



**T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE OPTİMAL GÜNEŞ PANELİ
SEÇİMİ İÇİN PROMETHEE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
YÖNTEMİNİN UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞBA ULUTAŞ

OCAK

TUĞBA ULUTAŞ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ VE
UYGULAMALARI**

OCAK 2023

**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE OPTİMAL GÜNEŞ PANELİ SEÇİMİ
İÇİN PROMETHEE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİNİN
UYGULANMASI**

TUĞBA ULUTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Merve ŞEN KURT

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Tuğba ULUTAŞ

27.01.2023

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE OPTİMAL GÜNEŞ PANELİ SEÇİMİ İÇİN
PROMETHEE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİNİN UYGULANMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Tuğba ULUTAŞ

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2023

ÖZET

Bu çalışma da, güneş enerjisi sistemlerinin bir bileşeni olan fotovoltaik panel seçimi sırasında karar vericilerin karşısına çıkan birden fazla alternatif ve birden fazla kriter içerisinde en uygun olan panelin seçimine yönelik çözüm adımları bulunmaktadır. Fotovoltaik paneller üretim özelliklerine ve karar vericinin ihtiyacına göre çeşitlilik göstermektedir. Niteliksel ve niceliksel özelliklerin aynı anda değerlendirilmesi, seçilen alternatiflerin en doğru şekilde sıralanması için bu tez çalışmasında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation) ve AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) kullanılmıştır.

PROMETHEE Yöntemi; ihtiyaç duyulan fotovoltaik panelin en uygun olanının en uygun sürede seçilebilmesi için tercih edilmiştir. PROMETHEE yöntemi çözümlenirken iki önemli unsur göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlardan birincisi kriter ağırlıkları, diğeri ise her kriter için kritere uygun şekilde belirlenen tercih fonksiyonudur. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde bir başka ÇKKV yöntemi olan AHP kullanılmıştır. Tercih fonksiyonlarının belirlenmesi sırasında ise iki farklı yöneme başvurulmuştur. Bunlardan ilki kriterlerin niteliklerine göre karar verici tarafından uygun fonksiyonların seçilmesi, ikinci ise Visual PROMETHEE programının içerisinde yer alan tercih fonksiyonu asistanının kullanılmasıdır. PROMETHEE yönteminin çözümü için gerekli olan kriter ağırlıklarının ve tercih fonksiyonlarının belirlenmesi işlemleri sonuçlandırıldıktan sonra fotovoltaik panel seçimi işlemine geçilmiştir. Fotovoltaik panel seçimi sırasında farklı bakış açılarına yer verilmesinin uygun olacağı görüşü ile PROMETHEE yöntemi ile çözüm yapılırken MS Excel ve Visual PROMETHEE olmak üzere iki farklı program kullanılmıştır. Visual Promethee programında senaryo çalışmaları da 2 farklı şekilde yapılmıştır.

Yapılan 3 çözüm yöntemi sonucunda da ilk iki sırada aynı paneller yer almıştır. Karar verici seçim yapmak istediği yedi fotovoltaik panel içinden en iyi alternatif olarak çıkan e alternatifi yani 60 hücreli 310 watt monokristal paneli veya f alternatifi yani 72 hücreli 345 watt polikristal paneli seçerek en uygun paneli seçmiş olacaktır.

Sayfa Adedi	: 120
Anahtar Kelimeler	: Fotovoltaik panel, Promethee, AHP
Danışman	: Dr. Öğr. Üyesi Merve ŞEN KURT

APPLICATION of PROMETHEE MULTI CRITERIA DECISION MAKING METHOD to
DETERMINE OPTIMAL SOLAR PANEL SELECTION in SOLAR ENERGY SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Tuğba ULUTAŞ

AMASYA UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

In this study, there are the solution steps for selection of the most suitable panel among multiple alternatives and multiple criteria problem faced by decision makers during the selection of photovoltaic panels which are components of solar energy systems. Photovoltaic panels vary according to their production characteristics and the needs of the decision maker. In order to evaluate qualitative and quantitative features at the same time, and to rank the alternatives in the most accurate way, PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation) and AHP (Analytic Hierarchy Process) methods as the techniques from Multi-Criteria Decision Making (MCDM) have been used in this thesis study.

PROMETHEE Method has been preferred in order to select the most suitable one of the needed photovoltaic panel in the most appropriate time. Two important factors should be considered while PROMETHEE method is being analysed. The first one of these factors is the weights of the criteria, the other one is the preference function which is determined for each criterion in accordance with the criterion. In determination of weights of the criteria, AHP, another MCDM technique, has been used. During the determination of preference functions, two different techniques have been used. The first one of these techniques is the selection of the suitable functions by decision maker considering qualification of criteria, and the second one is the use of the preference function assistant of the Visual PROMETHEE program. After the determination of the criteria weights and preference functions required for the solution of the PROMETHEE method, the photovoltaic panel selection process has been started. Considering that it will be useful to include different perspectives for the selection of the photovoltaic panel, two different programs, which are given as MS Excel and Visual PROMETHEE, have been used in the selection of photovoltaic panels during the solution process with the PROMETHEE technique. Two different scenario studies have also been carried out in the Visual Promethee program.

For all three solutions, the same panels has taken the first two places. The decision maker will have chosen the most suitable panel by choosing the e alternative, i.e. the 310 Watt monocrystalline with 60 cells panel, which stands out as the best alternative among the seven photovoltaic panels, or choosing the f alternative, that is the 345 Watt polycrystalline panel with 72 cells.

Number of pages : 120

Keywords : Photovoltaic panel, Promethee, AHP

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Merve ŞEN KURT

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yazım aşamasında her sorumu cevaplayan, zaman ayırarak kontrolleri yapan ve beni yönlendiren tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Merve ŞEN KURT' a teşekkür ederim.

Her başarımın ve başarısızlığımın arkasında duran, hayatımın her anında hep yanımda bulduğum, ihtiyacım olan her an kollarına ve omuzlarına sığınabildiğim güzel annem Fatma Tekeş ve canım babam Hürrem Tekeş'e, birlikte atlattığımız her zorluğu güzel anılara dönüştüren, varlığı ile bana güç veren canım abim Emrah Tekeş'e, abimle birlikte kardeşim olan Öznur Tekeş'e, geniş ailemize neşe katan Ahmet Emir ve Zeynep Eliz'e sevgilerimi sunuyorum.

Yüksek lisans yapmam konusunda beni cesaretlendiren, birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum ve hayatıma yeni bakış açıları katan Amasya Ticaret ve Sanayi Odası Yönetim Kurulu Başkanı Murat Kırılancı' a ve tez yazım süresince bana gösterdikleri anlayış için Amasya Ticaret ve Sanayi Odası' nda görev yapan takım arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Seninle bu yola varım dediğim andan itibaren hayatı tüm güzellikleri ve zorluklarıyla benimle paylaşan, yaşadığımız tüm zorluklarda, enerjimin ve başarabilme inancımın bittiği her anda beni yeniden ayağa kaldıran, hayat müşterektir sözünü tam anlamıyla uygulayan, hatta bazen benden daha çok anne olan, tezimdeki şekillerin çizimini yapan canım eşim Serkan Ulutaş'a, gözlerindeki ışık ve yüzlerindeki gülümse ile hayatımı zenginleştiren oğullarım Onat Bora, Yekta Başar ve Doruk Bera'ya tüm kalbimle teşekkür ediyor, sevgilerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	2
2.1.Dünya’da Güneş Enerjisi	2
2.2.Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	4
3. FOTOVOLTAİK PANELLER	6
3.1.Fotovoltaik Hücrelerin Tarihsel Gelişimi.....	6
3.2.Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı	8
3.2.1. Yarıiletken nedir?.....	8
3.2.2. Yarıiletken çeşitleri.....	8
3.2.3. p – n eklem.....	11
3.3.Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensibi	12
3.4.Fotovoltaik Sistem Bileşenleri	13
3.4.1. Fotovoltaik panel	14
3.4.2. Inverter.....	21
3.4.3. Şarj regülatörü.....	23
3.4.4. Akü.....	23

	Sayfa
3.4.5. Diğer sistem bileşenleri.....	24
3.5.Fotovoltaik Panellerin Karşılaştırılması	24
4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ	27
4.1.Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP).....	29
4.1.1. AHP yönteminin avantaj ve dezavantajları.....	30
4.1.2. AHP yönteminin adımları	31
4.2.Analitik Ağ Prosesi (ANP).....	35
4.2.1. ANP yönteminin avantaj ve dezavantajları.....	35
4.3.ARAS Yöntemi	35
4.3.1. ARAS yönteminin avantaj ve dezavantajları.....	36
4.4.COPRAS Yöntemi.....	36
4.4.1. COPRAS yönteminin avantaj ve dezavantajları	36
4.5.CRITIC Yöntemi	37
4.5.1. CRITIC yönteminin avantaj ve dezavantajları	37
4.6.DEMATEL Yöntemi	37
4.6.1. DEMATEL yönteminin avantaj ve dezavantajları	37
4.7.EDAS Yöntemi.....	38
4.7.1. EDAS yönteminin avantaj ve dezavantajları	38
4.8.ELECTRE Yöntemi.....	39
4.8.1. ELECTRE yönteminin avantaj ve dezavantajları	39
4.9.Gri İlişkisel Analiz Yöntemi	40
4.9.1. Gri ilişkisel analiz yönteminin avantaj ve dezavantajları	40
4.10. MACBETH Yöntemi	40
4.10.1. MACBETH yönteminin avantaj ve dezavantajları	41
4.11. MAUT Yöntemi	41

	Sayfa
4.11.1. MAUT yönteminin avantaj ve dezavantajları.....	41
4.12. MOORA Yöntemi.....	42
4.12.1. MOORA yönteminin avantaj ve dezavantajları.....	42
4.13. PROMETHEE Yöntemi.....	43
4.13.1. PROMETHEE yönteminin avantaj ve dezavantajları.....	43
4.14. SAW Yöntemi.....	44
4.14.1. SAW yönteminin avantaj ve dezavantajları.....	44
4.15. SAWARA Yöntemi	45
4.15.1. SAWARA yönteminin avantaj ve dezavantajları	45
4.16. TOPSIS Yöntemi	45
4.16.1. TOPSIS yönteminin avantaj ve dezavantajları	46
4.17. VIKOR Yöntemi	46
4.17.1. VIKOR yönteminin avantaj ve dezavantajları	47
4.18. WASPAS Yöntemi.....	47
4.18.1. WASPAS yönteminin avantaj ve dezavantajları	48
4.19. Uygulamada Kullanılacak Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Seçimi	48
5. PROMETHEE YÖNETİMİ	50
5.1.PROMETHEE Yöntemi Adımları.....	50
5.1.1. Veri matrisi oluşturulması.....	51
5.1.2. Tercih fonksiyonunun tanımlanması.....	52
5.1.3. Alternatiflerin karşılaştırılması ve ortak tercih fonksiyonunun belirlenmesi	54
5.1.4. Tercih indeksleri oluşturulması.....	54
5.1.5. Pozitif ve negatif üstünlüklerin belirlenmesi	55
5.1.6. Kısmi sıralama - PROMETHEE I.....	56
5.1.7. Tam sıralama - PROMETHEE II.....	56

	Sayfa
5.2. Visual PROMETHEE.....	57
6. KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ.....	60
7. FOTOVOLTAİK PANEL ALTERNATİFLERİNE AİT TEKNİK ÖZELLİKLER	63
7.1. “a” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler	63
7.2. “b” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler.....	64
7.3. “c” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler	65
7.4. “d” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler.....	66
7.5. “e” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler	67
7.6. “f” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler	68
7.7. “g” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler.....	69
8. UYGULAMA.....	71
8.1. AHP Yardımıyla Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	71
8.1.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması.....	71
8.1.2. Önceliklerin belirlenmesi.....	72
8.1.3. İkili karşılaştırma matrisi ve çözümü.....	72
8.1.4. Normalleştirme ve göreceli önem ağırlıkları.....	73
8.1.5. Tutarlılık oranının hesaplanması.....	74
8.2. Fotovoltaik Panellerin PROMETHEE Yöntemi Yardımıyla Seçilmesi.....	76
8.2.1. PROMETHEE yönteminin Microsoft Excel 2016 programı ile çözümü .	76
8.2.2. PROMETHEE yönteminin Visual Promethee programı ile çözümü	90
8.3. Fotovoltaik Panellerinin Seçim Sıralamalarının Karşılaştırılması	103
9. SONUÇ.....	105
KAYNAKLAR	108
EKLER.....	115
ÖZGEÇMİŞ	120

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ülkelere göre dünyada güneş enerji santrali kurulu gücü listesi	3
Çizelge 3.1. Fotovoltaik hücrelerin verimleri	25
Çizelge 4.1. ÇAKV ile ÇÖKV karşılaştırması	28
Çizelge 4.2. AHP yönteminde kullanılan temel ölçek	32
Çizelge 4.3. Örnek karar matrisi	33
Çizelge 4.4. Rassal değer endeksi	35
Çizelge 5.1. Veri matrisi	51
Çizelge 5.2. Tercih fonksiyonu tablosu	52
Çizelge 5.3. Tercih fonksiyonu tipleri açıklaması	53
Çizelge 7.1. “a” alternatifine ait genel bilgiler	63
Çizelge 7.2. “a” alternatifine ait elektriksel veriler	63
Çizelge 7.3. “a” alternatifine ait sıcaklık özellikleri	63
Çizelge 7.4. “a” alternatifine ait garanti özellikleri	64
Çizelge 7.5. “b” alternatifine ait genel bilgiler	64
Çizelge 7.6. “b” alternatifine ait elektriksel veriler	64
Çizelge 7.7. “b” alternatifine ait sıcaklık özellikleri	64
Çizelge 7.8. “b” alternatifine ait garanti özellikleri	65
Çizelge 7.9. “c” alternatifine ait genel bilgiler	65
Çizelge 7.10. “c” alternatifine ait elektriksel veriler	65
Çizelge 7.11. “c” alternatifine ait sıcaklık özellikleri	65
Çizelge 7.12. “c” alternatifine ait garanti özellikleri	66
Çizelge 7.13. “d” alternatifine ait genel bilgiler	66
Çizelge 7.14. “d” alternatifine ait elektriksel veriler	66

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.15. “d” alternatifine ait sıcaklık özellikleri.....	66
Çizelge 7.16. “d” alternatifine ait garanti özellikleri	67
Çizelge 7.17. “e” alternatifine ait genel bilgiler	67
Çizelge 7.18. “e” alternatifine ait elektriksel veriler.....	67
Çizelge 7.19. “e” alternatifine ait sıcaklık özellikleri	67
Çizelge 7.20. “e” alternatifine ait garanti özellikleri	68
Çizelge 7.21. “f” alternatifine ait genel bilgiler	68
Çizelge 7.22. “f” alternatifine ait elektriksel veriler	68
Çizelge 7.23. “f” alternatifine ait sıcaklık özellikleri	68
Çizelge 7.24. “f” alternatifine ait garanti özellikleri.....	69
Çizelge 7.25. “g” alternatifine ait genel bilgiler	69
Çizelge 7.26. “g” alternatifine ait elektriksel veriler	69
Çizelge 7.27. “g” alternatifine ait sıcaklık özellikleri.....	69
Çizelge 7.28. “g” alternatifine ait garanti özellikleri	70
Çizelge 8.1. Kriterler için karşılaştırma matrisi.....	72
Çizelge 8.2. Normalleştirilmiş karşılaştırma matrisi	73
Çizelge 8.3. Kriter ağırlıkları	74
Çizelge 8.4. Tüm öncelikler matrisi.....	74
Çizelge 8.5. Tutarlılık oranının hesaplanması	75
Çizelge 8.6. Veri matrisi	77
Çizelge 8.7. Veri seti.....	78
Çizelge 8.8. Maliyet kriteri için ikili karşılaştırma değerleri.....	79
Çizelge 8.9. Maliyet kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri.....	80
Çizelge 8.10. Verim kriteri için ikili karşılaştırma değerleri	80

Çizelge	Sayfa
Çizelge 8.11. Verim kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri.....	81
Çizelge 8.12. Sıcaklık katsayısı kriteri için ikili karşılaştırma değerleri	82
Çizelge 8.13. Sıcaklık katsayısı kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri.....	82
Çizelge 8.14. Ürün garantisi kriteri için ikili karşılaştırma değerleri	83
Çizelge 8.15. Ürün garantisi kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri	84
Çizelge 8.16. Lineer performans garantisi kriteri için ikili karşılaştırma değerleri.....	84
Çizelge 8.17. Lineer performans garantisi kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri	85
Çizelge 8.18. Doldurma faktörü kriteri için ikili karşılaştırma değerleri	85
Çizelge 8.19. Doldurma faktörü kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri	86
Çizelge 8.20. Tercih indeksleri	87
Çizelge 8.21. Pozitif ve negatif üstünlük değerleri.....	88
Çizelge 8.22. PROMETHEE I ile kısmi sıralama.....	88
Çizelge 8.23. PROMETHEE II ile tam sıralama	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya fotovoltaik güç potansiyeli haritası	2
Şekil 2.2. Türkiye toplam güneş radyasyonu haritası	4
Şekil 2.3. Türkiye radyasyon değerleri	5
Şekil 2.4. Türkiye güneşlenme süreleri	5
Şekil 3.1 Fotovoltaik pil teknolojisinin izlediği değişim	7
Şekil 3.2. Arsenik katkılanmış Silisyum kristali.....	9
Şekil 3.3. Si yapıya 1 ppm As eklenmiş n tipi yarı iletkenin enerji bant diyagramı.....	9
Şekil 3.4. (a) Bor atomunun bağdaki atomu yutması sonucu oluşan boşluk (b) Boşluğun Bor atomu çevresindeki yörüngesi ve serbest hale geçişi.....	10
Şekil 3.5. Si yapıya 1 ppm B eklenmiş p tipi yarı iletkenin enerji bant diyagramı	11
Şekil 3.6. p ve n tipi yarı iletkenler.....	11
Şekil 3.7. Basit pn birleşimi	12
Şekil 3.8. Yayılım bölgesi (geçiş bölgesi) yük gösterimi	12
Şekil 3.9. Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi.....	13
Şekil 3.10. Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi	14
Şekil 3.11. Fotovoltaik hücre çeşitleri	15
Şekil 3.12. Czochralski yönteminin uygulama aşamaları	16
Şekil 3.13. Monokristal (tek kristal) silikon fotovoltaik hücre katmanları.....	17
Şekil 3.14. Polikristal silikon fotovoltaik hücre.....	18
Şekil 3.15. a-Si fotovoltaik hücre yapısı	19
Şekil 3.16. CdTe İnce film fotovoltaik hücre şematik yapısı	20
Şekil 3.17. CIGS ince film fotovoltaik hücre yapısı	21
Şekil 3.18. Mikro inverter şeması	22

Şekil	Sayfa
Şekil 3.19. Dizi inverter şeması	22
Şekil 3.20. Merkezi inverter şeması.....	23
Şekil 3.21. Fotovoltaik hücrelerin yıllara göre verimleri.....	24
Şekil 3.22. Fotovoltaik panel gücü yıllara göre değişimi	25
Şekil 3.23. Hücre çeşitlerine göre yıllık üretim miktarı.....	26
Şekil 4.1. ÇKKV Süreci.....	28
Şekil 4.2. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin sınıflandırılması.....	29
Şekil 4.3. AHP yöntemi adımları.....	31
Şekil 4.4. AHP yöntemi hiyerarşik yapısı.....	32
Şekil 5.1. PROMETHEE yönteminin süreç algoritması.....	51
Şekil 5.2. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi	54
Şekil 5.3. Pozitif ve negatif üstünlükler	55
Şekil 5.4. Visual promethee örnek karar matrisi ekranı.....	57
Şekil 5.5. Visual promethee örnek problem için üstünlükler tablosu	58
Şekil 5.6. Visual PROMETHEE ile örnek problem için PROMETHEE I kısmi sıralama grafiksel gösterimi	58
Şekil 5.7. Visual PROMETHEE ile örnek problem için PROMETHEE II tam sıralama grafiksel gösterimi.....	59
Şekil 8.1 Fotovoltaik panel seçimi için AHP hiyerarşik yapısı	71
Şekil 8.2. Visual promethee programı veri seti.....	91
Şekil 8.3. Visual promethee rapor ekranı.....	92
Şekil 8.4. PROMETHEE – GAIA menü ekranı	93
Şekil 8.5. PROMETHEE table – üstünlükler tablosu	93
Şekil 8.6. Alternatiflerin promethee I ile kısmi sıralaması	94
Şekil 8.7. Alternatiflerin promethee II ile tam sıralaması.....	95

Şekil	Sayfa
Şekil 8.8. Tercih fonksiyonu belirleme ekranı.....	96
Şekil 8.9. Tercih fonksiyonu asistanı start sekmesi ekranı	97
Şekil 8.10. Tercih fonksiyonu asistanı type selection sekmesi ekranı	98
Şekil 8.11. Tercih fonksiyonu asistanı threshold type sekmesi ekranı	99
Şekil 8.12. Tercih fonksiyonu asistanı threshold assessment sekmesi ekranı, (a) senaryo 1, (b) senaryo 2.....	100
Şekil 8.13. Tercih fonksiyonu asistanı end sekmesi ekranı	101
Şekil 8.14. Senaryo 2 veri seti	102
Şekil 8.15. PROMETHEE table – senaryo 2’ ye göre üstünlükler tablosu	102
Şekil 8.16. MS Excel programı ile tam sıralama	103
Şekil 8.17. Visual promethee programı senaryo 1 ile tam sıralama	103
Şekil 8.18. Visual promethee programı senaryo 2 ile tam sıralama	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler

Açıklama

As

Arsenik

P

Fosfor

Sb

Antimon

Si

Silisyum

B

Bor

Cd

Kadmiyum

Te

Tellür

Ga

Galyum

CdTe

Kadmiyum tellürid

CdS

Kadmiyum sülfür

CuInSe₂

Bakır indiyum diselenid

CIS

Bakır indiyum selenyum

CIGS

Bakır indiyum galyum diselenid

Kısaltmalar

Açıklama

AHP

Analitik hiyerarşi prosesi

ANP

Analitik ağ prosesi

ARAS

Additive ratio assesment

COPRAS

Complex proportional assessment

CRITIC

Criteria importance through intercriteria correlation

ÇAKV	Çok amaçlı karar verme
ÇÖKV	Çok ölçütlü karar verme
ÇKKV	Çok kriterli karar verme
DEMATEL	The decision making trial and evaluation laboratory method
EDAS	Evaluation based on distance from average solution
ELECTRE	Elimination et choix traduisant la realite
EPDK	Enerji piyasası düzenleme kurumu
FV	Fotovoltaik
GEPA	Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası
GİA	Gri ilişkisel analiz
ISE	Fraunhofer institute for solar energy systems
MACBETH	Measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique
MADM	Multi attribute decision making
MAUT	Multi-attribute utility theory
MOORA	Multi-objective optimization by ratio analysis
MODM	Multi objective decision making
NREL	The national renewable energy laboratory
PROMETHEE	The preference ranking organization method for enrichment evaluation
SAW	Simple additive weighting
SWARA	Step-wise weight assessment ratio analysis
TOPSIS	Technique for order preference by similarity to ideal solution
VIKOR	Vise kriterijumska optimizacija i kompromisno resenje
WASPAS	Weighted aggregated sum product assessment

1. GİRİŞ

Enerji; kısaca iş yapabilme gücüdür. Bu nedenle günlük hayatın devamı için enerji vazgeçilmez bir kaynaktır. Doğumdan ölüme kadar geçen yaşam döngüsünde tüm canlılar enerjiye ihtiyaç duyarlar ve bunu kullanırlar.

Hızla artan nüfusun ve gelişen sanayinin ihtiyaç duyduğu enerji miktarı sürekli artmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan enerji kaynakları; fosil yakıtlar kömür, petrol ve doğalgazdır. Bu enerji kaynaklarının kullanımı hava kirliliği, iklimsel değişiklikler, küresel ısınma, asit yağmurları gibi birçok çevresel problemi de beraberinde getirmektedir. Bu ve bunun gibi çevresel problemlerle baş etmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasının gerekliliğinin tek sebebi çevresel problemler de değildir. Bir başka pencereden bakıldığında fosil yakıt demek Türkiye için dışa bağımlılık demektir. Gelişen ve büyüyen ülkemizin enerji kaynakları açısından dışa bağımlılığının önlenmesi gerek hane halkı için gerekse üreterek, istihdam sağlayarak, ekonomiye can katan en büyük aktörler sanayici ve iş insanları için de önemli bir adım olacaktır. Hem ekonomik olarak kendi kaynaklarımızın kullanılması uzun vadede daha ekonomik olacak, hem de oluşacak siyasi ya da ekonomik bir kriz anında enerji kaynağı yakıtlarımızın kesilmesi riskini de ortadan kaldıracaktır.

Dışa bağımlılığı azaltmak ve/veya gelecek nesillere daha temiz bir çevre bırakmak enerji üretimin de yenilenebilir kaynakların kullanımı ile mümkün olacaktır.

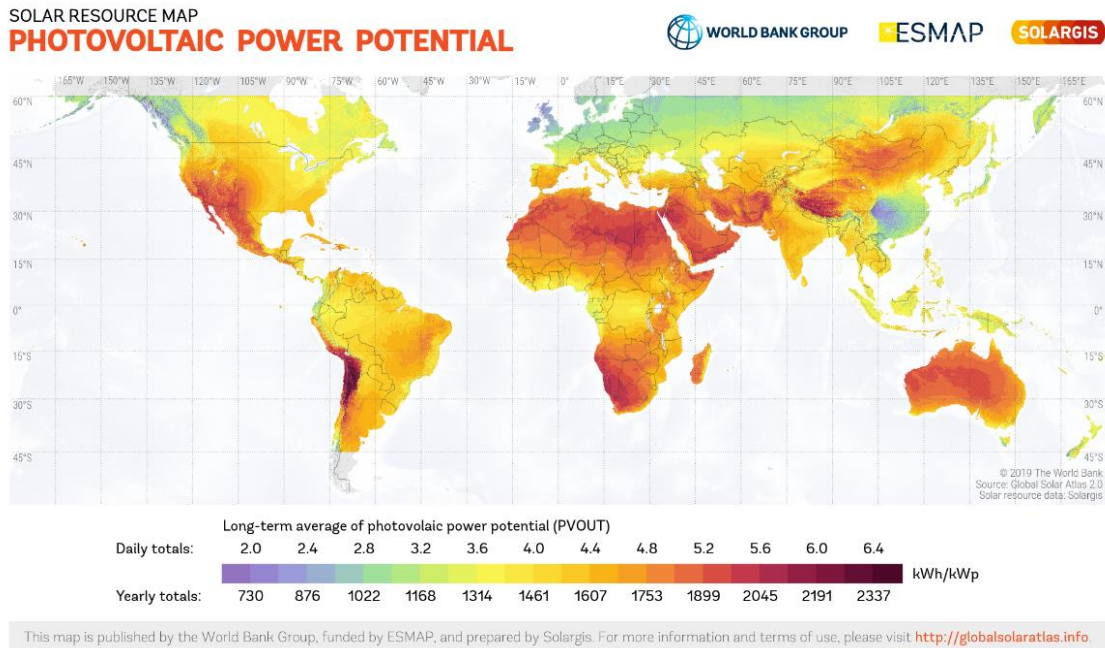
2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Yenilenebilir enerji kaynağı dendiğinde ilk akla gelen kaynaklardan birisi olan Güneş, Dünya için temel enerji kaynağıdır.

2.1. Dünya’da Güneş Enerjisi

Enerji; hayatın devamlılığının sağlanması için vazgeçilmezdir. Ülkeler içinde en önemli kaynaklardan biri enerjidir. Tarihsel süreçte enerji kaynakları zamanla değişiklik göstermiştir. Kömür bir zamanların en önemli enerji kaynağı iken yerini petrol ve doğalgaza bırakmıştır. Bugünlere geldiğimizde ise fosil yakıtların (petrol, doğalgaz, kömür) tükenme sınırında olması ve bu kaynakların çevresel etkileri nedeniyle yeni enerji kaynakları arayışı ortaya çıkmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları da bu bağlamda hem tükenmesi imkânsız olması hem de neredeyse yok denecek kadar az çevresel etkilere sahip olması sebebiyle tercih edilen kaynaklar olmuşlardır.

Birçok canlının hayatını sürdürmesi için gerekli olan Güneş, elektrik enerjisi içinde vazgeçilmez bir kaynaktır. Dünya güneş potansiyelini gösterir haritaya bakıldığında Dünya’nın büyük kısmının güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 2.1. Dünya fotovoltaik güç potansiyeli haritası (Global Solar Atlas, 2022)

Dünyadaki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik artan farkındalık sebebiyle neredeyse tüm ülkelerin elektrik üretiminde az ya da çok güneş enerjisini kullandığını söylemek mümkündür.

Çizelge 2.1. de görülebileceği gibi güneş enerji santrali bulunan ülkelerin kurulu güç miktarlarının fazla olandan az olana doğru sıralandığı listede Türkiye 14. Sırada yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Ülkelerin güneş enerji santrali kurulu gücü listesi (Enerji Atlası, 2022)

ÜLKELERE GÖRE DÜNYADA GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULU GÜCÜ LİSTESİ			
Sıra	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	Aralık 2020	254 355
2	Amerika Birleşik Devletleri	Aralık 2020	75 572
3	Japonya	Aralık 2020	67 000
4	Almanya	Aralık 2020	53 783
5	Hindistan	Aralık 2020	39 211
6	İtalya	Aralık 2020	21 600
7	Avusturalya	Aralık 2020	17 627
8	Vietnam	Aralık 2020	16 504
9	Güney Kore	Aralık 2020	14 575
10	İspanya	Aralık 2020	14 089
11	Birleşik Krallık	Aralık 2020	13 563
12	Fransa	Aralık 2020	11 733
13	Hollanda	Aralık 2020	10 213
14	Türkiye	Haziran 2022	8 275
15	Brezilya	Aralık 2020	7 881
16	Güney Afrika	Aralık 2020	5 990
17	Tayvan	Aralık 2020	5 817
18	Belçika	Aralık 2020	5 646
19	Meksika	Aralık 2020	5 644
20	Ukrayna	Aralık 2020	5 360
21	Polonya	Aralık 2020	3 936
22	Kanada	Aralık 2020	3 325
23	Yunanistan	Aralık 2020	3 247
24	Şili	Aralık 2020	3 205
25	İsviçre	Aralık 2020	3 118
26	Tayland	Aralık 2020	2 988
27	Birleşik Arap Emirlikleri	Aralık 2020	2 539
28	Avusturya	Aralık 2020	2 220
29	Çekya	Aralık 2020	2 073
30	Macaristan	Aralık 2020	1 953

2.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Coğrafi konumu sebebiyle Türkiye güneş enerjisi açısından yüksek potansiyelli ülkeler arasında yer almaktadır.

Enerji Bakanlığı tarafından açıklanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre;

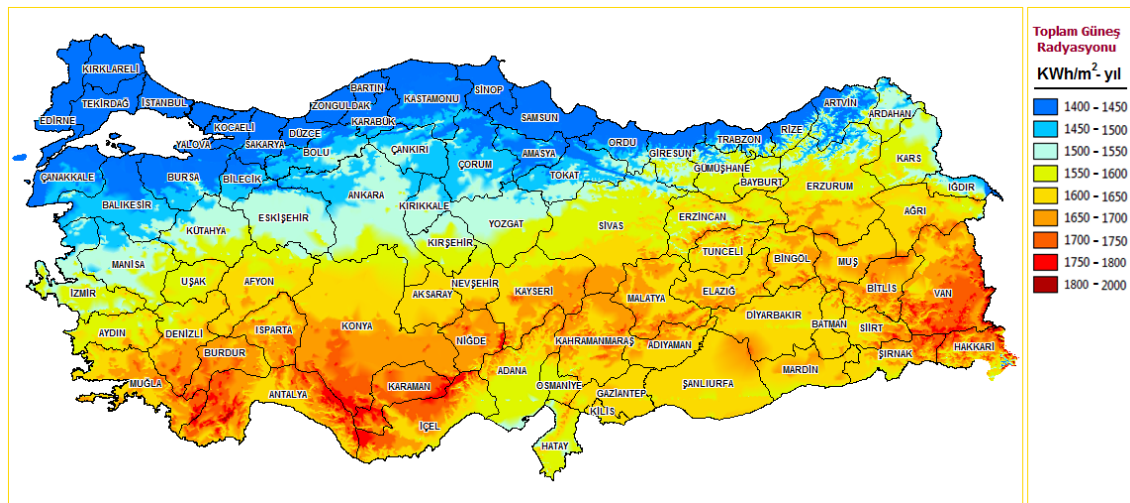
Ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi : 2 741,07 saat/yıl

Ortalama günlük toplam güneşlenme süresi : 7,50 saat/gün

Ortalama yıllık toplam ışıınım şiddeti : 1 527,46 kWh/m²-yıl

Ortalama günlük toplam ışıınım şiddeti : 4,18 kWh/m²-gün

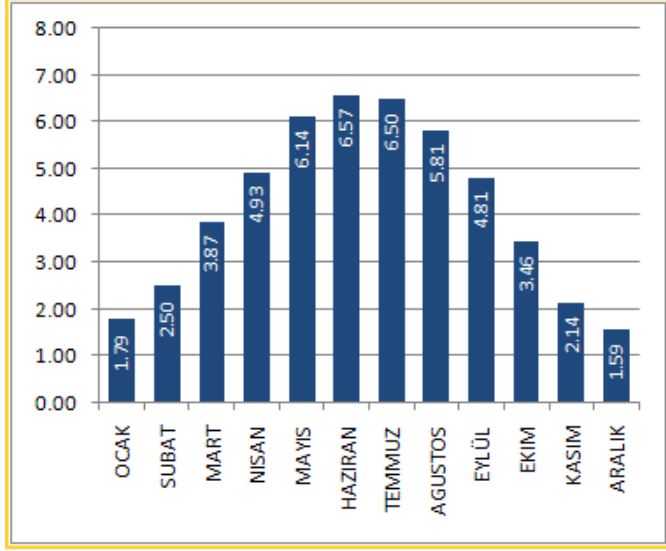
olarak hesaplanmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)



Şekil 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)

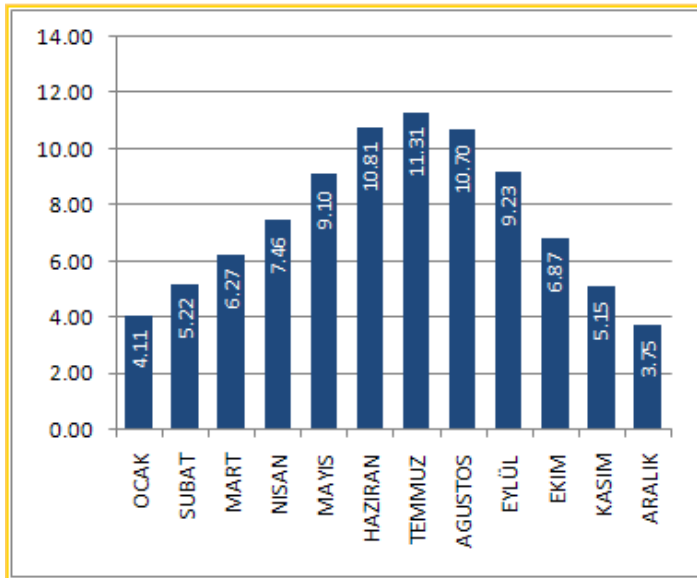
Türkiye’nin sahip olduğu güneş potansiyelini gösteren haritaya bakıldığında güneşlenme potansiyelinin güneye doğru arttığı gözlenmektedir. Bölge bazlı bakıldığında Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi ve Güney Doğu Anadolu Bölgesi güneş enerjisi potansiyeli açısından daha zengindir. Karadeniz ve Marmara ise güneş radyasyon değerleri daha düşük olan bölgelerdir.

Ülkemizin aylara göre radyasyon değerleri günlük ortalama olarak karşılaştırıldığı grafik Şekil 2.3. de verilmiştir. Buradan çıkan sonuca göre; 6,57 kWh/m² değer ile radyasyon değeri en fazla olan ay Haziran olurken, 1,59 kWh/m² değer ile Aralık ayı en az radyasyon değeri olan aydır.



Şekil 2.3. Türkiye radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)

Şekil 2.4. de verilen aylar açısından güneşlenme sürelerini gösteren grafiğe göre en çok güneşlenme süresine sahip olan ay 11,31 saat ile Temmuz ayı iken en az güneşlenme süresi olan Aralık ayında 3,75 saattir.



