



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE NÖTROSOFİK EDAS YÖNTEMİ İLE KARBON
AZALTIM STRATEJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Enise MATBAY

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

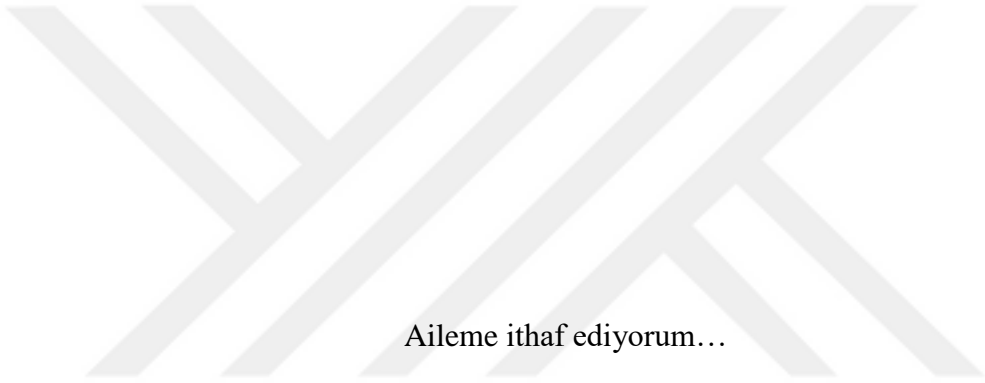
Mart, 2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Enise MATBAY tarafından, **Doç. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN** danışmanlığında hazırlanan "**ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE NÖTROSOFİK EDAS YÖNTEMİ İLE KARBON AZALTIM STRATEJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **27/03/2025** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Doç. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Doç. Dr. Ersin NAMLI İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Doç. Dr. Murat Taha BİLİŞİK Kültür Üniversitesi İşletme Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret



Aileme ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE NÖTROSOFİK EDAS YÖNTEMİ İLE KARBON AZALTIM STRATEJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans ders ve tez dönemim boyunca yardımlarını benden esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Yusuf Sait Türkan'a çok teşekkür ederim.

En zorlandığım anlarda yanımda olan ve desteğini hep hissettiğim iş arkadaşım Yalçın Kaya Demir ve sevgili eşim Uğur Matbay'a teşekkür ederim.

Mart 2025

Enise MATBAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	5
2.1. LİTERATÜR TARAMASI	7
2.2. BİBLİYOMETRİK ANALİZ	8
2.2.1. Analiz Datasının Elde Edilmesi.....	9
2.2.2. Performans Analizi	12
2.2.3. Yayın Sayıları	13
2.2.4. Kurum Bilgileri	14
2.2.5. Yazar Bilgileri	16
2.2.6. Dergi Bilgileri.....	18
2.2.7. Ülke Bilgileri	20
2.2.8. Ağ Analizi	22
3. YÖNTEM.....	27
3.1. ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE KARBON SALINIMINI AZALTMAYA YÖNELİK STRATEJİLER.....	27
3.2. PROBLEMİN TANIMI, STRATEJİLER VE KARAR KRİTERLERİ.....	33
3.3. ARALIK DEĞERLİ NÖTROSOFİK BULANIK EDAS	37
3.4. ARALIK DEĞERLİ NÖTROSOFİK BULANIK EDAS YÖNTEM ADIMLARI ..	40

4. BULGULAR	44
3.5. KARAR MODELİ	46
3.6. KARAR VERİCİLERİN DEĞERLENDİRMELERİ	47
5. TARTIŞMA.....	51
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR.....	57
EKLER	59
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	60
ETİK KURUL İZİN YAZISI	61
KURUM İZİNİ YAZILARI.....	62
ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: En etkin 10 dergi	11
Şekil 2.2: En etkin 10 yazar	11
Şekil 2.3: Araştırma adımları	12
Şekil 2.4: Yıllık makale sayısı	13
Şekil 2.5: Yıllara göre ortalama atıf sayısı	14
Şekil 2.6: Kurumların makale sayıları	15
Şekil 2.7: Kurumlarda yazılan makale sayılarının yıllara göre değişimi	15
Şekil 2.8: En çok makaleye katkıda bulunmuş 10 yazar	17
Şekil 2.9: En çok atıf yapılmış 10 yazar	18
Şekil 2.10: En çok atıf yapılmış 10 dergi	20
Şekil 2.11: Haritada ülke bazlı makale sayıları	21
Şekil 2.12: Anahtar kelimelerin birlikte kullanılma durumu	23
Şekil 2.13: Anahtar kelimelerin birlikte kullanılma ve yoğunluk durumu	23
Şekil 2.14: Anahtar kelimelerin yoğunluk haritası	24
Şekil 2.15: Anahtar kelimelerin yıllara göre kullanımı	24
Şekil 2.16: Ülkeler arasındaki iş birliği	26
Şekil 2.17: Yazarlar arasındaki iş birliği	26
Şekil 3.1: IVN-EDAS süreç adımları	31
Şekil 4.1: Karar ağacı	47

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Temel Bilgiler	10
Tablo 2.2: En etkin 20 yazar makale bilgileri	16
Tablo 2.3: En çok atıf alan 20 yazar	17
Tablo 2.4: En çok makalenin yayımlandığı 10 dergi.....	18
Tablo 2.5: En çok atıf yapılan 10 makale detayları	19
Tablo 2.6: En çok atıf yapılan 10 makale	19
Tablo 2.7: En çok makale üreten 10 ülke	20
Tablo 2.8: En çok atıf yapılan 10 ülke.....	21
Tablo 2.9: En çok kullanılan 10 kelime.....	22
Tablo 2.10: Anahtar kelimelerin son 10 yılda kullanımı	25
Tablo 2.11: En çok iş birliği yapan 10 ülke.....	25
Tablo 3.1: Karbon salınımını azaltmaya yönelik stratejiler	27
Tablo 3.2: IVN karar matrisi ölçekleri ve dil terimleri	42
Tablo 3.3: IVN Karar matrisinde kriter ve alternatifler	42
Tablo 3.4: IVN Karar matrisi (Birleştirilmiş).....	42
Tablo 4.1: Dilsel ifadeler ile karar kriterlerini değerlendirilme matrisi	48
Tablo 4.2: IVN Karar matrisi	48
Tablo 4.3: sp toplam tablosu	49
Tablo 4.4: np toplam tablosu	49
Tablo 4.5: Değerlendirme puanları	50
Tablo 4.6: Nihai punalar ve strateji sıralamaları	50

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

μ : Üyelik fonksiyonu

ϑ : Üyeliksizlik fonksiyonu

\tilde{A} : Bulanık Sayı

w_j : j kriterinin ağırlığı

θ : Eşik parametresi

F: Falsity-Yanlışlık

I : Indeterminacy-Belirsizlik

T : Truthness-Doğruluk

EDi: Öklidyen mesafesi

Kısaltmalar

Açıklama

WOS

:Web of Science

ÇKKV

: Çok Kriterli Karar Verme

AHP

: Analitik Hiyerarşik Proses

EDAS

: Evaluation based on Distance from Average Solution Ortalama
Çözüm Uzaklığına Dayalı Değerlendirme

IVN

: Interval Valued Neutrosophic-Aralık Değerli Nötrosifik

MAE

: Ortalama Mutlak Hata

MAPE

: Ortalama Mutlak Yüzde Hatası

R²

: Belirleme Katsayısı

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE NÖTROSOFİK EDAS YÖNTEMİ İLE KARBON AZALTIM STRATEJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ]

[Enise MATBAY]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

[Danışman : Doç. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN]

[Günümüzde çimento sektöründe sera gazları ve karbon emisyonlarının azaltılması, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda birçok firma çeşitli stratejiler geliştirerek karbon salınımını minimize etmeye yönelik girişimlerde bulunmaktadır. Sektörde insan kaynakları, finansal kaynaklar gibi farklı kaynakların sınırlı olması nedeniyle, karbon salınımını azaltmaya yönelik stratejilerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Bu çalışma, çimento sektöründe karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik geliştirilen stratejilerin değerlendirilmesi ve en etkili yöntemlerin belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda, öncelikle literatürde çimento sektöründeki karbon salınımını azaltmaya yönelik gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiş ve emisyonları düşürmede etkili olabilecek çeşitli teknolojiler ve yöntemler analiz edilmiştir. Daha sonra, sektör uzmanlarıyla gerçekleştirilen görüşmeler aracılığıyla, farklı stratejilerin uygulanabilirliği, etkinliği ve sektöre potansiyel katkıları değerlendirilmiştir.

Çalışmada sektördeki bir firmanın karbon azaltımına yönelik stratejileri incelenerek firmanın karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik geliştirdiği yeni teknoloji ve proses stratejileri

incelenmiş ve bu stratejiler çok kriterli karar verme yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Bu kapsamda belirsizlik altında karar vermede yaygın olarak kullanılan ve alternatiflerin kapsamlı şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyan Nötrosafik Bulanık EDAS yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, Atık Isı Geri Kazanımı stratejisinin en yüksek önceliğe sahip olduğunu, bunu Karbon Yakalama ve Depolama (KYD) stratejisinin takip ettiğini göstermektedir. Çalışmanın sonuçları, çimento sektöründe sürdürülebilir ve düşük karbonlu üretim hedeflerine ulaşmada stratejik karar verme sürecine katkı sağlamaktadır. |

Mart 2025 , [78.] sayfa.

Anahtar kelimeler: [Karbon Emisyonu Azaltımı, Çimento, Sürdürülebilirlik]



ABSTRACT

[M.Sc. THESIS]

**[EVALUATION OF CARBON REDUCTION STRATEGIES IN CEMENT INDUSTRY
WITH NEUTROSOPHIC EDAS METHOD]**

[Enise MATBAY]

**İstanbul University-Cerrahpaşa
Institute of Graduate Studies
Department of Industrial Engineering
Industrial Engineering Program**

[Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN

In today's cement industry, reducing greenhouse gas emissions and carbon footprints has become increasingly important in line with sustainability objectives. Accordingly, many companies are developing various strategies to minimize carbon emissions and enhance environmental performance. Given the constraints in human resources, financial capacity, and other critical resources within the industry, the identification and prioritization of carbon reduction strategies have become a crucial necessity. This study aims to evaluate the strategies developed to reduce carbon emissions in the cement industry and to determine the most effective approaches. Within this scope, a comprehensive literature review was conducted to analyze previous studies on carbon reduction strategies in the cement sector. Various technologies and methods that could effectively mitigate emissions were examined. Following this, expert consultations were carried out to assess the feasibility, efficiency, and potential contributions of different strategies.

The study further examines a specific company in the sector, evaluating its carbon reduction strategies, including newly developed technologies and process innovations, through a multi-

criteria decision-making approach. In this context, the Neutrosophic Fuzzy EDAS method, widely used for decision-making under uncertainty, was applied. This method allows for a comprehensive and balanced assessment of alternative strategies. The findings indicate that the Waste Heat Recovery strategy holds the highest priority, followed by the Carbon Capture and Storage (CCS) strategy. The results of this study contribute to the strategic decision-making process in achieving sustainable and low-carbon production goals in the cement industry, providing valuable insights for firms seeking to enhance their environmental performance while optimizing resource allocation. |

March 2025, [78,] pages.

Keywords: [Carbon Emission Reduction, Cement, Sustainability]



1. GİRİŞ

Çimento sektörü, sanayi devrimi ile birlikte hızla büyüyen ve modern dünyanın temel yapı taşlarından biri haline gelen bir endüstri koludur. İnşaat sektörünün en önemli bileşenlerinden biri olan çimento, büyük ölçekli altyapı projelerinden bireysel konut yapımına kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Ancak, bu sektördeki üretim süreçleri, yüksek enerji tüketimi ve karbon emisyonlarına yol açmakta olup, çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi sorunlar yaratmaktadır. Artan çevresel baskılar ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda daha düşük karbon emisyonu ile çalışan üretim sistemlerine yönelmektedir. Bu kapsamda, dünyada en büyük karbon salınımına neden olan endüstriyel faaliyetlerden biri olan çimento sektörü, küresel iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir rol oynamaktadır. Çimento üretimi, yoğun enerji kullanımına dayanan ve karbon dioksit (CO₂) salınımının önemli bir bölümünü oluşturan bir süreçtir. Bu bağlamda, çimento sektöründe karbon azaltım stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması, hem çevresel etkilerin minimize edilmesi hem de uluslararası çevre düzenlemelerine uyum sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, çimento fabrikalarında karbon salınımını azaltmaya yönelik yeni teknolojiler ve proses iyileştirmeleri büyük önem taşımaktadır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, insanlığın karşı karşıya olduğu en büyük çevresel zorluklardan biridir. Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının artmasıyla birlikte, dünya genelinde sıcaklıklar yükselmekte, deniz seviyeleri artmakta ve iklim olaylarının şiddeti artmaktadır. Bu olumsuz gelişmeler, ülkelerin ve endüstrilerin karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik acil eylemler almalarını zorunlu kılmaktadır. Çimento sektörü, dünya genelinde üretilen tüm endüstriyel karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının yaklaşık %7'sini oluşturarak, bu konuda önemli bir sorumluluğa sahiptir. Çimento üretim süreçleri, başlıca kireçtaşı ve kil gibi hammaddelerin yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu süreçte, hammaddelerin kalsinasyonu sırasında büyük miktarda CO₂ açığa çıkar. Ayrıca, kullanılan fırınların ve diğer üretim ekipmanlarının enerji ihtiyacı, fosil yakıtların yoğun bir şekilde kullanılmasına neden olarak ek karbon emisyonlarına yol açar. Çimento sektöründe etkin karbon azaltım stratejilerinin geliştirilmesi, küresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Çimento sektöründe karbon azaltımına yönelik çeşitli stratejiler bulunmaktadır. Bu stratejiler arasında alternatif yakıt kullanımı, enerji verimliliği artırımı, hammaddelerin değiştirilmesi, karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojileri gibi yöntemler yer almaktadır. Alternatif yakıt kullanımı, fosil yakıtların yerine atık malzemeler veya biyokütle gibi daha düşük karbon yoğunluğuna sahip yakıtların kullanılmasını içerir. Bu yaklaşım, hem karbon emisyonlarını azaltmakta hem de atık yönetimi sorunlarına çözüm sunmaktadır. Enerji verimliliği artırımı ise, üretim süreçlerinde kullanılan enerjinin daha verimli bir şekilde kullanılması ve israfın minimize edilmesi yoluyla karbon ayak izinin azaltılmasını sağlar. Hammaddelerin değiştirilmesi, karbon salınımını azaltmak amacıyla kireçtaşı yerine düşük karbon içerikli malzemelerin kullanılması anlamına gelir. Son olarak, karbon yakalama ve depolama teknolojileri, üretim süreçlerinde açığa çıkan CO₂'nin atmosfere salınmadan önce yakalanmasını ve güvenli bir şekilde depolanmasını hedefler.

