



Makale / Research Paper

**Türkiye Elektrik Şebekesinde Güneş Kurulu Gücünün Artırılmasında
Öncelikli Stratejilerin Bir Bulanık Analitik Ağ Proses Yaklaşımı ile
Değerlendirilmesi**

Fazıl KAYTEZ^a

^aEnerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Enerji Politikaları ve Teknoloji Dairesi
Başkanlığı Ankara/TÜRKİYE
fkaytez@enerji.gov.tr

Received/Geliş: 16.04.2021

Accepted/Kabul: 14.06.2021

Öz: Artan tüketim, elektrik üretim maliyetleri, ekonomik ve çevresel kaygılar nedeniyle, ülkeler günümüzde elektrik üretimlerini, fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji ile karşılamaya çabalamaktadır. Elektrik şebekelerinde yenilenebilir gücün payının artırılmasında, üretim maliyetlerindeki düşüş ve potansiyeli ile fotovoltaik (FV) paneller itici bir güç haline gelmiştir. Ülkelerin uzun dönemli enerji planlamaları içerisinde bütün yenilenebilir kaynakların ayrı ayrı gelişim stratejilerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Ancak, karar vericiler tarafından sağlanan karar bilgileri, genellikle zaman sınırı, dış etkenler ve veri eksikliğinden dolayı belirsizdir. Hedeflerin ve kısıtlamaların doğası gereği belirsiz olduğu bu gibi durumlarda bulanık bir karar sürecinin oluşturulması doğru bir planlama süreci için oldukça kritiktir. Bu çalışmada, Türkiye elektrik şebekesindeki güneş kurulu kapasitesini artırmak için; Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler (GZFT) belirlenerek, yedi farklı alternatif strateji ortaya konulmuştur. GZFT faktörlerinin ve tüm alt faktörlerin ağırlıkları, Bulanık Analitik Ağ Süreci (BAAS) yaklaşımı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre Türkiye'de özel konut ve kamu binalarının elektrik üretiminde etkin bir şekilde kullanılmadığı ve bu alanlar için bazı teknik ve özel düzenlemelere öncelik verilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji planlama; güneş gücü; bulanık teori; analitik ağ süreci

**Evaluation of Priority Strategies for Increasing Solar Power Capacity in
Turkey's Electricity Grid Using a Fuzzy Analytic Network Process
Approach**

Abstract: Because of rising consumption, rising electricity generation costs, and economic and environmental concerns, most countries are attempting to meet their electricity generation needs through renewable energy rather than fossil fuels. With their low production costs and high potential, photovoltaic (PV) panels have become a driving force in increasing the share of renewable energy in power grids. It is critical for countries to determine the development strategies for all renewable resources separately in their long-term energy planning. However, decision makers' decision information is frequently ambiguous due to time constraints, external factors, and a lack of data. In situations where the objectives and constraints are inherently uncertain, establishing a fuzzy decision process is critical to accurate planning. Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT) are identified in this study, and seven alternative strategies are proposed to increase solar installed capacity in the Turkish electricity grid. The Fuzzy Analytical Network Process (FAAP) approach was used to determine the weights of the SWOT factors and all sub-factors. According to the findings, it was concluded that private residences and public buildings are not used effectively in electricity generation in Turkey and that some technical and special arrangements should be given priority for these areas.

Keywords: Energy planning; solar power; fuzzy theory; analytic network process

Bu makaleye atf yapmak için

Kaytez F, "Türkiye Elektrik Şebekesinde Güneş Kurulu Gücünün Artırılmasında Öncelikli Stratejilerin Bir Bulanık Analitik Ağ Proses Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8 (3); 1309-1322.

How to cite this article

Kaytez F, "Evaluation of Priority Strategies for Increasing Solar Power Capacity in Turkey's Electricity Grid Using a Fuzzy Analytic Network Process Approach" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8 (3); 1309-1322.

ORCID ID: 0000-0001-6156-4772

1. Giriş

Nüfus artışları, teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve insanların yaşam standartlarının yükselmesi gibi çeşitli nedenlerle, ülkelerin enerji talebi ve kurulu gücü her geçen gün orantılı olarak artmaktadır. Bugün dünyada hâlihazırda kullanılan enerjinin % 80'den daha fazlası fosil kökenli petrol, kömür ve doğalgaz gibi yenilenemez enerji kaynaklarından sağlanmaktadır [1]. Özellikle, 1973 yılındaki petrol krizinden sonra birçok gelişmiş ülke fosil yakıtları dönüştürme sistemleri ve farklı alternatif olabilecek yeni enerji kaynakları arayışına yöneldi. Yıllar içerisindeki gelişmeler alternatif enerji kaynakları olarak güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle ve hidrojen gibi enerji bileşenlerini ön plana çıkardı. Bu enerji kaynaklarının yenilenebilir ve çevre dostu olması, gelişmiş ülkelerin bu tür enerji dönüşüm sistemlerine yatırım yapmalarını ve teknolojilerini bu yönlü hızla ilerletmelerini sağlamıştır. 2018 yılı sonunda, hidroelektrik santraller hariç dünyanın toplam yenilenebilir enerji kapasitesi 1179 GW ve toplam kapasitenin 480 GW'ı (% 40,7'si) güneş kurulu gücünden oluşmaktaydı. 2020 yılındaki küresel yenilenebilir enerji kapasitesi ilaveleri, Covid-19 salgınının neden olduğu ekonomik yavaşlamaya rağmen birçok uluslararası kuruluşun yapmış olduğu tahminleri geride bırakmıştır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) verilerine göre, sadece 2020 yılında toplam 260 GW'dan daha fazla yenilenebilir enerji kapasitesinin şebekelere eklendiğini ve 2019'daki genişlemeyi %50'ye yakın bir oranda aştığını göstermektedir. 2020 yılında şebekelere eklenen güç kapasitesinin %80'inden fazlasını yenilenebilir enerji ve yeni kapasite artışlarının ise %91'inin güneş ve rüzgâr kurulu gücünden oluştuğu görülmektedir. Toplam güneş enerjisi kapasitesi, büyük ölçüde 2020 yılında sadece Asya kıtasındaki 78 GW güç genişlemesi sayesinde rüzgâr kapasitesiyle hemen hemen aynı seviyeye ulaşmıştır [2].

Hızlı sanayileşme ve şehir yaşam alanlarının genişlemesi ile Türkiye'de elektrik enerjisine olan talep yıldan yıla hızla artmaya devam etmektedir. 2010 yılından bu yana, ülkenin genel elektrik talebi her yıl ortalama % 4,3 artış göstermiş ve tahminler bu artış eğiliminin önümüzdeki yıllarda da devam edeceğini göstermektedir. Türkiye'nin 2009'da 44,8 GW olan kurulu gücü, 2020 yılı başı itibariyle 91,3 GW seviyelerine ulaşmıştır. Ülkenin son 5 yıl içerisindeki elektrik üretiminin %70'inden daha fazlasını fosil yakıtlı kaynaklar oluştursa da, bu oran 2020 yılına gelindiğinde %56,12 seviyelerine gerilemiştir. 2021 yılı Ocak ayı itibariyle toplam kurulu güç içerisinde, yenilenebilir gücün payı %51,50 seviyelerine ulaşmıştır. Bu oran içerisinde; Hidroelektrik santraller 30.994MW ile ilk sırada yer alırken, rüzgâr 9.007MW kurulu güç ile ikinci ve 6.805MW ile güneş gücü üçüncü sırada yer almaktadır [3]. Günümüzde Türkiye, birincil enerji arzının büyük bir kısmını oluşturan doğal gaz ve petrol ithalatını azaltma ve gelecek yıllarda ihtiyaç duyacağı elektrik enerjisini yerli doğal kaynaklarla karşılama hedefiyle, kaynak ölçeğinde alternatif stratejiler belirlemektedir. Vizyon 2023 olarak da bilinen enerji politikası ile öncelikle yenilenebilir ve yerli enerji kaynaklarının kullanımı hedeflenmektedir. Nihai hedef ise; 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynakları ile ülkenin elektrik tüketiminin en az % 30'unun karşılanmasıdır.

