

Harris Şahinleri Optimizasyon Yönteminin Kullanarak İletim Sistemi Planlaması

Transmission Expansion Planning Using Harris Hawks Optimization Method

Ahmet Ova¹, Erdi Doğan¹, Şevki Demirbaş²

¹Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
ahmet.ova@teias.gov.tr, erdi.dogan@teias.gov.tr

²Gazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği
demirbas@gazi.edu.tr

Özet

İletim Sistemi Planlaması (TEP), gelecekte planlama dönemlerinde iletim şebekesi kararlılığının korunarak artan elektrik enerjisi talebinin ekonomik ve güvenilir bir şekilde karşılanması için farklı amaç fonksiyonları kapsamında şebekeye eklenecek yeni iletim hatlarının belirlenmesini amaçlayan bir optimizasyon çalışmasıdır. Bu çalışmada, optimum iletim hattı yatırımlarının belirlenmesinde hatların yatırım maliyetlerinin ve sağlanamayan enerji maliyetinin minimize edildiği TEP problemi ele alınmıştır. Problemin çözümünde meta-sezgisel bir optimizasyon yöntemi olan Harris Şahinleri Optimizasyonu (HHO) kullanılmıştır. Önerilen yöntem DC model kullanılarak Garver 6 baralı test sistemi üzerinde 2 farklı senaryo için uygulanmıştır.

Anahtar kelimeler: İletim sistemi planlaması, Meta-sezgisel optimizasyon, Yatırım maliyeti, Sağlanamayan enerji maliyeti, DC model.

Abstract

Transmission Expansion Planning (TEP) is an optimization study that aims to determine new transmission lines to be added to the network within the scope of different purpose functions in order to meet the increasing electrical energy demand economically and reliably by maintaining the stability of the transmission network in future planning periods. In this study, a TEP problem in which the investment costs of the lines and the cost of energy not supplied are minimized. Harris Hawks Optimization (HHO), a meta-heuristic optimization method, has been used to solve the problem. The proposed method has been applied for 2 different scenarios on Garver 6 bus test system using the DC model.

Keywords: Transmission expansion planning, Meta-heuristic optimization, Investment cost, Cost of energy not supplied, DC model.

1. Giriş

Üretim kapasitesindeki ve yük talebindeki artışa paralel olarak artan iletim kapasitesi ihtiyacının karşılanması ve sistem güvenliğinin korunması amacıyla iletim şebekesinin güçlendirilmesi ve genişletilmesi gerekmektedir [1]. TEP'in amacı, gelecekte planlama dönemlerinde elektrik enerjisi talebinin güvenilir bir şekilde karşılanması amacıyla teknik ve ekonomik kısıtların sağlanarak iletim şebekesine eklenecek yeni iletim hatlarının minimum maliyetle belirlenmesidir [2]. TEP yeni bir iletim hattının ne zaman, nereye ve hangi karakteristikle tesis edileceği gibi problemlere en uygun çözümü bulmayı amaçlayan bir optimizasyon problemi olarak ortaya çıkmaktadır [3]. TEP çalışmaları 5-10 yıllık dönemler veya daha uzun dönemler için gerçekleştirilmektedir. TEP planlama dönemlerinde sadece bir zaman dilimi ile ilgileniyorsa statik TEP, birden fazla zaman dilimi ile ilgileniyorsa dinamik TEP olarak sınıflandırılmaktadır [4]. Dinamik TEP'te şebekeye eklenecek yeni iletim hattının nereye tesis edileceğinin yanında ne zaman tesis edileceğine de karar verilmektedir [5].

İletim şebekelerinin büyük, karmaşık ve konveks olmayan doğası nedeniyle TEP probleminin çözülmesi yapısal olarak zor bir optimizasyon problemi olarak ortaya çıkmaktadır [6]. Literatürde TEP problemi farklı test sistemleri üzerinde çeşitli amaç ve kısıtlar doğrultusunda oluşturulmuştur. Bu problemi çözmek için hem deterministik yaklaşımların hem de stokastik süreçleri bulunan meta-sezgisel tekniklerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bir taraftan bu yöntemler arasında Doğrusal Programlama (LP) [7], Doğrusal Olmayan Programlama (NLP) [8], Karmaşık Tam Sayılı Doğrusal Programlama (MILP) [9], Benders Ayrıştırma (BD) [10] gibi global optimal sonucu bulmaya yönelik geliştirilmiş matematiksel yaklaşımlar yer alırken, diğer taraftan son yıllarda bilimsel araştırmalarda ünlü giderek artan meta-sezgisel yöntemlerden Genetik Algoritma (GA) [11], Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) [12],