Son yıllarda, sanayide dijital dönüşümün hızlanmasıyla birlikte çimento fabrikalarında da Endüstri 4.0 teknolojileri yaygınlaşmaya başlamıştır. Akıllı sensörler, otomasyon sistemleri ve büyük veri analitiği gibi yenilikçi yaklaşımlar, üretim süreçlerinin daha verimli ve düşük karbon salımlı hale getirilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, karbon yakalama ve depolama teknolojileri (KYD), çimento üretimi sırasında ortaya çıkan CO₂ emisyonlarının atmosfer yerine depolanmasına veya yeniden kullanılmasına imkan sağlayan kritik bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, atık ısı geri kazanımı ve dijital ikiz teknolojileri de çimento endüstrisinin karbon azaltımına yönelik potansiyelini artıran stratejiler arasında yer almaktadır.

Ancak, bu stratejilerin her biri farklı maliyetler, teknolojik gereksinimler ve uygulama zorlukları ile birlikte gelir. Bir çimento şirketi için, bu stratejilerin tamamını aynı anda uygulamak çoğu zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle, şirketlerin mevcut stratejiler arasından en uygun olanlarını seçmesi ve bu stratejileri önceliklendirmesi gerekmektedir. Bu önceliklendirme süreci, hem çevresel etkilerin azaltılmasını hem de ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanmasını hedefleyen dengeli ve bilinçli bir karar verme sürecini gerektirir.

Geçmişte, çimento sektöründeki birçok şirket, karbon azaltım stratejilerini seçerken sezgisel ve tecrübeye dayalı karar verme yöntemlerine başvurmuştur. Ancak, bu yaklaşımlar genellikle sistematik bir değerlendirme süreci içermediği için, alınan kararların etkinliği ve doğruluğu konusunda belirsizlikler oluşabilir. Karbon azaltım stratejilerinin başarılı bir şekilde

uygulanabilmesi için, doğru önceliklerin belirlenmesi ve bu stratejilerin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Özellikle, bu stratejilerin uygulanabilirliği, maliyeti, çevresel faydaları ve uzun vadeli etkileri gibi faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Bu karar verme süreci, belirsizlik ve risk faktörlerini içeren karmaşık bir yapıya sahiptir. Çimento sektöründe karbon azaltım stratejilerinin önceliklendirilmesi, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri gibi sistematik yaklaşımlar gerektirir. Bu yöntemler, birden fazla kriterin dikkate alındığı durumlarda, en uygun stratejilerin belirlenmesine yardımcı olur. Bu tezde, çimento sektöründe karbon azaltım stratejilerinin önceliklendirilmesi amacıyla belirli bir ÇKKV yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, belirsizlik ve risk faktörlerini minimize etmek için özel olarak seçilmiş olup, bu sürecin daha nesnel ve sistematik bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, çimento üretiminde karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik beş temel teknolojik strateji değerlendirilmiş ve bu stratejilerin önceliklendirilmesini sağlamak için Aralık Değerli Nötrosifik Bulanık EDAS (IVN-EDAS) yönteminden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen stratejiler Endüstri 4.0 uygulamaları, akıllı sensörler ve otomasyon sistemleri, karbon yakalama ve depolama teknolojileri, atık ısı geri kazanımı ve dijital ikiz teknolojileri olarak belirlenmiştir. Bu stratejilerin her biri, enerji verimliliği, maliyet etkisi, çevresel fayda, mevzuata uygunluk, rekabet avantajı gibi çeşitli karar kriterleri çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Aralık Değerli Nötrosifik EDAS yöntemi, çok kriterli karar verme (MCDM) yaklaşımlarından biri olup, karar vericilerin belirsizlik altındaki değerlendirmelerini daha esnek bir çerçevede modellemeye imkan tanımaktadır. Bu yöntem, geleneksel karar verme modellerine göre belirsizlik ve çelişkili bilgileri daha etkin bir şekilde ele alarak daha gerçekçi sonuçlar üretmektedir. Bu sayede, şirketlerin farklı uzman görüşlerini birleştirerek daha nesnel ve veri odaklı kararlar alabilmesi sağlanmaktadır.

Çalışmanın amacı, çimento endüstrisinde karbon azaltımına yönelik en uygun teknolojik stratejilerin belirlenmesine yönelik sistematik bir yaklaşım sunmaktır. Bu kapsamda, hem sektördeki mevcut uygulamalar hem de gelecekteki potansiyel stratejiler dikkate alınarak karar verme süreci şeffaf ve bilimsel bir temel üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, çimento firmalarının karbon azaltımı stratejilerini optimize etmelerine yardımcı olacak ve sektörde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma konusunda yol gösterici bir rol

oynayacaktır. Tezin ilerleyen bölümlerinde, kullanılan yöntemin detayları ve bu yöntemin uygulama süreci ele alınmış; sonuç bölümünde ise elde edilen bulgular tartışılarak, çimento sektöründe karbon azaltım stratejilerinin etkin bir şekilde nasıl önceliklendirilmesi gerektiği konusunda öneriler sunulmuştur.



2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Çimento sektörü, modern inşaat endüstrisinin temel bileşenlerinden biri olarak, dünya genelinde büyük bir ekonomik ve çevresel etkiye sahiptir. Çimento, su ile karıştırıldığında sertleşerek yapı malzemelerini birleştiren hidrolik bir bağlayıcıdır ve beton, harç gibi inşaat malzemelerinin en önemli bileşeni olarak kullanılır. Küresel ölçekte altyapı projeleri, konut inşaatı, endüstriyel tesisler ve enerji santralleri gibi birçok alanda vazgeçilmez bir malzeme olan çimentonun üretimi ve tüketimi her geçen yıl artmaktadır. 2022 yılı itibarıyla dünya genelinde yaklaşık 4,1 milyar ton çimento üretilmiş olup, bu miktarın büyük bir kısmı Asya-Pasifik bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Özellikle Çin, Hindistan, ABD ve Brezilya, küresel çimento üretiminde başı çeken ülkeler arasında yer almaktadır. Çin, dünya çimento üretiminin yaklaşık %55'ini gerçekleştirerek sektörde lider konumda bulunurken, Hindistan yıllık 340 milyon tonluk üretimiyle ikinci büyük üretici ülke konumundadır. ABD ise 90 milyon tonluk üretimiyle küresel üretimin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Türkiye, dünya çimento üretiminde önemli bir yere sahip olup, 2022 yılı itibarıyla beşinci sırada yer almaktadır. Türkiye'de faaliyet gösteren 54 entegre çimento fabrikası ve 21 öğütme tesisi, yıllık toplamda 100 milyon tonun üzerinde üretim kapasitesine sahiptir. Türkiye'nin çimento ihracatı 2022 yılında 30 milyon ton olarak gerçekleşmiş olup, başlıca ihraç pazarları Orta Doğu, Afrika ve Avrupa ülkeleridir. Türkiye iç piyasasında ise 45 milyon ton civarında çimento tüketilmekte olup, bu tüketim büyük ölçüde devam eden kentsel dönüşüm projeleri, altyapı yatırımları ve sanayi gelişimiyle doğrudan ilişkilidir. Küresel çimento talebinin, gelişen ülkelerdeki altyapı projeleri ve şehirleşme eğilimleri doğrultusunda artması beklenmektedir. Ancak, sektöre yönelik çevresel düzenlemeler ve sürdürülebilir üretim baskıları, çimento üreticilerini yenilikçi ve düşük karbonlu üretim yöntemlerine yönlendirmektedir. 2030 yılına kadar çimento talebinin yıllık %2 oranında artması öngörülse de, karbon emisyonlarının azaltılması hedefiyle sektörde önemli dönüşümler beklenmektedir.

Çimento üretim süreci, yoğun enerji tüketimi ve yüksek karbon emisyonlarıyla karakterize edilen bir sanayi dalıdır. Üretim sürecinin temel aşamaları, hammaddelerin (kireçtaşı, kil ve diğer mineraller) ezilmesi, belirli oranlarda karıştırılması ve ardından yaklaşık 1450°C'ye kadar ısıtılarak klinker oluşturulmasıdır. Klinker, çimento üretiminin temel ara

ürünü olup, bu süreçte büyük miktarda karbon emisyonu açığa çıkmaktadır. Klinker, daha sonra alçı ve diğer katkı maddeleri ile karıştırılarak nihai çimento ürünü elde edilir. Çimento üretimi sırasında ortaya çıkan karbon emisyonlarının en büyük kaynağı, kalsinasyon sürecidir. Bu süreçte, kireçtaşı (CaCO_3), yüksek sıcaklıkta parçalanarak kalsiyum oksit (CaO) ve karbon dioksit (CO_2) üretir. Bu reaksiyon, toplam emisyonların yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Çimento üretiminde karbon salımına neden olan diğer önemli faktörler ise fosil yakıt kullanımı ve enerji tüketimidir. Çimento fırınlarında kullanılan kömür, petrokok ve diğer fosil yakıtlar, toplam emisyonların yaklaşık %30'unu oluştururken, elektrik tüketimi nedeniyle ortaya çıkan dolaylı emisyonlar ise %10 seviyesinde bulunmaktadır. Çimento sektörünün karbon ayak izinin büyüklüğü, küresel iklim değişikliği ile mücadelede bu sektörde uygulanacak emisyon azaltım stratejilerini zorunlu kılmaktadır. Küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %8'inden sorumlu olan çimento sektörü, karbon emisyonlarını azaltmak için alternatif yakıt kullanımı, enerji verimliliği artırımı, düşük karbonlu hammadde kullanımı ve karbon yakalama ve depolama (CCS) gibi teknolojilere yönelmektedir. Alternatif yakıt kullanımı, fosil yakıt yerine biyokütle ve atık türevli yakıtların kullanımını teşvik ederek karbon salımını düşürmeyi amaçlamaktadır. Benzer şekilde, düşük karbonlu klinker üretimi, karbon emisyonlarını azaltmanın yanı sıra enerji verimliliğini artıran bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Karbon yakalama ve depolama teknolojileri, çimento üretiminde açığa çıkan CO_2 'nin atmosfere salınmadan önce yakalanmasını ve güvenli bir şekilde depolanmasını sağlayarak, sektördeki karbon nötrlüğe ulaşma çabalarına önemli katkı sunmaktadır.

Türkiye'de, çimento sektörünün sürdürülebilir üretim yöntemlerine geçişi hızlandırması gerekmektedir. Uluslararası karbon düzenlemeleri ve Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi girişimler, çimento üreticilerinin çevresel etkilerini minimize etmeye yönelik politikalar benimsemelerini zorunlu kılmaktadır. Türkiye'deki çimento fabrikalarının karbon emisyonlarını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeleri, enerji yönetim sistemlerini iyileştirmeleri ve düşük karbonlu hammaddeleri üretim süreçlerine entegre etmeleri büyük önem taşımaktadır. Çimento sektöründe karbon salımının kontrol altına alınması, sadece çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Karbon düzenlemelerine uyum sağlamak, işletmelerin uluslararası pazarlarda rekabet gücünü korumalarını ve ihracat potansiyellerini sürdürülebilir hale getirmelerini sağlayacaktır.

Çimento sektörü hem küresel hem de Türkiye ölçeğinde önemli bir ekonomik ve çevresel aktördür. Üretim süreçlerinde yüksek karbon salımına neden olması, bu sektörün iklim değişikliğiyle mücadelede öncelikli alanlardan biri olmasını gerektirmektedir. Çimento üretiminin sürdürülebilir hale getirilmesi, inovatif üretim tekniklerinin benimsenmesi, alternatif hammaddelerin kullanımı ve yenilenebilir enerjiye geçiş gibi stratejilerle mümkün olacaktır. Önümüzdeki yıllarda sektördeki karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik politikaların ve teknolojik gelişmelerin, çimento sanayisinin dönüşüm sürecini hızlandırması beklenmektedir. Bu nedenle, çimento üreticileri hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliği sağlamak için yenilikçi yaklaşımlar geliştirmeli ve düşük karbonlu üretim modellerine geçişi hızlandırmalıdır. Literatürde çimento sektöründe karbon salımını azaltmaya yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu bölümde bu çalışmalara yer verilmiş ve bir bibliometrik analiz çalışması sunulmuştur.

2.1.LİTERATÜR TARAMASI

Çimento sektöründe karbon azaltımı stratejileri incelendiği literatürde, karbon emisyonlarının azaltılması, sürdürülebilir üretim süreçlerinin geliştirilmesi ve çevresel etkilerin minimize edilmesi üzerine yoğunlaşan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, hem teknik hem de stratejik yaklaşımlar sunarak çimento endüstrisinin karşı karşıya kaldığı zorlukları ve bu zorlukları aşmada kullanılabilecek yöntemleri tartışmaktadır.

