

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

**BİR OTOMOTİV FABRİKASINDA AHP-MULTIMOORA
HİBRİT YAKLAŞIMI KULLANILARAK CO₂
SALINIMININ AZALTILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tolga Meriç YANAR

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Alparslan Serhat DEMİR

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

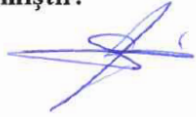
**BİR OTOMOTİV FABRİKASINDA AHP-MULTIMOORA
HİBRİT YAKLAŞIMI KULLANILARAK CO₂
SALINIMININ AZALTILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tolga Meriç YANAR

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 30/05/19 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



**Dr. Öğr. Üyesi
Alparslan Serhat DEMİR
Jüri Başkanı**



**Dr. Öğr. Üyesi
Celal ÖZKALE
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi
Berrin DENİZHAN
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

T.Meriç YANAR

10/05/2019

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değeri bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değeri danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Alparslan Serhat DEMİR ve hayatımın her döneminde manevi desteğini eksik etmeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAVRAMSAL ANALİZ.....	3
2.1. Karbondioksit Azaltımı.....	3
2.2. Otomotiv Sektöründe Karbondioksit Azaltımı.....	6
2.3. Karbondioksit Azaltım Yöntemleri	8
2.3.1. Hidroelektrik santral (HES).....	8
2.3.2. Rüzgar elektrik santrali (RES).....	12
2.3.3. Güneş elektrik sistemleri (GES)	14
2.3.4. Güneş termal enerji (GTE).....	16
2.3.5. Biokütle ve ağaçlandırma	17

2.4. Karbon Ofset	18
2.5. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Teknikleri	19
2.5.1. Analitik hiyerarşi süreci (AHP)	20
2.5.2. Multimoora	26

BÖLÜM 3.

YÖNTEM	30
3.1. Araştırma Modeli	30
3.2. Araştırma Grubu	30
3.3. Veri Toplama Yöntemi	30
3.4. Verilerin Analizi	31

BÖLÜM 4.

BULGULAR	34
4.1. Uygulamanın Yapıldığı İşletmeye İlişkin Bilgiler	34
4.2. Katılımcılara İlişkin Tanımlayıcı Bilgiler	38
4.3. Alternatiflere İlişkin Bulgular	38
4.3.1. HES’e ilişkin hesaplamalar	38
4.3.2. GTE’ye ilişkin hesaplamalar	41
4.3.3. GES’e ilişkin hesaplamalar	45
4.3.4. Sertifikasyona ilişkin hesaplamalar	46
4.3.5. Ağaçlandırmaya ilişkin hesaplamalar	48
4.4. AHP Uygulamasına İlişkin Bulgular	50
4.5. Moora Uygulamalarına İlişkin Bulgular	51

4.5.1. Moora oran metoduna ilişkin bulgular	53
4.5.2. Moora referans noktası metoduna ilişkin bulgular	53
4.5.3. Moora tam çarpım metoduna ilişkin bulgular	55
4.6. Multi Moora Uygulamasına İlişkin Bulgular	56
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA.....	57
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	60
6.1. Sonuç.....	60
6.2. Öneriler	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACR	: American Carbon Registry
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
CAR	: Climate Action Reserve
CO ₂	: Karbondioksit
CSIRO	: Avustralya Ulusal Bilim Ajansı
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
EAMA	: Avrupa Otomotiv Üreticileri Derneği
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
GES	: Güneş Enerji Santrali
GHG	: Global sera gazı
GTE	: Güneş Termal Enerji
HES	: Hidroelektrik Santral
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
MOORA	: Oran Analizi İle Çok Amaçlı Optimizasyon
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Otomotiv üretimi ve CO ₂ emisyon rakamları (2008-2017)	7
Tablo 4.1. Tesisin işletim alan.....	34
Tablo 4.2. İşletmenin elektrik tüketimine bağlı olarak salınan karbondioksit	37
Tablo 4.3. Araştırma Grubuna Ait Tanımlayıcı Bilgiler.....	38
Tablo 4.4. HES su kaynağının debisi ve kurulu gücü.....	40
Tablo 4.5. Tesisin bulunduğu ile ait 1 m2 ye düşen aylık toplam potansiyel	43
Tablo 4.6. Ağaç toplam biyokütle kırılımı.....	48
Tablo 4.7. Kriterler, gösterge kodları ve birimler.....	50
Tablo 4.8. AHP karar matrisi	50
Tablo 4.9. Normalize edilmiş AHP matrisi ve kriter ağırlıkları.....	51
Tablo 4.10. Moora karar matrisi.....	51
Tablo 4.11. Moora karar metrisisinin normalize işlemi.....	52
Tablo 4.12. Moora normalize edilmiş karar matrisi	52
Tablo 4.13. Tablo kriter ağırlıkları	53
Tablo 4.14. Ağırlıklandırılmış karar matrisi	53
Tablo 4.15. Referans noktaları	54
Tablo 4.16. Moora referans noktası matrisi	54
Tablo 4.17. Moora tam çarpım matrisi (1/2).....	55
Tablo 4.18. Moora tam çarpım matrisi (2/2).....	55
Tablo 4.19. Multi-Moora sonuç tablosu.....	56

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Dünya geneli atmosferdeki CO ₂ oranının yıllara göre dağılımı	4
Şekil 2.2. Türkiye geneli atmosferdeki CO ₂ oranının yıllara göre dağılımı	5
Şekil 2.3. Rüzgar türbin çeşitleri	13
Şekil 2.4. Üç seviyeli analitik hiyerarşi modeli.....	22
Şekil 2.5. Multimoora yönetim diagramı	26
Şekil 4.1. İşletmenin elektrik tüketim profili	34
Şekil 4.2. İşletmenin doğal gaz tüketim profili	35
Şekil 4.3. İşletmenin enerji iletim durumu	35
Şekil 4.4. İşletmenin elektrik tüketimine bağlı salınan karbondioksit miktarı.....	36
Şekil 4.5. İşletmenin doğal gaz tüketimine bağlı salınan karbondioksit miktarı ..	37
Şekil 4.6. İşletmenin su iletim yapısı.....	39
Şekil 4.7. Tesisin bulunduğu ile ait aylık radyasyon değerleri	42
Şekil 4.8. Tesisin bulunduğu ile ait 1 m ² ye düşen aylık toplam potansiyel.....	42
Şekil 4.9. Karbon offset miktarı ve fiyata göre gerçekleşen transaksiyon sayıları	47
Şekil 4.10. Yetişkin ağaç taşıma.....	48

ÖZET

Anahtar kelimeler: Karbondioksit azaltımı, otomotiv, çok kriterli karar verme (ÇKKV), analitik hiyerarşi süreci (AHP), Multimoora

Son yıllarda sanayileşmenin hızlanmasıyla beraber artan enerji talebinin karşılanabilmesi için fosil yakıt kullanımında ciddi bir yükseliş meydana gelmiştir. Fosil yakıtla olan bağımlılık özellikle karbondioksit (CO₂) salınımında kayda değer bir artışa neden olmuştur. CO₂ salınımının azaltılabilmesi için endüstriyel işletmeler yenilenebilir enerji santrallerinden enerji elde edilmesi, ağaçlandırma ve karbon ofset sertifikasyonu gibi çeşitli yöntemlerden faydalanmaya çalışmaktadır. Bu çalışmada bir otomotiv endüstri firmasının enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ salınımının azaltılması için alınacak kararların optimize edilmesi amaçlanmıştır. Karbondioksit bir otomotiv işletme tesisinin üretim süreçlerinde bulunan motor, fan, pompa gibi ekipmanların elektrik tüketimi ile fırın, sıcak su kazanı gibi ısıtma sistemlerinin doğalgaz tüketimi kaynaklı oluşmaktadır.

Yapılan çalışma, CO₂ azaltım yöntemleri arasından optimum yöntemin seçilebilmesi için çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanılmasına dayanmaktadır. Analitik hiyerarşi süreci (AHP) temelli Multimoora tekniğinin uygulandığı çalışmada öncelikle ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti, enerji maliyeti, alan ihtiyacı, uygulama süresi, adaptasyon kolaylığı ve sosyal etki kriterler olarak belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının AHP yöntemi ile hesaplanması için gerekli olan ikili karşılaştırmalar farklı mühendislik disiplinlerinden gelen ve benzer projelerde çalışmış uzmanlarla anket yapılarak belirlenmiştir. Proje ekibi tarafından belirlenen HES, GES, GTE, ağaçlandırma ve karbon ofset alternatiflerinin her bir kriter için hesaplamaları yapılmış, bulunan sonuçlar Multimoora yöntemi ile analiz edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda bahsi geçen işletmede CO₂ azaltımının sağlanabilmesi için HES tercihinin izlenecek en uygun çözüm olduğu sonucuna varılmıştır.

REDUCTION OF CO₂ EMISSIONS IN AUTOMATIVE PLANT BY USING AHP-MULTIMOORA HYBRID APPROACH

SUMMARY

Keywords: Carbon dioxide reduction, automotive, multi-criteria decision making (MCDM), analytic hierarchy process (AHP), Multimoora

With the acceleration of industrialization in recent years, a serious increase observed in fossil fuel consumption in order to meet the growing energy demand. This dependence on fossil fuel caused a significant increase in CO₂ emissions and stimulated ecofriendly industrial enterprises to utilize various methods such as obtaining energy from renewable energy, afforestation and carbon offset certification in order to reduce CO₂ emissions. This study is aimed to optimize the decisions to be taken to reduce CO₂ emissions which are caused by a manufacturing plant in automotive industry. In production process of plant, CO₂ generated by natural gas consumption of heating systems such as furnace, hot water boilers and electricity consumption of the equipments such as motors, fans and pumps.

In this study AHP based Multimoora have been used as a multi-criteria decision-making technique to select optimum solution among alternative CO₂ reduction projects. For analysis, initial investment cost, operation cost, energy cost, space requirement, application period, ease of adaptation and social impact have been determined as decision criteria. Comparisons required to calculation of criteria weights by AHP method have been determined by surveying the experts who work in similar projects as a part different engineering disciplines. Hydroelectric, solar electricity system, solar thermal system, afforestation and carbon offset have been determined as an alternative solution by the project team and calculations done corresponding to each criterion. Results analyzed by Multimoora method and as a result of the evaluations, it has been concluded that hydroelectric system is the most appropriate solution to achieve CO₂ reduction in automotive industry.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çevresel-ekonomik perspektifler son zamanlarda işletmelerin performans analizinde dikkate aldıkları bir konu olarak giderek ivme kazanmakta, ancak çok az sayıda araştırma bu olgunun çok boyutlu doğasını dikkate almaktadır. Diğer taraftan karbondioksit (CO_2) bir çevre sorunu olarak varlığını sürdürmektedir ve CO_2 azaltımına yönelik araştırmaların gerekliliğini gözler önüne sermektedir. Çok kriterli bir bakış açısına sahip olan çalışmalar ise genellikle yenilenebilir enerji santrallerine yoğunlaşmaktadır (Caravaggio ve ark., 2019).

Artan enerji ihtiyacı ve enerji arzında fosil yakıta olan bağımlılık çevre sorunlarını beraberinde getirmektedir. Özellikle CO_2 salınımındaki artış ciddi boyutlara ulaşmıştır ki, bu tablo tüm dünya üzerinde artan bir farkındalık ile takip edilmekte ve enerji ihtiyacı, enerji arzı ve CO_2 salınımı arasındaki korelasyon endüstriyel işletmeleri karar alırken daha dikkatli davranmaya itmektedir.

Bir taraftan yenilenebilir enerji yatırımlarındaki maliyetler ve kurulan santrallerin işletim giderleri, diğer taraftan fosil yakıttan elde edilen enerji tüketiminin beraberinde getirdiği CO_2 salınımı ve firmalara yüklenen çevreci sorumluluklar karar almada zorluklara neden olabilmektedir. Yine yeni kurulan santrallerin sürdürülebilirliği ve donanımlı insan gücünün varlığı ilave sorunlar olarak ortaya çıkabilmektedir. Yenilenebilir enerjiye yönelik bu değişkenlerin yanı sıra son yıllarda oldukça sık karşımıza çıkan karbon ofset ve karbon azaltımında akla gelen ilk çözüm olan ağaçlandırma da efektif yöntemler olarak değerlendirilmektedir. Firmalar bu bir çok değişken içerisinde optimal çözümler üretmek için farklı yöntemler uygulamaktadırlar. Ancak karar alırken birden çok kriteri ve farklı alternatifleri bir potada eriterek karar almaya çalışmaktadırlar. Bu çerçevede özellikle geçen yüzyılın son çeyreğinde geliştirilen Çok Kriterli Karar Verme

(ÇKKV) teknikleri bir çözüm odağı olarak ortaya çıkmaktadır ve sunduğu farklı metotlarla firmaların kararlar içerisinde en optimal olanı seçmelerine yardımcı olmaktadır.

Bu araştırmanın konusu kantitatif (niceliksel) ve kalitatif (niteliksel) olarak büyük bir otomotiv endüstri firmasının üretim ve işletme süreçlerinde enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ salınımının azaltılması için alınacak kararları optimize etmektir. Fosil yakıtlardan elde edilen enerji arzının bir kısmının kurulacak yenilenebilir enerji santrallerinden elde edilmesi, ağaçlandırma ve karbon ofset sertifikasyonu CO₂ azaltım yöntemleri olarak kabul edilmiştir. Hidro, güneş ve rüzgar temelli enerji santralleri yenilenebilir enerji için birer alternatif olarak güncelliğini sürdürmektedir. Her bir opsiyonun kendi içerisinde başta yatırım ve işletim maliyetleri olmak üzere bir kısım kriterlere tabi tutulması gerekmektedir. Çok kriterli karar verme tekniklerinden AHP temelli Multimooraa tekniği kullanılarak hangi enerji çeşidinin söz konusu firma için daha uygun olduğuna karar verilecektir.

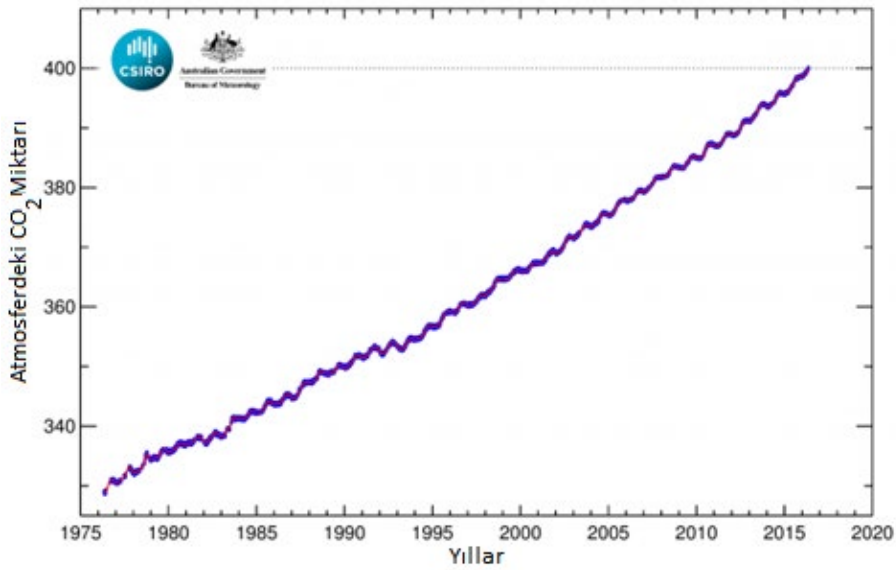
Araştırma iki farklı önemi bünyesinde barındırmaktadır. Birincisi yükselen enerji maliyetleri karşısında işletmelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgisi çekilecek ve yenilenebilir enerji konusunda oldukça yüksek potansiyele sahip Türkiye'nin kaynaklarının daha rantabl şekilde kullanmasının yolları ortaya konacaktır. İkinci önemi ise sürekli artan çevre sorumluluğu bilinci hususunda firmalarda farkındalık oluşturulacak ve küresel ısınma sorunun önemli nedenlerinden biri olan CO₂ salınımının aza indirilmesine katkı sunulacaktır.

BÖLÜM 2. KAVRAMSAL ANALİZ

2.1. Karbondioksit Azaltımı

Karbondioksit (CO_2) dünya atmosferinde uzun ömre sahip renksiz halde bulunan en önemli sera gazıdır. CO_2 bilim insanları tarafından keşfedilen ilk gazdır. Yaklaşık 1640 senesinde Hollandalı kimyacı Jan Baptist van Helmont, kömürün yanması sonucu oluşan kül yığının orjinal halinden daha hafif gelmesini içinden bir şeylerin gaz halinde ayrıldığı yorumu ile açıklamıştır (Almqvist, 2003).

Karbondioksitin doğal üretimi ve emilimi karalar, biyosfer ve okyanustan sağlanır. Sanayi Devrimi'nin beraberinde getirdiği enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacı kullanmak için sürekli artan şekilde yüksek oranda CO_2 salınımına sahip fosil yakıtların kullanılması ve yine aynı süreç içerisinde yaşanan ormansızlaştırma karbondioksitin atmosferdeki konsantrasyonunu hızla arttırmış ve küresel ısınmaya yol açmıştır. Karbondioksit salınımının beraberinde getirdiği dengesizlikler sadece atmosfer ortamında değil okyanuslarda da hissedilmektedir. Su içerisinde çözülebilen CO_2 karbonik asit oluşmasına da neden olmaktadır (Matear ve Lenton, 2018).



Şekil 2.1. Dünya geneli atmosferdeki CO₂ oranının yıllara göre dağılımı (CSIRO, 2016).

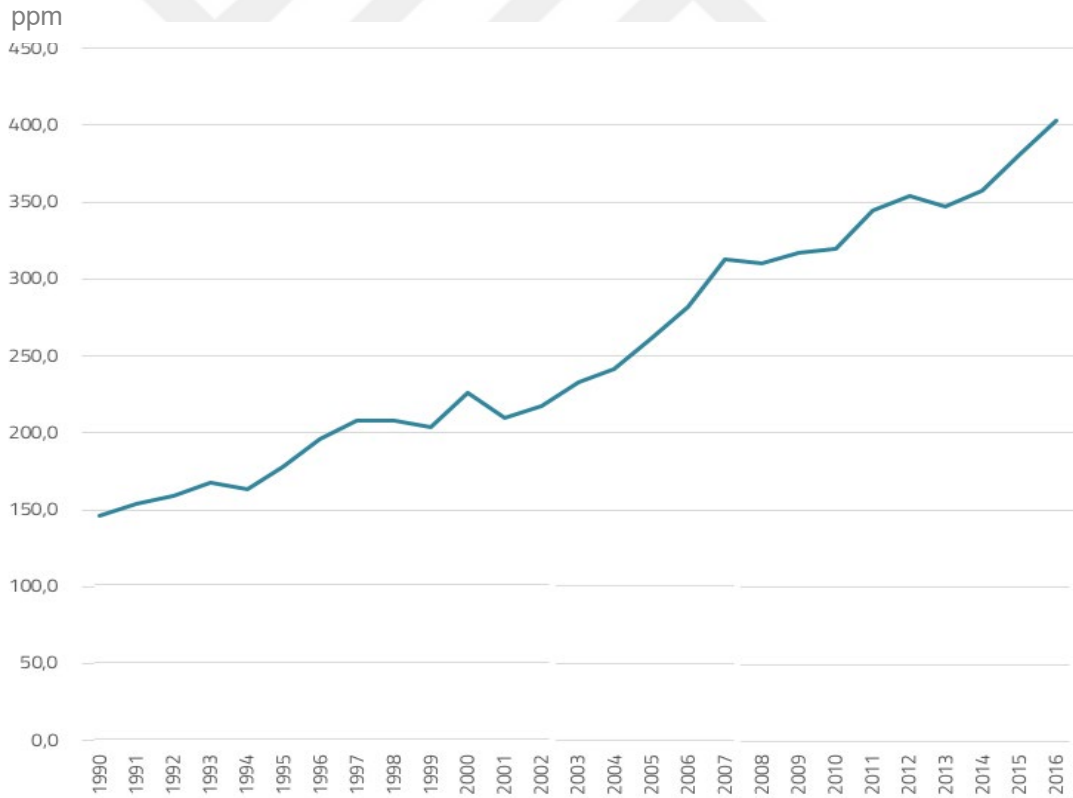
Sanayi devriminden önce, konsantrasyonların 280 ppm'de oldukça istikrarlı olduğu tespit edilmiştir. Avustralya Ulusal Bilim Ajansının (CSIRO) yayınladığı 2016 yılı raporunda detaylı bir şekilde verildiği üzere bugün, yüzde 30'un üzerinde bir artışla 400 ppm üzerine çıkmıştır (Şekil 2.1.). Yaşanan hızlı artışta El Nino adı verilen okyanus olaylarının da etkili olduğu belirtilmektedir. Bu veriler atmosferdeki CO₂'nin doğrudan ısınma etkisinin son 25 yılda sanayi öncesi seviyelerin yüzde 50 üzerinde artırdığını göstermektedir. Atmosferik konsantrasyon mevsime ve konuma göre değişkenlik göstermektedir. Kuzey yarımkürenin karbondioksit seviyeleri daha yüksektir, çünkü çoğu CO₂ kaynağı (fosil-yakıt yakma tesisleri) çoğunlukla kuzeyde bulunurken, okyanuslar gibi CO₂ "lavaboları" çoğunlukla güney yarımkürede yer almaktadır. Kuzey yarımkürenin CO₂ seviyesinin daha büyük olmasının bir diğer nedeni daha güçlü bir mevsimsel değişim göstermesidir. Kuzey yarımküresindeki daha fazla kara kütlelerine bağlı olarak belirgin bir mevsimsel CO₂ salınımı gerçekleşmektedir.