Şekil 2.4. Türkiye güneşlenme süreleri (saat) (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)

3. FOTOVOLTAİK PANELLER

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için kurulan sistemlerin en önemli bileşeni olan fotovoltaik panellerin tarihsel gelişimi, hücre yapısı, hücrelerin çalışma prensibi ve fotovoltaik sistemlerin diğer bileşenleri bu bölümde ele alınmıştır.

3.1. Fotovoltaik Hücrelerin Tarihsel Gelişimi

Fotovoltaik hücrelerin son yıllarda hayatımıza girdiği düşünülse de 1800 lü yıllardan beri fotovoltaik hücreler ile ilgili çalışmalar mevcuttur.

1839 yılında ilk defa Fransız bilim insanı A.E. Becquerel, platin kaplı gümüş iki metal elektrotu aynı elektrolit sıvı içerisine daldırarak, elektrotların arasındaki gerilimin ışığa bağlı olarak değiştiğini gözlemlemiştir (Goetzberger, Hebling, ve Schock, 2003).

1873 yılında İngiliz Mühendis W. Smith yaptığı çalışmalarda Selenyum (Se) elementinin ışığa maruz kaldığında elektriksel iletkenliğinin arttığını gözlemlemiştir (Kaycı, 2021) ve bununla ilgili bir makale yayınlamıştır. Nature dergisinin 20 Şubat 1873 sayısında yayınlanan makalesinde "Bir Elektrik Akımının Geçiş Sırasında Işığın Selenyum Üzerindeki Etkisi" ni anlatmıştır. Bu gelişmenin ardından, W.G. Adams ve R.E. Day 1876 yılında katılarda selenyum elektrotunun ışık altında akım oluşturduğunu ortaya koymuştur (Bayat, 2016).

1883 yılında, C.E. Fritss, iki farklı metalden yapılmış tabakaların arasına erimiş Se sıkıştırmasıyla yoluyla ilk güneş pilini icat etmiştir (Oruç, 2007).

G. Pearson, C. Fuller ve D. Chapin tarafından 1954 da Bell Telephone Laboratuvarında radyo vericisine güç sağlayabilecek ilk FV hücre geliştirilmiştir. Bu çalışma ile 1914 lü yıllardan itibaren %1 seviyesinde olan fotovoltaik hücrelerin verimliliğinde artış sağlanarak %6 değerine ulaşılmıştır (Şen, 2017). Bu tarihten itibaren FV güneş pili araştırmaları ve tasarımları uzak araçları güç sistemlerine yönelik olarak sürdürülmüştür. 1958 yılında FV güneş hücreleri ilk kez Vanguard 1 uydusunda kullanılmıştır. 1960 larda uzay çalışmalarında FV güç sistemleri kullanılmaya başlanmıştır (Ismael, 2012).

1960'ların başlarından itibaren FV pillerin verimlerinde %15 seviyelerine ulaşılmıştır (Green, 2013).

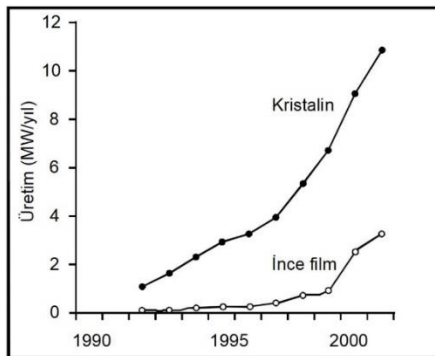
1973 yılında meydana gelen petrol krizi, 1979 yılında ABD Three Mile Island termik santralinde ve 1986 yılında Çernobil nükleer santralinde meydana gelen nükleer kazalar, elektrik üretimi için güneşe yönelinmesini hızlandırarak, güneş pilleri teknolojilerinin gelişiminin önünü açmıştır (Atakan, 2020).

1982 yılında Hesperia, Kaliforniya'da 1 MW kapasiteli ilk güneş enerji santrali inşa edilmiştir (Office Of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2004).

1985 yılında New South Wales Üniversitesinde FV hücrelerin %20 verim ile çalıştığını gösteren çalışmalara imza atılmıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde ise verimi %40'a kadar yükselen FV hücrelerin üretilmiştir (Özçelik, 2016).

Küresel ısınmanın getirdiği sera etkisi, fosil yakıtların tükenebilirliği gibi sorunların dünya genelinde söz ediliyor olması hem ülkeleri hem de büyük şirketleri yenilenebilir enerji kaynakları üzerine araştırmalar yapmaya itmiştir. Yenilebilir enerji kaynaklarına artan talep yeni teknolojiler geliştirilerek daha ekonomik alternatifler üretilmesi konusunda teşvik edici olmuştur. Literatürde sürekli bir enerji kaynağı olan Güneş'in kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaların detaylı olarak incelenmesi neticesinde 1800 lü yıllardan bugünlere FV alanında oldukça hızlı bir gelişme gözlenmiştir. 1982 yılında 1 MW Kurulu gücü bulunan dünya da, 2018 yılı sonu itibariyle kurulu güneş enerji santrali gücü 509 GW ulaşmıştır.

Şekil 3.1 de FV pil teknolojisinin izlediği değişimi gösterilmektedir (Eruz, 2015).



Şekil 3.1 Fotovoltaik pil teknolojisindeki izlediği değişim (Eruz, 2015)

3.2. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı

Fotovoltaik hücrelerin yapısı, n ve p tipi maddelerin birleşiminden oluşan yarıiletken diyotlara benzemektedir.

3.2.1. Yarıiletken nedir?

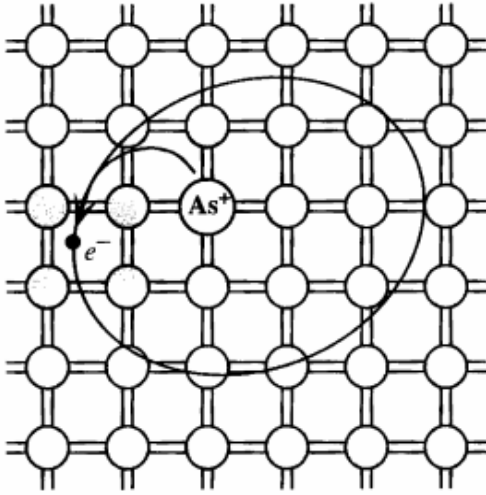
Yarıiletken maddeler; normal halde yalıtkan olan, iletkenlik bakımından değerlendirildiğinde ise iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer alan maddelerdir. Son yörüngelerinde 4 elektron bulunan bu maddeler ışık, ısı ve manyetik etkisinde ya da gerilim altında valans elektronunun serbest hale geçmesi ile iletkenlik özelliği kazanırlar. Bu maddeler için iletkenlik geçicidir, iletkenliğe neden olan dış etken ortadan kalktığında tekrar eski hallerine dönerler. Yarı iletkenler kristal yapıdadırlar. Yani atomları kübik bir düzende sıralanmıştır. Yarı iletkenlerin iletkenlik özelliği kazanması için ısı, ışık, manyetik alan ve gerilim gibi dış etkenlerin dışında içlerine özel madde ilavesi ile de iletkenlikleri artırılabilir.

3.2.2. Yarıiletken çeşitleri

Yarıiletkenler ikiye ayrılır. Yapısında bulunan elektron veya boşluk fazlalığına göre n tipi veya p tipi olarak adlandırılırlar.

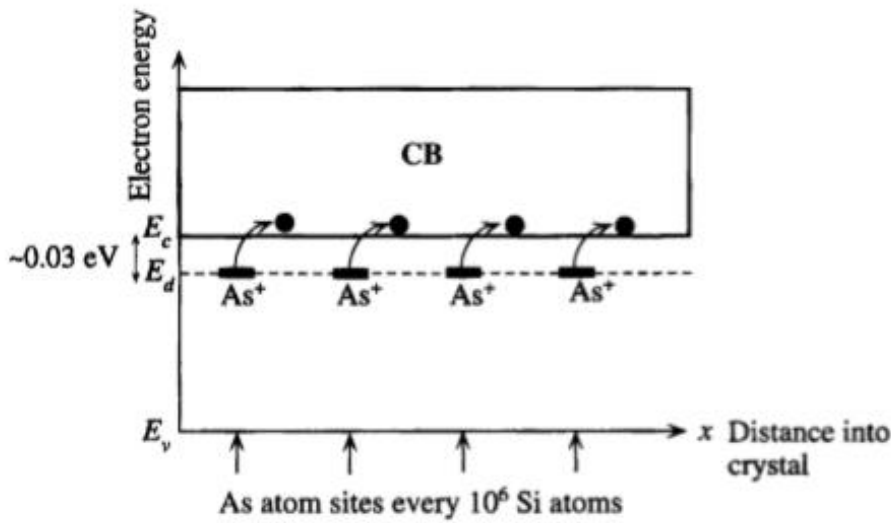
n – tipi yarı iletkenler

Periyodik cetvelin 5'inci gurubunda bulunan Fosfor (P), Antimon (Sb), Arsenik (As) gibi metallere Silisyum (Si) eklenmesi ile oluşturulan yarıiletken tipine n tipi yarı iletkenler denir. Silisli yapıya Arsenik eklenmesi durumunda; Arsenik 5 valans elektrona ve Silisyum 4 valans elektrona sahiptir. Arsenik Silisyumun 4 elektronu ile yaptığı bağ sonrasında bir valans elektronu dışarıda kalır. Bağ yapmayan ve As yörüngesinde dolaşan bu elektron enerji verildiğinde iletkenlik bandına geçer. Bu fazlalık elektron nedeniyle bu sisteme n-tipi yarı iletken adı verilir. Şekil 3.2. de Arsenik atomunun yapı içerisindeki konumu gösterilmiştir (Özgün, 2018: 53; Kasap, 2016: 388).



Şekil 3.2. Arsenik katkılanmış Silisyum kristali (Kasap,2016: 388).

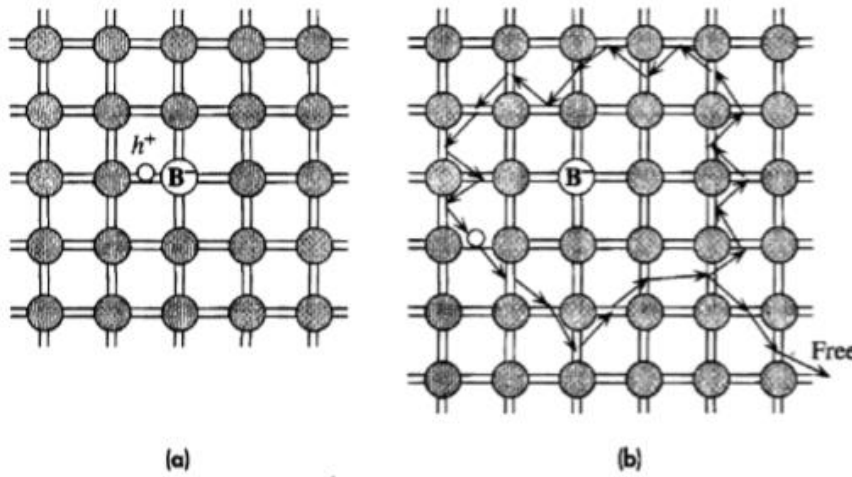
Saf bir yarı iletkenin iletkenlik bandına elektron transferi için gereken enerji büyükken, katkılanmış bir yarı iletkenin elektron transferi için bu değer daha küçüktür. Şekil 3.3. de gösterildiği gibi As yüklenerek oluşturulan n tipi yarı iletkenin iletkenlik bandına elektron transfer etmesi 0,03 eV enerji ile mümkündür. Oda koşulları atomların titreşmesini sağlayacak ortalama termal enerji 0,07 eV dır. Bu sebeple As atomunun elektron transferi katkılanmamış saf yarı iletkenlere göre daha kolay gerçekleşmektedir (Özgün, 2018: 53; Kasap, 2016: 388).



Şekil 3.3. Si yapıya 1 ppm As eklenmiş n tipi yarı iletkenin enerji bant diyagramı (Kasap, 2016: 388).

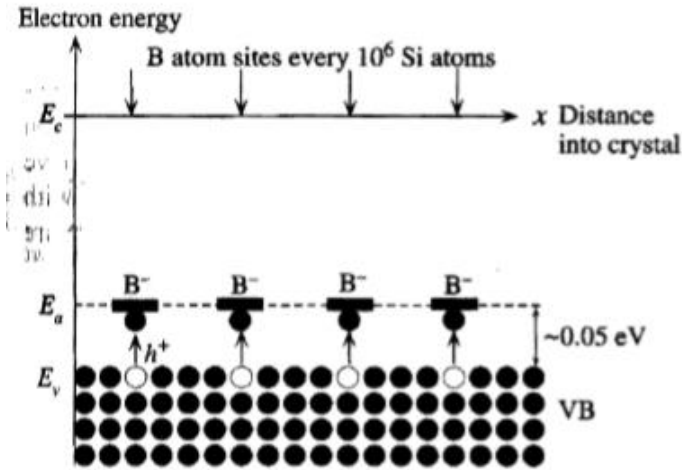
p – tipi yarı iletkenler

Silisyum kristal yapıya 3 valans elektronlu metallerin eklenmesi ile oluşan yarı iletkenlere p – tipi yarıiletken adı verilir. Silis kristaline Bor eklenmesi örneğinden yola çıkarsak; Bor 3 valans elektronuna ve Silisyum ise 4 valans elektronuna sahiptir. Bor Silisyumla bağ kurarken yuttuğu elektron geride bir boşluk bırakır. Oluşan bu boşluk Bor atomu çevresinde bir yörünge meydana getirir. Yeterli enerji sağlanması durumunda yörüngeden kurtulan boşluk valans bandında serbest halde dolaşabilir duruma gelir. Şekil 3.4. de Bor atomunun yapı içerisindeki konumu gösterilmiştir (Özgün,2018: 53; Kasap,2016: 388).



Şekil 3.4. (a) Bor atomunun bağdaki atomu yutması sonucu oluşan boşluk.
(b) Boşluğun Bor atomu çevresindeki yörüngesi ve serbest hale geçişi (Kasap, 2016: 388).

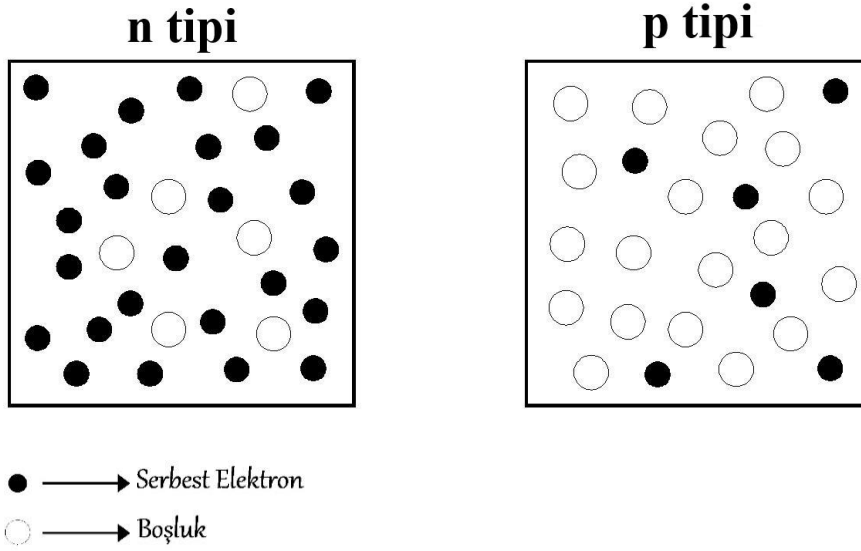
B eklenmiş yarı iletkenin valans bandında boşluğun dolaşabilmesi için 0,05 eV enerjiye ihtiyacı vardır (Şekil 3.5). Ortalama oda koşulları atomların titreşimini sağlayacak enerjiyi sağlayabilmektedir.



Şekil 3.5. Si yapıya 1 ppm B eklenmiş p tipi yarı iletkenin enerji bant diyagramı (Kasap, 2016: 388).

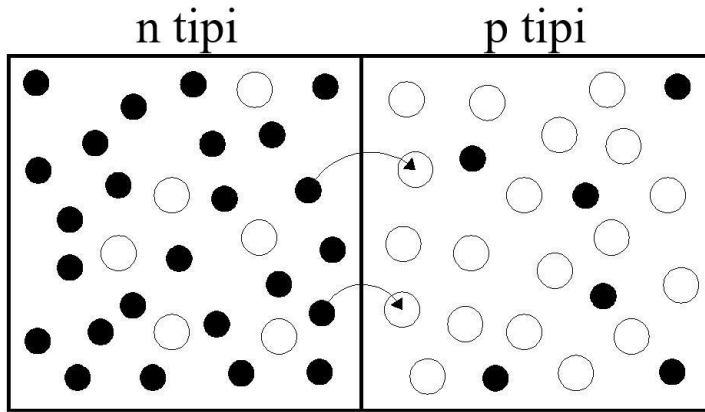
3.2.3. p – n eklem

pn birleşimi (junction) ya da pn eklemi, p ve n tipi yarı iletkenlerin bir arada kullanılması ile oluşurlar.



Şekil 3.6. p ve n tipi yarı iletkenler

p tipi yarı iletkende boşluk daha fazla iken, n tipi yarı iletkende serbest elektron sayısı daha fazladır.

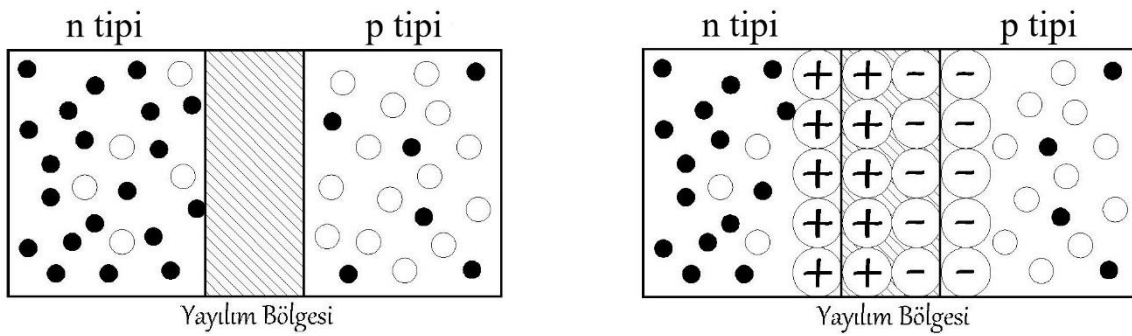


Şekil 3.7. Basit pn birleşimi

pn birleşiminde elektronlar ve boşluklar birbirlerine doğru hareket ederler. P tipindeki boşluklar n tipine, n tipindeki elektronlar p tipine doğru hareket ederler.

3.3. Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensibi

Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi “fotovoltaik etki” ilkesine dayanmaktadır. Güneş panellerinde, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmemizi sağlayan etkiye “fotovoltaik etki” denir.

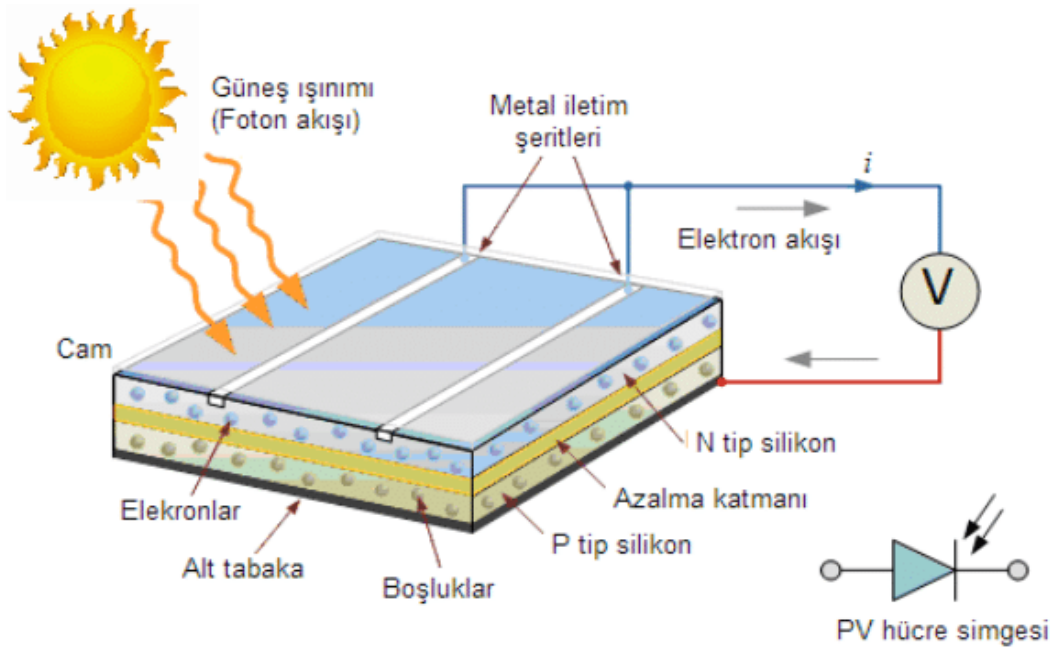


Şekil 3.8. Yayılım bölgesi (geçiş bölgesi) yük gösterimi

Şekil 3.8.’de gösterildiği gibi n’nin p ile birleştiği yüzeyi (+) ve p’nin n ile birleştiği yüzeyi (-) olur. Bu yüzeyde ters gerilim bloğu oluşur. Boşluk ve elektron difüzyonu yayılım (geçiş) Bölgesindeki elektrik potansiyeli artana kadar devam eder (Özgün, 2018: 53).

FV hücre üzerine düşen güneş ışını üst tabakayı geçerek pn eklemine gelmektedir. Eklem bölgesine gelen ışının etkisiyle elektronlar uyarılarak hareket ederler. Pozitif yüklü

elektronlar negatif yüklü boşluklar bırakarak elektron – boşluk çiftleri oluştururlar. Oluşan elektrik alan etkisiyle elektronlar n tipi yarıiletkende, boşluklar p tipi yarıiletkende toplanırlar. Fotovoltaik etki denilen hareket sayesinde elektrik akımı meydana gelir. Bu tek yönlü hareket ile doğru akım oluşur. Hücre bir devreye bağlandığında ise elektrik akımı kullanılabilir duruma gelmiş olur.



Şekil 3.9. Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi (Demirci, 2018)

3.4. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

Şebekeye bağlı ve şebekeden ayırık sistemlerin ortak bileşenleri olduğu gibi farklı bileşenleri de vardır. Her iki sistem için ana bileşenleri aşağıdaki gibi tanımlamak mümkündür.

Şebekeye bağlı sistemlerin ana bileşenleri;

- Fotovoltaik Panel
- Inverter

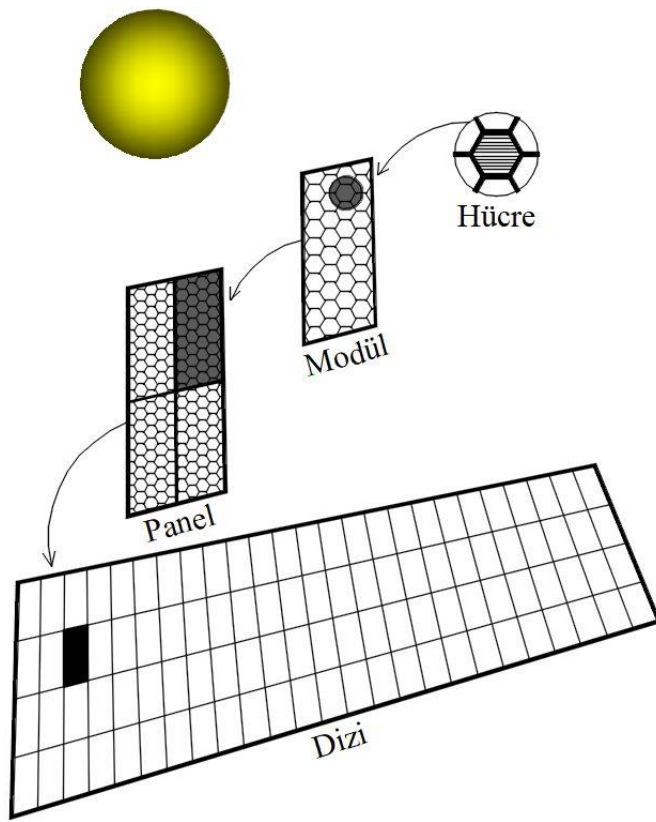
Şebekeden ayırık sistemlerin ana bileşenleri;

- Fotovoltaik Panel
- Inverter
- Şarj regülatörü

d. Akü

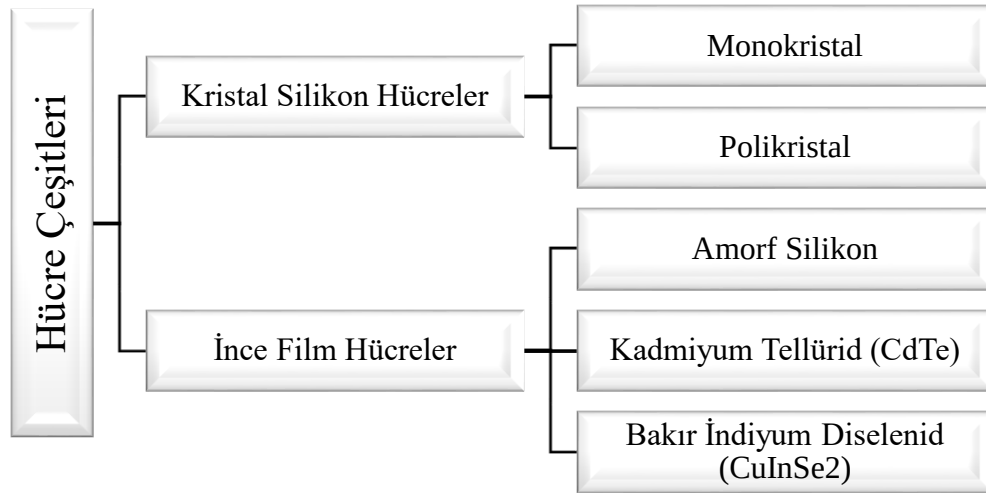
3.4.1. Fotovoltaik panel

FV hücreler yarıiletken malzemeler kullanılarak güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ekipmanlardır. Hücrelerden elde edilecek gücü arttırmak için hücreler seri ya da paralel bağlanabilmektedir. Hücrelerin seri ya da paralel bağlanması ile fotovoltaik paneller, panellerin birbirine bağlanması ile de fotovoltaik diziler meydana gelir.



Şekil 3.10. Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi

FV panellerin elektriksel ve mekaniksel olarak birbirinden farklı çeşitleri mevcuttur. Fotovoltaik hücreleri temel olarak 2 grupta ele almak mümkündür. Bunlar; kristal silikon ve ince film hücrelerdir.



Şekil 3.11. Fotovoltaik hücre çeşitleri

Kristal silikon hücreler

Kristal FV hücrelerin dünyadaki pazar payı yaklaşık %95 dir. Bu da kristal FV hücreleri dünyada en çok tercih edilen fotovoltaik panel olduğunu göstermektedir. Bu değerin yaklaşık %84 'ünü de monokristal hücreler oluşturmaktadır (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2021).

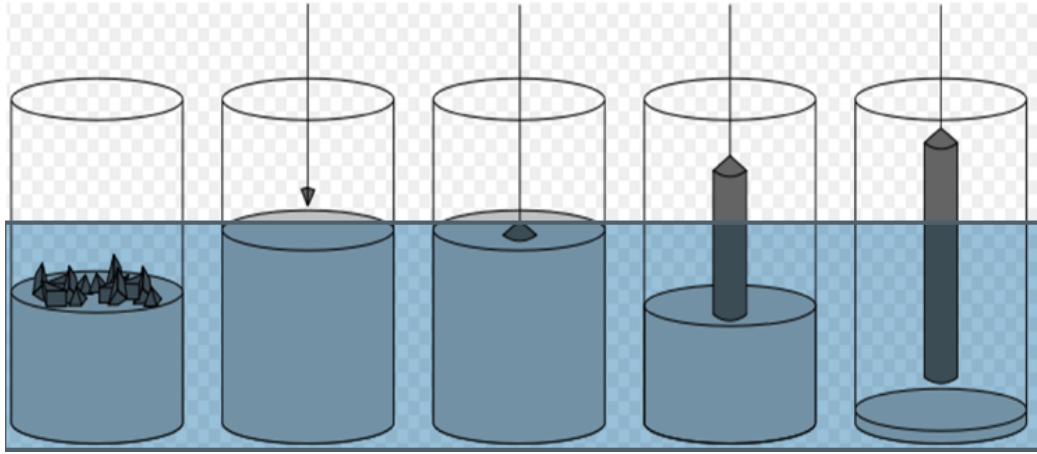
Kristal fotovoltaik hücrelerin üretimi için gerekli olan en önemli malzeme silisyumdur. Oksijenden sonra yeryüzünde en fazla bulunan element olması, zehirli olmaması, özelliğinin uzun süre değişmemesi silisyumu üretimde en önemli madde yapan özellikleridir. Silisyum doğada oksijenle birleşerek farklı silikon saflığına sahipliğine kum ve kuvars formunda bulunmaktadır. Kum sahip olduğu düşük saflık derecesi nedeni ile kullanılmaya uygun değildir. Ancak %90'ı silisyumdan oluşan kuvarsın ise işlenmesi ile %99 saflıkta silika elde edilebilmektedir (Karakan, 2015).

Monokristal (tek kristal) fotovoltaik hücre

Monokristal (tek kristal) fotovoltaik hücreler tek bir silisyum kristalden yapılmış hücrelerdir. Homojen yapıya sahip olma özelliği monokristal hücreleri daha verimli hücreler yapmaktadır. Fotovoltaik hücrelerin 2020 yılı üretim oranlarına bakıldığında üretilen kristal hücrelerin yaklaşık %84 payını monokristal hücreler oluşturmaktadır (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2021).

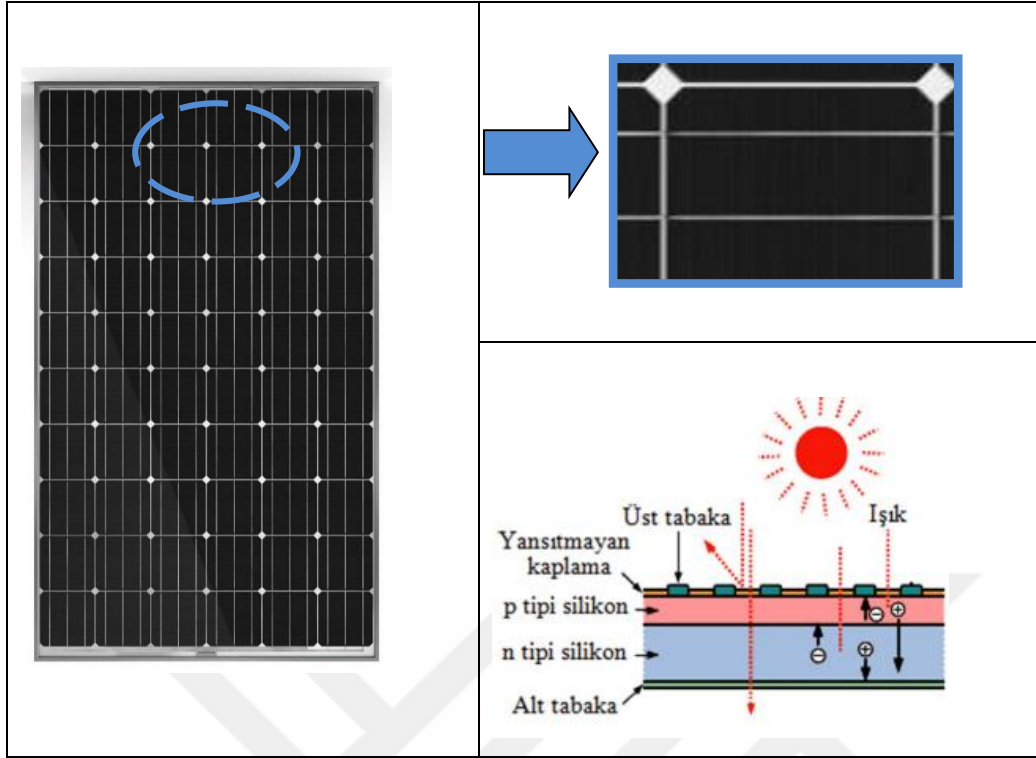
1915 yılında icat edilen ve icat eden Polonyalı bilim insanının soyadı ile anılan Czochralski Yöntemi ile silisyum kristalleri üretilirler. Bu yöntemde; yarıiletken silisyum, genellikle kuvarsdan yapılan 1.425 °C' de bir eritme potasında eritilir. Daha sonra bu eriğin içerisine ucuna tohum kristali monte edilmiş çubuk daldırılır. Çubuğun yavaş yavaş ve döndürülerek soğuk alana doğru çekilmesi ile 1 – 2 m uzunluğunda kristal silindirik külçe elde edilir. Büyütülen silisyum daha sonra 200 – 300 mm kalınlığında dilimlenerek fotovoltaik hücrelerde kullanılabilecek hale gelir (Wikipedia, 2021). Yapımı ve dilimlenmesi aşamasında malzeme kaybının fazla olması nedeniyle üretim maliyeti yüksek hücrelerdir. Genellikle koyu mavi veya siyah renklidirler.

Laboratuvar şartlarında verimlilik oranları %24,7 civarında olsa da uygulamalarda verim %14 – 18 aralığında değişmektedir (Perdahlıyan, 2021).



Şekil 3.12. Czochralski yönteminin uygulama aşamaları (Karakan, 2015)

Şekil 3.13 de monokristal fotovoltaik hücreye ait katmanlar gösterilmiştir. Monokristal silikon fotovoltaik hücrelerin üst tabakası akımı toplayan bölümdür. Maksimum seviyeden ışık yakalamak için hücrenin ön yüzeyi piramid ve konik şekillerde yapılmaktadır. Üst tabakanın altında yansıtıcı özelliği olmayan, ışığı büyük ölçüde soğuran, yaklaşık 150 mm kalınlığında kaplama tabakası vardır. Bu tabaka; silisyumun üzerine düşen ışınım miktarının yansımaları önlemek ve pilin verimini arttırmak için kullanılmaktadır. Yansıtıcı olmayan kaplama tabakanın altında elektrik akımının olduğu p-n eklemi bulunur. Pilin negatif tarafını n-bölgesi, pilin pozitif tarafını p-bölgesi oluşturur (Eruz, 2015).



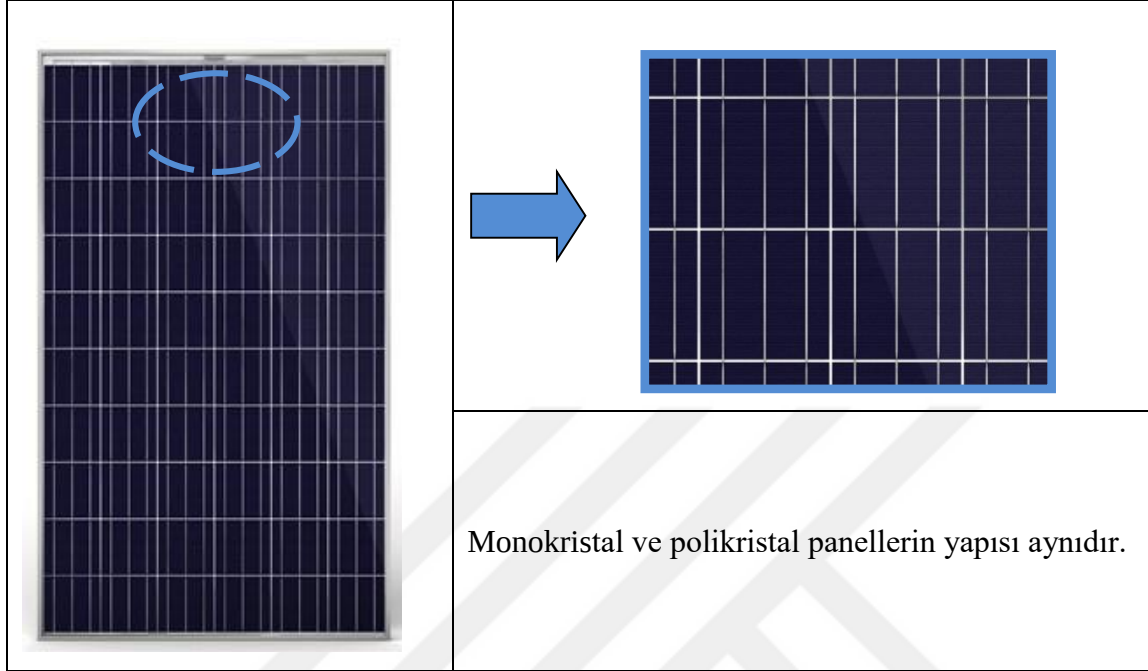
Şekil 3.13. Monokristal (tek kristal) silikon fotovoltaik hücre katmanları (Karakan, 2015; Solar Enerji, b.t)

Polikristal (çok kristalli) fotovoltaik hücre

Polikristal FV panel üretimi aşamasında monokristal fotovoltaik panelde olduğu gibi silisyum kullanılır. Eriyik haldeki yarı iletken silisyum kalıplarda soğutulurarak çok kristalli silisyum elde edilir. Soğuyan yarı iletken, dairesel, dikdörtgen veya çokgen olacak şekilde ve kalınlığı 0,2 – 0,3 mm kalınlıklarda dilimlenir. Polikristal silisyum üretiminde oluşan poli-kristal silisyumlar homojen değildir. Çünkü üretimi sırasında Czochralski yönteminde olduğu gibi bir saflaştırma yöntemi kullanılmamaktadır. (Karakan, 2015).

