

Faure Dizili Genetik Algoritmalar İle Toprak Özdirencinin Mevsimsel Değişiminde Transformatör Merkezi Topraklama Sisteminin Optimum Tasarım Stratejisi

Barış GÜRSU ^{1*}, Melih Cevdet İNCE ²

¹TEİAŞ 13.İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü / ELAZIĞ

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / ELAZIĞ

Alınış Tarihi:24.05.2011, Kabul Tarihi:22.03.2012

Özet: Transformatör merkezinin topraklama sistemi, güç sisteminde, hangi mevsim olursa olsun, bir arıza durumunda insan ve canlı emniyetini garantiye almalı ve güç sisteminin güvenilir, kesintisiz ve emniyetli şekilde çalışmasını sürdürmesini sağlamalıdır. Topraklama sisteminin optimal tasarımı, gerçek toprak modellerine dayanmalıdır. Ancak don, yağmur veya kurak olan mevsimlerde toprak modeli ve toprağın özdirenci belirgin şekilde değişmektedir. Bu durumlarda oluşan düşük ya da yüksek özdirençli toprak katmanı, topraklama sisteminin güvenliğini etkiler. Mevsimlere bağlı olarak toprağın özdirencinin değişmesiyle, toprak modeli, toprak yüzeyindeki adım ve dokunma gerilimleri, topraklama sisteminin topraklama direnci ve dolayısıyla GPR değişir. Başlangıçta emniyeti sağlayacak şekilde tasarlanan topraklama sistemi, sonradan mevsimsel şartlara bağlı olarak canlıların ve güç sisteminin güvenliği yönünden büyük tehlikeler arz edebilir. Bu nedenle transformatör merkezlerinin topraklama sistemi olarak kullanılan topraklama ağı tasarımında, diğer emniyet şartlarının yanında mevsimsel faktörlerin etkisi de mutlaka dikkate alınmalıdır. Sunulan bu çalışmada, mevsimsel faktörlerin etkilerinin de dikkate alındığı transformatör merkezi topraklama ağı tasarımı, temeli Van der Corput dizisine dayanan düşük tutarsızlığa sahip görünüşte rassal dizilerden olan Faure dizisinin başlangıç popülasyonu olarak kullanıldığı Genetik Algoritmalar yardımıyla gerçekleştirilmiş ve topraklama sisteminin emniyetinde mevsimsel etkiler sistematik olarak tartışılmıştır. Tasarımda güvenlik ve ekonomiklik kriterleri, mevsimsel faktörlere bağlı olarak sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Faure Dizisi, Genetik Algoritmalar, Topraklama Ağı Tasarımı, Donlu Mevsim, Yağmurlu Mevsim, Kurak Mevsim.

An Optimum Design Strategy for Substation Earthing System with Considering Seasonal Variation of Earth Resistivity via Faure Sequenced Genetic Algorithms

Abstract: The grounding substation system shall guarantee the safety for the living beings in case of a grounding fault in the power system in all seasons. It should ensure the safe, reliable and stability operation of power system. The optimal design of the grounding system is based on the actual soil models. On the other hand, the soil resistivity and soil model vary in rainy, frozen or dry seasons. The soil layer having low or high resistivity, which is formed in those situations, effects the safety performance of the grounding system. As long as the soil resistivity changes, the soil model as well as the step and touch voltages on the soil surface, the grounding resistance of grounding system and hence, the GPR changes. Thus, related to seasonal changes, the grounding system originally designed to provide the safety might itself become a hazard for the living beings and the power system safety. Therefore, the effects of seasonal factors must be taken into consideration as well as the safety conditions in the design of grounding grid. In this paper, grounding grid by considering the seasonal affects is designed. The design is performed via Genetic Algorithms using the Faure sequence as the initial population. The seasonal affects are studied systematically in the safety of grounding system. In this design, we obtained the safety and cost-effectiveness criteria related to the seasonal factors.

Keywords: Faure Sequence, Genetic Algorithms, Grounding Grid Design, Frozen Season, Rainy Season, Dry Season.

Giriş

Sanayileşmenin, ekonomik ve sosyal hayatın en önde gelen unsurlarından biri elektrik enerjisidir. Ülkemizde, gerek artan nüfusla beraber oluşan ihtiyaçtan, gerek gelişen endüstrileşme ve teknoloji nedeniyle ve gerekse daha refah yaşam için elektrik enerjisinin üretimini artırma çabalarına paralel olarak, üretilen enerjinin emniyetli bir şekilde iletim ve dağıtımının da yapılarak ülkenin en ücra köşelerine kadar taşınması ve taşınan enerjinin de sürekliliği esastır. Elektrik enerjisi ihtiyacına bağlı olarak, iletim sisteminde kullanılan transformatör merkezlerinin sayısı da gün geçtikçe artmaktadır. Yeni kurulan transformatör merkezleri, artan nüfustan dolayı toplumsal yaşam alanlarıyla iç içe kalmıştır. Dolayısıyla gerek insanların ve diğer canlıların emniyetini sağlamak Elektrik tesislerinin topraklanması, sistemin işleyişi, personel ve çevredeki canlıların güvenliği yönünden

gerekse güç teçhizatlarının zarar görmesini engelleyip enerji kesintilerini en aza indirerek elektrik iletim sürekliliğini sağlamak için, transformatör merkezi topraklama sisteminin emniyetli bir şekilde tasarlanması hayati öneme sahiptir. Transformatör merkezi topraklama ağı tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli unsurların başında, mevsimsel faktörler gelmektedir (Gürsu ve İnce, 2009a).

Transformatör merkezinde, canlıların ve güç aparatlarının emniyeti, toprak özdirencinin en yüksek olduğu durumda bile, transformatör merkezinin toprak potansiyel yükselmesi, adım ve dokunma gerilimlerinin maksimum değerlerinden daha düşük tutulmasıyla sağlanabilir (He vd., 2003).

önemli bir rol oynar. Canlıların ve tesislerin güvenliği denince optimal bir güvenlik anlaşılmalıdır. Bu güvenlik

hem tehlikeleri etkin biçimde sınırlayacak hem de ekonomik yönden ölçülü olacaktır. Topraklama sisteminin optimal tasarımı gerçek toprak modellerine dayanmalıdır. Ancak toprak öz direnci, farklı mevsimlerde değişir ve topraklama sisteminin emniyeti tehlikeye girebilir.

Topraklama sisteminde mevsimsel faktörler üzerine yapılan çalışmaların bazıları şunlardır: He vd. (2003) topraklama sisteminin emniyetinde don ve yağmur faktörlerinin etkisini analiz etmişlerdir. Gustafson vd. (1990) dağıtım sisteminin topraklama direncinde mevsimsel değişimleri incelemişlerdir. Gürsu ve İnce (2009b) lojistik haritalı genetik algoritmalar yardımıyla don etkili topraklama ağı tasarımı yapmışlardır. He vd. (2005) topraklama sisteminin optimal tasarımında, don tutmuş toprağın etkisini homojen ve iki katmanlı toprak modelleriyle göstermişlerdir.

Transformatör merkezlerinde, topraklama ağı tasarımı, transformatör merkezi kurulacak alanın toprak özgül direnci ölçümlerine göre yapılmaktadır. Genellikle, transformatör merkezi inşa edilmeden önce, sadece bir defa toprak özgül direnci ölçümleri yapılmakta ve bu ölçümler sonrasında topraklama ağı tasarlanmaktadır. Bu ölçümler genellikle yaz ya da ilkbahar aylarında yapılmaktadır. Dolayısıyla yapılan topraklama ağı tasarımları sadece toprak özgül direncinin ölçüldüğü mevsimi esas almaktadır. Mevsimsel toprak özgül direnci farkları dikkate alınmadığından ya da tahmini bir güvenlik payı bırakılarak yapılan topraklama ağı tasarımları da mevsimsel faktörlerin etkisini karşılayabilecek düzeyde olmayabilir. Böyle bir durum da hem canlılar hem de işletmede olan teçhizatlar için telafisi çok zor neticeler doğurabilir. Bu nedenle bu çalışmada, mevsimsel faktörlerin etkileri de topraklama ağı tasarımında dikkate alınmıştır. Mevsimsel toprak katmanını göz önüne alınarak yapılacak topraklama ağı tasarımı, gerçek toprak modelinin ve gerçek mevsimsel faktörlerden etkilenmiş toprak katmanının derinliğinin belirlenmesine dayanmalıdır. Çin Halk Cumhuriyeti gibi bazı ülkelerde topraklama sisteminin geleneksel tasarımında ölçülen toprak öz direnci, kış ya da yaz mevsimlerinin etkilerini göz önüne alabilmek için bir mevsimsel katsayı ile çarpılmaktadır. Ancak bu metod, yine de farklı mevsimlerdeki gerçek toprak şartlarını tam olarak karşılamaz. Ayrıca don ya da kuraklığın yoğun olduğu yerlerde ağ gömülme derinliğinin az da olsa artırılması tedbiri de emniyeti sağlayamayabilir. Bu yüzden topraklama sisteminin emniyetinde mevsimsel etkilere dayalı analiz oldukça önemlidir.

Çalışmamızda, en düşük maliyet ve IEEE Std.80-2000'de belirlenen emniyet şartlarını sağlayan çubuk sayısı, iletken uzunluğu ve gömülme derinliği hesaplanmıştır.

Doğal seçim ilkesine dayanan ve biyolojik sürecin modelleriyle ortaya çıkan Genetik Algoritmalar (GA), başlangıçta gelişigüzel olarak üretilen çözüm olduğu varsayılan değerlerle yola çıkarak, problemin global optimum çözümünü bulmaya çalışır. Ancak özellikle; büyük boyutlu, karmaşık nonlineer fonksiyonlu, çözüm uzayının geniş ve lokal optimum sayısının çok

olduğu problemlerde; başlangıçtaki rasgele üretilen değerlerle, yalancı optimum çözümlere takılabilir, yalancı çözümler global çözüm sanılabilir, gerçek çözüme yakınsama olamayabilir ya da yakınsamada gecikilebilir. Çünkü başlangıçta gelişigüzel üretilen değerlerin hepsinin birbirinin aynı olma ihtimali, hepsinin birbirinin çok yakınında olma ihtimali ve hepsinin global çözümden çok uzakta ya da lokal çözümlere çok yakında kümelenmiş olma ihtimali vardır. Bu sonuçlarla karşılaşmamak için, başlangıç popülasyonu üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Cao vd., 1997; Leung ve Wang, 2001; Karcı, 2002; Leung ve Wang, 2000; Gürsu, 2009).

GA'nın arama sürecinin başında oluşturulan başlangıç popülasyonunun üretilmesinde, tamamen rasgelelik yerine bir takım kurallar uygulanmıştır. Böylelikle, başlangıç popülasyonunun çözüm uzayına düzgün dağıtılması ve yalancı çözümlere takılmadan global çözüme kısa sürede yakınsama hedeflenmiştir. Çünkü 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 çözüm uzayına düzgün dağılması neticesinde GA'nın global çözüme ulaşmasında çok etkilidir. Çözüm uzayına düzgün dağılımlı ya da çeşitliliği artırılmış başlangıç popülasyonu ile yalancı tuzak çözümler yerine global çözüme yakınsama kolaylaşacak ve algoritma hızlanacaktır (Gürsu, 2006). Maarenen vd. (2004), (2007), Preechakul ve Kheawhom (2009) çeşitli test fonksiyonlarının optimizasyonlarında düşük tutarsızlığa sahip dizilerin kullanıldığı GA'ların, konvansiyonel GA'lara göre daha iyi sonuçlar elde ettiklerini göstermişlerdir.