TÜİK, 13.04.2018 tarihinde yayınladığı "Seragazı Emisyon İstatistikleri, 2016" raporunda Türkiye'nin dünya ortalamalarının üzerinde sera gazı emisyonuna sahip olduğunu ve elde edilen sera gazı emisyon envanteri sonuçlarına göre, 2016 yılında toplam sera gazı emisyonu CO₂ eşdeğerinin 496,1 ppm olduğunu belirtilmiştir. Sera gazları içerisinde CO₂ oranı %80 (401 ppm) üzerindedir ki ulaşılan skor dünya

ortalamasına yakındır. Türkiye’de 2016 senesi sera gazı emisyonlarında sektörel dağılım:

- Enerji üretimi %72,8
- Endüstriyel Faaliyetler %12,6
- Tarımsal faaliyetler %11,4
- Atık faaliyetleri %3,3

şeklinde gerçekleşmiştir. 1990 yılı ile 2016 yılı kıyaslandığında çevrim ve enerji sektöründe %288, endüstriyel faaliyetlerde %84, ulaşırmada %200 ve diğer sektörlerde %118 artış gözlemlenmiştir. Bu rakamlar kişi başına hesaplandığında 2016 yılı kişi başı sera gazı emisyonu (6,3 ton/kişi) 1990 yılı kişi başı sera gazı emisyonuna (3,8 ton/kişi) göre %135,4 yükseliş göstermiştir.



Şekil 2.2. Türkiye geneli atmosferdeki CO₂ oranının yıllara göre dağılımı (TÜİK 2018 verileri)

Bütün bu çevresel gelişmeler iklim değişikliği ve özellikle küresel ısınmanın önüne geçmek için öncelikli olarak atmosferdeki ya da sulardaki CO₂ oranının hızlı bir

şekilde aşağı çekilmesi gerçeğini gözler önüne sermektedir. Türkiye'deki artış hızının dünyadaki artış hızından daha fazla olması Türkiye'de CO₂ azaltımına yönelik atılacak adımların hızlılığı ve gerekliliğini de çok net bir şekilde anlatmaktadır (Şekil 2.2.).

Sonuç olarak da en büyük görev CO₂ artışından sorumlu tutulan endüstri çevrelerinde düşmektedir. Firmalar da bu trendi göz önünde bulundurarak çalışma alanlarında ya da işletmelerinde fosil yakıt dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmekte ve üretim profillerinde daha az enerji tüketen ürünlere yoğunlaşmaktadırlar.

İşletmeler yaptıkları işler ve harcadıkları enerjiler ile çevreye salınan CO₂ başta olmak üzere sera gazlarından sorumludurlar. Nitekim her faaliyet ve ürün kendi süreci içerisinde bir karbon ayak izine sahiptir (Wiedmann ve Minx, 2007). İşletmeler faaliyetlerinin ve ürünlerinin karbon ayak izlerini hesaplayarak çevre dostu üretim ve işletim süreçlerine yönelmektedirler. Bir taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarına, diğer taraftan da üretim ve işletim süreçlerinde çevre dostu yeşil ürünlere yönelmektedirler. Avrupa Birliği Komisyonu bu çerçevede “daha az kaynak kullanan, çevreye daha az etki eden ya da risk taşıyan ve henüz üretim aşamasında atık oluşumunu önleyen” ürünleri yeşil ürünler olarak tanımlamaktadır (European Commission, 2001).

2.2. Otomotiv Sektöründe Karbondioksit Azaltımı

Son yıllarda artmakta olan toplumsal çevre bilinci ve hassasiyet, otomotiv sektöründeki firmaları da tedarik zinciri içerisindeki faaliyetlerini ve ürün yaşam döngüsündeki işleyişlerini bu yönde değerlendirmelerini ve çevreye duyarlı şirket imajını destekleyici çalışmalara odaklanmalarını sağlamaktadır.

Otomotiv sektöründe atık azaltımı ve geri dönüşümün desteklenmesi, üretim ve lojistik gibi süreçlerden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının azaltılması, su kaynaklarının verimli kullanılması ve kirleticilerin arıtma tesisi performansının iyileştirilerek bertaraf edilmesi gibi çabalara ilave olarak çevrenin korunmasına ve

doğal kaynakların verimli şekilde kullanılmasına katkı sağlayacak yeni teknolojilerin uygulanması, yaygınlaştırılması ve desteklenmesi de şirketlerin öncelikleri arasında yer almaktadır. Teknik ve mühendislik temelli çalışmaların yanı sıra düzenlenen şirket içi ve dışı farkındalığı artırıcı eğitimler, saha ve atölye çalışmaları sayesinde, toplumsal iletişimi güçlendirmekte ve çevresel sosyal sorumluluğun yerine getirilmesine katkı sunmaktadır. Bütün bu faaliyetlerle şirketler çevresel performans göstergelerinin iyileştirilmesine yönelik sürdürülebilir katkı sağlanmakta ve ses getirici boyutta marka değerlerini arttırmaktadırlar.

Avrupa Otomotiv Üreticileri Derneği (EAMA-European Automotiv Manufacturing Association)'nin 12 Temmuz 2018 tarihli raporunda 2008-2017 yılları arasında otomotiv sektörü tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda üretim kaynaklı CO₂ salınımının üretim rakamlarındaki artışa rağmen, ciddi oranda azaldığı belirtilmiştir. Enerji tüketimi ve buna paralel karbondioksit salınımının toplam miktar ve araç başı performans göstergelerinin incelendiği çalışmanın sonuçları Tablo 2.1.'de görülmektedir.

Tablo 2.1. Otomotiv üretimi ve CO₂ emisyon rakamları (2008-2017) (EAMA, 2018)

		2008	2017	Değişim
Üretim sayısı (Milyon Araç/yıl)		14,2	17,0	+ %19,7
CO ₂	Milyon Ton/yıl	12,4	9,47	-% 23,7
	Ton/araç	0,80	0,56	-%30,1
Enerji	Milyon MWh/yıl	42,15	38,8	-% 8,0
	MWh/araç	2,71	2,28	-% 15,7

Çalışma, Avrupada faaliyet göstermekte olan 15 şirketin (BMW, DAF, Daimler, Fiat Chrysler, Ford Avrupa, Honda Motor Avrupa, Hyundai Motor Avrupa, Iveco, Jaguar Land Rover, PSA Grup, Renault Grup, Toyota Motor Avrupa, Volkswagen Grup, Volvo ve Volvo Grup) verilerine göre oluşturulmuştur. Üretilen araç miktarı % 19 artarken CO₂ salınımının % 23 azaldığı görülmektedir. Araç başı CO₂ miktarında ise %30'luk azalma söz konusudur. Yine enerji tüketimi de aynı dönem içerisinde toplamda %8 ve araç başı %15 azalmıştır.

2.3. Karbondioksit Azaltım Yöntemleri

2.3.1. Hidroelektrik santral (HES)

Suyun itici gücünün enerji üretiminde kullanımı antik çağlara kadar uzanmaktadır. Özellikle unu öğütmek için dere önlerine kurulan su değirmenleri insanoğlunun yaşamında büyük kolaylıklar sağlamıştır. 1770'lerin ortalarında, Fransız mühendis Bernard Forest de Bélidor, dikey ve yatay eksenli hidrolik makineleri tanımlayan Hidrolik Mimarisi (Architecture Hydraulique) isimli eserini yayınlamış ve kavram literatüre girmiştir. Elektrik jeneratörü ilk kez 19. yüzyılın sonlarına doğru geliştirilmiş ve hızlı bir gelişme kaydetmiştir. Seri ve büyük çaplı üretimleri zorunlu kılan Endüstri Devrimi enerji arzına olan ihtiyacı beraberinde getirdiği için hidroelektrik santrallerine olan ilgi çok çabuk yayılmıştır. Dünyanın ilk hidroelektrik enerji programı 1878'de, İngiltere vatandaşı William Armstrong tarafından geliştirilmiştir. 1889 yılına gelindiğinde sadece ABD'de toplam 200 hidroelektrik santrali kayıtlı olması baş döndürücü gelişmeleri kanıtlar niteliktedir. Bugün gelinen noktada yıllık (2017) 1.114 GW saat üzerinde elektrik (dünya elektrik üretim toplamının %25'inden fazlası) hidroelektrik santrallerinden elde edilmiştir (REN 21, 2018).

Türkiye de gelişmelere hızlı bir şekilde ayak uydurmuş ve hidroelektrik enerji üretim kapasitesi bakımında dünya genelinde ilk beşe girmektedir. Enerji Bakanlığı (Bilgi Merkezi: Elektrik, 2017) yayınlamış olduğu raporunda Türkiye'nin 2017 senesinde 294,9 GW saat elektrik tüketimine karşılık 295,5 GW saat elektrik ürettiğini ve bunun da %20'sini (59,1 GW saat) hidroelektrik santrallerinden karşıladığını belirtmiştir (Enerji Bakanlığı Bilgi Merkezi: Elektrik, 2017).

Hidroelektrik santrallerinin enerji üretim mantığı genel olarak aynı olsa da farklı metotlar kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi ve en yaygın geleneksel olarak baraj haznesinde biriktirilen suyun potansiyel enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir (Karacan, 2007).

Bu çerçeve birbirini tamamlayan birçok bileşenden bahsedilebilir. Suyun öncelikli olarak “set” adı verilen ve su rezervuarı oluşturmak amacı ile yapılan bloklarda tutulması gerekmektedir. Daha sonrasında tutulan suların “cebri basınçlı borular” aracılığı ile türbine doğru akması sağlanır. Ancak türbine varmadan önce suların “salyangoz” adı verilen enstrüman aracılığı ile türbine daha düzenli ve etkin ulaşımı sağlanır. Aşağı doğru düşen sular yer çekiminin etkisi ile türbine sert bir şekilde temas etmektedir ve türbinde bulunan pervaneler dönmeye başlamaktadır. Oluşan mekanik enerji elektrik jeneratörü aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve şalt sahasından şebekeye aktarılmaktadır.

Sudan elde edilen güç, suyun hacmine ve bırakıldığı noktadan su türbinine olan yüksekliğe bağlıdır. Bu yükseklik farkına kafa denmektedir. Düşüş mesafesi 10 metrenin altında olanlar Alçak Düşülü HES olarak tanımlanırken 10 ve 50 metre düşüş mesafeliler Orta Düşülü HES ve daha fazla olanları da Yüksek Düşülü HES olarak sınıflandırılmaktadır.

Suyun potansiyel enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin yegane yolu konvansiyonel HES’ler değildir. Suyun kullanıldıktan sonra yeniden su haznesine pompalandığı Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santralleri (PDHES) ve yine nehir üzerlerine kurulan ve suyun doğal akışından elektrik elde etmek için yapılan Nehir Tipi Hidroelektrik Santralleri de suyun potansiyel enerjisinden yararlanmak için geliştirilen projelerdir (Yılmaz ve ark., 2012).

HES’ler sadece büyük ölçekli baraj önlerine kurulan enerji üretim santralleri olarak görülmemesi gerekmektedir. Suyun potansiyel enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü her sistem bir HES olarak tanımlanabilir. Kurulu gücüne göre tasnif edildiğinde:

- 100 MW’dan başlayan santraller büyük HES,
- 100 MW’a kadar olan santraller küçük HES,
- 1 MW’a kadar olan santraller küçük (mini) HES
- 100 KW’a kadar olan santraller mikro HES ve
- 5 KW’ın altında olan santraller ise piko HES olarak tanımlanmaktadır.

Verimlilik kullanılan teknolojiye bağılı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Ancak genel itibari ile HES çerçevesinde elektrik üretimi aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.

$$P = -\eta (\dot{m}g\Delta h) = -\eta((\rho\dot{V})g\Delta h)$$

- P : güç (watt cinsinden)
 η : (eta) verim katsayısı
 $\dot{m}$: kütle akış hızı (kg/sn)
 ρ : suyun yoğunluğu (100 kg/m³)
 Δh : yükseklikteki değişim farkı
 $\dot{V}$: hacimsel akış hızıdır (m³ / sn cinsinden)
 g : yerçekimine bağılı ivme (9.8 m / sn²)

Hidroelektrikten enerji elde edilmesinin birçok avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. En büyük avantajı hiç şüphesiz yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasıdır. Enerji ihtiyacına göre üretim kapasitesinin artırılması ya da azaltılması yönündeki esnekliği yine hidroelektrik santrallerinin avantajlarından biridir.

Özellikle büyük HES kurulum maliyetleri yüksek olsa da kendisinden beklenen enerji arzı ile kıyaslandığında oldukça düşük maliyetli yatırımlardır. HES'ler büyük alana yayılan işletmeler olmasına rağmen çok az sayıda personel gerektiren yatırımlardır. Bu nedenle de işletim maliyetleri oldukça düşüktür. İyi fizibilite edilmiş barajların ömrü 50 yıl üzerindedir. Yapılan hesaplamalarda barajların genel itibari ile kurulumlarının ilk 10 yılında kurulum masraflarını çıkardıkları görülmektedir. Kaya ve Koç (2015) enerji çeşitliliğine göre maliyet analizi yapmış ve HES'lerin işletmeye başlamadan makine ve teçhizat başta olmak üzere arazi, bina vb. bütün kalemler için harcanan ilk yatırım maliyetinin KW başına 2.936 Dolar olduğunu saptamışlardır. Başta cari giderler olmak üzere işletme maliyetlerinin yıllık KW başına 14 Dolar olduğunu belirtmişlerdir. Hazırladıkları raporda HES'lerin kara üstü rüzgar enerji santrallerinden sonra yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hem yatırım hem de işletim maliyeti ikinci en düşük enerji arz türü olduğu tespit edilmiştir.

HES'ler endüstriyel işletmelere kolay adaptasyonu nedeni ile ayrı bir avantaj sağlamaktadır. Yüksek miktarda enerji tüketimi olan bir çok işletme enerji ihtiyacını karşılamak için HES yatırımları yapmıştır. ABD'nin Bellingham kentindeki Alcoa alüminyum işletmesinin enerji ihtiyacını karşılamak için kurulan Grand Coulee Santrali, ya da Yeni Zelanda'daki Tiwai Point'teki alüminyum eritme ünitesinin elektrik ihtiyacını karşılamak için kurulan Manapouri Santrali bunlara birer örnektir.

HES'ler hiç bir yakıt tüketmeden elektrik üreten tesisler olduğu için CO₂ üretmezler. HES'lerde CO₂ salınımına ilişkin süreçler üretim/kurulum ve rezervuarlar tarafından yılda bir miktar metan verilmesi sebebiyle işletme sürecidir. Dolayısıyla HES'ler yaşam döngüsünde önemli derecede düşük sera gazı emisyonlarına sahiptir. Eşdeğer miktarda elektrik üreten fosil yakıtların saldıgı CO₂'ler göz önüne getirildiğinde durum daha net anlaşılmaktadır. CO₂ salınım azlığı bakımından HES'leri sırası ile rüzgar santralleri, nükleer santraller ve güneş enerji santralleri takip etmektedir. Hidroelektrikliğin düşük sera gazı etkisi, özellikle ılıman iklimlerde bulunur. Tropikal bölgelerde daha fazla sera gazı emisyonu etkisi vardır, çünkü tropik bölgelerdeki elektrik santrallerinin rezervuarları ılıman bölgelerde bulunanlardan daha büyük miktarda metan üretmektedir. Diğer fosil olmayan yakıt kaynakları gibi, hidroelektrikte ayrıca kükürt dioksit, azot oksitler veya başka partikül emisyonları da bulunmamaktadır.

HES'lerin en büyük dezavantajı ise ekosistem üzerinde meydana getirdikleri tahribatlardır. Bu durum Nehir Tipi HES'ler için geçerli olmasa da (Akpınar, 2005) büyük baraj göletleri bir taraftan verimli arazilerin sular altında kalmasına neden olurken (Turhan ve ark., 2015) diğer taraftan sebep olduğu iklim değışiklikleri ile doğal hayatı olumsuz etkileyebilmektedir (Akkaya ve ark., 2009). Her ne kadar su tutulması esnasında barajın devamındaki alanlara hayat suyu olabilecek su bırakılmasına müsaade edilse de derin nehir yatakları üzerinde kurulu doğal hayat etkilenebilmektedir (Keleş ve Hamamcı, 2005). Başka bir bakış açısına göre ise enerji üretimi esnasında sera gazı etkileri olmayan HES'lerin sular altında kalan bitkilerin çürümesi ile meydana getirdiği sera gazları azımsanamaz düzeydedir (Hook, 2015).

Suyun ihtiyacı olan alanlara ulaşmadan buharlaşması HES'lerin diğer dezavantajlarından biridir. Baraj göletlerinden, uzun süre bekletilen su yığınları zamanla buharlaşmakta ve gaz haline dönüşmektedir. Yüksek seyreden sıcaklıklar hem daha fazla buharlaşmaya yol açabilmekte hem de HES'lerin enerji üretim verimliliğini düşürdüğü için enerji planlamalarını sekteye uğratabilmektedir.

2.3.2. Rüzgar elektrik santrali (RES)

Rüzgarın itici gücünün enerji üretiminde kullanımı tıpkı suyun itme gücünde olduğu gibi antik çağlara kadar uzanmaktadır. Özellikle unu öğütmek için kurulan yel değirmenleri ya da denizlere açılan gemilerin yelkenleri insanoğlunun yaşamında büyük kolaylıklar sağlamıştır. RES ilk kez 1887 senesinde Strathclyde University Profesörlerinden James Blyth tarafından geliştirilmiştir (Price, 2005). Zamanla hızlı bir gelişme kaydetmiş ve yeni teknolojilerle daha da yaygınlaşmıştır. Bugün gelinen noktada yıllık (2017) 539 GW saat üzerinde elektrik (dünya elektrik üretim toplamının %10'undan fazla) RES'lerden elde edilmiştir (REN 21, 2018).

Türkiye de gelişmelere hızlı bir şekilde ayak uydurmuş ve rüzgardan enerji üretim hususunda hızlı bir yol almıştır. Enerji Bakanlığı (Bilgi Merkezi: Elektrik, 2017) yayınlamış olduğu raporunda Türkiye'nin 2017 senesinde 294,9 GW-h elektrik tüketimine karşılık 295,5 GW saat elektrik tükettiğini ve bunun da %6'sını (17,7 GW saat) RES'lerden karşıladığını belirtmiştir (Enerji Bakanlığı Bilgi Merkezi: Elektrik, 2017).

RES'in elektrik üretim mantığı genel olarak hidroelektrik santrallerine benzemektedir. Hidroelektrik santrallerinde suyun üstlendiği görevi rüzgar elektrik santrallerinde hava akımı yapmaktadır. Basınç değişimlerinin beraberinde getirdiğin hava akımları önlerine kurulan türbinlere basınç yapmakta ve mekanik bir enerji oluşturmaktadır. Oluşan bu mekanik enerji bir jeneratör aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Rüzgar enerjisinin en önemli bileşeni olan türbinler bir çok husustan dolayı farklı sınıflandırmalara tabi tutulmaktadır. Ekseni, devir sayısı, kurulum gücü, sahip olduğu

kanat sayısı, rüzgarı alma yönü, dişli özellikleri ve kurulum yerine göre farklılık arz etmektedir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Rüzgar türbin çeşitleri (Elibüyük ve Üçgül, 2014)

Türbinlerdeki bu çeşitlilik kurulum maliyetlerine de yansımaktadır. Özellikle kurulum yerlerine göre rüzgar türbinlerinin maliyetleri değişkenlik göstermektedir. Kaya ve Koç (2015) enerji çeşitliliğine göre maliyet analizi yapmış ve RES'lerin işletmeye başlamadan başta makine ve teçhizat başta olmak üzere arazi, bina vb. bütün kalemler için harcanan ilk yatırım maliyetinin deniz üstü ve kara üstü olarak değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir. İlk yatırım maliyeti olarak KW başına deniz üstü RES'ler için 6.230 Dolar ve kara üstü RES'ler için 2.213 Dolar olarak tespit etmişlerdir. İşletim maliyetlerinin de yine aynı şekilde farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Başta cari giderler olmak üzere işletme maliyetlerinin yıllık KW başına deniz üstü santraller için 74 Dolar ve kara üstü santraller için 40 dolar olduğunu tespit etmişlerdir. Hazırladıkları raporda kara üstü RES'lerin yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hem yatırım hem de işletim maliyeti en düşük enerji arz türü olduğu tespit edilmiştir. Ancak diğer taraftan deniz üstü RES'lerin ise tam tersi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hem yatırım hem de işletim maliyeti en yüksek enerji arz türü olduğu tespit edilmiştir.