Polikristal hücre monokristal hücre kadar saf değildir. Bu nedenle damarlarının boyutları değişiklik gösterir. Bazen dar damarlara, bazen geniş damarlara sahip olurlar. Kristalin kalitesini de bu damarların büyüklükleri etkilemektedir (Karakan, 2015). Polikristal FV hücrenin elektriksel özelliği yani verimi küçülen damar büyüklüğü ile orantılıdır. Polikristal hücrelerin verimlerinin monokristal hücreye oranla küçük olmasına sebep olur (Kabadayı, 2020). Polikristal FV panellerin renklerini de yansıma engelleyici camların varlığı değiştirmektedir. Mavi renk, yansıma engelleyici camın olduğu durumlarda, gümüş renk ise yansıma engelleyici cam olmadığı durumlarda görülmektedir (Karakan, 2015).

Polikristal hücrelerden laboratuvar şartlarında %19,8 verim sağlanmakta olup genellikle kullanılan hücre verimleri ise %16-13 aralığındadır (Perdahlıyan, 2021).



Şekil 3.14. Polikristal silikon fotovoltaiik hücre (Solar Enerji, b.t)

İnce (thin) film hücre

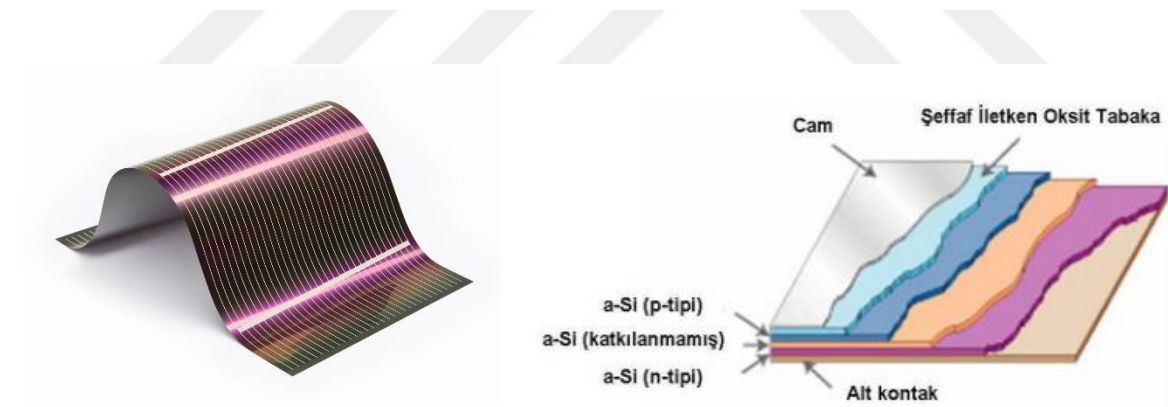
İnce film fotovoltaiik pilleri yapımında, ince bir tabaka halinde ışınları soğurma özelliği üstün olan malzemeler kullanılır. Örnek vermek gerekirse amorf silisyum fotovoltaiik pillerinin absorpsiyon katsayısı kristal silisyum fotovoltaiik pillerinin katsayısından daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0,7 mikrondan küçük bir bölgedeki güneş radyasyonu 1 mikron kalınlığında amorf silisyum ile soğurulabilirken, kristal silisyumda ise aynı radyasyonu soğurmak için 500 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden amorf yapılu güneş pillerinde daha az malzeme kullanılır ve montaj kolaylığı ekstra bir avantaj sağlar (Eruz, 2015).

İnce film paneller malzeme çeşitlerine göre sınıflandırılırlar. Bunlar amorf silisyum, kadmiyum tellür ve bakır indiyum-diselenid olarak adlandırılmaktadırlar.

Amorf silisyum ince film

Amorf silisyum ince film hücrelerinin kristal olmayan silikondan üretilmiş olması bu hücreleri diğer hücre türlerinden ayıran en önemli özelliktir. Verimliliği düşük olmasına karşın kristal silisyum hücrelerle karşılaştırıldığında üretimleri daha ucuzdur (Perdahlıyan, 2021). Bu panel türünün verim değerleri %5 - %8 arasında değişmektedir (Maltaş, 2017).

Amorf silisyumun hücrelerin elektriksel iletim kalitesini malzeme içerisinde yapı taşlarının gelişigüzel dizilişi düşürmesine rağmen bunun önlenmesi mümkündür. Yarıiletken içerisine %5 ile %10 oranında hidrojen katıldığında hücrenin elektriksel özellikleri uygun düzeye getirilebilir (Eruz, 2015). a-Si yarı iletken kullanılarak oluşturulan fotovoltaiik panellerin yapısı, yaklaşık 300 µm kalınlığında oluşturulan c-Si güneş pillerinde olduğu gibi p-n eklemi şeklinde değildir. a-Si güneş pillerinde 0,5 µm kalınlığında bir katkılanmamış (i-intrinsic) tabakanın altı ve üstü 0,03 µm kalınlığında p-tipi ve n-tipi katkılanarak p-i-n eklem yapısı oluşturulur (Bayat, 2016).



Şekil 3.15. a-Si fotovoltaiik hücre yapısı (Eke, 2007; Güneysan Güneş Enerji Sistemleri, b.t.)

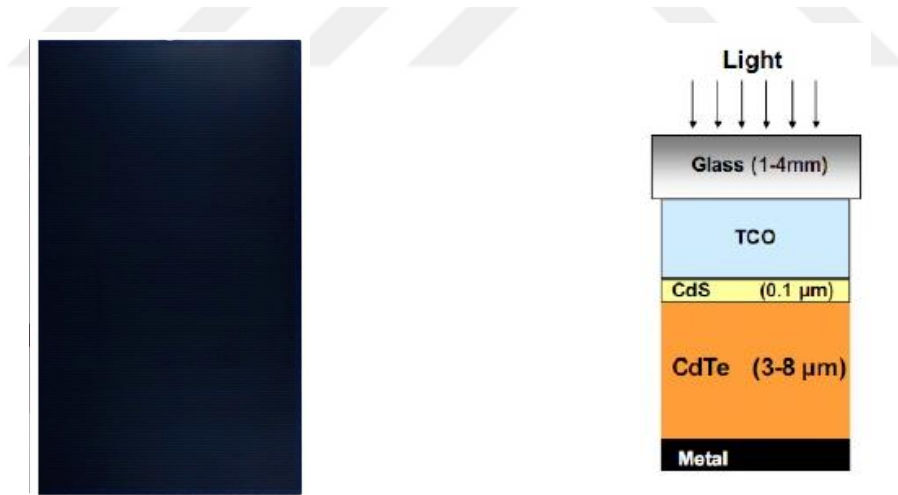
Günümüzde oyuncak, hesap makinesi ve saat gibi küçük elektronik cihazlarda güç kaynağı olarak kullanılmaktadırlar (Eruz, 2015).

Kadmiyum Tellürid (CdTe)

Kadmiyum tellür (CdTe), periyodik cetvelin ikinci grubunda bulunan Kadmiyum (Cd) elementi ile altıncı grubunda bulunan Tellür (Te) elementinin birleşimiyle ortaya

çıkılmaktadır. Soğurganlığı ve bant boşluğu oldukça yüksektir. Bu özelliği ve üretiminin ince film büyütme teknolojilerinin birçoğu ile yapılabilmesi sebebiyle CdTe ön plana çıkmaktadır (Ayran, 2019). Laboratuvar da hücre verimi %16,4, ticari modüllerde ise %9 verimle çalışmaktadırlar (Perdahlıyan, 2021).

Genel olarak, CdTe tabanlı bir fotovoltaiik hücre yapısında; en üstten alta doğru katlamaları şu şekilde sayabiliriz. En üstte yansımaları azaltılmış cam, altında elektriksel omik kontakları sağlayan şeffaf iletken oksit tabaka (TCO), onun altında eklemi n tarafını oluşturan kadmiyum sülfür (CdS) tabakası, altında p tarafını oluşturan CdTe soğurucu tabaka ve en altta da metal tabaka bulunur. Bu metal tabaka arka omik kontakları oluşturur. Bu yapıda pencere materyali olan CdS göreceli olarak yüksek enerjili fotonların yük taşıyıcılarına dönüştürülmesini sağlamanın yanı sıra, geniş dalga boyu aralığı için geçirgen davranır. Esas foton soğurumu CdTe soğurucu tabakada gerçekleşir. Her iki tabaka, meydana getirilen serbest yük taşıyıcılarının dış bir devreye aktarılmasını sağlayan p – n eklem yapısını oluşturur. Şekil 3.16 CdTe fotovoltaiik hücre yapısını göstermektedir (Bayat, 2016).



Şekil 3.16. CdTe İnce film fotovoltaiik hücre şematik yapısı (Turan, 2010; Dmsolar, b.t)

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂)

Periyodik cetvelde yer alan birinci üçüncü ve altıncı grup elementlerin üç veya daha fazlasının bir araya gelmesi ile meydana gelir. Oluşan bu bileşik yarı iletkenin soğurma katsayıları daha yüksektir. Bakır İndiyum Diselenid'in ilk 1 µm kalınlığındaki katmanında güneş ışınımının %99'unu soğrulur. Bu özelliğe ek olarak malzemenin dış ortam testleri

oldukça kararlı bir yapıda olduğunu göstermektedir (Ayran, 2019). Bakır, indiyum ve selenyumda bir araya gelmesi ile oluşan yarı iletken fotovoltaiik hücreler, CIS hücreler olarak da adlandırılır. Hücre verimi, laboratuvar da %18,8 iken ticari modüllerde ise %10 dur (Perdahlıyan, 2021). CIS ince film güneş pillerinin çoğunluğu, içerisinde Galyum (Ga) elementinin katılması ile daha yüksek verimlilikle elde edilir. Pazar payı artmakla birlikte pahalı üretim süreci ile birlikte geniş alan gereksinimi bulunmaktadır (Bayat, 2016). Şekil 3.17 CIGS ince film fotovoltaiik hücre yapısını göstermektedir.



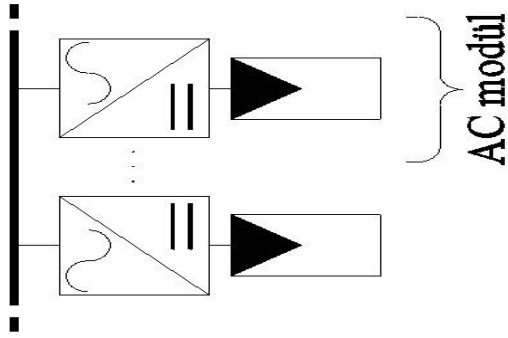
Şekil 3.17. CIGS ince film fotovoltaiik hücre yapısı (Turan, 2010; Sinetech Store,b.t).

3.4.2. Inverter

İnverterler diğer bir adıyla eviriciler DC akımı AC akımına dönüştüren elektronik cihazlardır. İnverterler, şebekeye bağlı ya da şebekeden ayırık sistemlerde de kullanılmalarına göre ikiye ayrılırlar. Şebekeye bağlı sistemlerde kullanılan inverterler ise üçe ayrılırlar. Bunlar, mikro, dizi ve merkezi tip olarak adlandırılırlar.

Mikro inverterler

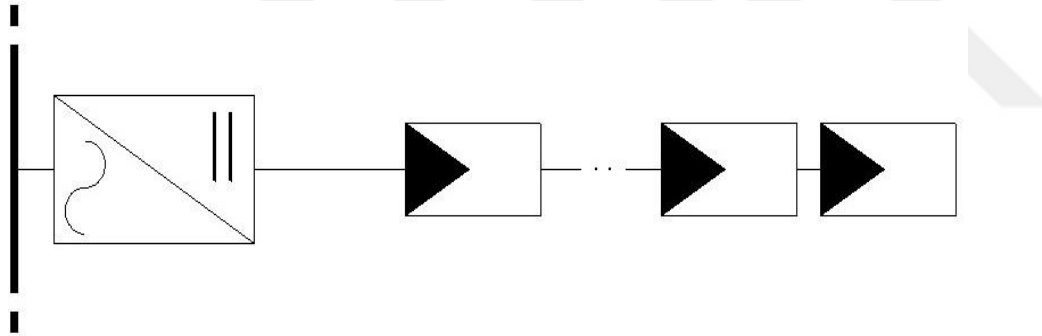
200W ve 400W arasında güç verebilen inverterlerdir. Her fotovoltaiik panele bir inverter bağlandığından panellerde oluşacak arıza, gölgelenme gibi durumlarda sadece ilgili paneller devre dışı bırakılabildiğinden arıza veya bakım esnasında sistemdeki diğer ekipmanlar çalışmaya devam edebilmektedir.



Şekil 3.18. Mikro inverter şeması (Zengin, Deveci ve Boztepe, 2015)

Dizi inverterler

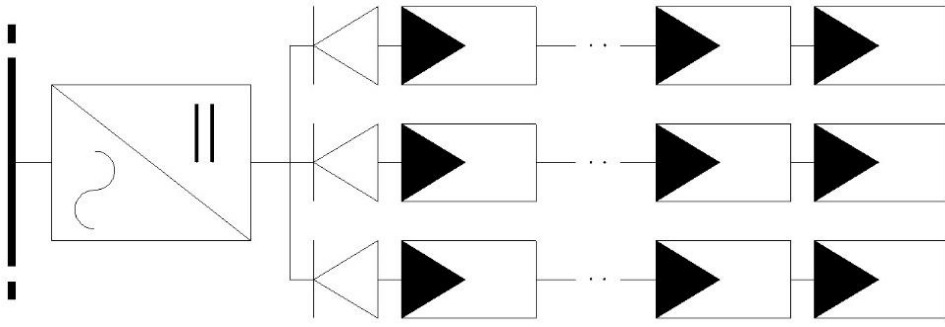
FV panellerin seri bağlanarak oluşturdukları dizilere bağlanan inverter çeşididir. Arıza ya da bakım zamanında sadece ilgili dizi devre dışı bırakılacağından sistemin tamamının kapatılmasına gerek yoktur.



Şekil 3.19. Dizi inverter şeması (Zengin ve diğerleri, 2015)

Merkezi inverter

Büyük ölçekli sistemlerde kullanılan inverterlerdir. Diğer bağlantı şekillerinden farklı olarak merkezi inverterlerde FV paneller öncelikle bağlantı kutularında birleştirilir sonra invertere bağlanır. Merkezi inverterler diğer inverter tipleri ile karşılaştırıldığında daha büyük panel gruplarını yönetme becerisine sahiptir ve sistemi tek noktadan kontrol edebilirler.



Şekil 3.20. Merkezi inverter şeması (Zengin ve diğerleri, 2015)

Fotovoltaik sistemlerin tümünü kontrol eden en önemli bileşen olan inverterlerin seçiminin doğru yapılması gereklidir.

3.4.3. Şarj regülatörü

FV panellere gün içerisinde gelen güneş ışınlarının değişimi nedeniyle üretilen enerjinin gerilim ve akımı değişkenlik göstermektedir. Akülere gelen akımın dengelenerek akünün ömrünü uzatan cihazlara şarj regülatörü adı verilmektedir. Şarj regülatörlerinin diğer bir adı da şarj kontrol cihazıdır. Aküler, şebekeden ayırık sistemlerde kullanılan önemli sistem bileşenlerinden biridir. Temel olarak şarj regülatörünün iki görevi vardır. Birincisi akünün tipine göre belirlenmiş voltaj ile şarj olmasını sağlamaktır. İkinci görevi ise akü tam dolu değere ulaştığında akımı keserek sistemi korumaktır.

3.4.4. Akü

Üretilen enerjinin depolandığı bileşenler akülerdir. FV panellere güneş ışınları geldiğinde üretilen enerji ile aküler şarj edilir. Güneş ışınlarının yetersiz olduğu durumlarda da ihtiyaç duyulan enerji aküler tarafından sağlanır. Aküler, şebekeden ayırık sistemlerde kullanılan önemli sistem bileşenlerinden biridir. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan akü çeşitleri; jel aküler, sulu aküler ve kurşun asit akülerdir. Bu aküler genellikle 12 V, 24 V ve 48 V olarak üretilirler.

3.4.5. Diğer sistem bileşenleri

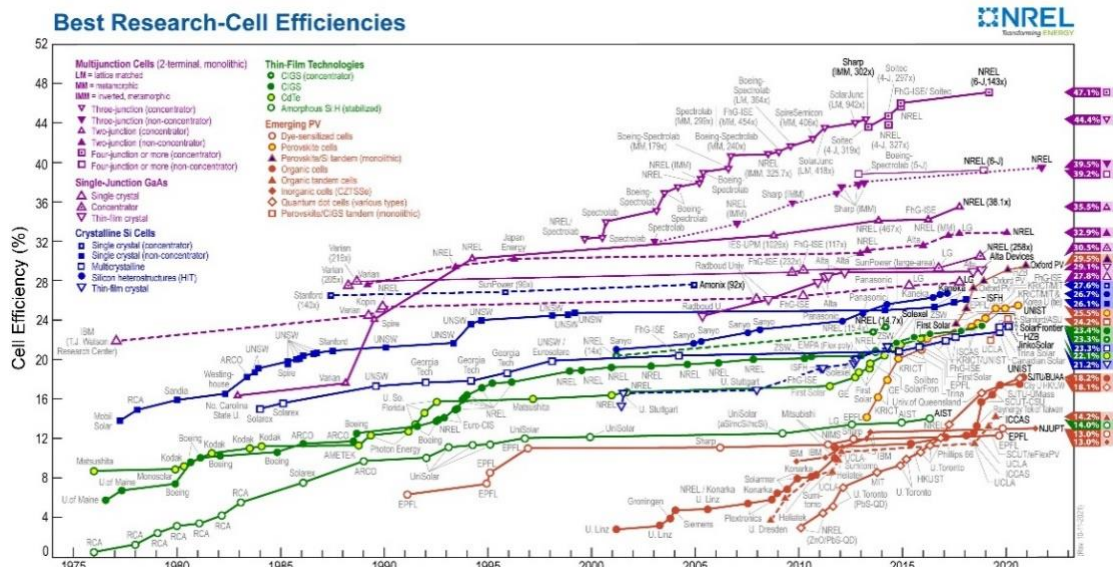
Fotovoltaik sistemlerin uzun süreli ve güvenli kullanımı için sistemi koruyan bazı ekipmanlar kullanılmaktadır. Sistemlerde hem DC hem de AC akım üretimi yapıldığından AC sigorta, DC sigorta, aşırı gerilimlere karşı AC parafudr, DC parafudr, şebeke besleme izleme rölesi gibi elektriksel ekipmanlar sistem güvenliği için kullanılan bileşenlerdir.

Ayrıca FV sistemlerde sıcaklık değişimlerine, UV ışınlarına, hava koşullarına dayanıklı kablolar kullanılmaktadır. Güç kablosu, topraklama kablosu, enerji kabloları, iletişim kabloları ve kablo bağlantı soketleri gibi kablo ve bağlantı elemanları sistem içerisinde kullanılan diğer bileşenlere örnektir.

3.5. Fotovoltaik Panellerin Karşılaştırılması

FV panellerin seçiminde dikkat çeken en önemli özellik verimdir. Verim, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşüm yüzdesini ifade etmektedir. Gelişen teknoloji, edinilen bilgiler ve deneyimler ışında verim arttırmak için yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Piyasa da bulunan hücre çeşitlerinin yıllara göre Verim grafiği Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (The National Renewable Energy Laboratory - NREL) tarafından yapılmış olup Şekil 3.21. de verilmiştir.



Şekil 3.21. Fotovoltaik hücrelerin yıllara göre verimleri (NREL, 2022)

NREL tarafından hazırlanan bu tabloya göre hücre verimleri %47 seviyelerine çıkmaktadır. Verim değerleri çok yüksek olan bu hücreler genelde uzay çalışmalarında kullanılan, üretimleri kısıtlı, yüksek maliyetli hücrelerdir. Evlerde ve endüstrilerde kullanılan ekonomik hücreler ise %20 ve daha düşük verime sahiptirler. (Özgün, 2018)

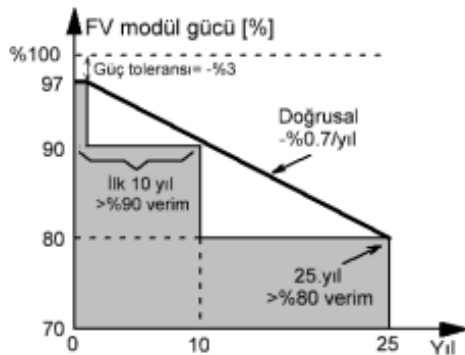
Ayrıca Çizelge 3.1. da görülebileceği gibi fotovoltaik hücre verimi ve panel verimleri birbirinden farklılık göstermektedir.

Çizelge 3.1. Fotovoltaik hücrelerin verimleri (Perdahlıyan, 2021).

Fotovoltaik Hücre Malzemesi	Hücre Verimi (Laboratuvarda)	Hücre Verimi (Üretimde)	Panel Verimi (Üretimde)
Monokristal	24,70%	18,00%	14,00%
Polikristal	19,80%	16,00%	13,00%
Bakır İndiyum Diselenid	18,80%	14,00%	10,00%
Kadmiyum Tellürid	16,40%	10,00%	9,00%
Amorf Silisyum	13,00%	10,50%	7,50%

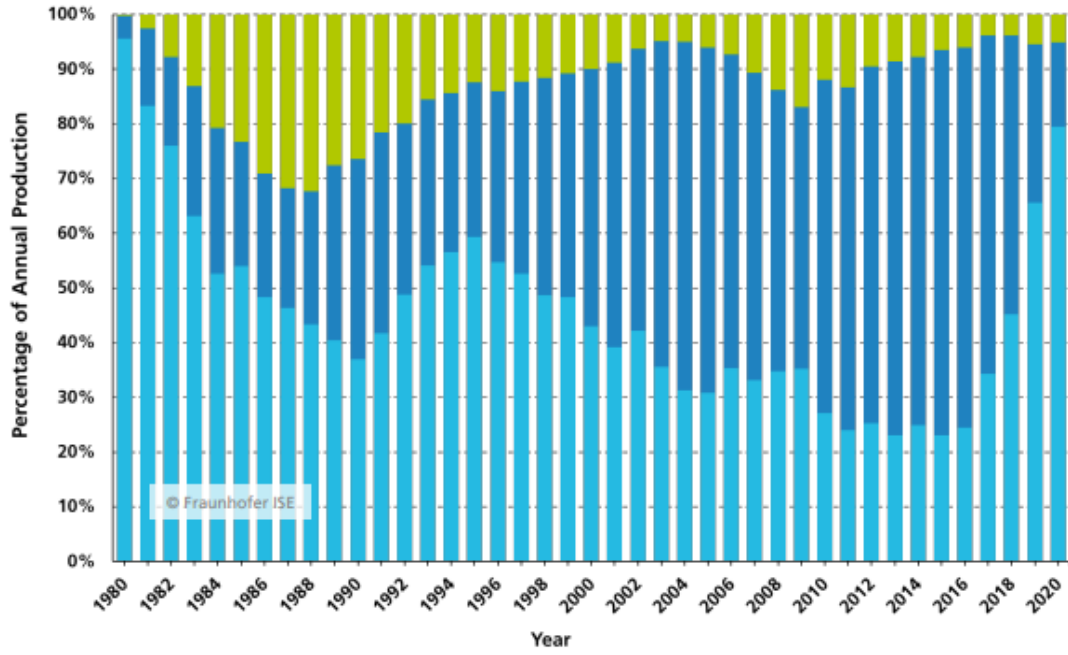
Hücre verimleri panel verimlerinden daha yüksektir. Burada belirtilen verimler standart test koşullarında elde edilen değerlerdir. Panel verimi 1000 W/m^2 ışıınım değeri ve 25°C sıcaklık değerinde; çıkış gücünün giriş gücüne oranıyla bulunur. Verimi en yüksek hücre tipi monokristal hücre tipi, en düşük verimli hücre ise amorf silisyumdur.

Fotovoltaik paneller için üreticiler 25 yıllık ömür vermekte olup, yıllar içinde verimin düşeceğini bildirmektedirler. Genel olarak üreticiler 25. yılda %80 panel gücü garantisi vermektedir. Güçteki azalmayı birçok üretici doğrusal ifade ederken bazı üreticiler ise kademeli düşüşü 10. yılda %90 ve 25. yılda %80 olarak ifade edebilirler (Boztepe, 2017).



Şekil 3.22. Fotovoltaik panel gücü yıllara göre değişimi (Boztepe, 2017)

Fotovoltaik panellerin pazar paylarının yıllara göre değişimine bakıldığında ise 2020 yılı için kristal silikon fotovoltaik hücreler yaklaşık %95'lük pazar payını elinde bulundurmaktadır. Kristal silikon hücrelerin içinde de %84 lük oranla en çok üretilen hücre çeşidi monokristal hücreler olmuştur. Üretimin yaklaşık %5 lik kısmı ise ince film hücreler tarafından sağlamaktadır (Fraunhofer ISE, 2021).



Production 2020
 ● Thin film ● Multi-Si ● Mono-Si

Şekil 3.23. Hücre çeşitlerine göre yıllık üretim miktarı (Fraunhofer ISE, 2021)

4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Çok kriterli karar verme (ÇKKV); karar vericilerin karşısına çıkan birden fazla seçeneğin, değerlendirilmesi, sıralanması, önceliklendirilmesi işlemlerinin yapılabilmesidir. Karar verme süreci, tek bir faktörün değerlendirilmediği nitel ve nicel seçeneklerin aynı anda değerlendirildiği karmaşık bir süreçtir. Bu süreçte tek bir değişkenin olmaması ve birden fazla değişkenin ortak etkilerinin de yer aldığı problemlerin çözümünde karar vericilerin çözüme ulaşabilmesi için yararlanılan yöntemlere çok kriterli karar verme yöntemleri adı verilir. Her ne kadar her problemin kesin bir çözümü olmasa da seçilen çok kriterli karar verme yöntemi karar alıcı için seçenekler arasında seçim imkânı sağlayacaktır.

ÇKKV yöntemleri kullanılırken karar vericilerin karşısına çıkacak birkaç terim şöyledir;

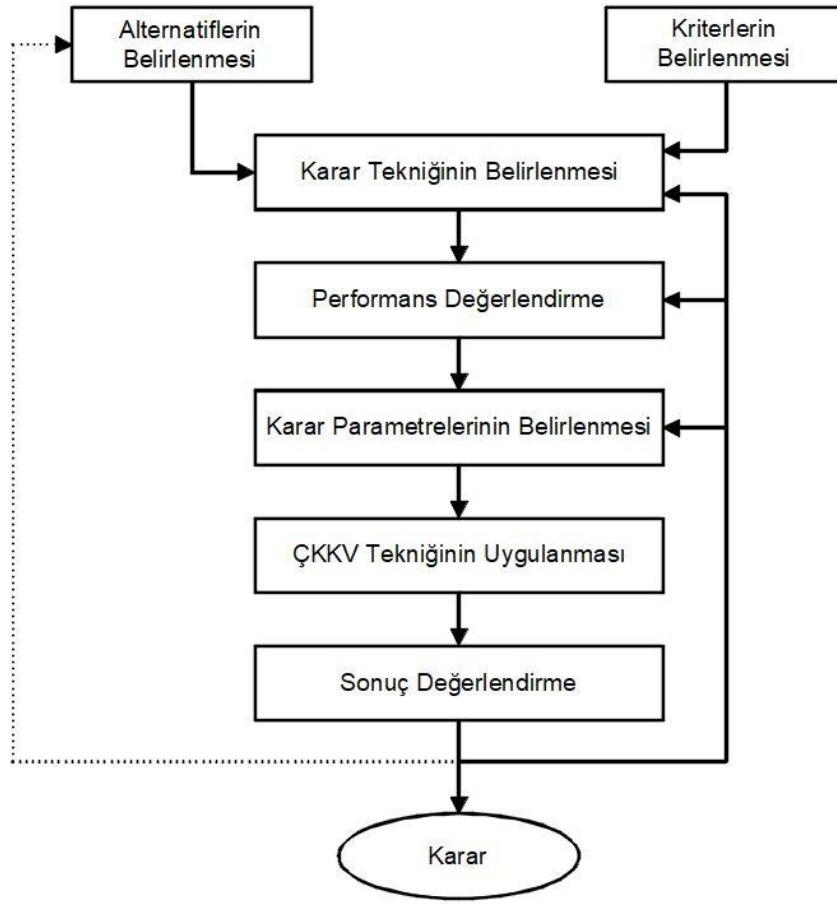
Alternatif : Problemin çözümünü sağlayabilecek seçeneklerdir.

Kriter : Seçilecek alternatifin sahip olması gereken özelliklere verilen isimdir.

Kriter Ağırlığı : Kriterlerin birbirlerine göre önem sırlamasını gösteren değerdir (Koçdağ, 2013)

Bir problem karşısında karar vericinin karşısına çıkan birçok alternatifin varlığı en iyi seçeneği seçebilme işlemini zorlaştırmaktadır. Problemin çözümü sırasında her kriterin farklı üstün özellikleri olabilmekte ve kriterlerin önem derecesi birbirinden farklı olabilmektedir. Kullanılacak yere ve amaca göre en iyi alternatife karar vermek ya da alternatifler arasında sıralama yapabilmek oldukça zordur. Hatta bu tip problemlerde kesin bir çözüm elde etmek de çok zordur. Bir problemin çözümünde birden fazla kriterin olması, alternatiflerin değerlendirilmesi, önceliklerin belirlenmesi ve sıralanması için ÇKKV yöntemleri kullanılır.

ÇKKV yöntemlerinin ortak özelliği; alternatiflerin belirlenmesi, alternatiflerin seçiminde etkili olan kriterlerin belirlenmesi ve belirlenen amaç doğrultusunda kriterlerin değerlendirilerek en iyi kararın verilmesi yani en iyi alternatifin seçilmesidir. ÇKKV süreci Şekil 4.1’ de gösterildiği şekilde tanımlanabilir (Paksoy, 2017: 3).



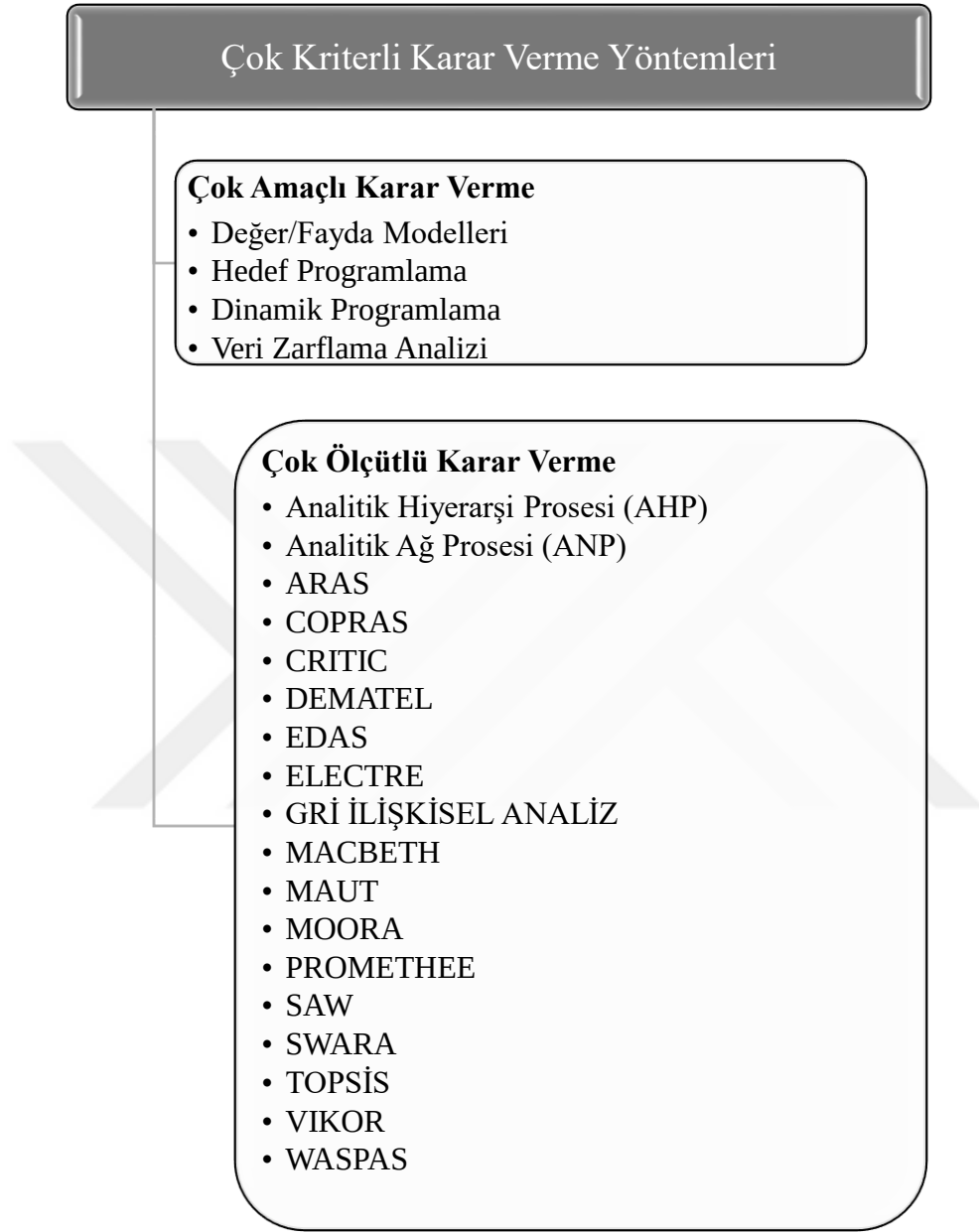
Şekil 4.1. ÇKKV Süreci (Pohekar ve Ramachandran, 2004: 368)

Sayıları giderek artan birçok ÇKKV yöntemleri geliştirilmiştir. Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımı Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) (Multi Objective Decision Making (MODM)) ve Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) (Multi Attribute Decision Making (MADM)) teknikleri olmak üzere ikiye ayrılır.

Çizelge 4.1. ÇAKV ile ÇÖKV karşılaştırması (Öztel, 2016)

	Çok Amaçlı Karar Verme	Çok Ölçütlü Karar Verme
Kriterin Tanımlanması	Amaçlar	Nitelikler
Amaçların Tanımlanması	Kesin	Muğlak
Niteliklerin Tanımlanması	Muğlak	Kesin
Kısıtlılıklar	Aktif	Pasif
Alternatifler	Sonsuz sayıda, sürekli	Sonlu sayıda, kesikli
Karar Verici ile Etkileşim	Çoğunlukla	Çok fazla değil
Kullanım Amacı	Tasarım	Seçme / Değerlendirme

Çok amaçlı karar verme ve çok ölçütlü karar verme kullanılan bazı yöntemler Şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin sınıflandırılması

4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP, Analytic Hierarchy Process), T. L. Saaty tarafından 1977 yılında karar verme sürecinde yardımcı olabilmek için geliştirilmiştir. 1972 yılında Saaty yöntemin teorisini geliştirmiştir. Daha sonra 1977'de Sudan'ın alternatif gelecek tasarımı için bu teori kullanılmıştır. Zamanla yöntemin kullanım alanları enerjiden teknolojiye,

terörle mücadelen araba seçimine, iş ve okul seçimine kadar geniş bir çerçeveye yayılmıştır (Saaty, 1980).

AHP yöntemi insan düşüncesinin doğal bir davranışdır. Karmaşık sorunları ayrıştırarak çözer, karara ulaşmak için kriterleri, alt kriterleri ve alternatifleri daha kolay anlaşılır bir şekilde hiyerarşik bir yapı haline dönüştürür. Kriterlerin ikili karşılaştırması yapılarak önem ağırlıkları belirlenir. Küçük bir tutarsızlık oranına izin verir çünkü insan düşüncesinin tam olarak tutarlı olmayacağı düşünülmektedir (Alsalem ve diğerleri, 2018).