Bu çalışmanın iki özgün noktası mevcuttur. Birincisi, transformatör merkezi topraklama sisteminin emniyetinde mevsimsel şartların etkileri de ele alınarak oluşturulan toprak modelleri, yeni yaklaşım ve modeller ile topraklama ağının GA metoduyla tasarlanmasıdır. İkincisi de mevsimsel faktörlerin etkisinin Faure dizili başlangıç popülasyonlu GA metoduyla gösterilmesi ve rassal başlangıç popülasyonlu GA ile karşılaştırarak Faure dizisinin başlangıç popülasyonu olarak kullanımındaki performansının belirlenip, konvansiyonel GA'ya göre daha iyi sonuç verdiğinin bir kez daha topraklama sistemi tasarımı problemi için de gösterilmesidir.

Faure Dizisiyle Başlangıç Popülasyonu Üretimi

Faure dizisi, düşük tutarsızlığa sahip dizi (*low-discrepancy sequences*) olarak bilinir. Görünüşte rassal (*quasi-random*) dizilerin temelinde Van der Corput dizisi vardır. Faure dizisi genelleştirilmiş bir Halton dizisidir. Faure dizisinin ilk boyutu p asal sayı tabanında Van der Corput dizisidir. Van der Corput dizisi, bir boyutlu en basit az farklı dizidir. Faure dizisini tanımlamadan önce, Van der Corput dizisini tanımlamak gerekir. Van der Corput dizisi bir boyutlu ve herhangi bir asal sayı tabanından oluşan bir dizidir. Bir n tamsayısı p asal sayı tabanında ($p \geq 2$):

$$n = (a_m \dots a_1 a_0)_p = \sum_{i=0}^m a_i \cdot p^i \quad (1)$$

olur. Burada; a_i 'ler, 0 ile p tabanına kadar (p 'den 1 eksik) olan katsayılardır. m , p tabanına çevrilmiş haldeki basamak sayısının 1 eksigidir. n tamsayısı p tabanına çevrildikten sonra, p tabanındaki sayı, önce ters çevrilir sonra ondalık hale getirilir. Elde edilen bu sayının $\phi_p(n)$ değeri (2) denklemi ile hesaplanır (Ökten, 2009).

$$x_n = \phi_p(n) = (0 \bullet a_0 a_1 \dots a_m)_p = \sum_{i=0}^m \frac{a_i}{p^{i+1}} \quad (2)$$

Örneğin, 19 sayısı 3 tabanında (2 0 1) olarak yazılır.

$$(19)_3 = 2 \cdot 3^2 + 0 \cdot 3^1 + 1 \cdot 3^0 = 2 \ 0 \ 1$$

(201) sayısı ters çevrilerek (0.102) şekline dönüştürülür.

$$x_{19} = \phi_3(19) = 1 \cdot 3^{-1} + 0 \cdot 3^{-2} + 2 \cdot 3^{-3} = 0.407 = 11/27$$

19 sayısının 3 asal sayı tabanındaki Van der Corput dizisi karşılığı $11/27$ 'dir.

s boyutlu Faure dizisi tek bir tabanı kullanır. Bu taban, en küçük asal sayı olan 2 'den de, s 'den de küçüktür. 1 'den büyük boyutlu dizilerde, daha yüksek boyutlar için ilk boyuttaki dizinin permutasyonları kullanılır (Jiang ve Birge, 2004).

p en küçük asal sayıyı göstermek üzere, s boyutlu bir Faure dizisinde, Halton dizisinin aksine tüm boyutlar için bu p tabanı kullanılır. ($p \geq s$ ve $p \geq 2$) Örneğin, problem boyutu 55 ise, son Halton dizisi (55. boyutta) 55. asal sayıyı kullanır. 55. asal sayı 257'dir. Oysa ki Faure dizisi, 55 asal sayı olmadığı için, 55'den sonraki ilk asal sayı olan 59 tabanını kullanır (Krykova, 2003).

Faure dizisinin ilk boyutu Van der Corput dizisidir. Dizinin diğer boyutları için, hep bir önceki boyuttan yararlanılır.

p asal sayı tabanı olmak üzere, üst üçgensel matris (3)'deki gibi hesaplanır:

$$c_j^i = \binom{i}{j} \text{ mod}(p) = \frac{j!}{i!(j-i)!} \text{ mod}(p) \quad (3)$$

$$c_j^i = \begin{bmatrix} \binom{0}{0} & \binom{0}{1} & \binom{0}{2} & \binom{0}{3} & \dots \\ 0 & \binom{1}{1} & \binom{1}{2} & \binom{1}{3} & \dots \\ 0 & 0 & \binom{2}{2} & \binom{2}{3} & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \binom{3}{3} & \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots \\ 0 & 1 & 2 & 3 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & 3 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots \end{bmatrix} \quad (4)$$

$i=1, 2, \dots, m$ olmak üzere, $a_i^k(n)$,

$$a_i^k(n) = \sum_{j=i}^m c_j^i \cdot a_i^{k-1}(n) \text{ mod}(p) \quad (5)$$

ile hesaplanır. Dizinin her bir boyutu,

$$x_n^k = \phi_p^k(n) = \sum_{i=0}^m \frac{a_i^k(n)}{p^{i+1}} \quad 2 \leq k \leq s \quad (6)$$

ile bulunur.

Örnek 1: Tablo 1'de üç boyutlu Faure dizisi görülmektedir (Joy vd., 1996). Dizi, 3 tabanına göre oluşturulmuştur.

Tablo 1. 3 Boyutlu Faure Dizisi

n	$a_i^1(n)$			x_n^1	x_n^2	x_n^3
	$a_0^1(n)$	$a_1^1(n)$	$a_2^1(n)$			
1	1	0	0	1/3	1/3	1/3
2	2	0	0	2/3	2/3	2/3
3	0	1	0	1/9	4/9	7/9
4	1	1	0	4/9	7/9	1/9
5	2	1	0	7/9	1/9	4/9
6	0	2	0	2/9	8/9	5/9
7	1	2	0	5/9	2/9	8/9
8	2	2	0	8/9	5/9	2/9
9	0	0	1	1/27	16/27	13/27
10	1	0	1	10/27	25/27	22/27
11	2	0	1	19/27	7/27	4/27

Dizinin birinci boyutu p asal sayı tabanında Van der Corput dizisidir (x_n^1). İkinci boyutu için birinci boyuttan ($a_i^1(n)$) faydalanılır.

$$a_i^2(1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow x_1^2 = 1/3$$

$$a_i^2(2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow x_2^2 = 2/3$$

$$a_i^2(3) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow x_3^2 = (1/3) + (1/9) = 4/9$$

$$a_i^2(4) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow x_4^2 = (2/3) + (1/9) = 7/9$$

$$a_i^2(5) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow x_5^2 = 1/9$$

$$a_i^2(6) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow x_6^2 = (2/3) + (2/9) = 8/9$$

$$a_i^2(7) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow x_7^2 = 2/9$$

$$a_i^2(8) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow x_8^2 = (1/3) + (2/9) = 5/9$$

$$a_i^2(9) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \Rightarrow x_9^2 = (1/3) + (2/9) + (1/27) = 16/27$$

$$a_i^2(10) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \Rightarrow x_{10}^2 = (2/3) + (2/9) + (1/27) = 25/27$$

$$a_i^2(11) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \Rightarrow x_{11}^2 = (2/9) + (1/27) = 7/27$$

Faure dizisinin üçüncü boyutu da ikinci boyutundan ($a_i^2(n)$) yararlanılarak, aynı şekilde bulunur.

Faure dizisi istenilen boyutta oluşturulduktan sonra, her bir boyut kendi çözüm aralığına (7)'deki gibi çekilerek, başlangıç popülasyonu elde edilir.

[(üst sınır-alt sınır)'oluşturulan her bir dizi elemanı+alt sınır]

(7)

Türkiye'de İklim ve Topraklama Sistemine Etkisi

Don, kuraklık ya da yağmur sadece tarımsal sektöre etki etmez. Aynı zamanda bu doğal iklim olayları, toprağın yüzeysel katlarının özgül direncinde de çok büyük değişiklikler gösterir ve bunun neticesinde yüksek gerilim transformatör merkezlerinde topraklama sistemine de etki eder. Örneğin kurak ve donda toprak özdirenci belirgin şekilde artar, yağmurlu ya da nemli olduğunda da azalır. Dolayısıyla nasıl ki şiddetli don ve kuraklık tarımsal faaliyetlere zarar veriyorsa, toprak özdirencine de benzer negatif etkiyi yapar.

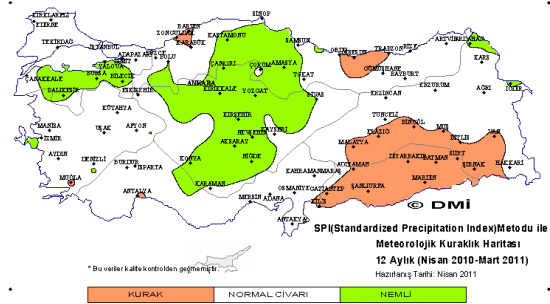


Şekil 1. 2010-2011 Kış Mevsimi Minimum Sıcaklık Haritası (DMİ, 2011)

Bir gün içindeki en düşük sıcaklık, o günün belirli bir zamanında, kısa bir süre için de olsa, 0 °C'nin altına düşmüş ise o gün donlu gün kabul edilir. Şekil 1'den anlaşıldığı üzere, don olayının düşük sıklıkla görüldüğü alanlar, İskenderun kıyılarından Ege Bölgesi'nde İzmir'e kadar uzanır. Benzer şekilde, Doğu Karadeniz bölümünde Ordu'nun doğusunda kalan Karadeniz kıyılarında don olayı ender görülür. Don olayı Türkiye'nin bazı bölgelerinde yıl içerisinde 90 günü geçmektedir (Erlat ve Türkeş, 2008). Don olaylı gün sayıları, özellikle Doğu Anadolu'da en yüksek iken, İç Anadolu da don olayının en çok görüldüğü ikinci bölgedir. 2010 yılının en düşük ekstrem minimum değeri Erzurum'da -33.9 °C olarak tespit edilmiş iken, 2010 yılında Türkiye'deki ortalama sıcaklıklar, en düşük Sarıkamış'da, en yüksek İskenderun'da tespit edilmiştir (Demircan, 2010). Donma derinliği sözünden, toprağın içine doğru donmanın ne kadar işlediği anlaşılır. Türkiye'nin neredeyse % 90'undan

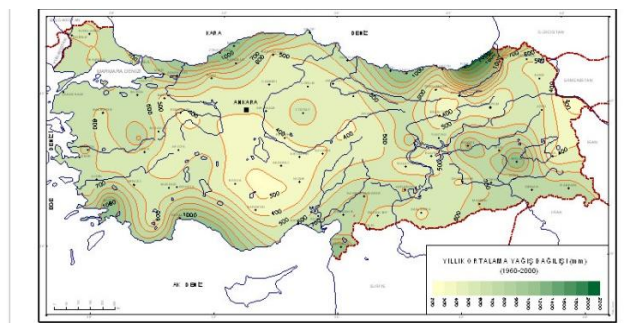
fazla alanda don olayı görülmekte ve toprağa işlemektedir.

