanan donlu günler 20-50 gün arasında değişir. Trakya' da Edirne ve Kırklareli çevresinde artan karasallığa uygun olarak don olaylı gün sayısı 60 güne yaklaşır. Don olaylı gün sayıları yükseltinin 1000 m'nin üzerine çıktığı İç ve Doğu Anadolu' da belirgin bir artış gösterir. İç Anadolu' da ortalama yaklaşık 60-65 gün olan bu sayı, Çorum ve Kastamonu çevrelerinde 70-75 güne yükselir. Kayseri ve Sivas yöresi, ortalama yaklaşık 75-80 gün ile Türkiye' de don olayının en yüksek olduğu alanlardan biridir. Don olaylı gün sayıları, Doğu ve Kuzeydoğu Anadolu' da 90 günü geçebilmektedir (Erlat ve Türkes 2008). Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinde don olayı, Akdeniz, Ege ve Karadeniz' de de yağmur etkindir. Don, iletim merkezinin toprağının özdirencinin önemli derecede yükselmesine neden olur.

Topraklama ağı tasarlanırken donma derinliğinin belirlenmesi de önemlidir. Toprak altındaki topraklama ağı don içerisinde kalırsa, özgül direnci birkaç bin ohm-m' ye kadar çıkabilir. Bu yüzden topraklama ağının kurulacağı bölgenin maksimum don derinliği bilinmelidir. Bu maksimum don derinliğine en az 10 cm de iletkenlik tolere

payı konularak minimum gömülme derinliği belirlenmelidir. Meteorolojik verilerden Türkiye' de, özellikle Kars, Erzurum, Ardahan, Ağrı, Sivas gibi yörelerde don derinliğinin 100 cm' yi bulduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle genel kaide olarak tesbit edilen 50 cm ağ derinliği bu bölgelerde tehlikeli neticeler doğurabilir.

İklim koşullarımızın değişiklik göstermesi nedeniyle, iletim merkezlerinin topraklama ağı tasarımında, bölgenin mevsimsel şartlarının da göz önünde bulundurulması zaruridir.

Lojistik Haritalı Genetik Algoritmalar(LHGA)

İraksama ve yalancı optimum çözümlere takılma, Genetik Algoritmaların(GA) iki önemli problemidir. Büyük boyutlu, çözüm uzayının geniş ve yalancı optimumların çok olduğu problemlerde, başlangıçta gelişigüzel üretilen değerlerle yola çıkılan genetik aramada, global çözüme yakınsama olmayabilir veya yalancı çözümler global çözüme sanılabilir. Çünkü başlangıçta gelişigüzel üretilen değerlerin hepsinin, birbirini tekrarlama ihtimali, çözüm uzayının bir bölgesinde kümelenme ihtimali ve global çözümden çok uzakta olma ihtimali vardır. Bu sorunlarla karşılaşmak için, bu çalışmada lojistik denklem ile oluşturulmuş kaossil sayıların meydana getirdiği başlangıç popülasyonlu GA ile topraklama ağı tasarımı yapılmış ve don tutmuş toprağın etkisinin belirlenmesinde global çözümü yakalama başarısı gösterilmiştir.

Başlangıç popülasyonu, GA' nın ilk adımı olduğu kadar, belki de bu popülasyonu oluşturan herhangi bir kromozomu çözüm olacak son adımı olabilir. Yani, başlangıç popülasyonundaki bir kromozom, bütün genetik süreç içerisindeki en iyi kromozom olabilir. Ayrıca, genetik işlemler başlangıç popülasyonu etrafında yapılacağından, başlangıç popülasyonu GA' nın global çözüme ulaşmasında çok etkilidir.

Nonlineer sistemde var olan en önemli olgulardan biri kaostur ve kaos teorisi nonlineer sistem araştırmalarında çok yaygın kullanılır. Şimdi daha yaygın olarak biliniyor ki, kaos hemen tüm doğal hadiselerin altında yatan temel bir hareket modudur (Gao ve ark., 2005). Kaotik davranış isbatlayan en basit dinamik sistemlerden biri aşağıdaki eşitliğe sahip olan lojistik denklem(18) olarak ifade edilen fonksiyondur.

$$x_{n+1} = \lambda \cdot x_n (1 - x_n) \quad (18)$$

Lojistik kaos denklemi genelde kaos dizileri üretmek için uygulanır (Zhang ve ark., 2007). λ , 0 ve 4 arasındaki bir kontrol parametresidir. değerine göre sistem farklı davranışlar gösterecektir.