Tabu Arama (TS) [13], Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) [14] ve Emperyalist Rekabetçi Algoritma (ICA) [15] gibi teknikler kullanılmaktadır. Özellikle iteratif süreçlere dayalı olan meta-sezgisellerin problemi makul bir sürede çözebilmesi için güç sistemlerinin modellenmesinde genellikle AC modele göre daha kolay ve hızlı çözümler sunan DC model kullanılmaktadır [16]. DC model AC modelin doğrusallaştırılmış hali olup reaktif güç akışları, hat kayıpları ve gerilim değişimleri göz ardı edilmektedir [15].

Bu çalışmada planlama döneminde bir zaman dilimi için şebekeye eklenecek yeni iletim hatlarının belirlenmesinde iletim hatlarının yatırım maliyetlerinin ve sağlanamayan enerji maliyetinin minimize edildiği bir TEP problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için TEP çalışmalarında daha önce kullanılmamış ve sürü tabanlı arama prosedürüne sahip, meta-sezgisel bir optimizasyon yöntemi olan HHO yöntemi kullanılmıştır [17]. Önerilen yöntem, statik TEP problemini çözmek için DC model kullanılarak Garver 6 baralı test sistemi üzerinde 2 farklı durum için uygulanmıştır.

Makalenin geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2’de TEP probleminin matematiksel modeli açıklanmıştır. Bölüm 3’te TEP probleminin çözümünde kullanılan HHO yöntemi açıklanmıştır. Bölüm 4’te TEP probleminin çözümü için HHO’nun test sistemi üzerinde uygulanması yer alırken son olarak Bölüm 5’te sonuç bölümü yer almaktadır.

2. TEP Probleminin Matematiksel Modeli

Bu çalışmada çok amaçlı TEP probleminin amaçları arasında planlama dönemi için şebekeye eklenecek yeni iletim hatlarının yatırım maliyetlerinin ve yük kaybı ile ortaya çıkan sağlanamayan enerji maliyetinin minimize edilmesi yer almaktadır.

Problemin matematiksel formülasyonunda kullanılan indisler:

TC	Toplam maliyet
IC	Yatırım maliyeti
LC	Sağlanamayan enerji maliyeti
C_{ij}	i-j baraları arasında eklenecek hattın maliyeti
a_i	i barasında yük kaybından dolayı oluşacak ceza maliyeti
r_i	i barasındaki yük kaybı
f	Hatlar arasındaki aktif güç akışı
g	Aktif güç üretimi
\bar{g}	Maksimum üretim kapasitesi
d	Yük
\bar{d}	Maksimum yük
f_{ij}	i-j baraları arasında akan aktif güç akışı
\bar{f}_{ij}	i-j baraları arasında akan maksimum aktif güç akışı
B_{ij}	i-j hattının suseptansı
n_{ij}^0	i-j baraları arasındaki mevcut hat sayısı
n_{ij}	i-j baraları arasına eklenecek hat sayısı

\bar{n}_{ij}	i-j baraları arasına eklenebilecek maksimum hat sayısı
θ_{ij}	i-j baraları arasındaki faz açısı farkı
Ω	Aday hat kümesi

TEP probleminde amaç fonksiyonunun matematiksel modeli aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

$$TC = IC + LC \quad (1)$$

$$Min. TC = \sum_{ij} C_{ij} n_{ij} + \sum_i a_i r_i \quad (2)$$

Burada TC toplam maliyet olup şebekeye eklenecek hat maliyetlerini (IC) ve sağlanamayan enerji maliyetini (LC) içermektedir.