Bu tez çalışmasında güneş paneli seçiminde PROMETHEE yöntemi kullanılacak olup, PROMETHEE yönteminde ihtiyaç duyulan ağırlıkların belirlenmesi için de AHP yöntemi kullanılacaktır. Bu nedenle AHP yöntemi adımları 3.1.2. de, PROMETHEE yöntemi ise 4. Bölüm’de ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Diğer ÇKKV yöntemleri ise sadece yöntemin adı, kısa açıklaması, avantaj ve dezavantajları şeklinde bu çalışmada yer alacaktır.

4.1.1. AHP yönteminin avantaj ve dezavantajları

AHP yönteminin avantajları aşağıda listelenmiştir (Aydoğan ve diğerleri 2011; Erganiş, 2010).

- AHP ile kurulan hiyerarşik yapıda problemin görsel olarak ifadesi sağlanır. Oluşturulan hiyerarşik yapı ile karmaşık bir problem basit bir yapıya çevrilir.
- AHP nicel ve nitel faktörlerin birlikte değerlendirilebildiği bir yöntemdir.
- AHP ile cevapların tutarlı olup olmadığı test edilebilmektedir.
- AHP’ nin çok yönlülüğü farklı alanlarda kullanımına olanak sağlamaktadır.
- Grup kararlarında uygulanabilmektedir.

AHP’ nin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Erganiş, 2010; Sabaei, Erkoyuncu ve Roy, 2015).

- Karar vericilerin yapmış değerlendirmenin eksik veya yanlış olması durumunda alternatiflerin sıralanması doğru olmayabilir.

- AHP uygulanan problemde mevcut olan seçeneklere yeni bir seçenek eklendiğinde alternatiflerin sıralamasında değişiklik olabilmektedir.
- Seviye sayı arttığında problem karmaşık hale gelip, çözüm zorlaşmaktadır.
- Ağırlıklandırma karar vericinin tercihinin göre değişiklik göstereceğinden subjektif problemlerde doğruluk çok çeşitli olabilmektedir.

4.1.2. AHP yönteminin adımları

Analitik Hiyerarşi Prosesinin adımları Şekil 4.3 de gösterilmektedir.



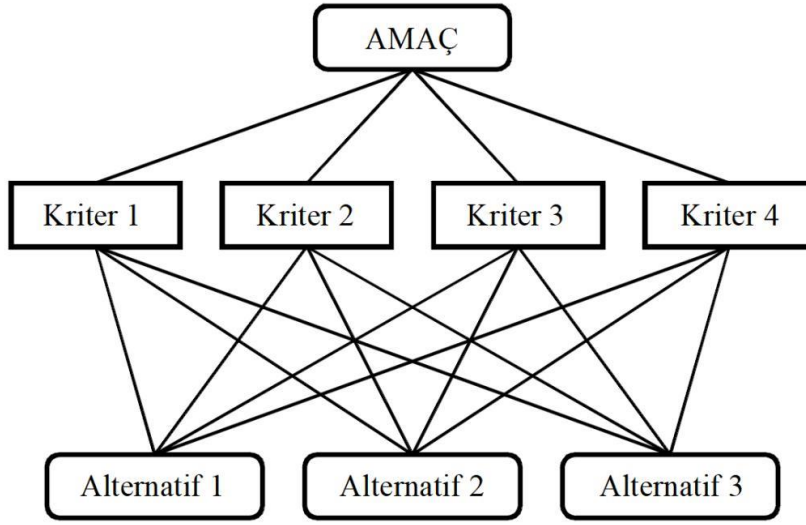
Şekil 4.3. AHP yöntemi adımları

Hiyerarşik yapının oluşturulması

Sistem elemanlarının sayısı ve bunların arasındaki ilişkilerin ele alınması ve sistem içindeki farklı bilgilerin araştırmacı tarafından anlaşılabilmesini sağlamak amacıyla oluşturulur.

Hiyerarşik yapının oluşturulmasında kullanılacak elemanlar; amaç, kriterler, varsa alt kriterler ve alternatiflerdir. Kriterler ve alternatifler belirlenen amaca göre şekillenmektedir. Kriterler; amaca ulaşmak için gerekli elemanları ifade eder. Alternatifler ise; amaca ulaşmak

için var olan kriterleri sağlayan seçenekleri ifade eder. AHP yöntemi basit hiyerarşik yapısı Şekil 4.4. de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. AHP yöntemi hiyerarşik yapısı (Paksoy, 2017: 8)

Önceliklerin belirlenmesi

Hiyerarşiyi oluşturan elemanların karşılıklı olarak değerlendirilerek birbirlerine göre ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Önceliklendirme; her seviyedeki elemanların ikili karşılaştırmaların birbirlerine göre önemlerinin belirlenmesidir.

Bu süreçte karar vericileri en çok zorlayan kısım ikili karşılaştırma matrislerini oluştururken kullanılacak ölçeklendirmedir. T. L. Saaty tarafından “1 – 9 ölçeği” oluşturulmuştur. AHP yöntemi için kullanılacak olan temel ölçek Çizelge 4.2. de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. AHP yönteminde kullanılan temel ölçek

Önem Değerleri	Tanım
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)
2,4,6,8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)

İkili karşılaştırma matrisi ve çözümü

AHP yönteminin en önemli aşaması söz konusu kriterler açısından karşılaştırma matrisi oluşturulmasıdır. Hem satıra hem de sütuna belirlenen kriterler yazılarak, satırdaki kriterin sütundaki kritere göre ne kadar daha önemli olduğuna karar verilerek ilgili hücreye yazılır. Burada temel ölçek değerleri kullanılır.

Matematiksel olarak bu ilişki;

$$w_i / w_j = a_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

(w_i : i.nci elemanın ağırlığı w_j : j.nci elemanın ağırlığı) ile ifade edilir.

Bu durumda A matrisinin tüm a_{ij} değerleri; w_i / w_j değerine eşit, pozitif ve $a_{ji} = 1 / a_{ij}$ özelliğine sahip değerler olacaktır (Şahin, 2014).

Çizelge 4.3. Örnek karar matrisi

Kriter	C_1	C_2	C_3		C_n
C_1	1	C_{12}	C_{13}	...	C_{1n}
C_2	$1 / C_{12}$	1	C_{23}	...	C_{2n}
C_3	$1 / C_{13}$	$1 / C_{23}$	1	...	C_{3n}
...	...	...	...	1	...
C_n	$1 / C_{1n}$	$1 / C_{2n}$	$1 / C_{3n}$	...	1

Karar matrisi; köşegenleri 1 olan, pozitif değerlere sahip kare bir matrisdir.

Normalleştirme ve göreceli önem ağırlıkları

Karar matrisinin normalleştirilmesi için yeni bir matris oluşturulur. Yeni matris her bir sütun değerleri toplanıp sütun elemanlarının sütun değerinin toplamına bölünmesi ile elde edilir. Bu yeni matris normalleştirilmiş matrisdir.

Önem ağırlığı Denklem 1 ile elde edilir. Burada belirlenen önem ağırlıkları, karşılaştırılan elemanların kendi içindeki önem derecelerine göre sıralanmasıdır. (Şahin, 2014).

$$W_i = \sum_{j=1}^n d_{ij} / n \quad (1)$$

Tutarlılık oranının hesaplanması

Tutarlılık, ikili karşılaştırmalar sonucunda oluşan değerlerin yani önceliklerin birbirleri ile olan mantıksal ve/veya matematiksel ilişkisidir (Şahin, 2014).

Tutarlılık oranını (TO) bulmak için Denklem 2 ve Denklem 3 kullanılır.

TE = Tutarlılık Endeksi

$$TE = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

RE = Rassal Değer Endeksi

$$TO = TE / RE \quad (3)$$

Tutarlılık Oranının 0,1'den küçük olması istenir ($TO < 0,10$). Bu oran 0,1'den büyük olduğunda tutarlı yargılar elde edene kadar karar vericilere tekrar dönüş yapılır (Yenigün, 2020).

İkili karşılaştırma matrisinin her satırı W göreli önem ağırlığı ile çarpılır ve elde edilen değerler toplanarak T sütunu elde edilir. T sütundaki her eleman göreli önem matrisinde karşı gelen önem ağırlığına bölünerek T/W sütunu elde edilir. T/W sütunun aritmetik ortalaması $\lambda_{\max}$ değerini verir. Denklem 2 verilen formülde $\lambda_{\max}$ yerine konularak TO değeri elde edilir. Tutarlılık oranının bulabilmek için Denklem 3 verilen formülde ihtiyaç duyulan RE değeri için Çizelge 4.4. tablosu kullanılır. Saaty tarafından, 1 ile 10 arasında değişene sahip karar matrisleri için Rassal Değer Endeksi oluşturulmuştur. Çizelge 4.4. de gösterilen RE değerleri tablosundan kriter sayısı (n) karşılık gelen değer kullanılır.

Çizelge 4.4. Rassal değer endeksi (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

4.2. Analitik Ağ Prosesi (ANP)

Analitik Ağ Prosesi (ANP), Saaty tarafından 1996'da AHP'nin daha genel bir şekli olarak geliştirilmiştir. ANP, AHP'nin ikili karşılaştırmalar esasına dayanmaktadır. ANP'de bileşenler arası karşılıklı etkileşim olabilmektedir (Paksoy, 2017: 75).

ANP yöntemi, her tür bağımlılığı sistematik olarak ele alabilen matematiksel bir teori olarak tanımlanabilir. Birçok farklı alanda kullanılabilir. En iyi alternatifi elde edebilmek için farklı alternatifleri karşılaştırır. ANP yöntemi karar verme sürecini önemli ölçüde etkileyen maddi veya maddi olmayan mevcut bir kritere ekstra bir kriter eklenmesine izin verir (Alsalem ve diğerleri, 2018).

4.2.1. ANP yönteminin avantaj ve dezavantajları

ANP'nin avantajları aşağıdaki gibidir.

- Karşılıklı etkileşime izin vermektedir (Paksoy, 2017: 75).
- ANP yöntemi yapısı ile karar problemlerinde daha gerçekçi bir yaklaşım sunmaktadır ve problemin daha iyi analiz edilmesini sağlamaktadır (Pamukçu, 2014)

ANP' nin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Alsalem ve diğerleri, 2018).

- Tüm özelliklerin diğer tüm özelliklerle karşılaştırılması hem karmaşık hem de doğal değildir.
- Daha fazla veri, daha fazla farklı yapılara neden olduğunda sonuç sayısı fazladır.
- ANP daha fazla veri ve hesaplama gerektirdiğinden AHP ile karşılaştırdığında daha zordur.

4.3. ARAS Yöntemi

ARAS yöntemi (Additive Ratio Assesment), Z. Turskis ve E.K. Zavadskas tarafından 2010 yılında geliştirilmiştir. ARAS yönteminde alternatiflere ait fayda fonksiyonu değerleri,

optimal durumdaki alternatife ait fayda fonksiyonu değeri ile karşılaştırılmaktadır (Aras ve Yıldırım, 2020).

4.3.1. ARAS yönteminin avantaj ve dezavantajları

ARAS yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır

- ARAS yöntemi, işlem kolaylığı ve paket programa ihtiyaç duyulmadığı için kolaylıkla uygulanabilmektedir (Yıldırım, 2015).
- ARAS yöntemi oransal derecelendirmeye en uygun olan yöntemdir (Ecer, 2016).

4.4. COPRAS Yöntemi

1996 yılında Vilnius Gediminas Teknik Üniversitesi araştırmacıları çok kriterli karar verme yöntemi olan COPRAS (Complex Proportional Assessment) yöntemini geliştirmişlerdir. COPRAS çok kriterli değerlendirmede maksimum ve minimum kriter değerlerinin ikisi için kullanılabilir (Sarıçalı ve Kundakçı, 2016).

4.4.1. COPRAS yönteminin avantaj ve dezavantajları

COPRAS yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Sarıçalı ve diğerleri, 2016)

- COPRAS yönteminin karmaşık hesaplamalar içermez.
- İkili kıyaslamalar içermediği için kolaylıkla uygulanabilmektedir.
- COPRAS yönteminde hesaplanan performans indeksi sayesinde alternatiflerin değerleri yüzde olarak görülebilmekte ve bu durum kıyaslamayı kolaylaştırmaktadır.

COPRAS yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- COPRAS yönteminde kriter ağırlıkları hesaplanamadığından başka bir ÇKKV ile kriter ağırlıklarının hesaplanmasına ihtiyaç vardır.

4.5. CRITIC Yöntemi

CRITIC yöntemi 1995 yılında Diakoulaki vd. tarafından yapılan bir çalışma ile literatüre girmiştir. Çok kriterli problemlerde kriter ağırlıklarını belirlemek için geliştirilmiştir. (Ayçin, 2020).

4.5.1. CRITIC yönteminin avantaj ve dezavantajları

CRITIC yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Kriterlerin standart sapmalarının ve kriterler arasındaki korelasyonun birlikte kullanıldığı ağırlıklandırma yöntemidir (Ayçin, 2019: 76).
- CRITIC yöntemi, temel istatistiksel işlemler ve basit hesaplamalar içerir (Sikselyte-Butkiene, Zavadskas ve Streimikiene, 2020).

CRITIC yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Sikselyte-Butkiene ve diğerleri, 2020).

- Yöntem sadece başlangıç verilerinin bazı özelliklerini gösterir.
- CRITIC yöntemi kriter türünü dikkate almaz.
- Karar vericinin amacına ulaşmasının göreceli önemini ifade etmez.

4.6. DEMATEL Yöntemi

DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Method) yöntemi 1973 yılında Cenevre Batelle Araştırma Merkezi tarafından geliştirilerek; o dönemde karmaşık ve zor problemlerin çözüm çalışmalarında kullanılmıştır (Paksoy, 2017:63).

4.6.1. DEMATEL yönteminin avantaj ve dezavantajları

DEMATEL yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Organ, 2013).

- Karmaşık faktörler arasındaki nedensel ilişkileri içeren yapısal bir model oluşturmak ve analiz etmek için kullanılmaktadır.
- Grup bilgi toplamaya yardımcı olan güçlü bir yöntemdir.
- Uzlaşmacı sebep-sonuç modeli içeren dolaylı ilişkileri kapsamasıdır.

DEMATEL yönteminin dezavantajı aşağıdaki gibidir (Karaoğlu, 2016).

- Kriter ağırlıklarının belirlenmesine kullanılan başarılı bir yöntemdir. Fakat alternatifleri sıralamak için başka yöntemler ile birlikte kullanılmalıdır.

4.7. EDAS Yöntemi

2015 yılında Keshavarz Ghorabae vd. tarafından literatüre kazandırılan EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) yöntemi Türkçe'ye "Ortalama Çözüm Uzaklığına Dayalı Değerlendirme" olarak çevrilen karar alternatifleri arasından en iyisinin belirlenmesi sürecinde, ortalama çözüm uzaklığına göre hesaplamalar ile değerlendirme yapılan bir yöntemdir (Kısa ve Ayçin, 2019).

4.7.1. EDAS yönteminin avantaj ve dezavantajları

EDAS yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Siksnelyte-Butkiene ve diğerleri, 2020).

- EDAS yöntemi, alternatiflerin değerlendirilmesinde ortalama çözümü göz önüne alır (Ulutaş, 2017).
- Çeşitli niteliklere sahip koşullarda çok pratik bir yöntemdir.
- EDAS yönteminin hesaplamaları oldukça basittir.
- EDAS yöntemi çeşitli bulanık durumlarda kullanımı popülerdir.

EDAS yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Siksnelyte-Butkiene ve diğerleri, 2020).

- EDAS yöntemi, değerlendirme kriterlerinin telafi edici olduğu hipotezi ile sınırlıdır.
- EDAS yönteminin aşama geri dönüşleri sabit değildir.

4.8. ELECTRE Yöntemi

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalite - Elimination and Choice Translating Reality) yöntemi, ilk defa 1960'lı yılların sonunda Roy tarafından ortaya atılmış daha sonra çeşitli bilim insanları tarafından geliştirilmiştir (Ömürbek, Karaatli ve Cömert, 2016).

4.8.1. ELECTRE yönteminin avantaj ve dezavantajları

ELECTRE yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir

- Hem nitel hem de nicel verileri işleyebilir (Sabaei ve diğerleri, 2015).
- Birçok durumda baskın olmayan alternatifler alt kümesi verilebilir ve alternatiflerin kesin ve güçlü bir ön sıralamasını vermeyebilir fakat mevcut verilerin kalitesine göre alternatif seçim problemi için daha gerçekçi sonuçlar verebilir. (Arıbaş, 2021).

ELECTRE yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- ELECTRE yöntemi bazen seçilen alternatifleri belirlemede yeterli değildir. Sadece lider alternatifler üretir (Arıbaş, 2021).
- Çok alternatifli ve birkaç kriterli problemlerde kullanıldığında daha iyi sonuçlar elde edilmektedir (Arıbaş, 2021).
- Birden fazla alternatif olduğunda seçimin nasıl yapılacağı konusunda sorunlar oluşabilmektedir. Ancak alternatiflerin birbirlerine olan üstünlüklerini belirleyen net uyumluluk ve net uyumsuzluk indeksleri bulunarak bu sorun ortadan kaldırılabilir (Arıbaş, 2021).
- Büyük miktarda birincil veri gerektiren zor bir karar verme sürecidir (Jana, Sarkar, Paria, Ghosh ve Bandyopadhyay, 2020).

4.9. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi

Gri İlişkisel Analiz (GİA), 1982 yılında Deng tarafından başlatılan Gri Sistem Teorisi tekniklerinden birini oluşturmaktadır (Deng, 1989: 1). Gri sistem yönteminde beyaz renk tam bilgi durumunu yani belirsizliğin olmadığı, siyah renk hiçbir bilginin olmadığı, gri renk ise eksik bilgi veya belirsizlik durumunu ifade etmektedir. Gri teoride amaç sistemde siyah durumda olan bilgiyi gri duruma getirmektir (Peker ve Baki, 2011: 6).

4.9.1. Gri ilişkisel analiz yönteminin avantaj ve dezavantajları

Gri İlişkisel Analiz yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Ayrıçay Özçalıcı ve Kaya, 2013: 221; Bektaş ve Tuna, 2013: 187).

- İhtiyaç duyduğu veri sayısı azdır.
- Hesaplama süreci basittir.
- Gri ilişki katsayılarının hesaplanması kolaydır.
- Veriler belirsiz olsa bile etkin sonuçlar üretebilmektedir.
- Veri setinin herhangi bir dağılım sergileme zorunluluğu bulunmamaktadır.

Gri İlişkisel Analiz yönteminin dezavantajı aşağıda verilmiştir.

- Optimal çözüm sağlamaz (Aruldoss, Lakshmi ve Venkatesan, 2013).

4.10. MACBETH Yöntemi

MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) yöntemi, ilk kez Bana e Costa, Vansnick ve De Corte tarafından 1990'lı yıllarda önerilmiş kategorik değerlendirme tekniği ile alternatiflerin göreceli çekiciliklerini ölçen bir yöntemdir (Ayçin ve Çakın, 2019)

4.10.1. MACBETH yönteminin avantaj ve dezavantajları

MACBETH yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Genç, Kabak, Köse ve Yılmaz, 2015).

- MACBETH yöntemi sadece nitel bilgiler ile çalışmaktadır. Bu yaklaşımda karar verici direkt sayısal değerlendirmeler yapmaktan kaçınmış olur.
- M-MACBETH programına karar verici tarafından nitel bilgiler girildikten sonra yazılım girilen nitel değerlendirmelerin tutarlılığı konusunda bir doğrulama yapmaktadır. Eğer nitel değerler arasında tutarsızlık varsa bunların çözümü için teklifler sunmaktadır.

MACBETH yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Gorecka, 2012).

- Yöntem matematiksel olarak karmaşıktır
- Özellikle kriter sayısı ve alternatif sayısı nispeten büyükse, çok zaman alıcı ve yorucu olabilir.
- Kalitatif değerlerin tutarlılığını ispatlamak için bir yazılıma ihtiyaç duyar.

4.11. MAUT Yöntemi

Multi-attribute Utility Theory (MAUT), 1974 yılında Keeney ve Raiffa tarafından literatüre kazandırılan bir yöntemdir (Özaydın ve Karakul, 2021).

4.11.1. MAUT yönteminin avantaj ve dezavantajları

MAUT yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- MAUT yönteminde nicel ve nitel bir arada kullanılmaktadır (Konuskan ve Uygun, 2014).
- Karar verme aşamasında belirlenen nicel ve nitel kriterler kolaylıkla değerlendirilmektedir (Konuskan ve diğerleri 2014).

- Belirsizliği hesaba katar (Velasquez ve Hester, 2013).
- Karar vermedeki fiziksel etkileri ortadan kaldırmak için normalizasyon gereklidir (Kraujalienė, 2019).

MAUT yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Kraujalienė, 2019).

- Karar vericinin tercihleri kaydetmek için her adımda önemli miktarda girdi gereklidir. Bu yöntemi uygulamak için oldukça çok veri girişi yapmak gerekir.
- Çok sayıda veri ve girdi ölçüleri karar verme için uygun olmayabilir.
- Karar verici tarafından kesin tercihler yapılmalıdır.
- Her seviyede güçlü varsayımlar gerektirir.

4.12. MOORA Yöntemi

MOORA yöntemi “Oran Analizine Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon” olarak 2006 yılında Brauers ve Zavadskas’ın çalışmalarında literatüre geçmiştir (Arslankaya ve Göraltay, 2019: 25).

4.12.1. MOORA yönteminin avantaj ve dezavantajları

MOORA yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Arslankaya ve diğerleri, 2019: 26).

- Hesaplama süresi diğer yöntemlerden daha kısadır.
- Uygulaması basittir çünkü az sayıda matematik işlemi kullanılmaktadır. Bu nedenle güvenilirlik açısından uygundur.
- Tüm amaçları değerlendirmeye almaktadır.
- Alternatifler ve amaçlar arasındaki etkileri bir bütün olarak ele almaktadır.

MOORA yönteminin dezavantajı aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Kraujalienė, 2019).

- Kullanılan hedeflerin sıfıra eşit olmaması veya negatif sayılarla başa çıkmak bu yöntemin dezavantajıdır.

4.13. PROMETHEE Yöntemi

PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation) yöntemi bu tez çalışmasında güneş panellerinin seçiminde kullanılacak yöntem olarak seçildiğinden yöntem ayrıntıları 4. Bölüm’de ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

4.13.1. PROMETHEE yönteminin avantaj ve dezavantajları

PROMETHEE yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Basit, açık ve dengelidir (Arıbaş, 2021).
- Diğer yöntemlere göre karar vericiye bir değerlendirme faktörü açısından belli bir tercihi yapabilmesine ya da değerlendirme faktörünü kendi belirlediği değerlerle sınayabilmesine olanak sağlamasıdır. Bu işlevi tercih fonksiyonlarını kullanarak yerine getirir (Arıbaş, 2021).
- Her kriter için kritere uygun, ayrı tercih fonksiyonları kullanılabildiği için daha iyi bir karara ulaşmayı sağlar (Arıbaş, 2021).
- Normalizasyona ihtiyaç duyulmamaktadır (Sabaei ve diğerleri, 2015).
- Grup düzeyinde karar vermeye imkân verir (Jana ve diğerleri, 2020).
- Çok sayıda kriter ve çok sayıda alternatifi değerlendirme imkanı sunar (Pereira, Ferreira, ve Araújo, 2019).
- Kriterlerin orantılı olması gerekmez (Kraujalienė, 2019).
- Birçok alanda yaygın olarak kullanılır (Kraujalienė, 2019).
- Yöntem nitel ve nicel bilgilerinde kullanılmasına imkan tanır (Siksnielyte-Butkiene ve diğerleri, 2020).
- Belirsiz ve bulanık bilgiler hesaplamalara dahil edilebilir (Siksnielyte-Butkiene ve diğerleri, 2020).

PROMETHEE yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Günlük hayatta dilsel olarak ifade edilen kriterler için eksik kalabilir (Arıbaş, 2021).
- Ağırlık teknikleri bu yöntemin bir parçası olmadığı için ağırlık ayrı ayrı tanımlanmalıdır (Sabaei ve diğerleri, 2015).
- Hesaplama işlemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında oldukça uzundur (Siksniyte-Butkiene ve diğerleri, 2020).

4.14. SAW Yöntemi

SAW (Simple Additive Weighting) yöntemi 1954 yılında Churchman ve Ackoff tarafından literatüre kazandırılan bir yöntemdir. Literatürde Ağırlıklı Toplam Model (Weighted Sum Model) olarak da bilinmektedir (Ömürbek ve diğerleri, 2016).

4.14.1. SAW yönteminin avantaj ve dezavantajları

SAW yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Kraujalienė, 2019).

- Karar vericiler için basit bir hesaplama algoritması vardır, bilgisayar programına ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Değişkenleri bütünleştirerek ağırlıkları tek bir bütünlüğe dönüştürür.

SAW yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Kraujalienė, 2019).

- SAW yönteminde analizden önce değişkenler maksimize edilmelidir.
- Kriterleri pozitif olma ön koşulu vardır. Dönüşüm formülleri ile negatif kriterler pozitive dönüştürülmelidir.
- SAW yönteminin elde edilen tahminler, her zaman gerçek durumu yansıtmaz.
- Sonuç mantıklı olmayabilir.

4.15. SAWARA Yöntemi

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis-Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi), Keršuliene vd tarafından 2010 yılında geliştirilen kriter ağırlıklarının belirlenebilmesinde kullanılan bir yöntemdir (Adalı ve Işık, 2017).

4.15.1. SAWARA yönteminin avantaj ve dezavantajları

SAWARA yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Adalı ve diğerleri, 2017).

- Uzman odaklı bir yöntemdir. Çünkü yöntemin temel özelliği, kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında kriterlerin önem oranlarına ilişkin uzman görüşlerini tahmin edebilme yeteneğidir.
- Yöntem, doğrudan kriterler ve öncelikleri hakkında karar verebilmekte bu nedenle kriter ağırlıklarının önceden bilindiği durumlar için de uygun bir yöntemdir.

SAWARA yönteminin dezavantajı aşağıdaki gibidir.

- Çok sayıda karar vericinin olduğu durumlarda kriter ağırlıklarının belirlenmesi tek bir karar vericinin olduğu durumlardan daha zordur. SWARA yönteminde grup kararı alınırken, karar vericilerin kriterler için belirledikleri sıralamalar birbirinden farklı olabilmektedir (Çakır, 2017).

4.16. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen bir yöntemdir. Karar verme probleminde, alternatif ve kriterlerin belirlenmesi dışında, harici bilgiye fazla ihtiyaç duyulmaması ve işlemlerin kolaylığı nedeniyle birçok alanda karar verme aracı olarak tercih edilmektedir (Paksoy, 2017: 23).

4.16.1. TOPSIS yönteminin avantaj ve dezavantajları

TOPSIS yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Özden, 2011; Çakıl, 2017)

- Anlaşılır ve kolay uygulanabilirdir.
- Alternatifler arasındaki ilişkiyi basit bir matematiksel halde göstermektedir.
- Alternatiflerin maksimum ve minimum değerleri arasındaki ideal durum baz alınarak karşılaştırılması yapılmaktadır.
- Nitel verilere dönüştürülmeden doğrudan verilerle uygulanabilmektedir.
- Nicel veriler kullanılabildiğinden alternatifler arasındaki farklılar konusunda daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir.
- Karar alternatiflerin ilişkisini belirlerken matematiksel bir modelde gösterebilmektedir.

TOPSIS yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Prensipte olarak, Öklid mesafesi esas alınarak çalışan yöntem ile negatif ve pozitif değerler hesaplamaları etkilemez (Siksnyte-Butkiene ve diğerleri, 2020).
- Bir değer için ideal çözümden önemli ölçüde sapması sonuçları önemli ölçüde etkiler (Siksnyte-Butkiene ve diğerleri, 2020).
- Bu araçta ağırlık vermek ve özellikle ek özelliklerle yargı tutarlılığını korumak oldukça zordur (Kraujalienė, 2019).

4.17. VIKOR Yöntemi

2004 yılında Opricovic ve Tzeng tarafından önerilmiş bir yöntemdir. VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi karmaşık sistemlerde yani birbiriyle çelişebilen kriterlerden oluşan problemlerin çözümü için geliştirilmiştir (Tezergil, 2016).

4.17.1. VIKOR yönteminin avantaj ve dezavantajları

VIKOR yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Kraujalienė, 2019; Tezergil, 2016).

- VIKOR yöntemi, özellikle sistem tasarımının başında karar vericinin tercihlerini belirleyememesi durumunda karar vermeye yardımcı olmak üzere geliştirilmiştir.
- VIKOR yöntemi “çoğunluğun” maksimum grup faydasını ve “karşıtın” minimum bireysel pişmanlığını sağlar.
- VIKOR yöntemi, karar vericinin etkileşimli katılımı olmadan başlar, fakat karar verici nihai çözümü onaylamaktan sorumludur.
- Karar verici, nihai çözüme kendi tercihlerini de dahil edebilir.

VIKOR yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Kraujalienė, 2019; Tezergil, 2016).

- VIKOR yöntemi, başlangıç ağırlıklarına ihtiyaç duyar.
- Bilgiler sayısal olmalıdır.
- VIKOR’da alternatifler arasına yeni bir alternatifin dahil edilmesi ya da çıkarılması alternatiflerin sıralamasını değiştirebilir.

4.18. WASPAS Yöntemi

2012 yılında Zavadskas vd. tarafından geliştirilen, WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment-Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi) yöntemi, ÇKKV’de oldukça yaygın bir şekilde kullanılan Ağırlıklandırılmış Toplam Modeli (Weighted Sum Model ,WSM) ve Ağırlıklandırılmış Çarpım Modeli (Weighted Product Model, WPM) adlı yöntemlerin birleşimine dayanmaktadır (Adalı ve diğerleri, 2017).

4.18.1. WASPAS yönteminin avantaj ve dezavantajları

WASPAS yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Siksniyte-Butkiene ve diğerleri, 2020).

- WASPAS yönteminin hesaplama aşamaları kısadır.
- Alternatiflerin tam sıralaması için uygundur.
- En yüksek doğruluğa ulaşmayı amaçlamaktadır.

WASPAS yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Siksniyte-Butkiene ve diğerleri, 2020).

- Yöntemde yalnızca faydalı olmayan kriterler ile faydalı kriterler yani minimum ve maksimum değerler dikkate alınır. Tüm performans değerlerini dikkate almaz.

4.19. Uygulamada Kullanılacak Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Seçimi

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda bu tez çalışmasında kullanılmak üzere AHP ve PROMETHEE yöntemleri tercih edilmiştir.

İlk tercih sebebi, güneş panellerinin seçimi ile ilgili PROMETHEE yöntemi kullanılan bir çalışma olmamasıdır. Ayrıca AHP ve PROMETHEE yönteminin birlikte kullanıldığı Türkçe bir çalışmanın olmaması diğer bir tercih sebebidir.

AHP ve PROMETHEE yöntemlerinin özelde seçilme nedenleri ise; AHP yöntemi, kolay uygulanabilen, birden fazla kriter için birden fazla uzman görüşünü aynı potada eritilebilen, karar vericinin vermiş olduğu cevapların tutarlılığının test edilebilen, hem nicel hem de nitel ölçüleri kullanmaya imkan veren bir yöntemdir.

AHP, karar vericinin parçalanmış problem bileşenleri arasında çift yönlü karşılaştırmalar yapmayı tercih etmesi durumunda en uygun yöntemdir (Sabaei ve diğerleri, 2015).

PROMETHEE yöntemi ise, birden fazla alternatifi, kriterlerin özelliğine uygun birbirinden farklı tercih fonksiyonları altında değerlendiren, alternatifleri hem kısmi hem de tam sıralama imkânı sunan, gerek excel gerekse bir bilgisayar uygulaması kullanarak karar vericiyi sonuca ulaştıran bir yöntemdir.

Karar vericinin kararının etkinliğini basit ve uygulanabilir bir yöntemle elde edebildiği PROMETHEE yöntemini diğer yöntemlerden ayıran iki önemli unsuru vardır. Bunlardan ilki, her faktör için farklı tercih fonksiyonu kullanılması, ikinci ise alternatiflerin kısmi ve tam sıralamasının yapılmasıdır. Bu unsurlar sayesinde yöntemin doğruluğu ve etkinliği artmaktadır (Dağdeviren ve Eraslan, 2008).



5. PROMETHEE YÖNETİMİ

ÇKKV yöntemleri içerisinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesi PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation) yöntemidir.

PROMETHEE Yöntemi J.P. Brans tarafından 1982 yılında geliştirilmiştir. Kanada’da bir konferansta ilk kez yöntemin iki farklı modeli olan PROMETHEE I (alternatiflerin kısmi sıralaması) ve PROMETHEE II (alternatiflerin tam sıralaması) ‘nin sunumu yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda da Brans ve Mareschall tarafından geliştirilen yeni versiyonları PROMETHEE 3 (aralıkları temel alarak sıralama), PROMETHEE 4 (sürekli durumlar için), PROMETHEE 5 (bölümlendirilme kısıtlarını içeren) ve PROMETHEE 6 (insan beyninin temsilinin yapıldığı) sunulmuştur (Arısoy, 2019).

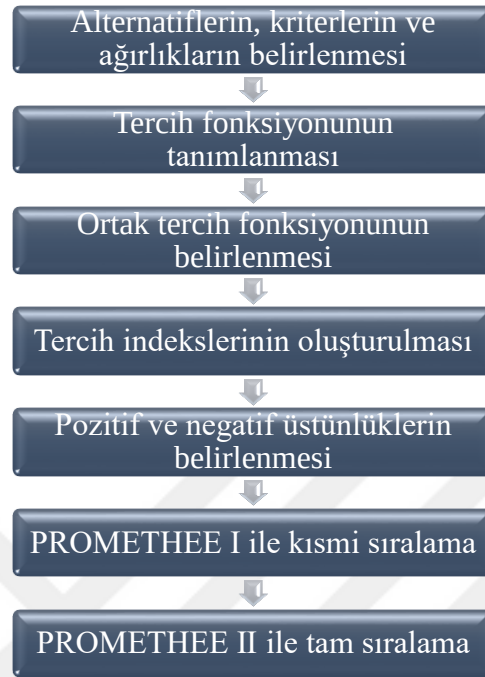
Etkin ve kolay kullanıma sahip olan zenginleştirme değerlendirmeleri için tercih sıralama organizasyon yöntemi PROMETHEE metodunun, finanstan üretime, tedarik zincirinden iş gücü planlamasına, sağlıktan turizme, lojistikten kimyaya birçok uygulaması mevcuttur (Brans, Mareschal, Figueira, ve Greco, 2005).

PROMETHEE Yönteminin 7 adımı bulunmaktadır.

5.1. PROMETHEE Yöntemi Adımları

PROMETHEE yöntemi ile çözüm yapılırken kullanılacak adımlar alternatiflerin, kriterlerin ve ağırlıkların belirlenmesi ile başlar, bu aşama veri setinin oluşturulduğu ilk adımdır. İkinci adımda; her kriter için ayrı ayrı tercih fonksiyonu belirlenir. Üçüncü adımda; alternatifler tercih fonksiyonları kullanılarak ikili olarak karşılaştırılır. Dördüncü adımda; tercih indeksleri hesaplanır, bu değerler 0 ile 1 aralığındadır. Beşinci adımda; tercih fonksiyonları kullanılarak pozitif ve negatif üstünlükler bulunur. Negatif ve pozitif üstünlük değerleri yorumlanarak kısmi sıralamanın yapıldığı adım altıncı adımdır. Yedinci ve son adımda ise pozitif ve negatif üstünlüklerin farkı alınarak elde edilen net üstünlük değerlerine göre tam sıralama yapılır.

PROMETHEE Yönteminin adımlarının Şekil 5.1 süreç algoritmasında gösterilmektedir.



Şekil 5.1. PROMETHEE yönteminin süreç algoritması

5.1.1. Veri matrisi oluşturulması

Belirlenen kriterlere göre alternatiflerin değerlendirildiği veri matrisi oluşturulur.

$w = (w_1, w_2, \dots, w_k)$ ağırlıkları

k kriter $c = (f_1, f_2, \dots, f_k)$ tarafından değerlendirilen

alternatiflere $A = (a, b, c, \dots)$ ilişkin veri matrisi tablosu Çizelge 5.1 de verildiği gibi oluşturulur (Uslu, 2020).

Çizelge 5.1: Veri matrisi

Kriterler	a	b	c	...	w
f_1	$f_1(a)$	$f_1(b)$	$f_1(c)$	...	$f_1(w)$
f_2	$f_2(a)$	$f_2(b)$	$f_2(c)$	...	$f_2(w)$
...	...	...	...	...	...
f_k	$f_k(a)$	$f_k(b)$	$f_k(c)$	...	$f_k(w)$

5.1.2. Tercih fonksiyonunun tanımlanması

PROMETHEE yönetiminde kriterlerin her biri için tercih fonksiyonu tanımlanması gerekmektedir. İkili karşılaştırmalar sırasında karar vericinin en iyi alternatifi seçmesine yardımcı olmak üzere altı farklı tercih fonksiyonu (Çizelge 5.2.) kullanılır.