- Lojistik kaos denklemi genelde kaos dizileri üretmek için uygulanır (Zhang ve ark., 2007). λ , 0 ve 4 arasındaki bir kontrol parametresidir. λ değerine göre sistem farklı davranışlar gösterecektir.
- 1- $0 < \lambda \leq 1$ durumunda sistem çok basittir.
- 2- $1 < \lambda < 3$ durumunda 0 ve $1 - 1/\lambda$ olan periyodik iki noktalı basit bir sistemdir.
- 3- $3 \leq \lambda \leq 4$ durumunda sistem çok karmaşıktır. Sistem, kaosa girmektedir.
- 4- $\lambda > 4$ durumunda sistem çok daha karmaşık olacaktır (Gong ve diğerleri, 2007).

Dolayısıyla $\lambda < 3$ iken fonksiyon stabildir ve $\lambda > 3$ iken çatalaşma oluşur. $\lambda \geq 3.57$ iken fonksiyon kaosa gider (Liu ve Cao 2006). Bu çalışmada, sistemin kaosa girdiği nokta olan 3.57 noktası referans alınacak ve tekrarlanmama amacı güdülecektir. x_n , $0 \leq x_n \leq 1$ aralığında ve λ , $3.57 \leq \lambda \leq 4$ arasında rasgele seçilerek denklem (18)' nin uygulanmasıyla başlangıç popülasyonu oluşturulur. Bu şekilde geliştirilen kaotik başlangıç operatörünün çeşitliliğinin olduğu görülür (Gürsu ve İnce 2008). Çalışmamızda $x_1 = 0.1$ ve $\lambda = 4$ alınmıştır. Lojistik kaos denklemiyle oluşturulmuş başlangıç popülasyonunun, lokal çözümlerden kolayca kaçarak

global yakınsamayı artıracakı düşünölmüştür(Alataş 2007).

Problemin Lojistik Haritalı Genetik Algoritmalarla Uygulanması

Topraklama sisteminin analizinde IEEE Std.80-2000' de aşığıda verilen dizayn prosedürü kullanılmıştır.

Algoritma 1. LHGA Metoduyla Topraklama Ağı Tasarımı

Adım 1) Mevsimsel etkilere göre toprak modelini belirle.
Adım 2) Populasyon sayısını(N) ve maksimum generasyon sayısını(G) gir.

Adım 3) İletim merkezi bilgilerini gir.
Girişler: (Uniform toprak özdirenci, üst katman toprak özdirenci, üst katman derinliği, alt katman toprak özdirenci, yüzey malzemesi özdirenci, yüzey tabakası kalınlığı, kullanılacak topraklama çubuğunun boyu, topraklama çubuğunun çapı, iletim merkezinin boyuna uzunluğu, iletim merkezinin enine uzunluğu, maksimum ağ akımı, kısa devre süresi)

Adım 4) Başlangıç populasyonu için lojistik kaos denklemine göre N sayıda kromozom üret. Her kromozom 4 genden oluşmaktadır.

Çıkışlar: [toplam çubuk sayısı, satır sayısı, sütun sayısı, ağ gömölme derinliği].

Adım 5) Her kromozom için uygunluk değerini hesapla.
Adım 6) Maksimum generasyon sayısına ulaşıldıysa uygunluğu en iyi olan kromozomu belirle ve dur. Maksimum generasyon sayısına ulaşılmadıysa Adım 7' ye geç.

Adım 7) N sayıdaki kromozomları ikili guruplara ayır ve çaprazlama yap. Çaprazlama noktasını lojistik denklem ile belirle.

Adım 8) N sayıdaki kromozomlara mutasyon uygula. Mutasyon noktasını lojistik denklem ile belirle.

Adım 9) Bu generasyondaki N sayıda kromozom, çaprazlama neticesinde elde edilen N sayıdaki kromozom ve mutasyon neticesinde elde edilen N sayıdaki kromozom(toplam 3N sayıdaki kromozom) arasından $GPR < E_{touch}$ şartını sağlayan uygunluğu en iyi olan N sayıdaki kromozomu bir sonraki generasyon için seç.

Adım 10) Generasyon sayısını 1 artır ve sonraki generasyon için Adım 6' ya git.