Fosil yakıtlardan elde edilen enerji çeşitlerine alternatif olan yenilenebilir rüzgar enerjisi rakiplerine nazaran bir çok avantajlara sahiptir. Her şeyden önce hiçbir

evresinde CO₂ salınımı ve sera gazı üretmemesi onu diğerlerinden farklı kılmaktadır. İşletme için ihtiyaç duyulan arazinin az olması ve su tüketimi gerektirmemesi de önemli bir avantajdır (Fthenakis ve Kim, 2009). Planlı ve sağlıklı bir üretimin yapılabilmesi için rüzgar ve hava raporlarının iyi analiz edilmesi gerekmektedir (Armaroli ve Balzani, 2011). Çünkü rüzgar türbinleri, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce türbinde rotasyonel kinetik enerjiye, sonra da tedarik edilebilecek elektrik enerjisine dönüştürerek çalışmaktadır. Dönüşüm için mevcut olan enerji esas olarak rüzgar hızına ve türbinin taranan alanına bağlıdır (Sarkar ve Behera, 2012).

2.3.3. Güneş elektrik sistemleri (GES)

Sıcaklığı yaklaşık 8×10^6 K ve 40×10^6 K arasında değişen 1.99×10^{30} kg tahmini kütleyle sahip küre şeklindeki güneş homojen bir şekilde yaydığı ışınları ile yeryüzünde fiziksel ve biyolojik değişimlere neden olan devasa bir enerji kaynağıdır (DEK-TMK, 2009). Homojen şekilde yayılan bu ışınların 1 saniyede yaydığı enerji 4×10^{23} kW'tır. Dünyanın güneşten çektiği 40 dakikalık enerji bütün sene boyunca tükettiği enerjiye denktir. Türkiye konumu gereği güneş ışınlarından dünya ortalamalarının çok üzerinde yararlanabilen bir ülkedir (Kılıç, 2015).

Bugün geline nokta dünyada yıllık (2017) 402 GW üzerinde elektrik (dünya elektrik üretim toplamının %10'una yakın) GES'lerden elde edilmiştir (REN 21, 2018).

Türkiye de gelişmelere hızlı bir şekilde ayak uydurmuş ve güneş ışınlarından enerji üretim hususunda büyük ölçüde yol almıştır. Enerji Bakanlığı (Bilgi Merkezi: Güneş, 2019) resmi internet sitesinden yayınlamış olduğu bilgilere göre Türkiye'nin 2017 senesinde 294,9 GW saat elektrik tüketimine karşılık 295,5 GW saat elektrik tükettiğini ve bunun da %2,5'ini (7,48 GW saat) GES'lerden karşıladığını belirtmiştir.

Güneşten enerji üretme teknolojileri ısı güneş ve fotovoltaik olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. Isıl güneş sisteminde yüksek derecedeki sıcaklıkla beraber buhar elde edilmektedir ve klasik buhar türbinleri aracılığı ile elektrik üretilmektedir.

Fotovoltaik sistemlerde ise güneş ışığı doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Kılıç, 2015). Şöyle ki, güneş enerjisinden elektrik elde etmek için kullanılan kare, dikdörtgen ve daire şeklindeki ve galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellürid, bakır indiyum di-selenid gibi maddelerden üretilen (Kılıç, 2015). hücreler yaklaşık 100 cm² alana ve 0.1mm - 0.4 mm arası kalınlığa sahiptir. Güneş ışınları bu hücrelerin üzerine geldiğinde uçlarında bir gerilim oluşturmakta ve doğrudan elektrik enerjisine dönüşmektedir. Çok sayıda hücre fotovoltaik modül olarak adlandırılan seri ya da paralel şekilde birbirine bağlanarak güç değeri artırılır. Doğru akım şeklinde elde edilen elektrik enerjisi uygun ekipmanlar (batarya, şarj regülatörü gibi) aracılığı ile depolanır. Son işlem olarak doğru akım enerji alternatif akıma çevrilerek tüketime hazır hale getirilmektedir. (Abdallah ve Nijmeh, 2004).

Türkiye güneşten istifade etme verimliliği yüksek ülkelerden biridir (Çağlayan ve ark., 2014). Bu nedenle ilk yatırım maliyetleri yüksek olsa da GES'ler sonraki aşamalarda elde edilen yüksek miktardaki enerjiler nedeni ile maliyetleri makul düzeye çekebilmektedir. Kaya ve Koç (2015) enerji çeşitliliğine göre maliyet analizi yapmış ve GES'lerin işletmeye başlamadan başta makine ve teçhizat başta olmak üzere arazi, bina vb. bütün kalemler için harcanan ilk yatırım maliyetinin KW başına 3.873 Dolar olarak tespit etmişlerdir. Başta cari giderler olmak üzere işletme maliyetlerinin yıllık olarak KW başına 24,69 Dolar olduğunu tespit etmişlerdir. Hazırladıkları GES'lerin yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hem yatırım hem de işletim maliyeti açısından bir çok rakibine nazaran optimal enerji arz türü olduğu tespit edilmiştir.

Fosil yakıt temelli teknolojilerin aksine, güneş enerjisi işletme sırasında herhangi bir zararlı emisyonu açmasa da panellerin üretimi bir miktar kirliliğe neden olmaktadır. Güneş enerjisinin yaşam döngüsü sera gazı emisyonları, GES ısı güneş ve fotovoltaik modülüne bağlı olarak kW saat başına 22 gr. ile 46 gr. aralığındadır. Gelecekte bu seviyenin 15 gr / kW saat'e düşürülmesi planlanmaktadır (Alsema ve ark., 2006). Bu oranın kombine çevrim gazla çalışan bir enerji santralinde kilowatt/saat başına 400-599 gr olduğu (Fridleifsson ve ark., 2008) başta güneş

enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre için önemi daha net anlaşılmaktadır.

2.3.4. Güneş termal enerji (GTE)

Güneş termal enerjisi (GTE), sanayide, konutta veya ticari sektörlerde kullanılmak üzere güneş enerjisinden yararlanmak suretiyle geliştirilen termal bir enerji çeşididir. Güneş ışınlarını termal enerjiye dönüştüren sistemlere güneş kolektörü denir. Bu sistemlerde güneş ışınlar emilir ve bir akışkan aracılığıyla ısı enerjiye dönüştürür (Karakoç ve ark., 2012).

Güneş enerjisi kolektörleri oluşturdukları sıcaklıklara bağlı olarak düşük, orta veya yüksek sıcaklık kolektörleri olarak sınıflandırılmaktadır. Sağladıkları sıcaklıklara göre ise kullanım alanları değişmektedir. Düşük sıcaklık kolektörleri genellikle camsız sıvı ısıtma kolektörleri olarak adlandırılırlar ve küçük çapta ısı gerektiren işlerde kullanılırlar. Orta sıcaklık kolektörleri düz plaka kullanılan kolektörlerdir ve konutun yanı sıra ticari alanlarda kullanılır. Endüstri alanında kullanılan kolektörler ise ayna ya da lens kullanılan kolektörlerdir. Yüksek ısıtıcı kolektörleri 300 °C / 20 bar basınca kadar olan ısı gereksinimlerini karşılayabilmekte ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilmektedirler.

Güneşten termal enerji elde etmenin tarihçesi M.Ö. 215 Arşimet'e kadar uzanmaktadır (Akova, 2003; Altuntop ve Erdemir, 2013). Bugünün güneş enerjisi teknolojisinin temelleri ise 17. Yüzyılda merceğin Galile tarafından geliştirilmesi ile başlamıştır (Akova, 2008). İlk güneş kolektörü ise 1767 senesinde İsviçre'de bilim insanı Horace de Saussure tarafından geliştirilmiştir (DEK-TMK, 2009).

Güneş termal enerji sistemleri kullanım alanına göre uygun bütçe ile yatırım imkanı veren sistemlerdir. Genel itibari ile çatılara kurulabilmeleri alan ihtiyacını da ortadan kaldırmaktadır. Hiç şüphesiz en büyük avantajları çevre dostu olmalarıdır. Fosil yakıtların aksine CO₂ salınımları üretim süreçleri ile sınırlıdır.

2.3.5. Biokütle ve ağaçlandırma

Biyokütle, enerji üretimi, ısı üretimi veya çeşitli endüstriyel süreçlerde kullanılan bitki atıklarının veya hayvansal materyallerin genel adıdır. Bilinçli olarak yetiştirilen enerji bitkileri, odun veya orman artıkları, gıda mahsullerinden elde edilen atıklar (buğday samanı, küspe), bahçe atıkları, gıda işleme (mısır koçanı), hayvancılık (gübre, zengin) azot ve fosfor) veya atık su tesislerinden elde edilen insan atığı biokütle sınıfına girmektedir (Ur-Rehman ve ark., 2015).

Bitkisel kaynaklı biokütlenin yakılması CO₂ açığa çıkarır, ancak fotosentez CO₂'yi yeni ürünlere geri döndürdüğü için AB yasal çerçevelerinde yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak sınıflandırılmıştır. Örneğin AB 2001/77/EC ve 2003/30/EC sayılı direktiflerinde konuya dikkatleri çekmiş ve 2009 yılında yayınladığı 2009/28/EC sayılı direktifin 19. maddesinde biokütlenin farklı kullanım alanlarının olduğu ve bu nedenle yeni biokütle kaynaklarını harekete geçirmek gerektiği vurgulanmıştır. Düzenlemeye göre her üye devlet, beklenen toplam brüt enerji tüketimini ulusal yenilenebilir enerji eylem planında değerlendirirken, enerji verimliliği ve enerji tasarrufu önlemlerinin ulusal hedeflerine ulaşmak için yapabilecekleri katkıyı değerlendirmelidir. Üye devletler, enerji verimliliği teknolojilerinin yenilenebilir kaynaklardan gelen enerji ile optimum kombinasyonunu dikkate almalıdır.

Bazı durumlarda, CO₂'nin bitkilerden atmosfere ve tekrar bitkilere geri dönüşümü, CO₂'nin nispeten büyük bir kısmını her döngü sırasında toprağa taşıdığından, CO₂ oranına pozitif etki yapmaktadır Çünkü yanma durumunda, biyokütleden gelen karbon atmosfere karbondioksit (CO₂) olarak salınır. Birkaç ay veya yıl sonra CO₂, bitki veya ağaç yetiştirilerek geri emilir (Laiho ve ark., 2003).

Biyokütlenin yanması yolu ile enerji ve ısı elde edilebileceği gibi biokütle maddesi elektrokimyasal (elektrokatalitik) oksidasyon yoluyla doğrudan elektrik enerjisine de dönüştürülebilir. Bu işlem doğrudan karbon yakıt hücresinde (Munnings ve ark., 2014), etanol yakıt hücresinde ya da metanol yakıt hücresinde (Kim, 2011) gerçekleştirilebilir.

Ağaçlandırma hep bir biokütle üretimidir hem de atmosferdeki CO₂ seviyesini düşürmede başvurulan önemli bir yöntemdir. Çünkü ağaçlar büyüme süreçlerinde karbon depolayarak, atmosferik CO₂ için filtre işlevi görürler. Bu sebepten, ağaç sayısının artırılması, atmosferik karbon birikimini potansiyel olarak yavaşlatmaktadır. Ağaçlar tarafından herhangi bir zamanda depolanan karbon miktarı biokütle ile orantılıdır ve mevcut ağaç örtüsünün miktarından, ağaç yoğunluğundan ve ağaç çaplarının deseninden etkilenir (McPherson,1998).

Ağaçlar türlerine ve biokütlelerine göre belirli bir oranda karbonu atmosferden çekmektedir ve çekilen karbon miktarı moleküler ağırlığına göre hesaplanarak CO₂ eşleniğine dönüşmektedir.

2.4. Karbon Ofset

Karbon ofseti, kısaca kendi kaynağındaki CO₂ salınımına denk gelen başka bir bölgedeki CO₂ salınımını ücreti karşılığında azaltmak ya da absorbe etmektir. İşletmelerde karbon ofsetlemesi, düzenlenen (capped) kaynaklardan yayılan emisyonların sınır kabul edilen seviyelerin üstüne çıkmasına izin verirken bu artışların düzenlemeyen (uncapped) kaynaklardan elde edilen indirimlerle telafi edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Düzenlenemeyen kaynaklardaki emisyonları azaltmak, düzenlenen kaynaklardan daha az maliyetli olabileceğinden, karbon ofsetleri, sınırın genel net emisyon hedefine ulaşma maliyetini düşürebilmektedir.

Bu yöntemin kabul görmesinin en önemli nedeni ise sera gazlarının etkisi küresel etki göstermesi ve etkisinin belirli alanlarla sınırlı kalmamasıdır. Karbon ofsetleri, CO₂'nin (iklim değişikliğinden sorumlu birincil sera gazı), ağaç dikimi de dahil olmak üzere karbonu tutan aktivitelerle atmosferden uzaklaştırılmasını da içerebilmektedir (Broekhoff ve Zyla, 2008).

ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) 2008 İklim Güvenliği Yasası'nın analizinde, karbon ofset uygulamasının iklim programının maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuştur. Raporda bu tarz bir uygulamaya izin verilmemesi

durumunda mevcut maliyetlerin %98 oranında artabileceğine vurgu yapmıştır (EPA, 2008).

Emisyon piyasasında karbon ofsetleri genellikle onaylı krediler şeklinde işlem görmektedir. Bir kredi genellikle bir metrik ton CO₂'ye eşdeğer bir sera gazı azaltımını belirtmektedir. Çoğu durumda, belirli projelerle, yani “ofset projeleri” ile elde edilen indirimler için ofset kredisi verilir. Kredi almak için, proje sahipleri, bir projenin önceden belirlenmiş kurallara ve prosedürlere göre emisyonları azalttığını göstermeleri gerekmektedir. Çeşitli firmalar bu çerçevede sertifikalar vermekte ve verdikleri sertifikalarda fiili olarak CO₂ emisyonunu düşürdüklerini ve insanların bu uygulamadan doğrudan yararlandıklarını garanti etmektedirler.

American Carbon Registry (ACR), Climate Action Reserve (CAR), Gold Standart, Plan Vivo ve Verra's Verified Carbon Standard gibi karbon standartları bulunmaktadır.

2.5. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Teknikleri

Kökleri 1960 yıllarına kadar uzanan ve 1970 yılından sonra sürekli bir şekilde yaygınlaşan (Köksalan ve ark., 2011) çok kriterli karar verme başka bir deyişle çok kriterli karar analizi bireyler, işletmeler ya da hükümet organları tarafından karar alma süreçlerinde birden fazla çelişen ölçütü açıkça değerlendirerek hedefe en yakın opsiyonu belirleme disiplini.

Örneğin bireyler günlük yaşantılarında genellikle çoklu kriterleri tecrübelerine dayanarak tartarlar ve sezgilerine göre karar verirler. Bu her bir birey için sürekli tekrar eden bir olgudur (Rew, 1988). Tercih edilen her opsiyon kendi içerisinde genellikle maliyet, sürdürülebilirlik, performans ya da üretim artışı, giderlerin ya da negatif çıktıların minimize edilmesi gibi çelişen kriterler içermektedir.

ÇKKV ana amacı karar alıcıyı en optimal çözüme yönlendirmektir. Karar alıcılar ise ÇKKV çerçevesinde ortaya çıkan pro ve kontra tezleri bir bütün halinde değerlendirerek birden fazla karar seçeneği arasından hedefle daha çok örtüşeni

seçime zorlanmaktadır (Madurika ve Hemakumara, 2015). Başka bir açıdan bakıldığında ise ÇKKV çoklu kriterleri içeren karar ve planlama problemlerini yapılandırmak ve çözmekle ilgilendiğinden çelişkili kriterlere sahip sorunlarla karşılaşan karar vericilere destek olmaktadır.

Çok kriterli karar verme teknikleri kapsamında, irdelenen konuya göre kullanılan birçok metot vardır. En yaygın kullanılan metotların başında AHP, ELECTRE, PROMETHEE, Moora ve bileşenleri gelmektedir. Yine VIKOR gibi bulanık kümelerin kullanıldığı metotlar da bulunmaktadır.

Enerji ve çevre konuları ÇKKV kapsamında yapılan araştırmaların başında gelmektedir. Çalışmalar genellikle çevreci yenilenebilir enerji kaynaklarına yoğunlaşmakta ve ÇKKV metodolojisi olarak “analitik hiyerarşi süreci” (AHP) ön plana çıkmaktadır. AHP metodunun ön plana çıkması kullanım kolaylığından kaynaklanmaktadır (Ramanathan, 2001). Ortaya konan araştırmada da ÇKKV metodlarından AHP’nin yanı sıra “multimoora” kullanılmıştır.

2.5.1. Analitik hiyerarşi süreci (AHP)

Analitik hiyerarşi süreci (AHP) ilk kez 1968 yılında Myers ve Albert tarafından dillendirilen bir tekniktir. Matematik ve psikolojiye dayanan karmaşık kararları organize ve analiz etmek için 1970’lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir (Yarahoğlu, 2010). Çok çeşitli hiyerarşik kurumlar tarafından farklı alanlarda kullanılan bir metottur (Saracoğlu, 2013). AHP, “doğru” bir karar vermekten ziyade, karar vericilerin hedeflerine “en uygun” olan seçeneği bulmalarına yardımcı olmaktadır (Madurika ve Hemakumara, 2015). Bir karar problemini yapılandırmak, unsurlarını göstermek ve ölçmek, bu unsurları genel amaçlarla ilişkilendirmek ve alternatif çözümleri değerlendirmek için kapsamlı ve rasyonel bir çerçeve sunmaktadır. AHP kullanıcıları ilk önce karar problemlerini, analiz ederek kendi aralarında hiyerarşi oluşturmaktadır. Hiyerarşinin genel unsurları ise doğrudan alınacak kararın gerekçeleri ile ilgilidir.

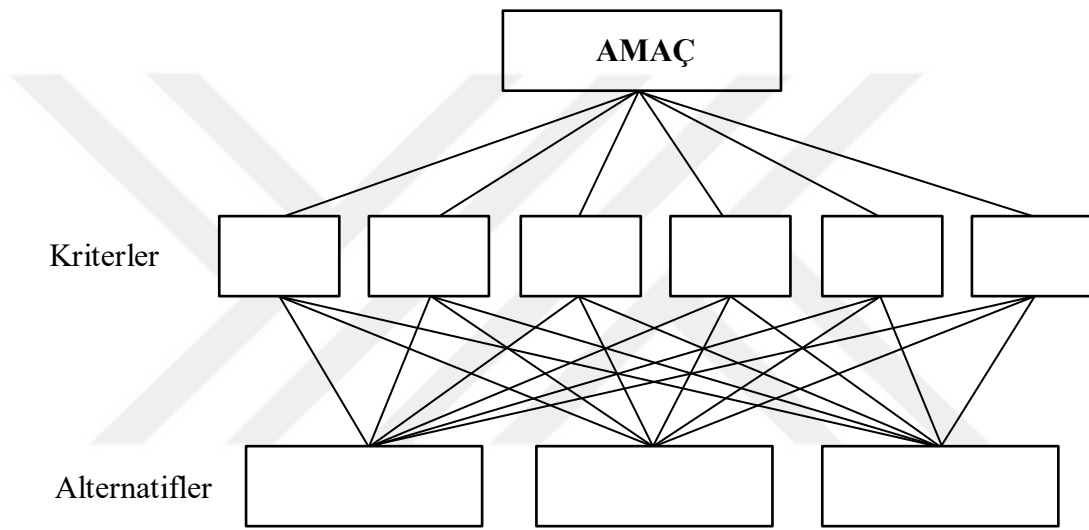
Hiyerarşi bir kez oluşturulduktan sonra, karar vericiler, hiyerarşide yer alan kriterleri dikkate alarak karara etki edebilecek çeşitli öğeleri aynı anda birbirleriyle karşılaştırarak sistematik olarak değerlendirirler. Karşılaştırmalarda karar vericiler unsurlar hakkında somut verileri kullanabilirler, ancak genellikle unsurların göreceli anlamı ve önemi hakkındaki yargılarını kullanırlar. AHP'nin özünde, değerlendirmelerin yapılmasında sadece temel bilgilerin değil, insan kararlarının da kullanılabilmesi vardır (Saaty, 2008). AHP, karara etki edebilecek bütün değerlendirmeleri işlenebilecek ve problemin tamamı boyunca karşılaştırabilecek sayısal değerlere dönüştürmektedir. Hiyerarşinin her bir elemanı için sayısal ağırlık veya öncelik türetilmektedir. Bu özellik sayesinde farklı ve sıklıkla ölçülemez öğelerin rasyonel ve tutarlı bir şekilde birbirleriyle karşılaştırılması sağlanmaktadır. Bu yetenek AHP'yi diğer karar verme tekniklerinden ayrı kılmaktadır. Çoğu zaman başka bir ÇKKV metodunun da ön süreci olarak işlem görmektedir ki ortaya konan çalışmada da multimoora tekniği öncesinde AHP ile kriterler hiyerarşik olarak sıralanmaktadır. AHP çerçevesinde işleyen sürecin son aşamasında, karar alternatiflerinin her biri için sayısal öncelikler hesaplanmaktadır. Bu sayılar, alternatiflerin karar hedefine ulaşma konusundaki göreceli yeteneğini temsil etmektedir. Böylece çeşitli eylem kurslarının doğrudan değerlendirilmesine imkan sunmaktadır. Bütün bu yönleri ile AHP metodu özellikle uzun vadeli etkileri olan, yüksek risk taşıyan ve karmaşık ilişkiler içeren kararların analizinde çok daha etkilidir (Bhushan ve Kanwal, 2004).