Kısıtlar:

TEP probleminde belirlenen amaç fonksiyonu çerçevesinde en uygun çözümün bulunabilmesi için güç sistemi gereksinimi ile ilgili kısıtlar dikkate alınmalıdır.

$$f + g + r = d \quad (3)$$

$$f_{ij} - B_{ij}(n_{ij}^0 + n_{ij})\theta_{ij} = 0 \quad (4)$$

$$0 \leq g \leq \bar{g} \quad (5)$$

$$0 \leq r \leq \bar{d} \quad (6)$$

$$0 \leq n_{ij} \leq \bar{n}_{ij} \quad \forall (i, j) \in \Omega \quad (7)$$

$$|f_{ij}| \leq (n_{ij}^0 + n_{ij})\bar{f}_{ij} \quad (8)$$

Eşitlik (3)’te verilen kısıt baralardaki aktif güç dengesini ifade ederken Eşitlik (4)’teki kısıt hatlardaki aktif güç akışını ifade etmektedir. Santrallerde üretime ait maksimum ve minimum limitler Eşitlik (5) ile verilirken baralarda oluşan yük kaybına ait maksimum ve minimum limitler Eşitlik (6) ile verilmektedir. Eşitlik (7) şebekede bir koridora ilave edilecek maksimum yeni iletim hattı sayısını ifade ederken Eşitlik (8) hatların termik limitlerini ifade etmektedir. TEP probleminde Eşitlik (3) ve (4) eşitlik kısıtı olarak modellenirken Eşitlik (4), (5), (6), (7) ve (8) eşitsizlik kısıtı olarak modellenmektedir.

3. Önerilen Yöntem

3.1. HHO

Bu çalışmada, belirlenen TEP problemini çözmek amacıyla TEP literatüründe ilk defa kullanılan meta-sezgisel bir yöntem olan HHO kullanılmıştır. HHO, 2019 yılında Heidari vd. tarafından geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir meta-sezgisel yöntem olup esnek yapısı, yüksek doğruluk ve performansı nedeniyle farklı problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılmaktadır [17]. HHO optimizasyonu, Harris şahinlerinin avlanma sürecinden esinlenmiştir. Harris şahinleri avlanma sürecinde sürü olarak hareket ederler. HHO algoritması diğer meta-sezgisel teknikler gibi keşif ve sömürü safhaları arasında doğru bir denge kurmaya çalışmaktadır. Keşif safhasında sürü, keşif uçuşları ile avın yerini tespit ederken sömürü safhasında avlanma gerçekleştirilir [18], [19]. Burada bahsettiğimiz keşif uçuşlarıyla problemin çözüm uzayında gelecek vadeden alanların tespit edilmesi işlemi uygulanmaktadır.

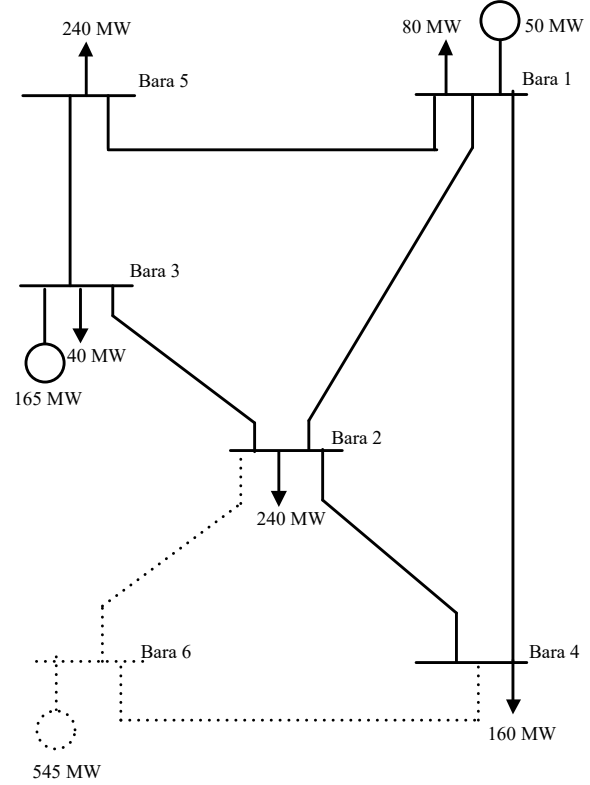
Avlanma tasarımıyla da keşfedilen önemli bölgelerin yerel optimal noktalarının elde edilmesi hedeflenmektedir. HHO algoritması bu yolla birçok farklı problem türünde başarılı bir şekilde kaliteli sonuçlar sunabilmiştir.