2014 yılında sadece 40MW güneş kurulu gücüne sahip Türkiye, 2021 yılı ilk çeyreğinde bu kurulu gücünü yaklaşık 170 katına çıkarmıştır. Diğer taraftan, uygulanan başarılı planlamalarında etkisiyle güneş enerjisinin elektrik üretimindeki payı 2014 yılında sadece %0,01 iken, bu pay 2020 yılı sonunda %3,66 seviyelerine yükselmiştir. Güneş enerjisindeki bu başarılı ve hızlı yükseliş ivmesine rağmen ülkenin sahip olduğu coğrafi konumundan kaynaklanan potansiyelin, mevcut kurulu güce ve elektrik üretimine daha çok yansması öncelikli hedefdir. Bu nedenle, Türkiye sahip olduğu güneş potansiyelinden daha fazla yararlanma ve ilave tesis yatırımlarını artırma yönünde stratejilerini geliştirmeye devam etmektedir.

Bu çalışma, küresel ölçekli etkileri hissedilen Covid-19 salgını gibi dış/ve iç olumsuz etkiler ekseninde Türkiye elektrik şebekesinde güneş kurulu güç gelişiminin aksamaması ve yine elektrik üretim çizelgesinde mevcut güneş üretim oranının artırılması amacıyla, alternatif stratejilerin

oluşturulması ve önem derecelerinin (ağırlıkların) analiz edilmesini hedeflemektedir. Bu amaç için; belirlenen sorular ekseninde, uzman bir ihtisas grubundan elde edilen görüşler ve bilgiler bir GZFT yaklaşımı ile ana, alt ve alternatif stratejiler olmak üzere gruplandırılması ve toplanması sağlanmıştır. Ve önerilen bir BAAS yaklaşımı ile önem derecelerinin belirlenmesi amacıyla bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Enerjinin yönetimi ve planlamasından sorumlu kurumlar/veya karar vericiler ulusal hedefler ekseninde ve ülkenin mevcut şartlarını göz önüne alarak, ülke gereksinimlerini karşılayan alternatifler belirlemek zorundadır. Yüksek verimlilik düzeyleri nedeniyle son zamanlarda araştırmacılar arasındaki ilgi gören Çoklu Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımları, enerji planlaması ve stratejik karar verme problemlerinde oldukça arzu edilen yaklaşımlardır [4]. Yenilenebilir enerji kaynakları günümüzün rekabetçi dünyasında çok önemli olduğundan, ülkeler sürdürülebilir bir enerji piyasası için "doğru" stratejilerin belirlenmesi/ve öncelik sırasının oluşturulması gibi karmaşık karar alma süreçleri ile karşı karşıyadır.

Literatürde enerji planlama problemleri için farklı yöntemler ve çalışmalar önerilmiştir. Chen ve diğ.(2014), GZFT ile Güney Kore, Tayvan ve Japonya dâhil olmak üzere Doğu Asya ülkelerinin gelecekteki teknolojik gelişmeler ve yeşil enerji ihracat potansiyelinin ayrıntılı bir analizini gerçekleştirmişlerdir [5]. Erdoğan ve diğ. (2006), tarafından yürütülen bir çalışmada Türkiye'deki konut ısıtma sistemleri için en iyi enerji kaynağını belirlemek amacıyla GZFT ve AAS yaklaşımları birleştirilmiştir [6]. Ak (2020), tarafından tüm endüstriler için tedarikçi seçimi ve tedarikçi performansının ölçülmesinde analitik hiyerarşi süreç yöntemi tercih edilmiştir [7]. Analitik hiyerarşi süreç analizi Apak ve diğ. (2019), tarafından yürütülen farklı bir çalışmada duyarlılık analizi için tercih edilmiştir [8]. Yuan ve diğ. (2019), Analitik ağ süreci ve entropi yöntemlerine dayalı olarak kuşak ve yol girişimi boyunca ülkelerdeki kömürlü termik santrallerin yatırım risklerini analiz etmişlerdir [9]. Azimi ve diğ. (2011), GZFT ve AAS analiz çerçevesini madencilik sektöründeki stratejileri oranlamak için kullanmışlardır [10]. Yine, Türkiye'de bir vaka çalışmasında Yüksel ve diğ.(2007) GZFT ve AAS analizini bütüncül bir yaklaşım olarak tercih etmişlerdir [11]. Literatürde, tek başına veya farklı birleşimler ile Analitik Ağ Süreci (AAS) ve GZFT yaklaşımlarını kullanan çeşitli çalışmalar bulunsa da, bu metodolojilerin şebekelerde güneş kapasitesini artırmaya yönelik karar alma süreçlerinde kullanılmadığı görülmüştür. Bu nedenle, çalışmadaki araştırma ve analizlerin, karar alma süreçlerinden sorumlu kurumlara ve sektöre faydalı bilgiler sunması beklenmiştir.

2. Metotlar

Bu bölümde; ilk olarak GZFT yaklaşımının temel esasları, ikinci olarak ise GZFT temelinde bir BAAS yaklaşımının kurgulanmasındaki esaslar ve önerilen model açıklanmaktadır.

2.1. GZFT Analizi

GZFT analizi iki ana adımdan oluşur: GZFT matrisinin oluşturulması ve GZFT matrisini kullanarak stratejilerin tanımlanmasıdır. SWOT matrisinin oluşturulması ise iki ana adımdan oluşur. Bunlar; en önemli iç faktörler olan "güçlü ve zayıf" yönlerin yanı sıra, en önemli dış faktörler olan "fırsat ve risklerin" sıralanmasıdır. Temel olarak bir GZFT matrisi dört tür strateji içerir. Güçler, zayıflıklar, fırsatlar ve tehdit faktörleri belirlendikten sonra, bunların birleşimi temelinde GZFT matrisi geliştirilir. Bunlar dört çift GF, GT, ZF ve ZT stratejilerinde ortaya çıkar [12]. GF olarak tanımlanan stratejiler, iç güçlü yönlerin ve dış fırsatların en uygun biçimde kullanımını belirler. ZF olarak tanımlanan stratejilerde, dış fırsatların kullanılması, iç zayıflıkları azaltacak veya ortadan kaldıracaktır. GT olarak tanımlanan stratejilerde, iç güçlü yönlerin kullanılması, dış tehditleri

azaltacak veya tamamen ortadan kaldıracaktır. ZT olarak tanımlanan stratejilerde, iç zayıflıklar dikkate alınarak dış tehditlerin azaltılması sağlayan alternatif stratejiler olmalıdır.

Tablo 1. GZFT matrisinin genel bir sunumu.