AHP kriterlerin hiyerarşik olarak konumlandırma süreci olduğundan genellikle aynı anda bir çok fonksiyonu yerine getirebilmektedir (Forman ve Gass, 2001). Saaty (2008) bu fonksiyonları şu şekilde sıralamaktadır:

- Bir dizi alternatif arasından bir tanesinin seçimi,
- Alternatiflerin öneme göre sıralanması,
- Alternatiflerin göreceli değerinin belirlenerek öncelik verilmesi,
- Bir dizi alternatif arasında mevcut kaynakların paylaşılması,
- Bir kuruluşun kendi organizasyonundaki süreçlerini diğer türlerin en iyisi olan kuruluşlarla karşılaştırması,
- Kaliteyi çok boyutlu yönleriyle ele alarak iyileştirmesi,

- Görünüşe göre uyumsuz amaçları veya pozisyonları olan taraflar arasındaki anlaşmazlıkları çözümülemesi.

Şekil 2.4.'de de verildiği üzere AHP üç aşamalı bir modeldir (Saaty ve Vargas, 2001) Birinci aşamasında amaç ortaya konmaktadır. İkinci aşamasında karar alternatifleri ortaya konmaktadır. Üçüncü aşamada ise bu alternatiflere ilişkin kriterler tespit edilmekte ve derecelendirilmektedir ki bu aşamada kriterler genellikle anket uygulanmak suretiyle sıralanmaktadır (Dağdeviren ve ark., 2004).



Şekil 2.4. Üç seviyeli analitik hiyerarşi model (Saaty ve Vargas, 2001)

AHP kullanılırken belirli prosedürlerin takip edilmesi gerekmektedir. Öncelikli olarak hedef kararın, bu karara ulaşmak için alternatiflerin ve alternatifleri değerlendirmede kullanılacak kriterlerin hiyerarşik olarak modellenmesi gerekmektedir. Bunun için Saaty tarafından önerilen ve aşağıda listelenen 1-9 skalasına göre karşılaştırma yapılır. Toplam karşılaştırma sayısı $m(m-1)/2$ şeklinde formüle edilir. Burada m sayısı eleman sayısıdır ve bir kriterin diğer bir kritere karşılık önemini ifade etmektedir. A kriteri ile B kriterinin karşılaştırmasında A kriteri B kriterine göre m öneme sahipse B kriteri A kriterine göre $1/m$ öneme

sahiptir. Toplam kriter sayısına (n) göre karşılaştırma aşağıdaki gibi resmedilebilir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix}$$

AHP yönteminde kriterler ve ağırlıkları belirlenirken Saaty tarafından tespit edilen önem skalası önerilmektedir (Saaty, 1990: 15):

- Eşit önem (1)
- Biraz önemli (3)
- Fazla önemli (5)
- Çok fazla önemli (7)
- Son derece önemli (9)

Bu önem skorları arasında bir puan vermek gerektiğinde de 2,4,6,8 rakamlarının kullanılması önerilmektedir. Bu sırlamaya göre örneğin 1. kriter ile 4. kriter örneğin eşit öneme (1) sahipse $a_{14}=a_{41}=1$ değerini alır. Buna karşılık 1. kriter 4. kritere göre son derece önemli olsaydı a_{14} , 9 değerini alırken a_{41} ise 1/9 değerini alacaktır.

Karşılaştırmalar, karşılaştırma matrisinin tüm değerleri 1 olan köşegenin üstünde kalan değerler için yapıldığında köşegenin altında kalan bileşenler için

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

eşitliğini uygulamak yeterli olacaktır. Hiyerarşik unsurlar arasında da önceliklerin belirlenmesi ikinci prosedürdür ve önem arz etmektedir. Öncelikler belirlenirken dikkat edilecek en önemli husus varılan yargının iyi bir sentezden geçmesidir. Bunun için kriterlerin karşılaştırma metrisinin normalize edilmesi ve öncelik vektörünün hesaplanması gerekmektedir. Öncelikli olarak karşılaştırma matrisi kriterlerinin bütün içerisindeki ağırlıklarını belirlemek için sütun vektörlerinden yararlanılarak n adet ve n bileşenleri aşağıdaki şekilde formüle edilerek B sütun vektörü oluşturulur.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Sonrasında n kriter sayısı kadar elde edilen B sütun vektörü bir matris formatında birleştirilir ve C matrisi meydana getirilir.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & c_{2n} \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & c_{nn} \end{bmatrix}$$

C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınarak öncelik vektörü olan W sütun vektörü elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n}$$

n adet w_i değerinden oluşan W vektörü aşağıda resmedildiği şekilde vektörü kriterlerin birbirlerine göre önem değerlerine göre yüzde dağılımlarını göstermektedir.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix}$$

Yine diğer önemli bir prosedür sürecin her aşamasında alınan kararların tutarlılığının kontrol edilmesidir (Saaty, 2008).

Kriter sayısı ile temel değer adı verilen (λ) bir katsayının karşılaştırılması ile tutarlılık oranına ulaşılır. λ 'nın hesaplanması için öncelikle λ karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & . & . & . & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & . & . & . & d_{2n} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ d_{n1} & d_{n2} & . & . & . & d_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ . \\ . \\ . \\ w_n \end{bmatrix}$$

D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer (E) elde edilir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması temel değeri (matrisin en büyük öz değerini, $\lambda_{\max}$) verir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, 3 \dots n)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$$

İkili karşılaştırmalar sonucu elde edilen bir matrisin tutarlı olabilmesi için matrisin en büyük öz değerinin ($\lambda_{\max}$), matrisin boyutuna eşit olması gerekir. λ hesaplandıktan sonra tutarlılık göstergesi (CI)

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (i = 1, 2, 3 \dots n)$$

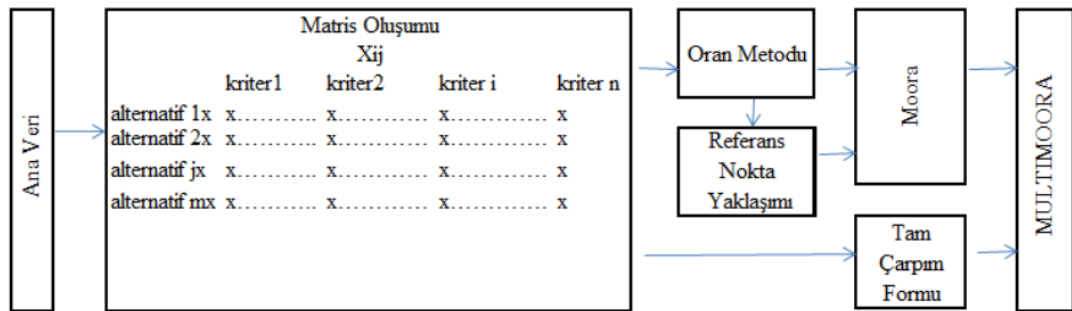
eşitliği ile elde edilir.

2.5.2. Multimoora

Brauers ve Zavadskas (2011) tarafından geliştirilen multimoora tek başına çok kriterli bir karar verme tekniği değildir. Multimoora birkaç çok kriterli karar verme tekniğinin sıralı olarak uygulandığı bir metottur. Bunlardan ilk ikisi Brauers ve Zavadskas (2006) tarafından geliştirilen ve “Oran Analizi İle Çok Amaçlı Optimizasyon” olarak tercüme olunan MOORA (Multi-objective Optimization By Ratio Analysis) metotlarıdır. Bu metotlar Moora Oran Yaklaşımı ve Moora Referans Noktası olarak adlandırılmaktadır. Üçüncü bir metot ise Brauers (2002) tarafından geliştirilen Tam Çarpımsal Form (Full Multiplicative Form) yöntemidir.

Bu üç yöntemden elde edilen tüm değerlendirmelerin birleştirilerek yeniden yorumlanması multimoora olarak adlandırılmaktadır. Bu çoklu değerlendirmeler nedeniyle de multimoora daha isabetli kararlar alınmasına imkan tanımaktadır (Karaca, 2011). Hesap süresinin kısalığı, uygulamadaki basitliği ve matematiksel işlemlerdeki kolaylığı multimoorayı diğer ÇKKV metotlarından daha avantajlı hale getirmektedir (Yıldırım ve Önder, 2014).

Multimoora yönetimi birkaç evreden meydana gelmektedir. Birinci evrede ana veri doğrultusunda belirlenen kriterler ve alternatifler karar matrisine dönüştürülmektedir. Daha sonrasında Moora-Oran ve Moora-Referans Noktası olarak adlandırılan moora yöntemleri kullanılarak moora sonucu elde edilmektedir. Diğer taraftan da Tam Çarpımsal Form çerçevesinde diğer sonuçlara ulaşılmaktadır. En son Sıra Baskınlık Teorisinden yararlanılarak bu üç metottan elde edilen sonuçlar yeniden sıralanarak multimoora sonucu elde edilmektedir (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Multimoora yönetim diagramı (Brauers ve Zavadskas, 2011)

Şekilde de görüldüğü üzere multimoora üç çeşit moora metodunun bir araya getirilip yeniden yorumlanması ile sonuca varılan bir yöntemdir. Ancak moora metotları, bir önceki adımda oluşturulan karar matrisindeki değerler üzerinden yapılmaktadır. Karar matrisinde:

- $i = 1, 2, \dots, n$ kriterleri; n kriterlerin adedini,
- $j = 1, 2, \dots, m$ alternatifleri; m alternatiflerin adedini,
- x_{ij} : j . alternatifinin i . kriterine göre aldığı değeri göstermektedir.

a) Moora-Oran Metodu

Moora-Oran yaklaşımı iki denklemden ve üç adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda her bir alternatifin her bir kritere göre aldığı değer aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanarak normalizasyon işlemi yapılmaktadır:

$$x^*_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{kj}^2}}$$

İkinci adımda maksimizasyon değerler toplamından minimizasyon değerler toplamı çıkarılarak i alternatifinin tüm amaçlara göre normalleştirilmiş değerlendirilmesi sayılan y_j^* değerleri aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanarak elde edilmektedir:

$$y^*_i = \sum_{j=1}^g x^*_{ij} - \sum_{j=g+1}^n x^*_{ij}$$

Üçüncü ve son adımda ise elde edilen y_j^* değerlerinin sıralaması yapılarak işlem tamamlanmaktadır (Brauers ve Zavadskas, 2013).

b) Moora Referans Noktası Yaklaşımı

Moora Referans Noktası Yaklaşımında her bir kriter için maksimal amaç referans noktaları (r_j 'ler) tespit edilir ve X_{ij}^* 'lere olan uzaklıkları aşağıdaki denkleme göre hesaplanır:

$$r_j - x_{ij}^*$$

Burada r_j -deki j kriterin referans noktasını ve X_{ij}^* -deki i . alternatifin j . kriterdeki normalleştirilmiş değeri göstermektedir (Brauers ve Zavadskas, 2013).

c) Moora Tam Çarpım Formu

MOORA tam çarpım formunda X_{ij} değerleri aşağıda verilen denklem kullanılarak suretiyle normalleştirilir (Karaca, 2011: 26):

$$U_j' = \frac{A_j}{B_j}, \quad A_j = \prod_{g=1}^i x_{gj}, \quad B_j = \prod_{k=i+1}^n x_{kj}$$

d) Sıra Baskınlık Teorisi

Sıra Baskınlık Teorisi, ordinal bir ölçeğin sıralama türüne göre başka türden bir ordinal ölçekle baskınlık (mutlak ve genel baskın), geçişkenlik ve dengelilik gibi özellikler kullanılmak suretiyle değiştirilmesi eylemidir. Moora metodları ile elde edilen değerler bu eyleme tabi tutularak multimoora sıralaması elde edilmektedir (Brauers ve Zavadskas, 2011).

Multimoora çerçevesinde kullanılan her üç teknikten elde edilen alternatif sıralama değerleri eşitse (örneğin 2-2-2) mutlak baskın olarak tanımlanmaktadır. Genel baskınlıkta ise örneğin $(k < l < f < z)$ baskınlıkları elde edildiğinde $(z - k - k)$ verisinin $(f - l - l)$ verisine; $(k - z - k)$ verisinin $(l - f - l)$ verisine ve yine $(k - k - z)$ verisinin $(l - l - f)$ verisine genellikle baskın olduğu kabul edilir. Geçişkenlikte ise baskınlık hiyerarşisine göre hareket edilir. Şöyle ki k 'nın l 'ye baskın olduğu bir

durumda eğer l de f' 'ye baskınsa o zaman k aynı şekilde f' 'ye de baskın kabul edilmektedir. Bu durumda da eğer $(k - k - k)$ verisi $(l - l - l)$ verisine tamamen baskın olacaktır. Dengelilik de ise elde edilen verilerden $(c - c - c)$ gibi mutlak dengelilik bağlamında $(4 - c - 11)$ ve $(6 - c - 7)$ gibi üç farklı olaydan ikisinde bir denge söz konusu ise dengelilik oluşmaktadır (Gelen, 2018).



BÖLÜM 3. YÖNTEM

Bu bölümde öncelikli olarak araştırmada kullanılan modele yer verilmiştir. Daha sonrasında araştırma grubu özetlenmiş ve veri toplama yöntemleri tanımlanmıştır. En son olarak yapılan analizler hakkında açıklayıcı bilgilere yer verilmiştir.

3.1. Araştırma Modeli

Bir otomotiv firmasında çok kriterli karar verme teknikleri ile karbondioksit azaltımının sağlanması için en uygun projenin seçimi konulu araştırmada model olarak Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri (ÇKKV) kullanılmıştır. Birçok metodun yer aldığı ÇKKV arasında AHP ve Multimoora kullanılmıştır. Bu metotlara ilişkin geniş bilgi çalışmanın 2. Bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

3.2. Araştırma Grubu

Araştırmanın evrenini Marmara Bölgesinde faaliyet gösteren otomotiv üretim tesisi oluşturmaktadır. Kriterleri belirlerken araştırmanın örneklemini gönüllülük esasınca göre çeşitli branşlarda mühendis olarak çalışan toplam 8 kişi oluşturmuştur.

3.3. Veri Toplama Yöntemi

Araştırmada kriterleri belirlemek için kullanılan anket formları katılımcılar ile yüz yüze görüşmek sureti ile oluşturulmuştur. Fabrikanın karbondioksit salınımını azaltacak optimum çözümü belirlemek amacıyla öncelikle karar kriterlerinin belirlenmesi gerektiğinden bu kriterlerin belirlenmesi amacıyla benzer mühendislik projelerinin yönetiminden ve üretim tesislerinin işletilmesinden sorumlu, konusunda tecrübeli, farklı disiplinlerdeki uzmanların katılımı ile bir proje ekibi oluşturulmuştur. Sekiz kişiden oluşan proje ekibi hem kriterlerin belirlenmesi hem de

kriter ağırlıklarının oluşturulması çalışmalarında yer almışlardır. Kriterler belirlenirken ve ağırlıklandırılırken Saaty (1990) tarafından geliştirilen önem skalası kullanılmıştır. Bu skalaya ilişkin detaylı bilgi çalışmanın AHP başlığı altında mevcuttur.

Çalışmada yer alan yenilenebilir enerji projelerinden elde edilecek tasarruf belirlenirken HES'lerde enerjiye konu kaynağın debisi ve yerden yüksekliği, GES ve GTE için ise çalışmanın yapıldığı bölgenin yıllık radyasyon değerleri ve güneşli gün sayıları dikkate alınmıştır. Alternatiflerin ilk yatırım maliyetleri, işletme bakım maliyetleri, kurulum süreleri ve alan ihtiyaçları hesaplanırken, benzer tesis kurulumlarını yapmış yüklenici firmalardan alınan teklifler, taahhütler ve ürün özellikleri referans alınmıştır. Sosyal etki ve adaptasyon kolaylığına yönelik veriler alternatiflerin ikili karşılaştırılması ve 1- 5 arasında puanlama yapılarak oluşturulmuştur.

3.4. Verilerin Analizi

Verilerin analizi konusunda; çok kriterli karar verme metotlarından olan AHP ve Multimoor kullanılmıştır. Bu süreçte öncelikle anketle belirlenen kriterler ve ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen öncelikleri, AHP matrisine taşınarak normalize edilmiş, kriter ağırlıkları ve AHP matrisinin tutarlılık oranı hesaplanmıştır.

Şirketi, koymuş olduğu yıllık karbondioksit azaltım hedefine ulaştıracak optimum çözümün bulunması için enerji tasarrufu, sosyal etki ve adaptasyon kolaylığı kriterlerinin maksimizasyonu, buna karşılık ilk yatırım maliyeti, işletme bakım maliyeti, alan ihtiyacı ve uygulama süreci gibi kriterlerinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Her alternatifin ilgili kritere karşılık gelen değeri hesaplanarak moora karar matrisi oluşturulmuştur. Kriterleri kısaca tanımlayacak olursak;

İlk yatırım maliyeti : Karbondioksit azaltımının sağlanması amacıyla seçilen alternatifin uygulanması sürecindeki tüm giderlerdir. Proje, danışmanlık, makine, ekipman, işçilik ve yasal mevzuatlar kaynaklı tüm vergi, harç ve izin masraflarını kapsamaktadır.

İşletme bakım maliyeti : İlk yatırım maliyeti dışında ekonomik olarak değerlendirilecek en önemli kriterlerden bir tanesi seçilecek çözümün uygulanması sonrası faal ve verimli kullanımının sağlanması için gerekli adam saat, bakım, sarf malzeme vb. diğer tüm giderlerdir.

Enerji maliyeti : Karbondioksit azaltımına yönelik belirlenecek alternatifin enerji maliyeti üzerindeki azaltım etkisini ifade etmektedir. Enerji maliyeti enerji satınalma, iletim, dağıtım gibi tedarik, satış, dağıtım ve üretim şirketleri nezdinde ödenen tüm ücretlerdir.

Uygulama süresi : Uygulama süresi seçilecek çözümün projelendirilmesi, gerekli izinlerin alınması, malzeme tedariki, saha uygulaması, devreye alma ve test sürecinin tamamını kapsamaktadır.

Adaptasyon kolaylığı : Sunulan çözümün teknik açıdan mevcut altyapıya adaptasyonu, hali hazırda otomotiv üretim tesislerinde uzmanlaşmış bakım onarım faaliyetlerinden sorumlu personelin bilgi becerisine uygunluğu ve diğer teknik ve idari işleyişe adaptasyon kolaylığıdır.

Alan ihtiyacı : Endüstriyel tesislerin ihtiyaç duyduğu kaynaklardan bir tanesinin de üretim faaliyetleri için kullanılmakta olan veya gelecekte kullanılma potansiyeli bulunan (genişlemeye yönelik) açık alanlar olduğu bilinmektedir. Bu kriter üretim /genişleme alanlarının karbondioksit salınımını düşürecek projeler için ayrılacak kısmını ifade etmektedir.

Toplumsal/sosyal etki : Seçilecek alternatifin sosyal sorumluluk ve değer yaratma bağlamında sağlayacağı katkının, buna paralel olarak şirket içinde ve dışında yaratılacak olumlu algının ölçütüdür.

Moora karar matrisi normalize edildikten sonra, matris değerleri AHP yöntemiyle hesaplanmış kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi oluşturulmuştur. Moora uygulamalarının ilki olarak ele alınan oran metodunda, ağırlıklandırılmış karar matrisindeki satır değerleri amaç fonksiyonuna göre toplanıp

ıkarıltılmış ve elde edilen sonucun en büyükten en ke doğru sıralanması ile çözüme ulaşılmıştır.

Moora uygulamalarının ikincisi olan referans nokta metodunda amaç fonksiyona uygun olarak belirlenen sütün değeri referans nokta olarak tanımlanmış, referans noktaların diğer sütün değerlerinden farkı alınarak referans nokta matrisi elde edilmiştir. Bu matrisin satır toplamlarının en küçük değerden en büyük değere doğru sıralanması ile çözüme ulaşılmıştır.

Moora uygulamalarının cs ve sonuncusu olan tam çarpım formunda normalize edilmiş karar matrisindeki satır değerleri amaç fonksiyonuna göre sıra ile çarpılarak (amaç maksimizasyon ise) ve bölünerek (amaç minimizasyon ise) satır sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçların büyükten ke sıralanması ile çözüme ulaşılmıştır.

Son olarak tüm moora uygulamalarının sıra baskınlık teorisine göre değerlendirilmesi yapılarak multimoora sonucu sıralama elde edilmiştir.

BÖLÜM 4. BULGULAR

Bu bölümde öncelikli olarak araştırma grubuna ilişkin tanımlayıcı bulgulara yer verilmiştir. Daha sonrasında ÇKKV teknikleri çerçevesinde yapılan hesaplara ve elde edilen sonuçlara yer verilmektedir.