Maliyet ve Uygunluk Fonksiyonu

Çalışmamızda maliyet fonksiyonu, toplam iletken uzunluğu ve toplam çubuk sayısından kaynaklanan miktara hafriyat maliyetinin de eklenmesiyle bulunmuştur. Yüksek gerilimli iletim merkezlerinin kapladığı alan çok büyük olduğundan, iletkenlerin toprak altına serilmesi işinde hafriyat maliyeti de ortaya çıkacaktır. Bu çalışmada h_b derinliğinde gömülecek olan iletkenler için 0.75 metre genişliğinde hafriyat yapılması yeterli görölmüştür. Yani $(0.75 \cdot h_b \cdot L_c) m^3$ kadar bir hafriyat gerekmektedir. Hafriyat piyasasında $1 m^3$ lük bir alanın hafriyatı ortalama 8 TL' dir. Dolayısıyla hafriyat maliyeti denklem (19)' daki gibi hesaplanır.

$C_{hafriyat} = [(L \cdot h_b \cdot (lin+1) \cdot 0.75) + (W \cdot h_b \cdot (col+1) \cdot 0.75)] \cdot 8$ (19)
Hafriyat maliyetinin de dahil edildiği maliyet fonksiyonu denklem (20)' daki gibi hesaplanır.

$C = (C_{iletken} \cdot L_c) + (C_{çubuk} \cdot Nr) + C_{hafriyat}$ (20)
Türkiye' de en düşük topraklama iletken kesiti 120 mm² olarak kullanılmaktadır ve bu kesitteki 1 m bakır iletkenin fiyatı($C_{iletken}$) 25 TL, 1.5 m boyundaki çelik kaplı bakır topraklama çubuğunun fiyatı($C_{çubuk}$) 80 TL alınmıştır.

GA' nın temel taşı olan uygunluk fonksiyonu denklem (21)' daki gibi tanımlanır.

$$F = C + [P \cdot (GPR - E_{dokunma})] \quad (21)$$

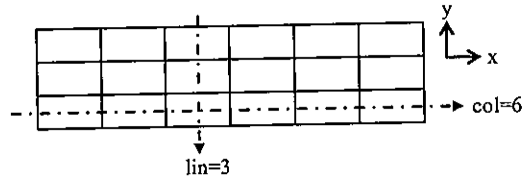
Denklem (21)' de gösterilen P, penaltı fonksiyonudur. Gerek mevsimsel etkili gerekse mevsimsel etkisiz topraklama ağı tasarımlarında amaç, hem minimum maliyet hem de $GPR < E_{dokunma}$ emniyet şartının sağlanmasıdır. Denklem (22)' de gösterilen penaltı fonksiyonuyla, bu amaçlara ulaşılmaya çalışılmıştır.

$$\begin{cases} P = C \rightarrow GPR \geq E_{dokunma} \\ P = 1 \rightarrow GPR < E_{dokunma} \end{cases} \quad (22)$$

Topraklama ağı tasarımlarında uygunluğu minimizasyonu amaçlanmaktadır. $GPR < E_{dokunma}$ olduğunda uygunluk fonksiyonu, emniyet şartını sağlamış olduğunda maliyet ağırlıklı ilerleyecektir. $GPR \geq E_{dokunma}$ olduğunda da uygunluk fonksiyonu değerü büyüyeceğinden çözümden uzaklaşılacaktır.

Optimize Edilen Parametreler ve İletken Uzunluğunun Bulunması

Topraklama ağı tasarımlarında, ağın satır ve sütunlardan oluştuğu yaklaşımları yapılmıştır. Bu yaklaşımların anlamı, topraklama ağı döşenecek alan x ve y doğrultusundan oluşmuş bir alan olarak kabul edildiğinde, x doğrultusunda ve y doğrultusunda toprak altına serilecek iletken sayılarını ve dolayısıyla toplam iletken uzunluğunu belirlemektir.



Şekil 4. 3 satırlı 6 sütunlu topraklama ağı yaklaşımları

Böylelikle ağ tasarımı için, "çubuk sayısı, x doğrultusundaki 1 satırdaki göz sayısı, y doğrultusundaki 1 sütundaki göz sayısı, ağ gömölme derinliği" optimizasyonu yapılmıştır. Topraklama ağının tek bir gözünün boyutları sırasıyla denklem (23) ve (24)' deki gibi bulunur.

$$\Delta l_x = \frac{L}{col} \quad (23)$$

$$\Delta l_y = \frac{W}{lin} \quad (24)$$

col, x doğrultusundaki bir satırdaki göz sayısı yani sütun sayısıdır. lin, y doğrultusundaki bir sütundaki göz sayısı yani satır sayısıdır. Buna göre topraklama ağında kullanılacak toplam iletken uzunluğu da denklem (25)' daki gibidir.