İç/Dış Faktörler	Güçler (G) Alt faktörler (G ₁ , G ₂ ,...G _n)	Zayıflıklar Alt faktörler (Z ₁ , Z ₂ ,.....Z _n)
Fırsatlar Alt faktörler (F ₁ , F ₂ ...F _n)	GF Stratejileri	ZF Stratejileri
Tehditler Alt faktörler (T ₁ , T ₂ ...T _n)	GT Stratejileri	ZT Stratejileri

GZFT analizine, resmi raporlar/istatistikler, çalışma kâğıtlarında yapılandırılmamış uzman görüşmeleri ve paydaş (sanayi ve yatırım sektörü) görüşlerinin detaylı bir araştırması yoluyla bazı sorulara verilen cevaplar eşlik etmiştir. Bu çalışmada, derinlemesine bir GZFT analizi gerçekleştirmek için, görev ve sorumluluk alanı güneş enerjisi sektörü olan ilgili kurumlardan 5 uzman, ilgili sanayi ve yatırım sektöründen 15 uzman ve farklı üniversitelerden 5 akademisyen davet edilerek, 2021 yılının ilk ayı içerisinde 30-50 dakika arasında çevrimiçi görüşmeler ile belirlenmiştir. Derinlemesine görüşme için geliştirilen ana araştırma soruları şunlardır: Güneş enerjisi sektörünün gelişimini azaltabilecek tehditler nelerdir? Güneş enerjisi yatırımlarının ilerleyişini hangi zayıflıklar engelleyebilir? Türkiye'de güneş enerjisi sektörünün güçlü yönleri nelerdir? Güneş sektörünü teşvik etmek için hangi fırsatlar mevcuttur?

2.2. Bulanık Analitik Ağ Süreci (BAAS)

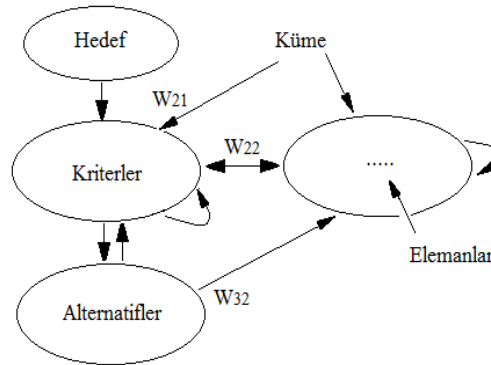
Analitik Ağ Süreci (AAS), proje seçimlerinde ve değerlendirilmelerinde ÇKKV analiz aracı olarak önerilmektedir [13]. Bununla birlikte, geleneksel AAS tabanlı karar alma modeli, ikili karşılaştırma süreci sırasında uzman yargısındaki doğal belirsizlikler ile başa çıkmada etkisiz kalmaktadır. İkili karşılaştırmalarda sözlü yargıyı temsil etmek için sayısal olarak 1 ve 9 arasındaki ayrıştırılmış ölçeğin kullanılması, basitlik avantajına sahip olsa da, ilgili uzman algısının veya yargısının bir sayı ile eşleştirilmesiyle ilişkili olan belirsizliği, problem çözümüne dâhil etmemektedir. Gerçek durumlu karar verme vakalarında, karar vericiler veya paydaşlar, eksik bilgili veya çok değişken parametrelili karar alma süreçlerindeki müphemlik nedeniyle kendi tercih düzeyleri konusunda kararsız kalmaktadır. Bu nedenle, bulanık (fuzzy) koşullarda proje seçimi ve değerlendirmesi yapmak en uygun çözümdür [13,14].

Bulanık teoride; üçgen bir bulanık sayı ($l/m, m/u$) veya (l, m, u) ile temsil edilir. Burada l, m ve u parametreleri sırasıyla mümkün olan en küçük değeri, en umut verici değeri ve mümkün olan en büyük değeri ifade etmektedir. Her bir üçgen bulanık sayı sağ ve sol taraflarında doğrusal temsillerle gösterilir ve üçgen üyelik fonksiyonu Denklem 1'deki gibi gösterilir [15].

$$\mu\left(\frac{x}{M}\right) = \begin{cases} 0 & x < l \\ (x-l)/(m-l) & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & m \leq x \leq u \\ 0 & x > u \end{cases} \quad (1)$$

AAS süreci esasen üç adımdan oluşmaktadır. Bunlar; süper matrisin oluşturulması, süper matrisin ağırlıklandırılması ve limit matrisinin türetilmesi. Süper matris, tüm öğelere göreceli bir önem derecesi verirken, ağırlıklı matris her kümenin önemini ve süper matris değerlerinin önemini değerlendirmek için kullanılır. Tüm elemanların sabit değerleri, ağırlıklı matrisin gerekli limiti alınarak limit matrisinde hesaplanır. Strateji belirleme probleminin sonuçları limit matris

derecelendirmeleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Daha doğru sonuçlar elde etmek için deneyimli sektör temsilcilerinin ve ilgili sektör uzmanlarının parametrelerini ve alternatif çözümlerini dikkate almak gerekmektedir [16]. Şekil 1’de gösterilen AAS yaklaşımında tüm parametreler ve kümeler, olası bağlantıları kullanarak diğerlerinin öğrenmesini sağlamaya çalışılır. Kümelerin birbirleriyle etkileşimi basit oklarla (tek yönlü veya karşılıklı) gösterilebilmektedir. Döngüler ise bir küme içinde iç bağımlılığı göstermektedir. İkili karşılaştırma matrisinde, $a_{ij} = w_i/w_j$ ifadesi i bileşenin j bileşenine göreceli önemini gösteren bir formüldür [17]. Denklem 2’deki gibi eşleştirilecek n elemanlı bir karşılaştırma matrisi oluşturulur.



Şekil 1. Genel bir AAS yaklaşımı

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1(n-1)} & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2(n-1)} & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{1(n-1)} & 1/a_{2(n-1)} & \dots & 1 & a_{(n-1)n} \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1/a_{(n-1)n} & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$Aw = \lambda_{max} \cdot w$ denkleminin çözümü, özellikle karşılaştırma faktörlerinde göreceli önem derecesinin tahminini hesaplamak için kullanılır. Burada, w istenen değer tahminidir ve λ_{max} ise A matrisinin en büyük öz değeridir. Yerel öncelik vektörünü oluşturmak için w normalize edilir ve sonrasında ana süper matrisi oluşturmak için kullanılır. Yapılandırılan öncelik vektörleri, Denklem 3’de verildiği gibi hiyerarşik olarak hedefler, faktörler, alt faktörler ve alternatifler olarak temsil edilen süper matris bileşenlerini oluşturmak için kullanılır [16,17].

$$W = \begin{matrix} Hedef(H) \\ Faktörler(F) \\ Alt faktörler(AF) \\ Alternatifler(A) \end{matrix} \begin{bmatrix} H & F & AF & A \\ \vec{0} & \vec{0} & \vec{0} & \vec{0} \\ W_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{43} & I \end{bmatrix} \quad (3)$$

W süper matrisi ise farklı matrislerden oluşmaktadır. Bunlar; hedefin değişkenler üzerindeki etkisini açıklayan W_{21} , değişkenlerin her alt faktör üzerindeki etkisini açıklayan W_{32} , alt faktörlerin her bir alternatif üzerindeki etkisini tanımlayan W_{43} ve bir özdeşlik matrisi olan I ’dir. Ağırlıklı süper matris oluşturmak için, önce sütun ve satır gruplarının ikili karşılaştırma matrisiyle ayrı bir vektör matrisi oluşturulur. Esasen, bu çözüm her sütun grubu için bir öz vektörü temsil etmektedir. Tüm sütun grupları için, ilgili öz vektörün ilk girişi, ilk sütundan başlayarak tüm sütun gruplarındaki öğelerle ağırlıklandırılmaktadır [17,18]. Böylece, her bir süper matristeki sütun grupları ağırlıklandırıldığında, tüm matrislerin ağırlık kazandığı bir süreç oluşmaktadır. Strateji belirleyicinin kararlarını değerlendirmek için, ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmada üçgen bulanık sayılar kullanılmaktadır. Denklem 4’deki gibi ifade edilen bulanık matris ilişkisinde; \tilde{A} bulanık bir kümeyi gösterirken, $(a_{mn}^l, a_{mn}^m, a_{mn}^u)$ dizisi ile temsil edilen \tilde{a}_{mn} elemanı ise m elemanın n elemanı ile karşılaştırılmasına işaret etmektedir.