Kuraklık tabiatın gizli bir tehlikesidir. Genellikle herhangi bir mevsim veya bir zaman diliminde yağış miktarındaki azalma belli bir süre devam ettiğinde meydana gelir. Kuraklıktan en çok Güneydoğu Anadolu Bölgesi etkilenmekte olup, Doğu Anadolu Bölgesi de, genel olarak kuraklığın sık ve yaygın olarak görüldüğü ikinci bölgedir. Tuz gölünün güneyi, Karadeniz dağlarının kıyı güney yamaçları, Van Gölü havzası kurak yerlerdendir. 2010 yılının en yüksek ekstrem maksimum değeri Mut'ta 46.7 °C olarak tespit edilmiştir. 2010 yılı ortalama sıcaklığı 15.20°C ile 1971-2000 normali olan 12.81°C'nin 2.39°C üzerinde gerçekleşmiş ve son on yılda Türkiye'nin en sıcak 1. (birinci) yılı olmuştur. Şekil 2'den anlaşıldığı gibi, Türkiye'nin bazı bölgeleri nemli iken bazı bölgeleri de oldukça kuraktır.



Şekil 2. 2010-2011 12 Aylık Meteorolojik Kuraklık Haritası (DMİ, 2011)

Yağış özellikleri bakımından yağışlı günler sayısının bilinmesi kuraklık ihtimalleri bakımından önem taşır. Türkiye'nin büyük bir kısmında yağışlı günler sayısı azdır ve bölgelere göre ortalama 60 ile 175 gün arasında değişmektedir. En yüksek değerler ülkenin kuzeyinde Karadeniz kıyıları boyunca uzanan şerit üzerinde olup, bu kuşak içinde yağışlı günlerin sayısı yer yer 138 ve 141'e kadar ulaşmaktadır. Diğer taraftan Akdeniz Bölgesinde yağışların yılın belli bir dönemine ait olması nedeniyle yağış miktarının ve yağışlı gün sayısının toplamı fazla değildir. Türkiye'nin yarı kurak bölgelerini oluşturan İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde yağışlı günler sayısı 100'ün altına düşer. Türkiye'de fazla yağış alan yerler, Doğu ve Batı Karadeniz bölümleri ile bazı Batı ve Doğu Anadolu dağlarıdır. En fazla yağış alan yer Rize çevresidir.



Şekil 3. 2010-2011 Yıllık Ortalama Yağış Dağılımı Haritası (DMİ, 2011)

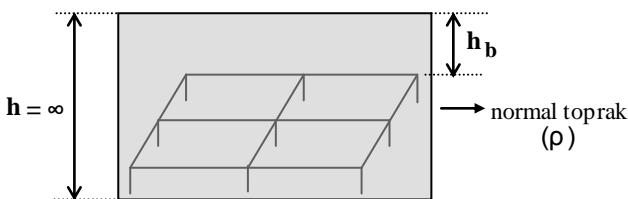
Şekil 1., 2. ve 3'den (<http://www.dmi.gov.tr/>) anlaşıldığı üzere, Türkiye'nin bazı bölgeleri kuraklığın, bazı bölgeleri şiddetli donun etkisinde iken bazı bölgelerinde de yağış çoktur. Kışın donun etkisinde olan bazı bölgelerde, aynı zamanda yazın kuraklık da hâkimken, yoğun yağış alan bazı bölgelerde yazın kuraklık ve kışın don da görülebilmektedir. Dolayısıyla toprağın özgül direnci mevsimlere bağlı olarak bazen oldukça yüksek, bazen oldukça düşük olabilmektedir.

Topraklama ağı tasarlanırken, toprağın özellikle kurumuş ya da don tutmuş derinliğinin belirlenmesi çok önemlidir. Toprak altındaki topraklama ağına kuraklık ya da don işlerse, özgül direnci birkaç bin ohm·m'ye kadar çıkabilir. Ayrıca bölge ne kadar yağmur alıyorsa ya da ne kadar nemliyse kurulacak olan topraklama ağına daha az derinliğe yerleştirilmesi ve daha az malzeme kullanılması emniyet şartları açısından yeterli gelebilecek ve maliyet azalacaktır. Bu yüzden topraklama ağına kurulacağı bölgenin maksimum kurak ya da don derinliği ya da nem durumu bilinmeli, kuraklık, don ya da yağmur analizi mutlaka yapılmalıdır.

Mevsimlerin değişmesi toprak modelinin değişmesine de neden olur. Tek katmanlı (uniform) homojen toprak modeliyle tasarlanan topraklama sistemi, mevsimsel şartların etkisiyle iki katmanlı ya da çok katmanlı toprak modeline dönüşebilir. Ayrıca, mevsimsel faktörler, yüzeyde kullanılacak malzemenin öz direncinin de değişmesine neden olur. Don ve kurak mevsimde yüzeyde kullanılacak malzemenin öz direnci artar, yağmurlu mevsimde de düşer. Trafo merkezinin toprak öz direncinin ölçüldüğü mevsimdeki değerlerle, mevsimsel faktörlerin neden olduğu toprak öz direnci, gömülme derinliği ve yüzey malzemesi öz direnci değerleri birbirinden çok farklı olabilir. Bu yüzden topraklama ağı tasarımı, toprak öz direncinin ölçümünün yapıldığı mevsim değil, en kötü mevsimsel şartlara göre yapılmalıdır. Topraklama ağı üstlenmiş olduğu görevlerini, yılın belli mevsimlerinde değil, tüm mevsimlerde yerine getirmelidir.

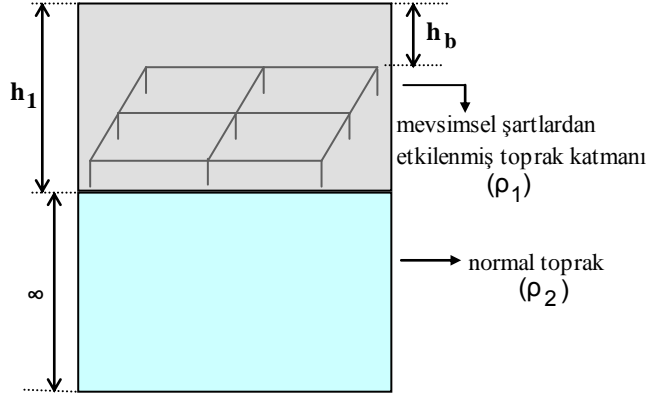
Topraklama Sisteminin Mevsimsel Analizinde Yeni Modeller

Bu çalışmada, topraklama sisteminin analizi dört model kullanılarak ve yeni yaklaşımlar ortaya konularak incelenmiştir. Model 1'de topraklama sisteminin yüzeyinde yüksek öz dirençli bir malzeme (çakıl, granit vs.) kullanılmamış olup mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği tek katmanlı uniform toprak modeli söz konusudur.



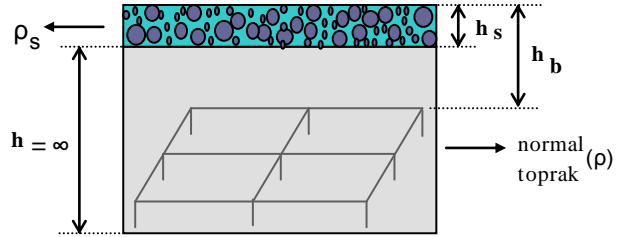
Şekil 4. Model 1 Topraklama Sistemi

Model 2'de yine topraklama sisteminin yüzeyinde yüksek öz dirençli bir malzeme kullanılmamıştır. Toprak katmanının belli bir derinliği (h_1) mevsimsel şartlardan etkilenmiştir. Böylece toprak modeli, iki katmanlı toprak modeli haline almıştır. Mevsimsel şartlardan etkilenmiş h_1 kalınlığında toprak katmanı ve bunun altında mevsimsel şartlardan etkilenmemiş normal toprak katmanı vardır.



Şekil 5. Model 2 Topraklama Sistemi

Model 3'de topraklama sisteminin yüzeyinde yüksek öz dirençli bir malzeme (ρ_s) kullanılmıştır, ancak mevsimsel faktörlerin etkisi göz önüne alınmamıştır. Yüzey tabakasında yüksek öz dirençli malzeme kullanılan

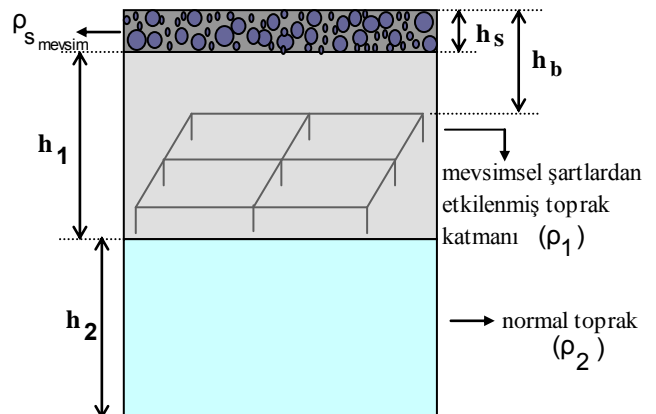


tek katmanlı uniform toprak modeli söz konusudur.

Şekil 6. Model 3 Topraklama Sistemi

Model 4'de yüzeyde mevsimsel faktörlerden etkilenmiş yüksek öz dirençli malzeme ($\rho_{s_{mevsim}}$) kullanılmıştır.

Mevsimsel şartlardan etkilenmiş h_1 kalınlığındaki toprak katmanı vardır. Topraklama ağına serildiği h_1 kalınlığındaki toprak katmanının altında mevsimsel şartlardan etkilenmemiş normal toprak katmanı vardır.



Şekil 7. Model 4 Topraklama Sistemi

Mevsimsel Faktörler Nedeniyle Oluşan Değişimler

Mevsimsel faktörlerin etkisiyle toprak modeli değiştiği gibi, toprak öz dirençleri de değişmektedir. Ayrıca müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimleri hesabında kullanılan C_s 'nin hesabı da toprak modeli değiştiği için farklı olmaktadır. Bu bölümde, mevsimsel faktörlerin etkisiyle değişen toprak modeli sonucunda, toprak öz direncindeki değişimler, müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimlerinin hesabında kullanılan C_s 'nin hesaplanmasındaki değişiklikler gösterilecektir.

Toprak Öz direncindeki Değişimler

Mevsimsel faktörlerin etkisinin göz önüne alınmadığı toprağı, normal toprak olarak adlandırılabilir. Normal toprağın öz direncini de 50 Ω -m kabul edelim. Yağmurlu mevsimde, ıslak bir yüzey toprak katmanı

vardır. Bu mevsimde, yüzey tabakasında öz direnci yüksek bir malzeme kullanılmışsa hem bunun öz direnci, hem de yağmurun etkisine bağlı olarak bunun altındaki h kalınlığındaki toprağın öz direnci düşer.

Donlu ya da kurak mevsimde, öz direnci artan bir toprak katmanı vardır. Bu mevsimlerde, yüzey tabakasında öz direnci yüksek bir malzeme kullanılmışsa hem bunun öz direnci, hem de don veya kuraklığın etkisine bağlı olarak bunun altındaki h kalınlığındaki toprağın öz direnci artar.

Küçük çakıla benzer granitin ıslak durumda öz direnci 3000 Ω -m olarak ifade edilmiş, normalde, kurakta ve don tuttuğunda da 5500 Ω -m olduğu varsayılmıştır. Tablo 2'de örnek olarak normal ve mevsimsel faktörlerden etkilenmiş toprak katmanlarının öz dirençleri gösterilmiştir.