$$L_c = W \cdot (col+1) + L \cdot (lin+1) \quad (25)$$

Don Etkili Topraklama Ağı Tasarımı Uygulamaları

Bu bölümde don tutmuş toprağın topraklama ağı tasarımındaki etkisini göstermek için, don etkisinin olmadığı uniform toprak modeli ve don etkisinin düşünöldüğu iki katmanlı toprak modeliyle topraklama ağı tasarımı uygulaması yapılmıştır. Hem LHGA hem de RGA ile don etkili ve don etkisiz topraklama ağı tasarımları yapılmıştır. LHGA metodunun topraklama ağı tasarımındaki performansını göstermek için RGA ile yapılan karşılaştırmada, generasyon sayısı düşük tutulmuştur. Generasyon sayısı yükseltildiğinde hem LHGA hem de RGA' nın aynı optimum tasarım sonuçlarına ulaşabildiği de gösterilmiştir.

Tasarımlarda çubuk sayısı [10,255], satır sayısı yani y doğrultusundaki 1 sütundaki göz sayısı [2,255], sütun sayısı yani x doğrultusundaki 1 satırdaki göz sayısı [2,255]

ve ağ gömülme derinliği de uniform toprak modeli için [0,5, 5], iki katmanlı toprak modeli için [0,5, üst katman derinliği] arasında aranmıştır. Yüksek gerilimli trafo merkezlerinde topraklama iletkeni kesiti, en az 120 mm² olacak şekilde sınırlandırıldığından (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2004), burada da kesit en az 120 mm² alınmıştır.

Tablo 1. Don Etkili ve Don Etkisiz Topraklama Ağı Tasarımı Simulasyon Girişleri

	ANALİZ GİRİŞLERİ	
	Uniform (Normal Toprak)	İki Katmanlı (Don Tutmuş Toprak)
N	100	100
G	20	20
$\rho (\Omega \cdot m)$	100	-
$\rho_1 (\Omega \cdot m)$	-	700
$\rho_2 (\Omega \cdot m)$	-	100
$\rho_s (\Omega \cdot m)$	5000	5000
$h_s (m)$	0.1	0.1
$L_r(m) - a (m)$	1.5 - 0.01	1.5 - 0.01
$L_x(m)$	110	110
$L_y(m)$	110	110
$I_c (A)$	20000	20000
$t (sn)$	0.5	0.5
$h_1(m)$	-	2

Don tutmuş toprağın etkisini göstermek için, donlu mevsimde toprağın öz direnci normal toprağın öz direncinden sadece 7 kat fazla alınmıştır. Donun etkisine bağlı olarak toprağın öz direnci çok daha fazla artabilmektedir. Bu uygulamada populasyon sayısı 100 ve generasyon sayısı 20 alınarak LHGA'nın RGA karşısındaki performansı belirlenmiştir.

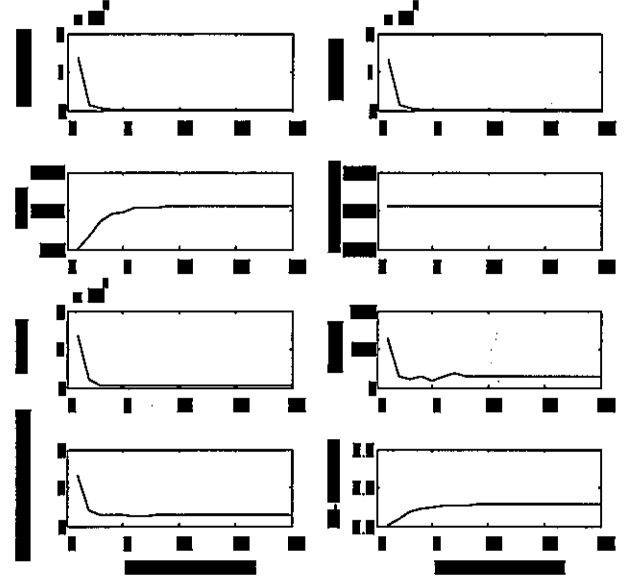
Tablo 2. LHGA ve RGA Metodları İle Don Etkili ve Don Etkisiz Topraklama Ağı Tasarım Sonuçları

	GA SONUÇLARI			
	LHGA		RGA	
	Don Etkisiz (Uniform) Normal Toprak	Don Etkili (İki Katmanlı) Don Tutmuş Toprak	Don Etkisiz (Uniform) Normal Toprak	Don Etkili (İki Katmanlı) Don Tutmuş Toprak
lin	4	116	4	97
col	2	98	3	130
$L_c (m)$	880	23760	990	25190
n_r	28	250	13	205
$h_b (m)$	0.61	2	0.5	2
$R_{s,uniform} (\Omega)$	0.5101	-	0.5016	-
$R_{s,iki} (\Omega)$	-	0.533	-	0.533
GPR (V)	1020.2	1065.9	1003.1	1065.9
$E_{dokunma-50} (V)$	1020.26	1066	1020.26	1066
C (TL)	27461	899120	28760	948430

