

Kel Kartal Arama Optimizasyon Algoritması Kullanarak Çok Seviyeli SHE-PWM İnverter İçin Optimum Anahtarlama Açılımları Oluşturma

Yasin BEKTAŞ^{1*}

¹Elektrik-Enerji Bölümü /Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Aksaray Üniversitesi, Aksaray

*(yasinbektas@aksaray.edu.tr)

(Geliş Tarihi: 12 Temmuz 2023, Kabul Tarihi: 24 Temmuz 2023)

(5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2023, July 10 - 12, 2023)

ATIF/REFERENCE: Bektaş, Y. (2023). Kel Kartal Arama Optimizasyon Algoritması Kullanarak Çok Seviyeli SHE-PWM İnverter İçin Optimum Anahtarlama Açılımları Oluşturma. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(6), 57-64.

Özet – Bu çalışma, çok seviyeli bir kaskad inverter için optimum anahtarlama açılımlarının belirlenmesinde Kel Kartal Arama Optimizasyonu (BES) algoritmasını kullanmayı amaçlamaktadır. Çalışma, seçici harmonik eliminasyonu darbe genişlik modülasyonu (SHE-PWM) tekniği ve optimum toplam harmonik distorsiyonu (OMTHD) değeri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. MATLAB simülasyonları kullanılarak belirtilen optimizasyon algoritmasının etkinliği ve performansı 7 seviyeli üç fazlı kaskad çok seviyeli inverter üzerinde değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları, BES tabanlı SHE-PWM yönteminin çok seviyeli inverter için optimum anahtarlama açılımlarının belirlenmesinde başarılı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler – Çok Seviyeli İnverter, Seçici Harmonik Eliminasyonu, THD, Kel Kartal Arama Optimizasyon Algoritması

I. GİRİŞ

Farklı seviyelerdeki doğru akım (DC) gerilimlerinin kullanılmasıyla çok seviyeli bir inverter kullanarak sinüzoidal gerilim dalga formu elde edilebilir. Kaskad H-köprülü (CHB) çok seviyeli inverter, modüler yapısı sayesinde daha az hata toleransı ve yüksek güvenilirlik sağlaması nedeniyle özel ilgi çekmektedir. Kontrol teknikleri ve donanımda minimum değişikliklerle seviye sayısının artırılması kolaydır [1,2]. Sonuç olarak, CHB çok seviyeli inverterler, motor sürücü uygulamaları ve yenilenebilir enerji (rüzgâr ve güneş enerjisi) alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha iyi bir sinüzoidal dalga formu elde etmek için çıkış gerilimindeki seviye sayısının artırılması veya her H-köprüsünde farklı DC kaynaklarının kullanıldığı asimetrik CHB

çok seviyeli inverterler kullanılarak yapılabilir. Bu sayede çıkış geriliminin basamaklı dalga formu nedeniyle ortama daha az harmonik sağlar. Bununla birlikte, bazı çalışmalar harmonik içeriğin azaltılmasını sağlayacak yüksek verimli teknikler sunulmuştur ve bu doğrultuda sinüzoidal SPWM, SHE-PWM ve uzay vektör modülasyonu (UVM) gibi farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir [3-5]. Ancak, PWM yaklaşımlarıyla düşük dereceli/sıralı harmonikler tamamen ortadan kaldırılamaz. SHE-PWM (veya programlanmış PWM), sisteme zarar veren belirli düşük sıralı harmonikleri bastırabilirken yüksek sıralı harmonikler filtre [6] tarafından ortadan kaldırılır. Bu nedenle, filtrelili SHE-PWM çıkış gerilimi ve inverterin çıkış akımı için daha iyi sinüzoidal dalga formu sağlar. SHE-PWM'nin doğrusal olmayan transandantal

denklemlerin sayısal çözümü temel bir sorundur. Bu denklemler, çözümü çok zor olan trigonometrik terimler içerir. Dolayısıyla, SHE tekniği için sorun, bu denklemlerin çözümüdür. Bu denklemlerin çözümü için iki yaklaşım vardır: sayısal tekrarlı teknikler ve evrimsel algoritmalar. Newton-Raphson yöntemi, sayısal tekrarlı yöntemlerin bir örneğidir ve kesin çözüme dar bir başlangıç tahmini gerektirir [5]. Genetik algoritma, diferansiyel evrim, parçacık sürüsü, arı, koloni rekabeti, ateşböceği, kızıl geyik ve yarasa optimizasyon algoritmaları, evrimsel yöntemlerin örnekleridir ve karmaşık türevlerden arındırılmış basit algoritmalar [7-13]. SHE-PWM, diğer modülasyon tekniklerinde bulunmayan birçok avantaja sahiptir; basitlik, anahtarlamalı kayıpların düşük olması ve istenen herhangi bir harmoniği ortadan kaldırılabilmesi.

Bu çalışmadaki yenilik, referans [14]'de geliştirilen Kel Kartal Arama Optimizasyon Algoritmasının (BES) SHE-PWM denklemlerine ilk defa uygulanmasıdır. BES algoritması kullanılarak hem SHE için hem de optimum THD için anahtarlama açıları 3 fazlı 7 seviyeli kaskad h-köprü inverter için uygulanmıştır.