Çizelge 5.2: Tercih fonksiyonu tablosu (Brans ve diğerleri, 2005)

Tip	Parametreler	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
Birinci Tip (olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	l	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x > l \end{cases}$	
Üçüncü Tip (V-tipi)	m	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	q, p	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q+p \\ 1, & x > q+p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Linear)	s, r	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s < x < s+r \\ 1, & x \geq s+r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussian)	σ	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x > 0 \end{cases}$	

Parametreler de geçen ifadeler; q: en büyük fark değeri, p: en küçük fark değeri, s: q ve p arasındaki standart sapma değerleridir.

Çizelge 5.3: Tercih fonksiyonu tipleri açıklaması (Arısoy, 2019).

TİP	AÇIKLAMA
Birinci (olağan) tip tercih fonksiyonu	Olağan tip tercih fonksiyonu, karar vericinin kriter için herhangi bir tercihi olmadığı durumlarda kullanılır.
İkinci (u) tip tercih fonksiyonu	U tipi tercih fonksiyonu, karar vericinin kriter için belirlediği değerden daha yüksek değere sahip alternatifleri seçmek istediği durumlarda kullanılır.
Üçüncü (v) tip tercih fonksiyonu	V tipi tercih fonksiyonu, karar vericinin kriter için belirlediği değerden daha yüksek değere sahip alternatifleri seçmek istediği ve aynı zamanda bu değer altındakileri de dikkate aldığı durumlarda kullanılır.
Dördüncü (seviyeli) tip tercih fonksiyonu	Seviyeli tip tercih fonksiyonu, karar vericinin kriter için değer aralığı belirlediği durumlarda kullanılır.
Beşinci (doğrusal) tip tercih fonksiyonu	Doğrusal tip tercih fonksiyonu, karar vericinin ortalama değer üstündeki kriterleri seçmek istediği durumlarda kullanılır.
Altıncı (gaussian) tip tercih fonksiyonu	Gaussian tip tercih fonksiyonu, karar vericinin ortalama sapma değerleri göz önünde bulundurarak seçim yapmak istediği durumlarda kullanılır.

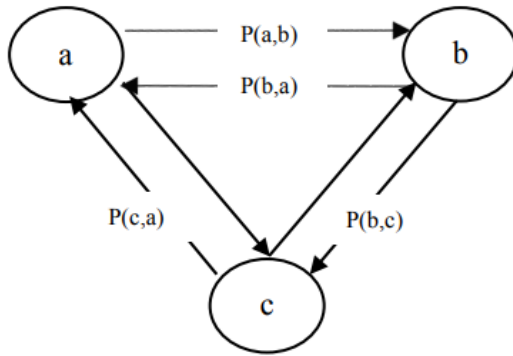
Kriterin karşılaştırılmasında tercih fonksiyonun seçimi şu bilgiler ışığında yapılabilir. Birinci (olağan) ve dördüncü (seviyeli) tip tercih fonksiyonları; evet/hayır, beş noktalı, dokuz noktalı vb. cevap içeren yani nitel kriterler için kullanılmaktadır. Birinci tip tercih fonksiyonu ölçüm seviyelerinin küçük olduğunda, dördüncü tip tercih fonksiyonu ise ölçüm seviyelerinin büyük olduğunda tercih edilmektedir. İkinci (U) tip tercih fonksiyonu dördüncü (seviyeli) tip tercih fonksiyonunun bir çeşidi olup fazla tercih edilmemektedir. Beşinci (doğrusal) ve üçüncü (V) tipi tercih fonksiyonları ise fiyat, maliyet, güç gibi nicel kriterler için kullanılmaktadır. Ayrıca üçüncü (V) tip, beşinci (doğrusal) tercih fonksiyonunun özel bir türüdür. Üçüncü (V) tip tercih fonksiyonunda q eşik 0'e eşittir. Altıncı (gaussian) tip tercih fonksiyonunun parametrelerinin ayarlanması oldukça zordur, q

ve p eşikleri arasındaki tek bir s eşiğine dayanması ve yorumunun daha az belirgin olması nedeniyle daha az tercih edilmektedir (Gelashvili, 2019).

5.1.3. Alternatiflerin karşılaştırılması ve ortak tercih fonksiyonunun belirlenmesi

Değerlendirme kriterleri için parametreler ve tercih fonksiyonları belirlendikten sonra alternatifler, tercih fonksiyonları kullanılarak ikili olarak karşılaştırılır (Denklem 4).

$$P(a,b) = \begin{cases} 0 & ; f(a) \leq f(b) \\ P[f(a) - f(b)] & ; f(a) > f(b) \end{cases} \quad (4)$$



Şekil 5.2. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi (Koçdağ, 2013)

$P(a, b)$ tercih fonksiyonu a'nın b'ye göre tercih edilebilirlik değeridir.

$f(b)$, $f(a)$ 'dan büyük ise $P(a,b)$ değeri sıfır, $f(b)$ $f(a)$ 'dan küçük ise tercih fonksiyonu $P[f(a) - f(b)]$ değerini alacaktır.

5.1.4. Tercih indeksleri oluşturulması

Karar verici tarafından seçilen ağırlık veya öncelik değerleri ile ortak tercih fonksiyonları kullanılarak aşağıda belirtilen Denklem 5 ile tercih indeks değeri hesaplanır.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^k P_j(a,b)w_i \quad (5)$$

$\pi(a,b)$ değerinin 0 'a yakın olması a'nın b'ye göre tercih edilebilirliğinin az olduğunu, $\pi(a,b)$ değerinin 1 'a yakın olması a'nın b'ye göre tercih edilebilirliğinin fazla olduğunu göstermektedir.

5.1.5. Pozitif ve negatif üstünlüklerin belirlenmesi

Her alternatif için hesaplanan tercih fonksiyonları kullanılarak pozitif ve negatif üstünlükler elde edilir. Pozitif ve negatif üstünlükler Denklem 6 ve Denklem 7 yardımı ile hesaplanır.

Pozitif üstünlük

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (6)$$

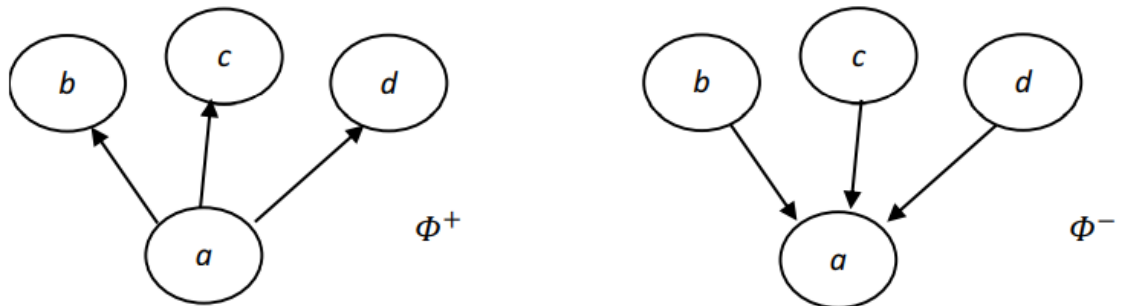
Negatif üstünlük

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (7)$$

n: Alternatif sayısı

x: a alternatifi dışında kalan diğer alternatifler (b,c,d,...,k)

Bir alternatif için pozitif üstünlüğün fazla olması ve negatif üstünlüğün az olması o alternatife diğer alternatiflerden iyi olduğu anlamı taşımaktadır.



Şekil 5.3. Pozitif ve negatif üstünlükler (Koçdağ, 2013)

5.1.6. Kısmi sıralama - PROMETHEE I

Pozitif ve negatif üstünlüklerin sıralamasından kısmi sıralama için aşağıda belirtilen 3 durum ortaya çıkmaktadır.

1) alternatiflerin birbirine göre tercih edilme durumu,

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) < \phi^-(b)$$

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) = \phi^-(b)$$

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) < \phi^-(b)$$

Yukarıda sıralanan üç olasılıktan bir tanesi sağlanıyor ise a alternatifinin b alternatife göre tercih edilebilir olduğu sonucu çıkmaktadır.

2) alternatiflerin birbirinden farksız olması durumu,

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) = \phi^-(b)$$

Bu koşul da a alternatifi b alternatifinden birbirinden farksızdır.

3) alternatiflerin birbiriyle karşılaştırılamayacak olması durumudur.

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) > \phi^-(b)$$

$$\phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) < \phi^-(b)$$

Yukarıda verilen iki koşuldan birinin sağlanması durumunda ise a alternatifi ile b alternatifinin karşılaştırılması mümkün değildir.

5.1.7. Tam sıralama - PROMETHEE II

Karar vericinin net bir sonuca ulaşabilmesi için pozitif ve negatif üstünlüklerin yardımıyla alternatiflerin tam sıralaması yapılır. Her karar için Denklem 8 deki formül kullanılarak tam öncelikler bulunur. Bu öncelikler büyükten küçüğe sıralanarak tam sıralama yapılır.

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (8)$$

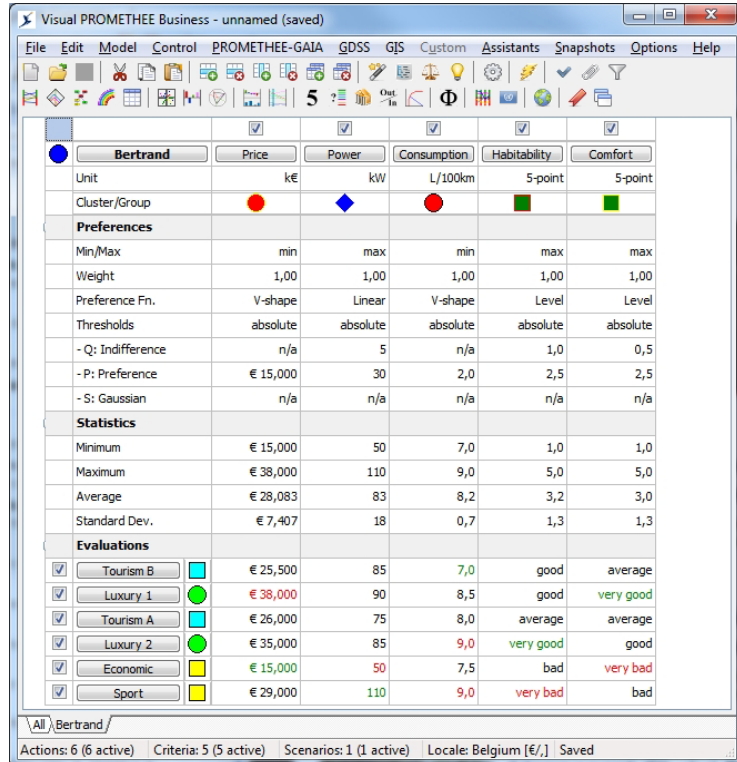
Tam sıralama değerlerine göre aşağıdaki 2 karardan birisi alınabilir.

- $\phi(a) > \phi(b)$ ise a alternatifi b alternatifinden üstündür.
- $\phi(a) = \phi(b)$ ise a ve b alternatifleri farksızdır.

5.2. Visual PROMETHEE

PROMETHEE yöntemi anlaşılması kolay bir yöntem olmakla birlikte seçenek çiftlerine bağlı değerlendirme yapıldığından seçenek sayısı arttıkça işlem sayısı da üssel olarak artan bir yöntemdir. Çok fazla işlemin olması ve çözüm süresini uzatması nedeniyle yöntemin çözümüne yönelik paket programlar bulunmaktadır. Bu yöntem için çoğunlukla tercih edilen program Visual PROMETHEE paket programıdır. Programın internet sitesinden akademik versiyonu ücretsiz olarak temin edilebilmektedir (İmamoğlu, 2015).

Visual Promethee programı açıldığında örnek bir problem matrisi ile karşılaşılır (Şekil 5.4).

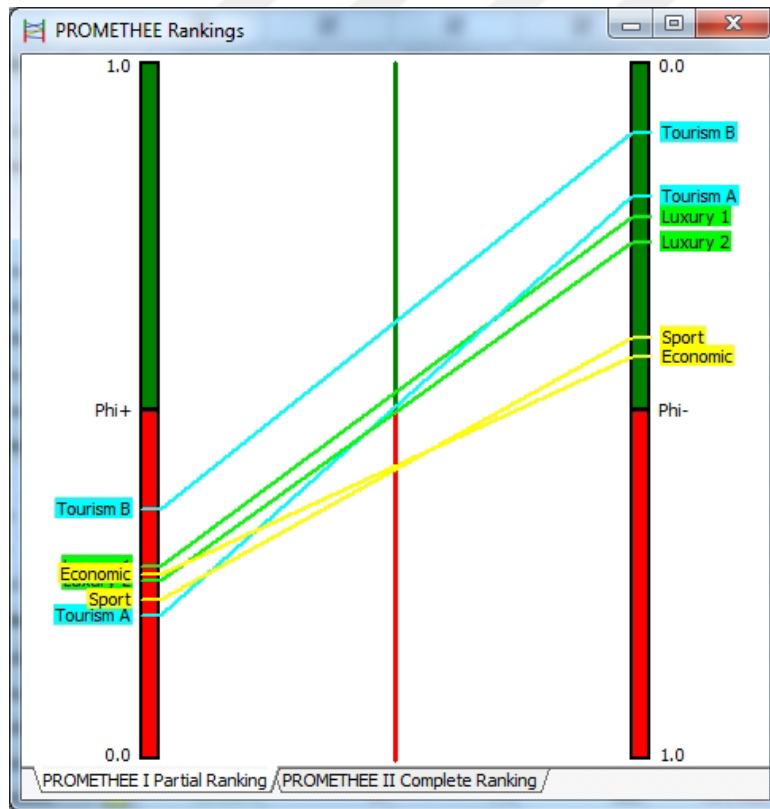


Şekil 5.4. Visual Promethee örnek karar matrisi ekranı (Visual Promethee Manual, 2013)

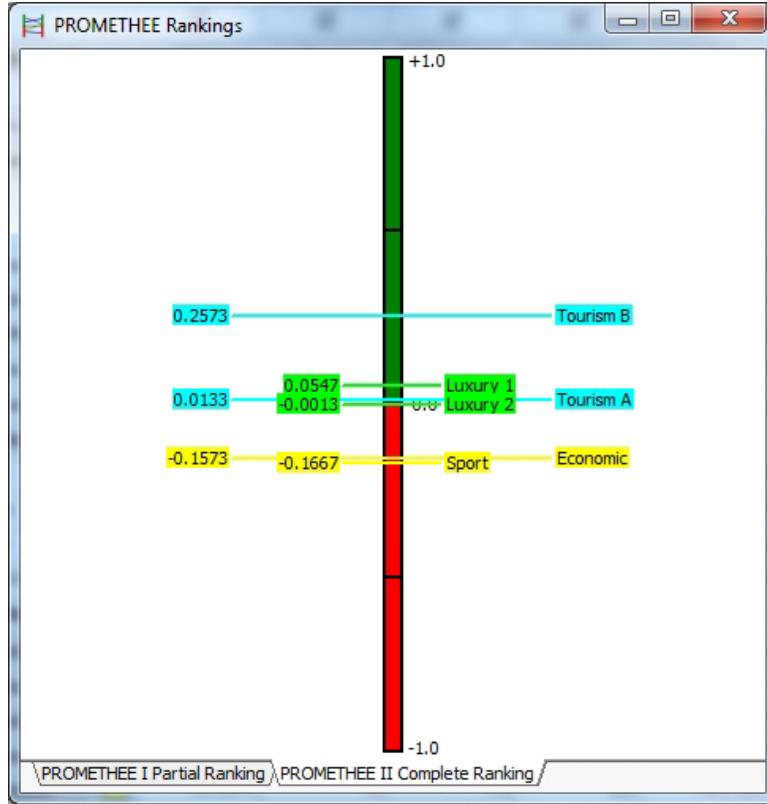
Bu örneğe ait alternatiflerin aldığı pozitif, negatif ve net üstünlük değerlerine ait tablo (Şekil 5.5.) bu programdan elde edilebilmektedir. Ayrıca pozitif ve negatif üstünlüklerin sıralandığı kısmi sıralama Promethee I 'e ait grafiksel gösterim Şekil 5.6.da, tam sıralamanın yapıldığı Promethee II'ye ait grafiksel gösterimi Şekil 5.7. de gösterilmektedir.

	Car	Phi	Phi+	Phi-
1	Tourism B	0.2573	0.3573	0.1000
2	Luxury 1	0.0547	0.2760	0.2213
3	Tourism A	0.0133	0.2060	0.1927
4	Luxury 2	-0.0013	0.2560	0.2573
5	Economic	-0.1573	0.2647	0.4220
6	Sport	-0.1667	0.2280	0.3947

Şekil 5.5. Visual Promethee örnek problem için üstünlükler tablosu (Visual Promethee Manual, 2013)



Şekil 5.6. PROMETHEE I kısmi sıralama grafiksel gösterimi (Visual Promethee Manual, 2013)



Şekil 5.7. PROMETHEE II tam sıralama grafiksel gösterimi (Visual Promethee Manual, 2013)

6. KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Günümüzde piyasada birçok fotovoltaik panel üreticisi ve ürünü mevcuttur. Bir yatırım için doğru ürünü seçmek ve beklentilerimiz karşılığında en uygun ürünü bulmak zor olabilmektedir. Bu nedenle fotovoltaik panel seçimi için bir takım karşılaştırma kriterlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde seçilen kriterler ve neden seçildiğine dair açıklamalara yer verilmektedir.

Panellerin seçim kriterlerine geçmeden önce panellerin teknik dökümanlarında yer alan birkaç ifadenin tanımını yapmak uygun olacaktır.

Standart test koşulları (STK) : 25 °C sıcaklıkta, 1000 W/m² ışık radyasyonu ve AM 1,5 güneş spektrumundaki koşullardır.

Maksimum Güç (Pmax) : Panelden alınabilecek en yüksek güç değeridir.

Kısa devre akımı (Isc) : Panelin artı ve eksi güç çıkışlarının yüksüz olarak direkt, kısa devre edilmeleri durumunda akan akımdır.

Açık Devre Gerilimi (Voc) : Panelin standart test koşulları altında artı ve eksi çıkış uçları arasında herhangi bir yük yokken, yani herhangi bir akım akmazken ki ölçülen açık devre gerilimidir.

Fotovoltaik panel seçiminde dikkat edilmesi gereken çok çeşitli unsurlar vardır. Bunlar; verim, maliyet, hücre tipi, fotovoltaik panel gücü, panelin kullanım ömrü, belli bir süre kullanım sonrası elde edilen verim değeri, sıcaklık katsayısı vb. unsurlardır. Karar vericilerin farklı panellerden hangisini seçeceğine dair karar vermesi aşamasında öncelik vereceği parametreler önemlidir (Aslay, 2021).

Ürün etiketlerinde ve kataloglarında yer alan; fotovoltaik panel seçiminde dikkat edilecek kriterler şu şekilde sıralanabilmektedir.

Maliyet : Bir fotovoltaik panelin temin edilen fiyatını ifade eder.

Verim : Standart test koşullarında (STK) panele ışınlam uygulandığında 1 m^2 alanda üretilen elektriksel gücü ifade eder. Verimin yüksekliği o alanda daha fazla elektrik üretileceğini gösterir.

Sıcaklık Katsayısı : Sıcaklık katsayısı, panelin enerji üretiminin sıcaklıktan nasıl etkileneceğini gösterir bir değerdir. Birimi ise $\% / ^\circ\text{C}$ dir. Fotovoltaik paneller ile enerji üretimi sırasında ısı enerjisi de ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle fotovoltaik paneller ısınmaktadır. Isınan panelde gerilim değeri düşmekte ve düşen gerilimle birlikte daha az enerji üretilmektedir. Bu nedenle fotovoltaik panelden daha fazla enerji elde edebilmek için panelin sıcaklık katsayısının düşük olması gerekmektedir (Aslay, 2021). Bu katsayı ne kadar düşük olursa panel sıcaklık değişimlerinden o oranda az etkilenir.

Ürün Garantisi : Fotovoltaik panellerin işçilik, malzeme hatası vb. durumlara karşın 10-15 yıl aralığında değişen ürün garanti süreleri ürün kataloglarında ifade edilmektedir.

Lineer Performans Garantisi : Fotovoltaik panellerden elde edilen elektriksel güçte yıllar içerisinde kayıp yaşanmaktadır. Lineer performans garantisi, her yılın sonunda panellerden beklenen performansı ortaya koyar. Örneğin 20 yıl kullanım sonrası çıkış gücünün panel gücüne göre $\%$ oranında azalma miktarının ifadesidir.

Doldurma Faktörü (Fill Faktor) : Maksimum gücün, açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akımına (I_{sc}) oranını ifade eder. Panelin performansı için önemli bir parametredir. Daha yüksek bir doldurma faktörü fotovoltaik panelin seri ve paralel dirençlerden dolayı daha az kayba sahip olacağını gösterir. Ticari panellerde bu oranın 0,7 den büyük olması beklenmektedir.

Güç Toleransı : Panelin etiket üzerinde yazan gücünün üzerinde ne kadar güç verebileceğini ifade eder. Nominal gücün yüzde $\pm$ aralığı olarak belirtilir. Nötr güçle sınıflandırılmış bir modül (örneğin $\pm 5\text{W}$), nominal gücünden daha yüksek veya daha düşük olabileceği anlamına gelir. "Pozitif" güç sıralama, "nötr" güç sıralamadan $\pm 2\%$ ila $\pm 3\%$ daha fazla güç sağlar.

Potansiyel Kaynaklı Bozulma (PKB) : Kaçak akımların neden olduğu potansiyel kaynaklı performans düşüşünü ifade eder.

Amortisman Süresi : Yatırımın geri dönüş süresini ifade eder.

Bakım / Onarım Maliyeti : Panellerin yıllar içindeki bakım ve onarımı için gerekli maliyeti ifade eder.

Kar Yüğü / Rüzgar Yüğü Dayanıklılığı: Panelin kar ve rüzgâr yüğü karşısında dayanıklılığını ifade eder. IEC 61215 standartı kapsamında belgelendirme yapılır. Bu standart sadece monokristal ve polikristal paneller için geçerlidir.

Güvenilirlik : Mekanik ve çevresel kaynaklı elektrik çarpması, yangın tehlikeleri ve kişisel yaralanmaların önlenmesinin ile ilgili güvenilirliği ifade eder. IEC 61730 standartı kapsamında belgelendirme yapılır.

ISO Sertifikası : Üretim tesisinin ISO 9001 kalite sistemine sahip olması kalite güvencesini, ISO 14001 belgesine sahip olması çevresel etkilerinin kontrol edildiğini ifade eder.

Menşei : Panelin üretim yerini ifade eder.

Bu çalışmada karşılaştırılması yapılan paneller pozitif güç toleransı garantisine, ISO 9001, ISO 14001, IEC 61215, IEC 61730 belgelerine sahip, PID free özelliği olanlar panellerdir. Tüm alternatifler pozitif güç toleransı, ISO sertifikası, dayanıklılık, güvenilirlik, potansiyel kaynaklı bozulma (PID) kriterlerinde aynı şartlara sahip olduklarından; bu kriterler Promethee Yöntemi ile seçim yapılması aşamasına dâhil edilmemiştir.

Ayrıca amortisman süresi ve bakım / onarım maliyeti kriterleri panel dışında başka bileşenlerden de etkilendiği için bu tez kapsamına alınmamıştır.

Bu çalışmada; Promethee Yöntemi ile en uygun panelin seçimi için maliyet, verim, sıcaklık katsayısı, garanti süresi, lineer garanti süresi ve doldurma faktörü parametreleri kriter olarak kabul edilmiştir.

7. FOTOVOLTAİK PANEL ALTERNATİFLERİNE AİT TEKNİK ÖZELLİKLER

Bu tez çalışmasında kullanılan 7 adet alternatife ait teknik özellikler; genel bilgiler, elektriksel veriler, sıcaklık ve garanti özellikleri tablolar halinde aşağıda verilmiştir.

7.1. “a” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler

a alternatifi paneline ait genel bilgiler Çizelge 7.1.’de, elektriksel veriler Çizelge 7.2.’de, sıcaklık özellikleri Çizelge 7.3’de ve garanti özellikleri ise Çizelge 7.4’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. “a” alternatifine ait genel bilgiler

Alternatif	a
Marka	Alfa Solar
Model	A3S72P
Hücre Tipi	72 hücreli Polikristal
Maliyet	\$112,00

Çizelge 7.2. “a” alternatifine ait elektriksel veriler

Elektriksel Veriler		
Açıklama		Panel Bilgileri
Maksimum Güç	P _{max}	350
Modül Verimi	%	17,94
Maksimum Güç Noktası Akımı	I _{mp}	8,71
Kısa Devre Akımı	I _{sc}	9,41
Maksimum Güç Noktası Voltajı	V _{mp}	40,19
Açık Devre Voltajı	V _{oc}	47,44
Doldurma Faktörü	P _{max} / (V _{oc} x I _{sc})	0,78

Çizelge 7.3. “a” alternatifine ait sıcaklık özellikleri

Sıcaklık Özellikleri	
Konu	Açıklama
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	44 °C ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı P _{mp}	- 0,36 % / °C
Sıcaklık Katsayısı I _{sc}	0,07 % / °C
Sıcaklık Katsayısı V _{oc}	- 0,31 % / °C

Çizelge 7.4. “a” alternatifine ait garanti özellikleri

Garanti	
Konu	Açıklama
Ürün Garantisi	10 Yıl
Lineer Performans Garantisi	10 Yıl %90 üzeri, 25 Yıl %80 üzeri
Güç Toleransı	Pozitif (+) 5 Watt

7.2. “b” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler

b alternatifi paneline ait genel bilgiler Çizelge 7.5.’de, elektriksel veriler Çizelge 7.6.’de, sıcaklık özellikleri Çizelge 7.7’de ve garanti özellikleri ise Çizelge 7.8’de verilmiştir.

Çizelge 7.5. “b” alternatifine ait genel bilgiler

Alternatif	b
Marka	Alfa Solar
Model	A3S60P
Hücre Tipi	60 hücreli Polikristal
Maliyet	\$91,20

Çizelge 7.6. “b” alternatifine ait elektriksel veriler

Elektriksel Veriler		
Açıklama		Panel Bilgileri
Maksimum Güç	Pmax	285
Modül Verimi	%	17,31
Maksimum Güç Noktası Akımı	Impp	8,52
Kısa Devre Akımı	Isc	9,02
Maksimum Güç Noktası Voltajı	Vmpp	33,46
Açık Devre Voltajı	Voc	38,7
Doldurma Faktörü	Pmax / (Voc x Isc)	0,82

Çizelge 7.7. “b” alternatifine ait sıcaklık özellikleri

Sıcaklık Özellikleri	
Konu	Açıklama
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	44 °C ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı Pmpp	- 0,36 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Isc	0,07 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Voc	- 0,31 % / °C

Çizelge 7.8. “b” alternatifine ait garanti özellikleri

Garanti	
Konu	Açıklama
Ürün Garantisi	10 Yıl
Lineer Performans Garantisi	10 Yıl %90 üzeri, 25 Yıl %80 üzeri
Güç Toleransı	Pozitif (+) 5 Watt

7.3. “c” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler

c alternatifi paneline ait genel bilgiler Çizelge 7.9.’de, elektriksel veriler Çizelge 7.10.’de, sıcaklık özellikleri Çizelge 7.11’de ve garanti özellikleri ise Çizelge 7.12’de verilmiştir.

Çizelge 7.9. “c” alternatifine ait genel bilgiler

Alternatif	c
Marka	Alfa Solar
Model	A3S72M
Hücre Tipi	72 hücreli Monokristal
Maliyet	\$152,00

Çizelge 7.10. “c” alternatifine ait elektriksel veriler

Elektriksel Veriler		
Açıklama		Panel Bilgileri
Maksimum Güç	Pmax	400
Modül Verimi	%	20
Maksimum Güç Noktası Akımı	Imp	9,73
Kısa Devre Akımı	Isc	10,31
Maksimum Güç Noktası Voltajı	Vmmp	41,12
Açık Devre Voltajı	Voc	49,17
Doldurma Faktörü	Pmax / (Voc x Isc)	0,79

Çizelge 7.11. “c” alternatifine ait sıcaklık özellikleri

Sıcaklık Özellikleri	
Konu	Açıklama
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	44 °C ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı Pmmp	- 0,37 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Isc	0,07 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Voc	- 0,31 % / °C

Çizelge 7.12. “c” alternatifine ait garanti özellikleri

Garanti	
Konu	Açıklama
Ürün Garantisi	10 Yıl
Lineer Performans Garantisi	10 Yıl %90 üzeri, 25 Yıl %80 üzeri
Güç Toleransı	Pozitif (+) 5 Watt

7.4. “d” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler

d alternatifi paneline ait genel bilgiler Çizelge 7.13.’de, elektriksel veriler Çizelge 7.14.’de, sıcaklık özellikleri Çizelge 7.15’de ve garanti özellikleri ise Çizelge 7.16’de verilmiştir.

Çizelge 7.13. “d” alternatifine ait genel bilgiler

Alternatif	d
Marka	Alfa Solar
Model	A3S60M
Hücre Tipi	60 hücreli Monokristal
Maliyet	\$125,40

Çizelge 7.14. “d” alternatifine ait elektriksel veriler

Elektriksel Veriler		
Açıklama		Panel Bilgileri
Maksimum Güç	Pmax	330
Modül Verimi	%	19,64
Maksimum Güç Noktası Akımı	Impp	9,67
Kısa Devre Akımı	Isc	10,31
Maksimum Güç Noktası Voltajı	Vmpp	34,15
Açık Devre Voltajı	Voc	40,98
Doldurma Faktörü	Pmax / (Voc x Isc)	0,78

Çizelge 7.15. “d” alternatifine ait sıcaklık özellikleri

Sıcaklık Özellikleri	
Konu	Açıklama
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	44 °C ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı Pmpp	- 0,37 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Isc	0,07 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Voc	- 0,31 % / °C

Çizelge 7.16. “d” alternatifine ait garanti özellikleri

Garanti	
Konu	Açıklama
Ürün Garantisi	10 Yıl
Lineer Performans Garantisi	10 Yıl %90 üzeri, 25 Yıl %80 üzeri
Güç Toleransı	Pozitif (+) 5 Watt

7.5. “e” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler

e alternatifi paneline ait genel bilgiler Çizelge 7.17.’de, elektriksel veriler Çizelge 7.18.’de, sıcaklık özellikleri Çizelge 7.19’de ve garanti özellikleri ise Çizelge 7.20’de verilmiştir.

Çizelge 7.17. “e” alternatifine ait genel bilgiler

Alternatif e	
Marka	Ankara Solar
Model	AS - M60
Hücre Tipi	60 hücreli Monokristal
Maliyet	\$116,25

Çizelge 7.18. “e” alternatifine ait elektriksel veriler

Elektriksel Veriler		
Açıklama		Panel Bilgileri
Maksimum Güç	Pmax	310
Modül Verimi	%	19
Maksimum Güç Noktası Akımı	Imp	9,8
Kısa Devre Akımı	Isc	10,12
Maksimum Güç Noktası Voltajı	Vmmp	31,7
Açık Devre Voltajı	Voc	39,7
Doldurma Faktörü	Pmax / (Voc x Isc)	0,77

Çizelge 7.19. “e” alternatifine ait sıcaklık özellikleri

Sıcaklık Özellikleri	
Konu	Açıklama
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	45 °C ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı Pmmp	- 0,41 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Isc	0,05 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Voc	- 0,31 % / °C

Çizelge 7.20. “e” alternatifine ait garanti özellikleri

Garanti	
Konu	Açıklama
Ürün Garantisi	12 Yıl
Lineer Performans Garantisi	12 Yıl %91,2 , 30 Yıl %80,6
Güç Toleransı	Pozitif (+) 5 Watt

7.6. “f” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler

f alternatifi paneline ait genel bilgiler Çizelge 7.21.’de, elektriksel veriler Çizelge 7.22.’de, sıcaklık özellikleri Çizelge 7.23’de ve garanti özellikleri ise Çizelge 7.24’de verilmiştir.

Çizelge 7.21. “f “ alternatifine ait genel bilgiler

Alternatif f	
Marka	Ankara Solar
Model	AS - P72
Hücre Tipi	72 hücreli Polikristal
Maliyet	\$115,58

Çizelge 7.22. “f” alternatifine ait elektriksel veriler

Elektriksel Veriler		
Açıklama		Panel Bilgileri
Maksimum Güç	Pmax	345
Modül Verimi	%	17,78
Maksimum Güç Noktası Akımı	Imp	9,11
Kısa Devre Akımı	Isc	9,6
Maksimum Güç Noktası Voltajı	Vmmp	37,9
Açık Devre Voltajı	Voc	46,5
Doldurma Faktörü	Pmax / (Voc x Isc)	0,77

Çizelge 7.23. “f” alternatifine ait sıcaklık özellikleri

Sıcaklık Özellikleri	
Konu	Açıklama
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	45 °C ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı Pmmp	- 0,41 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Isc	0,05 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Voc	- 0,31 % / °C

Çizelge 7.24. “f” alternatifine ait garanti özellikleri

Garanti	
Konu	Açıklama
Ürün Garantisi	12 Yıl
Lineer Performans Garantisi	12 Yıl %91,2 , 30 Yıl %80,6
Güç Toleransı	Pozitif (+) 5 Watt

7.7. “g” Alternatifi Panele Ait Teknik Özellikler

g alternatifi paneline ait genel bilgiler Çizelge 7.25.’de, elektriksel veriler Çizelge 7.26.’de, sıcaklık özellikleri Çizelge 7.27’de ve garanti özellikleri ise Çizelge 7.28’de verilmiştir.

Çizelge 7.25. “g” alternatifine ait genel bilgiler

Alternatif g	
Marka	Sinoltech
Model	MS150GG-04
Hücre Tipi	CIGS
Maliyet	\$93,00

Çizelge 7.26. “g” alternatifine ait elektriksel veriler

Elektriksel Veriler		
Açıklama		Panel Bilgileri
Maksimum Güç	Pmax	150
Modül Verimi	%	14
Maksimum Güç Noktası Akımı	Imp	7,82
Kısa Devre Akımı	Isc	9,08
Maksimum Güç Noktası Voltajı	Vmmp	19,2
Açık Devre Voltajı	Voc	24,4
Doldurma Faktörü	$P_{max} / (V_{oc} \times I_{sc})$	0,68

Çizelge 7.27. “g” alternatifine ait sıcaklık özellikleri

Sıcaklık Özellikleri	
Konu	Açıklama
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	45 °C
Sıcaklık Katsayısı Pmmp	- 0,40 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Isc	0,03 % / °C
Sıcaklık Katsayısı Voc	- 0,35 % / °C

Çizelge 7.28. “g” alternatifine ait garanti özellikleri

Garanti	
Konu	Açıklama
Ürün Garantisi	10 Yıl
Lineer Performans Garantisi	10 Yıl , 25 Yıl
Güç Toleransı	Pozitif (+) 5 Watt

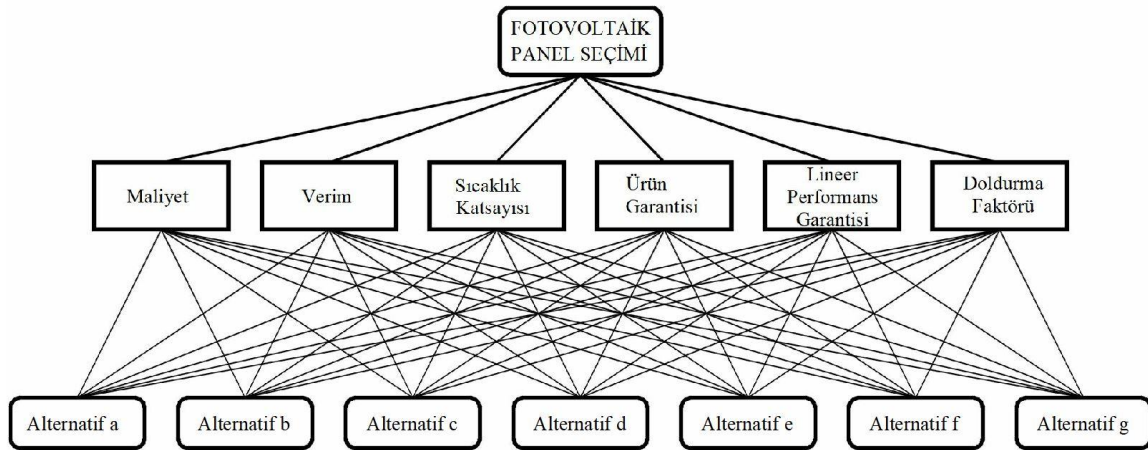
8. UYGULAMA

6. bölüm de seçilen kriterlere göre 7. bölüm de ayrıntıları verilen alternatifler arasında en uygun paneli en uygun sürede seçebilmek için PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. PROMETHEE yönteminde kullanılacak olan kriter ağırlığının belirlenmesi için de AHP yönteminden yararlanılmıştır. Bu bölümde hem AHP ile çözüm süreci hem de PROMETHEE yöntemi ile çözüm süreçleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

8.1. AHP Yardımıyla Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

AHP yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi sırasında Microsoft Excel 2016 programı kullanılmıştır. Yöntemin uygulanması sırasında kullanılan adımlar aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

8.1.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması



Şekil 8.1. Fotovoltaik panel seçimi için AHP hiyerarşik yapısı

Bu tez çalışmasında ele alınan kriterler 6. Bölüm de anlatıldığı şekilde belirlenerek hiyerarşik yapıya yerleştirilmiştir. Oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 8.1. 'de gösterilmiştir.