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} (1, 1, 1) & (a_{12}^l, a_{12}^m, a_{12}^u) & \cdots & (a_{1n}^l, a_{1n}^m, a_{1n}^u) \\ (\frac{1}{a_{21}^u}, \frac{1}{a_{21}^m}, \frac{1}{a_{21}^l}) & (1, 1, 1) & \cdots & (a_{2n}^l, a_{2n}^m, a_{2n}^u) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\frac{1}{a_{m1}^u}, \frac{1}{a_{m1}^m}, \frac{1}{a_{m1}^l}) & (\frac{1}{a_{m2}^u}, \frac{1}{a_{m2}^m}, \frac{1}{a_{m2}^l}) & \cdots & (1, 1, 1) \end{pmatrix} \quad (4)$$

2.3. Önerilen Yaklaşım

Saaty (1986) ve Lee (2000) tarafından yürütülen çalışmalarda [16,19] dikkate alındığında, bu çalışma kapsamında önerilen adımlar (yaklaşımlar) ve GZFT modeli için kullanılan genel alt matris gösterimi aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

$$W = \begin{matrix} \text{Hedef}(H) & \begin{bmatrix} \tilde{0} & \tilde{0} & \tilde{0} & \tilde{0} \\ \tilde{w}_1 & \tilde{W}_2 & 0 & 0 \\ 0 & \tilde{W}_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tilde{W}_4 & I \end{bmatrix} \\ \text{GZFT Faktörleri}(F) & \\ \text{GZFT Alt faktörleri}(AF) & \\ \text{Alternatifler}(A) & \end{matrix} \quad (5)$$

- *Basamak 1:* GZFT alt faktörlerin ve alt faktörlere göre alternatif stratejileri belirlenmesi.
- *Basamak 2:* GZFT faktörleri arasında bağımlılık olmadığı varsayılarak; faktörlerin bulanık önem derecelerini 1-9 arası ölçekle belirlenmesi (w_1 'in hesaplanması).
- *Basamak 3:* GZFT faktörleri arasında iç bağımlılığın şematik temsili kullanılarak, $\tilde{1} - \tilde{9}$ arasında bulanık bir ölçek ile bir GZFT faktörünün diğer faktörlere göre iç bağımlılık matrisi hesaplanır (\tilde{W}_2).
- *Basamak 4:* GZFT faktörlerinin birbirine bağlı önceliklerinin belirlenmesi ($\tilde{W}_{faktörler} = \tilde{W}_2 x \tilde{w}_1$)
- *Basamak 5:* GZFT alt faktörlerinin yerel önem derecelerinin $\tilde{1} - \tilde{9}$ arasında bulanık ölçekte belirlenmesi ($\tilde{W}_{alt faktörler(yerel/lokal)}$)
- *Basamak 6:* GZFT alt faktörlerinin küresel önem derecelerinin belirlenmesi ($\tilde{W}_{alt faktörler(genel)}$)
- *Basamak 7:* Her bir GZFT alt faktörüne göre alternatif stratejilerin önem derecelerinin bulanık $\tilde{1} - \tilde{9}$ ölçeğiyle belirlenmesi (\tilde{W}_4).
- *Basamak 8:* GZFT faktörleri içindeki karşılıklı ilişkileri yansıtan alternatif stratejilerin genel önceliklerinin belirlenmesi ($\tilde{W}_{alternatifler} = \tilde{W}_4 x \tilde{W}_{alt faktörler(genel)}$)

3. BAAS Yaklaşımının Uygulanması

Bu bölümde, Türkiye elektrik şebekesinde güneş kurulu gücünün artırılması için GZFT temelinde bulanık AAS yaklaşımı ile en iyi stratejilerin belirlenmesi ve bu belirlenen stratejilerde bir öncelik sırası belirlemeyi amaçlayan bir vaka çalışması gerçekleştirilir. Analiz ve hesaplamalarda MatlabR2018a programı kullanılmıştır.

Basamak 1: İlk adım olarak, ilgili sektörün bir dış çevre analizi gerçekleştirildi. Böylelikle güneş kurulu gücünün gelişimi üzerinde etkisi olan ancak tek bir mekanizma tarafından kontrol edilemeyen GZFT alt faktörleri belirlenmiştir [20-23]. Bu araştırmalara dayalı olarak stratejik öneme sahip unsurlar, güneş kurulu güç gelişiminde çok önemli etkileri olan alt faktörler olarak seçilmiştir. GZFT alt faktörleri kullanılarak, GZFT matris bileşenleri Tablo 2’de ve bu alt faktörlere dayalı alternatif stratejiler Tablo 3’de gösterilmiştir.

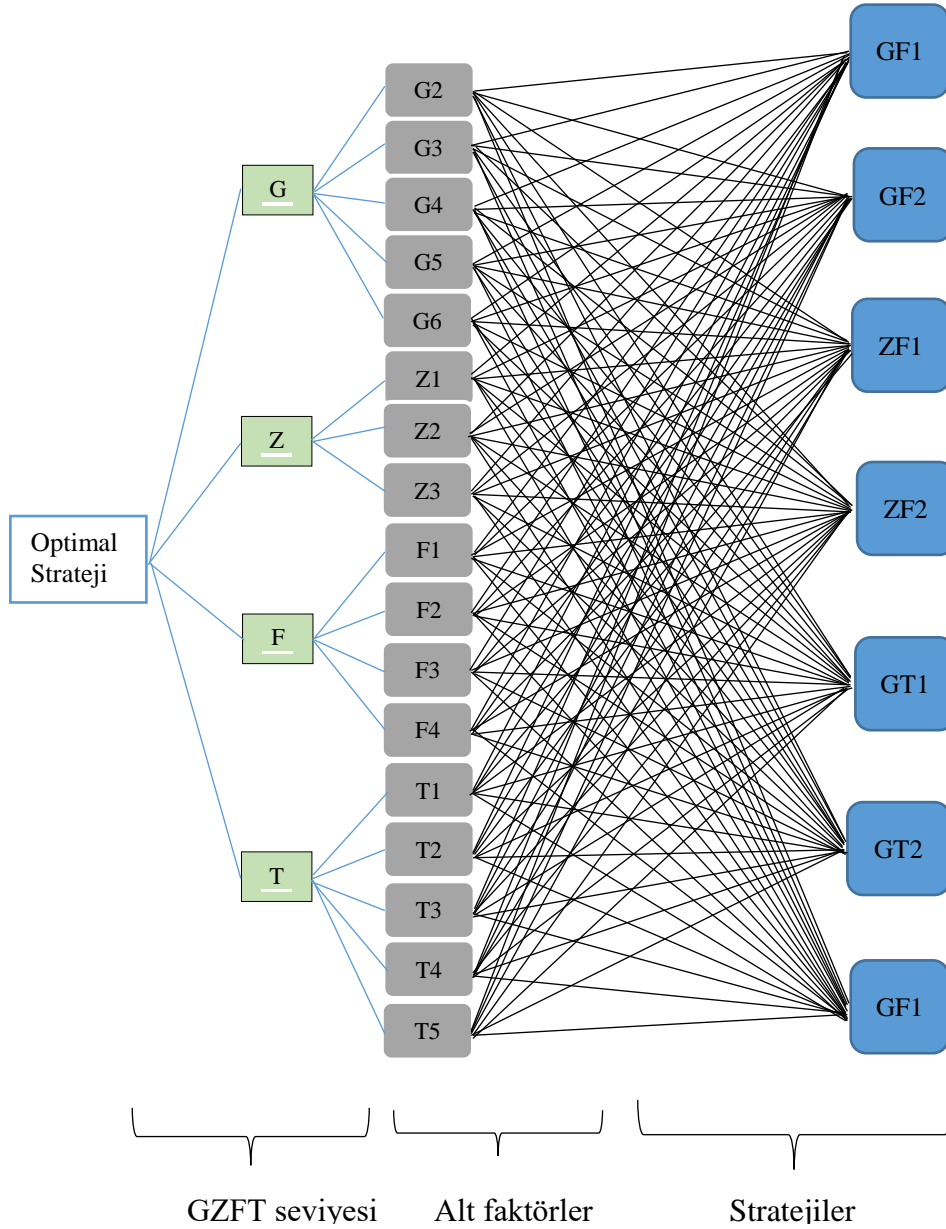
Table 2. GZFT değişkenlerinin ve alt faktörlerin tanımlanması [20-24].