2022 yılında yayınlanan bir çalışma, “Advancements in the carbon capture technologies for cement industries” başlığı altında çimento endüstrisinde karbon yakalama teknolojilerinin gelişimini incelemiştir. Bu çalışmada, çimento üretiminde CO₂ emisyonlarının azaltılması için mevcut karbon yakalama teknolojilerinin yanı sıra yeni nesil teknolojilerin de potansiyelleri değerlendirilmektedir. Çalışma, karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojilerinin çimento endüstrisindeki uygulamaları üzerinde durarak, bu teknolojilerin maliyet etkinliği, verimlilik ve ölçeklenebilirlik açısından karşılaştırmalarını yapmıştır. Ayrıca, karbon yakalamanın enerji tüketimi üzerindeki etkileri ve teknolojilerin uygulanabilirliği de tartışılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, CCS teknolojilerinin çimento endüstrisinde yaygın bir şekilde uygulanması, karbon emisyonlarının önemli ölçüde azaltılmasına katkı sağlayabilir (Sanchez ve diğ., 2022).

2023 yılında yapılan bir diğer çalışma ise, “Carbon reduction strategies in the cement industry: A case study from a developing country” başlığı ile çimento sektöründe karbon

azaltım stratejilerine odaklanmıştır. Bu çalışmada, gelişmekte olan bir ülkede faaliyet gösteren bir çimento fabrikası üzerinden karbon azaltım stratejileri analiz edilmiştir. Çalışma, enerji verimliliği artırıcı tedbirler, alternatif yakıt kullanımı, düşük karbonlu hammaddeler ve karbon yakalama ve depolama teknolojileri gibi farklı stratejilerin etkilerini değerlendirmiştir. Özellikle, bu stratejilerin her birinin uygulanabilirliği, maliyet etkinliği ve çevresel etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma sonucunda, karbon azaltım stratejilerinin doğru bir şekilde önceliklendirilmesinin, sadece çevresel faydalar sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda işletme maliyetlerini de azaltabileceği vurgulanmıştır (Jin ve diğ., 2023). Bununla birlikte endüstride karbon azaltımına yönelik yeni teknolojilerin araştırıldığı ve uygulandığı oldukça az çalışma bulunmaktadır (Bakınız: Bhattacharya ve diğ., 2024; Liu 2024; Su ve diğ., 2024). Literatürde son zamanda yapılan bazı çalışmalarda (Bonilla ve diğ., 2018; Olah ve diğ., 2020; Fuertes ve diğ., 2022; Jena ve diğ., 2024) endüstri 4.0 teknolojilerinin sürdürülebilir sistemlerin geliştirilmesine yönelik üretim sistemlerine entegrasyonu ve bu teknolojilerin etkilerinin araştırıldığı çalışmalar da yer almaktadır. Çimento sektörünün özelinde ise karbon azaltımı ve sürdürülebilirlikle ilgili stratejilerin yer aldığı (Habert ve diğ., 2020; Kunche ve diğ., 2021; Chaudhury ve diğ., 2023) oldukça az çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, karbon azaltımında kullanılabilecek çeşitli teknolojiler ve yöntemlerin çimento endüstrisinde nasıl uygulanabileceğine dair kapsamlı bir perspektif sunmaktadır. Ayrıca, bu stratejilerin uygulanması sırasında karşılaşılan zorluklar ve bu zorlukların nasıl aşılabileceği üzerine önemli bilgiler sağlamaktadır. Bununla birlikte literatürde çimento sektöründe yeni teknolojilerin kullanılmasına yönelik stratejilerin değerlendirilmesi ve firma özelinde önceliklendirilmesine yönelik bir çalışma yer almamaktadır. Bu kapsamda yapılan bu tez çalışması bir öncü çalışma niteliğindedir. Bu tez çalışmasında yeni stratejiler dikkate alınarak, bu stratejilerin uygulamaya geçirilmesine yönelik karar verme süreci şeffaf ve bilimsel bir temel üzerinde değerlendirilmiştir. Bu bağlamda çalışmada belirsizlik ve risklerin yönetilmesine yönelik yöntemler kullanılarak, çimento fabrikalarının sürdürülebilir üretim hedeflerine ulaşmalarında doğru stratejiler üretilmesi önemli bir rol oynayabilir.

2.2.BİBLİYOMETRİK ANALİZ

Bibliyometrik analiz, belirli bir konu, disiplin veya araştırma alanındaki akademik üretkenliği değerlendirerek, bilimsel yayınlar, makaleler ve diğer akademik kaynaklar üzerindeki eğilimleri inceleyen bir metodolojidir. Bu analiz, literatürdeki anahtar kelimeler, yazarlar, alıntılar ve yayınların yayınlanma sıklıklarını inceleyerek, bilimsel iletişim ve bilgi

üretimini anlamayı amaçlar. Bibliyometrik analiz, araştırma trendlerini belirlemek, literatürdeki bilgi boşluklarını tespit etmek ve gelecekteki araştırmalara yön vermek için kullanılır. Bu yöntem, araştırmacılara mevcut literatürdeki gelişmeleri izleme ve değerlendirme olanağı sunarak bilimsel çalışmalara önemli katkılar sağlar.

2.2.1. Analiz Datasının Elde Edilmesi

Bu çalışmada kullanılan bibliyometrik analiz, 2006-2024 yılları arasında yayımlanmış ve Web of Science (WOS) www.webofscience.com platformundan elde edilen makaleleri kapsamaktadır. Analiz kapsamında belirlenen üç anahtar kelime "carbon emission reduction," "cement," ve "sustainability" olarak seçilmiştir. Bu anahtar kelimeler doğrultusunda yapılan taramalar sonucunda 218 belge incelenmiştir. İncelenen belgeler 109 farklı kaynaktan yayımlanmış olup, yıllık büyüme oranı %23,4 olarak tespit edilmiştir.

Veri setindeki belgelerin ortalama yaşı 3,46 yıl olup, her bir belge için ortalama 28,59 atıf yapılmıştır. Bu durum, çalışmalarda ele alınan konuların güncelliğini ve literatüre olan etkisini göstermektedir. Toplamda 12.657 referans içeren bu belgeler, 791 yazar tarafından oluşturulmuştur. Yazarların yalnızca 8'i tek yazarlı belgeler üretmiş olup, bu durum iş birliğinin önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Makale başına düşen ortalama yazar sayısı 4,06 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, uluslararası iş birliği oranı %35,32 olarak belirlenmiştir.

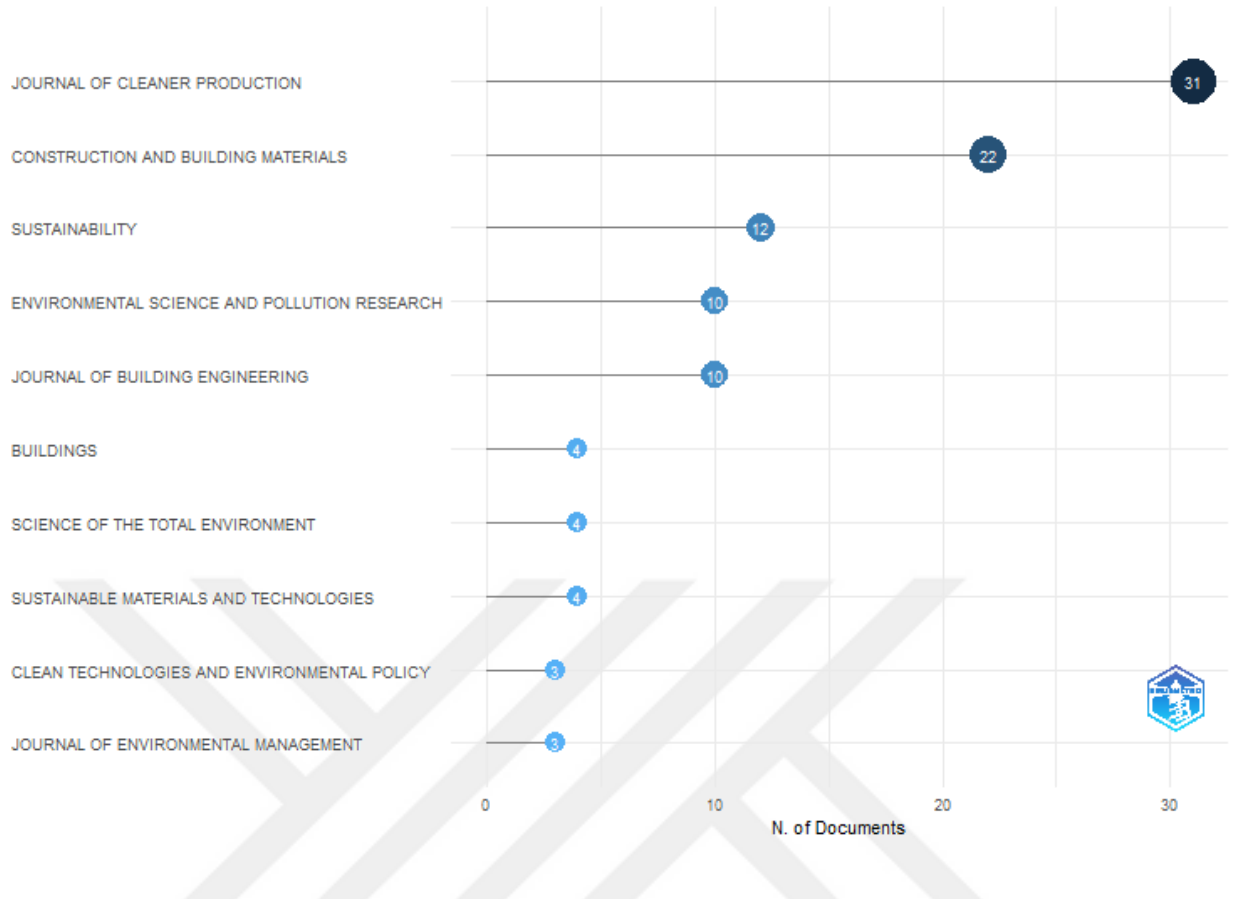
Çalışmada analiz edilen belgeler, farklı türlerde olup, 170'i makale, 25'i derleme, 15'i ise konferans bildirisi olarak sınıflandırılmıştır. Bu veriler, bilimsel üretkenlik ve iş birliği eğilimlerinin anlaşılmasına olanak tanır ve analizin ilerleyen bölümlerinde, yazarlar, kurumlar ve dergiler arasındaki etkileşimler daha detaylı olarak incelenecektir.

Tablo 2.1: Temel Bilgiler

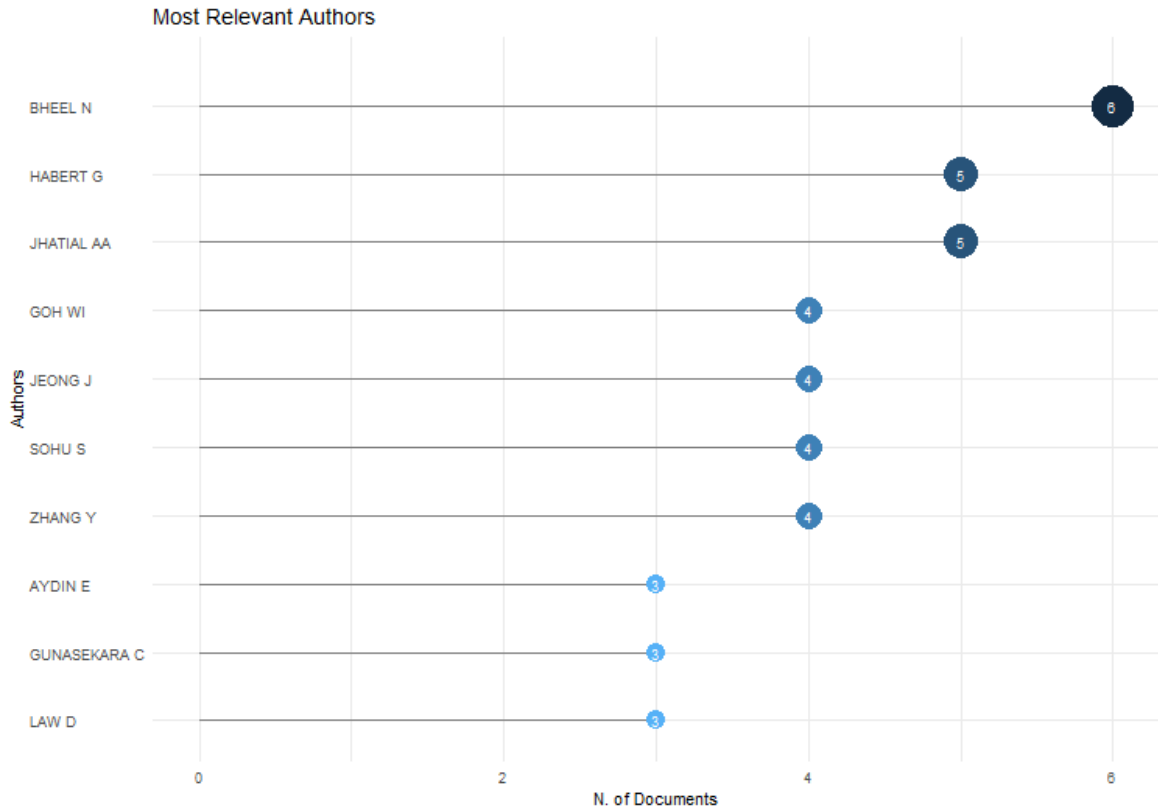
Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	2006:2024
Sources (Journals, Books, etc)	109
Documents	218
Annual Growth Rate %	23.4
Document Average Age	3.46
Average citations per doc	28.59
References	12657
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	613
Author's Keywords (DE)	804
AUTHORS	
Authors	791
Authors of single-authored docs	8
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored docs	8
Co-Authors per Doc	4.06
International co-authorships %	35.32
DOCUMENT TYPES	
article	170
article; book chapter	1
article; data paper	1
article; early access	4
article; proceedings paper	1
editorial material	1
proceedings paper	15
review	25

218 makalenin yayımlandığı dergiler incelendiğinde 31 makale ile "Journal of Cleaner Production" dergisi listenin başında yer almaktadır (Şekil 2.1). Listedeki diğer dergiler arasında "Construction and Building Materials" dergisi 22 makale ile ikinci sırada, "Sustainability" dergisi ise 12 makale ile üçüncü sırada yer almaktadır. En etkin 10 derginin listelendiği Şekil 2.1'de, "Environmental Science and Pollution Research" ve "Journal of Building Engineering" dergileri 10'ar makale ile öne çıkmaktadır. İlk 10'daki dergiler toplamda 119 makaleye katkıda bulunmuşlardır.