II. KASKAD ÇOK SEVİYELİ İNVERTER

A. Devre topolojisi

Kaskad H-köprü çok seviyeli inverter (CHB-MLI), 7-seviyeli bir inverter için Şekil 1 (a)'da gösterildiği gibi birkaç tek fazlı H-köprü inverterin seri bağlanmasıyla oluşturulur. CHB-MLI çıkış fazı gerilim seviyelerinin sayısı, $N=2s+1$ ile verilir. Burada s , faz başına H-köprü sayısıdır. Her bir H-köprü ayrı bir DC kaynaktan beslenmektedir. Her bir H-köprü S_1 , S_2 , S_3 ve S_4 anahtarların

kombinasyonları seçilerek $+V_{DC}$, 0 ve $-V_{DC}$ değerlerine sahip üç farklı gerilim seviyesi elde edilir. H-köprü anahtarlarının çıkışları, sentezlenen AC gerilim dalga formu, kaskad H-köprü hücrelerinden gelen tüm gerilimlerin toplamı olacak şekilde seri bağlanır.

B. SHE-PWM tekniğinin matematiksel modeli

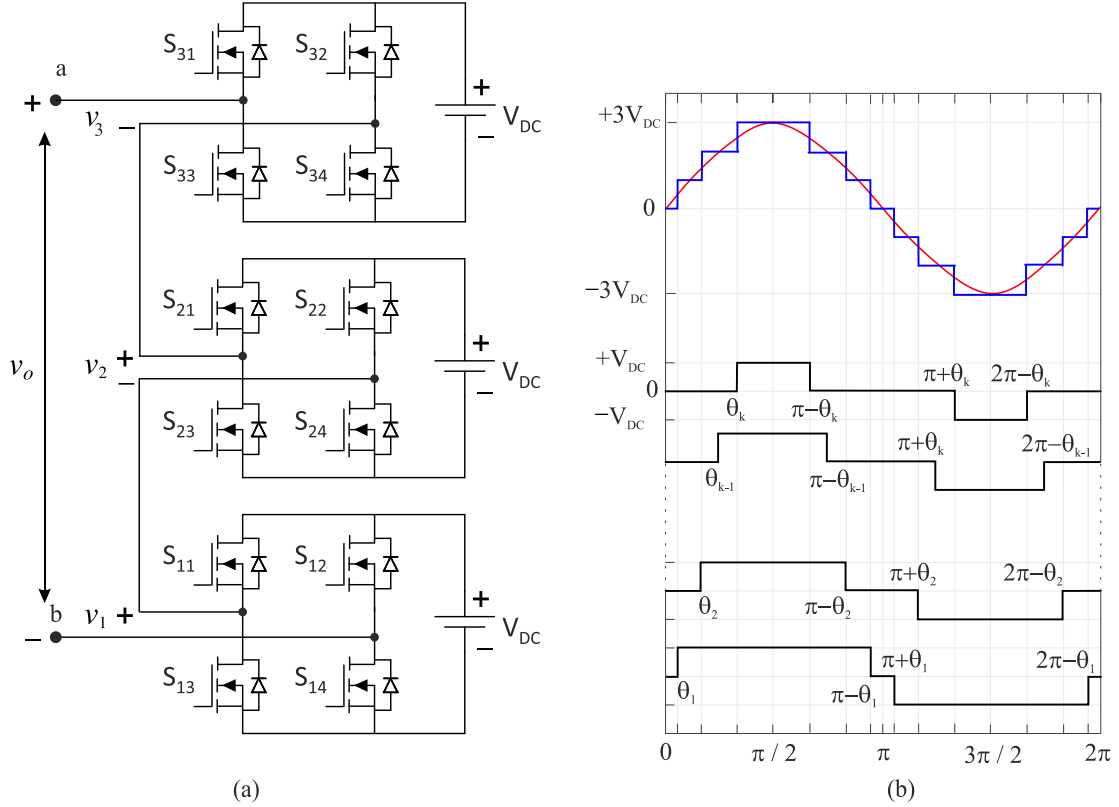
Seçici Harmonik Eliminasyonu (SHE), düşük frekanslarda kullanılan bir PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) tekniğidir. Amacı, çıkış gerilimini kontrol ederken temel harmoniği istenen değere ayarlamak ve seçilen harmonikleri ortadan kaldırarak sinüzoidal bir AC çıkış gerilim dalga şekli elde etmektir. SHE-PWM uygulandıktan sonra, kalan önemsiz yüksek dereceli harmonikleri küçük bir pasif filtre kullanarak yok edilebilir. SHE-PWM tekniğinde, farklı modülasyon indeksleri için optimum anahtarlama açılarını bulmak için lineer olmayan m adet denklem çözülür. Çok seviyeli inverterin çıkış gerilim dalga formu denklem (1) tarafından Fourier Serisi açılımı ile temsil edilir

$$V_{ab}(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n \sin(n\omega t) \quad (1)$$

Burada v_n , harmoniklerin genliğidir ($v_1, v_5, v_7, \dots, v_n$) ve denklem (2) ile temsil edilir:

$$v_n = \begin{cases} \frac{4}{n\pi} \times \sum_{k=1}^s [v_{dc} \cos(n\theta_k)] & n \text{ tek ise} \\ 0 & n \text{ çift ise} \end{cases} \quad (2)$$

Burada $0 \leq \theta_1 < \theta_2 < \theta_3 \leq \frac{\pi}{2}$ koşulunu sağlamalıdır.