Faktörler	Alt Faktörler
Güçler (G)	G1: Geniş ve yaygın potansiyel G2: Yetkin ve deneyimli teknik personel varlığı G3: Çevresel zararlı gaz emisyonlarının azaltılması G4: Minimum işletme ve bakım maliyetleri G5: Son derece doğru resmi güneş haritaları G6: Çatı üstü uygulamalar için henüz kullanılmayan geniş lokasyonlar
Zayıflıklar (Z)	Z1: Verimli DC ekipman eksikliği Z2: Mevsimsel geçişli güneş ışınımının aralıklılığı veya zayıflığı Z3: Trafo merkezlerinde yetersiz kapasite
Fırsatlar (F)	F1: Satın alma garantileri ve fiyat teşvikleri/mekanizmaları F2: Yerli bileşenlerin kullanımının desteklenmesi F3: Yerli fotovoltaik teknolojilerinin geliştirilmesi F4: Çatı güneş enerjisi uygulamalarında yasal kolaylıklar
Tehditler (T)	T1: Yasal değişmeler T2: Verimsiz ve zayıf imalat kullanımı/gölgeleme durumları T3: Çatı güneş sistemlerinin şebeke dengeleme faaliyetlerindeki/ve kontrolündeki belirsizlikler T4: Tesis kurulumu devam eden santrallerdeki finansal tıkanıklıklar T5: Küresel salgın nedeniyle yatırımlarda yavaşlama ve tedarik zincirindeki kesintiler

Table 3. Tanımlanan alternatif stratejiler [20-24].

Stratejiler	Açıklama
GF Stratejileri	GF1: Konutlar ve kurumsal yapıların etkin kullanımı GF2: Yerli ekipman üretimini artırarak montaj maliyetlerinin düşürülmesi
ZF Stratejileri	ZF1: Şebeke ölçekli enerji depolama sistemlerine geçiş (Large-scale storage systems) ZF2: Güneş ekipmanlarında teknolojik araştırmaların teşvik edilmesi
GT Stratejileri	GT1: Talep tarafı yönetimi (Demand Side Management) ve/veya talep katılımı mekanizmasının başlatılması GT2: Tedarik zincirindeki aksaklıklar için alternatif yöntemlerin devreye alınması
ZT Stratejileri	ZT1: Binalarda çatı üstü güneş santralleri ile entegre depolama sistemlerinin kullanılması (photovoltaic+energy storage systems) ve teşvik edilmesi

Alt faktörleri ve olası alternatifleri AAS metodolojisi ile değerlendirilebilecek bir duruma dönüştürmek için problem kademeli bir yapıya dönüştürülmüştür. Bu şematik yapı Şekil 2'de gösterilmiştir. AAS modelinin ilk adımı "en iyi öncelikli stratejiyi belirleme" hedefini ve ikinci adımı ise GZFT faktörlerini içermektedir. GZFT'nin 18 alt faktöründen altı tanesi "Güçler", üç tanesi "Zayıflıklar", dört tanesi "Fırsatlar" ve altı tanesi ise "Tehditler" faktörleridir. Ayrıca, modelin son adımı Tablo 3'te gösterildiği gibi yedi öncelikli stratejiden oluşmaktadır. Bunlar GF1, GF2, ZF1, ZF2, GT1, GT2 ve ZT1'dir.



Şekil 2. Çalışma için oluşturulan AAS yaklaşımının şematik gösterimi

Table 4. Dil ölçeğinin üçgen bulanık sayılar ile tanımlanması.

Bulanık sayı	Dilsel ölçeğin önem derecesi	Alt (A)	Orta (O)	Üst (Ü)	Bulanık üyelik karşılıklı ölçeği
1̄	Eşit Önem (EÖ)	1	1	1	(1, 1, 1)
2̄	Ara Değer (AD ₁)	1	2	3	(1/3, 1/2, 1)
3̄	Zayıf Önem (ZÖ)	2	3	4	(1/4, 1/3, 1/2)
4̄	Ara Değer (AD ₂)	3	4	5	(1/5, 1/4, 1/3)
5̄	Güçlü Önem (GÖ)	4	5	6	(1/6, 1/5, 1/4)
6̄	Ara Değer (AD ₃)	5	6	7	(1/7, 1/6, 1/5)
7̄	Çok Güçlü Önem (CGÖ)	6	7	8	(1/8, 1/7, 1/6)
8̄	Ara Değer (AD ₄)	7	8	9	(1/9, 1/8, 1/7)
9̄	Olağanüstü Önem (OÖ)	8	9	9	(1/9, 1/9, 1/8)

Basamak 2: Katılımcı uzman deneyimi ile belirlenen GZFT faktörlerinin tüm ikili karşılaştırmaları bulanık üçgen fonksiyonlu sayı ölçeği (1̄ – 9̄) kullanılarak ve faktörler arasında bağımlılık olmadığı

düşünülerek oluşturulmuştur. Tablo 4'den yararlanılarak, Tablo 5'de verilen karşılaştırma matrisinden \tilde{w}_1 özvektörü elde edilmiştir.

Table 5. GZFT değişkenlerinin matris karşılaştırması.