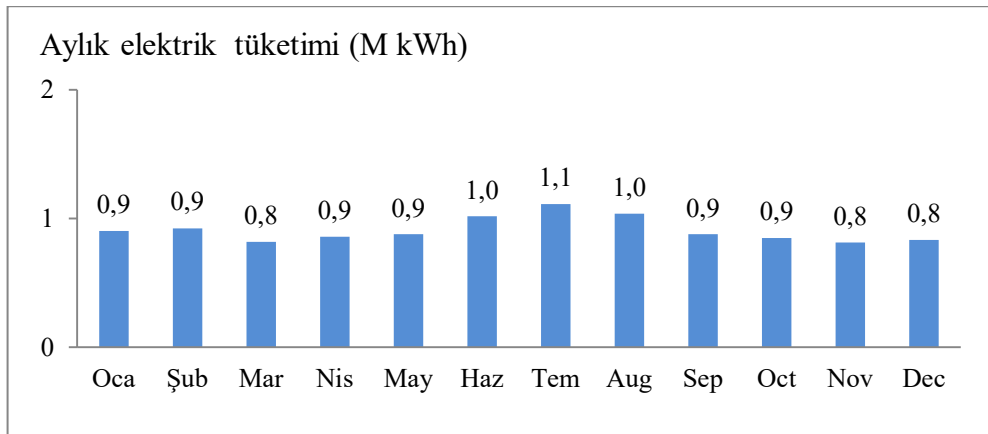
4.1. Uygulamanın Yapıldığı İşletmeye İlişkin Bilgiler

Çalışmaya konu olan işletme Marmara Bölgesinde otomotiv sektöründe faaliyet göstermektedir.

Tablo 4.1. Tesisin işletim alan

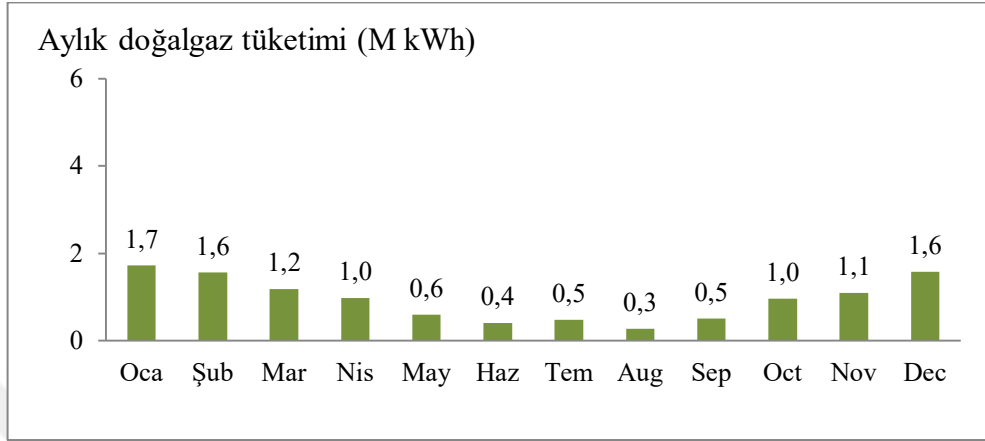
Arazi Tahsis Durumu	Alan (m ²)
Kapalı alan (üretim)	59,061
Kapalı alan (ofis ve sosyal alanlar)	1,250
Açık stok alanı ve lojistik alanı	10,117
Kullanım dışı yeşi alan	30,604
Kapalı ve açık alan toplamı	101,032

Tesis 60,311 m²'si kapalı ve 40,722 m²'si açık olmak üzere toplam 101,032 m² alan üzerinde kurulmuştur (Tablo 4.1.).



Şekil 4.1. İşletmenin elektrik tüketim profili

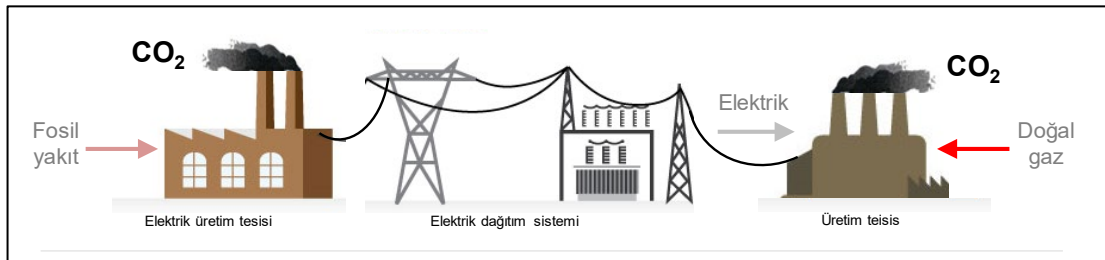
Haftada 6 gün ve 24 saat çalışma planına göre faaliyet göstermekte olan tesisin sayaç okumalarına göre tespit edilen aylık elektrik tüketim değerleri Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. İşletmenin doğal gaz tüketim profili

Yine tesisin doğalgaz sayacından alınan tüketim değerlerine göre hesaplanan aylık tüketim değerleri Şekil 4.2.'de gösterilmektedir.

Global sera gazı (GHG - Greenhouse Gas) protokolüne göre tüketilen elektrik ve doğalgaz kaynaklı sera gazı salınımları, tüketimin olduğu bölgede gerçekleşmekte ise bu salınımlar kapsam-1, tüketimin olduğu bölgeden farklı bir bölgede gerçekleşiyorsa kapsam-2 olarak sınıflandırıldığından, tesisin elektrik ve doğalgaz tüketimleri incelendiğinde iki farklı sınıflandırma karşımıza çıkmaktadır.



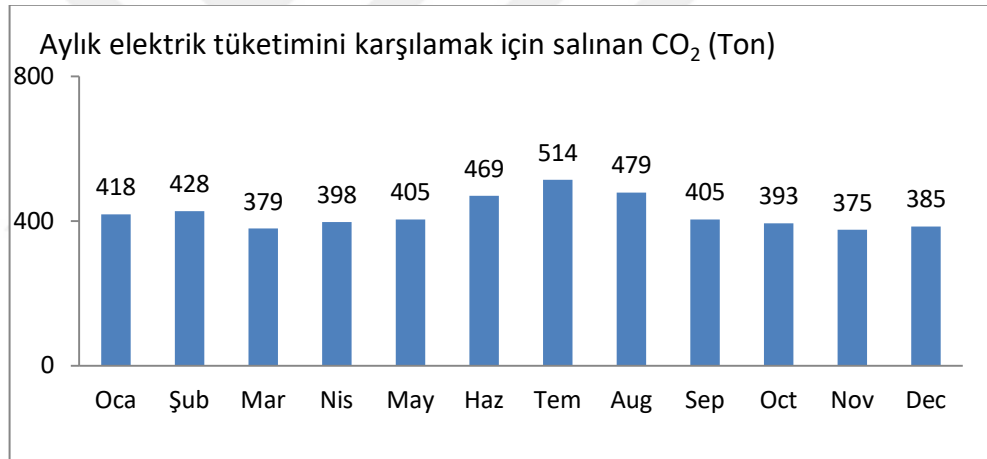
Şekil 4.3. İşletmenin enerji iletim durumu

Şekil 4.3.'de görüleceği üzere tesisin doğalgaz tüketimi, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak amacıyla tesis içerisinde gerçekleşen yakma işlemi kaynaklıdır. Yakmaya bağlı oluşan sera gazı salınımı tesis içerisinde yani yine tesisin bulunduğu bölgede

gerçekleştirdiğinden doğalgaz tüketimi sonucu oluşan karbondioksit salınımı kapsam-1 içerisinde değerlendirilmiştir.

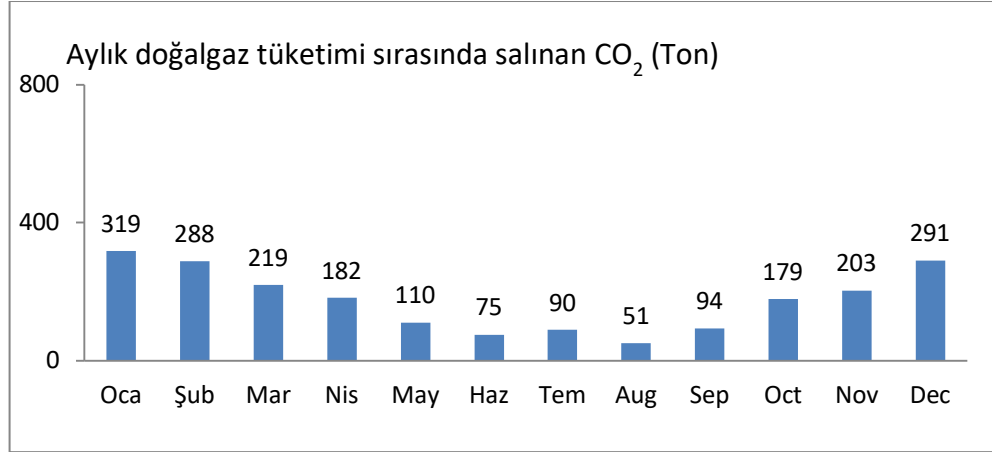
Elektrik tüketimi ise elektrik tedarikçilerinin, tesisin bulunduğu il dışındaki üreticilerden elektrik tedarik etmesi ve bu sebeple tesisin ihtiyaç duyduğu elektriğin üretilmesi sırasında diğer bölgelerde karbondioksit salınımı oluşturması sebebiyle kapsam-2 içerisinde değerlendirilmiştir.

Tesisin kapsam-1 ve kapsam-2 içerisinde değerlendirilen tüketimleri sonucu oluşan karbondioksitin hesaplanması amacıyla Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change) tarafından belirlenen karbondioksit dönüşüm oranları kullanılmıştır.



Şekil 4.4. İşletmenin elektrik tüketimine bağlı olarak salınan karbondioksit miktarı

İşletmenin elektrik tüketimine bağlı olarak gerçekleşen aylık karbondioksit salınım miktarları Şekil 4.4.'de verilmiştir. Buna göre yıllık toplam elektrik tüketimi kaynaklı karbondioksit salınımı 3,014 Ton/yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. İşletmenin doğal gaz tüketimine bağlı olarak salınan karbondioksit miktarı

İşletmenin doğalgaz tüketimine bağlı olarak gerçekleşen aylık karbondioksit salınım miktarları Şekil 4.5.'de verilmiştir. Buna göre yıllık toplam doğalgaz tüketimi kaynaklı karbondioksit salınımı 1,022 Ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Elektrik ve doğalgaz kullanımı kaynaklı karbondioksit salınımına bakıldığında toplam değer 4,036 Ton/yıl olarak hesaplanmıştır. İşletme yönetimi orta ve uzun vadeli karbondioksit salınımına yönelik stratejilerini belirlemek amacıyla, öncelikle yıllık salınımının %1'lik kısmını azaltmaya yönelik çalışma gerçekleştirmeyi hedeflemiştir. Buna göre azaltılması gereken miktar 40 Ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tesisin 40 Ton/yıl'lık karbondioksit salınımını azaltıp hedefine ulaşması için, direkt olarak bu miktarın ofset edilmesi veya bu miktar karşılık gelen tüketimin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması gerekmektedir.

Tablo 4.2. İşletmenin elektrik tüketimine bağlı olarak salınan karbondioksit

Yenilenebilir enerji kullanım noktası	CO ₂ azaltım miktarı ton/yıl	Katsayı Ton/kWh	kWh/ yıl enerji ihtiyacı
Elektrik	40	0.000560	71,428.6
Doğalgaz	40	0.000181	220,994.5

IPCC katsayılarına göre yenilenebilir enerji kaynağından sağlanması gereken miktarlar tablo 4.2.'de hesaplanmıştır. Buna göre yıllık olarak şebekeden temin edilen 70,428.6 kWh ya da doğalgaz santralinden elde edilen 22,994.5 kWh elektrik tüketiminin yıllık 40 ton CO₂ salınımını beraberinde getireceği anlaşılmaktadır.

4.2. Katılımcılara İlişkin Tanımlayıcı Bilgiler

Tablo 4.3. Araştırma Grubuna Ait Tanımlayıcı Bilgiler

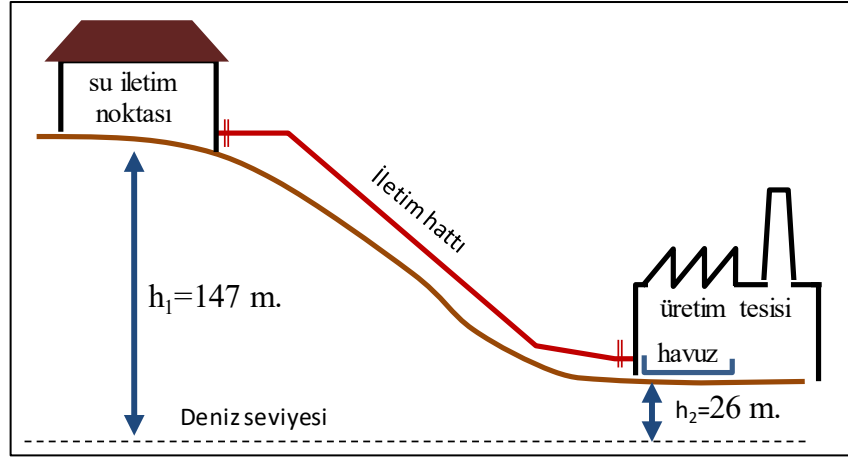
Katılımcı	Mesleği	İlgili Süreç	Görevi	Tecrübe (yıl)
1	İnşaat Mühendisi	Tesis İşletme	Yardımcı işletmeler yöneticisi	28
2	Elektrik Mühendisi		Yardımcı işletmeler elektrik ve mekanik grup sorumlusu	5
3	Elektrik Mühendisi	Çevre ve Enerji Yönetimi	Tesis enerji yöneticisi	7
4	Çevre Mühendisi		Çevre grup sorumlusu	9
5	Endüstri Mühendisi	Satınalma	Satınalma sorumlusu	11
6	İnşaat Mühendisi	Mühendislik ve Yatırım	İnşaat yatırımları grup sorumlusu	24
7	Makine Mühendisi		Mekanik yatırımlar grup sorumlusu	5
8	Elektrik Mühendisi		Elektrik yatırımlar grup sorumlusu	27

Tablo 4.3.'de görüldüğü üzere kriterleri belirlemeye ve ağırlıklandırmaya inşaat (2), elektrik (3), çevre (1), endüstri (1) ve makine (1) olmak üzere toplam 8 mühendis katılmıştır. Mühendislerin farklı pozisyonlarda görev aldıkları ve değişen iş tecrübesine sahip oldukları görülmektedir.

4.3. Alternatiflere İlişkin Bulgular

4.3.1. HES'e ilişkin hesaplamalar

Tesisin elektrik kaynaklı karbondioksit salınımını azaltmak amacıyla değerlendirebileceği alternatiflerden bir tanesi hidroelektrik santraldir (HES). Tesis, HES kurulumuna uygun akarsu, nehir gibi düşü oluşturabilecek bir kaynağın yakınında bulunmamasına rağmen tesisin ihtiyacı olan suyun iletimi sırasında oluşan kinetik enerjiden faydalanılabileceği düşünülmüştür.



Şekil 4.6. İşletmenin su iletim yapısı

Şekil 4.6.'da da resmedildiği üzere tesisin su tedarikçisi olan firma tarafından kullanılmakta olan su deposunun deniz seviyesinden yüksekliği 147 metre, tesisin deniz seviyesinden yüksekliği ise 26 metre olarak ölçülmüştür. Buna göre aradaki 121 metrelik yükseklik farkının sağlayacağı potansiyel güç çalışmanın 2.3.1 kısmında belirtien formüle göre hesaplanmıştır. Hesapta kullanılan debi bir günlük üretim faaliyeti için gerekli olan ve tesisin su sayacından okunan tüketim değerlerine göre oluşturulmuştur.

Tablo 4.4.'de ortaya konan ve debiye göre bulunan ortalama güç olan 10.353 kW ve tesisin yıllık toplam çalışma saati ile hesaplama yapılarak yıllık enerji üretim potansiyeli,

Enerji = Yıllık toplam çalışma saati x güç, formülüne göre

Enerji = 6912 saat/yıl x 10.353 kW = 71.559 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Üretilecek bu enerji miktarı ile sağlanacak maliyet tasarrufu ise,

Enerji maliyet = Üretilen enerji x birim fiyat, formülüne göre

Enerji maliyeti = 71.559 kWh/yıl x 0.06 €/kWh = 4,293 €/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.4. HES su kaynağının debisi ve kurulu gücü

Saat Aralığı		Saatlik debi		Saniyelik debi	Güç
Başlangıç	Bitiş	m3	m3		kW
0:00	-	1:00	51	0.014	11.037
1:00	-	2:00	45	0.013	9.739
2:00	-	3:00	43	0.012	9.306
3:00	-	4:00	39	0.011	8.440
4:00	-	5:00	40	0.011	8.657
5:00	-	6:00	45	0.013	9.739
6:00	-	7:00	42	0.012	9.090
7:00	-	8:00	49	0.014	10.604
8:00	-	9:00	51	0.014	11.037
9:00	-	10:00	45	0.013	9.739
10:00	-	11:00	49	0.014	10.604
11:00	-	12:00	41	0.011	8.873
12:00	-	13:00	42	0.012	9.090
13:00	-	14:00	48	0.013	10.388
14:00	-	15:00	44	0.012	9.522
15:00	-	16:00	49	0.014	10.604
16:00	-	17:00	51	0.014	11.037
17:00	-	18:00	46	0.013	9.955
18:00	-	19:00	49	0.014	10.604
19:00	-	20:00	39	0.011	8.440
20:00	-	21:00	38	0.011	8.224
21:00	-	22:00	48	0.013	10.388
22:00	-	23:00	44	0.012	9.522
23:00	-	24:00	48	0.013	10.388
Elde edilecek ortalama güç					10.353

Hesaplama Ocak 2019 aya ait TETAŞ (Türkiye Elektrik Ticaret A.Ş.) tarafından yayımlanan elektrik birim fiyatları ve aynı döneme ait T.C. Merkez Bankası efektif döviz kurları dikkate alınmıştır.

HES projesinin gerçekleştirilmesi için gerekli ilk yatırım maliyeti ise tüm disiplinler için ayrı hesaplanmıştır. Buna göre projenin bütçe fiyatı; inşaat 12,050 €, mekanik 21,560 € ve elektrik 7,312 € olmak üzere toplam 40,922 € olarak kabul edilmiştir.

Her ne kadar küçük ölçekli HES'ler tak unut sistemler olarak değerlendirilse de bir seferlik ilk yatırım maliyetine ilave olarak yıllık işletme bakım maliyeti öngörüsü yapılmıştır. Bu maliyet kalemi içerisinde 20 yıl kabul edilen sistem ömrü boyunca gerçekleştirilecek önleyici bakım ve işletme kontrol için gerekli malzeme ve adam saat maliyetlerinin ortalaması alınarak 650€/yıl tutarında harcama öngörülmüştür. Ana bakım ve arıza sonucu oluşacak tamir masrafları kapsam harici tutulmuştur.

HES türbini montajı ve ileride oluşacak tamir bakım ihtiyacını karşılayacak servis alanı için de şekil 4.6.'da gösterilen tesis içerisindeki havuzun girişinde 19 m² lik alan ihtiyacı ve 35 günlük uygulama süresi öngörülmüştür.

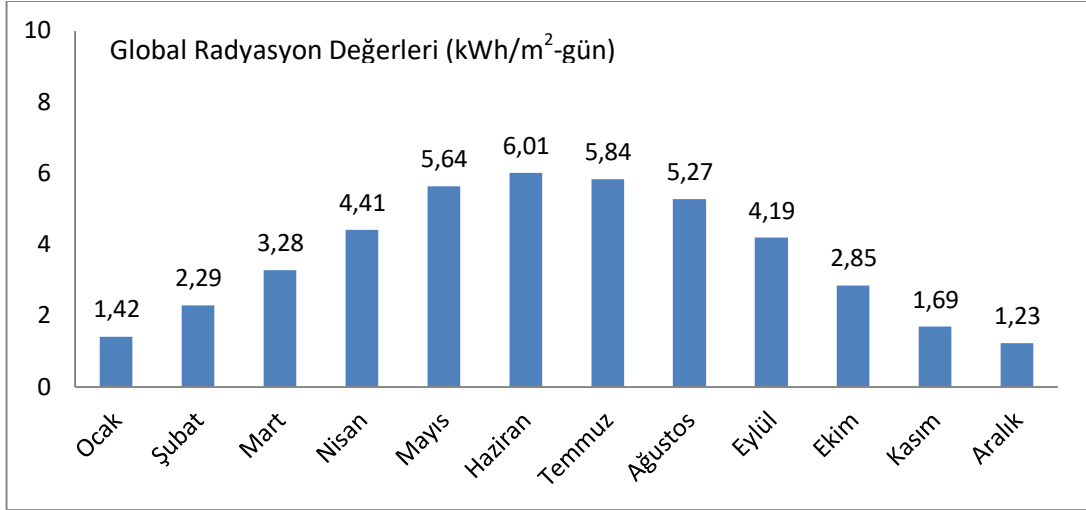
Sosyal etki ve adaptasyon kolaylığı ölçülebilir kriterler olmadığından proje ekibi tarafından puanlanarak değerlendirilmiştir. Proje ekibi küçük bir alanda yapılacak montajın kolaylığını ve gerekli donanımın azlığını dikkate alarak benzer yenilenebilir projelere göre adaptasyonun daha kolay, ancak sertifikasyona göre daha zor bir süreç olduğunu belirterek 5 üzerinden 4 puan vererek adaptasyon kolaylığını değerlendirmişlerdir.