4. HHO'nun TEP Problemine Uygulanması

Bu çalışmada, HHO yöntemi kullanılarak Bölüm 2'de matematiksel modeli verilen TEP problemi, Garver 6 baralı test sistemi üzerinde 2 farklı senaryo kapsamında analiz edilmiştir. Problemin modellenmesinde ve çözdürülmesinde Python programlama dili uygulanırken, test sistemi olarak kullanılan Garver 6 baralı sistemin modellenmesinde ve güç akışlarının yapılmasında açık kaynak kodlu bir Python kütüphanesi olan Panda Power kullanılmıştır. Analizlerde 64-bit, 1.80 GHz. ve 8 GB RAM özelliklere sahip PC kullanılmıştır. Optimum yatırım maliyeti sonuçları, önerilen HHO algoritması kullanılarak 50 bireylik bir popülasyon ve 500 iterasyon ile elde edilmiştir. HHO algoritmasının sağlamlığını test edebilmek amacıyla 30 farklı çözdürme işlemi uygulanmış ve tüm çözümleri dikkate alan istatistiksel göstergelere yer verilmiştir.

4.1. Garver 6 Baralı test sistemi

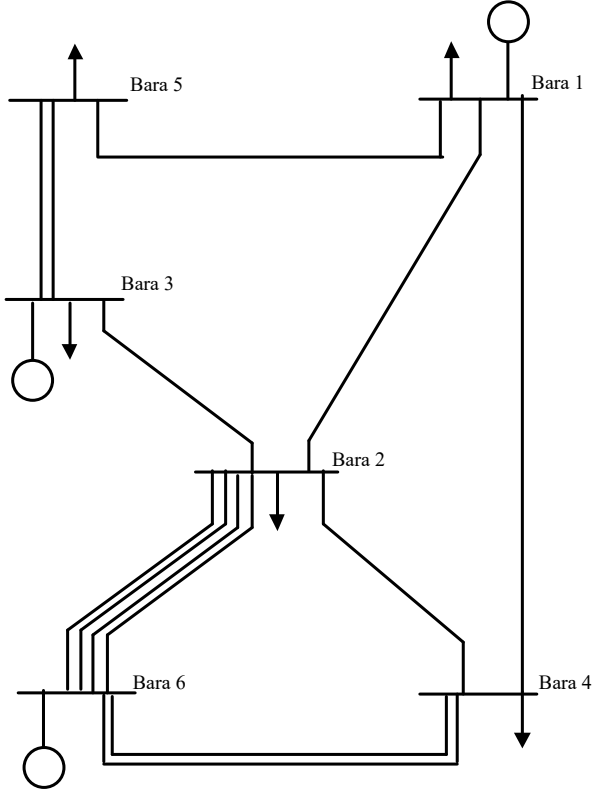
Test sistemi olarak Şekil 1'de baz topolojisi verilen Garver 6 baralı test sistemi kullanılmıştır [20]. Baz topolojide sistem 5 bara ve 6 hattan oluşmaktadır. Bara 1 ve 3 hem üretim hem yük barası, Bara 2,4 ve 5 yük barası, Bara 6 ise sisteme bağlanacak yeni üretim barasını göstermektedir. Düz çizgiler mevcut hatları gösterirken kesikli çizgiler planlama döneminde sisteme eklenecek olası hatları göstermektedir. Sistemde toplam yük ve üretime ait kurulu güç 190 MW'tır. Planlama faaliyetleri kapsamında sistem yükünün 4 kat artarak 760 MW olacağı ve kurulu gücün 1110 MW'a ulaşacağı varsayılmaktadır. Tüketim için tahmin edilen artışın bir bölümünü karşılamak amacıyla bir yandan şebekede mevcut durumda üretim yapan santrallerin üretim miktarı yükseltilirken, diğer yandan, 600 MW kurulu güce sahip bir üretim santralının Bara 6 ile sisteme bağlanacağı farz edilmiştir. Bara 6'nın sisteme bağlantısı için ve artan yükün kesintisiz ve ekonomik olarak karşılanabilmesi için sisteme eklenecek yeni iletim hatlarına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada yeni hatların belirlenmesinde aday hat koridoru olarak 6 mevcut hat ve 9 yeni hat koridoru olmak üzere toplamda 15 aday hat koridoru belirlenmiştir. Her bir koridora maksimum 7 hattın tesis edilebileceği varsayılmıştır.