GZFT faktörü	G	Z	F	T	Önem Derecesi		
					A	O	Ü
Güçler (G)	$\tilde{1}$	$\tilde{9}$	$1/\tilde{5}$	$\tilde{5}$	0,291	0,280	0,264
Zayıflıklar (Z)		$\tilde{1}$	$1/\tilde{7}$	$1/\tilde{3}$	0,058	0,047	0,041
Fırsatlar (F)			$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	0,563	0,585	0,605
Tehditler (T)				$\tilde{1}$	0,089	0,088	0,090

$$\tilde{w}_1 = \begin{bmatrix} G \\ Z \\ F \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,291 & 0,280 & 0,264 \\ 0,058 & 0,047 & 0,041 \\ 0,563 & 0,585 & 0,605 \\ 0,089 & 0,088 & 0,090 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Basamak 3: GZFT faktörlerinin iç bağımlılığı, her faktörün diğer faktör üzerindeki etkisini değerlendirmek için belirsiz ikili karşılaştırmalar kullanılarak ölçülmüştür. GZFT değişkenlerinin bağımsız olup olmadığına her zaman karar verilememesi nedeniyle, AAS yaklaşımının birlikte kullanılması daha gerçekçi ve doğru sonuçları beraberinde getirmesi beklenmiştir. GZFT faktörleri arasındaki bağımlılıklar, güneş sektörü için tüm iç koşullar ve dış olaylar incelenerek hesaplanmıştır. GZFT değişkenleri arasındaki karşılıklı bağımlılık dikkate alınarak, bu değişkenlerin karşılaştırma matrisleri Tablo 6'daki gibi oluşturulmuştur. Buradaki son sütunlar bulanık özvektörleri göstermektedir. Ve İç bağımlılık matrisi (\tilde{W}_2) ölçülen bulanık önem ağırlıklarından faydalanılarak oluşturulmuştur.

Table 6. Dört GZFT faktörüne göre ana faktörlerin iç bağımlılık matrisi.

Güçler (G)	Z	F	T	Göreceli Bulanık Ağırlıklar		
				A	O	Ü
Zayıflıklar (Z)	$\tilde{1}$	$1/\tilde{5}$	$1/\tilde{3}$	0,133	0,102	0,083
Fırsatlar (F)		$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	0,655	0,686	0,708
Tehditler (T)			$\tilde{1}$	0,211	0,211	0,209
Zayıflıklar (Z)	G	F	T	A	O	Ü
Güçler (G)	$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}$	0,540	0,597	0,636
Fırsatlar (F)		$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	0,302	0,282	0,268
Tehditler (T)			$\tilde{1}$	0,159	0,120	0,097
Fırsatlar (F)	G	Z	T	A	O	Ü
Güçler (G)	$\tilde{1}$	$\tilde{7}$	$\tilde{5}$	0,700	0,724	0,739
Zayıflıklar (Z)		$\tilde{1}$	$1/\tilde{3}$	0,107	0,083	0,069
Tehditler (T)			$\tilde{1}$	0,194	0,193	0,192
Tehditler (T)	G	Z	F	A	O	Ü
Güçler (G)	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$1/\tilde{5}$	0,194	0,193	0,192
Zayıflıklar (Z)		$\tilde{1}$	$1/\tilde{7}$	0,107	0,083	0,069
Fırsatlar (F)			$\tilde{1}$	0,700	0,724	0,739

$$\tilde{W}_2 = \begin{bmatrix} A & O & Ü & A & O & Ü & A & O & Ü & A & O & Ü \\ 1,000 & 1,000 & 1,000 & 0,540 & 0,597 & 0,636 & 0,700 & 0,724 & 0,739 & 0,194 & 0,193 & 0,192 \\ 0,133 & 0,102 & 0,083 & 1,000 & 1,000 & 1,000 & 0,107 & 0,083 & 0,069 & 0,107 & 0,083 & 0,069 \\ 0,655 & 0,686 & 0,708 & 0,302 & 0,282 & 0,268 & 1,000 & 1,000 & 1,000 & 0,700 & 0,724 & 0,739 \\ 0,211 & 0,211 & 0,209 & 0,159 & 0,120 & 0,097 & 0,194 & 0,193 & 0,192 & 1,000 & 1,000 & 1,000 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Basamak 4: Dördüncü olarak, $\tilde{W}_{faktörler}$ matrisi, diğer bir deyişle faktörlerin bulanık öncelikleri şu şekilde belirlenmiştir:

$$\tilde{W}_{faktörler} = \tilde{W}_2 \tilde{x} \tilde{w}_1 = \begin{bmatrix} 0,366 & 0,374 & 0,377 \\ 0,083 & 0,066 & 0,056 \\ 0,416 & 0,427 & 0,435 \\ 0,134 & 0,133 & 0,132 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Basamak 5: İkili karşılaştırma matrisi kullanılarak, dört ana değişkenin yerel bulanık öncelikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$\tilde{W}_{alt\ faktörler(güçler)} = \begin{bmatrix} 0,235 & 0,242 & 0,248 \\ 0,053 & 0,048 & 0,046 \\ 0,092 & 0,086 & 0,085 \\ 0,223 & 0,216 & 0,214 \\ 0,037 & 0,030 & 0,026 \\ 0,360 & 0,378 & 0,381 \end{bmatrix} \quad \tilde{W}_{alt\ faktörler(zayıflıklar)} = \begin{bmatrix} 0,062 & 0,055 & 0,053 \\ 0,223 & 0,216 & 0,218 \\ 0,715 & 0,729 & 0,729 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\tilde{W}_{alt\ faktörler(fırsatlar)} = \begin{bmatrix} 0,396 & 0,408 & 0,416 \\ 0,122 & 0,117 & 0,113 \\ 0,086 & 0,067 & 0,055 \\ 0,396 & 0,408 & 0,416 \end{bmatrix} \quad \tilde{W}_{alt\ faktörler(tehditler)} = \begin{bmatrix} 0,272 & 0,321 & 0,353 \\ 0,248 & 0,243 & 0,237 \\ 0,091 & 0,064 & 0,049 \\ 0,243 & 0,236 & 0,231 \\ 0,146 & 0,136 & 0,130 \end{bmatrix}$$

Basamak 6: Bu basamakta, GZFT alt faktörlerinin genel bulanık öncelikleri, Basamak 4'de belirlenen ana faktörlerin bulanık öncelikleri ile Basamak 5'deki ana faktörlerin bulanık yerel öncelikleri birleştirilerek belirlenmiş ve hesaplama sonuçları Tablo 7'de gösterilmiştir. Buradaki alt faktörlerin genel öncelikleri, $\tilde{W}_{alt\ faktörler(genel)}$ vektörünü hesaplamak için kullanılmıştır.

Basamak 7: Bu safhada, tüm bulanık alt faktörlere göre alternatif stratejilerin önem derecesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ve $\tilde{W}_4 = (W_4^{Alt} W_4^{Orta} W_4^{Üst})$ denkleminin çözümü ile elde edilen bulanık özvektörler Tablo 8'de sunulmuştur.

Basamak 8: $\tilde{W}_{alternatifler}$ matrisi, yani ana değişkenlerdeki ara ilişkileri temsil eden alternatif stratejilerin tüm bulanık öncelikleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\tilde{W}_{alternatifler} = \begin{bmatrix} GF1 \\ GF2 \\ ZF1 \\ ZF2 \\ GT1 \\ GT2 \\ ZT1 \end{bmatrix} = \tilde{W}_4 \times \tilde{W}_{alt\ faktörler(genel)} = \begin{bmatrix} 0,266 & 0,286 & 0,292 \\ 0,177 & 0,185 & 0,191 \\ 0,088 & 0,078 & 0,072 \\ 0,135 & 0,127 & 0,122 \\ 0,088 & 0,085 & 0,087 \\ 0,052 & 0,047 & 0,045 \\ 0,193 & 0,191 & 0,192 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Table 7. Bulanık alt faktör önceliklerinin hesaplanması.