En etkin 10 yazarın listelendiği Şekil 2.2'te ise, Bheel N. 6 makale ile en fazla çalışmaya sahip yazar olarak öne çıkmaktadır. Onu 5'er makale ile Habert G. ve Jhatial A.A. izlemektedir. İlk 10'daki yazarlar toplamda 41 makaleye katkıda bulunmuşlardır.



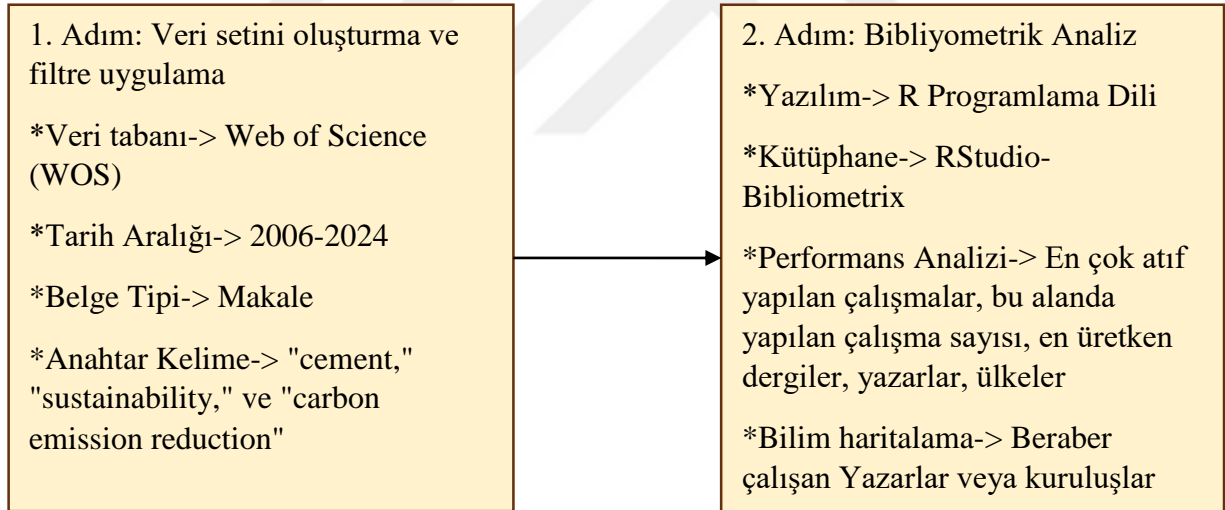
Şekil 2.1: En etkin 10 dergi



Şekil 2.2: En etkin 10 yazar

WOS veritabanından elde edilen veriler, sonraki aşamalarda RStudio programında analiz edilmiştir. RStudio, R programlama dili ile istatistiksel analiz, veri görselleştirme, veri analizi, veri temizleme, makine öğrenimi, raporlama, dokümantasyon ve web uygulamaları gibi birçok işlemi gerçekleştirmek için kullanılan bir programdır. Bu çalışmada, bibliyometrik analiz için RStudio'da yer alan "bibliometrix" kütüphanesi kullanılmıştır. Bu kütüphane, bilimsel üretkenlik analizi, atıf analizi, Co-Authorship analizi, dergi analizi ve makalelerin gruplandırılması için kümeleme analizi gibi birçok bibliyometrik analiz türünü gerçekleştirme imkanı sunmaktadır. Uygulama adımlarının sıralı olarak gösterildiği Şekil 2.3, bu süreçlerin genel bir özetini sunmaktadır.

Bu bağlamda, çalışmada kullanılan anahtar kelimeler "cement," "sustainability," ve "carbon emission reduction" olup, bu kavramlar etrafında oluşturulan veri seti üzerinde analizler yapılmıştır.



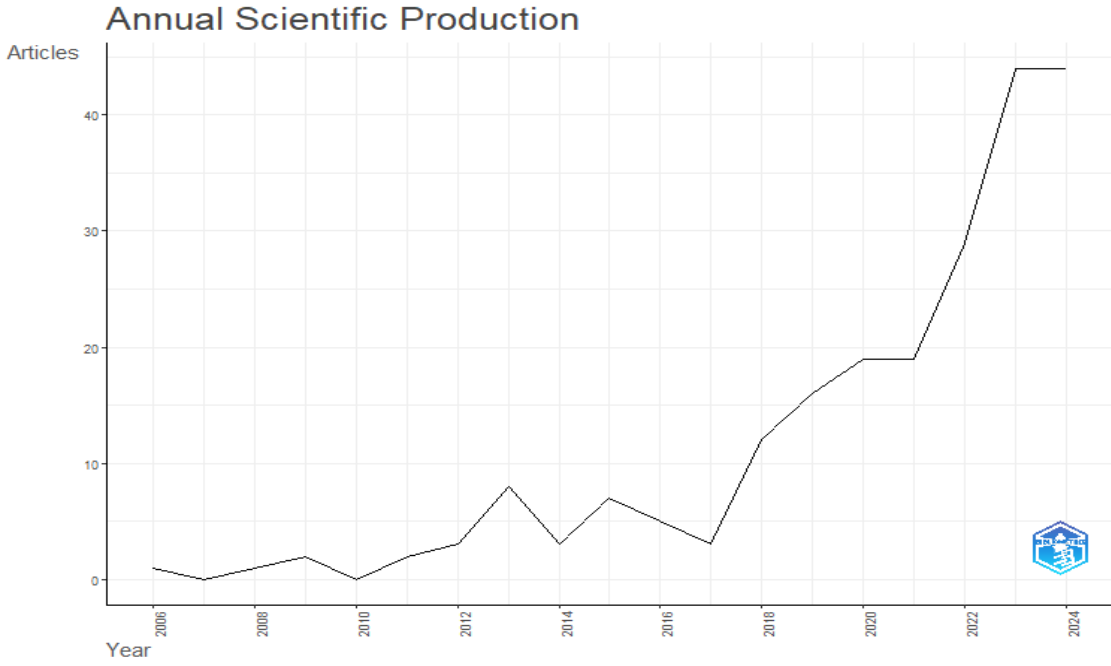
Şekil 2.3: Araştırma Adımları

2.2.2. Performans Analizi

Bibliyometrik analiz sürecinde, makalelerle ilgili temel verilere odaklanılmıştır. Bu veriler arasında toplam çalışma sayısı, yıllara göre çalışmaların dağılımı, yazarların üretkenliği ve yıllık üretkenlik eğilimleri, en çok atıf alan yayınlar, en fazla yayım yapan akademisyenler ile alanın literatürüne en çok katkı sağlayan ülke ve kuruluşlar yer almaktadır. Bu analizler sayesinde, çalışma alanının literatürdeki yeri ve durumu hakkında geniş kapsamlı bilgilere ulaşılmıştır.

2.2.3. Yayın Sayıları

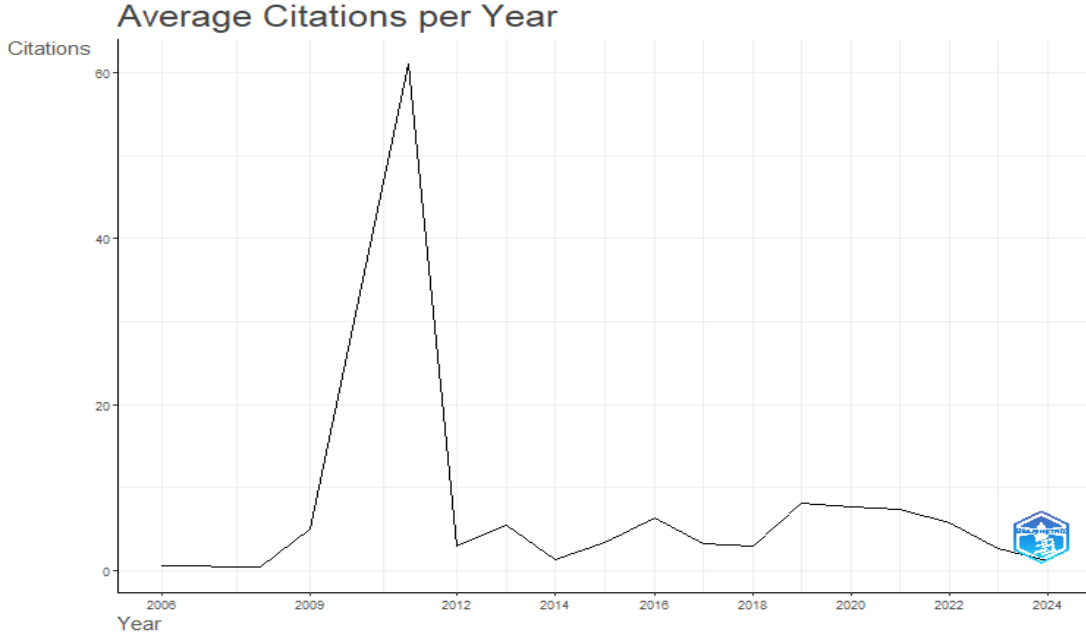
Şekil 2.4'teki grafikte, x ekseninde yıllar ve y ekseninde yayımlanan makale sayısı gösterilmektedir. Grafiğe göre, 2006-2015 yılları arasında yayımlanan makale sayısında nispeten sabit bir seyir izlenirken, 2015 yılından itibaren belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış, 2023 yılına kadar devam etmiş ve yayımlanan makale sayısı 44'e ulaşmıştır. 2024 yılında da aynı sayıda makale yayımlanmıştır.



Şekil 2.4: Yıllık makale sayısı

Şekil 2.5'da x eksenini yılları, y eksenini ise yıllık ortalama atıf sayısını göstermektedir. Grafik incelendiğinde, belirli dönemlerde atıf sayılarında artışlar gözlemlenmektedir. Özellikle 2011 yılında ortalama atıf sayısı 61'e ulaşarak dikkat çekici bir artış göstermiştir. 2012-2016 yılları arasında ve 2018 yılında da atıf sayılarında artışlar görülmüştür.

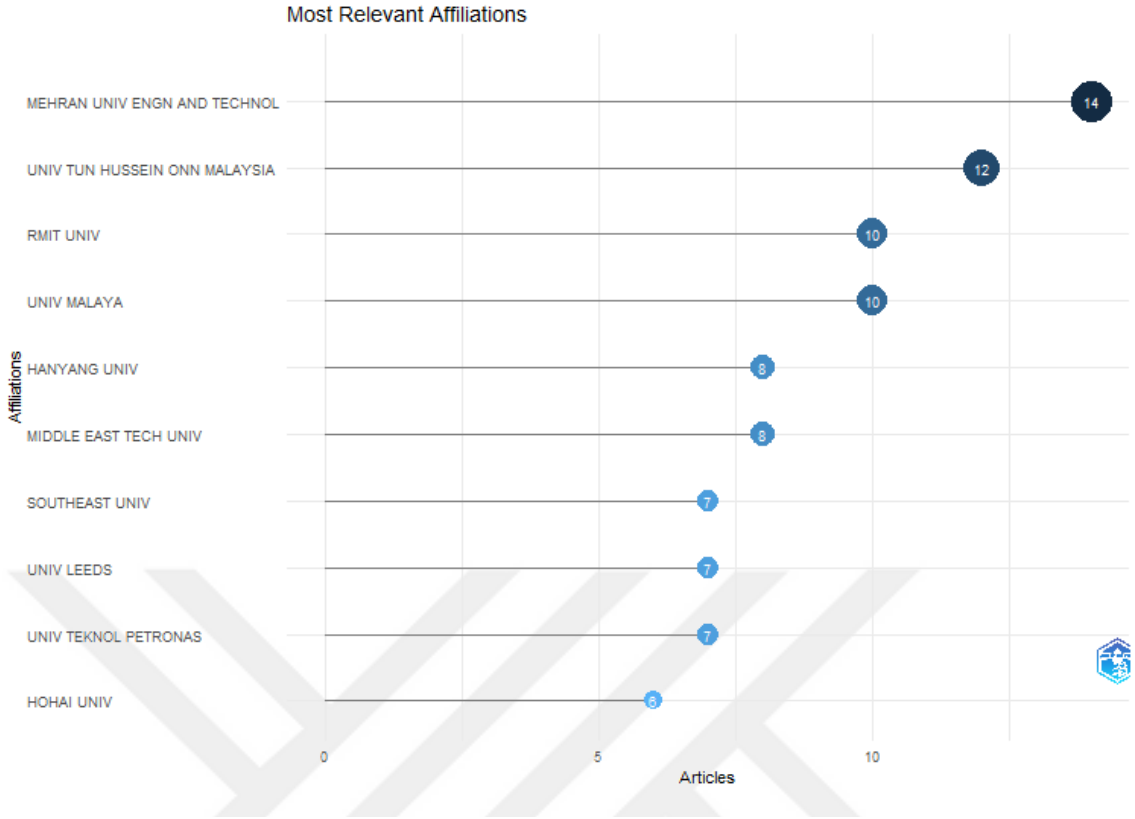
2019 ve 2020 yıllarında ortalama atıf sayıları sırasıyla 8,08 ve 7,64 olarak kaydedilmiştir. 2023 ve 2024 yıllarında ise bu sayılar düşüş göstererek sırasıyla 2,62 ve 1,07 olmuştur.