Şekil 1. Garver 6 Baralı test sisteminin baz topolojisi

4.2. Durum 1

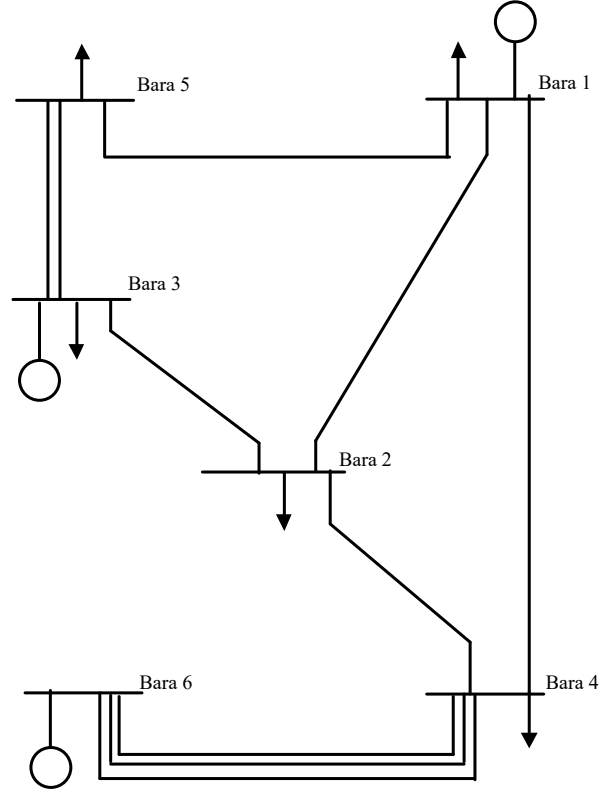
Bu durum çalışmasında, TEP problemi, santrallere ait üretim değerlerinin deterministik olarak önceden belirlenerek üretimin yeniden boyutlandırılmasının dikkate alınmadığı durum için çözdürülmüştür. HHO yöntemi kullanılarak 200 Milyon dolar toplam yatırım maliyeti ile 2-6 baraları arasına 4, 4-6 baraları arasına 2 ve 3-5 baraları arasına ise 1 yeni hat tesisi optimum çözüm olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuç literatürde GA, TS [11], BD [10], MILP [9] ve GBMO [21] yöntemleri ile elde edilen sonuçlar ile benzerdir. Şekil 2'de durum 1 için yapılan TEP çalışması sonucunda oluşan sistemin yeni topolojisi yer almaktadır.



Şekil 2. Garver 6 Baralı test sisteminin durum 1 için yeni topolojisi

4.3. Durum 2

Bu durum çalışmasında, TEP problemi, sistemdeki üretimin yeniden boyutlandırılması dikkate alınarak çözdürülmüştür. Sistemdeki üretim değerleri ünitelerin maksimum ve minimum limitlerine göre değerlendirilmiştir. Bu durum sisteme eklenecek yeni hat sayısını ve buna bağlı olarak yatırım maliyetlerini değiştirmiştir. Yüke yakın konumdaki üretim santrallerinin maksimum limitte çalışması beklenmektedir. HHO yöntemi kullanılarak 110 Milyon dolar toplam yatırım maliyeti ile 4-6 baraları arasında 3 ve 3-5 baraları arasında ise 1 yeni hat tesisi en uygun çözüm olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuç literatürde GBMO [21], I-MOX [22], GABC [23] ve CHA [24] yöntemleri ile elde edilen sonuçlarla benzerdir. Şekil 3'te Durum 2 için yapılan TEP çalışması sonucunda oluşan sistemin yeni topolojisi yer almaktadır.



Şekil 3. Garver 6 Baralı test sisteminin durum 2 için yeni topolojisi

Tablo 1'de her 2 durum çalışması için yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilen en iyi, en kötü, ortalama ve standart sapma değerleri ile en iyi çözüm için sisteme eklenecek hatların sayısı yer almaktadır.