Sosyal etki değerlendirmesinde HES'ler ile ilgili kamuoyunda yaygın olarak oluşan doğal ortama verdiği olumsuz etkiler düşünülmüş, bu projede benzer bir olumsuzluğun olmadığı bilinse de proje imajı açısından değerlendirilerek puanlama yapılmıştır. Buna göre HES diğer yenilenebilir enerji projeleri ve ağaç dikiminin de gerisinde kalarak 5 üzerinden 3 puan alabilmiştir.

4.3.2. GTE'ye ilişkin hesaplamalar

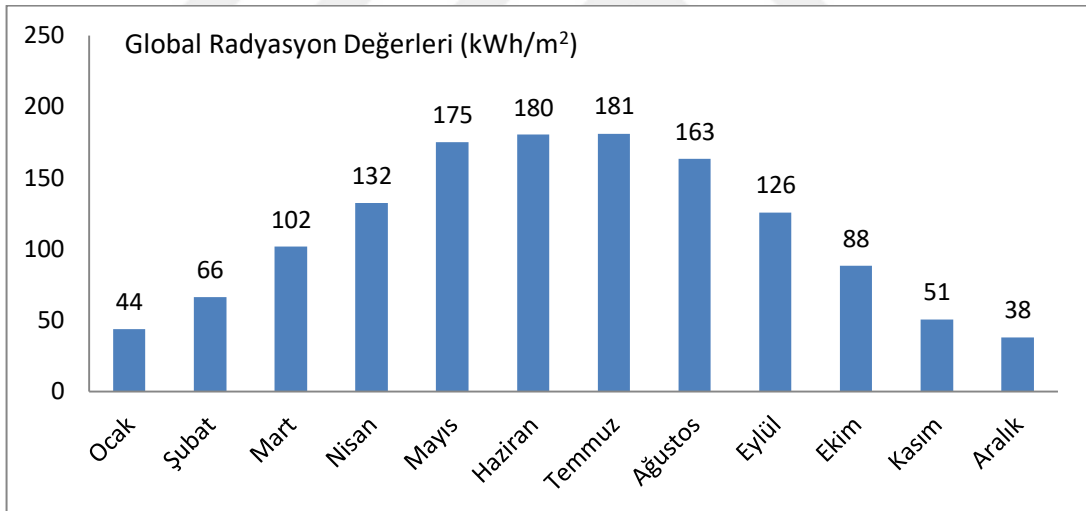
Tesisin karbondioksit salınım hedefine ulaşması için 220.995 kWh/yıl'lık doğalgaz tüketiminin güneş enerjisinden karşılanması gerektiği Tablo 4.2'de açıklanmıştır.

Bu enerji kazanımı için gerekli olan alan ve ihtiyaç duyulan panel adedi tesisin bulunduğu ilin radyasyon değerlerine ve panel üreticisi firmanın yayınladığı veri sayfasına göre hesaplanmıştır. Çalışmada bina çatıları ve genişleme alanlarına sistem kurulumu yapılabileceği düşünülmüştür.



Şekil 4.7. Tesisin bulunduğu ile ait aylık radyasyon değerleri (Kaynak : EİE)

Belirtilen aylık radyasyon değerlerinin (Şekil 4.7.) o aya ait gün sayısı ile çarpılması sonucu toplam potansiyel kazanım tespit edilmiştir



Şekil 4.8. Tesisin bulunduğu ile ait 1 m²'ye düşen aylık toplam potansiyel

Şekil 4.8.'de bu çarpım sonucu elde edilen 1 m² başına alınabilecek ışıınım miktarı gösterilmiştir. Buna göre yıllık toplam değer 1346,84 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Hesaplamanın geri kalan kısmında bu veriyi kullanarak kaç m²'lik alanda kaç adet panel ile hedeflenen enerjinin elde edilebileceği bulunmuştur.

Tablo 4.5. Tesisin bulunduğu ile ait 1 m² ye düşen aylık toplam potansiyel

Açıklama	Değer	Birim
Brüt panel ölçüsü	2.51	m ² /adet
Net panel ölçüsü (ışınım alanı)	2.33	m ² /adet
Optik verim	76%	-
Termal verim (bölge şartları için)	38%	-
Toplam panel verimi (optik verim x termal verim)	29%	

Panel üreticisi firmaya ait olan ve Tablo 4.5.'de yer alan toplam panel verimi panel yüzeyine düşen enerjinin ne kadarının sisteme aktarılabilceğini göstermektedir. Burada sisteme aktarılmasını istediğimiz enerji karbondioksit hedefine karşılık gelen miktar olduğundan eşitlik buna göre düzenlenmiştir.

Sisteme aktarılabilir enerji = Panel yüzeyine düşen enerji x Verim, formülüne göre
 Panel yüzeyine düşen enerji = 220.995 kWh/yıl / 29% = 765.218 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

765.218 kWh enerjinin mevcut ışıınım değerlerine göre kaç m² den alınabileceğini hesaplamak için ise, grafik 4.8 deki veriden faydalanılmıştır.

Panel yüzeyine düşen enerji = Işıınım miktarı x toplam ışıınım alanı, eşitliğinden
 Toplam ışıınım alanı = 765.218 kWh / 1.346,84 kWh/m²=568,15 m² olarak bulunmuştur.

Bu alana düşen panel sayısını bulmak için ise çalışmaya referans olan ürüne ait tablo 4.5'de verilen net panel ölçüsü (ışıınım alanı) değeri kullanılmıştır.

Toplam ışıınım alanı = Panel ışıınım alanı x Panel sayısı, eşitliğinden
 Panel sayısı = 568,15 m² / 2,33 m²/adet = 243,84 adet olarak bulunmuştur.

İhtiyaç duyulan 243,84 (yaklaşık 244) adet panelin kaplayacağı alan ise yine Tablo 4.5’de verilen toplam panel ölçüsü ile hesaplanmıştır.

Toplam alan = Panel ölçüsü (brüt) x Panel sayısı

Toplam alan = 2,51 m² /adet x 244 = 612,44 m² olarak bulunmuştur.

612,44 m² lik alan ihtiyacının karşılanması için çatı montajındaki konstrüksiyon işçiliğindeki zorluklara dikkat çekilerek tesis genişleme alanının sistem kurulumu için tahsis edilmesi düşünülmüştür. Montajı yapılacak 244 adet panelin ve yardımcı tesisatının tedarigi, mekanik ve elektrik montajların tamamlanması ve devreye alma süreci için 58 günlük iş planı öngörülmüştür.

Yukarıda bahsedilen iş kapsamının toplam bedeli 68.076 € olarak ilgili firma tarafından tekliflendirilmiş, sistemin işletilmesi ve bakımı için harcanacak malzeme ve adam saatin maliyeti yıllık ortalama 1.950 € olarak öngörülmüştür. Ana bakım ve arıza sonucu oluşacak tamir masrafları kapsam harici tutulmuştur. Söz konusu maliyetlerin yan ısıra üretilecek enerji ile sağlanacak maliyet tasarrufu,

Enerji maliyeti = Üretilen enerji x birim fiyat, eşitliğine göre

Enerji maliyeti = 220.995 kWh/yıl x 0,0203 €/kWh = 4,491 €/yıl olarak hesaplanmıştır. Hesaplama Ocak 2019 ayına ait BOTAŞ (Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş.) tarafından yayınlanan doğalgaz birim fiyatları ve aynı döneme ait T.C. Merkez Bankası efektif döviz kurları dikkate alınmıştır.

Sosyal etki ve adaptasyon kolaylığı ölçülebilir kriterler olmadığından proje ekibi tarafından puanlanarak değerlendirilmiştir. Proje ekibi geniş bir alanda yapılacak çalışmaları, uygulama süresini dikkate alarak mevcut altyapı ile evlendirilmesinde yaşanacak zorluklara dikkat çekmiş, tesiste çalışmakta olan mekanik işlerden sorumlu personelin yetkinlik seviyesini de göz önüne alarak adaptasyon kolaylığını 5 üzerinden 3 puan vererek değerlendirmişlerdir. Sosyal etkide ise pozitif toplumsal algıya sahip olan yenilenebilir güneş projelerinin, ağaç dikimi gibi somut etkisi bulunmadığı kanaati baskın olduğundan 5 üzerinden 4 puan vererek değerlendirmişlerdir.

4.3.3. GES'e ilişkin hesaplamalar

Şirketin elektrik tüketimi kaynaklı karbondioksit salınımını düşürerek hedefine ulaşması için HES dışında kullanılabilecek diğer bir alternatif de GES yani Güneş Enerjisi Sistemidir.

GES sistemlerindeki panel kapasiteleri belirlenirken standart test koşullarındaki değerleri referans alınmakta ve bu standarda göre m^2 'ye düşen 1 kW güneş ışınlamında ölçülen değeri kWp olarak belirtilmektedir. Bu nedenle GTE seçiminde belirtilen yıllık toplam $1.346 \text{ kWh}/m^2$ bölgesel ışınlam değeri GES çalışmasında $1.346 \text{ kWh}/kWp$ olarak ifade edilmiştir.

Tesisin karbondioksit azaltım hedefine ulaşması için elektrik üretimi yapacak yenilenebilir enerji kaynağından sağlanması gereken enerji Tablo 4.2'de belirtildiği üzere yıllık $71.428,76 \text{ kWh}$ 'dir. Bu enerjinin üretilmesi için mevcut ışınlam seviyesinde ihtiyaç duyulan GES panel kapasitesi

Üretilen enerji = Işınlam miktarı x panel kapasitesi, eşitliğinden

Panel kapasitesi = $71.428,76 \text{ kWh} / 1.346 \text{ kWh}/kWp = 53 \text{ kWp}$ olarak bulunmuştur.

$53 \text{ kWp} = 53.000 \text{ Wp}$ toplam panel kapasitesini karşılamak amacıyla çalışmada referans alınan ve her biri 310 Wp güç üreten panellerden toplam 171 adet kullanılması gerektiği hesaplanmıştır.

Montajı yapılacak 171 adet panelin ve yardımcı tesisatının tedariki, mekanik ve elektrik montajların tamamlanması ve devreye alma süreci için 69 günlük iş planı öngörülmüştür. 171 panelin montajı için gerekli toplam alan ise panel üreticisi firmanın veri sayfasında belirtilen birim panel ölçüsü olan $1,632 \text{ m}^2$ üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam alan = Panel ölçüsü x Panel sayısı

Toplam alan = $1,63 \text{ m}^2 / \text{adet} \times 171 \text{ adet} = 278,20 \text{ m}^2$ alan ihtiyacı bulunmuştur.

278,20 m² lik alan ihtiyacının karşılanması için GTE projesinde olduğu gibi çatı montajındaki konstrüksiyon işçiliğindeki zorluklara dikkat çekilerek tesis genişleme alanının sistem kurulumu için tahsis edilmesi düşünülmüştür.

Kurulacak sistemin maliyeti ilgili firmalardan alınan teklifler referans alınarak Panel ve evirici için 22.547 €, mekanik montaj için 8.850 €, yardımcı tesisat ve kablolama için 11.250 €, mühendislik-proje ve gerekli izinlerin alınması için ise 4.306 € olmak üzere toplamda 47.853 € olarak fiyatlandırılmıştır. Sistemin işletilmesi ve bakımı için harcanacak malzeme ve adam saatin maliyeti yıllık ortalama 2.550 € olarak öngörülmüştür. Ana bakım ve arıza sonucu oluşacak tamir masrafları kapsam harici tutulmuştur. Söz konusu maliyetlerin yanı sıra üretilecek enerji ile sağlanacak maliyet tasarrufu,

Enerji maliyet = Üretilen enerji x birim fiyat, formülüne göre

Enerji maliyeti = 71.428 kWh/yıl x 0.006 €/kWh = 4,264 €/yıl olarak hesaplanmıştır.

Hesaplama Ocak 2019 ayna ait TETAŞ (Türkiye Elektrik Ticaret A.Ş.) tarafından yayınlanan elektrik birim fiyatları ve aynı döneme ait T.C. Merkez Bankası efektif döviz kurları dikkate alınmıştır.

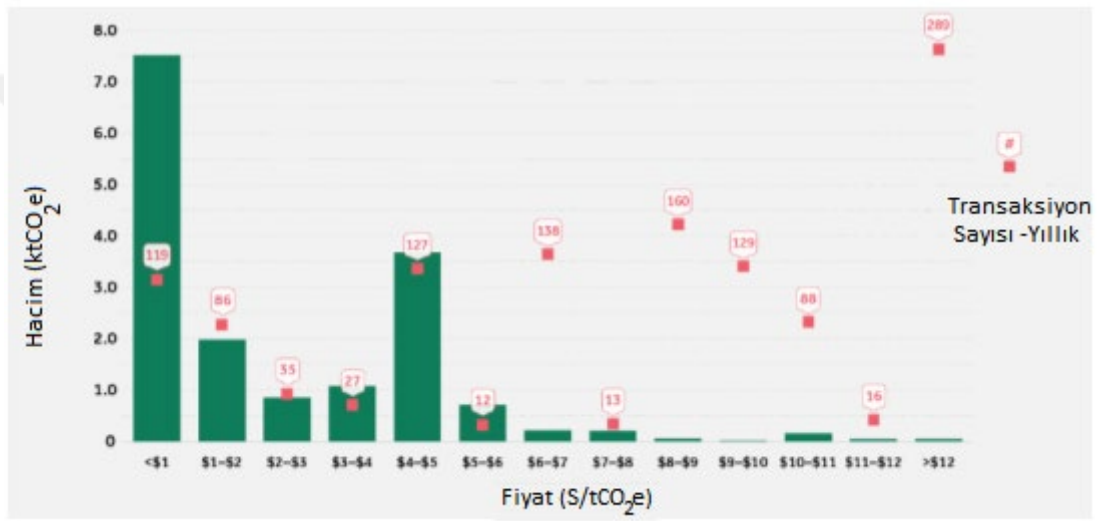
GES için yapılan sosyal etki değerlendirmesi, diğer güneş kaynaklı yenilenebilir enerji projesi olan GTE de olduğu gibi 5 üzerinden 3 puan almıştır. Adaptasyon kolaylığı ile ilgili değerlendirmede yine GTE'ye benzer olarak geniş bir alanda yapılacak çalışmalar, uygulama süresi dikkate alınmış ilave olarak mevcut altyapı revizyonları ve elektrik dağıtım şirketi nezdinde takip edilecek izin süreci de dikkate alınarak 5 üzerinden 2 puan ile değerlendirme sonuçlanmıştır.

4.3.4. Sertifikasyona ilişkin hesaplamalar

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile karbondioksit salınımının düşürülmesine ilave olarak belgelendirme yolu ile karbon ofsetleme konusuna da çalışmada yer verilmiştir.

Karbon sertifikası olarak karbon ofsetleme yönteminde ilk yatırım maliyeti için karbon veritabanına yapılacak bir seferlik kayıt işlemi için ödenecek tutar 120 € olarak belirlenmiştir.

Aylık ofset edilecek karbondioksit miktarına karşılık gelen maliyet işletme-bakım başlığı altında değerlendirilmiştir. Birim kilogram başına maliyet hesabı yapılırken Ekosystem Marketplace örgütü tarafından yapılan anket sonuçlarından faydalanılmıştır.



Şekil 4.9. Karbon ofset miktarı ve fiyata göre gerçekleşen transaksyon sayıları (Ocak-Mart 2018) (Ekosystem Marketplace Survey 2018)

Ocak 2018 – Mart 2018 tarihleri arasındaki (Şekil 4.9.) gönüllü karbon sertifikasyonlarının analizlerine göre, toplam 18,7 M Ton karbondioksit eşleniği hareket gerçekleşmiş ve ortalama birim fiyat 2,4 \$/Ton olarak hesaplanmıştır. Bu birim fiyatın T.C. Merkez Bankası Efektif döviz kurlarına göre karşılığı 2,14 €/Ton dur.

Karbon ofset maliyeti = Yıllık karbon ofset miktarı x Birim fiyat

Karbon ofset maliyeti = 40 Ton/yıl x 2,14 €/Ton = 85,6 €/yıl olarak bulunmuştur.

Sertifikasyon süreci yaklaşık 3 iş günü olarak öngörülmüş, adaptasyon kolaylığı mevcut altyapıda ve şirket işleyişinde değişiklik yapılmayacağı için 5 üzerinden 5

puan almıştır. Kapsam-1 ve kapsam-2 içerisindeki salınımlara somut bir etkisi olmayacağı için proje ekibinin sosyal etkiye yönelik değerlendirmesi 5 üzerinden 2 puan ile sınırlı kalmıştır.

4.3.5. Ağaçlandırmaya ilişkin hesaplamalar

Ağaçlandırmanın en yaygın karbon azaltım yöntemi olduğu ve ağaçların yetişkin hale geldikten sonra karbon salınımına yönelik katkı sağladığı bilinmektedir. Bu nedenle çalışmada yetişkin ağaçların tesis sahasına nakilleri ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Yetişkin ağaç taşıma

Ağaç cinsi ile ilgili seçim yapılırken karbondioksit salınımının süreklilik arz etmesi amacıyla yaz kış yeşil kalan ve Marmara bölgesinde yaygın olarak bulunan iğne yapraklı kızılçam cinsi ağaç üzerinde inceleme yapılmıştır.

Sun ve arkadaşlarının (1980), Kızılçam için hazırladığı modelde, ortalama 15 cm çapındaki bir ağacın kütlesi incelenmiştir (Tablo 4.6.);

Tablo 4.6. Ağaç toplam biyokütle kırılımı

	Toprak üstü ağaç kütlesi	Gövde kütlesi	Dal kütlesi	Yaprak kütlesi	Toplam ağaç kütlesi
Kızılçam (Pinus brutia)	59,3 kg.	47,7 kg.	9,0 kg.	2,0 kg.	118.1 kg.

Buna göre toplam ağaç kütlesi 118,1 kg olarak bulunmuştur. Uluslararası arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık (LULUCF-Land use, land use-change and forestry) verilerine göre ağaç kütlesi %51'i kadar karbon konsantrasyonu bulundurduğundan çalışmada referans alınan ağaç için bir yılda,

Karbon miktarı (kg) = Ağaç biokütlesi (kg) x Karbon konsantrasyonu

Karbon miktarı (kg) = 118,1 kg x 0.51 = 60,23 kg karbon'u atmosferden aldığı hesaplanmıştır.

Molekül ağırlık oranına göre (44/22) karbonu karbondioksit'e dönüştürdüğümüzde 60,23 kg karbon x 44 / 22 = 220,8 kg/yıl karbondioksit salınımını önlediği hesaplanmıştır. Bu miktara göre,

İhtiyaç duyulan ağaç adedi = 40.000 kg/yıl karbondioksit / 220,8 kg/yıl ağaç,

İhtiyaç duyulan ağaç adedi = 181 ağaç olarak bulunmuştur.

Bu ağaçların dikimi için tesis sınırları içerisindeki alanın kullanılması ve x-y ekseninde 3'er metre aralıklarla dikilmesi planlanmış, buna göre tesis içerisinde ihtiyaç duyulan alan yaklaşık 1.630 m² olarak belirlenmiştir.

Alanın hazırlığı, ağaçların OGM ile koordineli olarak sökülmesi, nakliyesi ve dikimi için öngörülen bütçe ise 200 €/ağaç öngörüsü ile 36.200 € , gerekli süre ise 120 gün olarak belirlenmiştir. Bu alanın işletme-bakım giderleri için 500 €/yıl öngörülmüştür.

Ağaçlandırma sonucu enerji maliyetlerinde düşüş olmayacağı gibi 36,5 €/yıl 1000 adet aydınlatma ve makine ekipman kaynaklı tüketim artışı olacağı öngörülmüştür.

Ağaçlandırmanın kültürel geçmişi ve somut toplumsal algısı düşünülerek sosyal etkide 5 tam puan, ilk kurulum sürecindeki zorlukları dikkate alınarak adaptasyon kolaylığında 5 üzerinden 4 puan ile değerlendirilmiştir.