Şekil 1. Tek fazlı 7 seviyeli CHB-MLI (a) devre yapısı (b) çıkış gerilimi dalga formu

Seçici harmonik eliminasyon yönteminde, çok seviyeli inverterin çıkış gerilimi dalga biçiminden istenen düşük dereceli harmonikleri azaltan veya yok eden denklemler (3)'teki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} V_1 &= \cos(\theta_1) + \cos(\theta_2) + \cos(\theta_3) = M k \pi / 4 \\ V_5 &= \cos(5\theta_1) + \cos(5\theta_2) + \cos(5\theta_3) = 0 \\ V_7 &= \cos(7\theta_1) + \cos(7\theta_2) + \cos(7\theta_3) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

(3)'de verilen M ifadesi modülasyon indeksini temsil eder. Modülasyon indeksi istenen temel gerilimin tepe değerinin (V_{1p}), DC kaynak geriliminin toplamına oranıdır ($M = V_{1p} / \sum V_{dc}$).

Çalışmada iki farklı harmonik değer ölçülmüştür. Birincisi %THD, diğeri %THDe değeridir. Bu harmoniklerin denklemleri sırasıyla denklem (4) ve (5)'de verilmiştir. %THD sınır değeri normalde sonsuzdur ancak 50. harmoniğe kadar dikkate alınacaktır. THDe, elimine edilecek harmoniklerin toplam değerini temsil eder. THDe [15] değeri hesaplanırken elimine edilecek maksimum harmonik değeri dikkate alınır. Yedi seviyeli için elimine edilecek maksimum harmoniğin derecesi 7'dir.

$$\%THD = \frac{\sqrt{V_5^2 + V_7^2 + V_{11}^2 + \dots + V_{49}^2}}{|V_1|} \quad (4)$$

$$\%THD_e = \frac{\sqrt{V_5^2 + V_7^2 + \dots}}{|V_1|} \quad (5)$$

III. KEL KARTAL ARAMA OPTİMİASYON ALGORİTMASI

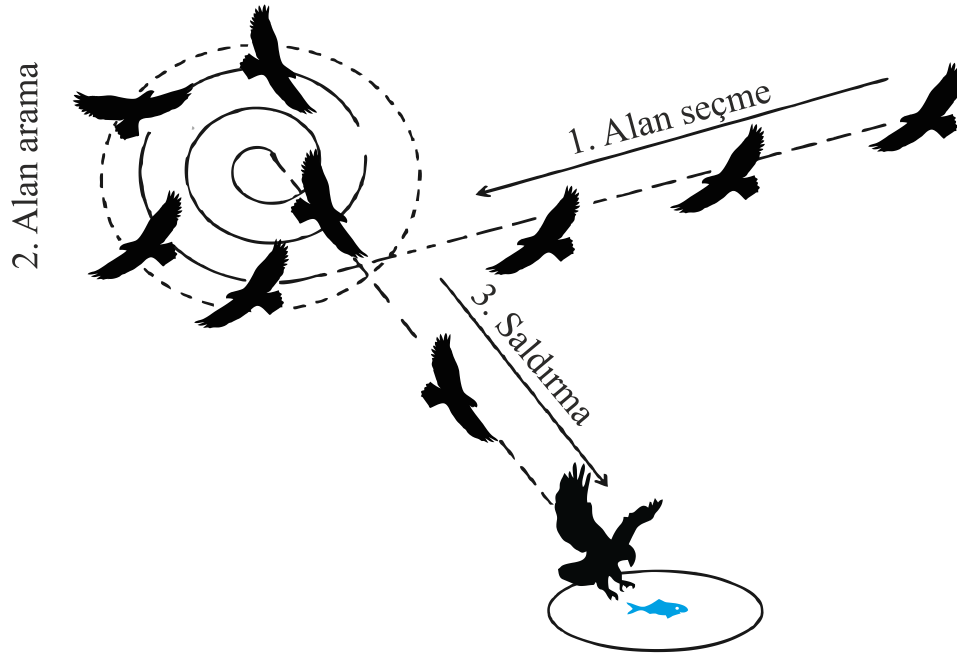
A. İlham

Kel Kartal Arama Optimizasyon Algoritması (BES), doğadan esinlenen bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma, kartalın avlanma stratejisinden ilham alarak geliştirilmiştir. BES'in temel fikri, Şekil 2'de gösterildiği üzere kartalın avını arama ve yakalama stratejisine dayanır. Algoritma, bir popülasyonun oluşturulmasıyla başlar, her bir bireyin bir çözümünü temsil ettiği bir arama alanında arama yapar. Her iterasyonda, bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır ve daha iyi çözümlere doğru ilerlemek için bir arama stratejisi uygulanır. BES'in avantajları arasında basitlik, hızlı yakınsama, paralel hesaplama yeteneği ve genel optimizasyon problemlerinde etkinlik bulunur. Ancak, parametre ayarı ve bazı problemlerde yakınsama hızı gibi zorluklar da olabilir [16]. BES, karmaşık optimizasyon problemlerinde kullanılabilen etkili bir meta-sezgisel algoritmadır ve geniş bir uygulama alanına sahiptir.