8.1.2. Önceliklerin belirlenmesi

Hiyerarşiyi oluşturan elemanların karşılıklı olarak değerlendirilerek birbirlerine göre ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında uzman görüşüne başvurulmuş olup, bunun ile ilgili konusunda uzman 25 kişiden toplanan anket yardımı ile veriler toplanmıştır. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulurken Çizelge 3.2.'de verilen Saaty tarafından önerilen temel ölçek değerleri kullanılmıştır.

8.1.3. İkili karşılaştırma matrisi ve çözümü

AHP yönteminin en önemli aşaması olan karşılaştırma matrisi oluşturulmasında; maliyet, verim, sıcaklık katsayısı, ürün garantisi, lineer performans garantisi ve doldurma faktörü olmak üzere 6 adet kriter kullanılmıştır. Hem satıra hem de sütuna belirlenen kriterler yazılarak, satırdaki kriterin sütundaki kritere göre ne kadar daha önemli olduğuna karar verilerek ilgili hücreye yazılarak karar matrisi oluşturulur.

Karar matrisinin oluşturulması için Ek 1 de verilen anket formu hazırlanarak konusunda uzman kişilerce cevaplandırılması istenmiştir. Yenilenebilir enerji alanında uzmanlaşmış Prof. Dr.(5 kişi), Doç. Dr. (9 kişi), Dr. Öğr. Üyesi (5 kişi) ve mühendis ünvanına sahip toplam 25 uzman tarafından verilen cevapların geometrik ortalaması ile karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Kriterlere ait karşılaştırma matrisi Çizelge 8.1. gösterilmektedir.

Çizelge 8.1. Kriterler için karşılaştırma matrisi

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Kriterler	f1	f2	f3	f4	f5	f6
2	f1	Maliyet	1,000	0,576	1,014	1,230	0,592	0,586
3	f2	Verim	1,736	1,000	2,904	2,178	2,270	1,511
4	f3	Sıcaklık Katsayısı	0,986	0,344	1,000	1,466	0,789	0,680
5	f4	Ürün Garantisi	0,813	0,459	0,682	1,000	0,619	0,456
6	f5	Lineer Performans Garantisi	1,689	0,440	1,267	1,616	1,000	1,114
7	f6	Doldurma Faktörü	1,706	0,662	1,471	2,192	0,897	1,000
8		TOPLAM	7,930	3,482	8,338	9,682	6,168	5,348

8.1.4. Normalleştirme ve göreceli önem ağırlıkları

Kriterler için ikili karşılaştırma yapıldıktan sonra matrisin normalize edilmesi gerekmektedir. Bu normalize matris; karşılaştırma matrisinde yer alan her bir değerin sütundaki değerler toplamına bölünmesi ile elde edilir. Çizelge 8.2’de normalleştirilmiş matris gösterilmektedir.

MS Excel gösterimi;

“C11” hücresine “=C2/C\$8” formülü yazılarak “C11:H16” aralığına kopyalanır.

Çizelge 8.2. Normalleştirilmiş karşılaştırma matrisi

	A	B	C	D	E	F	G	H
10		Kriterler	f1	f2	f3	f4	f5	f6
11	f1	Maliyet	0,1261	0,1655	0,1216	0,1270	0,0960	0,1096
12	f2	Verim	0,2189	0,2872	0,3483	0,2249	0,3681	0,2826
13	f3	Sıcaklık Katsayısı	0,1244	0,0989	0,1199	0,1514	0,1280	0,1271
14	f4	Ürün Garantisi	0,1025	0,1319	0,0818	0,1033	0,1003	0,0853
15	f5	Lineer Performans Garantisi	0,2130	0,1265	0,1519	0,1669	0,1621	0,2084
16	f6	Doldurma Faktörü	0,2151	0,1901	0,1764	0,2264	0,1455	0,1870

Normalleştirme işlemi sonucunda oluşan yeni matrisin satırlarının her birinin değerler toplamı o satırdaki kriter sayısına bölünerek ortalamaları alınır. Matrisin önem ağırlıkları yani kriter ağırlıkları bu aritmetik ortalama değerleridir. Bu kriter ağırlıkları, kriterlerin kendi aralarında önem sıralamasını göstermektedir.

Kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşamasının excel gösterimi ise aşağıdaki şekildedir.

“I11” hücresine “=TOPLA(C11:H11)/6” formülü yazılarak “I11:I16” aralığına kopyalanır.

Elde edilen değerler Çizelge 8.3 de verilmiştir.

Çizelge 8.3. Kriter ağırlıkları

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		Kriterler	f1	f2	f3	f4	f5	f6	Kriter Ağırlıkları
10									
11	f1	Maliyet	0,1261	0,1655	0,1216	0,1270	0,0960	0,1096	0,12
12	f2	Verim	0,2189	0,2872	0,3483	0,2249	0,3681	0,2826	0,29
13	f3	Sıcaklık Katsayısı	0,1244	0,0989	0,1199	0,1514	0,1280	0,1271	0,12
14	f4	Ürün Garantisi	0,1025	0,1319	0,0818	0,1033	0,1003	0,0853	0,10
15	f5	Lineer Performans Garantisi	0,2130	0,1265	0,1519	0,1669	0,1621	0,2084	0,17
16	f6	Doldurma Faktörü	0,2151	0,1901	0,1764	0,2264	0,1455	0,1870	0,19

8.1.5. Tutarlılık oranının hesaplanması

Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra Çizelge 8.3 de gösterilen matrisin tutarlılığının test edilmesi gerekmektedir. Tutarlılık oranı hesaplanması için tutarlılık endeksi ve rassal değer endeksinin belirlenmesi gerekmektedir.

İkili karşılaştırma matrisinin her sütunu ilgili kriter ağırlığı ile çarpılarak Tüm Öncelikler Matrisi elde edilir. Bu verilerin oluşturduğu tüm öncelikler matrisi Çizelge 8.4 de gösterilmiştir.

İşlemin excel gösterimi; “C20” hücresine “=C2*\$I\$11” formülü yazılarak “C20:C25” aralığına kopyalanır. Her sütun için (D,E,F,G ve H) için aynı işlem tekrarlanır.

Çizelge 8.4. Tüm öncelikler matrisi

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		Kriterler	f1	f2	f3	f4	f5	f6	TOPLAM
19									
20	f1	Maliyet	0,1243	0,1661	0,1267	0,1240	0,1015	0,1114	0,7541
21	f2	Verim	0,2158	0,2883	0,3629	0,2196	0,3893	0,2872	1,7632
22	f3	Sıcaklık Katsayısı	0,1226	0,0993	0,1250	0,1479	0,1354	0,1292	0,7593
23	f4	Ürün Garantisi	0,1011	0,1324	0,0852	0,1009	0,1061	0,0867	0,6124
24	f5	Lineer Performans Garantisi	0,2100	0,1270	0,1583	0,1630	0,1715	0,2118	1,0416
25	f6	Doldurma Faktörü	0,2120	0,1908	0,1838	0,2210	0,1539	0,1901	1,1516

Son olarak tüm öncelikler matrisinin her bir kriter için satır toplamaları alınır ve bu toplam değerler ilgili kriter ağırlığına bölünür.

“K11” hücresine “=I20/I11” formülü yazılarak, “K11:K16” aralığına kopyalanır (Ayçin, 2019: 13).

Bölümlerin olduğu sütundaki değerlerin aritmetik ortalaması $\lambda_{\max}$ değerini verir.

“L11” hücresine “=ORTALAMA(K11:K16)” formülü yazılarak değerlerin ortalaması alınır. Bu değer $\lambda_{\max}$ değeridir (Ayçin, 2019: 13).

Denklem 2 de verilen formülde $\lambda_{\max}$ yerine konularak TE değeri elde edilir.

“M11” hücresine “=(L11-6)/5” formülü girilir (Ayçin, 2019: 13). Bu tezde 6 kriter olduğundan $n=6$ olarak işlem yapılmaktadır.

RE değeri için Şekil 3.7 de verilen tablo kullanılır. Bu tez çalışmasında 6 adet kriter kullanıldığından RI değeri 6 kritere karşılık gelen 1,24 alınır.

Tutarlılık oranının bulabilmek için Denklem 3 de verilen formülde TE ve RE değerleri yerlerine konularak;

$TO = TE / RE = 0,0154 / 1,24 = 0,0124$ değeri elde edilir.

“N11” hücresine “=M11/1,24” formülü yazılarak TO değeri hesaplanır.

İşlemin tablo gösterimi ise Çizelge 8.5 de verilmektedir.

Çizelge 8.5. Tutarlılık oranının hesaplanması

	K	L	M	N
10	T/W	Lamda Max	TE	TO
11	6,0667	6,0771	0,0154	0,0124
12	6,1151			
13	6,0764			
14	6,0718			
15	6,0739			
16	6,0590			

Elde edilen tutarlılık oranı 0,0124 olarak bulunmuştur. Tutarlılık oranı 0,1 den küçük olduğundan kriterler arası ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu belirlenmiştir.

8.2. Fotovoltaik Panellerin PROMETHEE Yöntemi Yardımıyla Seçilmesi

PROMETHEE yöntemi ile yapılacak olan fotovoltaik panel seçimi sırasında Microsoft Excel 2016 ile Visual Promethee 1.4.0.0. programları kullanılarak iki ayrı sıralama yapılacaktır. PROMETHEE Yöntemin uygulanması iki farklı program ile yapıldıktan sonra bu iki program sonucu elde edilen sıralamalar karşılaştırılacaktır.

Her iki program ile çözüm yöntemi aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

8.2.1. PROMETHEE yönteminin Microsoft Excel 2016 programı ile çözümü

Bu bölümde fotovoltaik panel seçimi için kullanılacak olan PROMETHEE yönteminin çözümü MS Excel programı aracılığı ile yapılacak olup, adımların ayrıntıları aşağıda açıklanmaktadır.

Veri matrisinin oluşturulması

Belirlenen 6 kriter kullanılarak alternatiflerin kendi aralarında sıralaması yapılacaktır. Bu sıralamanın ilk aşaması veri matrisinin oluşturulması aşamasıdır. Matris oluşturulurken alternatifler için üreticiler tarafından sağlanan teknik detaylar ve maliyet verileri ile kriter ağırlıklarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Kriter ağırlıklarının AHP yöntemi kullanılarak tespit edilmesinin ardından, kriterlerin yönü belirlenmelidir. Verim, sıcaklık katsayısı, ürün garantisi, lineer performans garantisi ve doldurma faktörü kriterleri maksimizasyon yönlü iken; maliyet kriteri minimizasyon yönlü bir kriterdir. Bu veriler ışığında oluşturulan veri seti oluşturulmuştur (Çizelge 8.6).

Çizelge 8.6. Veri matrisi

Kriterler		Maliyet	Verim	Sıcaklık Katsayısı	Ürün Garantisi	Lineer Performans Garantisi	Doldurma Faktörü
		\$	%	% / C	Yıl	Yıl	W/VxA
Kriter Yönü		min	max	max	max	max	max
Ağırlık		0,12	0,29	0,12	0,10	0,17	0,19
Alternatifler	a	\$112,00	17,94	-0,36	10	25	0,78
	b	\$91,20	17,31	-0,36	10	25	0,82
	c	\$152,00	20	-0,37	10	25	0,79
	d	\$125,40	19,64	-0,37	10	25	0,78
	e	\$116,25	19	-0,41	12	30	0,77
	f	\$115,58	17,78	-0,41	12	30	0,77
	g	\$93,00	14	-0,41	10	25	0,68

Tercih fonksiyonunun belirlenmesi

Değerlendirmede kullanılacak kriterlerin yapısını ve aralarındaki ilişkiyi göstermek amacıyla her kriter için tercih fonksiyonu belirlenmelidir.

Bu çalışmada belirlenen kriterler maliyet, verim, sıcaklık katsayısı, ürün garantisi, lineer performans garantisi ve doldurma faktörü yani tüm kriterler sayısal veriler olduğundan ve karar vericinin ortalamanın üzerinde değere sahip olan verileri kullanmak istemesi nedeniyle tercih fonksiyonu olarak Beşinci Tip (Doğrusal) tercih fonksiyonu seçilmiştir.

Tercih fonksiyonları ve tercih fonksiyonları için parametreler belirlendikten sonra oluşan veri seti Çizelge 8.7. gösterilmiştir.

Çizelge 8.7. Veri seti

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Veri Seti							
2	Kriterler		Maliyet	Verim	Sıcaklık Katsayısı	Ürün Garantisi	Lineer Performans Garantisi	Doldurma Faktörü
3			\$	%	% / C	Yıl	Yıl	W/VxA
4	Kriter Yönü		min	max	max	max	max	max
5	Ağırlık		0,12	0,29	0,12	0,10	0,17	0,19
6	Alternatifler	a	\$112,00	17,94	-0,36	10	25	0,78
7		b	\$91,20	17,31	-0,36	10	25	0,82
8		c	\$152,00	20	-0,37	10	25	0,79
9		d	\$125,40	19,64	-0,37	10	25	0,78
10		e	\$116,25	19	-0,41	12	30	0,77
11		f	\$115,58	17,78	-0,41	12	30	0,77
12		g	\$93,00	14	-0,41	10	25	0,68
13	Tercih Fonksiyonu		Doğrusal	Doğrusal	Doğrusal	Doğrusal	Doğrusal	Doğrusal
14	Parametreler	q	1	1	0,01	1	1	0,01
15		p	10,00	2	0,05	2	5	0,1

Alternatiflerin karşılaştırılması ve ortak tercih fonksiyonunun belirlenmesi

Belirlenen tercih fonksiyonları dikkate alınarak alternatifler ikili olarak karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma da kriterin yönü de dikkat edilmesi gerekmektedir. Minimizasyon yönlü kriterler için “-“ eksi işareti konularak işlem yapılması gerekmektedir.

Maliyet kriteri için ortak tercih fonksiyonunun belirlenmesi

Maliyet kriteri için her alternatif kendi arasında ikili olarak karşılaştırılır. İkili karşılaştırma yapılırken a alternatifinin maliyet değeri olan 112,00 den, b alternatifinin maliyet değeri 91,20 çıkarılarak elde edilen sonuç ilgili hücreye yazılır. Maliyet kriteri minimizasyon yönlü bir kriter olduğundan işlemin başına “-“ işareti konulmalıdır.

$$f(a-b) = -(112,00 - 91,20) = -20,80$$

Bu işlemin MS Excel içinde formülizasyonu ise şu şekilde yapılabilir;

“C19” hücresine “=-(C6-\$C\$6)” formülü yazılarak “C19:C25” aralığında kopyalanır. “D19” hücresi için ise “=-(C6-\$C\$7)” formülü yazılarak “D19:D25” aralığında kopyalanır, bu işlem E, F, G, H ve I sütunları için aynı şekilde tekrarlanır.

Maliyet kriteri için ikili karşılaştırma değerleri Çizelge 8.8. gösterildiği şekildedir.

Çizelge 8.8. Maliyet kriteri için ikili karşılaştırma değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
17	Maliyet Kriterine Göre İkili Karşılaştırma								
18	Alternatifler		a	b	c	d	e	f	g
19		a	0,00	-20,80	40,00	13,40	4,25	3,58	-19,00
20		b	20,80	0,00	60,80	34,20	25,05	24,38	1,80
21		c	-40,00	-60,80	0,00	-26,60	-35,75	-36,43	-59,00
22		d	-13,40	-34,20	26,60	0,00	-9,15	-9,83	-32,40
23		e	-4,25	-25,05	35,75	9,15	0,00	-0,67	-23,25
24		f	-3,58	-24,38	36,43	9,83	0,67	0,00	-22,58
25		g	19,00	-1,80	59,00	32,40	23,25	22,58	0,00

İkili karşılaştırmalar yapıldıktan sonra alternatiflerin belirlenen tercih fonksiyonlarına göre, ortak tercih fonksiyonları hesaplanmıştır. Tüm kriterler için Doğrusal Tıp tercih fonksiyonu seçilmiş olup, Denklem 9 da gösterilen şekilde hesaplama yapılacaktır.

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1 \\ (x-1) / (10-1), & 1 < x \leq 10 \\ 1, & x > 10 \end{cases} \quad (9)$$

Örneğin; “C20” hücresindeki 20,80 değeri Denklem 9 da yerine konulduğu zaman sonuç 1 olarak elde edilir.

Bu işlemlerin MS Excel deki çözümü için;

“M19” hücresine Denklem 9 yardımıyla elde edilen aşağıdaki formül yazılarak, “M19:S25” aralığında kopyalanır.

=EĞER(C19<=0;0;EĞER(C19<=\$C\$14;0;EĞER(VE(C19>\$C\$14;C19<=\$C\$15);(C19-\$C\$14)/(\$C\$15-\$C\$14);1))) (Ayçin, 2019: 230).

Çizelge 8.8. de verilen maliyet kriteri için ikili karşılaştırma tablosunun ortak fonksiyonları Çizelge 8.9 da gösterilmiştir.

Çizelge 8.9. Maliyet kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
17	Maliyet Kriteri İçin Ortak Tercih Fonksiyonu								
18	Alternatifler		a	b	c	d	e	f	g
19		a	0,00	0,00	1,00	1,00	0,36	0,29	0,00
20		b	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,09
21		c	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22		d	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23		e	0,00	0,00	1,00	0,91	0,00	0,00	0,00
24		f	0,00	0,00	1,00	0,98	0,00	0,00	0,00
25		g	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00

Verim kriteri için ortak tercih fonksiyonunun belirlenmesi

Verim kriteri için Çizelge 8.7. deki değerler kullanılarak her alternatif için ayrı ayrı değerlendirme yapılır. İkili karşılaştırma her kriter için tüm alternatiflerin fark değeri alınarak yapılmaktadır. Elde edilen tüm değerler Çizelge 8.10 da gösterilmiştir.

Bu işlem MS Excel de şöyle yapılabilmektedir;

“C29” hücresine “=D6-\$D\$6” formülü yazılır, işlem “C29:C35” için kopyalanır. Aynı işlem D, E, F, G, H ve I sütunları içinde yapılır.

Çizelge 8.10. Verim kriteri için ikili karşılaştırma değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
27	Verim Kriterine Göre İkili Karşılaştırma								
28	Alternatifler		a	b	c	d	e	f	g
29		a	0,00	0,63	-2,06	-1,70	-1,06	0,16	3,94
30		b	-0,63	0,00	-2,69	-2,33	-1,69	-0,47	3,31
31		c	2,06	2,69	0,00	0,36	1,00	2,22	6,00
32		d	1,70	2,33	-0,36	0,00	0,64	1,86	5,64
33		e	1,06	1,69	-1,00	-0,64	0,00	1,22	5,00
34		f	-0,16	0,47	-2,22	-1,86	-1,22	0,00	3,78
35		g	-3,94	-3,31	-6,00	-5,64	-5,00	-3,78	0,00

Doğrusal tip tercih fonksiyonu seçildiğinden verim kriteri için de Denklem 10 kullanılarak ortak tercih fonksiyonları hesaplanır.

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1 \\ (x-1) / (2-1), & 1 < x \leq 2 \\ 1, & x > 2 \end{cases} \quad (10)$$

Excel çözümü; “M29” hücresine aşağıda verilen formül yazılarak sonuca ulaşılır. Aynı işlem “M29:S35 aralığında kopyalanır.

=EĞER(C29<=0;0;EĞER(C29<=\$D\$14;0;EĞER(VE(C29>\$D\$14;C29<=\$D\$15);(C29-\$D\$14)/(\$D\$15-\$D\$14);1))) (Ayçin, 2019: 230).

Elde edilen sonuçlar Çizelge 8.11 de verilmiştir.

Çizelge 8.11. Verim kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
27	Verim Kriteri İçin Ortak Tercih Fonksiyonu								
28	Alternatifler		a	b	c	d	e	f	g
29		a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
30		b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
31		c	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
32		d	0,70	1,00	0,00	0,00	0,00	0,86	1,00
33		e	0,06	0,69	0,00	0,00	0,00	0,22	1,00
34		f	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
35		g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sıcaklık katsayısı kriteri için ortak tercih fonksiyonunun belirlenmesi

Sıcaklık katsayısı kriteri için Çizelge 8.7 deki veri setinde yer alan veriler kullanılarak her alternatif ikili olarak ayrı ayrı değerlendirilir. Formül aşağıda gösterildiği şekilde yapılabilir.

“C39” hücresine “=E6-\$E\$6” formülü yazılır, işlem “C39:C45” için kopyalanır. Aynı işlem D, E, F, G, H ve I sütunları içinde yapılır. Tüm işlemler tamamlandıktan sonra Çizelge 8.12. deki değerler elde edilir.

Ürün garantisi kriteri için ortak tercih fonksiyonunun belirlenmesi

Ürün garantisi için veri setindeki değerler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ortaya çıkan ikili karşılaştırma tablosu Çizelge 8.14. de verilmiştir.

“C49” hücresine “=F6-\$F\$6” formülü yazılır, işlem “C49:C55” için kopyalanır. Aynı işlem D, E, F, G, H ve I sütunları içinde yapılır.

Çizelge 8.14. Ürün garantisi kriteri için ikili karşılaştırma değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
47	Ürün Garantisi Kriterine Göre İkili Karşılaştırma								
48	Akternatifler		a	b	c	d	e	f	g
49		a	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	0,00
50		b	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	0,00
51		c	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	0,00
52		d	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	0,00
53		e	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	2,00
54		f	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	2,00
55		g	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,00	-2,00	0,00

Doğrusal tercih fonksiyonu seçilen ürün garantisi kriteri için Denklem 12 de gösterildiği şekilde işlem yapıldığında elde edilen değerler Çizelge 8.15. da gösterilmiştir.

$$P(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & x \leq 1 \\ (x-1) / (2-1), & 1 < x \leq 2 \\ 1, & x > 2 \end{array} \right\} \quad (12)$$

Excel çözümü ise;

“M49” hücresine Denklem 12 yardımıyla aşağıda verilen formül yazılarak sonuca ulaşılır.

Aynı işlem “M49:S55 aralığında kopyalanır.

=EĞER(C49<=0;0;EĞER(C49<=\$F\$14;0;EĞER(VE(C49>\$F\$14;C49<=\$F\$15);(C49-\$F\$14)/(\$F\$15-\$F\$14);1))) (Ayçin, 2019: 230).

Çizelge 8.15. Ürün garantisi kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
47	Ürün Garantisi Kriteri İçin Ortak Tercih Fonksiyonu								
48	Alternatifler		a	b	c	d	e	f	g
49		a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50		b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51		c	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52		d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53		e	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
54		f	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
55		g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Lineer performans garantisi kriteri için ortak tercih fonksiyonunun belirlenmesi

Lineer performans garantisi kriteri için Çizelge 8.7 deki değerler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ortaya çıkan ikili karşılaştırma tablosu Çizelge 8.16. de verilmiştir.

“C59” hücresine “=G6-\$G\$6” formülü yazılır, işlem “C59:C65” için kopyalanır. Aynı işlem D, E, F, G, H ve I sütunları içinde yapılır.

Çizelge 8.16. Lineer performans garantisi kriteri için ikili karşılaştırma değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
57	Lineer Performans Garantisi Kriterine Göre İkili Karşılaştırma								
58	Alternatifler		a	b	c	d	e	f	g
59		a	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,00	-5,00	0,00
60		b	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,00	-5,00	0,00
61		c	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,00	-5,00	0,00
62		d	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,00	-5,00	0,00
63		e	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00	5,00
64		f	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00	5,00
65		g	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,00	-5,00	0,00

Doğrusal tercih fonksiyonu seçilen lineer performans garantisi kriteri için Denklem 13 de gösterildiği şekilde işlem yapıldığında elde edilen değerler Çizelge 8.17. da gösterilmiştir.

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1 \\ (x-1) / (5-1), & 1 < x \leq 5 \\ 1, & x > 5 \end{cases} \quad (13)$$

Excel çözümü ise;

Excel çözümü; “M59” hücresine Denklem 13 yardımıyla aşağıda verilen formül yazılarak sonuca ulaşılır. Aynı işlem “M59:S65 aralığında kopyalanır.

=EĞER(C59<=0;0;EĞER(C59<=\$G\$14;0;EĞER(VE(C59>\$G\$14;C59<=\$G\$15);(C59-\$G\$14)/(\$G\$15-\$G\$14);1))) (Ayçin, 2019: 230).

Çizelge 8.17. Lineer performans garantisi kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
57	Lineer Performans Garantisi Kriteri İçin Ortak Tercih Fonksiyonu								
58	Alternatifler		a	b	c	d	e	f	g
59		a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60		b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
61		c	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62		d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
63		e	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
64		f	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
65		g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Doldurma faktörü kriteri için ortak tercih fonksiyonunun belirlenmesi

Doldurma faktörü kriteri için Çizelge 8.7. deki değerler kullanılarak her alternatif için ayrı ayrı değerlendirme yapılır. İkili karşılaştırma tüm alternatiflerin fark değeri alınarak yapılmaktadır. Elde edilen tüm değerler Çizelge 8.18 da gösterilmiştir.

Bu işlem MS Excel deki gösterimi;

“C69” hücresine “=H6-\$H\$6” formülü yazılır, işlem “C69:C75” için kopyalanır. Aynı işlem D, E, F, G, H ve I sütunları içinde yapılır.

Çizelge 8.18. Doldurma faktörü kriteri için ikili karşılaştırma değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
67	Doldurma Faktörü Kriterine Göre İkili Karşılaştırma								
68	Alternatifler		a	b	c	d	e	f	g
69		a	0,00	-0,03	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,11
70		b	0,03	0,00	0,03	0,04	0,04	0,04	0,14
71		c	0,01	-0,03	0,00	0,01	0,02	0,02	0,11
72		d	0,00	-0,04	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,10
73		e	-0,01	-0,04	-0,02	-0,01	0,00	0,00	0,09
74		f	-0,01	-0,04	-0,02	-0,01	0,00	0,00	0,10
75		g	-0,11	-0,14	-0,11	-0,10	-0,09	-0,10	0,00

Doğrusal tip tercih fonksiyonu seçildiğinden doldurma faktörü kriteri için de Denklem 14 kullanılarak ortak tercih fonksiyonları hesaplanır.

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,01 \\ (x-0,01) / (0,1-0,01), & 0,01 < x \leq 0,1 \\ 1, & x > 0,1 \end{cases} \quad (14)$$

Excel çözümü; “M69” hücresine aşağıda verilen formül yazılarak sonuca ulaşılır. Aynı işlem “M69:S75 aralığında kopyalanır.

=EĞER(C69<=0;0;EĞER(C69<=\$H\$14;0;EĞER(VE(C69>\$H\$14;C69<=\$H\$15);(C69-\$H\$14)/(\$H\$15-\$H\$14);1))) (Ayçin, 2019: 230).

Elde edilen sonuçlar Çizelge 8.19. de verilmiştir.

Çizelge 8.19. Doldurma faktörü kriteri için ortak tercih fonksiyonu değerleri

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
67	Doldurma Faktörü Kriteri İçin Ortak Tercih Fonksiyonu								
68	Alternatifler		a	b	c	d	e	f	g
69		a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	1,00
70		b	0,25	0,00	0,19	0,28	0,39	0,37	1,00
71		c	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,07	1,00
72		d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
73		e	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94
74		f	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95
75		g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tercih indeksleri oluşturulması

Karar verici tarafından hesaplanan ağırlık değerleri ile ortak tercih fonksiyonları kullanılarak PROMETHEE Yönetiminin tanımı yapılırken açıklanan Denklem 4 deki formülle tercih indeks değeri hesaplanır.

Örneğin “C80” hücresindeki alternatiflerin tercih indeksi hesaplaması aşağıdaki gibidir.

$$\pi(a,b) = 0,12 \times 1 + 0,29 \times 0 + 0,12 \times 0 + 0,10 \times 0 + 0,17 \times 0 + 0,19 \times 0,25 = 0,17$$

Bu işlemin Excel gösterimi;

“C79” hücresine aşağıdaki formül yazılarak; “C79:I85” aralığında kopyalanır.

“= \$C\$5*M19+\$D\$5*M29+\$E\$5*M39+\$F\$5*M49+\$G\$5*M59+\$H\$5*M69”(Ayçin, 2019: 237).

Tercih indekslerini gösterir tablo Çizelge 8.20 verilmiştir.

Çizelge 8.20. Tercih indeksleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
77	Tercih İndekslerinin Hesaplanması								
78	Alternatifler		a	b	c	d	e	f	g
79		a	0,00	0,00	0,12	0,12	0,17	0,16	0,60
80		b	0,17	0,00	0,16	0,18	0,32	0,32	0,61
81		c	0,29	0,29	0,00	0,00	0,11	0,40	0,57
82		d	0,20	0,29	0,12	0,00	0,09	0,34	0,57
83		e	0,29	0,47	0,40	0,38	0,00	0,06	0,74
84		f	0,27	0,27	0,40	0,39	0,00	0,00	0,74
85		g	0,12	0,00	0,12	0,12	0,12	0,12	0,00

Pozitif ve negatif üstünlüklerin belirlenmesi

Tercih fonksiyonları kullanılarak her alternatif için pozitif ve negatif üstünlükler elde edilir.

Pozitif ve negatif üstünlükler Denklem 5 ve Denklem 6 da verilen formüller ile hesaplanır.

Pozitif üstünlük için; $\phi^+(a) = 0 + 0 + 0,12 + 0,12 + 0,17 + 0,16 + 0,60 = 0,198$

Excel gösterimi ise; “M79” hücresine “=TOPLA(C79:I79)/(7-1)” formülü yazılarak hesaplanır. “M79:M85” aralığında kopyalanarak pozitif üstünlük değerleri elde edilmiş olur (Ayçin, 2019: 237).

Negatif üstünlük için; $\phi^-(a) = 0 + 0,17 + 0,29 + 0,20 + 0,29 + 0,27 + 0,12 = 0,225$

Excel gösterimi ise; “N79” hücresine “=TOPLA(C79:C85)/(7-1)” formülü yazılır.

“N79:N85” aralığında kopyalanarak negatif üstünlük değerleri elde edilmiş olur (Ayçin, 2019: 238).

Çizelge 8.21. Pozitif ve negatif üstünlük değerleri

	K	L	M	N
77	Pozitif ve Negatif Üstünlükler			
78	Alternatifler		ϕ^+	ϕ^-
79		a	0,198	0,225
80		b	0,295	0,225
81		c	0,276	0,196
82		d	0,270	0,148
83		e	0,391	0,114
84		f	0,346	0,066
85		g	0,104	0,021

Kısmi sıralama - PROMETHEE I

Pozitif ve negatif üstünlükler dikkate alınarak alternatiflerin kısmi sıralaması yapılır.

Çizelge 8.22. PROMETHEE I ile kısmi sıralama

Koşul	Durum
$\phi^+(a) < \phi^+(b)$ ve $\phi^-(a) = \phi^-(b)$	b alternatifi a alternatifinde üstündür.
$\phi^+(a) < \phi^+(c)$ ve $\phi^-(a) > \phi^-(c)$	c alternatifi a alternatifinde üstündür.
$\phi^+(a) < \phi^+(d)$ ve $\phi^-(a) > \phi^-(d)$	d alternatifi a alternatifinde üstündür.
$\phi^+(a) < \phi^+(e)$ ve $\phi^-(a) > \phi^-(e)$	e alternatifi a alternatifinde üstündür.
$\phi^+(a) < \phi^+(f)$ ve $\phi^-(a) > \phi^-(f)$	f alternatifi a alternatifinde üstündür.
$\phi^+(a) > \phi^+(g)$ ve $\phi^-(a) > \phi^-(g)$	a ve g alternatifleri karşılaştırılmaz.
$\phi^+(b) > \phi^+(c)$ ve $\phi^-(b) > \phi^-(c)$	b ve c alternatifleri karşılaştırılmaz.
$\phi^+(b) > \phi^+(d)$ ve $\phi^-(b) > \phi^-(d)$	b ve d alternatifleri karşılaştırılmaz.
$\phi^+(b) < \phi^+(e)$ ve $\phi^-(b) > \phi^-(e)$	e alternatifi b alternatifinde üstündür.
$\phi^+(b) < \phi^+(f)$ ve $\phi^-(b) > \phi^-(f)$	f alternatifi b alternatifinde üstündür.
$\phi^+(b) > \phi^+(g)$ ve $\phi^-(b) > \phi^-(g)$	b ve g alternatifleri karşılaştırılmaz.
$\phi^+(c) > \phi^+(d)$ ve $\phi^-(c) > \phi^-(d)$	c ve d alternatifleri karşılaştırılmaz.
$\phi^+(c) < \phi^+(e)$ ve $\phi^-(c) > \phi^-(e)$	e alternatifi c alternatifinde üstündür.
$\phi^+(c) < \phi^+(f)$ ve $\phi^-(c) > \phi^-(f)$	f alternatifi c alternatifinde üstündür.
$\phi^+(c) > \phi^+(g)$ ve $\phi^-(c) > \phi^-(g)$	c ve g alternatifleri karşılaştırılmaz.

Çizelge 8.22. PROMETHEE I ile kısmi sıralama (devamı)

$\phi^+(d) < \phi^+(e)$ ve $\phi^-(d) > \phi^-(e)$	e alternatifi d alternatifinde üstündür.
$\phi^+(d) < \phi^+(f)$ ve $\phi^-(d) > \phi^-(f)$	f alternatifi d alternatifinde üstündür.
$\phi^+(d) > \phi^+(g)$ ve $\phi^-(d) > \phi^-(g)$	d ve g alternatifleri karşılaştırılmaz.
$\phi^+(e) > \phi^+(f)$ ve $\phi^-(e) > \phi^-(f)$	e ve f alternatifleri karşılaştırılmaz.
$\phi^+(e) > \phi^+(g)$ ve $\phi^-(e) > \phi^-(g)$	e ve g alternatifleri karşılaştırılmaz.
$\phi^+(f) > \phi^+(g)$ ve $\phi^-(f) < \phi^-(g)$	f alternatifi g alternatifinde üstündür.

Tam sıralama – PROMETHEE II

Bu adımda pozitif üstünlük değerinden negatif üstünlük değeri çıkarılarak net üstünlük değeri hesaplanır.

Pozitif üstünlüğün fazla olması ve negatif üstünlüğün az olması ilgili alternatife kıyaslandığı alternatiflere göre daha iyi olduğunu ve tercih edilebilirliğinin fazla olduğunu gösterir.

Excel gösterimi; “R79” hücresine “=M79-N79” formülü yazılarak “R79:R85” aralığında kopyalanır.

Sıralama için ise; “S79” hücresine “=RANK(R79;\$R\$79:\$R\$85;0)” formülü yazılır ve “S79:S85” aralığında kopyalanır. Net üstünlük değerleri büyükten küçüğe sıralanarak PROMETHEE II Tam Sıralamayı vermiş olur (Ayçin, 2019: 239).

Çizelge 8.23. PROMETHEE II ile tam sıralama

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
77	Pozitif ve Negatif Üstünlükler				Promethee II Tam Sıralama				
78	Alternatifler		ϕ^+	ϕ^-	Alternatifler		ϕ_{net}	Sıralama	
79		a	0,198	0,225		a	-0,026	7	
80		b	0,295	0,225		b	0,070	6	
81		c	0,276	0,196		c	0,079	5	
82		d	0,270	0,148		d	0,122	3	
83		e	0,391	0,114		e	0,276	2	
84		f	0,346	0,066		f	0,280	1	
85		g	0,104	0,021		g	0,083	4	

Fotovoltaik panel seçimi için ele alınan alternatifler PROMETHEE yöntemi kullanılarak MS excel uygulaması ile değerlendirilmiştir. Tam sıralama sonuçlarına göre; f alternatifi en iyi alternatif olmuş, e,d,g,c,b ve a da sırasıyla onu takip etmektedirler.