4.4. AHP Uygulamasına İlişkin Bulgular

AHP uygulamasında kullanılan kriterler, gösterge kodları, amaçları ve birimleri Tablo 4.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Kriterler, gösterge kodları ve birimler

	Kriter	Amaç	Birim
İYM	İlk Yatırım Maliyeti	Minimizasyon	€
İBM	İşletme bakım maliyeti	Minimizasyon	€/Yıl
EK	Enerji kazancı	Maksimizasyon	€/Yıl
US	Uygulama süresi	Minimizasyon	Gün
AK	Adaptasyon kolaylığı	Maksimizasyon	Birimsiz
Aİ	Alan ihtiyacı	Minimizasyon	m ²
SE	Sosyal etki	Maksimizasyon	Birimsiz

Yapılan yüzyüze görüşmeler ile elde edilen anket sonuçları ile ikili karşılaştırma, AHP matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 4.8. AHP karar matrisi

	İYM	İBM	EK	US	AK	Aİ	SE
İlk yatırım maliyeti	1.0	0.50	0.50	4.00	3.00	1.00	0.50
İşletme bakım maliyeti	2.0	1.0	0.3	2.0	3.0	2.0	0.3
Enerji kazancı	2.0	3.0	1.0	5.0	4.0	5.0	1.0
Uygulama süresi	0.3	0.5	0.2	1.0	0.50	0.5	0.1
Adaptasyon kolaylığı	0.3	0.3	0.3	2.0	1.0	0.5	0.2
Alan ihtiyacı	1.0	0.5	0.2	2.0	2.0	1.0	0.2
Sosyal etki	2.0	3.0	1.0	7.0	6.0	5.0	1.0
Sütun toplamı	9	9	3	23	20	15	3

AHP karar matrisi incelendiğinde kriterler arasında yer alan sosyal etki ve enerji kazancının diğer tüm kriterlere göre en önemlileri, uygulama süresinin ise önemsiz kriter olarak ortaya çıktığı görülmüştür (Tablo 4.8.).

Tablo 4.9. Normalize edilmiş AHP matrisi ve kriter ağırlıkları

	İYM	İBM	EK	US	AK	Aİ	SE	ÖV (x)
İlk yatırım maliyeti	0.117	0.057	0.144	0.174	0.154	0.067	0.150	0.123
İşletme bakım maliyeti	0.233	0.113	0.096	0.087	0.154	0.133	0.100	0.131
Enerji kazancı	0.233	0.340	0.287	0.217	0.205	0.333	0.299	0.274
Uygulama süresi	0.029	0.057	0.057	0.043	0.026	0.033	0.043	0.041
Adaptasyon kolaylığı	0.039	0.038	0.072	0.087	0.051	0.033	0.050	0.053
Alan ihtiyacı	0.117	0.057	0.057	0.087	0.103	0.067	0.060	0.078
Sosyal etki	0.233	0.340	0.287	0.304	0.308	0.333	0.299	0.301

AHP karar matrisinin oluşturulmasının ardından A matrisindeki her hücre sütun toplamına bölünerek normalize edilmiş ve satır ortalamaları alınarak kriter ağırlıkları (öncelik vektörü $\hat{O}V(x)$) hesaplanmıştır (Tablo 4.9.).

Sonrasında $A(x)$ vektörü hesaplanarak λ_{max} bulunmuş ve tutarlılık analizi yapılmıştır. Buna göre tutarlılık oranı (TO) 0.0332 olarak bulunmuştur. Tutarlılık oranı %10'dan düşük yani $TO < 0.1$ şartını sağladığından matrisin tutarlı olduğu görülmüştür.

4.5. Moora Uygulamalarına İlişkin Bulgular

Moora yönteminin uygulanması için öncelikle her alternatifin ilgili kritere karşılık gelen değerleri alınarak karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 4.10. Moora karar matrisi

Amaç	Min	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Birim	€	€/Yıl	€/Yıl	Gün	-	m ²	-
Kriter	İYM	İBM	EK	US	AK	Aİ	SE
GES	47853	2550	4287	69	2	278	4
GTE	68076	1950	4491	58	3	612	4
HES	40922	650	4293	35	4	19	3
Sertifikasyon	120	86	0.0	3	5	0.0	2
Ağaçlandırma	36200	500	-36.5	120	4	1632	5

Karar matrisini oluşturan veriler çalışmanın 4.3 kısmında belirtilen, bölgede kullanılması mümkün olan yenilenebilir enerji kaynakları ve diğer karbondioksit sıfırlama yöntemlerinin analizleri ile elde edilmiştir (Tablo 4.10.).

Tablo 4.11. Moora karar metrisinin normalize işlemi

Amaç	Min	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Birim	€	€/Yıl	€/Yıl	Gün	-	m ²	-
Kriter	İYM	İBM	EK	US	AK	Aİ	SE
GES	2289909609	6502500	18378369	4761	4	77284	16
GTE	4634341776	3802500	20169081	3364	9	374544	16
HES	1674610084	422500	18429849	1225	16	361	9
Sertifikasyon	14400	7396	0	9	25	0	4
Ağaçlandırma	1310440000	250000	1332	14400	16	2663424	25
Kareler toplamı	9909315869	10984896	56978631	23759	70	3115613	70
Karekök	99545.5	3314.3	7548	154.1	8.4	1765	8

Karar matrisi oluşturulduktan sonra karar matrisinin normalizasyonuna geçilmiştir. Bunun için öncelikle tüm sütunların kareleri alınmış ve kareler toplamının karekökü hesaplanmıştır (Tablo 4.11.).

Tablo 4.12. Moora normalize edilmiş karar matrisi

Amaç	Min	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Birim	€	€/Yıl	€/Yıl	Gün	-	m ²	-
Kriter	İYM	İBM	EK	US	AK	Aİ	SE
GES	0.481	0.769	0.568	0.448	0.239	0.158	0.478
GTE	0.684	0.588	0.595	0.376	0.359	0.347	0.478
HES	0.411	0.196	0.569	0.227	0.478	0.011	0.359
Sertifikasyon	0.001	0.026	0.000	0.019	0.598	0.000	0.239
Ağaçlandırma	0.364	0.151	-0.005	0.779	0.478	0.924	0.598

Daha sonra karar matrisindeki sütun değerleri o sütuna ait kareler toplamının kareköküne bölünerek (Tablo 4.12.'de yer alan karekök KT değerleri) normalize edilmiş karar matrisi elde edilmiştir.

4.5.1. Moora oran metoduna ilişkin bulgular

Oran metodunun uygulanması için öncelikle ağırlıklandırılmış karar matrisinin oluşturulması gerekmektedir.

Tablo 4.13. Tablo kriter ağırlıkları

	İYM	İBM	EK	US	AK	Aİ	SE
Kriter ağırlıkları	0.123	0.131	0.274	0.041	0.053	0.078	0.301

Ağırlıklandırılmış karar matrisi, AHP yöntemi ile belirlenmiş kriter ağırlıkları ile normalize edilmiş karar matrisi çarpımı ile elde edilmiştir (Tablo 4.13.).

Tablo 4.14. Ağırlıklandırılmış karar matrisi

Amaç	Min	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
Birim	€	€/Yıl	€/Yıl	Gün	-	m2	-	$\Sigma \max - \Sigma \min$	Max Sıra
Kriter	İYM	İBM	EK	US	AK	Aİ	SE		
GES	0.059	0.101	0.155	0.018	0.013	0.012	0.1437	0.239	3
GTE	0.084	0.077	0.163	0.015	0.019	0.027	0.1437	0.290	2
HES	0.051	0.026	0.156	0.009	0.025	0.001	0.1078	0.303	1
Sertifikasyon	0.000	0.003	0.000	0.001	0.032	0.000	0.0719	0.099	5
Ağaçlandırma	0.045	0.020	-0.001	0.032	0.025	0.072	0.1796	0.124	4

Ağırlıklandırılmış karar matrisi tamamlandıktan sonra tüm satır değerleri amaç fonksiyonuna göre toplanır ve çıkartılır. Elde edilen sonuç ($\Sigma \max - \Sigma \min$) en büyük değerden en küçük değere göre sıralanır. Böylelikle Moora Oran Metoduna göre sıralama oluşturulmuştur (Tablo 4.14.). Bu yöntemle işlemler tamamlandığında hidroelektrik santral kurulumu birinci, güneş termal enerjinin ikinci, güneş enerjisi santralının üçüncü olduğu görülmüştür. Diğer karbondioksit sıfırlama yöntemlerinden ağaçlandırma dördüncü, sertifikasyon ise beşinci en uygun çözüm olarak belirlenmiştir.

4.5.2. Moora referans noktası metoduna ilişkin bulgular

Bu metotta öncelikle her kriter için amaç maksimizasyon ise maksimum, minimizasyon ise minimum noktalar referans olarak belirlenir.

Tablo 4.15. Referans noktaları

	İYM	İBM	EK	US	AK	Aİ	SE
	Min	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Referans noktası	0.000	0.003	0.163	0.001	0.032	0.000	0.180

Buna göre ağırlıklandırılmış karar matrisindeki sütunlara ait referans değerler, her sütundaki amaç fonksiyonuna uygun olarak Tablo 4.15.'de gösterildiği şekilde belirlenmiştir.

Daha sonra ağırlıklandırılmış karar matrisindeki sütun değerleri ile o sütuna karşılık gelen referans değer arasındaki farklar alınmış ve referans noktası matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 4.16. Moora referans noktası matrisi

	Min	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
	€	€/Yıl	€/Yıl	Gün	-	m ²	-	Max	Min Sıra
	İYM	İBM	EK	US	AK	Aİ	SE		
GES	0.059	0.097	0.007	0.018	0.019	0.012	0.036	0.0973	3
GTE	0.084	0.074	0.000	0.015	0.013	0.0271	0.0359	0.0839	2
HES	0.050	0.022	0.007	0.009	0.006	0.001	0.072	0.0719	1
Sertifikasyon	0.000	0.000	0.163	0.000	0.000	0.0000	0.1078	0.1627	4
Ağaçlandırma	0.045	0.016	0.164	0.031	0.006	0.072	0.000	0.1641	5

Referans noktası matrisindeki satır değerlerinin en büyüğü belirlendikten sonra, en büyük satır değerleri arasında sıralama yapılmıştır (Tablo 4.16). Buna göre Moora Oran metodundaki sıralamaya paralel olarak hidroelektrik santral kurulumunun birinci sırada yer aldığı görülmüştür. Bu metotta da güneş termal enerjinin ikinci, güneş enerjisi santralinin üçüncü olduğu görülmüştür. Diğer karbondioksit sıfırlama yöntemlerinden sertifikasyon dördüncü, ağaçlandırma ise beşinci en uygun çözüm olarak belirlenmiştir.

4.5.3. Moora tam çarpım metoduna ilişkin bulgular

Tablo 4.17. Moora tam çarpım matrisi (1/2)

	Min	Min	-	Max	-	Min	-
	-	€/Yıl	-	€/Yıl	-	Gün	-
	İYM	İBM	1 / 2	EK	2.1 x 3	US	3'/4
	1	2	2'	3	3'	4	4'
GES	47853	2550	18.766	4287.0	80449.3	69	1165.9
GTE	68076	1950	34.911	4491.0	156784.3	58	2703.2
HES	40922	650	62.957	4293.0	270274.1	35	7722.1
Sertifikasyon	120	86	1.395	0.0	0.0	3	0.0
Ağaçlandırma	36200	500	72.400	-36.5	-2642.6	120	-22.0

Moora çarpım metodunda, normalize edilmemiş karar matrisindeki değerler kriterlerin amacına göre; amaç maksimizasyon ise çarpma, minimizasyon ise bölme işlemi ilk kriterden son kriterre kadar sıralı olarak gerçekleştirilmiş ve tam çarpım matrisi elde edilmiştir (Tablo 4.17.).

Tablo 4.18. Moora tam çarpım matrisi (2/2)

	Max	-	Min	-	Max	-	
	-	-	m ²	-	-	-	Sıra
	AK	4' x 5	Aİ	5' / 6	SE	6' x 7	-
	5	5'	6	6'	7	7'	-
GES	2	2332	278.0	8.388	4.0	33.552	3
GTE	3	8110	612.0	13.251	4.0	53.003	2
HES	4	30888	19.0	1625.709	3.0	4877.126	1
Sertifikasyon	5	0	0.0	0.000	2.0	0.000	4
Ağaçlandırma	4	-88	1632.0	-0.054	5.0	-0.270	5

En son işlem sonucunda elde edilen 7' değerine göre en büyükten en küçüğe doğru sıralamada hidroelektrik santral kurulumunun birinci, güneş termal enerjinin ikinci ve güneş elektrik santralının üçüncü en uygun çözüm olarak belirlendiği görülmüştür (Tablo 4.18.).

4.6. Multi Moora Uygulamasına İlişkin Bulgular

Çalışmanın 2.5.2. kısmında paylaşılan moora yönetim diagramında gösterildiği üzere oran metodu, referans noktası metodu ve tam çarpım formu ile elde edilen sonuçlar en son sıra baskınlık teorisinden yararlanılarak yeniden sıralanmış ve multimoora sonucu elde edilmiştir.

Tablo 4.19. Multi-Moora sonuç tablosu

	Oran Metodu	Referans Noktası Metodu	Tam Çarpım Metodu	Multimoora
GES	3	3	3	3
GTE	2	2	2	2
HES	1	1	1	1
Sertifikasyon	5	4	4	4
Ağaçlandırma	4	5	5	5

Buna göre tüm moora uygulamalarında birinci sıraya sahip olan alternatifin HES, ikincinin GTE ve üçüncünün GES olduğu görülmüştür. Üç uygulamanın ikisinde sertifikasyon dördüncü, ağaçlandırma ise beşinci sırada çıkmıştır (Tablo 4.19.).

BÖLÜM 5. TARTIŞMA

Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden AHP ve Multimoora kullanılmış ve CO₂ indirimi konusundaki tartışmaların merkezinde olan otomotiv sektörü mercek altına alınmıştır. Çünkü otomotiv sektörünün bütün süreçlerinde CO₂ indirimi firmaların işletme politikalarının merkezinde yer almaktadır ve firmalar sürecin her aşamasında CO₂ salınımını minimize etmek için tedbirler geliştirmektedirler.

Castro ve Parreiras (2018) yapmış oldukları çalışmalarında ÇKKV'nin uygulandığı otomotiv endüstrisine odaklanarak geniş bir literatür taraması yapmış ve ÇKKV'nin otomotiv endüstrisindeki çok çeşitli alanlara başarıyla uygulandığını tespit etmişlerdir. Mühendislik tasarımında en sık kullanılan araştırma alanlarının başında çevre ve tedarik zincirinin geldiğini saptamışlardır. Araştırmacılar çalışmada enerji verimliliğine odaklanırken otomotiv sektörünün birçok alanının ÇKKV kapsamında araştırılmadığını ve araştırma yelpazesinin oldukça geniş olduğunu vurgulamışlardır. Nitekim ortaya konan çalışmada otomotiv sektörünün üretim sürecindeki CO₂ salınımının aşağı çekilmesi konu edilmiş ve geniş bir alternatif yelpazesi oluşturulmuştur. Yine Siksnelyte ve arkadaşları (2018) yapmış oldukları çalışmalarında çevre ve iklim değişikliği ile ilgili dünyada büyük endişe duyulduğunu, enerji sektörünün çeşitli stratejiler ve uluslararası sözleşmeler kullanarak değişimlerin arandığı ana alanlardan biri olduğunu vurgulamışlardır. Bu nedenle, düşük karbonlu bir ekonominin geliştirilmesinde makul kararlar almak için en doğru ve ileri metodolojileri arayan, sürdürülebilir enerji meselelerine bilimsel düzeyde giderek daha fazla çözüm arandığına dikkat çekmişlerdir. Sürdürülebilir enerji geliştirme sorunları ile başa çıkmak ve CO₂ salınımına çare bulmak için ÇKKV yöntemlerinin kullanımının son zamanlarda gittikçe daha popüler hale geldiğini ve bu türden geçmiş yıllara yönelik çalışmaların bu alanda yapılan tüm çalışmaların yarısından fazlasını temsil ettiğini belirtmişlerdir. Bulanık kümeler,

AHP, TOPSIS ve PROMETHEE gibi metotların ise yaygın olarak kullanıldığına dikkat çekmişlerdir.

Literatür incelendiğinde daha önce hiçbir çalışmanın otomotiv sektöründe enerji arzı ve CO₂ azaltımı gibi konuları bir bütün halinde tartışmaya açmadığı görülmüştür. Ortaya konan çalışmada örnek bir otomotiv sektöründe enerji arzı ve CO₂ salınımı arasındaki korelasyon tartışmaya açılmış ve ÇKKV konuyu açıklamada bir metot olarak kullanılmıştır. Bu çerçevede bir dizi alternatifler ve kriterler belirlenmiştir. CO₂ salınımını minimize etmek için oluşturulan alternatifler bir bütün halinde üç başlık altında toplanmaktadır. Birincisi enerji arzından kaynaklı CO₂ salınımlarını aşağı indirmektir ve yenilenebilir enerji kaynakları birer alternatif olarak listelenmiştir. İkincisi doğrudan CO₂ seviyesini düşürmeye yönelik olarak geliştirilen tedbirlerdir ki burada ağaç dikimi bir alternatif olarak mercek altına alınmıştır. Üçüncüsü ise dolaylı olarak CO₂ seviyesini düşürmeye yönelik yapılan çalışmalara dahil olmaktır ki burada sertifikasyon satın alımı bir alternatif olarak değerlendirilmiştir. Alternatifler ise bazı kriterlere göre aşamalı olarak değerlendirilmiştir. Bu kriterler ilk yatırım maliyeti, işletme bakım maliyeti, enerji maliyeti, uygulama süresi, adaptasyon kolaylığı, alan ihtiyacı ve sosyal etki olarak belirlenmiştir.

Antunes ve Oliveira (2014) aynı paralelde ÇKKV modellerinin ve yöntemlerinin en aktif ve heyecan verici uygulama alanlarından biri olarak enerji arzına ilişkin konuları görmüşler ve enerji arzına ilişkin farklı alternatiflerin ÇKKV ile daha doğru açıklanabileceğini ifade etmişlerdir.

Phdungsilp ve Wuttiornpun (2013) da çalışmalarında Tayland'da endüstriyel işletmelerde enerji arzını konu etmişler ve ÇKKV yöntemlerinden AHP ve Web-HIPRE (Hierarchical PReference analysis on the World Wide Web) yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmalarında enerji arz çeşitlerinden olan kömür santrallerin en çok CO₂ salınımına neden olan enerji arz çeşidi olduğunu vurgulamışlardır. Farklı enerji arz çeşitlerine yönelmenin ve enerji tasarrufunun CO₂ emisyonlarında yüksek oranlarda düşüşlere neden olabileceğini vurgulamışlardır.

Wimmler ve arkadaşları (2015) adalardaki yenilenebilir enerji sistemlerini inceledikleri çalışmalarında enerjinin depolanması ve oluşan iş gücünün yanı sıra CO₂ azaltımını bir kriter olarak belirlemişlerdir. Çalışmanın sonunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin sadece çevreci bir yaklaşım olmayacağı enerji ithal eden ülkeler için de ekonomik bir kazanç olduğu belirtilmiştir.

Marmara Bölgesinde işletimde olan bir otomotiv sektöründe CO₂ azaltımına yönelik en uygun yöntemin ÇKKV ile belirlenmesi konulu bu çalışmada, bütün kriterler çerçevesinde tüm moora uygulamalarında birinci sıraya sahip olan alternatifin HES olduğu ortaya çıkmıştır. Uygulamaların üçünde de GTE'nin ikinci, GES'in üçüncü sırada olduğu görülmüştür. Üç uygulamanın ikisinde sertifikasyon dördüncü, ağaçlandırma ise beşinci sırada çıkmıştır

Boz (2010) aynı paralelde bir çalışma yapmış ve Türkiye'de yenilenebilir enerji alternatiflerini ÇKKV çerçevesinde incelemiştir. AHP temelli Successive additive weighing (SAW) ve Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE) metotları kullanmıştır. HES, GES, GTE gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra jeotermal enerji ve biokütle enerji alternatiflerine de yer vermiştir. Kriter olarak ise yatırım ve işletim giderlerinin yanı sıra finansal karlılık, iş gücü oluşturma potansiyeli, sosyal kabul edilebilirlik ve stratejik önem alınmıştır. Sosyal kabul edilebilirlik kriteri çerçevesinde CO₂ emisyonlarına da yer verildiğinden alternatifler ve kriterler bağlamında ortaya konan çalışma ile benzerlik göstermektedir. Söz konusu çalışmada rüzgar enerji santrallerinin Türkiye için en optimal yenilenebilir enerji santralleri olduğu saptanmıştır. Rüzgar enerji santralleri Marmara bölgesi rüzgar gücünün yetersizliği açısından alternatif olarak dikkate alınmadığından kıyaslama imkanı bulunamamıştır. Ancak rüzgar enerji santralinden sonra ilk sırada HES'ler yer almıştır. HES'i sırasıyla jeotermal enerji, GES ve biokütle enerji sistemleri takip etmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Otomobil endüstrisi bütün süreçlerinde CO₂ salınımı noktasında tartışmaların merkezine konan bir sektördür. Bu nedenle firmalar çevre konusundaki sosyal baskıları minimize etmek ve politik hedefleri yakalamak için bir dizi tedbirler geliştirmektedirler. Ortaya konulan çalışmada otomobil endüstrisinde CO₂ salınımının önüne geçmek için mevcut alternatiflerden optimal olanını belirlemek için ÇKKV çerçevesinde AHP ve Multimoora kullanılmıştır. İşletmenin üretim döngüsü içinde sebep olduğu CO₂ salınımından yıllık 40 ton azaltımı hedeflenmiştir.