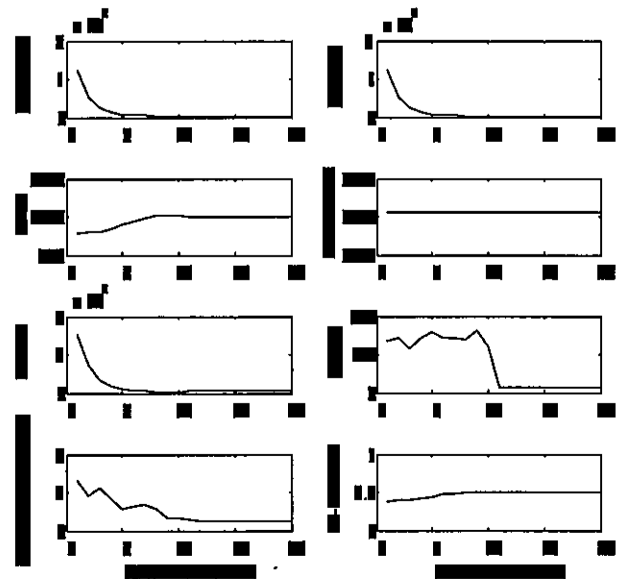
Topraklama ağı tasarımlarında, minimum maliyet ve $GPR < E_{dokunma}$ şartları birlikte sağlanmıştır. Maliyetin minimum olması için GPR'nin $E_{dokunma}$ değerinden küçük ama mümkün olduğu kadar da bu değere yakın olması stratejisi izlenmiştir. Böylece hem emniyet şartı sağlanacak hem de maliyet en düşük tutulabilecektir. Tablo 2' de görüldüğü gibi LHGA metodu ile yapılan don etkili ve don etkisiz topraklama ağı tasarımlarında, maliyet RGA metoduna göre daha düşük bulunmuştur.

Şekil 5' de LHGA ile don etkisiz topraklama ağı tasarımında ağ parametrelerinin generasyon sayısına bağlı ortalama değerleri görülmektedir. Hedeflendiği gibi, uygunluğun minimizasyonu sağlanmıştır. Başlangıçta yani 1. generasyonda $1.3428 \cdot 10^6$ olan uygunluk ortalaması generasyonlar ilerledikçe $0.0275 \cdot 10^6$ ya kadar düşmüştür.

Aynı şekilde maliyet te $1.3103 \cdot 10^6$ dan $0.0275 \cdot 10^6$ ye düşmüştür. Minimum maliyet için, $GPR < E_{dokunma}$ 'yı sağlayacak ve $E_{dokunma}$ değerinin GPR' ye mümkün olduğunca yakın olduğu değere, generasyonlar ilerledikçe ulaşılmıştır. Başlangıçta 807.7 olan GPR, 11. generasyonda 1020.2 değerine yükselmiştir. [0,5,5] arasında aranan ağ gömülme derinliği, başlangıçta 2.6371 iken generasyonlar sonunda 0.61' e düşmüştür. Hafriyat maliyetini düşük tutmak için ağ gömülme derinliğinin de düşük olması gerekmektedir. Başlangıçta 27094 olan ortalama iletken uzunluğu 11. generasyondan itibaren 880 m' ye düşmüştür. 1. generasyonda 126 olan ortalama çubuk sayısı da 28' e düşmüştür.



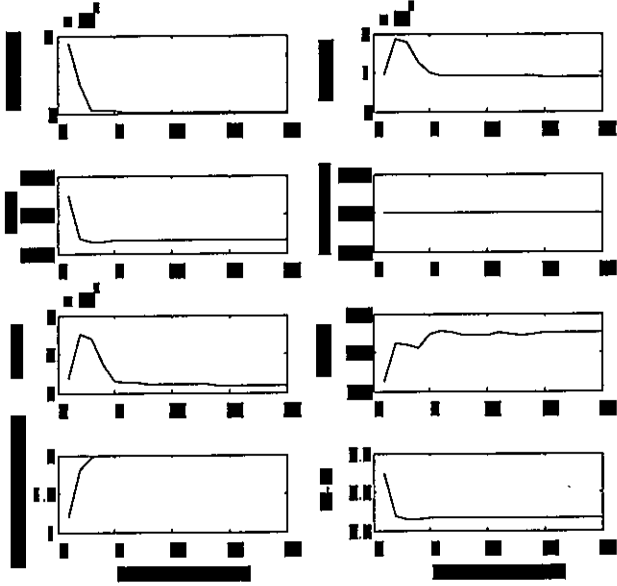
Şekil 5. LHGA İle Don Etkisiz Topraklama Ağı Tasarımında Ağ Parametrelerinin Generasyon Sayısına Bağlı Ortalama Değerleri