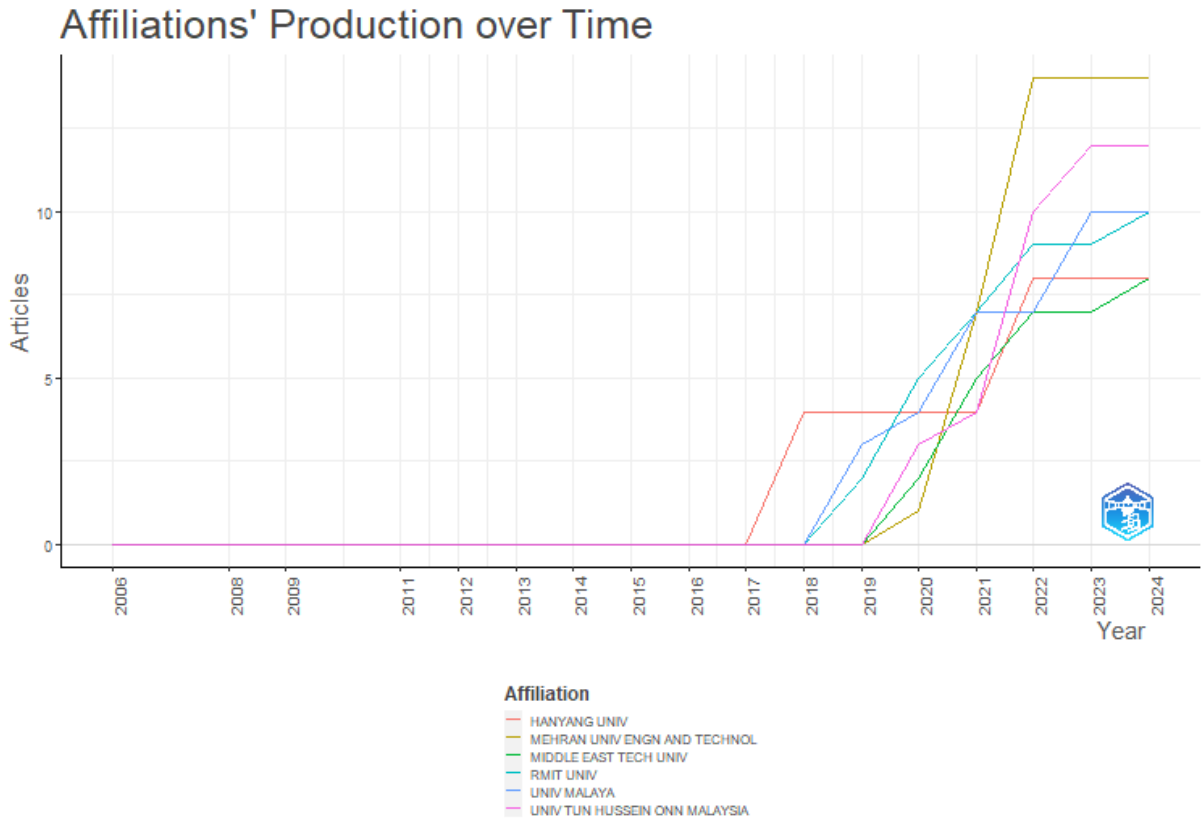
Şekil 2.5: Yıllara göre ortalama atıf sayısı

2.2.4. Kurum Bilgileri

WOS veri tabanından elde edilen veri setinde, toplamda 805 makale yazılmıştır. Bu makaleleri yazan 397 adet üniversite veya kurum bulunmaktadır. Bunlardan en çok makale yazılan ilk 10 kurumlar Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Tabloda, kurumlar ve bu kurumların yayınladığı makale sayıları yer almaktadır. Örneğin, Mehran University of Engineering and Technology 14 makale ile en yüksek sayıya sahiptir. Diğer üniversiteler arasında University Tun Hussein Onn Malaysia, RMIT University, University of Malaya ve Hanyang University gibi kurumlar bulunmaktadır. Bu şekil, farklı üniversitelerin akademik üretkenliğini görsel olarak karşılaştırmayı sağlamaktadır. Ayrıca Şekil 2.7'de de en çok makale yayımlayan ilk 6 kurumun makale sayılarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. 2022 yılından itibaren yayınlanan makale sayısı en yüksek seviyelere çıkmış ve 2024 yılına kadar bu seviye korunmaktadır.



Şekil 2.6: Kurumların makale sayıları



Şekil 2.7: Kurumlarda yazılan makale sayılarının yıllara göre değişimi

2.2.5. Yazar Bilgileri

WOS veri tabanından elde edilen veri setinde toplamda 791 yazar bulunmaktadır. Bu yazarlar yayımlanan 884 makale ile çalışma alanına katkıda bulunmuşlardır. Tablo 2.2’de en etkili 20 yazar listelenmiştir. Ayrıca, üçüncü sütunda yazarların yazdığı makalelerdeki toplam katkı payları gösterilmektedir. Örneğin, bir makaleyi dört yazar yazdıysa, her bir yazar 0,25 puan almaktadır. Tablo 2.2’ye göre en fazla yayına sahip yazar, 6 makale ile Bheel N. olup, onu 5 makale ile Habert G. ve Jhatial AA takip etmektedir. Toplam Pay sütunundaki verilere göre en yüksek katkı payına da Bheel N. sahiptir. Bu sütunun makale sayısına oranı, daha az yazarla daha fazla makale üretildiği durumlarda yüksek çıkmaktadır ve Wang XY da ilk 20 makale sayısında yer almasa da pay olarak 3. sırada bulunmaktadır.

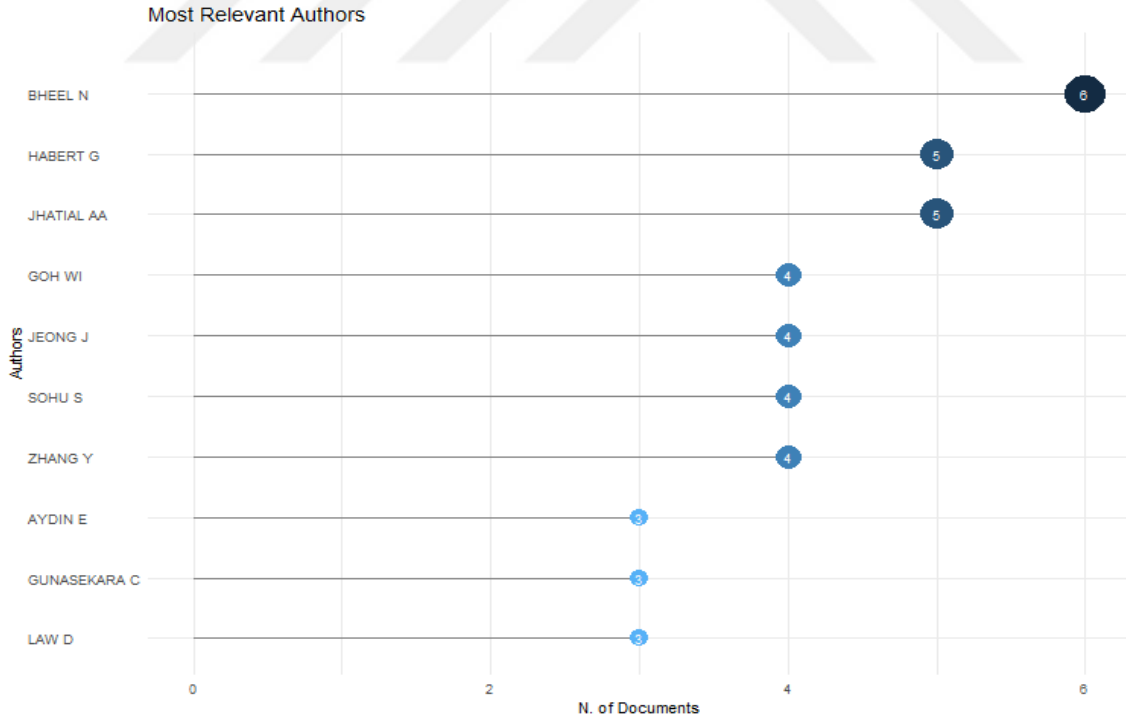
Tablo 2.2: En etkin 20 yazar makale bilgileri

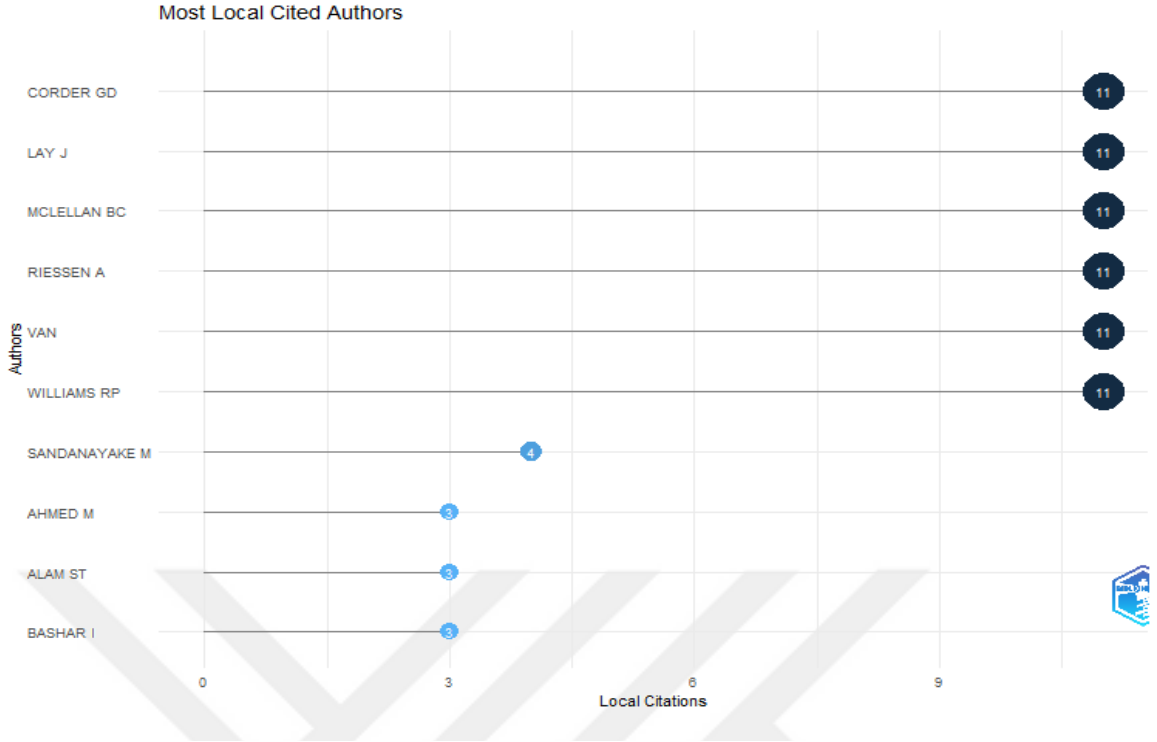
Yazar	Makale Sayısı	Toplam Pay
BHEEL N	6	1,70
HABERT G	5	1,37
JHATIAL AA	5	1,07
GOH WI	4	0,82
JEONG J	4	1,00
SOHU S	4	0,82
ZHANG Y	4	0,53
AYDIN E	3	1,17
GUNASEKARA C	3	0,53
LAW D	3	0,64
SANDANAYAKE M	3	0,70
SETUNGE S	3	0,53
WANG J	3	0,65
WANG X	3	0,48
XU M	3	0,27
ABBEY SJ	2	0,50
ADESINA A	2	0,83
ALENGARAM UJ	2	0,40
BOOTH CA	2	0,50
DAKWALE VA	2	0,53

Tablo 2.3’de yazarlar ve aldıkları atıf sayıları azalan sırayla listelenmiştir. Bu tabloda ilk 20 yazar yer almaktadır. İlk 6 yazarın her birinin atıf sayısı 11’dir. Tablo 2.2 ve Tablo 2.3 birlikte incelendiğinde, en çok atıf alan 6 yazarın, en fazla makale yazan 20 yazar arasında yer almadığı görülmektedir.

Tablo 2.3: En çok atıf alan 20 yazar

Author	Local Citations
CORDER GD	11
LAY J	11
MCLELLAN BC	11
RIESSEN A	11
VAN	11
WILLIAMS RP	11
SANDANAYAKE M	4
AHMED M	3
ALAM ST	3
BASHAR I	3
GUNASEKARA C	3
HABERT G	3
HARVEY JT	3
JERIN I	3
KHATUN S	3
MAITY S	3
MILLER SA	3
MYERS RJ	3
RAHMAN M	3
SANAL I	3

**Şekil 2.8:** En çok makaleye katkıda bulunmuş 10 yazar



Şekil 2.9: En çok atıf yapılmış 10 yazar

2.2.6. Dergi Bilgileri

Tablo 2.4'teki bilgilere göre, en çok makaleye sahip dergi "Journal of Cleaner Production" olup, 31 makale ile öne çıkmaktadır. İkinci sırada 22 makale ile "Construction and Building Materials" dergisi yer almaktadır. "Sustainability" dergisi ise 12 makale ile üçüncü sıradadır. İlk 10'da yer alan dergiler, toplam makale sayısının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Tablo 2.6'de dergilere yapılan atıf sayıları gösterilmektedir. "Construction and Building Materials" dergisi 1713 atıf ile en yüksek sayıya sahiptir. Onu 1091 atıf ile "Journal of Cleaner Production" ve 637 atıf ile "Cement and Concrete Research" dergileri takip etmektedir. Toplam 14490 referansın 4879 tanesi ilk 10'daki dergilere yapılmıştır, bu da toplam referansın %33,6'sına denk gelmektedir. Atıf sayısının daha iyi anlaşılabilmesi için bibliometrix programının arayüzünden alınan görsel Şekil 2.10'de gösterilmektedir.