CO₂ salınımını azaltmak için HES, GTE, GES, ağaçlandırma ve sertifikasyon birer alternatif olarak dikkate alınmıştır. Yenilenebilir enerji sistemleri ile enerji arzından kaynaklı CO₂ salınımının önüne geçmesi hedeflenirken ağaçlandırma ve sertifikasyon alternatifleri ile atmosferdeki mevcut CO₂ emisyonunun azaltılması bir çözüm olarak belirlenmiştir.

Alternatifleri değerlendirirken uygulanacak kriterler ilk yatırım maliyeti, işletme bakım maliyeti, enerji maliyeti, uygulama süresi, adaptasyon kolaylığı, alan ihtiyacı ve sosyal etki olarak saptanmıştır.

Yenilenebilir enerji alternatifleri içerisinde hem yatırım maliyeti hem de işletim giderleri açısından en hesaplı olanının HES olduğu saptanmıştır. Onu sırasıyla GTE ve GES takip etmiştir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinin sosyal etki ve adaptasyon kolaylığı ölçülebilir kriterler olmadığından proje ekibi tarafından puanlanarak değerlendirilmiştir. Adaptasyon kolaylığı için yapılan değerlendirmelerde proje ekibi HES için küçük bir alanda yapılacak montajın kolaylığını ve gerekli donanımın azlığını dikkate alarak

benzer yenilenebilir projelere göre adaptasyonun daha kolay, ancak sertifikasyona göre daha zor bir süreç olduğunu belirterek 5 üzerinden 4 puan vererek adaptasyon kolaylığını değerlendirmişlerdir. GTE ve GES için ise geniş bir alanda yapılacak çalışmaları, uygulama süresini dikkate alarak mevcut altyapı ile evlendirilmesinde yaşanacak zorluklara dikkat çekmiş, tesiste çalışmakta olan mekanik işlerden sorumlu personelin yetkinlik seviyesini de göz önüne alarak adaptasyon kolaylığını 5 üzerinden 3 puan vererek değerlendirmişlerdir.

Sosyal etki değerlendirmesinde ise proje ekibi tarafından HES'ler ile ilgili kamuoyunda yaygın olarak oluşan doğal ortama verdiği olumsuz etkiler düşünülmüş, bu projede benzer bir olumsuzluğun olmadığı bilinse de proje imajı açısından değerlendirilerek puanlama yapılmıştır. Buna göre HES diğer yenilenebilir enerji projeleri ve ağaç dikiminin de gerisinde kalarak 5 üzerinden 3 puan alabilmiştir. Proje ekibi GTE ve GES için sosyal etkide pozitif toplumsal algıya sahip olan yenilenebilir güneş projelerinin, ağaç dikimi gibi somut etkisi bulunmadığı kanaati baskın olduğundan 5 üzerinden 4 puan vererek değerlendirmişlerdir.

Ağaçlandırma ilk yatırım ve işletim maliyeti açısından bütün yenilenebilir enerji kaynaklarının gerisinde kalmıştır. Ağaçlandırmanın kültürel geçmişi ve somut toplumsal algısı düşünülerek proje ekibi tarafından sosyal etkide 5 tam puan, ilk kurulum sürecindeki zorlukları dikkate alınarak adaptasyon kolaylığında 5 üzerinden 4 puan ile değerlendirilmiştir.

Sertifikasyon işlemi yatırım maliyeti olmayan bir alternatiftir. Sertifikasyon süreci yaklaşık 3 iş günü olarak öngörülmüş, adaptasyon kolaylığı mevcut altyapıda ve şirket işleyişinde değişiklik yapılmayacağı için 5 üzerinden 5 puan almıştır. Ancak proje ekibinin sosyal etkiye yönelik değerlendirmesi 5 üzerinden 2 puan ile sınırlı kalmıştır.

Çalışmada kriterler ve ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen öncelikleri, AHP matrisine taşınarak normalize edilmiş, kriter ağırlıkları ve AHP matrisinin tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Şirketin, koymuş olduğu yıllık karbondioksit azaltım hedefine ulaştıracak optimum çözümün bulunması için enerji tasarrufu, sosyal etki ve

adaptasyon kolaylığı kriterlerinin maksimizasyonu, buna karşılık ilk yatırım maliyeti, işletme bakım maliyeti, alan ihtiyacı ve uygulama süreci gibi kriterlerinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Her alternatifin ilgili kritere karşılık gelen değeri hesaplanarak moora karar matrisi oluşturulmuştur.

Moora karar matrisi normalize edildikten sonra, matris değerleri AHP yöntemiyle hesaplanmış kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi oluşturulmuştur. Moora uygulamalarının ilki olarak ele alınan oran metodunda, ağırlıklandırılmış karar matrisindeki satır değerleri amaç fonksiyonuna göre toplanıp çıkarılmış ve elde edilen sonucun en büyükten en küçüğe doğru sıralanması ile çözüme ulaşılmıştır. Bu yöntemle işlemler tamamlandığında hidroelektrik santral kurulumu birinci, güneş termal enerjinin ikinci, güneş enerjisi santralinin üçüncü olduğu görülmüştür. Diğer karbondioksit sıfırlama yöntemlerinden ağaçlandırma dördüncü, sertifikasyon ise beşinci en uygun çözüm olarak belirlenmiştir.

Moora uygulamalarının ikincisi olan referans nokta metodunda amaç fonksiyona uygun olarak belirlenen sütun değeri referans nokta olarak tanımlanmış, referans noktaların diğer sütun değerlerinden farkı alınarak referans nokta matrisi elde edilmiştir. Bu matrisin satır toplamalarının en küçük değerden en büyük değere doğru sıralanması ile çözüme ulaşılmıştır. Bu metoda göre Moora Oran metodundaki sıralamaya paralel olarak hidroelektrik santral kurulumunun birinci sırada yer aldığı görülmüştür. Bu metotta da güneş termal enerjinin ikinci, güneş enerjisi santralinin üçüncü olduğu görülmüştür. Diğer karbondioksit sıfırlama yöntemlerinden sertifikasyon dördüncü, ağaçlandırma ise beşinci en uygun çözüm olarak belirlenmiştir.

Moora uygulamalarının üçüncüsü ve sonuncusu olan tam çarpım formunda normalize edilmiş karar matrisindeki satır değerleri amaç fonksiyonuna göre sıra ile çarpılarak (amaç maksimizasyon ise) ve bölünerek (amaç minimizasyon ise) satır sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçların büyükten küçüğe sıralanması ile çözüme ulaşılmıştır. Bu uygulamada da hidroelektrik santral kurulumunun birinci, güneş termal enerjinin ikinci ve güneş elektrik santralinin üçüncü en uygun çözüm olarak belirlendiği görülmüştür.

Son olarak tüm moora uygulamalarının sıra baskınlık teorisine göre değerlendirilmesi yapılarak multimoora sonucu sıralama elde edilmiştir. Buna göre tüm moora uygulamalarında birinci sıraya sahip olan alternatifin HES olduğu görülmüştür. GTE ikinci, GES üçüncü, sertifikasyon dördüncü, ağaçlandırma ise beşinci sırada çıkmıştır.

6.2. Öneriler

Sonuçlar bir bütün halinde değerlendirildiğinde otomotiv sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin CO₂ indirimine ilişkin politikalar geliştirirken alternatifler arasında en optimal olanına karar vermeleri ve bir kısım kriterleri göz önüne almaları gerektiği görülmektedir. Bu çalışmadaki alternatifler ve kriterler çalışmanın hedefi doğrultusunda değerlendirildiğinde sertifikasyon opsiyonunun firmanın CO₂ salınımı noktasında iyi niyetini ortaya koyacağı ancak, gözle görülür bir faaliyet ortaya konamayacağından kendisinden beklenen sosyal etkiyi gerçekleştiremeyeceği değerlendirilmektedir.

Ağaçlandırma ise bir sosyal duyarlılık faaliyeti olduğu için, işletmenin iş bütünlüğü ile tam örtüşmeyeceğinden doğru bir seçenek olmayacağı değerlendirilmektedir. İşletmelerin ağaçlandırma faaliyetlerine sundukları maddi ve manevi destekler ise konunun dışındadır. Ağaçlandırma faaliyetlerinin sonraki yıllarda CO₂ azaltımı aynı sosyal etkiyi yapmayacağı da diğer bir gerçekliktir. Bu nedenle ağaçlandırma faaliyetleri de endüstriyel işletmeler için uygun bir opsiyon olarak değerlendirilmemektedir.

Endüstriyel işletmeler için enerji arzı kaynaklı CO₂ salınımının engellenmesi daha optimal çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle de çevre dostu enerji arz sistemlerine yönelmek daha doğru olacaktır. Yapılan araştırmada her ne kadar HES GES ve GTE gibi çevre dostu enerji arz metotlarına kıyasla daha tercih edilebilir çıksa da bu tamamen işletme özelinde varılan bir sonuçtur. İşletmelerin çevre dostu enerji arz metotlarının tamamını en rantabl şekilde kullanmaları şiddetle önerilmektedir.

CO₂ emisyonunun d hayati bir öneme sahiptir ve endüstriyel işletmelerin üretim politikalarını bu çerçevede yeniden gözden geçirmeleri önerilmektedir. ÇKKV işletmeler için optimal zmlerin üretilmesi için fırsatlar sunmaktadır. Endüstriyel işletmelerde farkındalık oluşturması açısından bu tür bilimsel çalışmaların daha da yaygınlaştırılması önem arz etmektedir.

Ortaya konan çalışmanın alternatifler ve kriterler genişletilerek tekrarlanması önerilmektedir. Diğer taraftan ilk yatırım ve işletme maliyetleri gibi karara etki edecek kriterlerin 20 yılı kapsayacak şekilde yeniden hesaplanmasının daha sağlıklı sonuçlar doğuracağı değerlendirilmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdallah, S., Nijmeh, S. (2004). Two Axes Sun Tracking System with PLC Control, *Energy Conversion and Management*, vol. 45 (11-12): 1931-1939.
- Akkaya, U., Gültekin, A. B., Dikmen, Ç. B., & Durmuş, G. (2009). Baraj ve Hidroelektrik Santrallerin(hes) Analizi: Ilısu Barajı Örneği, 5.IATS'09, Karabük, 2212-2218.
- Akova, İ. (2003). Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*, Sayı:11, Sayfa: 47-73.
- Akova, İ. (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, (1. Basım), Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Akpınar, E. (2005). Nehir Tipi Santrallerin Türkiye'nin Hidroelektrik Üretimindeki Yeri, *Erzincan Eğitim Fakültesi Dergisi*, 7(2), 1-25.
- Almqvist, Ebbe (2003). *History of industrial gases*. Springer Science & Business Media.
- Alsema, E.A.; Wild – Scholten, M.J. de; Fthenakis, V.M. (2006). Environmental impacts of PV electricity generation – a critical comparison of energy supply options Archived 6 March 2012 at the Wayback Machine ECN, September 2006; 7p. Presented at the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden, Germany.
- Altuntop, N. ve Erdemir, D. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler, *Mühendis ve Makine*, Cilt 54, Sayı: 639, Sayfa: 69-77.
- Antunes, C.H. and Oliveira, C. (2014). Multi-Objective Optimization and Multi-Criteria Decision Analysis in the Energy Sector (part II – MCDA), *Newsletter of the European Working Group, “Multiple Criteria Decision Aiding, Series 3: 1-36*.
- Armaroli, Nicola and Balzani, Vincenzo (2011). Towards an electricity-powered World. *Energy & Environmental Science*. 4 (9): 3193-3222.
- Bhushan, Navneet and Kanwal Rai (2004). *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process*. London: Springer-Verlag.

- Boz, İ. (2010). Multicriteria Decision Makingrenewable Energy Technologies Selection, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yönetim Ve Organizasyon (İngilizce) Bilim Dalı.
- Brauers, W. K. M (2002). “The Multiplicative Representation for Multiple Objectives Optimization with an Application for Arms Procurement” Naval Research Logistics, Vol. 49/4: 327-340.
- Brauers, W. K. M. and Zavadskas, E. K. (2013). Multi-Objective Decision Making with a Large number of Objectives. An Application For Europe 2020.” International Journal of Operations Research 10(2). 67-79.
- Brauers, W.K.M. and Zavadskas, E.K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. Control and Cybernetic, 35(2). 445-469.
- Brauers, W.K.M. and Zavadskas, E.K. (2011). MULTIMOORA optimization used to decide on a bank loan to buy property. Technological and Economic Development of Economy, 17, 174–188.
- Broekhoff, D. and Zyla, K. (2008). Outside the Cap: Opportunities and Limitations of Greenhouse Gas Offsets, Climate and Energy Policy Series, December 2008: 1-12.
- Caglayan, N., Ertekin, C., Evrendilek, F. (2014). Spatial Viability Analysis of Grid-Connected Photovoltaic- Power Systems for Turkey, Electrical Power and Energy Systems, vol. 56, p. 270–278.
- Caravaggio, N., Caravella, S., Ishizaka, A. and Resce, G. (2019). Beyond CO2: A multi-criteria analysis of air pollution in Europe, Journal of Cleaner Production, Volume 219: 576-586.
- Castro, D.M. and Parreiras, F.S. (2018). A review on multi-criteria decision-making for energy efficiency in automotive engineering, Applied Computing and Informatics: 1-13.
- CSIRO Report (2016). State of the Climate 2016, Australian Government, Bureau of Meteorology.
- Dağdeviren, M., Akay, D. ve Kurt, M. (2004). İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi Ve Uygulaması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(2): 131-138.
- DEK-TMK Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (2009). Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi, YAYIN NO: 0011/2009, EKC Form Ofset, Ankara.

- Elibüyük, U. ve Üçgöl, İ. (2014). Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri, Yekarum e-Dergi: 1-14.
- Enerji Bakanlığı Bilgi Merkezi (2017). Elektrik, 2017 <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>., Erişim Tarihi 18.01.2019.
- EPA (2008). Analysis of the Lieberman-Warner Climate Security Act of 2008, S. 2191 in 110th Congress March 14, 2008.
- European Commission (2001). Green Paper on Integrated Product Policy, COM (2001) 68, Brussels.
- Forman, Ernest H. and Gass, Saul I. (2001). The analytical hierarchy process—an exposition. Operations Research. 49 (4): 469–487.
- Fridleifsson, Ingvar B.; Bertani, Ruggero; Huenges, Ernst; Lund, John W.; Ragnarsson, Arni; Rybach, Ladislaus (2008). The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change, ed. Hohmeyer O. and Trittin, T. ed. Luebeck, Germany: 59–80.
- Fthenakis, V. and Kim, H. C. (2009). Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 13 (6–7): 1465-1474.
- Gelen, M.N. (2018). Çok Amaçlı Çizelgeleme Probleminin Genetik-Multimoora Hibrit Algoritması ile Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hook, P. (2015). Çevre Terimlerinin Küçük Kitabı, (1. b.), (B. Kurt, Çev.), Ankara: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları Yayını.
- Karaca, T. (2011). Proje Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerini Kullanarak Kritik Yolun Belirlenmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karacan, A. R. (2007) Çevre Ekonomisi ve Politikası, İzmir: Ege Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yayını No:6.
- Karakoç, H., Karakoç, N., Erbay, B. ve Aras, H. (2012). Enerji Analizi, Baskı: Anadolu Üniversitesi Web-Ofset Tesisleri, 1. Basım, Eskişehir.
- Kaya, K. ve Koç, E. (2015). Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi, Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 660, s. 61-68.
- Keleş, R. & Hamamcı, C. (2005). Çevre Politikası, (5. b.), Ankara: İmge Kitabevi.
- Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 671: 28-40.

- Kim, Y.E. (2011). Surface Modifications of a Carbon Anode Catalyst by Control of Functional Groups for Vitamin C Fuel Cells, *Electrocatalysis*. 2 (3): 200–206.
- Köksalan, M., Wallenius, J., and Zionts, S. (2011). *Multiple Criteria Decision Making: From Early History to the 21st Century*. Singapore: World Scientific.
- Laiho, R., Sanchez, F., Tiarks, A., Dougherty, P.M. and Trettin, C.C. (2003). Impacts of intensive forestry on early rotation trends in site carbon pools in the southeastern US, *Forest Ecology and Management* 174: 177-189.
- Madurika, H.K.G.M. and Hemakumara, G.P.T.S. (2015). Gis Based Analysis For Suitability Location Finding In The Residential Development Areas Of Greater Matara Region. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4(8): 96-105.
- Madurika, HKGM, & Hemakumara, GPTS. (2015). Gis Based Analysis For Suitability Location Finding In The Residential Development Areas Of Greater Matara Region. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4(8): 96-105.
- Matear, Richard J. and Lenton, Andrew (2018). Carbon–climate feedbacks accelerate ocean acidification, *Biogeosciences*, 15: 1721–1732
- McPherson (1998). Atmospheric Carbon Dioxide Reduction By Sacramento's Urban Forest. *Journal of Arboriculture*, 24(4): 215-219.
- Munnings, C., Kulkarni, A., Giddey, S. and Badwal, S.P.S. (2014). Biomass to power conversion in a direct carbon fuel cell, *International Journal of Hydrogen Energy*. 39 (23): 12377–12385.
- Phdungsilp, A. and Wuttipornpun, T. (2013). Energy and Carbon Modeling with Multi-Criteria Decision-Making towards Sustainable Industrial Sector Development in Thailand, *Low Carbon Economy*, 2011, 2, 165-172.
- Price, Trevor J (2005). James Blyth – Britain's First Modern Wind Power Engineer. *Wind Engineering*. 29 (3): 191–200.
- Ramanathan, R. (2001). A Note on the use of the Analytical Hierarchy Process for Environmental Impact Assessment, *Journal of Environmental Management*, 63: 27-35.
- REN 21 (2018). Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/> Erişim Tarihi: 15.03.2019).

- Rew, L. (1988). Intuition in Decision-making. *Journal of Nursing Scholarship*. 20 (3): 150-154.
- Saaty, T.L. (1990). How to Make a Decision: the Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, 48: 9-26.
- Saaty, T.L. and Vargas L.G. (2001). *Models, Methods, Concepts & Applications of The Analytic Hierarchy Process*, Massachusetts: Kluwer Academic.
- Saaty, Thomas L. (June 2008). Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy/Network Process. *Review of the Royal Academy of Exact, Physical and Natural Sciences, Series A: Mathematics (RACSAM)*. 102 (2): 251–318.
- Saracoglu, B.O. (2013). Selecting industrial investment locations in master plans of countries. *European Journal of Industrial Engineering*. 7 (4): 416-441.
- Sarkar, A. and Behera Kumar Dhiren (2012). Wind Turbine Blade Efficiency and Power Calculation with Elektrikcal Analogy, *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 2, Issue 2: 1-5.
- Sertkaya, A.A., Saraç, M. ve Omar, M.A. (2015). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerinin Türkiye İçin Önemi, *Gazi Journal of Engineering Sciences* 1/3: 369-382.
- Siksnylyte, I., Zavadskas, E.K., Streimikiene, D. and Sharma, D. (2018). An Overview of Multi-Criteria Decision-Making Methods in Dealing with Sustainable Energy Development Issues. *Energies* 11, 2754: 1-21.
- TUİK (2018). Seragazi Emisyon İstatistikleri, 2016. Sayı 27675.
- Turhan, E., Çağatay, H. ve Keçeci, A. (2015). Hidroelektrik santrallerin (HES) Çevresel ve Sosyal Etkileri: Alakır Vadisi Örneği, 4. Su Yapıları Sempozyumu, (s. 67-77), Antalya: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.
- Ur-Rehman, S., Mushtaq, Z., Zahoor, T., Jamil, A. and Murtaza, M.A. (2015). Xylitol: a review on bioproduction, application, health benefits, and related safety issues, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*: 1514-1528.
- Wiedmann, T. and Minx J. (2007). A Definition of Carbon Footprint. *ISAUK Research and Consulting*, Durham, UK.
- Wimmler, C., Hejazi, G., Fernandes, E.de.O., Moreira, C. and Connors, S. (2015). Multi-Criteria decision support methods for renewable energy systems on Islands, *J Clean Energy Technol*, 3: 185-195.
- Yaraloğlu, K. (2010). *Karar Verme Yöntemleri*, Ankara: Detay Yayınevi.

Yıldırım, B.F.ve Önder, E. (2014). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Bursa: Dora Yayınevi.

Yılmaz, C., Uzun, A., Zeybek, H.İ. ve Kaya, M. (2012). Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerinin Coğrafi Ortam Üzerine Etkilerine Bir Örnek: Ayancık HES, e-Journal of New World Sciences Academi, Vol. 7/3: 50-67.



ÖZGEÇMİŞ

T.Meriç YANAR, 1981’ yılında Kdz.Ereğli’de doğdu. İlk ve ortaokul eğitiminin ardından Kdz. Ereğli Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2004 yılında Yeditepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu ve 2005 yılında Toyota Otomotiv Sanayi T.A.Ş. Adapazarı Fabrikalarında çalışmaya başladı. Tesis işletme ve bakım organizasyonundaki çeşitli görevlerde bulunduktan sonra Toyota Motor Japonya’daki Tesis Mühendislik Bölümü Global Stratejik Planlama grubunda görev yaptı, Türkiye’ye döndükten sonra enerji ve çevre yönetimine yönelik görevlerde bulundu. Halen Toyota çatısı altında Tesis Mühendislik ve Çevre Bölümünde çalışmakta olan T.Meriç YANAR, evli ve 2 çocuk babasıdır.