Şekil 6. RGA İle Don Etkisiz Topraklama Ağı Tasarımında Ağ Parametrelerinin Generasyon Sayısına Bağlı Ortalama Değerleri

RGA' larda başlangıç populasyonu, rasgele üretilen değerlerle oluşturulmaktadır. Çaprazlama ve mutasyon noktaları da rasgele seçilmektedir. Don etkisiz topraklama ağı tasarımında, RGA ile de uygunluk fonksiyonunun minimizasyonu amaçlanmıştır. Başlangıçta $1.2333 \cdot 10^6$

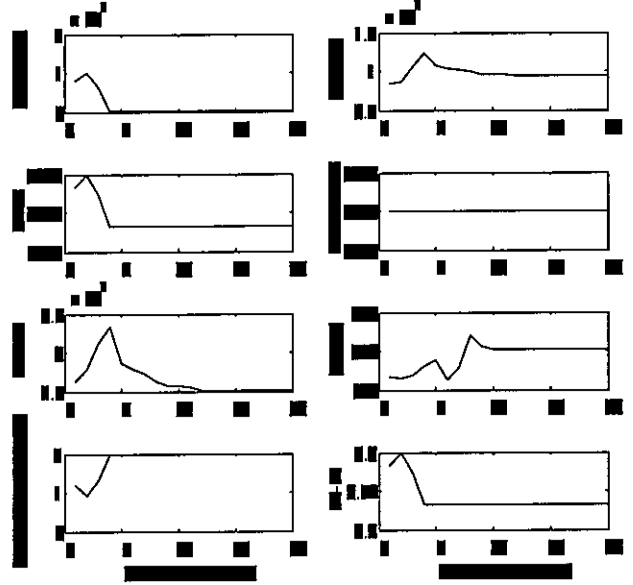
olan uygunluk değeri 12. generasyondan itibaren $0.0287 \cdot 10^6$ ya ulaşmıştır. 1.generasyonda 782.8 olan GPR ortalaması 12.generasyondan itibaren 1003.1' e ulaşmıştır. Derinlik de 2.628 m' den 0.5 m' ye düşmüştür. Başlangıçta 134 olan çubuk sayısı yine 12.generasyonda 13' e gelmiştir. 29855 m olan iletken uzunluğu generasyonlar sonunda 990 m' ye düşmüştür. Uygunluğun minimizasyonu amacıyla, LHGA' da 27461 TL olan maliyet, RGA' da 28760 TL olmuştur. Dolayısıyla 20 generasyonda her iki GA metodunda da sağlanan emniyet şartının yanında LHGA metodunda, maliyeti daha düşük yapan ağ parametreleri elde edilmiştir.



Şekil 7. LHGA ile Don Etkili Topraklama Ağı Tasarımında Ağ Parametrelerinin Generasyon Sayısına Bağlı Ortalama Değerleri

Şekil 7' de LHGA metodu ile don etkili topraklama ağı tasarımı uygulama sonuçları görülmektedir. Don etkili topraklama ağı tasarımı için, iki katmanlı toprak modeli kullanılmıştır. LHGA metoduyla don tutmuş toprağın etkisi göz önüne alınarak yapılan tasarımda, uygunluk ortalaması başlangıçta $4.4503 \cdot 10^7$ iken 15.generasyondan itibaren $0.0899 \cdot 10^7$ olmuştur. Uygunluk sürekli düşme eğilimindedir. LHGA metodunda, don etkisiz topraklama ağı tasarımı maliyet 27461 bulunmuşken, don etkili topraklama ağı tasarımı maliyet 899120 TL' ye çıkmıştır. Yani, don etkili tasarımda maliyet ~33 kat artmıştır. Hem çubuk sayısı, hem iletken uzunluğu hem de ağ gömülme derinliği, don etkili tasarımda artmıştır.