Tablo 2.4: En çok makalenin yayımlandığı 10 dergi

Dergi Adı	Makale Sayısı
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	31
CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	22
SUSTAINABILITY	12
ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH	10
JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING	10

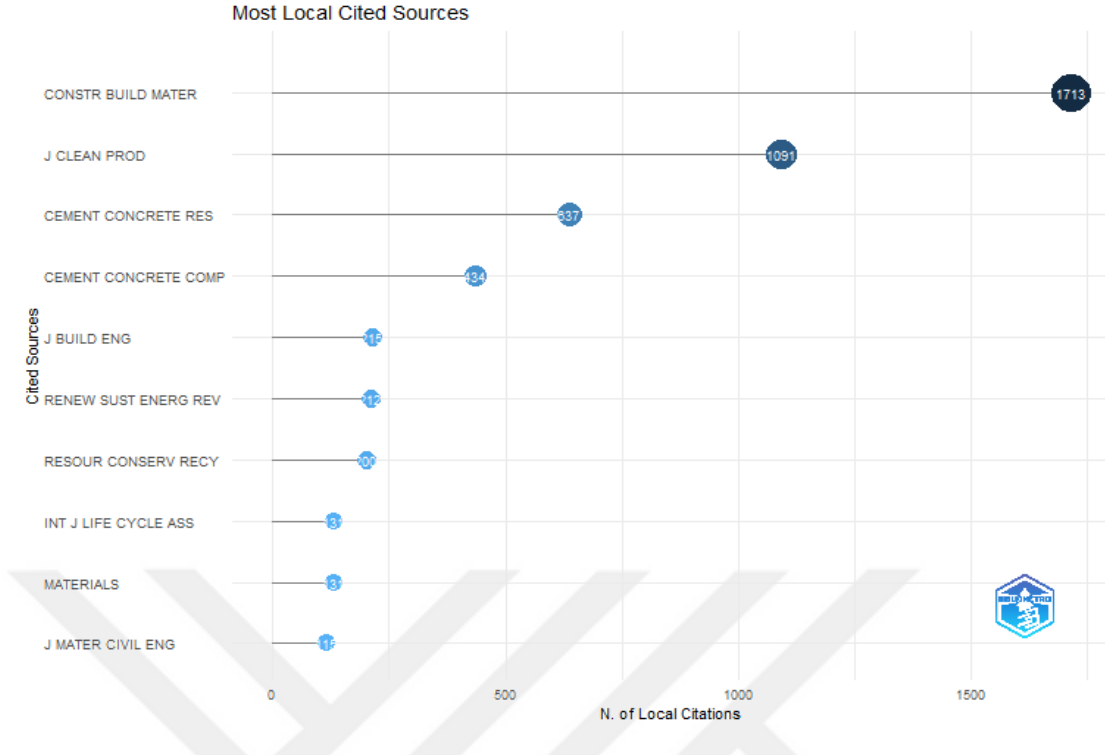
BUILDINGS	4
SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	4
SUSTAINABLE MATERIALS AND TECHNOLOGIES	4
CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY	3
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	3

Tablo 2.5: En çok atıf yapılan 10 makale detayları

Makale Adı	DOI	Toplam Atıf Sayısı	Yıllık Ortalama Atıf Sayısı	Normalleştirilmiş Yıllık Ortalama Atıf Sayısı
MCLELLAN BC, 2011, J CLEAN PROD	10.1016/j.jclepro.2011.02.010	1143	81,64	1,34
PIRES JCM, 2011, CHEM ENG RES DES	10.1016/j.cherd.2011.01.028	565	40,36	0,66
CAI W, 2019, SCI TOTAL ENVIRON	10.1016/j.scitotenv.2019.02.069	205	34,17	4,23
HABERT G, 2009, CEM CONCR COMPOS	10.1016/j.cemconcomp.2009.04.001	160	10,00	2,00
NAJAFABADI AT, 2013, INT J ENERGY RES	10.1002/er.3021	145	12,08	2,22
NIDHEESH PV, 2019, J CLEAN PROD	10.1016/j.jclepro.2019.05.251	144	24,00	2,97
NIE S, 2022, J CLEAN PROD	10.1016/j.jclepro.2021.130270	126	42,00	7,38
GAO T, 2015, J CLEAN PROD	10.1016/j.jclepro.2014.11.026	118	11,80	3,50
GUTOWSKI TG, 2013, PHILOS TRANS R SOC A-MATH PHYS ENG SCI	10.1098/rsta.2012.0003	117	9,75	1,79
TAIT MW, 2016, INT J LIFE CYCLE ASSESS	10.1007/s11367-016-1045-5	106	11,78	1,87

Tablo 2.6: En çok atıf yapılan 10 makale

Dergi Adı	Atıf Yapılan Makale Sayısı
CONSTR BUILD MATER	1713
J CLEAN PROD	1091
CEMENT CONCRETE RES	637
CEMENT CONCRETE COMP	434
J BUILD ENG	215
RENEW SUST ENERG REV	212
RESOUR CONSERV RECY	200
INT J LIFE CYCLE ASS	131
MATERIALS	131
J MATER CIVIL ENG	115



Şekil 2.10: En çok atıf yapılmış 10 dergi

2.2.7. Ülke Bilgileri

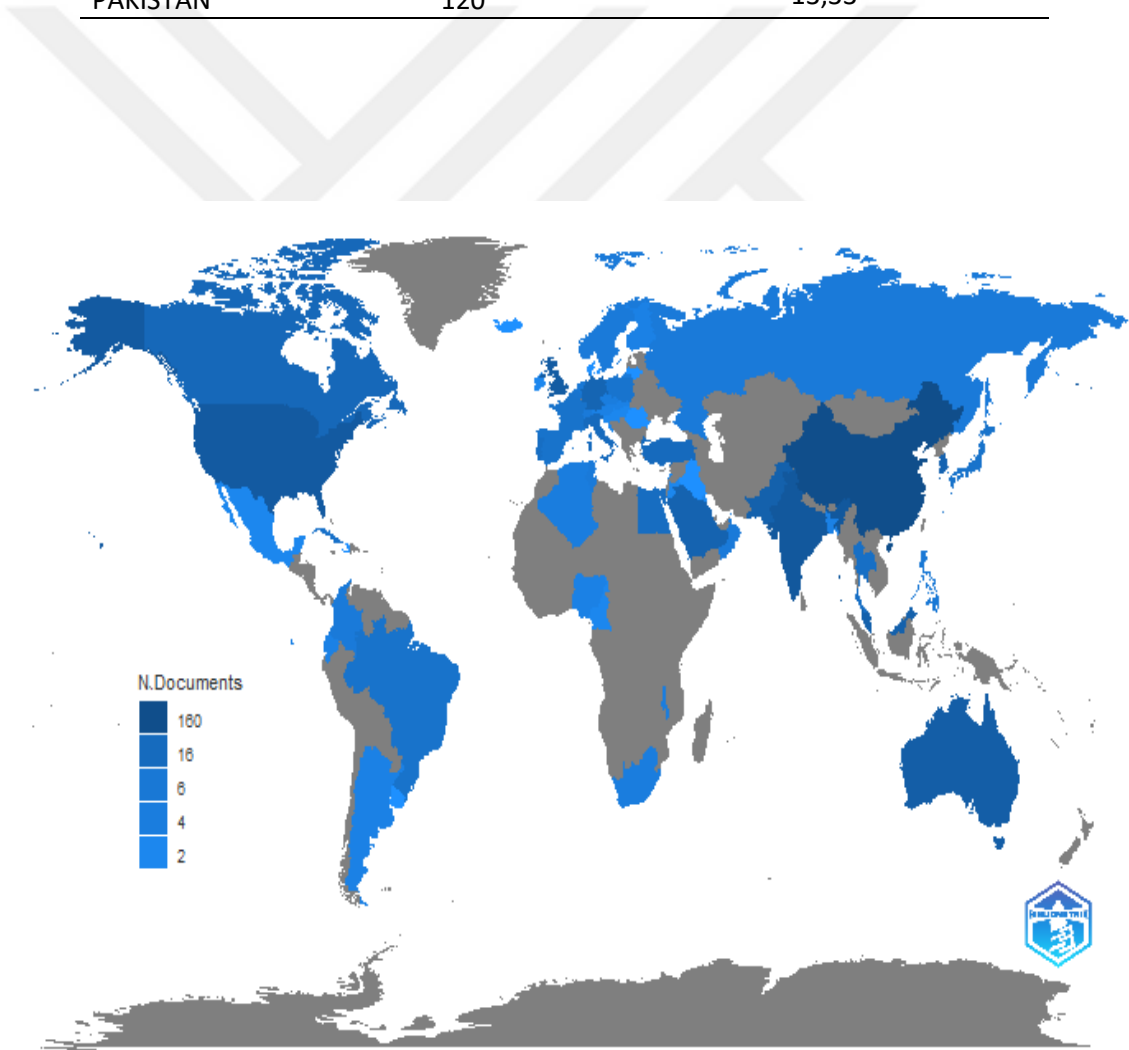
Tablo 2.7’de en çok makale üreten ilk 10 ülke gösterilmektedir. Buna göre Çin, 160 makale ile listenin başında yer almaktadır. Hindistan 71 makale ile ikinci sırada, ABD ise 59 makale ile üçüncü sıradadır. İlk iki sıradaki Çin ve Hindistan, toplam makale sayısının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Tablo 2.8’de ise ülkelerin toplam atıf sayıları ve makale başına düşen atıf sayıları gösterilmektedir. Japonya, 1238 atıf ile listenin başında yer almakta ve makale başına düşen atıf sayısı 619 ile en yüksek ortalamaya sahiptir. Çin, 802 atıf ile ikinci sırada yer alırken, Portekiz 589 atıf ile üçüncü sıradadır. Makale başına düşen atıf sayısı açısından Portekiz, 117,80 ile diğer ülkeleri takip etmektedir.

Tablo 2.7: En çok makale üreten 10 ülke

Ülke	Makale Sayısı
CHINA	160
INDIA	71
USA	59
UK	53
AUSTRALIA	45
MALAYSIA	36
PAKISTAN	35
SAUDI ARABIA	30
SOUTH KOREA	29
GERMANY	26

Tablo 2.8: En çok atıf yapılan 10 ülke

Ülke	Toplam Atıf Sayısı	Makale Başına Düşen Atıf Sayısı
JAPAN	1238	619,00
CHINA	802	25,87
PORTUGAL	589	117,80
USA	561	31,17
AUSTRALIA	479	34,21
INDIA	393	17,09
UNITED KINGDOM	336	19,76
CANADA	274	39,14
FRANCE	210	70,00
PAKISTAN	120	13,33

**Şekil 2.11:** Haritada ülke bazlı makale sayıları

2.2.8. Ağ Analizi

Yazılan makalelerin çoğu, birden fazla katılımcının iş birliği ile oluşturulmuştur. Bu katılımcılar arasındaki ilişkilerin incelendiği çeşitli analizler bulunmaktadır. Bu analizler arasında en yaygın olanlardan biri ağ analizidir. Bu analiz, hangi anahtar kelimelerin birlikte kullanıldığını belirlemeyi amaçlamaktadır. Tablo 2.9’da en sık kullanılan 10 anahtar kelime listelenmiştir. “emissions”, “strength” ve “fly-ash” en çok kullanılan ilk 3 anahtar kelime olarak öne çıkmaktadır. Tablo 2.9’da en çok kullanılan anahtar kelimelere yer verilmiştir.