Tablo 2. Normal ve Mevsimsel Etkili Toprak Katmanlarının Öz dirençleri

Mevsimsel Şart	Toprak Öz direnci				Yüzey Malzemesi Öz direnci (ρ_s)
	Mevsimsel Etkili Toprak Katmanı (ρ_t)		Normal Toprak (ρ)		
	Model-2	Model-4	Model-1	Model-3	Model-3 ve Model-4
Normal	yok	yok	50 Ω -m	110 Ω -m	5500 Ω -m
Yağmurlu Mevsim	10 ~ 50 Ω -m	30 ~ 110 Ω -m	50 Ω -m	110 Ω -m	3000 Ω -m
Donlu Mevsim	50 ~ 1500 Ω -m	110 ~ 3000 Ω -m	50 Ω -m	110 Ω -m	5500 Ω -m
Kurak Mevsim	50 ~ 1000 Ω -m	110 ~ 2000 Ω -m	50 Ω -m	110 Ω -m	5500 Ω -m

Müsaade Edilebilir Maksimum Dokunma Geriliminin Hesabındaki Değişen Parametreler

Topraklama sisteminin mevsimsel analizinde, toprağın mevsimsel faktörlerden etkilenmiş tabakasının olup olmamasına göre toprak modeli seçimi yaklaşımı yapılmıştır. Mevsimsel faktörlerden etkilenmemiş normal homojen bir toprakta, mevsimsel faktörlerin etkisiyle öz direnci farklı bir toprak katmanı oluşur.

Uniform toprak modelinde öz direnci yüksek yüzey malzemesi kullanılmamışsa $C_s=1$, $\rho_s=\rho$ 'dur. Mevsimsel şartlardan etkilenmiş toprak katmanı yoksa, toprak homojendir ve analizde uniform toprak modelinin kullanılması önerilmiştir. Mevsimsel şartlardan etkilenmiş toprak katmanı varsa, toprak artık homojen değildir, hem mevsimsel şartlardan etkilenen toprak katmanı hem de etkilenmeyen normal toprak vardır. Bu durumda, analizde iki katmanlı toprak modelinin kullanılması önerilmiştir.

Tablo 3'deki değerler, müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimlerinin hesabındaki yerlerine yazılarak hesaplamalar yapılır. Tablo 3'deki C_s ve ρ_s için belirtilen hesaplamalar, Tommasini ve Pertusio (2003) tarafından gösterilmiştir. Ayrıca Seedher ve Arora (2003) ve Sverak (1998) tarafından, C_s hesabı için farklı formüller sunulmuş ve bunların karşılaştırması yapılmıştır.

GPR hesabında kullanılan topraklama direnci $R_{t, bir \text{ veya iki}}$, 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.

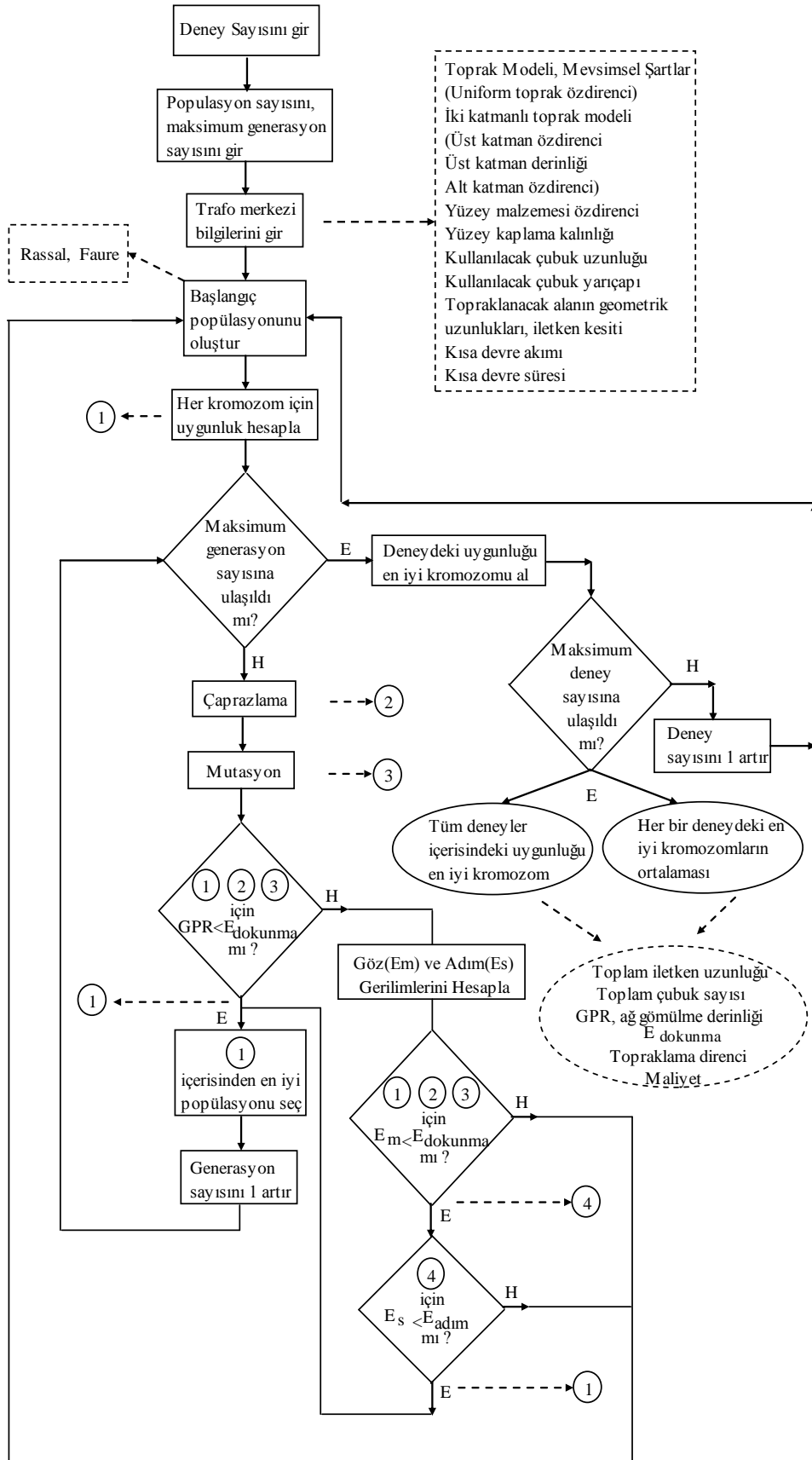
Dawalibi vd. (1994) yaptıkları bir uygulamada uniform toprak modeli için 2.16 Ω olarak hesaplanan topraklama direnci, kış mevsimi analizinde 3.55 Ω 'a yükselmiş ve ilkbahar mevsiminde de 3.35 Ω olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Analiz Modeline Göre Toprak Modellerinin ve C_s , ρ_s 'nin Tespiti

Analiz Modeli	Toprak Modeli	C_s	ρ_s
Model 1	Uniform	1	ρ
Model 2	İki Katmanlı	$1 - 0.09 \cdot \frac{1 - \frac{\rho_2}{\rho_1}}{2h_1 + 0.09}$	ρ_1
Model 3	Uniform	$1 - 0.09 \cdot \frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2h_s + 0.09}$	ρ_s
Model 4	İki Katmanlı	$1 - 0.09 \cdot \frac{1 - \frac{\rho_1}{\rho_s}}{2h_s + 0.09}$	ρ_s

Genetik Algoritmalar Metoduyla Topraklama Ağı Tasarımı

Topraklama sisteminin analizinde IEEE Std.80-2000'e dayalı tasarım, Şekil 8'de akış şeması verilen Genetik Algoritmalar tasarım prosedürüne uyarlanarak yapılmıştır.



Şekil 8. GA'nın IEEE Std.80-2000'e Dayalı Topraklama Ağı Tasarımına Uyarlanması

Çaprazlama ve Mutasyon

Tasarım algoritmasında kullanılan çaprazlama yönteminde, örneğin popülasyon sayısı 10 seçilmişse 1-10, 2-9, 3-8, 4-7, 5-6 kromozomları arasında çaprazlama yapılır. 1-10 demek, uygunluk sıralamasında en iyi 1. kromozomla 10. kromozomun kendi genleri arasında çaprazlama yapılması demektir. Yani uygunluğu en iyi olan kromozomun örneğin gömülme derinliği geniyle 10. kromozomun gömülme derinliği geni kendi arasında çaprazlamaya uğratılır. Tek noktalı çaprazlama metodu uygulanmıştır. Tüm kromozomlar, çaprazlamaya uğratıldıktan sonra, yine tüm kromozomlar ikilik sayı tabanına çevrilerek mutasyona uğratılır. Mutasyon işleminde de her bir kromozomun her bir geninin 1 biti ya 1'den 0'a yada 0'dan 1'e değiştirilmiştir. Mutasyon biti her seferinde rasgele belirlenmektedir.

Maliyet Fonksiyonu

Yüksek gerilimli trafo merkezlerinin kapladığı alan çok büyüktür. Trafo merkezi alanının toprağının altına iletkenlerin serilmesi işi, hafriyat işi olarak bilinir. Hafriyat işi de bir maliyettir. Bu çalışmada h_b derinliğinde gömülecek olan iletkenler için 0.75 m genişliğinde hafriyat yapılması uygun görülmüştür. Yani $(0.75 \cdot h_b \cdot L_c)$ m³ kadar bir hafriyat gerekmektedir. Hafriyat piyasasında 1 m³lük bir alanın hafriyatı ortalama 5 TL'dir. Dolayısıyla hafriyat maliyeti (8) denklemi ile hesaplanır.

$$C_{hafriyat} = [(W \cdot h_b \cdot (\text{lin}+1) \cdot 0.75) + (L \cdot h_b \cdot (\text{col}+1) \cdot 0.75)] \cdot 5 \quad (8)$$

Burada; L : Topraklama ağının x doğrultusundaki uzunluğu (m), W : Topraklama ağının y doğrultusundaki uzunluğu (m)'dur. Denklem (8) ile hesaplanacak hafriyat maliyeti, Denklem (9) ile hesaplanan, maliyet fonksiyonuna dahil edilecektir. Maliyet fonksiyonu da uygunluk fonksiyonuna dahil edilecektir.

$$C = (C_{iletken} \cdot L_c) + (C_{çubuk} \cdot n_r) + C_{hafriyat} \quad (9)$$

Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği'ne göre, en düşük iletken kesiti 120 mm² alınmıştır ve bu kesitteki 1 m bakır iletkenin fiyatı ($C_{iletken}$) 25 TL, 1.5 m boyundaki çelik kaplı bakır topraklama çubuğunun fiyatı ($C_{çubuk}$) 75 TL alınmıştır.

Uygunluk Fonksiyonu

Uygunluk fonksiyonu, (10) eşitliğiyle hesaplanır.

$$F = C + [P \cdot (GPR - E_{dokunma})] \quad (10)$$

Burada; P , ceza fonksiyonudur. Gerek mevsimsel etkili gerekse mevsimsel etkisiz topraklama ağı tasarımlarında amaç, hem minimum maliyet hem de emniyet şartının sağlanmasıdır. Denklem (11)'de gösterilen ceza fonksiyonuyla, bu amaçlara ulaşılmaya çalışılmıştır.