Şekil 2. Kel kartalın avlanma sırasındaki davranışı

BES algoritması, arama alanının seçimi, seçilen arama alanı içinde arama yapma ve dalış yapma



Şekil 3. Kel kartal avlanma sürecinin ardışık üç aşaması

Kartallar önceki arama alanından farklı, ancak yakınında bulunan başka bir arama alanını rastgele seçerler. P_{best} , yaban kartallarının önceki arama sırasında belirledikleri en iyi konuma dayanarak şu anda seçtikleri arama alanını temsil eder. Kartallar önceki seçilen arama alanına yakın noktalarda rastgele arama yaparlar. Bu arada, P_{mean} , kartalların önceki noktalardan tüm bilgileri kullandığını ifade eder. Yaban kartallarının mevcut hareketi, rastgele aranan önceki bilginin α ile çarpılmasıyla belirlenir. Bu süreç, tüm arama noktalarını rastgele değiştirir [17].

olmak üzere üç bölüme ayrılabilir. Bu durum Şekil 3'de görsel olarak tasvir edilmiştir.

1. Seçim aşaması

Seçim aşamasında, yaban kartalları av için seçilen arama alanı içinde en iyi bölgeyi (besin miktarı açısından) belirler ve seçer. Bu davranışı matematiksel olarak (6)'da ifade edilmiştir.

$$P_{new}, \quad i = P_{best} + \alpha * r(P_{mean} - P_i) \quad (6)$$

Burada α , pozisyon değişikliklerini kontrol etmek için kullanılan bir parametredir ve değeri 1.5 ile 2 arasında olabilir. r ise 0 ile 1 arasında değer alabilen bir rastgele sayıdır. Seçim aşamasında, yaban kartalları önceki aşamadan elde ettikleri mevcut bilgilere dayanarak bir bölge seçerler.

2. Arama Aşaması

Arama aşamasında, yaban kartalları seçilen arama alanı içinde av için arama yapar ve arama sürecini hızlandırmak için spiral bir alanda farklı yönlere hareket ederler. Dalış için en iyi konum (7) ile matematiksel olarak ifade edilir.

$$P_{i, \text{new}} = P_i + y(i) * (P_i - P_{i+1}) + x(i) * (P_i - P_{\text{mean}})$$

$$x(i) = \frac{xr(i)}{\max(|xr|)}, \quad y(i) = \frac{yr(i)}{\max(|yr|)} \quad (a)$$

$$xr(i) = r(i) * \sin(\phi(i)), \quad yr(i) = r(i) * \cos(\phi(i)) \quad (b)$$

$$(i) = a * \pi * \text{rand} \quad (c), \quad r(i) = \phi(i) + R * \text{rand} \quad (d), \quad (7)$$

Burada a, merkez noktada yapılan nokta araması arasındaki açığı belirlemek için kullanılan bir parametredir ve değeri 5 ile 10 arasında olabilir. R

ise arama döngülerinin sayısını belirlemek için kullanılan bir parametredir ve değeri 0.5 ile 2 arasında olabilir. Ayrıca, a ve R spiral şeklindeki değişim için parametreleri temsil eder.

3 Dalış Aşaması

Dalış aşamasında, yaban kartalları arama alanındaki en iyi konumdan hedef avlarına doğru salınır. Tüm noktalar aynı zamanda en iyi noktaya doğru hareket eder. Bu davranış matematiksel olarak (8) ile gösterilir.

$$P_{i, \text{new}} = r \text{ and} * P_{\text{best}} + x_1(i) * (P_i - c_1 * P_{\text{mean}}) + y_1(i) * (P_i - c_2 * P_{\text{best}})$$

$$x_1(i) = \frac{xr(i)}{\max(|xr|)}, \quad y_1(i) = \frac{yr(i)}{\max(|yr|)} \quad (8)$$

$$xr(i) = r(i) * \sinh[\phi(i)], \quad yr(i) = r(i) * \cosh[\phi(i)]$$

$$\phi(i) = a * \pi * \text{rand} \text{ ve } r(i) = \phi(i)$$

Kartalların hareketi farklı şekiller alır. Dalış yaparken bu kartalların hareketini göstermek için kutupsal bir denklem kullanılır. Ayrıca, en iyi noktayı hesaplamak için mevcut ve merkez noktaları arasındaki farkı kutupsal ekseninde yer alan noktayla çarpılır ve mevcut ve en iyi noktalar arasındaki farkı kutupsal ekseninde yer alan noktayla çarpılır. En iyi çözüm, parametreler c_1 ve c_2 'nin yaban kartallarının en iyi ve merkez noktalarına doğru hareket yoğunluğunu arttırması nedeniyle rastgele bir sayıyla çarpılmalıdır.