Tablo 1. Durum 1 ve Durum 2 için elde edilen sonuçlar

Sonuçlar	Durum 1	Durum 2
En iyi(M\$)	200	110
Ortalama(M\$)	202,4	120,33
En kötü(M\$)	272	140
Standart sapma	13,145	13,256
En iyi çözüm için eklenecek hatlar	$n_{2-6} = 4$ $n_{4-6} = 2$ $n_{3-5} = 1$	$n_{4-6} = 3$ $n_{3-5} = 1$

Otuz farklı çalıştırmayla elde edilen istatistiksel göstergeler incelendiğinde, HHO algoritmasının hem durum-1 hem de durum-2 için en iyi sonucu düşük standart sapma ve ortalama ile elde edebildiği görülmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, planlama döneminde artan yük talebinin kesintisiz ve ekonomik bir şekilde karşılanması amacıyla sisteme eklenecek yeni iletim hatlarının yeri ve sayısının optimum olarak belirlenmesi amacıyla iletim sistemi planlaması gerçekleştirilmiştir. TEP problemi, yatırım maliyetlerinin ve sağlanamayan enerji maliyetinin minimize edilmesini içeren amaç fonksiyonu temelinde modellenmiştir. Problemin çözümünde meta-sezgisel bir optimizasyon yöntemi olan HHO yöntemi kullanılmıştır.

HHO yöntemi kullanılarak Garver 6 baralı test sistemi üzerinde santrallere ait üretim değerlerinin deterministik olarak belirlendiği durum ve üretim değerlerinin yük noktasına yakınlığına göre yeniden boyutlandırıldığı durum için sisteme eklenecek optimum hatlar belirlenmiştir. Her 2 durum için elde edilen sonuçların literatürde farklı optimizasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlara benzer olarak en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Gelecek çalışmalar arasında Türkiye iletim şebekesi ve/veya statik eş değer modeli üzerinde farklı üretim ve tüketim senaryoları temelinde 5 ve 10 yıllık planlama dönemleri için iletim sistemi planlamasının gerçekleştirilmesi yer almaktadır.