8.2.2. PROMETHEE yönteminin Visual Promethee programı ile çözümü

Bu başlık altında 7 alternatifin 6 kriter göre değerlendirilerek sıralaması Visual Promethee programı ile yapılacaktır. Bu çalışmada kullanılan program Visual Promethe Academic Edition ve versiyon 1.4.0.0. dır. Program <http://www.promethee-gaia.net> adresinden ücretsiz olarak indirilebilmektedir.

Alternatifler arası sıralama yapabilmek için ilk olarak alternatiflerin, kriterlerin, kriter ağırlıklarının, kriter yönünün ve referans parametrelerin yer aldığı Çizelge 8.7 de verilen Veri Seti'nin programa girilmesi gerekmektedir.

Veriler girildikten sonra Visual Promethee programında görünen ekran Şekil 8.2 de gösterilmektedir.

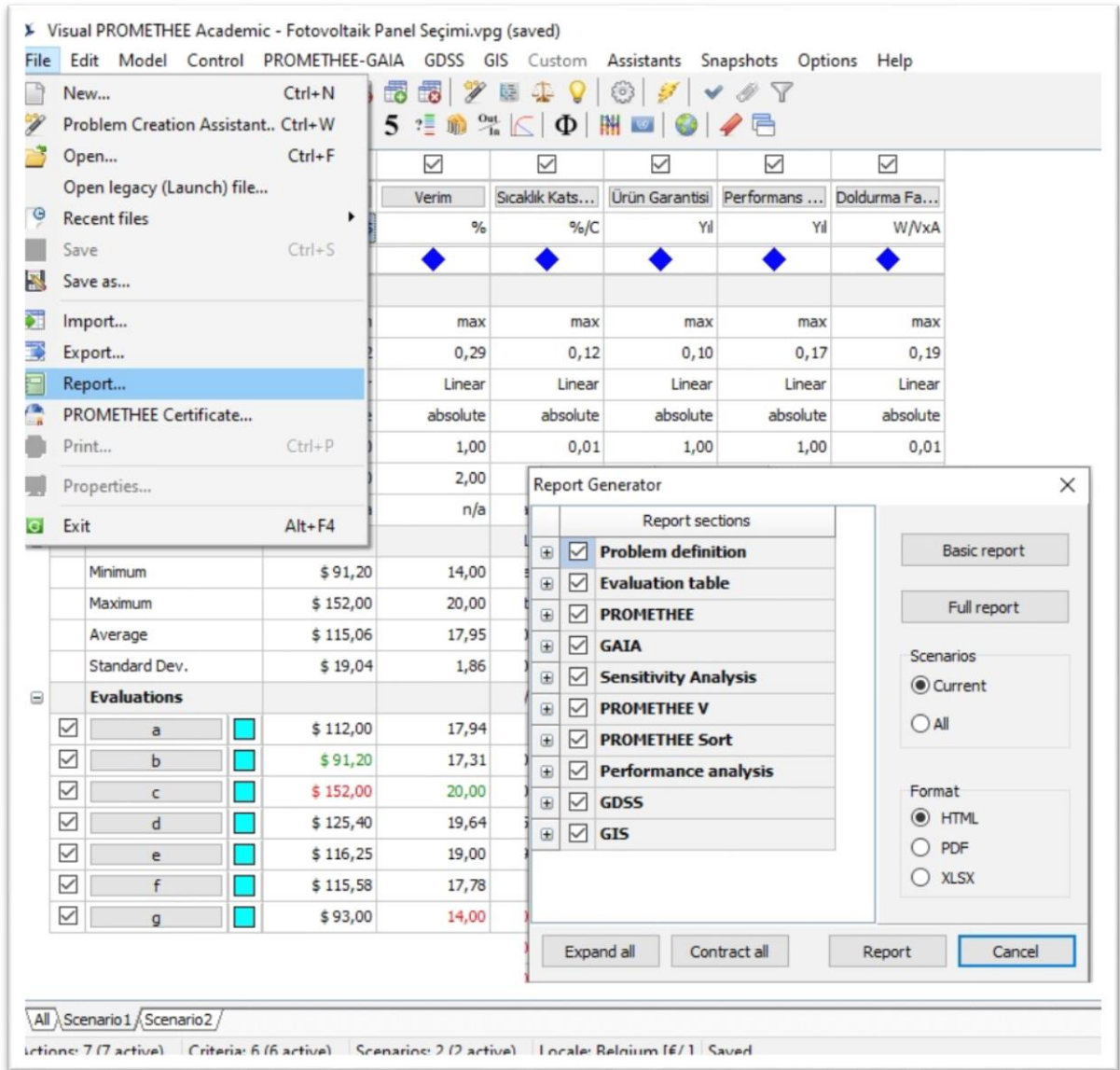
Visual PROMETHEE Academic - Fotovoltaik Panel Seçimi.vpg (saved)

File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help

	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
Scenario1	Maliyet	Verim	Sıcaklık Kats...	Ürün Garantis...	Performans ...	Doldurma Fa...	
Unit	\$	%	%/C	Yıl	Yıl	W/VxA	
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	
Preferences							
Min/Max	min	max	max	max	max	max	
Weight	0,12	0,29	0,12	0,10	0,17	0,19	
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	\$ 1,00	1,00	0,01	1,00	1,00	0,01	
- P: Preference	\$ 10,00	2,00	0,02	2,00	5,00	0,10	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics							
Minimum	\$ 91,20	14,00	-0,41	10,00	25,00	0,68	
Maximum	\$ 152,00	20,00	-0,36	12,00	30,00	0,82	
Average	\$ 115,06	17,95	-0,38	10,57	26,43	0,77	
Standard Dev.	\$ 19,04	1,86	0,02	0,90	2,26	0,04	
Evaluations							
☒ a	\$ 112,00	17,94	-0,36	10,00	25,00	0,78	
☒ b	\$ 91,20	17,31	-0,36	10,00	25,00	0,82	
☒ c	\$ 152,00	20,00	-0,37	10,00	25,00	0,79	
☒ d	\$ 125,40	19,64	-0,37	10,00	25,00	0,78	
☒ e	\$ 116,25	19,00	-0,41	12,00	30,00	0,77	
☒ f	\$ 115,58	17,78	-0,41	12,00	30,00	0,77	
☒ g	\$ 93,00	14,00	-0,41	10,00	25,00	0,68	

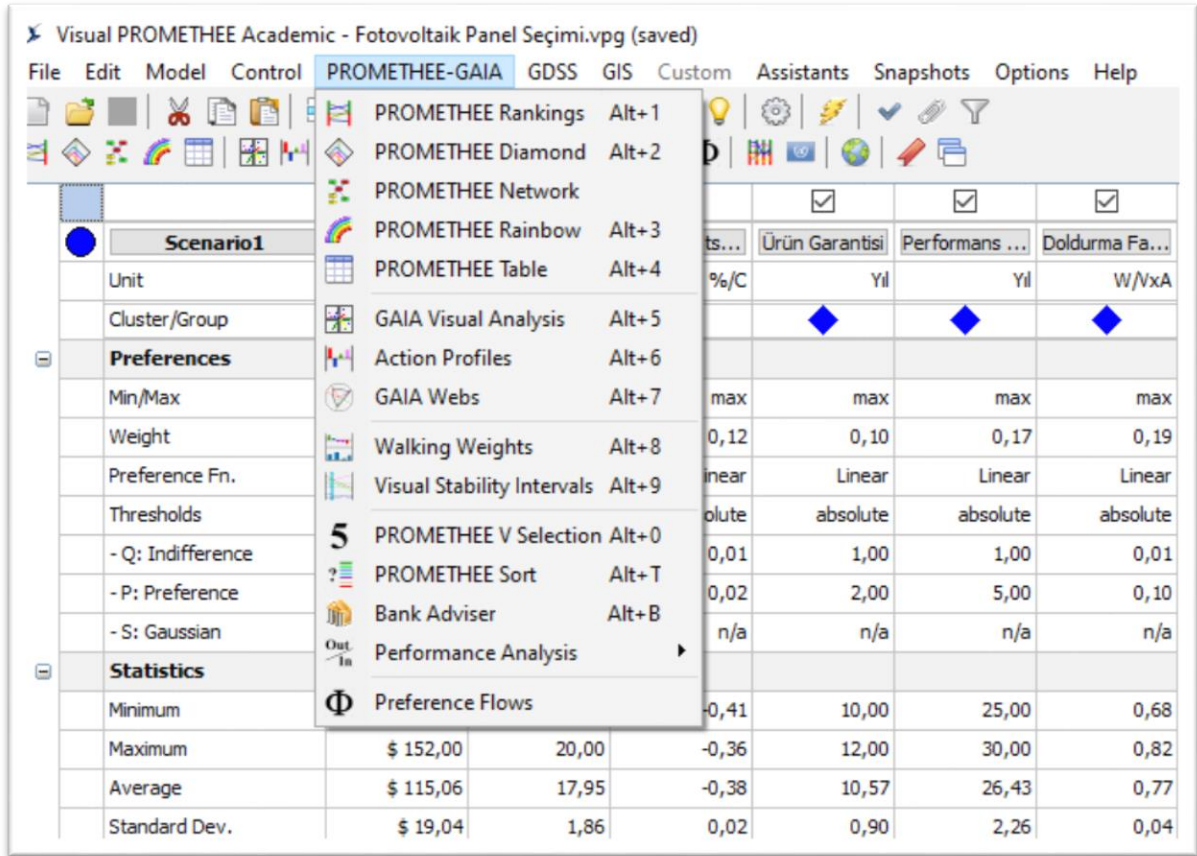
Şekil 8.2. Visual promethee programı veri seti

Giriş işlemleri tamamlandıktan sonra rapor oluşturmak için “File” menüsü altında bulunan “Report” butonu tıklanır. Açılan ekranda “Report Generator” sekmesinde basit raporlar ve bütün raporlar seçeneklerinden birisi seçilerek raporlar alınabilir. Rapor formatı web sayfası (HTML), pdf dosyası ve excel dosyası (.xls) olmak üzere üç farklı şekilde olabilmektedir. Rapor ekranının görüntüsü Şekil 8.3 de gösterilmiştir (Ayçin, 2019: 252).



Şekil 8.3. Visual promethee rapor ekranı

Sonuçlar dosya olarak alınmak istenmediği durumlarda sonuçlara “PROMETHEE-GAIA” menüsünden ulaşılabilir. Bu menüde; pozitif ve negatif üstünlükler, net üstünlük değerleri, PROMETHEE I yani kısmi sıralama ve PROMETHEE II yani tam sıralama sonuçlarını görmek mümkündür. Menüye ait ekran görüntüsü Şekil 8.4. de gösterilmiştir (Ayçin, 2019: 253).



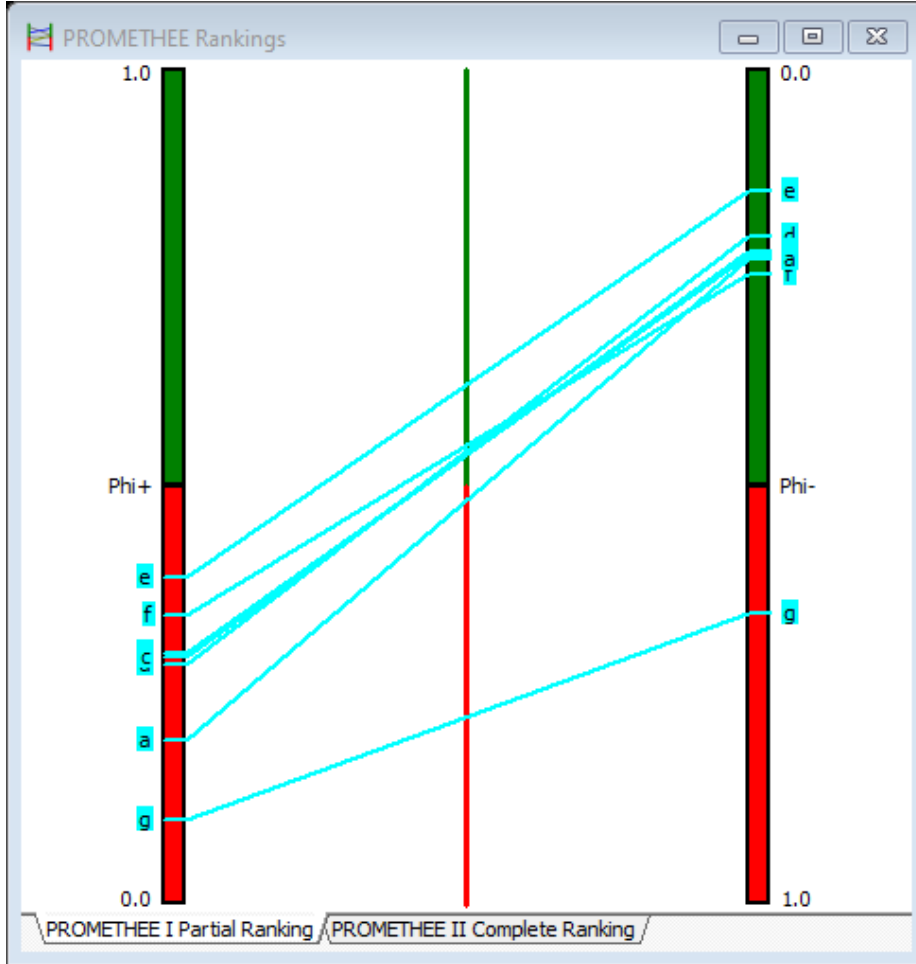
Şekil 8.4. PROMETHEE – GAIA menü ekranı

Bu menü üzerinden “PROMETHEE Table” sekmesine tıklanarak pozitif ve negatif üstünlük değerleri ve pozitif üstünlükten negatif üstünlüğün çıkarılarak elde edildiği net üstünlük değerlerine ulaşılabilmektedir. Şekil 6.5. de üstünlükler tablosu gösterilmektedir.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	e	0,2441	0,3904	0,1463
2	f	0,0982	0,3445	0,2463
3	d	0,0863	0,2866	0,2003
4	b	0,0788	0,3011	0,2222
5	c	0,0758	0,2950	0,2192
6	a	-0,0330	0,1949	0,2279
7	g	-0,5502	0,1010	0,6513

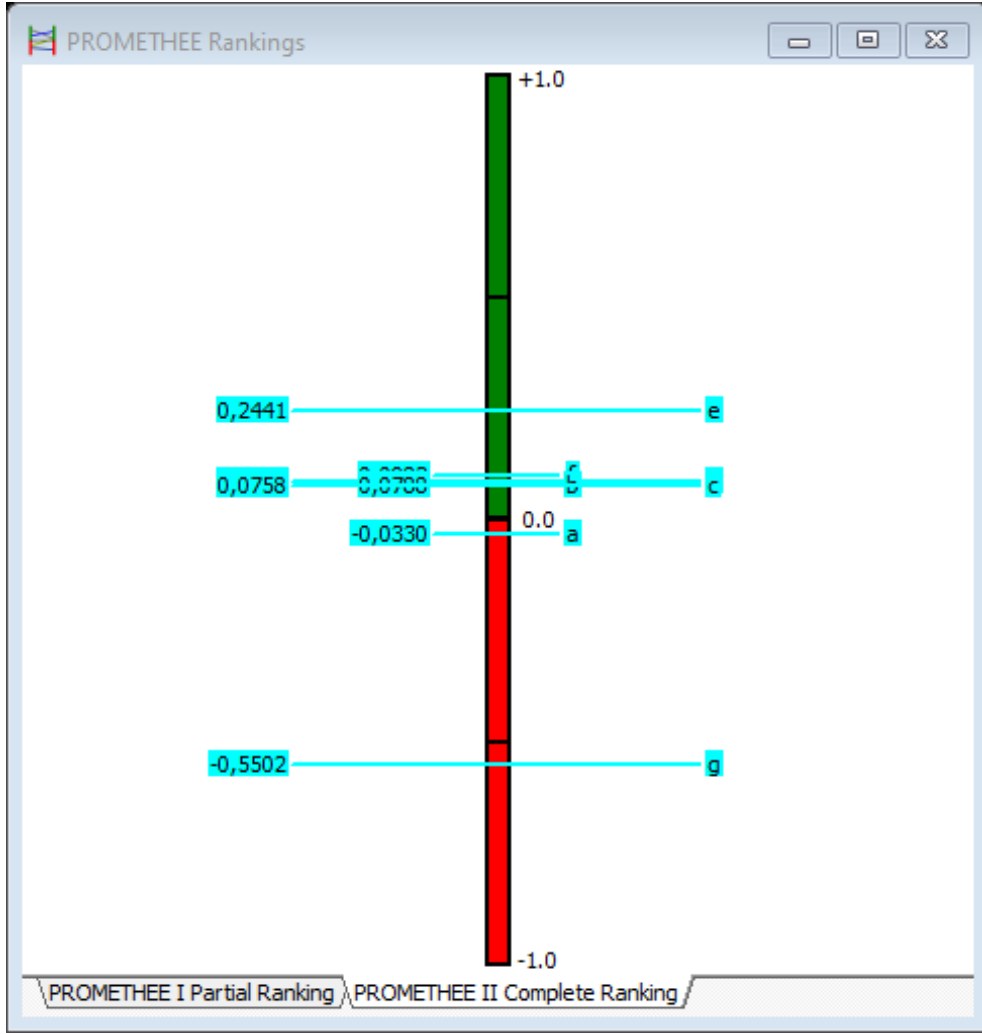
Şekil 8.5 PROMETHEE table – üstünlükler tablosu

PROMETHEE I ve PROMETHEE II sıralamalarına ulaşmak için “PROMETHEE Ranksings” sekmesi kullanılmaktadır. PROMETHEE I ile kısmi sıralama sonuçları Şekil 8.6. gösterilmiştir.



Şekil 8.6. Alternatiflerin Promethee I ile kısmi sıralaması

Son olarak da PROMETHEE II ile tam sıralama Şekil 8.7. gösterilmiştir.



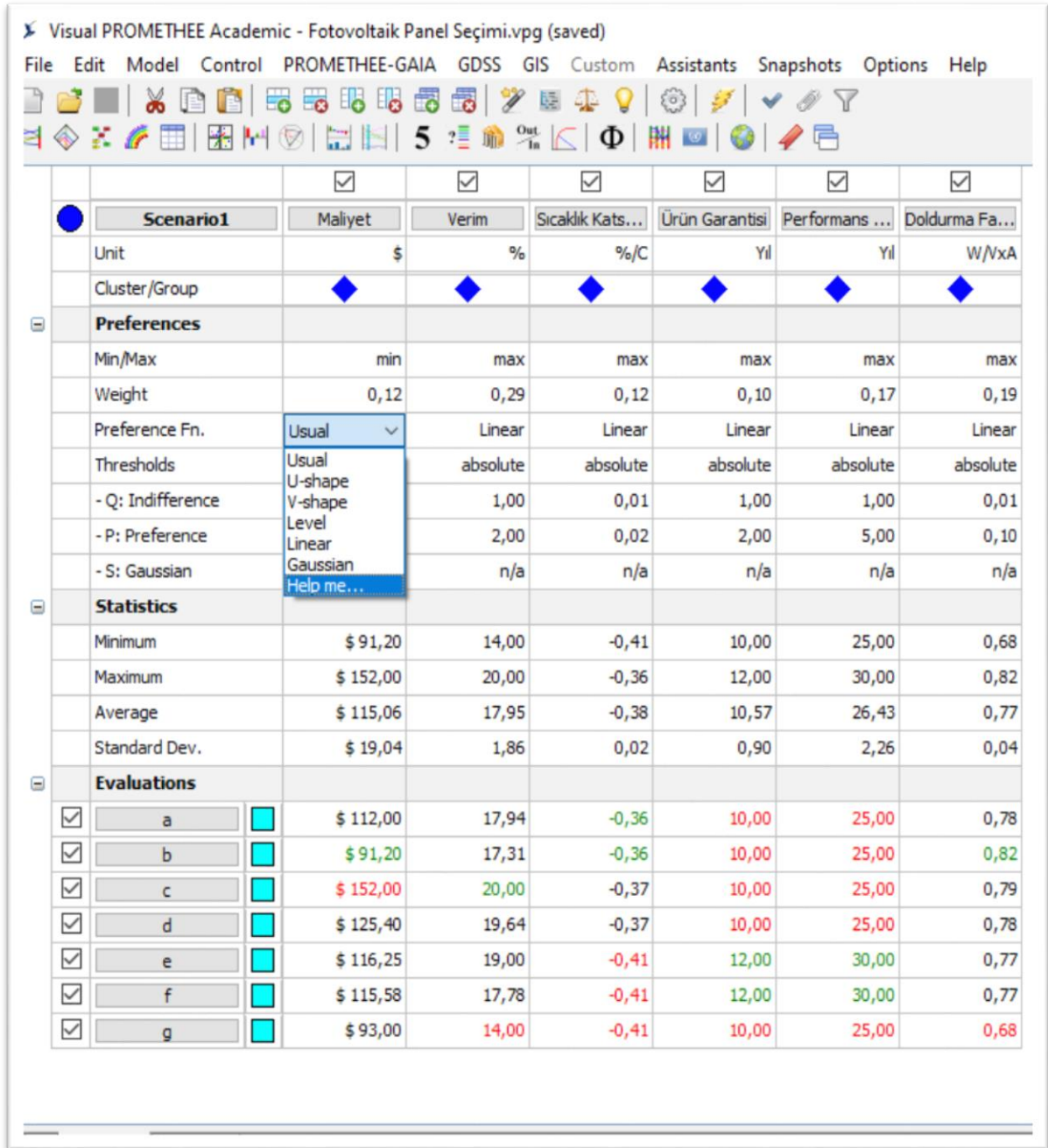
Şekil 8.7. Alternatiflerin Promethee II ile tam sıralaması

PROMETHEE II ile tam sıralamaya göre, fotovoltaik paneller ilk sırada e alternatifi olmak üzere f,d,b,c,a ve g olmak üzere sıralanmıştır.

Promethee I ve II sıralamaları aynı sonucu vermesi kıyaslamamanın net olduğunun göstergesidir.

Tercih fonksiyonlarının Visual Promethee programı tercih fonksiyonu asistanı yardımı ile belirlenmesi

Promethee yönteminin en önemli adımı tercih fonksiyonlarının belirlenmesi adımıdır. Tercih fonksiyonları karar verici tarafından belirlenebileceği gibi Visual Promethee programında bulunan Tercih Fonksiyonu Asistanı kullanılarak da belirlenebilmektedir.



Şekil 8.8. Tercih fonksiyonu belirleme ekranı

Şekil 8.8. de gösterildiği gibi “Preference Fn.” butonunda yer alan açılır listeden “Help me” seçeneği tıklandığında “Tercih Fonksiyonu Asistanı” ekranı açılacaktır. Bu ekranda beş farklı sekme bulunmaktadır. Tercih fonksiyonu asistanının bulunan sekmeler “Start”, “Type selection”, “Threshold type”, “Threshold assessment” ve “End” sekmeleridir.

Tercih fonksiyonu asistanının kullanımı maliyet kriteri üzerinden anlatılacaktır.

Start

Bu sekmede Şekil 8.9 da görüldüğü gibi kriterlere ait istatistiki bilgiler yer almaktadır.

- Kriterin türü: sayısal, para veya nitelik
- Minimum değer
- Maksimum değer
- Ortalama değer
- Aralık (maksimum değer ve minimum değer arasındaki fark)
- Standart sapma
- Kriterin maksimize mi yoksa minimize mi olduğu
- Değerlendirmeler arasındaki minimum (en küçük) pozitif fark
- Değerlendirmeler arasındaki maksimum (en büyük) fark
- Ortalama fark
- Farkların standart sapması

Preference Function Assistant

Start | **Type selection** | Threshold type | Threshold assessment | End

Criterion:	Maliyet	<i>Evaluated on a currency scale</i>	
Minimum value:	\$ 91,20	Average value:	\$ 115,06
Maximum value:	\$ 152,00		
Range:	\$ 60,80	Standard deviation:	\$ 19,04

This criterion is to minimize.

PROMETHEE relies on the principle of pairwise comparison of the actions.
We will thus look at the differences between the evaluations of the actions.
Here are some statistics:

Minimum (> 0) difference:	\$ 0,67	Average difference:	\$ 23,95
Maximum difference:	\$ 60,80	Standard deviation:	\$ 16,51
Diversity:	100,0 %		

If these data are correct and you wish to setup the right preference function for this criterion, please press the "Next >" button. Otherwise, press "Cancel".

Cancel | **Next >**

Şekil 8.9. Tercih fonksiyonu asistanı start sekmesi ekranı

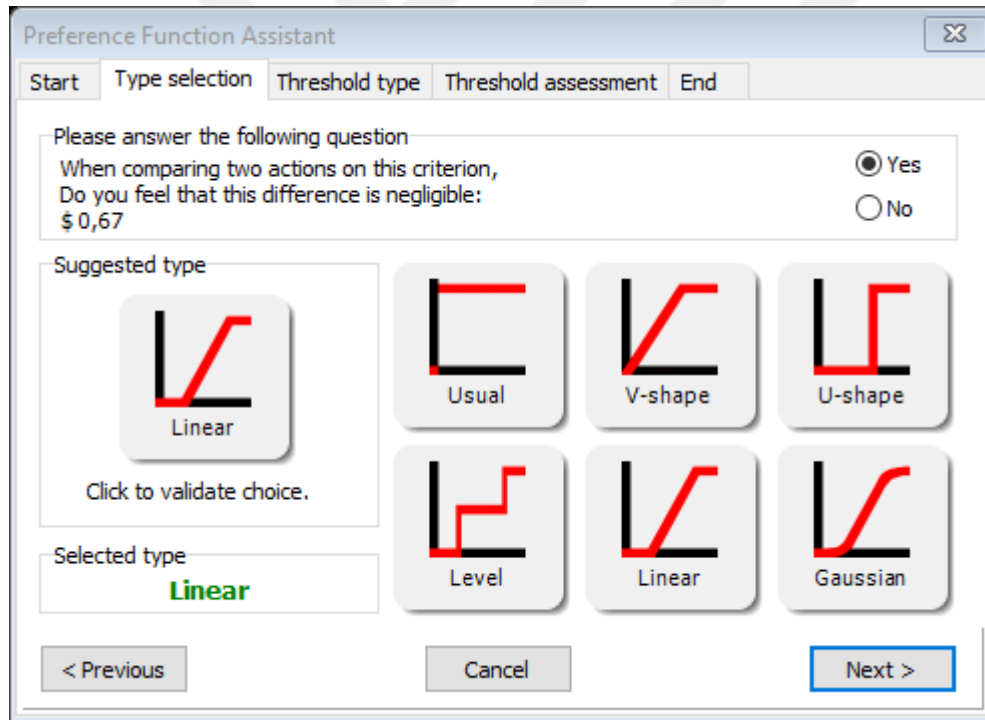
“Next” butonu ile bir sonraki sekmeye yani “Type selection” sekmesine geçilir.

Type selection

Bu sekme tercih fonksiyonu önerisinin yer aldığı kısımdır. Kullanıcı tarafından üst kısımda yer alan soruya cevap verilmesi gerekmektedir. Bu soru; iki kriterin karşılaştırılırken yazılı olan değerin ihmal edilebilir olup olmadığını sormaktadır. Maliyet kriteri için bu değer 0,67 \$ olarak verildiğinden ihmal edilebilir bir değer olduğundan “yes” sekmesi seçilmiştir.

Şekil 8.10 da verilen ekran üzerinde farklı seçenekler bulunmaktadır.

- Önerilen tercih fonksiyonu kabul edilirse “Next” düğmesi ile ilerlenecektir.
- Alternatif bir tercih fonksiyonu seçmek istenirse ilgili simgeye tıklanarak yapılabilmektedir



Şekil 8.10. Tercih fonksiyonu asistanı type selection sekmesi ekranı

Maliyet kriteri için Linear yani doğrusal tercih fonksiyonu önerilmektedir.

Threshold type

Mutlak mı yoksa yüzde mi kullanılması gerektiğini belirlemek için sorunun yanıtlanması gerekmektedir. Tereddüt edilmesi durumunda seçimin olduğu gibi bırakılması önerilmektedir.

Preference Function Assistant

Start Type selection **Threshold type** Threshold assessment End

Please answer the following question

criterion.

Case1: A = \$ 91,20 - B = \$ 103,36

Case2: A = \$ 139,84 - B = \$ 152,00

In both cases you should prefer A. But do you feel that your preference is:

☐ Much more important in case 1

☐ Much more important in case 2

☒ Not so different

Based on your selection, absolute thresholds seem appropriate. You can change the selection below if you wish to do so.

Threshold type

☒ Absolute ☐ Percentage

< Previous Cancel Next >

Şekil 8.11. Tercih fonksiyonu asistanı threshold type sekmesi ekranı

“Next” butonu ile bir sonraki sekmeye yani “Threshold assessment” sekmesine geçilir.

Threshold assessment

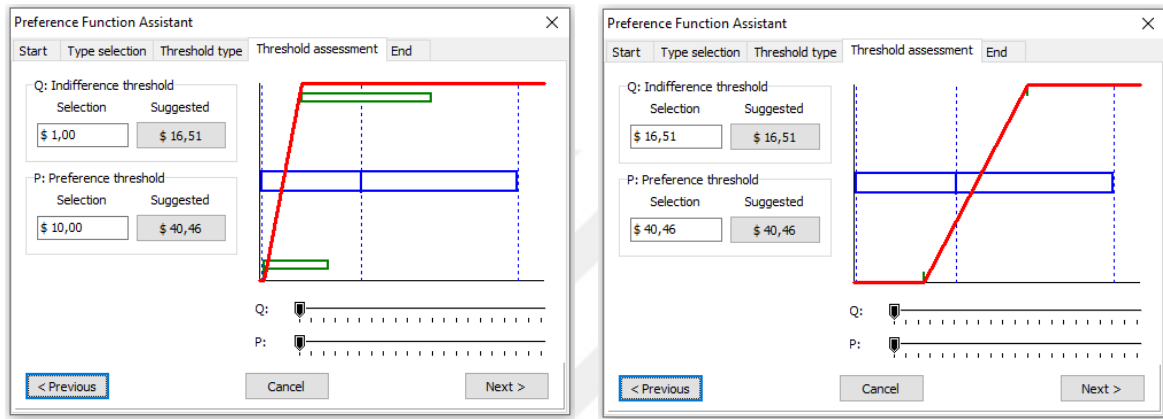
Seçilen tercih fonksiyon türüne bağlı olarak iki eşik (Q, P veya S) değerlendirilmelidir.

Pencerenin sol tarafında, türüne bağlı olarak değerlendirilmesi gereken her eşik için kutular bulunur. Her kutuda, seçilen değeri ve asistan tarafından önerilen değeri görmek mümkündür.

Pencerenin sağ tarafında, halihazırda seçili olan tercih fonksiyonunun grafiksel bir temsili bulunur. Burada bulunan renklerin anlamı;

- Mavi dikdörtgen, değerlendirmeler arasındaki ikili farkların dağılımını temsil eder. Orta çubuk ortalama farka karşılık gelir.
- Yeşil dikdörtgenler, eşikler için geçerli ve önerilen değerler arasındaki farkı gösterir.

Bu aşamada tercih fonksiyonu asistanının belirlendiği eşik değerler kabul edilerek ilerlenecek olup, yeni senaryoya göre sıralamada ki değişiklik gözlemlenecektir.



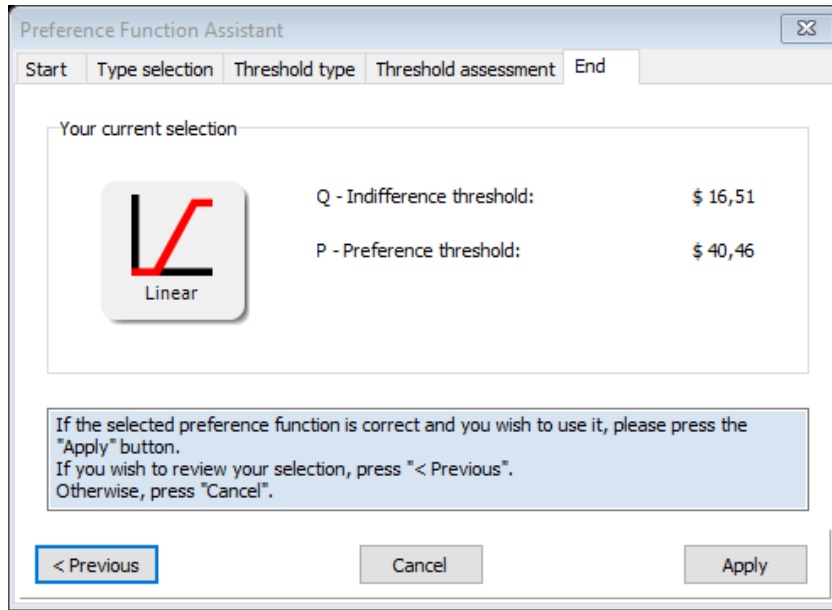
Şekil 8.12. Tercih fonksiyonu asistanı threshold assessment sekmesi ekranı,
(a) Senaryo 1, (b) Senaryo 2

Senaryo 1: Karar verici tarafından belirlenen tercih fonksiyonu ve eşik değerleri içeren senaryodur.

Senaryo 2: Tercih fonksiyonu asistanı yardımıyla belirlenen tercih fonksiyonu ve eşik değerleri içeren senaryodur.

End

Geçerli olan seçim bu sayfada görüntülenir. Seçimi doğrulamaya devam etmek için “Apply” düğmesine tıklanır.



Şekil 8.13. Tercih fonksiyonu asistanı end sekmesi ekranı

Diğer tüm kriterler için yukarıda verilen işlemler aynı şekilde tekrarlanarak oluşturulan Senaryo 2 ye göre veri seti Şekil 8.14 de gösterilmiştir.