Şekil 8' de RGA metoduyla don etkili topraklama ağı tasarımı generasyon sayısına bağlı ağ parametreleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi yine uygunluk, sürekli düşme eğilimindedir. 1.generasyonda $0.7941 \cdot 10^6$ olan uygunluk ortalaması 12.generasyondan itibaren $0.0095 \cdot 10^6$ e gelmiştir. LHGA' da 899120 TL olan maliyet, RGA' da 948430 TL olmuştur. 20 generasyonlu uygulamada RGA' da maliyet, LHGA' ya göre ~%5.5 daha yükselmiştir. RGA ile don etkili topraklama ağı tasarımı, don etkisiz topraklama ağı tasarımı nazaran maliyet ~33 kat artmıştır.



Şekil 8. RGA ile Don Etkili Topraklama Ağı Tasarımında Ağ Parametrelerinin Generasyon Sayısına Bağlı Ortalama Değerleri

Generasyon sayısı ve populasyon sayısı artırılarak aynı problem LHGA ve RGA metodları ile optimize edildiğinde Tablo 3' deki optimum sonuçlar elde edilmiştir. Populasyon sayısı 1000, generasyon sayısı 100 alınmıştır.

Tablo 3. Her İki Metodun Don Etkili ve Don Etkisiz Topraklama Ağı Tasarımında Ulaştığı Optimum Sonuçlar(N=1000, G=100)

	GA SONUÇLARI			
	LHGA		RGA	
	Don Etkisiz (Uniform) Normal Toprak	Don Etkili (İki Katmanlı) Don Tutmuş Toprak	Don Etkisiz (Uniform) Normal Toprak	Don Etkili (İki Katmanlı) Don Tutmuş Toprak
lin	3	117	4	116
col	3	97	2	98
L _c (m)	880	23760	880	23760
n _r	33	249	33	249
h _b (m)	0.5	2	0.5	2
R _{t-uniform} (Ω)	0.5101	-	0.5101	-
R _{t-iki} (Ω)	-	0.533	-	0.533
GPR (V)	1020.2	1065.9	1020.2	1065.9
E _{dokunma-50} (V)	1020.26	1066	1020.26	1066
C (TL)	27280	899040	27280	899040

Tablo 3' te görüldüğü gibi, generasyon ve populasyon sayıları artırıldığında hem LHGA hem de RGA aynı ve optimum sonuçlara ulaşabilmektedir.

Donun etkisinin düşünülmediği topraklama ağı optimum tasarım sonuçları, iki katmanlı toprak modeline uygulandığında GPR=2530.4 V olarak hesaplanmıştır. Bu da değeri 1066 V olan müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminin oldukça üzerindedir. Dolayısıyla don tutmuş toprağın etkisi düşünülmezse, topraklama ağı tasarımının emniyetli olmayacağı ve sonrasında telafisi mümkün olmayan neticeler doğuracağı açıktır.

Sonuçlar

Bu çalışmanın özgül noktası, iletim merkezi topraklama ağı tasarımında don tutmuş toprağın etkisini göstermesidir. Bunun için LHGA ve RGA metodlarının kullanılması ve LHGA metodunun topraklama ağı tasarımı problemindeki performansının da belirlenmesi ayrıca özgünlüklerdir.

Topraklama ağı tasarlanırken, bölgenin don derinliğinin bilinmesi ve tasarımda don tutmuş toprağın dikkate alınması güvenlik açısından şarttır. Don etkisi hesaba katılmadan yapılan topraklama ağı tasarımında $GPR < E_{dokunma}$ emniyet şartı sağlanmış olmasına rağmen, bu durumda elde edilen iletken uzunluğu, çubuk sayısı ve ağ gömülme derinliği parametreleriyle yapılan don tutmuş toprağın etkisi hesaba katıldığı durumda $GPR < E_{dokunma}$ emniyet şartının sağlanmadığı gösterilmiştir.

Don etkisi hesaba katıldığında, emniyet şartının sağlanabilmesi için toplam iletken uzunluğunun, çubuk sayısının ve ağ gömülme derinliğinin arttığı ve dolayısıyla maliyetin de ~33 kat arttığı görülmüştür.

LHGA metodunun hem don etkili hem de don etkisiz tasarımlarda oldukça başarılı olduğu gözlenmiş, generasyon sayısı ve populasyon sayısı düşük tutulduğunda RGA' dan daha iyi yakınsamaya gittiği belirlenmiştir. Hem LHGA hem de RGA metodlarının yeterli generasyon ve populasyon sayılarında aynı ve optimum sonuçlara ulaşabildiği izlenmiştir.