Ana faktörler	Bulanık öncelikleri	Alt faktörler	Bulanık alt faktör öncelikleri	Genel bulanık alt faktör öncelikleri
Güçler (G)	(0,366, 0,374, 0,377)	(G1)	(0,203, 0,213, 0,219)	(0,086, 0,090, 0,094)
		(G2)	(0,050, 0,039, 0,032)	(0,019, 0,018, 0,017)
		(G3)	(0,115, 0,096, 0,085)	(0,034, 0,032, 0,032)
		(G4)	(0,247, 0,263, 0,273)	(0,082, 0,081, 0,081)
		(G5)	(0,105, 0,101, 0,098)	(0,014, 0,011, 0,010)
		(G6)	(0,279, 0,288, 0,294)	(0,132, 0,141, 0,144)
Zayıflıklar (Z)	(0,083, 0,066, 0,056)	(Z1)	(0,121, 0,117, 0,114)	(0,005, 0,004, 0,003)
		(Z2)	(0,390, 0,401, 0,408)	(0,018, 0,014, 0,012)
		(Z3)	(0,065, 0,054, 0,046)	(0,059, 0,048, 0,041)
Fırsatlar (F)	(0,416, 0,427, 0,435)	(F1)	(0,131, 0,129, 0,128)	(0,165, 0,174, 0,181)
		(F2)	(0,246, 0,251, 0,253)	(0,051, 0,050, 0,049)
		(F3)	(0,189, 0,170, 0,160)	(0,036, 0,029, 0,024)
		(F4)	(0,434, 0,450, 0,459)	(0,165, 0,174, 0,181)
Tehditler (T)	(0,134, 0,133, 0,132)	(T1)	(0,178, 0,178, 0,177)	(0,037, 0,043, 0,047)
		(T2)	(0,053, 0,043, 0,036)	(0,033, 0,032, 0,031)
		(T3)	(0,049, 0,040, 0,034)	(0,012, 0,008, 0,006)
		(T4)	(0,212, 0,215, 0,217)	(0,033, 0,031, 0,031)
		(T5)	(0,212, 0,215, 0,217)	(0,020, 0,018, 0,017)

BAAS yaklaşımının sonuçları *GF1*, *ZT1* ve *GF2* stratejilerinin sırasıyla 0,281, 0,192 ve 0,185 genel öncelik değeriyle en iyi öncelikli stratejiler olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Şekil 3’de tüm alternatif stratejilerin bulanık sonuçları gösterilmiştir.

$$W_{alternatifler} = \begin{bmatrix} GF1 \\ GF2 \\ ZF1 \\ ZF2 \\ GT1 \\ GT2 \\ ZT1 \end{bmatrix} = W_4 \times W_{alt\ faktörler(genel)} = \begin{bmatrix} 0,281 \\ 0,185 \\ 0,079 \\ 0,128 \\ 0,087 \\ 0,048 \\ 0,192 \end{bmatrix} \quad (11)$$

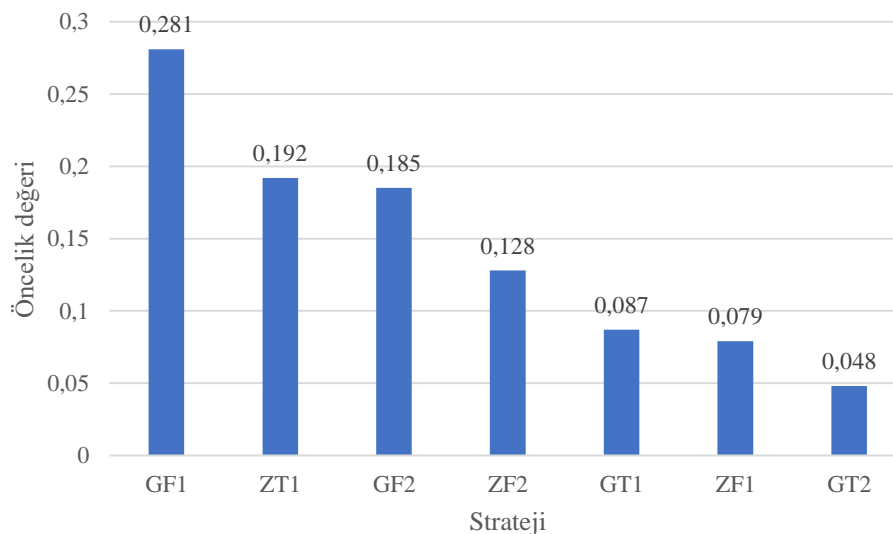
**Şekil 3.** Türkiye güneş kurulu gücünün gelişimi için alternatif stratejilerin öncelik sıralaması

Table 8. \tilde{W}_4 matris sonuçları.

W_4^{Alt}																	
0,41	0,19	0,32	0,11	0,46	0,44	0,04	0,05	0,04	0,38	0,13	0,04	0,37	0,08	0,07	0,04	0,06	0,04
0,22	0,24	0,17	0,41	0,05	0,23	0,04	0,05	0,04	0,07	0,45	0,21	0,09	0,11	0,05	0,04	0,43	0,18
0,13	0,04	0,17	0,04	0,09	0,05	0,28	0,15	0,45	0,05	0,04	0,04	0,04	0,12	0,07	0,22	0,06	0,04
0,07	0,35	0,10	0,32	0,06	0,05	0,29	0,29	0,04	0,04	0,23	0,49	0,04	0,15	0,53	0,04	0,29	0,14
0,03	0,04	0,03	0,04	0,11	0,09	0,05	0,14	0,21	0,11	0,03	0,05	0,08	0,21	0,06	0,36	0,06	0,04
0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02	0,09	0,04	0,04	0,04	0,03	0,13	0,04	0,14	0,14	0,04	0,06	0,44
0,13	0,12	0,19	0,04	0,20	0,11	0,21	0,27	0,21	0,32	0,11	0,04	0,35	0,19	0,08	0,27	0,05	0,11
W_4^{Orta}																	
0,42	0,19	0,34	0,11	0,48	0,45	0,03	0,04	0,03	0,38	0,12	0,04	0,41	0,07	0,06	0,03	0,06	0,04
0,22	0,24	0,18	0,44	0,05	0,23	0,03	0,04	0,03	0,08	0,46	0,22	0,10	0,11	0,05	0,03	0,46	0,19
0,12	0,03	0,17	0,04	0,09	0,05	0,28	0,14	0,46	0,04	0,03	0,04	0,03	0,11	0,06	0,21	0,05	0,04
0,06	0,36	0,09	0,30	0,05	0,04	0,32	0,34	0,03	0,04	0,23	0,50	0,03	0,14	0,54	0,03	0,29	0,14
0,03	0,03	0,02	0,04	0,11	0,09	0,04	0,13	0,21	0,10	0,03	0,04	0,08	0,23	0,05	0,39	0,06	0,04
0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02	0,09	0,03	0,03	0,03	0,13	0,03	0,13	0,13	0,15	0,03	0,05	0,45
0,13	0,12	0,19	0,04	0,20	0,11	0,20	0,28	0,20	0,33	0,11	0,04	0,32	0,21	0,09	0,27	0,05	0,10
$W_4^{Üst}$																	
0,43	0,20	0,35	0,13	0,48	0,45	0,03	0,03	0,03	0,37	0,13	0,03	0,42	0,06	0,06	0,03	0,05	0,04
0,22	0,23	0,17	0,44	0,04	0,24	0,04	0,04	0,03	0,09	0,45	0,23	0,11	0,10	0,04	0,03	0,47	0,20
0,12	0,03	0,16	0,03	0,08	0,04	0,28	0,14	0,47	0,04	0,03	0,04	0,03	0,10	0,06	0,20	0,05	0,04
0,06	0,37	0,09	0,29	0,04	0,04	0,33	0,36	0,03	0,04	0,24	0,49	0,03	0,14	0,53	0,03	0,29	0,15
0,03	0,03	0,02	0,04	0,12	0,10	0,03	0,13	0,21	0,10	0,03	0,04	0,09	0,25	0,05	0,41	0,06	0,04
0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,15	0,03	0,12	0,16	0,03	0,04	0,45
0,12	0,12	0,19	0,04	0,21	0,11	0,20	0,27	0,20	0,34	0,11	0,04	0,30	0,23	0,10	0,27	0,05	0,10