6. Kaynaklar

- [1] Niharika, S. Verma, and V. Mukherjee, "Transmission expansion planning: A review," *2016 Int. Conf. Energy Effic. Technol. Sustain. ICEETS 2016*, pp. 350–355, 2016, doi: 10.1109/ICEETS.2016.7583779.
- [2] M. Mahdavi, C. Sabillon Antunez, M. Ajalli, and R. Romero, "Transmission Expansion Planning: Literature Review and Classification," *IEEE Syst. J.*, vol. 13, no. 3, pp. 3129–3140, 2019, doi: 10.1109/JSYST.2018.2871793.
- [3] R. Hemmati, R. A. Hooshmand, and A. Khodabakhshian, "Coordinated generation and transmission expansion planning in deregulated electricity market considering wind farms," *Renew. Energy*, vol. 85, pp. 620–630, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.07.019.
- [4] M. S. El-bages and W. T. Elsayed, "Social spider algorithm for solving the transmission expansion planning problem," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 143, pp. 235–243, Feb. 2017, doi: 10.1016/J.EPSR.2016.09.002.
- [5] X. Zhang, K. Tomsovic, A. Dimitrovski, X. Zhang, and K. Tomsovic, "Security Constrained Multi-Stage Transmission Expansion Planning Considering a Continuously Variable Series Reactor," *IEEE Trans. POWER Syst.*, vol. 32, no. 6, 2017, doi: 10.1109/TPWRS.2017.2671786.
- [6] A. M. Leite Da Silva, M. R. Freire, and L. M. Honório, "Transmission expansion planning optimization by adaptive multi-operator evolutionary algorithms," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 133, pp. 173–181, 2016, doi: 10.1016/j.epsr.2015.12.027.
- [7] H. Shayeghi and A. Bagheri, "Dynamic sub-transmission system expansion planning incorporating distributed generation using hybrid DCGA and LP technique," 2013, doi: 10.1016/j.ijepes.2012.11.029.
- [8] Z. Mahmoud Al-Hamouz and A. Sadiq Al-Faraj, "Transmission Expansion Planning Using Nonlinear Programming," 2002. doi: 10.1109/TDC.2002.1178259.
- [9] C. Macrae, M. Ozlen, and A. Ernst, "Transmission expansion planning considering energy storage," *2014 IEEE Int. Autumn Meet. Power, Electron. Comput. ROPEC 2014*, Feb. 2014, doi: 10.1109/ROPEC.2014.7036327.
- [10] C. A. G. MacRae, A. T. Ernst, and M. Ozlen, "A Benders decomposition approach to transmission expansion planning considering energy storage," *Energy*, vol. 112, pp. 795–803, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.ENERGY.2016.06.080.
- [11] T. Al-Saba and I. El-Amin, "The application of artificial intelligent tools to the transmission expansion problem," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 62, no. 2, pp. 117–126, Jun. 2002, doi: 10.1016/S0378-7796(02)00037-8.
- [12] G.-R. Kamyab, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Rashidinejad, "A PSO based approach for multi-stage transmission expansion planning in electricity markets," doi: 10.1016/j.ijepes.2013.06.027.
- [13] E. Luiz Da Silva, J. Mauricio, A. Ortiz, G. Couto De Oliveira, and S. Binato, "Transmission Network Expansion Planning Under a Tabu Search Approach," 2001. doi: 10.1109/59.910782.
- [14] N. Leeprechanon, P. Limsakul, and S. Pothiya, "Optimal Transmission Expansion Planning Using Ant Colony Optimization," *J. Sustain. Energy Environ.*, vol. 1, pp. 71–76, 2010.
- [15] M. Moradi, H. Abdi, S. Lumbrellas, A. Ramos, and S. Karimi, "Transmission Expansion Planning in the presence of wind farms with a mixed AC and DC power flow model using an Imperialist Competitive Algorithm," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 140, pp. 493–506, Nov. 2016, doi: 10.1016/J.EPSR.2016.05.025.
- [16] M. Moradi, H. Abdi, S. Lumbrellas, A. Ramos, and S. Karimi, "Transmission Expansion Planning in the presence of wind farms with a mixed AC and DC power flow model using an Imperialist Competitive Algorithm," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 140, pp. 493–506, 2016, doi: 10.1016/j.epsr.2016.05.025.
- [17] A. A. Heidari, S. Mirjalili, H. Faris, I. Aljarah, M. Mafarja, and H. Chen, "Harris hawks optimization: Algorithm and applications," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 97, pp. 849–872, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.FUTURE.2019.02.028.
- [18] O. Akdağ, A. Ateş, and C. Yeroğlu, "Harris Şahini Optimizasyon Algoritması ile Aktif Güç Kayıplarının Minimasyonu Minimization of Active Power Losses Using Harris Hawks Optimization Algorithm," vol. 22, no. 65, pp. 481–490, 2020, doi: 10.21205/deufmd.2020226516.
- [19] "Comparing the Solution Performances of the Heuristic and Metaheuristic Algorithms in."
- [20] R. Villasana, L. L. Garver, and S. J. Salon, "Transmission Network Planning Using Linear Programming," *IEEE Power Eng. Rev.*, vol. PER-5, no. 2, pp. 36–37, 1985, doi: 10.1109/MPER.1985.5528872.
- [21] C. Rathore and R. Roy, "A novel modified

- GBMO algorithm based static transmission network expansion planning,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 62, pp. 519–531, Nov. 2014, doi: 10.1016/J.IJEPES.2014.04.049.
- [22] C. Rathore, S. Raj, A. K. Sinha, and R. Roy, “Improved-mosquitoes-behaviour based (I-MOX) evolutionary algorithm in transmission network expansion planning,” *Int. Conf. Control. Instrumentation, Energy Commun. CIEC 2014*, pp. 538–543, Nov. 2014, doi: 10.1109/CIEC.2014.6959147.
- [23] C. Rathore and R. Roy, “Gbest-guided artificial bee colony algorithm based static transmission network expansion planning (STNEP),” *Proc. 2015 IEEE Int. Conf. Electr. Comput. Commun. Technol. ICECCT 2015*, Aug. 2015, doi: 10.1109/ICECCT.2015.7225959.
- [24] “View of Comparative Analysis of Constructive Heuristic Algorithms for Transmission Expansion Planning.” https://journalsojs3.fe.up.pt/index.php/upjeng/article/view/2183-6493_002.002_0006/47 (accessed Aug. 17, 2022).