Don tutmuş toprağın etkisi dikkate alınarak yapılacak topraklama ağı tasarımında emniyet şartı sağlanmış olsa dahi, maliyetin yüksek olmaması için de, topraklama ağının don tutabilecek katmana döşenmemesi gerekmektedir.

Topraklama ağının yılın belli dönemlerinde değil, her döneminde kendisinden beklenen görevlerini ifa etmesi gerektiği unutulmamalıdır. Bunun için de, toprağın öz direncini, normalinden oldukça fazla yükselttiği don olayının, topraklama ağı tasarımında dikkate alınması zaruridir.

Kaynaklar

- Alataş, B., 2007, Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmaları Geliştirme, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Cao, X., Wu, G., Zhou, W., Li, R., 2008, New Method for Calculating Ground Resistance of Grounding Grids Buried in Horizon Two-Layer Soil, International Conference on High Voltage Engineering and Application, 241-244.
- Chow Y.L., Elsherbiny M.M., Salama M.M.A., 1996, Resistance Formulas of Grounding Systems in Two-Layer Earth, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, No.3, 1330-1336.
- Coa, L.M., 2006, Comparative Study between IEEE Std.80-2000 and Finite Elements Method Application for Grounding Systems Analysis, IEEE, 1-5.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2004, Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği, 25639 sayılı Resmî Gazete.
- Erlat, E., Türkeş, M., 2008, Türkiye' de Don Olaylı Gün Sayılarındaki Değişiklikler ve Arktik Salınım ile Bağlantısı, 4.Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, İstanbul.
- Gao, H., Feng, B, Zhu, L., 2005. Adaptive SAGA Based on Mutative Scale Chaos Optimization Strategy, ICNN&B '05. International Conference on Neural Networks and Brain, 517-520.
- Gong, M., Jiao, L., Zhang, L., Ma, W., 2007. Improved Real-Valued Clonal Selection Algorithm Based on

a Novel Mutation Method, International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, ISPACS 2007 , 662-665.

- Gürsu, B., İnce, M.C., 2007, Genetik Algoritmalar İle Yüksek Gerilim İstasyonlarında Optimum Topraklama Ağı Tasarımı, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:19, Sayı:4, 511-524.
- Gürsu, B., İnce, M.C., 2008, Başlangıç Populasyonu Düzgün Dağılımlı Bir Genetik Algoritma, Galatasaray Üniversitesi, 28.YA/EM Ulusal Kongresi, İstanbul.
- Gürsu, B., İnce, M.C., 2008, Genetik Algoritmalar İle Adım ve Dokunma Gerilimi Kontrolünde Bakır, Alüminyum ve Çelik Özlü Alüminyum İletkenli Topraklama Ağı Karşılaştırması, ELECO Bursa, 371-375.
- Gürsu, B., İnce, M.C., 2008, İki Katmanlı Toprak Modelinde Genetik Algoritmalar İle Topraklama Çubuklu ve Çubuksuz Ağ Tasarımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 26, Sayı 4, 247-266.
- Gürsu, B., İnce, M.C., 2008, Uniform Toprak Modelinde Genetik Algoritmalarla Dayalı Darbe Empedansı Etkili Topraklama Ağı Tasarımı, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, 415-422.
- He, J., Zeng, R., Gao, Y., Tu, Y., Sun, W., Zou, J., Guan, Z., 2003, Seasonal Influences on Safety of Substation Grounding System, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.18, No.3, 788-795.
- IEEE Std.80-2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- Liu, D., Cao, Y., 2006. A Chaotic Genetic Algorithm for Fuzzy Grid Job Scheduling, International Conference on Computational Intelligence and Security, 1, 320-323.
- Ma, J., Dawalibi, F.P., 2009, Computerized Analysis of Grounding Plates in Multilayer Soils, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.24, No.2, 650-655.
- Puttarach, A., Chakpitak, N., Kasirawat, T., 2007, Pongsriwat, C., Substation Grounding Grid Analysis with the Variation of Soil Layer depth Method, IEEE Powertech, 1881-1886.
- Salama M.M.A., Elsherbiny M.M., Chow Y.L., 1995, A Formula for Resistance of Substation Grounding Grid in Two-Layer Soil, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10, No.3, 1255-1262.
- Tommasini R., Pertusio R., 2003, Simplified Formulas for the Ground Resistance of the Human Body for Two-Stratus Soil, IEEE Bologna Powertech Conference, June 23-26, Italy.
- Zhang, J., Liu, X., Li, T., Zhang, N., Liu, N., Xu, C., 2007. A Genetic Algorithm Based on Immune and Chaos, Third International Conference on Naturel Computation, 5, 239-243.