B. BES SHE-PWM yöntemine uygulanması

MATLAB yazılımı kullanılarak, önerilen BES algoritması, 7 seviyeli inverterde seçilen harmonikleri karakterize eden (3) ile SHE denklemlerini çözmek için uygulandı. Popülasyon boyutu 50, ve iterasyon sayısı 100'dür. Çözümler, 0.1'den 1'e 0,10'lik adımlarla M modülasyon indeksinin artırılmasıyla hesaplandı. Intel(R) Core (TM) i7-10870H CPU @ 2.20GHz ,16,0 GB, GeForce RTX 2060 NVIDIA ekran kartına sahip kişisel bilgisayar kullanıldı. Her adımda belirlenen çözüm uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilir. Buradaki amaç, temel gerilim istenen değerde elde edilirken, seçilen düşük dereceli harmonikler ya yok edilecek ya da kabul edilebilir bir düzeye indirilecek şekilde anahtarlama açılarının belirlenmesidir. SHE için anahtarlama açıları denklem (9)'da verilen

uygunluk fonksiyonu kullanılırken OMTHD için (10)'da verilen uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır.

$$f = \min_{\theta_i} \left\{ |V_{\text{ref}} - V_{1p}| + (V_5)^2 + (V_7)^2 \right\} = 0 \quad (9)$$

$$f = \min_{\theta_i} \left\{ |V_{\text{ref}} - V_{1p}| + (V_5)^2 + (V_7)^2 + \dots + (V_{49})^2 \right\} = 0 \quad (10)$$

Denklem (9) ve (10)'da V_{ref} istenilen temel gerilimin maksimum değerini temsil eder iken V_{1p} hesaplanan anahtarlama açıları invertere uygulandığında inverter çıkışında elde edilen temel gerilimin maksimum değerini temsil etmektedir. Temel gerilimin temel frekansı 50Hz'dir. Toplam kaynak gerilim değerleri maksimum 311 volt olacak şekilde seçilmiştir. Yani yedi seviyeli inverter için tüm kaynaklar 311/3 volt olacak şekilde seçilmiştir. Yük olarak RL yükü seçilmiştir. R direnç değeri 10ohm, ve L bobin değeri 5mH olarak alınmıştır.

IV. SİMÜLASYON SONUÇLARI

SHE-PWM ve OMTHD simülasyon sonuçları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi BES algoritması 7 seviyeli inverter için 0.1 ile 1.0 modülasyon indeksi aralığında SHE-PWM için uygun çözümler bulabilmiştir. Referans değerle istenilen temel gerilimi %0.3'den daha az hata ile kontrol edildiği

görülmektedir. Seçilen harmoniklerin etkin bir şekilde bastırıldığı modülasyon aralığı 0.5 ile 1.0 modülasyon indeksi aralığıdır. Bu değer aralığına bakıldığında hem THDe değeri hem de 5'inci ve 7'inci harmonik değerleri %0.09'un altındadır.

Şekil 4(a)'da modülasyon indeksine karşı SHE-PWM için hesaplanan anahtarlama açıları görülmektedir. Şekil 4(b)'de ise %THD, %THDe değerleri ile 5'inci ve 7'inci harmoniklerin modülasyon indeksine göre değişim grafiği verilmiştir. %THD değeri %7.64 iken %THDe değeri %0.04 olarak hesaplanmıştır.

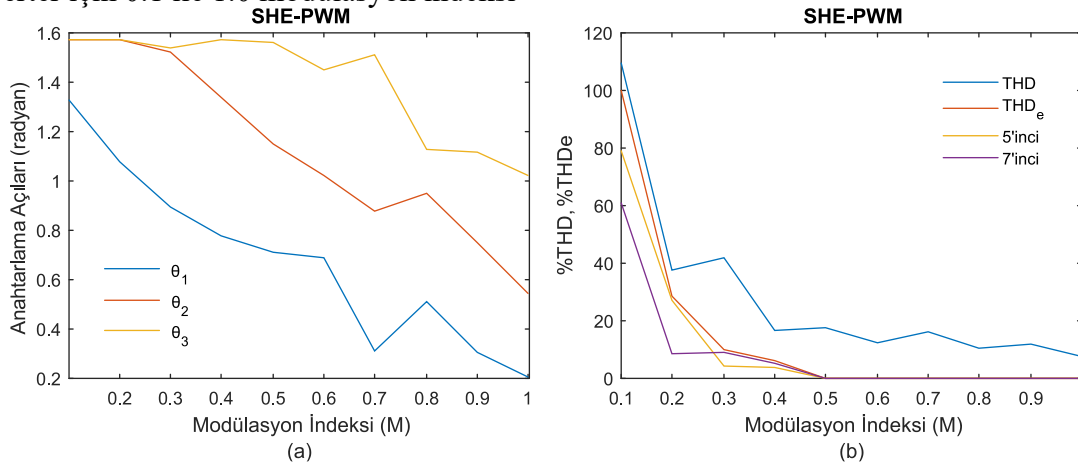
Şekil 5(a) da birim modülasyon indeksi için inverter yük gerilimi SHE-PWM durumu için gösterilmiştir. %THD ve %THDe değeri sırasıyla Şekil 5(b) ve 5(c)'de verilmiştir. Şekil 5c'de gibi birim modülasyon indeksi için temel çıkış gerilimi (%0.27 hata ile) 310.3V(tepe), h_5 =%0.02 (V_5 =0.08V), h_7 =%0.04 (V_7 =0.11V) olarak bulunmuştur.