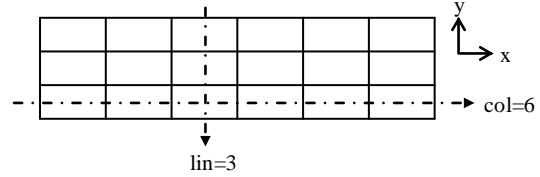
$$\begin{cases} P = C \rightarrow GPR \geq E_{dokunma} \\ P = 1 \rightarrow GPR < E_{dokunma} \end{cases} \quad (11)$$

Topraklama ağı tasarımlarında uygunluğun minimizasyonu amaçlanmaktadır. $GPR < E_{dokunma}$ koşulu sağlandığında uygunluk fonksiyonu, emniyet şartını sağlamış olduğundan maliyet ağırlıklı ilerleyecektir.

$GPR \geq E_{dokunma}$ koşulu sağlandığında da uygunluk fonksiyonu değeri büyüyeceğinden çözümden uzaklaşılacaktır.

Optimizasyon Yaklaşımı

Topraklama ağı tasarımlarında, ağın satır ve sütunlardan oluştuğu yaklaşımı yapılmıştır. Bu yaklaşımın anlamı, topraklama ağı dönecek 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 9. 3 satırlı 6 sütunlu topraklama ağı yaklaşımı

Böylelikle ağ tasarımı için; çubuk sayısı, x doğrultusundaki 1 satırdaki göz sayısı, y doğrultusundaki 1 sütundaki göz sayısı, ağ gömülme derinliğinin (uniform toprak modelinde) optimizasyonu yapılmıştır. Topraklama ağının tek bir gözünün boyutları sırasıyla,

$$\Delta l_x = \frac{L}{\text{col}} \quad (12)$$

$$\Delta l_y = \frac{W}{\text{lin}} \quad (13)$$

olur. Burada; col , x doğrultusundaki bir satırdaki göz sayısı yani sütun sayısıdır. lin , y doğrultusundaki bir sütundaki göz sayısı yani satır sayısıdır. Topraklama ağında kullanılacak toplam iletken uzunluğu da;

$$L_c = W \cdot (\text{col}+1) + L \cdot (\text{lin}+1) \quad (14)$$

olur. Ayrıca tasarım uygulamalarında; maksimum ağ akımının hesabı için kullanılan D_f : 1 ve S_f : 0.1 olarak alınmıştır (Gürsu ve İnce, 2009c).

Model-1 Uygulaması

Mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği ve yüzey kaplama malzemesinin kullanılmadığı model-1 uygulama örneği simülasyon girişleri Tablo 4'te ve genetik algoritma uygulaması tasarım sonuçları Tablo 5 ve Şekil 10'daki gibidir. GA, ağın x ve y doğrultusundaki göz sayılarını, ağın gömülme derinliğini ve çubuk sayısını optimize eder.

Tablo 5'te elde edilen sonuçlar, 100 deney sayısı ile bulunmuştur. Yani her bir başlangıç popülasyonu yönteminde örneğin, generasyon sayısı 20 iken, program kendi içerisinde 20 kez değil $20 \cdot 100 = 2000$ iterasyon çalışmıştır. Her bir deneyin sonuçları, yani 20 iterasyon neticesinde elde edilen değerler, program içerisinde kaydedilmiş ve yüzüncü deneyden sonra deneyler içerisinde uygunluğu en iyi olanı ve deneylerin ortalamaları Tablo 5'te ve her bir deneydeki uygunluk ortalaması ile GPR ortalamaları Şekil 10'da gösterilmiştir. Ayrıca emniyet şartını sağlayamayan deney sayısı

(EŞSDS), deneyleri içerisinde kendi uygunluğunun toplam uygunluklar ortalamasını geçen deney sayısı (UOGDS), kendi en iyi uygunluğuna erişen deney sayısı (EİDS) ve kendi en iyi uygunluğunun %10 fark kadar yakınına gelebilen deney sayısı (EİYDS) da belirlenmiştir. Deneylerin her birinde, kendi içerisinde generasyonlar ilerledikçe uygunluk minimize edilmiştir. Deney ortalamalarına bakıldığında, Faure dizili başlangıç popülasyonlu GA'nın Rassal başlangıç popülasyonlu GA'ya göre üstün olduğu görülmüştür. Bu üstünlük uygunluk ortalamasının düşüklüğündendir. Her iki yöntemde ilk hedef, güvenlik şartının sağlanması olduğu için, güvenlik şartını sağlayıp maliyeti en düşük olan yöntemin uygunluğu da düşük olacağı için, üstün olan yöntem olarak kabul edilmiştir. Ayrıca en iyi uygunluğuna yakın deney sayısı olarak da Faure üstündür. Populasyon ve generasyon sayıları düşük olmasına rağmen her iki yöntemin de deneyleri içerisinde optimuma çok yakın sonuçlara ulaşabildiği anlaşılmaktadır. Populasyon ve generasyon sayıları artırıldığında her iki yöntem de optimum sonuca ulaşmaktadır.

Şekil 10'dan uygunluğun *GPR* ile ters orantılı olduğu da anlaşılmaktadır. Uygunluğun yüksek olduğu durumlarda *GPR*'nin düşük olduğu, uygunluğun düşük olduğu durumlarda *GPR*'nin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, amacın uygunluk minimizasyonu ve bunu sağlamak için de *GPR*'nin mümkün olduğu kadar, yani müsaade edilebilir dokunma gerilimi limitine kadar artmasının istenmesindedir. Yani minimum uygunlukta *GPR*, müsaade edilebilir dokunma geriliminden küçük olacak, ancak mümkün olduğu kadar da bu değere yaklaşacaktır. Böylece hem emniyet şartı hem de minimum maliyet sağlanmış olunacaktır.

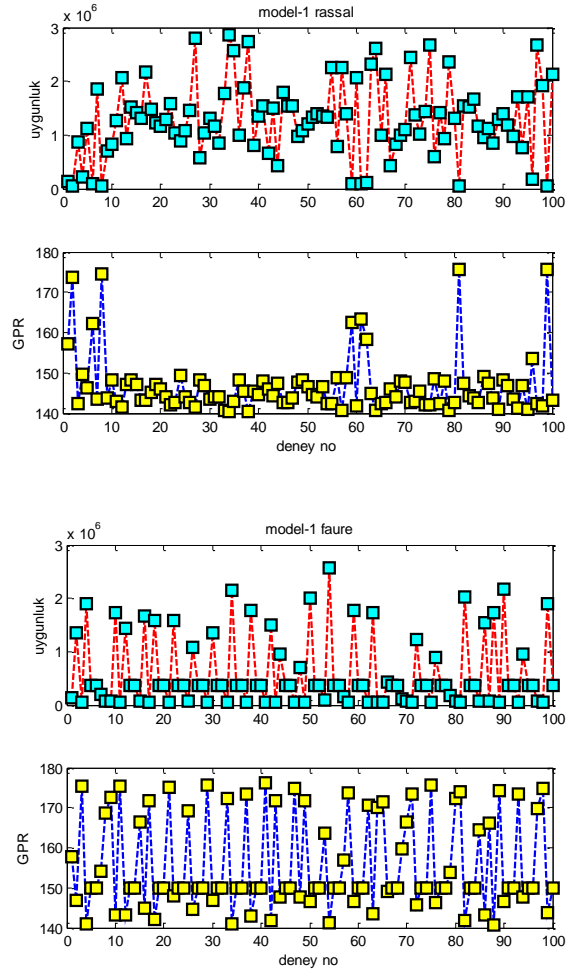
Şekil 10'dan elde edilen bir başka sonuç, her bir deneyin uygunluk ortalaması farklı bile olsa ve yüksek bile görünse mutlaka emniyet şartının sağlanmış olduğudur. Tüm algoritma ve deneylerinde uygunluklar çok farklı bile olsa, emniyet şartı olarak alınan *GPR*'nin müsaade edilebilir maksimum dokunma gerilimi değerinden düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Model-1 Simulasyon Girişleri

Girişler	
Deney	100
N	30
G	20
ρ ($\Omega \cdot m$)	50
L_r (m)	1.5
a (m)	0.01
L (m)	150
W (m)	150
I_f (A)	10000
t_s (sn)	0.5

Tablo 5. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünülmeyen Uygulama (Model-1)

	Rassal		Faure	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	116.56	8	46.60	2
col	116.55	2	62.76	8
h_b (m)	2.88	0.5	1.75	0.5
L_C (m)	35267	1800	16705	1800
n_r	112.21	10	131.64	10
$R_{r-uniform}$	0.1446	0.1755	0.1483	0.1755
<i>GPR</i> (V)	144.58	175.52	148.34	175.52
$E_{dokunma-50}$ (V)	176.35	176.35	176.35	176.35
C (TL)	$1.2711 \cdot 10^6$	49125	$5.3706 \cdot 10^5$	49125
F	$1.2908 \cdot 10^6$	49124	$5.8095 \cdot 10^5$	49124
UOGDS	50		26	
EŞSDS	0		0	
EİYDS	3		7	
EİDS	2		1	



Şekil 10. Rassal ve Faure Dizili GA ile Model-1 Uygulaması

Model-2 Don Uygulaması

Mevsimsel faktörlerin etkisinin ele alındığı ve yüzey kaplama malzemesinin kullanılmadığı model-2 uygulama örneği girişleri, Tablo 6'daki gibidir. GA uygulaması tasarım sonuçları Tablo 7 ve Şekil 11'deki gibidir. GA, ağın x ve y doğrultusundaki göz sayılarını dolayısıyla iletken sayılarını ve çubuk sayısını optimize eder. Mevsimsel faktörlerin etkisini göstermek için ağ gömülme derinliği 0.5 m, çubuk boyu 1.5 m ve üst katman derinliği 2 m alınmıştır. Böylelikle ağ ve çubuklar üst katmanda yani mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünüldüğü katmanda olacaktır.

Model-2 mevsimsel don uygulamasında, Tablo 7'de görüldüğü gibi, Faure yöntemi gerek deneylerin uygunluk ortalaması olarak gerekse de Şekil 11'de görüldüğü gibi ideal uygunluk değeri kümesinden uzaklaştığı tepe sayısı olarak ya da uygunluk ortalamasını geçen deney sayısının azlığı olarak Rassal GA'ya göre daha iyidir. Faure'nin gerek optimum sonuca gerekse de optimum sonuca yakın sonuçlara deneyleri içerisinde Rassal'a göre daha fazla ulaştığı görülmüştür.

Normal toprağın öz direnci $50 \Omega \cdot m$ iken, don oluştuğunda öz direncinin $1000 \Omega \cdot m$ 'ye yükseldiği varsayılmıştır. He vd. (2003), normalde $200 \Omega \cdot m$ olan toprağın don durumunda öz direncinin $5000 \Omega \cdot m$ 'ye kadar yükselebileceğini ifade etmişlerdir. Don oluştuğunda toprağın hem don derinliği hem de öz direnci ölçülmelidir. Burada don derinliği 2 metre alınmıştır. Böylece çubukların da don içerisinde kalması sağlanmıştır. Model-1'de optimum sonuç olan 1800 m iletken yeterli gelmişken, topraklama ağının don tutan toprak içerisinde kalması durumunda yani Model-2 don durumunda, optimum sonuç olan 9600 m iletken kullanılmak zorunda kalmıştır. Dolayısıyla maliyet yaklaşık 5.3 kat artmıştır. Çünkü, don sebebiyle, emniyet şartını sağlamak için daha fazla iletken kullanılmak zorunda kalmıştır.