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmanın amacı, mühendislik planlamaları içerisinde Türkiye elektrik şebekesine entegre güneş kurulu gücünün ve dolayısıyla üretiminin artırılması için stratejiler belirlemek ve bu stratejilerin güncel olarak öncelik derecelerini saptamaktır. Güneş gücünün gelişmesindeki belirlenen stratejilerin öncelik derecelerinin belirlenmesi için bu çalışma; güçlü yanlar, zayıf yanlar, fırsatlar ve tehditler analizi temelinde bulanık bir analitik süreç yaklaşımı önermektedir. Önerilen bu yaklaşımın uygulanması, uzman bir heyet tarafından doğrulanmış alternatif stratejilere öncelik verilmesine olanak vermiştir. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın, elektrik şebekelerinde güneş enerjisinin büyümesinde uzun vadeli stratejik kararlara faydalı katkılar sağlayan uygulanabilir ve başarılı bir yöntem olduğunu ve diğer karmaşık karar alma süreçleri için uygun bir mekanizma olarak da kullanılabileceğini göstermiştir. Analizlere dayalı olarak, öncelikler şu müteakip azalan sırada belirlenmiştir: *GF1-ZT1-GF2-ZF2-GT1-ZF1-GT2*. Analizlere göre; henüz ülkede etkin olarak kullanılmayan özel konut ve kurumsal yapıların etkin kullanılması en önemli öncelik olarak ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan, gelecek yıllarda şebeke bağlantılı çatı üstü güneş santrallerinde yaşanılacak muhtemel hızlı artışların etkisi ortaya koyulmuştur. Çatı üstü güneş üretim tesisleri ile hibrit bütünleşik depolama sistemlerinin (akü ve lityum iyon piller gibi) kullanılmasının, şebeke güç kalite parametrelerinin (gerilim, frekans) korunması ve arz/talep dengesinin sağlanması adına teşvik edilmesi daha sonraki öncelik olarak saptanmıştır. En önemli üçüncü stratejinin ise, güneş santrallerinde kullanılan yerli teçhizat/ve bileşenlerin yurt içi düşük üretim maliyeti olasılığı nedeniyle milli üretim kabiliyetlerinin artırılmasının, tesis kurulumu/ve yatırım kabiliyetlerini artıracacağı değerlendirilmiştir.

Bu çalışmadaki stratejik önceliklerin, ülkenin orta ve uzun vadeli enerji planlamalarına yardımcı olması ümit edilmiştir. Ayrıca, sonuçların karar vericiler, özel yatırımcılar, teknoloji geliştiriciler ve tüketiciler için, yeni enerji projelerinin sürdürülebilirliği ve gelecekteki başarısını etkileyebilecek muhtemel faktörlerin öğrenilmesine fayda sağlayacağı öngörülmüştür.

Yazar(lar)ın Katkıları

FK tüm analiz çalışmalarını yaptı ve makaleyi yazdı. Yazar makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. International Energy Agency (IEA), Key world energy statistics 2020, <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>.
- [2]. International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable Capacity Statistics 2021, <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>.
- [3]. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEIAS), Ocak 2021 Kurulu Güç Raporu, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>.
- [4]. Pohekar, S.D., and Ramachandran, M., Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2004, 8(4): 365–81.
- [5]. Chen, W.M., Kim, H., and Yamaguchi, H., Renewable energy in eastern Asia: renewable energy policy review and comparative SWOT analysis for promoting renewable energy in Japan, South Korea, and Taiwan, *Energy Pol.*, 2014, 74: 319-29.
- [6]. Erdogmus, S., Aras, H., and Koc, E., Evaluation of alternative fuels for residential heating in Turkey using analytic network process (ANP) with group decision-making, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2006, 10(3): 269-79.
- [7]. Ak, M.F., Tedarikçi Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Metodolojisi Tabanlı Yeni Bir Model, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 2020, 7(2): 410-423.
- [8]. Apak, M., Ergün, M., Özen, H., Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile Tehlikeli Yol Kenarı Tesislerine Araç Çarpma Risklerine Karşı Bir Duyarlılık Analizi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2019, 6(3): 836-846.
- [9]. Yuan, J., Li, X., Xu, C., Zhao, C., and Liu, Y., Investment risk assessment of coal-fired power plants in countries along the Belt and Road initiative based on ANP-Entropy-TODIM method”, *Energy*, 2019, 176: 623-640.
- [10]. Azimi, R., Yazdani-Chamzini, A., Fouladgar, M.M., Zavadskas, E.K., and Basiri, M.H., Ranking the strategies of the mining sector through ANP and TOPSIS in a SWOT framework, *Journal of Business Eco. and Manag.*, 2011, 12: 670–689.
- [11]. Yüksel, I., Dağdeviren, M., Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis- a case study for a textile firm, *Information Sciences*, 2007, 177: 3364–3382.
- [12]. Kamran, M., Fazal, M.R., and Mudassar, M., Towards empowerment of the renewable energy sector in Pakistan for sustainable energy evolution: SWOT analysis, *Renewable Energy*, 2020, 146: 543-558.
- [13]. Saaty, T.L., *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill New York. 1980.
- [14]. Saaty, T.L., Takizawa, M., Dependence and independence: from linear hierarchies to nonlinear Networks, *European Journal of Operational Research*, 1986, 26: 229–237.
- [15]. Sevkli, M., Oztekin, A., Uysal, O., Torlak, G., Türkyilmaz, A., Delen, D., Development of a fuzzy ANP based SWOT analysis for the airline industry in Turkey, *Expert Systems with App.*, 2012, 39: 14–24.
- [16]. Saaty, T.L., *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, RWS Publications Pittsburgh. 1996.
- [17]. Saaty, T.L., “Fundamentals of the analytic network process”, In *ISAHP*, Kobe, 12–14, 1999.
- [18]. Saaty, T.L., Vargas, L.G., *Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process*, MA: Kluwer Academic Publishers Boston. 2001.

- [19]. Lee, W., Kim, S.H., Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection, *Computers and Operations Research*, 2000, 27: 367–382.
- [20]. International Renewable Energy Agency (IRENA), Global Energy Transformation, A Roadmap to 2050, https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf.
- [21]. Oral, M., Solar energy potential of Turkey and evaluation of PV applications in local scale: Case of Karabük province, *International Journal of Geography and Geography Edu.*, 2020, 42: 482-503.
- [22]. Güneş Enerjisi Yatırımcıları Derneği (GÜYAD), Ülkemizde Güneş Enerjisinin Üretilen Toplam Elektrik Enerjisi Üretimindeki Payı 2020, <http://www.guyad.org/TR,460/ulkemizde-gunes-enerjisinin-uretilen-toplam-elektrik-en-.html>,
- [23]. Shura Enerji Dönüşümü Merkezi (SHURA), Rüzgâr ve güneş Türkiye’de enerji dönüşümünü nasıl hızlandırabilir: Küresel örnekler 2018, https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2019_
- [24]. Anser, M.K., Mohsin, M., Abbas, Q., and Chaudhry, I.S., Assessing the integration of solar power projects: SWOT-based AHP–F-TOPSIS case study of Turkey, *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27: 31737–49.