Tablo 2'de görüldüğü gibi BES algoritması 7 seviyeli inverter için 0.1 ile 1.0 modülasyon indeksi

aralığında OMTHD için uygun çözümler bulabilmiştir. Referans değerle istenen temel gerilimi %0.3'den daha az hata ile kontrol edildiği görülmektedir. 0.5 ile 1.0 modülasyon indeksi aralığı için THD değerinin SHE-PWM yöntemine göre daha az olduğu görülebilir.

Şekil 6(a)'da modülasyon indeksine karşı hesaplanan OMTHD için hesaplanan anahtarlama açıları görülmektedir. Şekil 5(b)'de ise %THD, %THDe değerleri ile 5'inci ve 7'inci harmoniklerin modülasyon indeksine göre değişim grafiği verilmiştir. %THD değeri %6.89 iken %THDe değeri %3.87 olarak hesaplanmıştır.

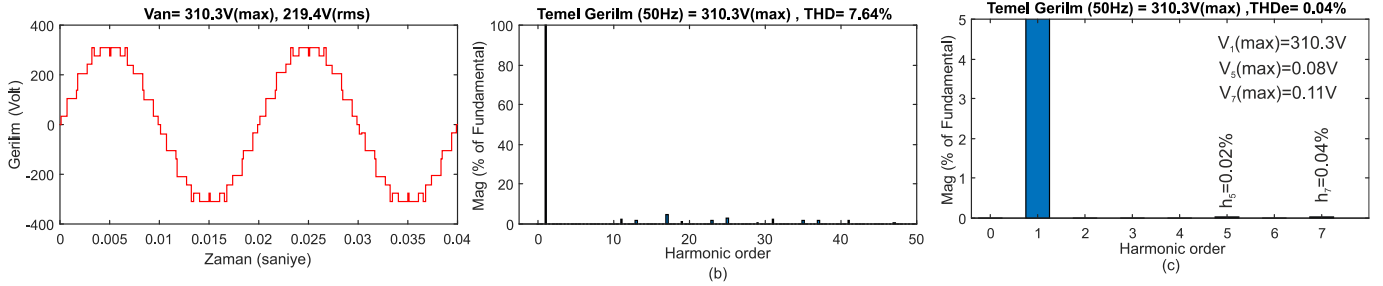
Şekil 6(a) da birim modülasyon indeksi için inverter yük gerilimi OMTHD durumu için gösterilmiştir. %THD ve %THDe değeri sırasıyla Şekil 6(b) ve 6(c)'de verilmiştir. Şekil 6c'de gibi birim modülasyon indeksi için temel çıkış gerilimi (%0.27 hata ile) 310.3V(tepe), h_5 =%1.44 (V_5 =4.48V), h_7 =%3.59 (V_7 =11.13V) olarak bulunmuştur.



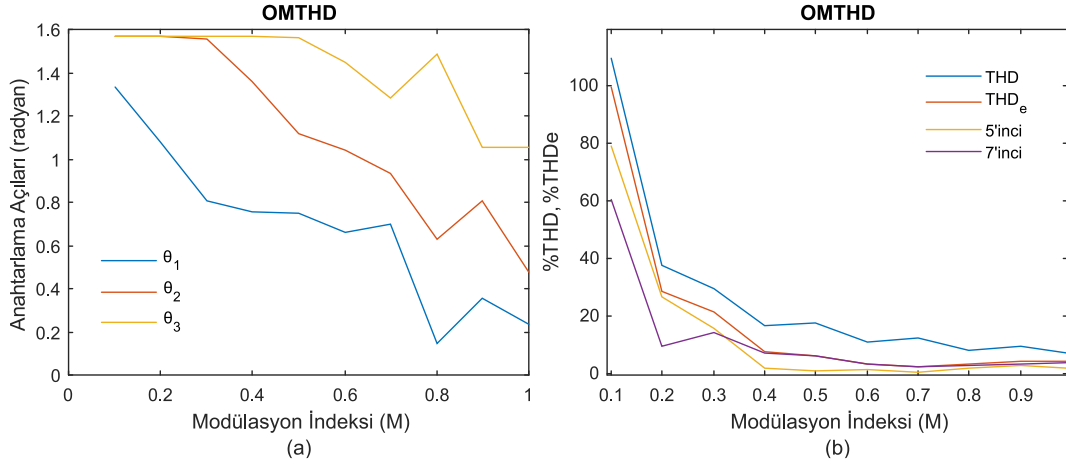
Şekil 4. 7 seviyeli inverter için modülasyon indeksine karşı (SHE-PWM) (a) anahtarlama açıları (b) THD, THDe, 5'inci ve 7'inci harmonik genliği grafikleri