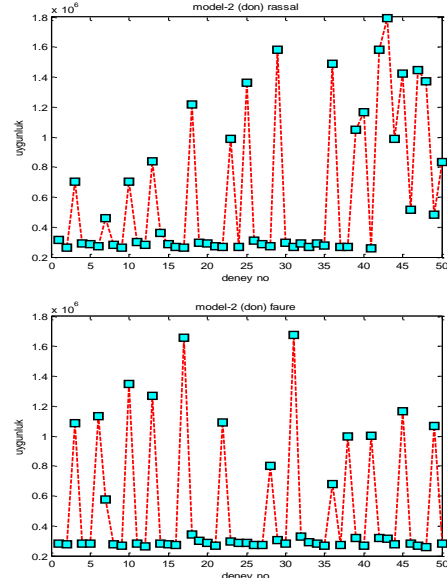
Tablo 6. Model-2 Simulasyon Girişleri

Girişler			
Deney	50		
N	30		
G	20		
$\rho_1 (\Omega \cdot m)$	Don	Kurak	Nem
	1000	750	25
$\rho_2 (\Omega \cdot m)$	50		
$L_r (m) - a (m)$	1.5-0.01		
$L - W (m)$	150-150		
$I_f (A)$	10000		
$t_s (sn)$	0.5		
$h_l (m)$	2		
$h_b (m)$	0.5		

Topraklama aği tasarımı normal toprak alınarak yani Model-1 ile yapıldığında, 1800 metre iletken, 10 adet çubuk ve 0.5 metre ağ gömülme derinliği sonuçları bulunmuş idi. Bu sonuçlarla emniyet şartı sağlanmış ve minimum maliyet elde edilmiş idi. Model-1 uygulama sonuçları Model-2 don uygulamasında kullanılmış olsaydı Tablo 8'deki değerler elde edilecekti.

Tablo 7. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-2 Don)

	Rassal		Faure	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	72.94	33	61.1	30
col	74.26	29	62.66	32
L_C	22380	9600	18864	9600
n_r	107.76	15	123.74	12
$R_{t-iki} (\Omega)$	0.368	0.404	0.3725	0.404
$GPR (V)$	368.02	404.01	372.49	403.98
$E_{dokunma-50} (V)$	404.97	404.97	404.97	404.97
$C (TL)$	$6.0954 \cdot 10^5$	259125	$5.1625 \cdot 10^5$	258900
F	$6.0953 \cdot 10^5$	$2.5911 \cdot 10^5$	$5.1624 \cdot 10^5$	$2.5889 \cdot 10^5$
UOGDS	17		14	
EŞSDS	0		0	
EİYDS	10		23	
EİDS	1		1	



Şekil 11. Rassal ve Faure Dizili GA ile Model-2 Don Uygulaması

Topraklama aği döşenecek toprağın yüzeyden 2 metre derinliğe kadar don tuttuğunu ve topraklama aği tasarımının Model-1 optimum sonuçlarıyla yapıldığını varsayarsak; Bu durumda $GPR=809.9$ ve $E_{dokunma}=404.97$ olacak idi. Yani gerçekte don tutmuş bir toprak olduğu halde, don tutmamış normal bir toprak gibi Model-1 ile topraklama aği tasarlanırsa emniyet şartı sağlanmayacak ve çok tehlikeli durumlar ortaya çıkabilecektir. Bu yüzden topraklama aği tasarımında don analizi yapılmalıdır.

Tablo 8. Model-1 Uygulama Sonuçlarının Model-2 Don Uygulamasında Kullanılması

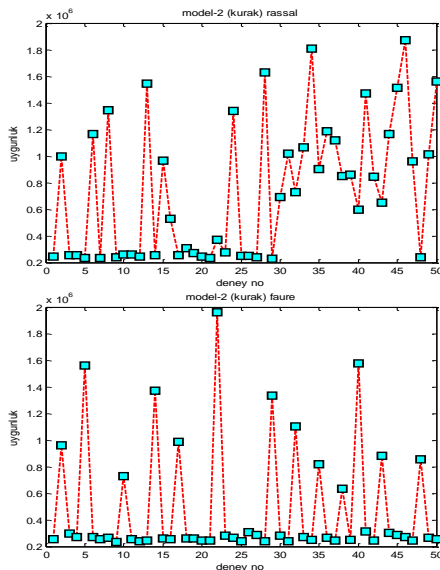
Mevsim	$GPR (V)$	$E_{dokunma} (V)$
Don	809.9	404.97

Model-2 Kuraklık Uygulaması

Kuru toprağın öz direnci normal toprağın öz direncinden 15 kat fazla yani 750 Ω -m alınmıştır. Tablo 9, Rassal ve Faure dizili başlangıç popülasyonları ile Model-2 kurak mevsim topraklama analiz sonuçlarını göstermektedir. Bu durumda maliyet normal toprak durumuna yani Model-1'e göre yaklaşık 4.7 kat artmıştır. Kuru toprağın öz direnci don tutmuş toprağın öz direncinden düşük alındığından, iletken uzunluğu daha az, yani 9600 m'den 8550 m'ye azalmış, dolayısıyla maliyet de daha düşük bulunmuştur. Model-2 mevsimsel kurak uygulamasında, Tablo 9'da görüldüğü gibi, Faure yöntemi gerek deneylerin uygunluk ortalaması olarak gerekse de Şekil 12'de görüldüğü gibi EİYDS ve UOGDS olarak Rassal yöntemle göre daha iyidir. Deneyleri içerisinde her iki yöntem de optimum sonuçlara çok yakın değerlere ulaşabilmiştir. Rassal metodun ortalama uygunluk değerinden fazla sayıda uzaklaştığı görülmektedir.

Tablo 9. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-2 Kurak)

	Rassal		Faure	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	96.42	33	62.02	17
col	82.98	22	55.46	39
L _C	27210	8550	17922	8700
n _r	124.1	10	105.1	24
R _{t-iki} (Ω)	0.3076	0.3444	0.3152	0.3442
GPR	307.59	344.35	315.17	344.18
E _{dokunma-50} (V)	344.81	344.81	344.81	344.81
C (TL)	7.4058·10 ⁵	2.3053·10 ⁵	4.8954·10 ⁵	2.3561·10 ⁵
F	7.4055·10 ⁵	2.3053·10 ⁵	4.8952·10 ⁵	2.3561·10 ⁵
UOGDS	23		13	
EŞSDS	0		0	
EİYDS	16		20	
EİDS	1		1	



Şekil 12. Rassal ve Faure Dizili GA ile Model-2 Kuraklık Uygulaması

Model-1 uygulama sonuçları Model-2 kurak uygulamasında kullanılmış olunsaydı Tablo 10'daki değerler elde edilecekti.

Tablo 10. Model-1 Uygulama Sonuçlarının Model-2 Kuru Toprak Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	GPR(V)	E _{dokunma} (V)
Kurak	642.05	344.81

Topraklama ağı döşenecek toprağın yüzeyden 2 metre derinliğe kadar kuru olduğunu ve topraklama ağı tasarımının Model-1 optimum sonuçlarıyla yapıldığını varsayarsak, yani gerçekte toprak kuru olduğu, öz direnci yüksek olduğu halde normal toprak yani Model-1 optimum sonuçları kullanılmış olunsaydı;

Bu durumda GPR=642.05 ve E_{dokunma}=344.81 olacak idi. Böylece yine emniyet şartı sağlanmamış olunacaktı. Bu yüzden topraklama ağı tasarımında kuraklık analizi de yapılmalıdır.

Model-2 Nem Uygulaması

Topraklama ağının nemli toprak içerisinde kaldığının varsayıldığı uygulamada, arama aralıklarının en düşük değerleri yeterli gelmekte ve böylece optimizasyon işlemi oldukça kolaylaştığından her iki yöntem de, hemen hemen tüm deneylerde aynı ve optimum sonuçlara ulaşmıştır.

He vd. (2003), normalde 200 Ω -m olan toprağın öz direncinin yağmurlu mevsimde 10 Ω -m'ye kadar düşebileceğini ifade etmiştir. Bu uygulamada da normalde 50 Ω -m olan toprağın öz direncinin, nemli durumda 25 Ω -m'ye düştüğü varsayılmıştır. Don ve kurak mevsimin aksine yağmurlu mevsimde toprak öz direnci normale nazaran düşüktür. Yağmurlu ya da nemli toprak durumunda nemli toprağın, yani öz direnci daha düşük toprağın içerisinde kalan iletken ve çubuklar, emniyet şartını daha kolay sağlarlar. Nitekim lin, col ve n_r arama aralıklarının en düşük değerleri bulunmuştur. Dolayısıyla maliyet, normal toprak durumunun yaklaşık yarısı kadardır. Don ve kurak mevsimler göz önüne alınarak yapılan tasarımlarda maliyet, nemli toprak durumuna nazaran yaklaşık 10 kat fazladır. Çünkü nemli toprağın öz direnci don, kuru ve normal toprağın öz direncilerinden düşüktür.

Tablo 11. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-2 Nem)

	Rassal		Faure	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	2	2	2	2
col	2	2	2.04	2
L _C (m)	900	900	906	900
n _r	10.12	10	10	10
R _{t-iki} (Ω)	0.1648	0.1648	0.1645	0.1648
GPR (V)	164.84	164.84	164.48	164.84
E _{dokunma}	170.33	170.33	170.33	170.33
C (TL)	24947	24938	25454	24938

Model-1 uygulama sonuçlarının Model-2 nem uygulamasında kullanılmış olunsaydı Tablo 12'deki değerler elde edilecekti.

Tablo 12. Model-1 Uygulama Sonuçlarının Model-2 Nem Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	GPR(V)	E _{dokunma} (V)
Yağmur	150.37	170.33

Gerçekte yağmurlu mevsim ya da nemli toprak durumu söz konusu olduğu halde, yine normal toprak yani Model-1 optimum sonuçları kullanılmış olunsaydı;

Bu durumda GPR=150.37 ve E_{dokunma}=170.33 olacak idi. Yani gerçekte nemli toprak durumu söz konusu olmasına rağmen Model-1 kullanılarak topraklama ağı tasarlanmış olsaydı, emniyet şartı sağlanmış olunacaktı. Ancak bu durumda da maliyet gereksiz olarak 24938 TL'den 49125 TL'ye, yani yaklaşık iki kat artacaktır.

Model-3 Uygulaması

Burada, yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı topraklama ağı tasarımları yapılacaktır. Mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği ve yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı model-3 uygulama girişleri Tablo 13'de ve sonuçlar da Tablo 14 ve Şekil 13'de gösterilmiştir.