Tablo 2.9: En çok kullanılan 10 kelime

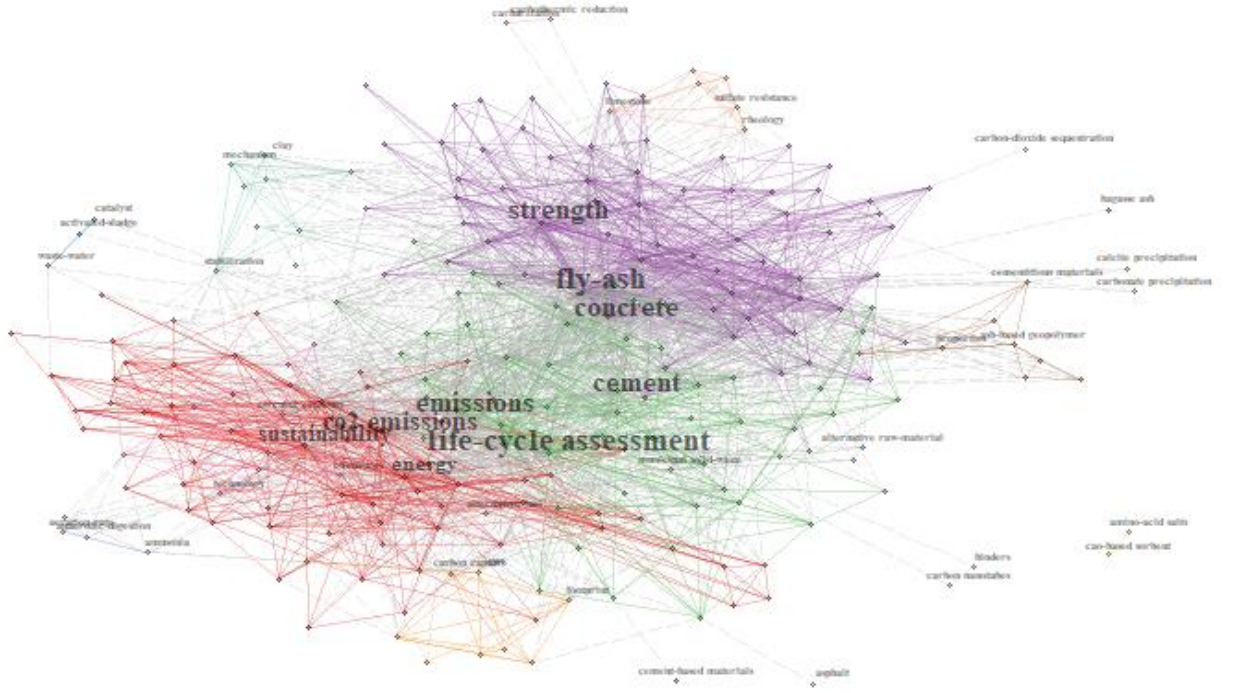
Anahtar Kelime	Kullanım Sıklığı
emissions	36
strength	36
fly-ash	35
life-cycle assessment	34
cement	33
concrete	33
performance	27
co2 emissions	25
mechanical-properties	25
durability	24

Şekil 2.12’de anahtar kelimelerin birlikte kullanım durumu görselleştirilmiştir. Anahtar kelimeler bir çok farklı kümeye ayrılmıştır. Kelimelerin yazı boyutunun büyüklüğü, kelimenin kullanım sıklığına göre değişmektedir. Her bir kelime, farklı renkli bağlantılarla belirtilmiştir.

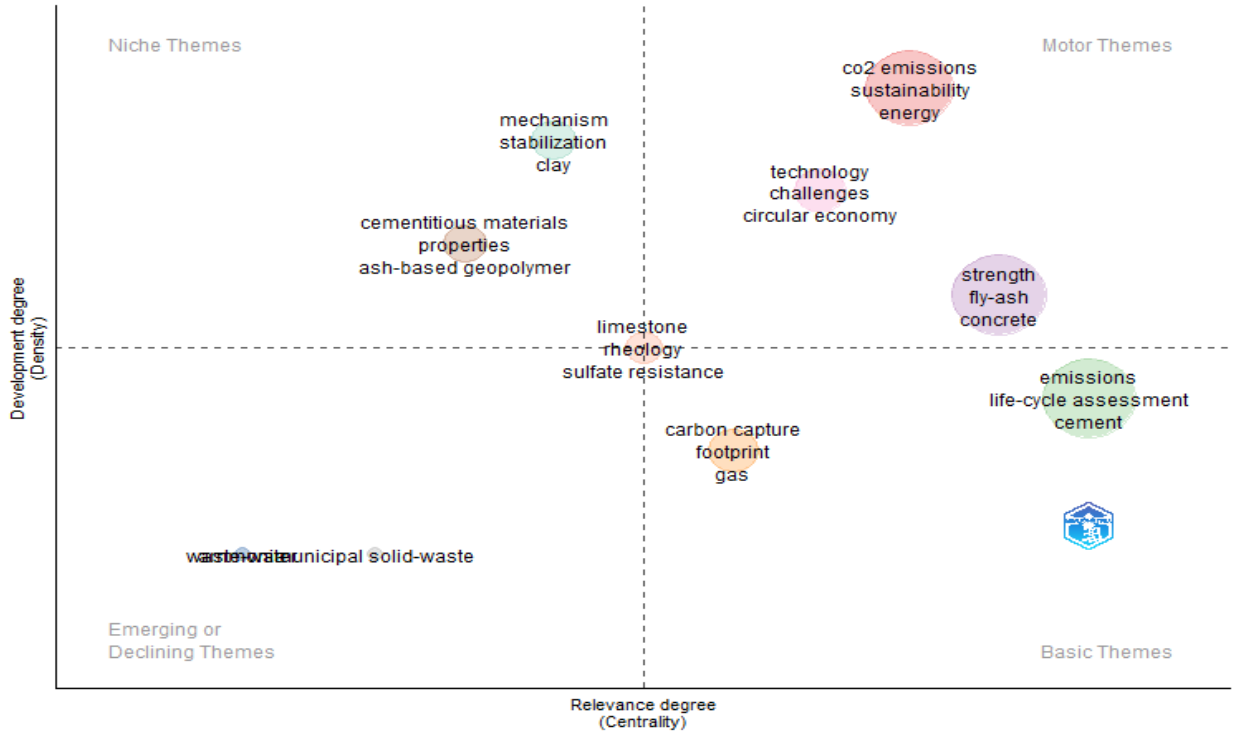
Kelimeler arasındaki çizgiler, anahtar kelimelerin birlikte kullanımını göstermektedir. Bu görsel, bibliyometrix programının arayüzünden elde edilmiştir. En çok kullanılan anahtar kelimelerin dağılımı ve kullanım yoğunluk durumu, Şekil 2.13’de detaylandırılmıştır.

Şekil 2.14’de anahtar kelimelerin yoğunluk haritası kelime bulutu olarak gösterilmektedir. Bu gösterime göre kelimenin yazı boyutunun büyük olması, o anahtar kelimenin son çalışmalarda daha sık kullanıldığını ifade etmektedir. Yazı boyutu küçüldükçe kullanım sıklığının düştüğü yorumu yapılmaktadır. “emissions” ve “strength” kelimelerinin son çalışmalarda daha çok kullanıldığı görülmektedir. Bununla beraber “fly-ash” ve “life-cycle assessment” kelimelerinin de sık kullanıldığı sonucuna ulaşılabilmektedir.

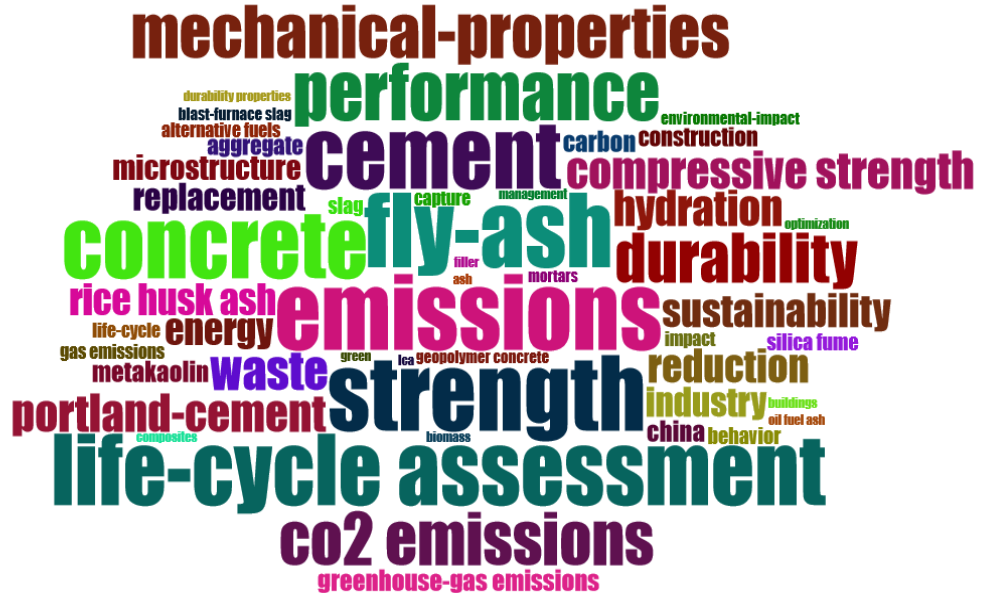
Keyword co-occurrences



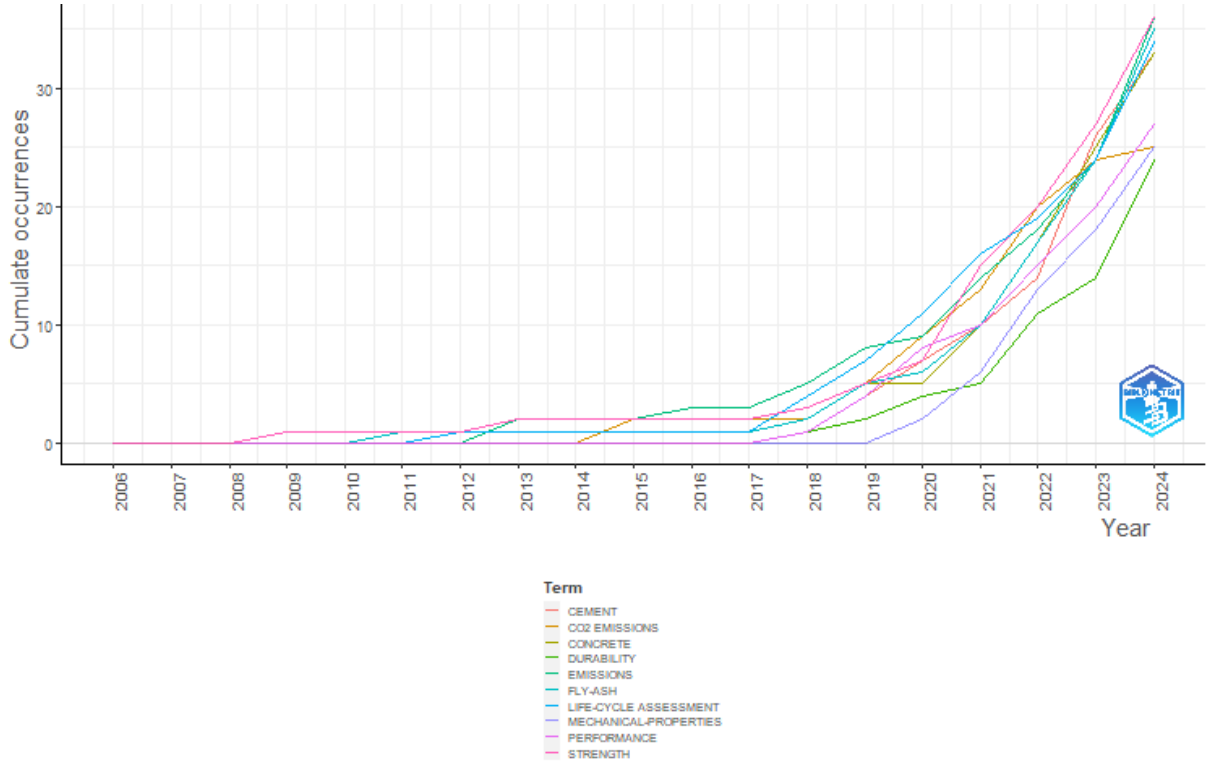
Şekil 2.12: Anahtar kelimelerin birlikte kullanılma durumu



Şekil 2.13: Anahtar kelimelerin birlikte kullanılma ve yoğunluk durumu



Şekil 2.14: Anahtar kelimelerin yoğunluk haritası



Şekil 2.15: Anahtar kelimelerin yıllara göre kullanımı

Şekil 2.15 incelendiğinde, "emissions" ve "strength" anahtar kelimelerinin 2019 yılından itibaren kullanımının katlanarak arttığı görülmektedir. Aynı şekilde "fly-ash" ve "life-cycle assessment" anahtar kelimelerinin de 2020 yılından itibaren kullanımının hızlı bir şekilde arttığı yorumu yapılabilmektedir. Bu artışlar, çevresel ve performans odaklı konulara olan ilginin artmasıyla açıklanabilir. Tablo 2.10'da sık kullanılan anahtar kelimelerin kullanım

değerleri, özellikle 2019 ve sonrasında belirgin bir artış göstermiştir. Bu eğilim, sektördeki sürdürülebilirlik ve malzeme performansı konularına yönelik artan ilgiyi yansıtmaktadır.