Tablo 1. SHE-PWM için simülasyon sonuçları

M	θ_1	θ_2	θ_3	Vref(rms)	V1p(rms)	Hata(%)	%THD	%THDe	h_5	h_7
0.10	1.3337	1.5708	1.5708	22	21.94	0.27	109.58	99.94	79.13	61.04
0.20	1.0801	1.5708	1.5708	44	44	0.00	37.77	28.49	27.17	8.55
0.30	0.8930	1.5241	1.5377	66	65.85	0.23	41.990	9.970	4.310	8.990
0.40	0.7756	1.3403	1.5708	88	87.84	0.18	16.910	6.440	3.710	5.260
0.50	0.7116	1.1489	1.5595	110	109.7	0.27	17.460	0.110	0.080	0.010
0.60	0.6882	1.0225	1.4504	132	131.7	0.23	12.410	0.090	0.020	0.080
0.70	0.3127	0.8801	1.5100	154	153.6	0.26	16.120	0.030	0.030	0.020
0.80	0.5103	0.9501	1.1255	176	175.6	0.23	10.730	0.040	0.010	0.000
0.90	0.3056	0.7514	1.1194	198	197.4	0.30	11.810	0.020	0.000	0.020
1.00	0.2039	0.5442	1.0224	220	219.4	0.27	7.640	0.040	0.020	0.030



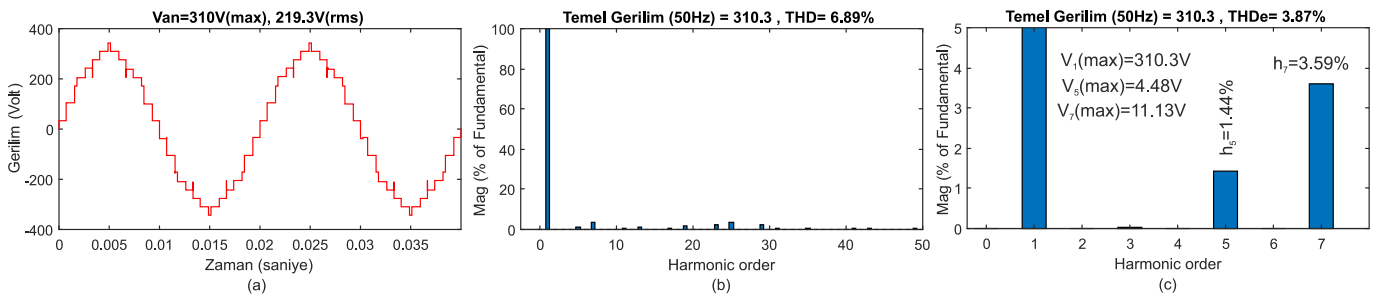
Şekil 5. Yük gerilimi (a) dalga formu (b) %THD ve (c) %THDe (SHE-PWM için)



Şekil 6. 7 seviyeli inverter için modülasyon indeksine karşı (OMTHD) (a) anahtarlama açıları (b) THD, THDe, 5'inci ve 7'inci harmonik genliği grafikleri

Tablo 2. OMTHD için simülasyon sonuçları

M	θ_1	θ_2	θ_3	Vref(rms)	V1p(rms)	Hata (%)	%THD	%THDe	h ₅	h ₇
0.10	1.3329	1.5708	1.5708	22	21.95	0.23	109.14	99.420	79.030	60.320
0.20	1.0784	1.5708	1.5708	44	44.03	0.07	37.29	28.160	26.650	9.100
0.30	0.8064	1.5560	1.5708	66	65.87	0.20	29.14	21.020	15.640	14.050
0.40	0.7532	1.3561	1.5708	88	87.79	0.24	16.67	7.270	1.480	7.120
0.50	0.7477	1.1163	1.5650	110	109.7	0.27	17.19	6.140	0.550	6.110
0.60	0.6635	1.0444	1.4471	132	131.6	0.30	10.96	3.320	1.110	3.130
0.70	0.6957	0.9325	1.2809	154	153.6	0.26	12.07	1.980	0.020	1.980
0.80	0.1454	0.6270	1.4850	176	175.5	0.28	8.07	3.210	1.760	2.690
0.90	0.3573	0.8095	1.0543	198	197.4	0.30	9.30	4.260	2.850	3.170
1.00	0.2358	0.4777	1.0520	220	219.3	0.32	6.89	3.870	1.440	3.590



Şekil 7. Yük gerilimi (a) dalga formu (b) %THD ve (c) %THDe (OMTHD için)

Tablo 1 ile Tablo 2 kıyaslandığında THD değeri SHE-PWM için hesaplanan THD değerinin daha

düşük olduğu görülebilir. Burada algoritma seçilen harmoniklerin elimine edilmesinden ziyade optimum THD değerine yoğunlaşmıştır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çok seviyeli inverterlerde SHE denklemlerini çözmek için yeni geliştirilen Kel Kartal Arama Optimizasyon Algoritması (BES) algoritması ilk kez uygulanmıştır.