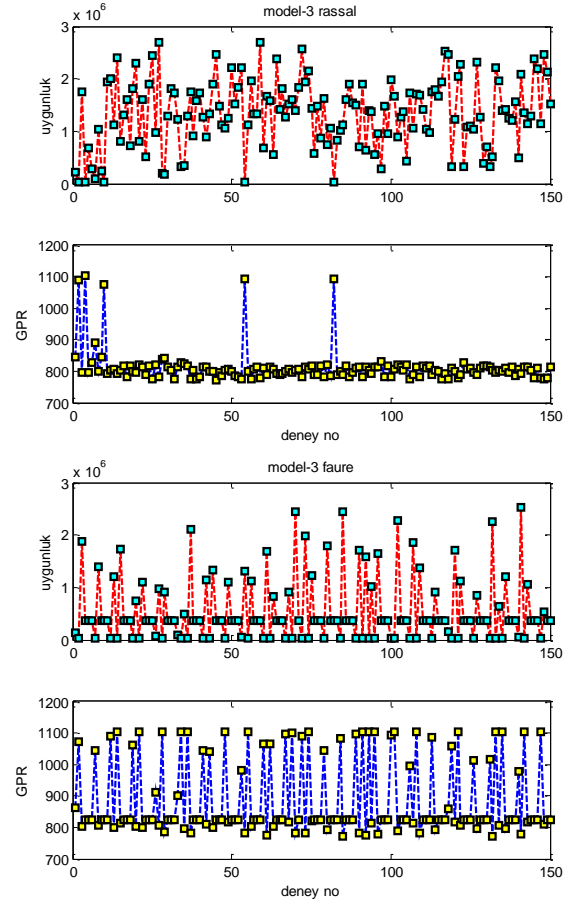
Bu uygulamada, başlangıç popülasyonlarının başarı durumunu biraz daha net belirlemek ve karşılaştırmak için deney sayısı artırılmış ve 150 olarak alınmıştır. Model-1'den tek farkı yüzeyde kullanılan malzemenin olmasıdır. Deney sayısı artırıldığında deneylerin uygunluk ortalaması olarak, her iki yöntem de birbirine yine yakın olmakla beraber Faure, Rassal yöntemden daha başarılıdır. Yine her iki yöntemde de, deneyler içerisinde optimum değere çok yakın sonuçlara ulaşabilmiştir. UOGDS'nin düşüklüğü de başarı durumu için ölçüt olabilir. Bu durum uygunluk ortalaması değerleriyle de uyum sağlamaktadır.

Tablo 13. Model-3 Simülasyon Girişleri

Giriş Değerleri	
Deney	150
N	30
G	20
ρ ($\Omega \cdot m$)	110
ρ_s ($\Omega \cdot m$) - h_s (m)	5500-0.1
L_r (m)	1.5
a(m)	0.01
L(m)-W(m)	150-150
I_f (A)	25000
t_s (sn)	0.5

Tablo 14. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünülmediği Uygulama (Model-3)

	Rassal		Faure	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	128.52	2	41.69	2
col	126.61	2	62.46	2
h_b (m)	2.47	1.28	1.75	0.5
L_C	38571	900	15924	900
n_r	126.04	10	141.32	32
$R_{t-uniform}$	0.3195	0.4421	0.3266	0.4416
GPR	798.85	1105.4	816.57	1104
E _{dokunma}	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8
C (TL)	1.3311	27570	5.1335	26588
F	1.3354	27570	5.4922	26586
UOGDS	77		38	
EŞSDS	0		0	
EİYDS	3		21	
EİDS	1		2	



Şekil 13. Rassal ve Faure Dizili GA ile Model-3 Uygulaması

Model-4 Don Uygulaması

Mevsimsel faktörlerin etkisinin göz önüne alındığı ve yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı model-4 uygulama girişleri Tablo 15'te ve don uygulaması sonuçları da Tablo 16 ve Şekil 14'de gösterilmiştir

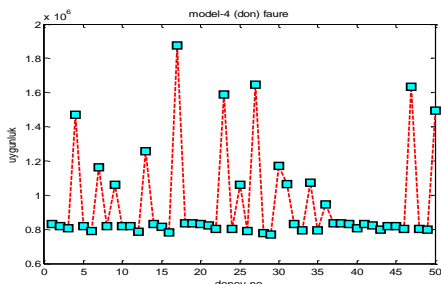
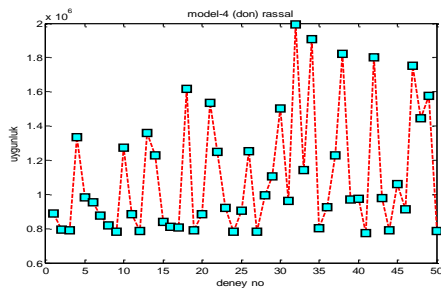
Bu uygulamada da Faure dizili başlangıç popülasyonu kullanılan GA'nın UOGDS ve EİYDS sonuçlarıyla oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Tasarım parametrelerinin optimum değerleri, arama aralıklarının limitlerini zorladığı için yöntemlerde bariz fark oluşmamasına rağmen, Faure daha başarılıdır.

Normalde özdirenci 5500 $\Omega\cdot m$ olan yüzey kaplama malzemesinin özdirencinin donlu mevsimde değişmediği ve normalde 110 $\Omega\cdot m$ olan toprağın özdirencinin don durumunda don katmanının özdirencinin 700 $\Omega\cdot m$ 'ye yükseldiği varsayılmıştır. He vd. (2003), normalde 15000 $\Omega\cdot m$ olan yüzey kaplama malzemesinin, don durumunda özdirencinin değişmediği ifade edilmiştir.

Yüzey kaplamalı, normal toprak Model-3 ve don tutmuş toprak Model-4 uygulamalarımız maliyet açısından karşılaştırıldığında, donlu mevsimde maliyetin yaklaşık 29 kat arttığı görülmektedir. Don nedeniyle oluşan yüksek toprak özdirenci, emniyet şartını sağlamak için daha fazla iletken ve çabuk kullanılmasını zorunlu kılmıştır.

Tablo 15. Model-4 Simulasyon Girişleri

Giriş Değerleri			
Deney	50		
N	30		
G	20		
ρ_1 ($\Omega\cdot m$)	Don	Kurak	Nem
	700	500	50
ρ_2 ($\Omega\cdot m$)	110		
ρ_s ($\Omega\cdot m$)	Don	Kurak	Nem
	5500	5500	3000
h_s (m)	0.1		
$L_r(m)-a(m)$	1.5-0.01		
$L-W(m)$	150-150		
I_f (A)	25000		
t_s (sn)	0.5		
h_l (m)	0.5		
h_b (m)	2		



Şekil 14. Rassal ve Faure Dizili GA ile Model-4 Don Uygulaması

Tablo 16. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-4 Don)

	Rassal		Faure	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	145.73	98	122.82	88
col	142.39	85	108.15	97
L_C	43518	27750	34947	28050
n_r	142.12	251	206.66	239
R_{t-iki} (Ω)	0.4572	0.4603	0.4584	0.4603
GPR (V)	1143.1	1150.8	1146	1150.8
$E_{dokunma-50}$ (V)	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9
C (TL)	$1.1802 \cdot 10^6$	$7.6461 \cdot 10^5$	$9.5471 \cdot 10^5$	$7.7177 \cdot 10^5$
F	$1.1802 \cdot 10^6$	$7.6461 \cdot 10^5$	$9.5471 \cdot 10^5$	$7.7177 \cdot 10^5$
UOGDS	17		13	
EŞSDS	0		0	
EİYDS	14		36	
EİDS	1		1	

Tablo 17'de, mevsimsel şartların etkisinin düşünüldüğü Model-3 uygulama sonuçları, Model-4 don uygulamasında kullanıldığında elde edilen GPR ve $E_{dokunma}$ değerleri görülmektedir. Görüldüğü gibi, don mevsiminde yüzey malzemesi kullanıldığı durumda da, $GPR > E_{dokunma}$ olduğundan emniyet şartı sağlanmayacaktır.

Tablo 17. Model-3 Uygulama Sonuçlarının Model-4 Don Tutmuş Toprak Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	$\rho_s(\Omega\cdot m)$	GPR(V)	$E_{dokunma}(V)$
Don	5500	2912	1150.9

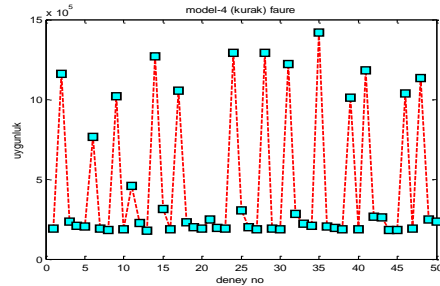
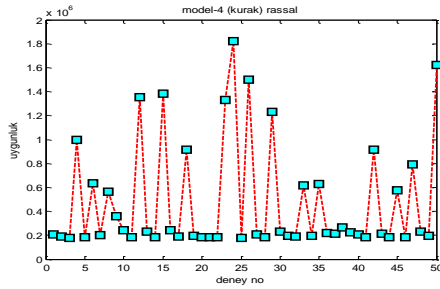
Model-4 Kuraklık Uygulaması

Yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı ve kurak mevsimin etkinliğinin varsayıldığı uygulama örneği Tablo 18'deki gibidir. Model 3'te yani normalde özdirenci 110 $\Omega\cdot m$ olan toprağın kurak mevsimde, kurduğunda özdirencinin 500 $\Omega\cdot m$ 'ye yükseldiği düşünülmüştür.

Yüzey kaplama malzemesinin özdirencinin normalde ve kurak durumunda aynı olduğu varsayılmıştır. Normalde özdirenci 110 $\Omega\cdot m$ olan toprağın kurak mevsimde kurduğunda özdirencinin 500 $\Omega\cdot m$ 'ye yükseldiği düşünülmüştür. Yüzey kaplamalı, normal toprak Model-3 ve kuru toprak Model-4 uygulamalarımız maliyet açısından karşılaştırıldığında, kurak mevsimde maliyetin yaklaşık 7 kat arttığı görülmektedir.

Tablo 18. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-4 Kurak)

	Rassal		Faure	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	62.12	27	55.84	24
col	52.80	15	53.94	18
L_C	17538	6600	16767	6600
n_f	102.02	11	123.04	17
$R_{t-iki} (\Omega)$	0.4216	0.4536	0.4221	0.4532
GPR	1054	1134	1055.3	1133
$E_{dokunma-50} (V)$	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6
C (TL)	$4.7899 \cdot 10^5$	178200	$4.5984 \cdot 10^5$	178650
F	$4.7894 \cdot 10^5$	$1.7820 \cdot 10^5$	$4.5980 \cdot 10^5$	$1.7865 \cdot 10^5$
UOGDS	16		13	
EŞSDS	0		0	
EİYDS	18		18	
EİDS	1		1	

**Şekil 15.** Rassal ve Faure Dizili GA ile Model-4 Kuraklık Uygulaması

Yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı ve mevsimsel şartların etkisinin düşünülmediği Model-3 uygulamasında elde edilen 900 metre iletken, 28 adet çubuk ve 0.5 metre ağ gömülme derinliği değerleri, Model-4 kurak mevsim uygulamasında kullanılmış olsaydı Tablo 19'daki değerler elde edilecekti.

Tablo 19. Model-3 Uygulama Sonuçlarının Model-4 Kuru Toprak Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	$\rho_s (\Omega \cdot m)$	GPR(V)	$E_{dokunma} (V)$
Kurak	5500	2285.5	1135.6

Tablo 19'da, mevsimsel şartların etkisinin düşünülmediği Model-3 uygulama sonuçları, Model-4 kurak mevsim

uygulamasında kullanıldığında elde edilen GPR ve $E_{dokunma}$ değerleri görülmektedir. Görüldüğü gibi, kurak mevsimde yüzey malzemesi kullanıldığı durumda da, $GPR > E_{dokunma}$ olduğundan emniyet şartı sağlanmayacaktır.

Model-4 Nem Uygulaması

Tablo 20'de yağmurlu mevsimde toprak özdirencinin ve yüzey kaplama malzemesinin özdirencinin düştüğünün varsayıldığı ağ tasarımları uygulamaları vardır.