Visual PROMETHEE Academic - Fotovoltaik Panel Seçimi.vpg (saved)

File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help

	☒	☒	☒	☒	☒	☒
Scenario2	Maliyet	Verim	Sıcaklık Kats...	Ürün Garantis...	Performans ...	Doldurma Fa...
Unit	\$	%	%/C	Yıl	Yıl	W/VxA
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences						
Min/Max	min	max	max	max	max	max
Weight	0,12	0,29	0,12	0,10	0,17	0,19
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	\$ 16,51	1,70	0,02	1,00	2,50	0,04
- P: Preference	\$ 40,46	3,98	0,05	1,95	4,88	0,09
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics						
Minimum	\$ 91,20	14,00	-0,41	10,00	25,00	0,68
Maximum	\$ 152,00	20,00	-0,36	12,00	30,00	0,82
Average	\$ 115,06	17,95	-0,38	10,57	26,43	0,77
Standard Dev.	\$ 19,04	1,86	0,02	0,90	2,26	0,04
Evaluations						
☒ a	\$ 112,00	17,94	-0,36	10,00	25,00	0,78
☒ b	\$ 91,20	17,31	-0,36	10,00	25,00	0,82
☒ c	\$ 152,00	20,00	-0,37	10,00	25,00	0,79
☒ d	\$ 125,40	19,64	-0,37	10,00	25,00	0,78
☒ e	\$ 116,25	19,00	-0,41	12,00	30,00	0,77
☒ f	\$ 115,58	17,78	-0,41	12,00	30,00	0,77
☒ g	\$ 93,00	14,00	-0,41	10,00	25,00	0,68

All Scenario1 Scenario2

Actions: 7 (7 active) Criteria: 6 (6 active) Scenarios: 2 (2 active) Locale: Belgium [€/€] Saved

Şekil 8.14. Senaryo 2 veri seti

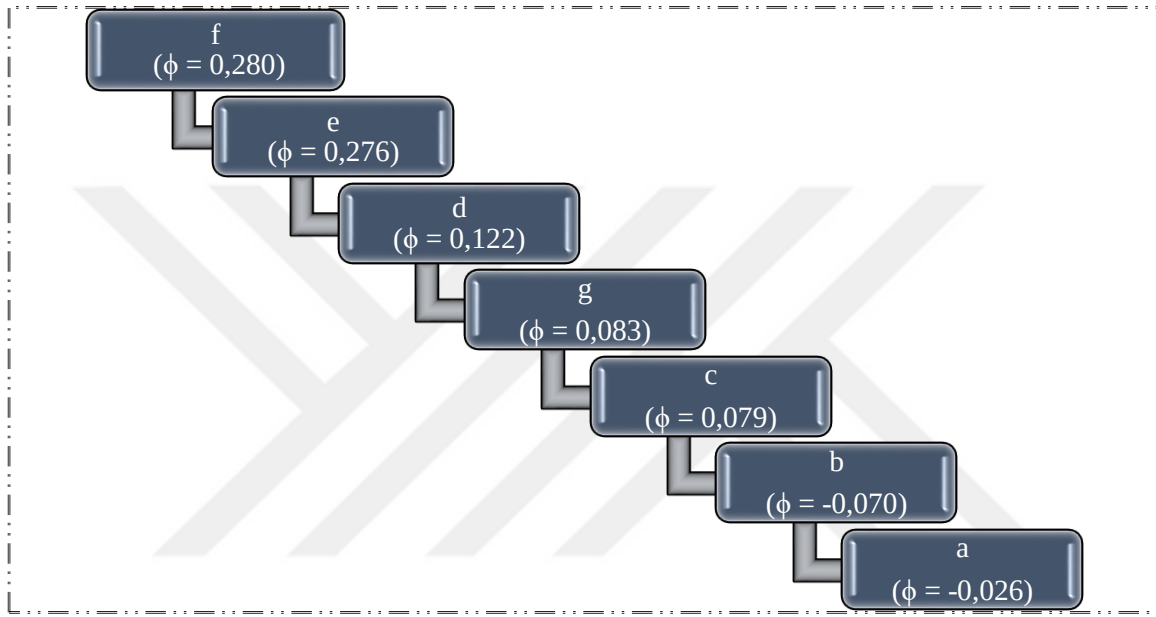
PROMETHEE Flow Table

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	e	0,2367	0,3243	0,0876
2	f	0,2197	0,3207	0,1010
3	b	0,0661	0,1917	0,1256
4	a	0,0561	0,1605	0,1043
5	d	0,0294	0,1486	0,1192
6	c	-0,0294	0,1633	0,1927
7	g	-0,5787	0,0465	0,6252

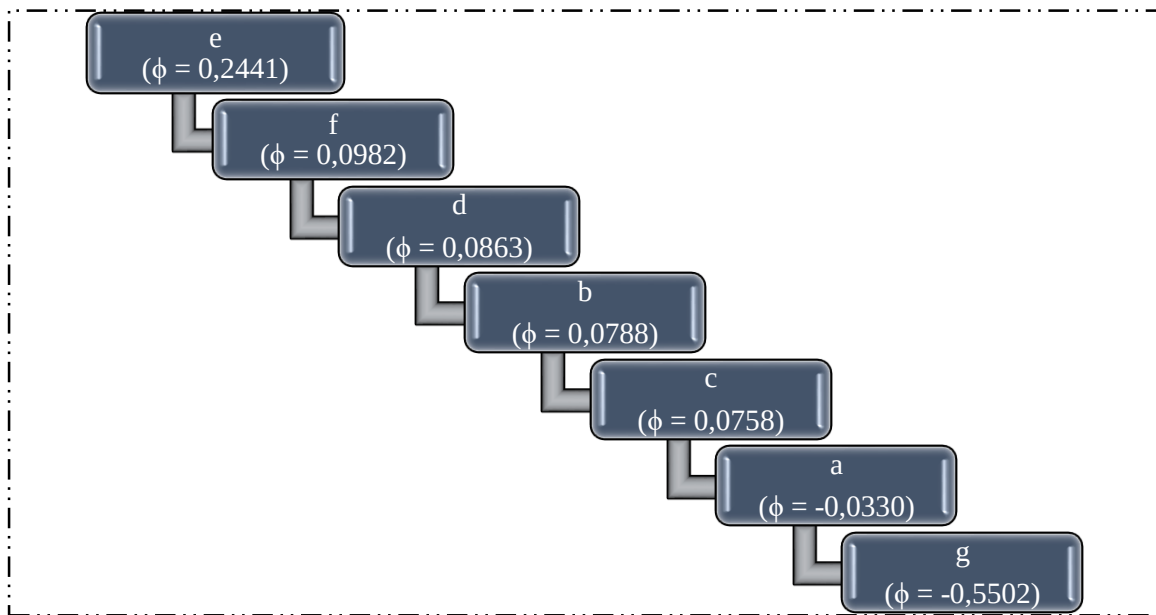
Şekil 8.15 PROMETHEE Table – Senaryo 2’ ye göre üstünlükler tablosu

8.3. Fotovoltaik Panellerinin Seçim Sıralamalarının Karşılaştırılması

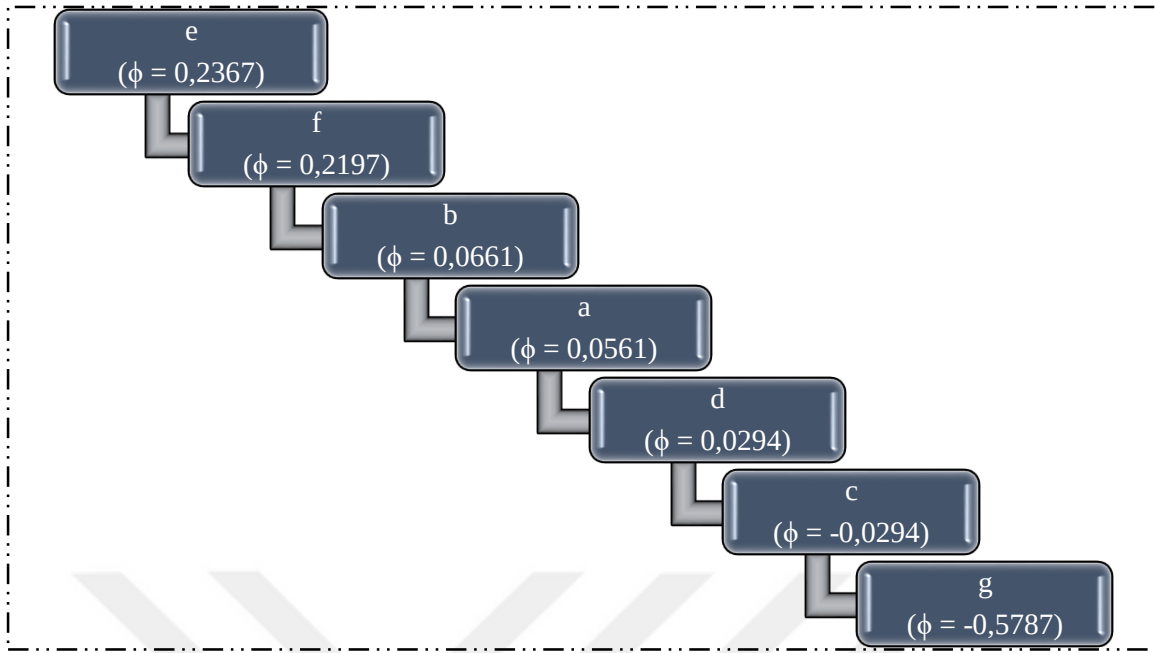
Bu tez çalışmasında fotovoltaik panellerin seçimi MS Excel ve Visual Promethee programları ile yapılmış olup, Visual Promethee programında da 2 farklı senaryo üzerinden sonuca ulaşmaya çalışılmıştır. Toplam 3 farklı sonuca ait görsel sıralamalar aşağıdaki gibi olmuştur.



Şekil 8.16. MS Excel programı ile tam sıralama



Şekil 8.17. Visual Promethee programı Senaryo 1 ile tam sıralama



Şekil 8.18. Visual Promethee programı Senaryo 2 ile tam sıralama

Bu çalışma içerisinde yapılan hesaplamalar ile ortaya çıkan 3 farklı sonuca şu şekildedir.

Microsoft Excel programına göre sıralamada birinci olan panel f alternatifi yani 72 hücreli 345 watt polikristal, ikinci olan panel e alternatifi yani 60 hücreli 310 watt monokrital ,, sonuncu ise a alternatifi 72 Hücreli polikristal 350 Watt panel yer olmuştur.

Visual Promethee 1. ve 2. senaryo da ise ilk sırada 60 hücreli 310 watt monokrital panel olan e alternatifi, ikinci sırada 72 hücreli 345 watt polikristal panel olan f alternatifi ve son sırada da 150 watt bakır indiyum galyum diselenide (CIGS) ince film panel olan g alternatifi yer almıştır.

Her 3 çözüm yöntemiyle yapılan işlemler sonucunda ilk iki sırada yer alan paneller de değişiklik olmadığından karar vericinin seçilen yedi fotovoltaiik panel içerisinde e veya f panellerinden birini seçmesi uygun olacaktır.

e = 60 hücreli 310 watt monokrital

f = 72 hücreli 345 watt polikristal

9. SONUÇ

Gün geçtikçe artan nüfus ve gelişen teknoloji yatırımları sonucunda ülkelerin ihtiyaç duyduğu enerji miktarları da artmaktadır. Enerji de dışa bağımlılığı azaltmak ve gelecek nesillere daha temiz, daha yaşanabilir bir çevre bırakmak amacıyla, insanoğlunun artan enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan kullanılması oldukça önemlidir.

Farklı Yenilenebilir Enerji yöntemleri içerisinde güneş enerjisi kullanımı düşünenler için çok çeşitli alternatifler bulunmaktadır. Gerek şebekeye bağlı ya da bağlı olmamasına göre değişim, gerek sistem bileşenlerinin çeşitliliği, gerekse fotovoltaik panellerin çeşitliliği, içinde bir den fazla kriteri barındıran problemleri ortaya çıkarmaktadır. Fotovoltaik panel seçimi sırasında karar vericinin karşısına çıkan kriterlerin ve alternatiflerin fazla olması karar sürecini zorlaştırmaktadır.

Bu çalışma; karar vericilerin fotovoltaik panel seçimi sırasında karşısına çıkan birden fazla alternatifin farklı çözüm yöntemleri ile doğru şekilde sıralanmasını içermektedir. Fotovoltaik paneller üretici firmalara ve karar vericinin ihtiyacına göre değişiklik gösterebilmektedir. Hem niteliksel hem de niceliksel özelliklerin aynı anda değerlendirilmesi, alternatiflerin doğru ve hızlı olarak sıralanabilmesi için bu çalışmada bir ÇKKV yöntemi olan PROMETHEE Yöntemi tercih edilmiştir.

PROMETHEE yöntemi ile monokristal, polikristal ve ince film hücresine sahip fotovoltaik panellerin belirlenen kriterlere ve bu kriterlerin uzman görüşü ile bulunan önem ağırlıklarına göre maliyet, verim, sıcaklık katsayısı, ürün garantisi, lineer performans garantisi ve doldurma faktörü açısından en uygun panelin seçimi yapılmıştır.

Bu çalışmada önem ağırlıklarının yani kriter ağırlıklarının belirlenmesi için bir başka ÇKKV yöntemi olan AHP kullanılmıştır. AHP yönteminin çözümü MS Excel programı ile yapılmıştır. Çalışmada; panel seçimi için maliyet, verim, sıcaklık katsayısı, ürün garantisi, lineer performans garantisi ve doldurma faktörü olmak üzere 6 adet seçim kriteri belirlenmiştir. Kriterlerin birbirlerine göreli değerlendirmeleri AHP yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu aşamada uzman görüşüne ihtiyaç duyulduğundan hazırlanan bir anket ile konusunda uzman 25 kişiden alınan cevaplar değerlendirilmiştir. 5 Prof. Dr., 9 Doç. Dr., 5

Dr. ve 6 mühendisten oluşan bu uzman gruptan Saaty tarafından önerilen temel ölçek değerleri ile kriterlerin birbirlerine göre önem değerlerini karşılaştırmaları istenmiştir. Kriter ağırlıklarının PROMETHEE yönteminde kullanılmadan önce tutarlılığının tespiti gerektiğinden; tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Elde edilen tutarsızlık oranı 0,0124 olarak hesaplanmıştır. Tutarsızlık oranı 0,1 den küçük olduğundan kriterler arası ikili karşılaştırmanın yapıldığı matrisin tutarlı olduğu belirlenmiştir. Anket çalışması ile elde edilen veriler sonucu AHP yöntemi ile hesabı yapılan kriter ağırlıkları; verim kriteri için; 0,29, doldurma faktörü kriteri için 0,19, lineer performans garantisi kriteri için 0,17, maliyet ve sıcaklık katsayısı kriterleri için 0,12 ve ürün garantisi kriteri için 0,10 olarak hesaplanmıştır. Kriter ağırlıklarının toplamı 1'i vermektedir.

PROMETHEE yöntemi ile tercih fonksiyonlarının belirlenmesinde iki farklı yöntem tercih edilmiştir. Birinci yöntem de; bu çalışmada belirlenen kriterlerin tümü sayısal veriler olduğundan ve karar vericinin tercihini ortalamanın üzerinde değere sahip olan alternatiflerden yana kullanmak istemesi nedeniyle Beşinci Tip (doğrusal) tercih fonksiyonu seçilmiştir. İkinci yöntem de ise Visual Promethee programının içerisinde yer alan karar vericiye tercih fonksiyonu belirlenmesinde yardımcı olan tercih fonksiyonu asistanı yardımıyla belirlenmiştir. Tercih fonksiyonu asistanının kullanımı ile elde edilen tercih fonksiyonları da Doğrusal Tip tercih fonksiyonu olmuştur.

PROMETHEE yöntemi ile çözüm aşamasında kullanılacak olan kriter ağırlıkları ve tercih fonksiyonlarının belirlenmesine yönelik işlemlerin sonuçlanmasının ardından fotovoltaik panel seçimine geçilmiştir. Çözüm yöntemine getirilecek farklı bakış açılarının problemin çözümünü çeşitlendireceği görüşü üzerinden yapılan bu çalışmada PROMETHEE yöntemi ile fotovoltaik panel seçiminde iki farklı program kullanılmıştır. Bu iki farklı programdan ilki Microsoft Programı Excel programı; her bilgisayarda bulunması açısından erişilebilirliği kolay fakat yapılan işlemler için teknik bilgi gerektiren bir programdır.

PROMETHEE Excel yöntemi kullanılarak elde edilen FV panel seçim sıralaması en iyi panelden en kötü panele olmak üzere f,e,d,g,c,b ve a paneli şeklinde olmuştur.

PROMETHEE yöntemi ile çözüm için kullanılan ikinci program ise Visual Promethee Programıdır. Bu program ile elde edilen PROMETHEE II tam sıralamaya göre, fotovoltaik panel alternatifleri ilk sırada e alternatifi olmak üzere f,d,b,c,a ve g olmak üzere sıralanmıştır.

Visual Promethee programı 2. senaryosunda ise tercih fonksiyonları programın içerisinde yer alan tercih fonksiyonu asistanı yardımıyla bulunan tercih fonksiyonlarının kullanılması ile oluşan senaryodur. Bu ikinci senaryoya göre sıralama e,f,b,a,d,c ve g şeklinde olmuştur.

Microsoft Excel programı ile yapılan sıralamada f paneli 72 hücreli 345 watt polikristal birinci, e paneli 60 hücreli 310 watt monokristal ikinci olmuş, a paneli 72 Hücreli polikristal 350 Watt panel ise son sırada yer almıştır.

Visual Promethee 1. ve 2. Senaryo da yapılan işlemler sonucunda ilk iki sıradaki panel e ve f panelleri, sonuncu sıradaki panel ise g paneli olmuştur. e paneli 60 hücreli 310 watt monokristal, f paneli 72 hücreli 345 watt polikristal ve son sırada yer alan g paneli ise 150 watt bakır indiyum galyum diselenide (CIGS) ince film paneldir.

Yapılan 3 çözüm yöntemi sonucunda ilk iki sırada aynı paneller yer almıştır. Karar verici seçim yapmak istediği yedi fotovoltaik panel içinden en iyi alternatif olarak çıkan e alternatifi yani 60 hücreli 310 watt monokristal paneli veya f alternatifi yani 72 hücreli 345 watt polikristal paneli seçmesi uygun olacaktır.

Yapılan literatür taramalarında PROMETHEE yöntemi kullanılarak yer seçimi, hizmet kalitesi seçimi, taşeron seçimi, tedarikçi seçimi, cihaz seçimi, robot seçimi, yöntem seçimi gibi bazı problemlere çözüm arandığı gözlemlenmiştir. Fakat fotovoltaik panel seçimi için Promethee yöntemi kullanıldığı bir kaynağa rastlanılmamıştır. Bu çalışmanın bundan sonra yapılacak olan araştırma ve çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılacak olan çalışmaların artması, temiz enerji kaynakları uygulamalarının yaygınlaşarak, enerji üretiminde ülke olarak sahip olduğumuz zengin kaynakların kullanım oranlarının artması, fotovoltaik sistemlerin uygulama yöntemlerinin geliştirilmesi, bu konudaki teknoloji yatırımların arttırılması gibi birçok konuda farkındalık oluşturulması açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Adalı, E. A. ve Işık A.T.(2017). Bir Tedarikçi Seçim Problemi için SWARA ve WASPAS Yöntemlerine Dayanan Karar Verme Yaklaşımı, *International Review of Economics and Management*, 5(4), 56-77.
- Alsalem, M. A., Zaidan, A. A., Zaidan, B. B., Hashim, M., Albahri, O. S., Albahri, A. S., ... Mohammed, K. I. (2018). Systematic Review of an Automated Multiclass Detection and Classification System for Acute Leukaemia in Terms of Evaluation and Benchmarking, Open Challenges, Issues and Methodological Aspects, *Journal of Medical Systems*, 42(11), 1-36.
- Aras, G. ve Yıldırım, F. M. (2020). Sosyo-Ekonomik Refah Düzeyinin Belirlenmesinde Alternatif Bir Endeks Çalışması: ARAS Yöntemi ile G-20 Ülkeleri Uygulaması, *Business and Economics Research Journal*, 11(3), 735-751.
- Arıbaş, V.İ. (2021). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Katı Atık Bertaraf Yöntemi Seçimi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.
- Arısoy, E. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri PROMETHEE*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Arslankaya, D. ve Göraltay, K. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde Güncel Yaklaşımlar*. İksad Yayınevi, Ankara, ISBN 978-625-7029-84-1.
- Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., and Venkatesan, V. P. (2013). A Survey On Multi Criteria Decision Making Methods and Its Applications, *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43.
- Aslay, F. (2021). TOPSİS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Güneş Enerjisi Sistemlerinde Panel Seçimi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 548-551.
- Ayçin, E. (2020). Personel Seçim Sürecinde CRITIC ve MAIRCA Yöntemlerinin Kullanılması, *İşletme*, 1(1), 1-12.
- Ayçin, E. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme: Bilgisayar Uygulamalı Çözümler (İkinci Baskı)*. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara. ISBN 978-605-7846-17-4.
- Ayçin, E. ve Çakın, E. (2019). KOBİ'lerin Finansal Performansının MACBETH-COPRAS Bütünleşik Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi, *Journal of Yaşar University*, 14(55), 251-265.
- Aydoğan, E., Soylu, M. Y., Gencer, C., Çetin, S., Soysal, M., Bektaş, O., ... Sağıroğlu, Ş. (2011). IPv4'den IPv6'ya Geçiş için AHP Modeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 701-709.

- Ayran, Z.A. (2019). *Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması ve Örnek Bir Güneş Enerji Santralinin Ekonomik Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Ayrıçay, Y., Özçalıcı, M. ve Kaya, A.(2013). Gri İlişkisel Analizin Finansal Kıyaslama Aracı Olarak Kullanılması: İMKB-30 Endeksindeki Finansal Olmayan Firmalar Üzerine Bir Uygulama, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(1). 219-238.
- Bayat, M. (2016). *Silikon Tabanlı Polikristal Bir Güneş Panelinin Karabük İklim Koşullarında Enerji ve Ekserji Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Bektaş, H. ve Tuna, K. (2013). Borsa İstanbul Gelişen İşletmeler Piyasası'nda İşlem Gören Firmaların Gri İlişkisel Analiz ile Performans Ölçümü, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(2), 185-198.
- Boztepe, M. (2017). Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler, *Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Aylık Bülteni*, 321, 13-17.
- Çakıl, E. Y. (2017). *Bir Mermer Fabrikasındaki Makinenin Çok Kriterli Karar Verme Metotları Kullanılarak Seçilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çakır, E. (2017). Kriter Ağırlıklarının SWARA–Copeland Yöntemi İle Belirlenmesi: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama, *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 42-56.
- Dağdeviren, M., ve Erarslan, E. (2008). PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 69-75.
- Deng, J. (1989). Introduction to Grey System Theory. *The Journal of Grey System*, 1, 1-24.
- Ecer, F. (2016). ARAS Yöntemi Kullanılarak Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılımı Seçimi, *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 8(1), 89- 98
- Erganiş, Y. E. (2010). *Otomotiv Sektöründe Yeni Bir Dağıtım Merkezi Açılmasına Yönelik Bir Değerlendirme Modeli*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Eruz, Ü.G. (2015). *Güneş Paneli Çeşitlerinden Polikristal, Monokristal ve Thin Film Panellerinin Karabük Şartlarında Verimlilik Karşılaştırılması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Eke, R. (2007). *Güneş Pili Parametrelerinin İşletme Koşullarıyla İlişkilendirilmesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Gelashvili, T. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Performans Değerlendirmesi: AHP, TOPSIS ve PROMETHEE Yöntemlerinin Karşılaştırılması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Genç, T., Kabak, M., Köse, E. ve Yılmaz, Z. (2015). Bireysel Emeklilik Sistemi Seçimi Problemine İlişkin Macbeth Yaklaşımı, *Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, (22), 47-65.
- Goetzberger, A., Hebling, C., and Schock, H.W. (2003). Photovoltaic Materials, History, Status and Outlook, *Materials Science and Engineering*, R 40, 1–46.
- Gorecka, D. (2012). Applying Multi-Criteria Decision Aiding Techniques In The Process of Project Management Within The Wedding Planning Business, *Operations Research and Decisions*, 4, 64.
- Green, M. A. (2013). Solar Cell Efficiency Tables (Version 41), *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21, 1-2.
- Ismael, A. I. (2012). *Monokristal Güneş Pili Sistemlerinde Elektrik Enerji Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- İmamoğlu, G. (2015). *Analitik Ağ Süreci ve PROMETHEE Teknikleri İle Hastane Yer Seçimi: Trabzon Örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- İnternet: Atakan, Y. (2020). Güneş Işığını Elektriğe Çevirmeyi Kimler, Nasıl Akıl Edip Başardılar? URL: <https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2020/03/GUNESTEN-ELEKTRIK-PDF9-TARIHCE-atakan-HBT-280220.pdf>. Son Erişim Tarihi: 20.11.2022
- İnternet: Brans, J.P., Mareschal, B., Figueira, J.R. and Greco, S. (January, 2005). Promethee Methods. URL: https://www.researchgate.net/publication/226334105_Promethee_Methods. Son Erişim Tarihi: 25.08.2021
- İnternet: Demirci, B. (2018). Güneş Pili Çalışma Prensibi ve Verim Hesabı. URL: <https://muyendis.com/gunes-pili-calisma-prensibi-ve-verim-hesabi/>. Son Erişim Tarihi: 27.10.2021.
- İnternet: Dmsolar. (b.t.) URL: <https://www.dmsolar.com/cdte.html>. Son Erişim Tarihi: 25.11.2022
- İnternet: Enerji Atlası. (2022). Ülkelere Göre Güneş Enerjisi. URL: <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html>. Son Erişim Tarihi: 27.10.2022.
- İnternet: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2022). Elektrik Piyasası Sektör Raporu. URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>. Son Erişim Tarihi: 27.10.2022.

- İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022). Güneş. URL: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>. Son Erişim Tarihi: 27.10.2022.
- İnternet :Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE (2021). Photovoltaics Report. URL:<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>. Son Erişim Tarihi: 01.11.2022.
- İnternet: Global Solar Atlas. (2022). Map and Data Downloads, Turkey. URL: <https://globalsolaratlas.info/map> . Son Erişim Tarihi: 27.10.2022.
- İnternet:Güneysan Güneş Enerji Sistemleri. (b.t.) URL: <https://www.guneysangunesenerjisi.com.tr/?pnun=6&pt=G%C3%BCne%C5%9F+Pilleri+%28Fotovoltaik%29+veya+G%C3%BCne%C5%9F+H%C3%BCcreleri> Son Erişim Tarihi: 01.12.2022
- İnternet: Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.(2004). The History of Solar. URL: https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf. Son Erişim Tarihi: 18.10.2021
- İnternet: Sinetech Store. (b.t.) URL: <https://sinetechstore.co.za/product-category/solar-panels/cigs-thin-film-pv-solar-panels/>. Son Erişim Tarihi: 25.11.2022
- İnternet: Solar Enerji. (b.t.) URL: <https://www.solarenerji.com.tr/solar-panel>. Son Erişim Tarihi: 25.11.2022
- İnternet. The National Renewable Energy Laboratory, NREL. (2022). Best Research-Cell Efficiency Chart. URL: <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies-rev220630.pdf> .Son Erişim Tarihi: 27.10.2022
- İnternet: Turan, R.(2010). Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojileri ve Günam Kuruluşunda Geline Aşama. URL: <http://www.slideshare.net/abdelk/rasit-turan>. Son Erişim Tarihi: 24.09.2022
- İnternet: Visual Promethee 1.4. Manual. (2013). URL: <http://www.promethee-gaia.net/assets/vpmanual.pdf>. Son Erişim Tarihi: 25.11.2022
- İnternet:Wikipedia (2021). Czochralski Yöntemi. URL: https://tr.wikipedia.org/wiki/Czochralski_y%C3%B6ntemi. Son Erişim Tarihi: 26.11.2021
- Jana, B., Sarkar, A., Paria, A., Ghosh, T. K., and Bandyopadhyay, S. (2020). Multi Attribute Decision-Making: A Survey, *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 11(3), 1919-1938.
- Kabadayı, Ş. (2020). *Güneş Panellerinde Güneş ile Gölge Arasındaki Oranların Verimlilik Üzerine Etkileri ve Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.

- Karakan, A. (2015). *Farklı Güneş Panelleri Ve Yakıt Pilinden Oluşmuş Enerji Üretim Sistemin Mikro Denetleyici İle Otomasyonu*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Karaoğlu, S. (2016). DEMATEL ve VIKOR Yöntemleriyle Dış Kaynak Seçimi: Otel İşletmesi Örneği, *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (55), 9-24.
- Kasap, S. O. (2006). *Principles of Electronic Materials and Devices* (3rd Edition). New York: Mc Graw Hill, 388
- Kaycı, B. (2021). *Güneş Panellerinin Dört Rotorlu İHA Kullanılarak Termografi Yöntemiyle Derin Öğrenme Tabanlı Hata Tespit ve Teşhisi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Kısa, A. C. G, ve Ayçin, E. (2019). OECD Ülkelerinin Lojistik Performanslarının SWARA Tabanlı EDAS Yöntemi İle Değerlendirilmesi, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1), 301-325.
- Koçdağ, V. (2013). *AHS ve PROMETHEE Yöntemleri ile Proje Tercih Sıralamasının Çok Ölçütlü Olarak Belirlenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Kocaeli
- Konuşkan, Ö., ve Uygun, Ö. (2014). Çok Nitelikli Karar Verme (Maut) Yöntemi ve Bir Uygulaması. Akademik Platform
- Kraujalienė, L. (2019). Comparative Analysis of Multicriteria Decision-Making Methods Evaluating The Efficiency of Technology Transfer, *Business, Management and Education*, 17(1), 72-93.
- Maltaş, M. (2017). *Manisa İli için 1 Mw Güneş Enerjisi Santrali Fizibilitesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya
- Oruç, E. (2007). *Silisyum Güneş Pillerinin Elektriksel Karakteristikleri ve Üretim Teknolojileri*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Organ, A. (2013). Bulanık DEMATEL Yöntemiyle Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 157-172.
- Ömürbek, N., Karaatlı, M. ve Cömert, H. G. (2016). AHP-SAW ve AHP-ELECTRE Yöntemleri İle Yapı Denetim Firmalarının Değerlendirmesi, *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(27), 171-199.
- Özaydın, G., ve Karakul, A. K. (2021). Entropi Tabanlı Maut, Saw ve Edas Yöntemleri İle Finansal Performans Değerlendirmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(1), 13-29.

- Özçelik, S. (2016). *Fotovoltaik (PV) Teknolojileri*. Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara, 1-54.
- Özden, Ü. H. (2011). TOPSIS Yöntemi ile Avrupa Birliği Üye ve Aday Ülkelerin Ekonomik Göstergelere Göre Sıralanması, *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(2), 215-236.
- Özgün, H. (2018). *Temel Kavramlar ve Örnek Projelerle Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri* (Üçüncü Baskı), Günder Yayınları, İstanbul, ISBN 978-605-65469-0-7.
- Özgel, A. (2016). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Seçiminde Yeni Bir Yaklaşım*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Paksoy, S. (2017). *Çok Kriterli Karar Vermede Güncel Yaklaşımlar*, Karahan Kitabevi, Adana, ISBN 978-605-937-442-2
- Pamukçu, H. (2014). *Turizm Sektöründe Teşvik Veren Kurumların AHP ve ANP Yöntemi İle Belirlenmesi: Kastamonu Örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyon.
- Peker, İ. ve Baki, B. (2011). Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Türk Sigortacılık Sektöründe Performans Ölçümü, *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 4(7), 1-18.
- Pereira, T., Ferreira, F. A., and Araújo, C. (2019). A Multicriteria Decision Model For The Selection of Information System for A Logistics Company Using MMASI/TI, *International Journal for Quality Research*, 13(4), 837–848
- Perdahlıyan, E. (2021). *Endüstriyel Bir Tesis Çatısına Fotovoltaik Sistem Kurulumu için Tasarım ve Hesaplamaları; Edirne Örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Edirne
- Pohekar, S. D. and Ramachandran, M. (2004). Application of Multi-Criteria Decision Making To Sustainable Energy Planning—A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8 (4), 368.
- Saaty, T. L.(1980). *The Analytic Hierarchy Process*, USA: McGraw-Hill.
- Sabaei, D., Erkoyuncu, J., and Roy, R. (2015). A Review of Multi-Criteria Decision Making Methods For Enhanced Maintenance Delivery, *Procedia CIRP*, 37, 30-35.
- Sarıçalı, G. ve Kundakçı, N. (2016). AHP Ve COPRAS Yönü İle Otel Alternatiflerinin Değerlendirilmesi, *International Review of Economics and Management*, 4 (1), 45-66.
- Siksnyte-Butkiene, I., Zavadskas, E. K., and Streimikiene, D. (2020). Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) For The Assessment of Renewable Energy Technologies In A Household: A Review, *Energies*, 13(5), 1164.

- Şahin, T. (2014). *AHP ve PROMETHEE Yöntemine Dayalı ERP Sistem Seçimi: STK'larda Bir Uygulama*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta
- Şen, S. (2017). *Çok Katmanlı Yoğunlaştırılmış Güneş Paneli Tasarımı ve Deneysel Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Tezergil, S. A. (2016). Vikor Yöntemi İle Türk Bankacılık Sektörünün Performans Analizi, *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 38(1), 357-373.
- Uslu, B. (2020). *Bulut Hizmet Sağlayıcılarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale
- Ulutaş, A. (2017). EDAS Yöntemi Kullanılarak Bir Tekstil Atölyesi için Dikiş Makinesi Seçimi, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 169-183.
- Velasquez, M., and Hester, P. T. (2013). An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods, *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66.
- Yenigün, R. (2020). *RFID Kütüphane Sistem Bileşenlerinin AHP Yöntemiyle Seçimi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya
- Yıldırım, B.F. (2015). Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde ARAS Yöntemi, *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(9), 285-296.
- Zengin, S. , Deveci, F. ve Boztepe, M. (2015). Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemler için Flyback Mikro-Evirici Tasarımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(2), 30-36.



EKLER

EK-1: Güneş Paneli Seçimine Yönelik Uzman Görüş Anketi



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANA BİLİM DALI

Güneş Paneli Seçimine Yönelik Uzman Görüş Anketi

Değerli Katılımcı,

Bu anket çalışmasının, “*Güneş Enerji Sistemlerinde Optimal Güneş Paneli Seçimi*” konulu Yüksek Lisans Tez Çalışmasında güneş panellerini oluşturan kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde fayda sağlaması düşünülmektedir. Tez çalışmasında panel seçimi için kullanılan Promethee yönteminde yer alan kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılacaktır. AHP metodu ile güneş panelini oluşturan birden çok kriterin değerlendirilmesi ve toplam puan içindeki ağırlığının belirlenmesinde, kriterlerin ikili karşılaştırılması ve değerlerinin birbirlerine göre ağırlıklandırılması yapılacaktır. İlgili tez çalışmasının verimliliği açısından siz uzmanların görüşü ile ankette yer almayan kriter/kriterleri ile öneriler kısmına yapacağınız katkılar oldukça önem taşımaktadır.

Anket kapsamında verecek olduğunuz cevaplar sadece bilimsel çalışma amaçlı kullanılacak olup başka kurum/kuruluş veya şahıslarla paylaşılmayacaktır.

Çalışmaya vereceğiniz katkılar için şimdiden teşekkür ederiz.

Tez Konusu	: Güneş Enerji Sistemlerinde Optimal Güneş Paneli Seçimi
Tezin Yapıldığı Kurum	: Amasya Üniv, Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları ABD
Öğrencinin Adı-Soyadı	: Tuğba ULUTAŞ
Tez Danışmanı	: Dr. Öğretim Üyesi Merve ŞEN KURT

EK-1: Güneş Paneli Seçimine Yönelik Uzman Görüş Anketi (devamı)

Panel Seçiminde Kullanılacak Kriterlerin İkili Karşılaştırma Anketi

Çalışmada; panel seçimi için 6 adet seçim kriteri belirlenmiştir. Bu kriterler; maliyet, verim, sıcaklık katsayısı, ürün garantisi, lineer performans garantisi ve doldurma faktörüdür. Kriterlerin birbirlerine göreli değerlendirmeleri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak yapılacak ve kriterlerin ağırlıkları belirlenecektir. Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra çok kriterli karar verme yöntemi PROMETHEE içerisinde kullanılarak belirlenen paneller kendi aralarında sıralanarak optimal panel seçimi işlemi tamamlanacaktır.

Ankette yer alan kriterlerin açıklamaları;

1. **Maliyet** : Bir güneş panelinin temin edilen fiyatını ifade eder.
2. **Verim** :Standart test koşullarında (STK) panele ışınım uygulandığında 1 m² alanda üretilen elektriksel gücü ifade eder. Verimin yüksekliği o alanda daha fazla elektrik üretileceğini gösterir.
3. **Sıcaklık Katsayısı**:Panelin enerji üretiminin sıcaklıktan ne kadar etkilendiğini ifade eder. Bu katsayı ne kadar düşük olursa panel sıcaklık değişimlerinden o oranda az etkilenir.
4. **Ürün Garantisi** :Güneş panellerinin işçilik, malzeme hatası vb. durumlara karşın 10-15 yıl aralığında değişen ürün garanti süreleri ürün kataloglarında ifade edilmektedir.
5. **Lineer Performans Garantisi** : Güneş panellerinden elde edilen elektriksel güçte yıllar içerisinde kayıp yaşanmaktadır. Lineer performans garantisi, her yılın sonunda panellerden beklenen performansı ortaya koyar. Örneğin 20 yıl kullanım süresi sonunda çıkış gücünün panel gücüne göre % oranında azalma miktarını ifadesidir.
6. **Doldurma Faktörü (Fill Faktor)**:Maksimum gücün, açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akımına (I_{sc}) oranını ifade eder. Panelin performansı için önemli bir parametredir. Daha yüksek bir doldurma faktörü fotovoltaik panelin seri ve paralel dirençlerden dolayı daha az kayba sahip olacağını gösterir. Ticari panellerde bu oranın 0,7 den büyük olması beklenmektedir.

EK-1: Güneş Paneli Seçimine Yönelik Uzman Görüş Anketi (devamı)

Verim	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sıcaklık katsayısı
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ürün garantisi
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Lineer performans garantisi
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Doldurma faktörü
Sıcaklık katsayısı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ürün garantisi
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Lineer performans garantisi
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Doldurma faktörü
Ürün garantisi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Lineer performans garantisi
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Doldurma faktörü
Lineer performans garantisi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Doldurma faktörü

Ankette sizlere sunulan kriterler dışında önerilerinizi ekleyebileceğiniz kriter/kriterleri aşağıdaki alana ekleyiniz.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Tuğba ULUTAŞ

İş Deneyimi/Yıl	Çalıştığı Yer	Görevi
2014 -	Amasya Ticaret ve Sanayi Odası	Genel Sekreter Yrd.
2012 - 2014	Çorum Ticaret ve Sanayi Odası	Genel Sekreter Yrd.
2009 - 2011	Amasya Ticaret ve Sanayi Odası	Genel Sekreter Yrd.
2008 - 2009	Çeşitli Otogaz İstasyonları	Sorumlu Müdür
2006 - 2008	Deniz Su ve Atıksu Arıtım A.Ş.	Proje Mühendisi
2005 - 2006	Sump Pompa Tek. San. Ltd. Şti.	Satış Mühendisi

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

1-) ULUTAŞ, T ve ŞEN KURT, M. (2022). Güneş Enerji Sistemlerinde Optimal Güneş Paneli Seçimi İçin Promethee Çok Kriterli Karar Verme Yönteminin Uygulanması, 14. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, (UBAK), Ankara, Türkiye