BES tabanlı SHE-PWM tekniği ve OMTHD, üç fazlı 7, seviyeli kaskad çok seviyeli üzerinde test edilmiştir. Önerilen algoritma 0.1 ile 1.0 modülasyon indeksi aralığında SHE-PWM için uygun çözümler bulma yeteneği göstermiştir. Seçilen harmoniklerin %0.09'dan daha az oranda etkili bir şekilde ortadan kaldırıldığı ve %0.3'den daha az hata ile temel gerilimin kontrol edilebildiği modülasyon aralığının 0.5 ile 1.0 modülasyon aralığı olduğu görülmüştür. OMTHD için ise 0.1 ile 1.0 modülasyon indeksi aralığında uygun çözümler bulunmuştur. Önerilen BES tabanlı SHE-PWM farklı seviyelerdeki çok seviyeli inverterler için uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] K. N. V. Prasad, G. R. Kumar, T. V. Kiran, & G. S. Narayana, "Comparison of different topologies of cascaded H-Bridge multilevel inverter", In 2013 International Conference on Computer Communication and Informatics (pp. 1-6). IEEE, 2013.
- [2] T. Porselvi, and R. Muthu, "Comparison of Cascaded H-Bridge, Neutral Point Clamped and Flying Capacitor Multilevel Inverters Using Multicarrier PWM, In India Conference (INDICON)", 2011 Annual IEEE, Hyderabad, India: IEEE. pp. 1-4, 2011
- [3] A. Alzahmi, "Power Management Systems for Harmonic Elimination Using Hybrid Artificial Neural Networks Approaches" Electric Power Components and Systems, 1-14, 2023.
- [4] P. Ramasamy, R. Ravindran, N. Gupta, G. Sardana, I. Sekar, V. A. Marthanda, & S. Kuppasamy, "Simulation of 3D-space vector modulation for neutral point clamped inverters", Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 12(2), 719-726, 2023.
- [5] Y. Sahali, and M. Fellah, "Selective Harmonic Eliminated Pulse-Width Modulation Technique (SHE PWM) Applied to Three-Level Inverter/Converter, In Industrial Electronics", ISIE'03. 2003 IEEE International Symposium on, Rio de Janeiro, Brazil: IEEE. pp. 1112-1117, 2003.
- [6] Ö. A. Karaman, F. Erken, & M. Cebeci, "Decreasing harmonics via three phase parallel active power filter using online adaptive harmonic injection algorithm" Tehnički vjesnik, 25(Supplement 1), 157-164, 2018.
- [7] E. Bektas, & H. Karaca, "GA based selective harmonic elimination for multilevel inverter with reduced number of switches: an experimental study", Elektronika ir Elektrotehnika, 25(3), 10-17, 2019
- [8] S. Debnath, and R. N. Ray. 2012, "Harmonic Elimination in Multilevel Inverter Using GA and PSO: A Comparison", Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS), 2012 IEEE Students' Conference on, Bhopal, India, pp. 1-5, 2012.
- [9] R. N. Ray, D. Chatterjee, and S. K. Goswami, "An Application of PSO Technique for Harmonic Elimination in a PWM Inverter", Applied Soft Computing 9: 1315-1320. doi:10.1016/j.asoc.2009.05.002, 2009.
- [10] A. Maswood, and S. Wei., "Genetic-Algorithm-Based Solution in PWM Converter Switching", IEE Proceedings-Electric Power Applications 152: 473-478, 2005
- [11] M. A. Memon, S. Mekhilef, M. Mubin, and M. Aamir, "Selective Harmonic Elimination in Inverters Using Bio-inspired Intelligent Algorithms for Renewable Energy Conversion Applications: a Review", Renewable and Sustainable Energy Reviews 82: 2235-2253, 2018.
- [12] Y. Bektaş, & H. Karaca, "Red deer algorithm based selective harmonic elimination for renewable energy application with unequal DC sources". Energy Reports, 8, 588-596, 2022.
- [13] Y. Bektaş, & H. Karaca, "Red deer algorithm based harmonic mitigation for asymmetric cascaded multilevel inverters", In 2022 57th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST) (pp. 1-4). IEEE, 2022.
- [14] H. A. Alsattar, A. A. Zaidan, & B. B. Zaidan, "Novel meta-heuristic bald eagle search optimisation algorithm", Artificial Intelligence Review, 53, 2237-2264, 2020.
- [15] E. Bektas, & H. Karaca, Harmonic minimization technique for multilevel inverter using cascaded H-bridge modules. In Proceedings of international scientific conference, UNITEC (Vol. 1, pp. 139-143), 2015
- [16] S. Ferahtia, H. Rezk, M. A. Abdelkareem, & A. G. Olabi, Optimal techno-economic energy management strategy for building's microgrids based bald eagle search optimization algorithm. Applied Energy, 306, 118069, 2022.
- [17] A. Hatamlou, Black hole: a new heuristic optimization approach for data clustering. Inf Sci 222:175, 2012.