Yağmurlu mevsimde, yüzeyde kullanılan malzemenin özdirencinin normalden daha düşük olduğu varsayılmıştır. Normalde özdirenci, 5500 $\Omega \cdot m$ olan yüzey malzemesinin, nemli toprak durumunda 3000 $\Omega \cdot m$ 'ye düştüğü varsayılmıştır. He vd. (2003) çalışmalarında, yüzey malzemesinin normal durumda özdirencinin 15000 $\Omega \cdot m$ iken, yağmurlu mevsimde 5000 $\Omega \cdot m$ 'ye düştüğünü ifade etmişlerdir.

Model-4 nemli toprak durumunda Model-3 normal toprak durumuna göre maliyetin az da olsa arttığı görülmektedir. Bunun nedeni de nemli toprak katmanının özdirenci normal topraktan düşük olmasına rağmen, yüzey malzemesinin de özdirencinin düşmesidir. Yüzey malzemesinin özdirenci değişmemiş olsaydı yani 5500 $\Omega \cdot m$ olsaydı maliyet 24938 TL olacak yani Model-3'te olan 26287 TL'den daha düşük olacaktı. Yüzey malzemesi özdirenci Model-3'teki gibi 5500 $\Omega \cdot m$ olsaydı, iletken uzunluğu 900 metre, çubuk sayısı da 10 olarak tasarım yapılacaktı. Bu durumda GPR 888.66, $E_{dokunma}$ 1101.2 olacaktı.

Tablo 20. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-4 Nem)

	Rassal		Faure	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	114.1	2	84.52	2
col	121.78	2	89.9	2
L_C	35682	900	26464	900
n_f	161.9	156	175.44	160
$R_{t-iki} (\Omega)$	0.2437	0.2651	0.2383	0.2628
GPR	609.21	662.62	593.24	656.90
$E_{dokunma-50} (V)$	676.98	676.98	676.98	676.98
C (TL)	$9.7110 \cdot 10^5$	35888	$7.2438 \cdot 10^5$	36188
F	$9.7104 \cdot 10^5$	35873	$7.2431 \cdot 10^5$	36167
UOGDS	26		25	
EŞSDS	0		0	
EİYDS	3		3	
EİDS	1		1	

Yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı ve mevsimsel şartların etkisinin düşünülmediği Model-3 uygulamasında elde edilen 900 metre iletken, 28 adet çubuk ve 0.5 metre

ağ gömülme derinliği değerleri, Model-4 yağmurlu mevsim ya da nemli toprak uygulamasında kullanılmış olunsaydı Tablo 21'deki değerler elde edilecekti.

Tablo 21. Model-3 Uygulama Sonuçlarının Model-4 Nemli Toprak Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	$\rho_s(\Omega\cdot m)$	GPR(V)	$E_{dokunma}(V)$
Yağmur	3000	880.78	676.98
Yağmur	5500	880.78	1101.2

Yağmurlu mevsimde, yüzeyde kullanılan malzemenin özdirenci, normalinden daha küçük olduğunda yine $GPR > E_{dokunma}$ olmakta ve emniyet şartı sağlanmamış olmaktadır. Yüzeyde kullanılan malzemenin özdirenci yağmurlu mevsimde değişmemiş olsaydı $GPR < E_{dokunma}$ olacak ve emniyet şartı sağlanmış olunacaktı. Ancak bu durumda da maliyet, az da olsa fazla olmuş olacaktı.

Sonuçlar

GA'nın transformatör merkezlerinin topraklama ağlarının mevsimsel analizine ve mevsimsel faktörlere dayalı tasarımına uygulandığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, aşağıdaki gibi GA açısından ve transformatör merkezi topraklama sistemi açısından iki kolda ele alınabilir:

1-GA Açısından Elde Edilen Sonuçlar:

Topraklama sistemi analizi ve tasarımı probleminde; Hem Rassal başlangıç popülasyonlu GA hem de Faure dizili başlangıç popülasyonlu GA, deneyleri içerisinde optimum sonuca ya da optimum sonuca çok yakın sonuçlara ulaşabilmektedir.

Her iki yöntemde de başlangıç popülasyonu ve generasyon sayısı düşük bile seçilse, deneyleri içerisinde kabul edilebilir sonuçlara ulaşabildikleri görülmüştür. Başlangıç popülasyonu ve generasyon sayısı daha da arttırılacağı zaman, deneyleri içerisinde elde edilecek optimum ya da optimuma yakın çözümlerin sayısı da artacaktır.

Faure dizisinin GA'da başlangıç popülasyonu olarak kullanılabilmesi ve kullanıldığında başarılı olduğu görülmüştür.

Faure dizili GA'nın performansının Rassal metoda göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Rassal başlangıç popülasyonu metodunda, rassallığa bağlı olarak Faure metodundan daha iyi sonuçların da elde edildiği ve bu durumun her zaman oluşabileceği ihtimalinin olduğu, ancak genel olarak Faure dizili başlangıç popülasyonu metoduna göre daha az tutarlı olduğu görülmüştür. Ancak Rassal GA'nın da; popülasyon sayısı, generasyon sayısı ve deney sayısına bağlı olarak optimum ya da optimuma çok yakın değerler verdiği görülmüştür.

UOGDS ve F değerlerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

2-Transformatör Merkezi Topraklama Sistemi Açısından Elde Edilen Sonuçlar:

Mevsimsel faktörlerin toprak özdirencine ve yüzey kaplama malzemesine etkisi nedeniyle, toprak modeli, müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimlerinin hesabının değiştiği, dolayısıyla ağ tasarımının tamamen değiştiği belirlenmiştir.

Mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği ve yüzey kaplama malzemesinin kullanılmadığı Model-1 uygulama sonuçları mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği Model-2'de kullanıldığında, don ve kurak toprak için emniyet şartını sağlamadığı, nemli toprak için emniyet şartını sağladığı ve maliyetin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla nemli toprak bile olsa mevsimsel faktörlerin analizinin minimum maliyet için zorunlu olduğu ortaya çıkmıştır.

Mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği ve yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı Model-3 uygulama sonuçları mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği Model-4'te kullanıldığında, don, kurak ve nemli toprak için emniyet şartını sağlamadığı belirlenmiştir. Dolayısıyla nemli toprak bile olsa mevsimsel faktörlerin analizinin emniyet şartı için zorunlu olduğu ortaya çıkmıştır.

Hem emniyet hem de minimum maliyet için topraklama ağlarının tasarımında, bölgenin mevsimsel analizinin yapılmasının zorunlu olduğu GA yardımıyla belirlenmiştir.

Hem uniform hem de iki katmanlı toprak modeli kullanılan analizlerde GA'nın başarıyla uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Kaynaklar

- Cao Y.J., Wu Q.H., Shimmin D.W. 1997. Study Of Initial Population Evolutionary Programming, European Control Conference ECC97, Belgium, 1-4.
- Dawalibi, F.P., Ma, J., Southey, R.D. 1994. Behaviour of Grounding Systems in Multilayer Soils:A Parametric Analysis, IEEE Transactions on Power Delivery, 9, 334-342.
- Demircan, M. 2010. 2010 Yılı Sıcaklıklarının Analizi, <http://www.dmi.gov.tr/FILES/ziraat/2010yiliSicakliklerininAnalizi.pdf> (Erişim:22.04.2011)
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2004, Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği, 25639 sayılı Resmi Gazete.

- Erlat, E., Türkeş, M. 2008. Türkiye’de Don Olaylı Gün Sayılarındaki Değişiklikler ve Arktik Salınım ile Bağlantısı, 4. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, İstanbul.
- Gustafson, R.J., Pursley, R., Albertson, V.D. 1990. Seasonal Grounding Resistance Variations on Distribution Systems, IEEE Transactions on Power Delivery, 5, 1013-1018.
- Gürsu, B. 2009. Sezgisel Algoritmalar Kullanarak Transformatör Merkezlerinde Topraklama Ağlarının Tasarımı, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 168 s.
- Gürsu, B. 2006. Rassal, Görünüşte Rassal ve Kuantalomalı Ortogonal Genetik Algoritmalar İle AC-AC Çeviricilerde Harmonik Eliminasyonu İçin Optimum Tetikleme Açılarının Bulunması, Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 59 s.
- Gürsu, B., İnce, M.C. 2009a. İletim Merkezi Topraklama Ağı Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Önemli Hususlar, Kaynak Elektrik Dergisi, 238, 152-156.
- Gürsu, B., İnce, M.C. 2009b. İletim Merkezlerinin Topraklama Ağlarının Tasarımında Lojistik Haritalı Genetik Algoritmalar Yardımıyla Don Etkisinin Belirlenmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14,(1); 50-57.
- Gürsu, B., İnce, M.C. 2009c. Limiting GPR in a two-layer soil model via genetic algorithms, Journal of the Franklin Institute, (8) 346, (8) 768-783.
- He, J., Gao, Y., Zeng, R., Sun, W., Zou, J., Guan, Z. 2005. Optimal Design of Grounding System Considering the Influence of Seasonal Frozen Soil Layer, IEEE Transactions on Power Delivery, 20, (1) 107-115.
- 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, 18, (3) 788-795.
- Jiang, X., Birge, J.R. 2004. Comparisons of Alternative Quasi-Monte Carlo Sequences for American Option Pricing, Informs Annual meeting, Denver, 1-17.
- Joy, C., Boyle, P.P., Tan, K.S. 1996. Quasi-Monte Carlo Methods in Numerical Finance, Institute for Operations Research and the Management Services, 41-46.
- Karcı A. 2002. Genetik Algoritmalarda İraksama Ve Yerel Çözümde Kalma Problemlerinin Giderilmesi, Doktora Tezi, F.Ü., Elazığ.
- Krykova, I. 2003. Evaluating of Path-Dependent Securities with Low-Discrepancy Methods, A Thesis Submitted to the Faculty of the Worcester Polytechnic Institute in partial fulfillment of the Requirements for the professional degree of Master of Science in Financial Mathematics, 65 pp.
- Leung, Y.W., Wang, Y. 2001. An Orthogonal Genetic Algorithm With Quantization for Global Numerical Optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 5, (1) 41-53.
- Leung, Y.W., Wang, Y. 2000. Multiobjective Programming Using Uniform Design and Genetic Algorithm, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part-C:Applications and Reviews, 30, (3) 293-304.
- Maarenen, H., Miettinen, K., Penttinen, A. 2007. On Initial Populations of a Genetic Algorithm for Continuous Optimization Problems, Journal of Global Optim., 37, 405-436.
- Maarenen, H., Miettinen, K., Makale, M. M. 2004. Quasi-Random Initial Population for Genetic Algorithms, Computers and Mathematics with Applications, 47, 1885-1895.
- Ökten, G. 2009. Generalized von Neumann-Kakutani transformation and random-start scrambled Halton sequences, Elsevier Journal of Complexity, 25, (4) 318-331.
- Preechakul, C., Kheawhom, S. 2009. Modified Genetic Algorithm with sampling techniques for Chemical Engineering Optimization, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 15, 110-118.
- Seedher, R.H., Arora K.J. 2003. A comparative Study of expressions for reduction factor for ground resistance of foot, IEEE Transactions on Power Delivery, 18, (3) 849-851.
- Sverak, J.G. 1998. Progress in step and touch voltage equations of ANSI/IEEE Std.80-Historical Perspective, IEEE Transactions on Power Delivery, 13, (3) 762-767.
- 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.