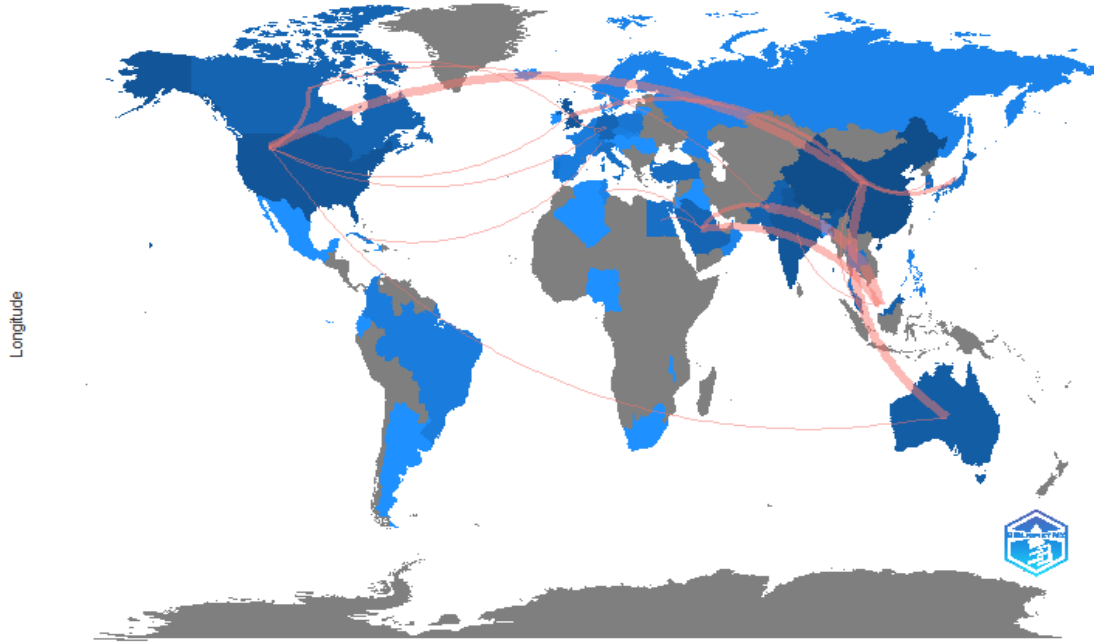
Tablo 2.10: Anahtar kelimelerin son 10 yılda kullanımı

Yıl	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
EMISSIONS	2	3	3	5	8	9	14	18	24	36
STRENGTH	2	2	2	3	5	7	15	20	27	36
FLY-ASH	1	1	1	2	5	6	10	17	24	35
LIFE-CYCLE ASSESSMENT	1	1	1	4	7	11	16	19	24	34
CEMENT	0	0	0	1	4	7	10	14	26	33
CONCRETE	2	2	2	3	5	5	10	17	25	33
PERFORMANCE	0	0	0	1	4	8	10	15	20	27
CO2 EMISSIONS	2	2	2	2	5	9	13	20	24	25
MECHANICAL-PROPERTIES	0	0	0	0	0	2	6	13	18	25
DURABILITY	0	0	0	1	2	4	5	11	14	24

Bibliyometrik analiz sırasında ağ analizi kısmında anahtar kelimeler arasındaki ilişki dışında değinilebilecek bir diğer analiz ise yazar-ülke arasındaki ilişkilerdir. Bu analiz bibliometrix programındaki “collaboration world map” kısmı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 2.16’da ülkelerin birbirleriyle gösterdikleri iş birlikleri kapsamında ülkeler arası çizgiler görülmektedir. En çok ortak çalışma yapılan ülkenin çizgisi daha kalın gösterilmektedir. Şekle baktığımızda en çok ilişki kurulan ülkelerin Çin ve ABD olduğu sonucuna varılabilir.

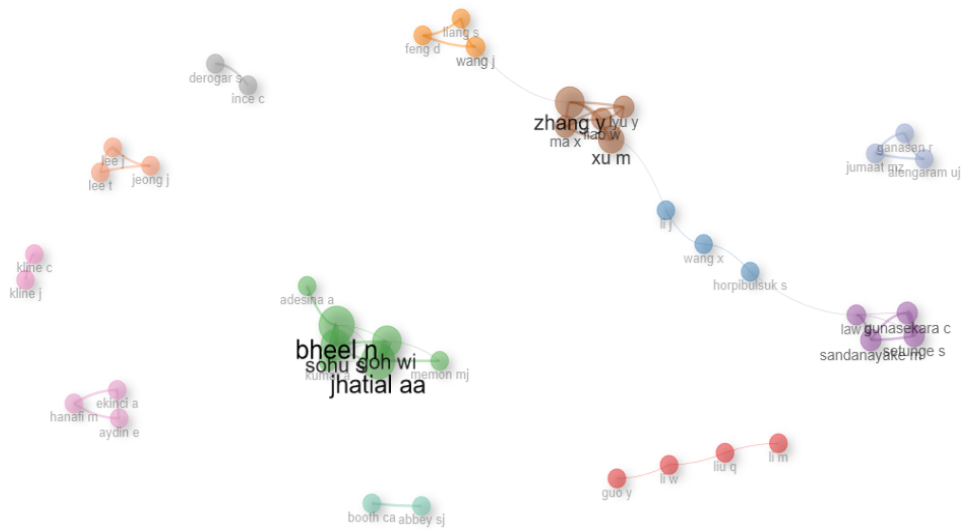
Tablo 2.11: En çok iş birliği yapılan 10 ülke

Ülke	İş Birliği Sayısı
CHINA	34
USA	29
SAUDI ARABIA	22
UNITED KINGDOM	19
MALAYSIA	18
PAKISTAN	17
CANADA	14
AUSTRALIA	13
GERMANY	10
JAPAN	10



Şekil 2.16: Ülkeler arasındaki iş birliği

Şekil 2.16’da yazarlar arasındaki iş birliği, farklı kümeler altında gösterilmektedir. Yazarlar, toplamda 12 farklı küme altında gruplandırılmışlardır. Her bir kümedeki yazarların kendi içlerinde iş birliği yaptıkları, ancak farklı kümelerdeki yazarlarla ortak çalışmalarının bulunmadığı gözlemlenmiştir. Özellikle yeşil ve kahverengi kümelerde yer alan yazarların, kendi grupları içindeki iş birliği düzeyinin diğer kümelere göre daha yüksek olduğu yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 2.17: Yazarlar arasındaki iş birliği

3. YÖNTEM

3.1.ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE KARBON SALINIMINI AZALTMAYA YÖNELİK STRATEJİLER

Çimento sektöründe karbon salınımını azaltmaya yönelik çok sayıda strateji söz konusu olabilmektedir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde tüm bu stratejiler farklı şekillerde alt kategorilerde toplanabilmektedir. Bu tez kapsamında literatürdeki çalışmalara bakılarak aşağıdaki altı kategori altında temel stratejiler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Karbon salınımını azaltmaya yönelik stratejiler

1. Yönetimsel Stratejiler	Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi Karbon Kredileri ve Sertifikalar Yeşil Finansman ve Teşvikler
2. Çevresel Stratejiler	Yeşil Alanlar ve Karbon Yutakları Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi Uygulamaları Yerli ve Yenilenebilir Hammaddeler
3. Malzeme Stratejileri	Alternatif Yakıtlar ve Hammaddeler Düşük Karbonlu Klinker Üretimi Yeni Çimento Türleri (Geopolimer ve Magnezyum Oksit Çimentoları) İleri Malzemeler ve Kimyasal Katkılar
4. Yeni Teknoloji ve Proses Stratejileri	Endüstri 4.0 Uygulamaları Akıllı Sensörler ve Otomasyon Sistemleri Karbon Yakalama ve Depolama (KYD) Atık Isı Geri Kazanımı Dijital İkiz (Digital Twin) Teknolojileri
5. Enerji Stratejileri	Yenilenebilir Enerji Kullanımı Elektrifikasyon ve Hidrojen Kullanımı Enerji Yönetim Sistemleri Yardımcı Tesislerde ve Üretim Süreçlerinde Enerji Verimliliğinin Artırılması
6. Karbon Yönetimi Stratejileri	Düşük Karbonlu Üretim Süreçleri Karbon Piyasalarına Katılım Karbon Ayak İzi İzleme ve Raporlama Karbonsuzlaştırma Hedefleri ve Yol Haritaları

Yönetmel Stratejiler

- **Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi:** Çimento üretiminde kullanılan hammaddelerin tedarik edilmesi ve lojistik süreçlerin yönetimi sırasında ortaya çıkan karbon emisyonlarını azaltmayı amaçlar. Düşük karbon ayak izine sahip tedarikçilerin seçilmesi, yerel kaynakların kullanılması ve karbon-nötr lojistik yöntemlerinin benimsenmesi gibi uygulamalar içerir. Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, hem maliyetleri optimize eder hem de karbon emisyonlarını düşürerek çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur.
- **Karbon Kredileri ve Sertifikalar:** Çimento üreticileri, karbon piyasalarına katılarak karbon kredileri satın alabilir ve emisyon azaltım hedeflerine ulaşabilirler. Aynı zamanda, düşük karbonlu üretim süreçlerini benimseyerek karbon sertifikaları kazanabilirler. Bu sertifikalar, çevresel sürdürülebilirlik açısından rekabet avantajı sağlayarak yeşil ekonomi politikalarına entegrasyonu kolaylaştırır.
- **Yeşil Finansman ve Teşvikler:** Çevre dostu yatırımlara finansman sağlamak için devlet destekleri, özel finans kuruluşları ve uluslararası fonlardan yararlanma stratejisidir. Çimento sektöründe karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik projeler için yeşil tahviller, düşük faizli krediler ve teşvikler sağlanabilir. Böylece, düşük karbonlu üretim teknolojilerinin benimsenmesi mali açıdan daha sürdürülebilir hale gelir.

Çevresel Stratejiler

Çevresel stratejiler, çimento üretiminin doğrudan çevresel etkilerini azaltmak ve karbon emisyonlarını dengeleyecek çözümler üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Doğal kaynak kullanımını optimize ederek ve çevresel dengeyi gözeterek üretim süreçlerini daha sürdürülebilir hale getirir.

- **Yeşil Alanlar ve Karbon Yutakları:** Çimento fabrikalarının çevresinde ağaçlandırma projeleri yürütmek ve karbon yutakları oluşturmak, sera gazı emisyonlarını dengelemek için etkili bir yöntemdir. Yeşil alanlar, CO₂ emisyonlarını absorbe ederek hava kalitesini iyileştirir ve bölgedeki biyolojik çeşitliliği artırır. Aynı zamanda, firmanın çevresel imajını güçlendiren bir sosyal sorumluluk projesi olarak da değerlendirilebilir.

- **Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi Uygulamaları:** Çimento üretiminde atıkların minimize edilmesi ve geri dönüştürülmesi, karbon ayak izini azaltmanın önemli yollarından biridir. Atıkların enerjiye dönüştürülmesi, yan ürünlerin farklı sanayilerde değerlendirilmesi ve döngüsel ekonomi prensiplerinin benimsenmesi bu stratejinin temel unsurlarındandır. Çimento üretiminde endüstriyel atıkların kullanımı, kaynak kullanımını azaltırken enerji verimliliğini artırır.
- **Yerli ve Yenilenebilir Hammaddeler:** Yerel kaynakların kullanımı, lojistik kaynaklı karbon emisyonlarını azaltarak üretimin sürdürülebilirliğini artırır. Aynı zamanda yenilenebilir hammaddelerin kullanımı, doğal kaynakların tükenmesini önleyerek çevresel etkileri minimize eder. Bölgesel hammadde kaynaklarının değerlendirilmesi, uzun vadede ekonomik sürdürülebilirliği de destekler.

Malzeme Stratejileri

Malzeme stratejileri, karbon emisyonlarını azaltmak amacıyla kullanılan hammaddelerin değiştirilmesini ve alternatif malzemelerin geliştirilmesini kapsar. Bu stratejiler, özellikle klinker oranını düşürerek çimento üretimindeki karbon ayak izini doğrudan azaltmayı hedefler.

- **Alternatif Yakıtlar ve Hammaddeler:** Kömür ve petrokok gibi yüksek karbon salınımına neden olan fosil yakıtlar yerine biyokütle ve atık bazlı yakıtların kullanımı, karbon emisyonlarını azaltmanın etkili bir yoludur. Alternatif hammaddeler olarak uçucu kül, cüruf ve puzolan gibi malzemeler kullanılarak çimento üretiminde sürdürülebilirlik artırılabilir.
- **Düşük Karbonlu Klinker Üretimi:** Çimento üretiminde klinker yerine düşük karbon içerikli bileşenlerin kullanılması, karbon emisyonlarını azaltmada önemli bir adımdır. Düşük sıcaklıkta pişirme teknikleri ve alternatif bileşenlerin geliştirilmesi ile karbon ayak izi minimize edilebilir.
- **Yeni Çimento Türleri (Geopolimer ve Magnezyum Oksit Çimentoları):** Geopolimer ve magnezyum oksit bazlı çimentolar, geleneksel Portland çimentoya kıyasla %50'ye varan karbon azaltımı sağlayabilir. Bu tür çimentoların kullanımı, sürdürülebilir inşaat projeleri için büyük bir avantaj sağlar.

- **İleri Malzemeler ve Kimyasal Katkılar:** Çimento üretiminde verimliliği artırmak için kimyasal katkı ve ileri malzemeler kullanılarak, hem karbon emisyonları düşürülür hem de çimentonun performansı iyileştirilir. Özellikle karbon ayak izini düşüren yeni nesil katkı maddeleri, sektörde önemli bir dönüşüm yaratmaktadır.

Yeni Teknoloji ve Proses Stratejileri

Çimento sektöründe dijitalleşme ve ileri teknolojiler kullanılarak karbon emisyonlarının azaltılması hedeflenir. Verimlilik artışı ve enerji optimizasyonu sağlayan bu stratejiler, uzun vadeli sürdürülebilir üretim için kritik öneme sahiptir. Yeni teknoloji ve proses stratejileri firmanın ihtiyaçlarına göre farklılık arz edebileceği gibi zamanla da değişkenlik gösteren yatırımlardır. Sektörde bu konuda en yaygın güncel temel stratejiler ise şunlardır;

- **Endüstri 4.0 Uygulamaları:** Sensör tabanlı izleme sistemleri, büyük veri analitiği ve yapay zeka uygulamaları sayesinde üretim süreçlerinin optimize edilmesi sağlanır. Veri odaklı süreç yönetimi, karbon emisyonlarını azaltan en önemli teknolojik stratejilerden biridir.
- **Akıllı Sensörler ve Otomasyon Sistemleri:** Gerçek zamanlı izleme ve süreç optimizasyonu sağlayan akıllı sensörler, üretim sürecindeki karbon emisyonlarını azaltmak için kullanılmaktadır.
- **Karbon Yakalama ve Depolama (KYD):** Çimento fabrikalarında oluşan CO₂ gazının yakalanarak depolanması veya yeniden kullanılmasıyla karbon emisyonlarının önüne geçilmesi hedeflenir.
- **Atık Isı Geri Kazanımı:** Çimento fırınlarından açığa çıkan ısının enerjiye dönüştürülmesi, fosil yakıt kullanımını azaltarak karbon emisyonlarını düşürür.
- **Dijital İkiz (Digital Twin) Teknolojileri:** Üretim süreçlerinin dijital kopyalarını oluşturarak süreç optimizasyonu sağlayan dijital ikiz teknolojileri, karbon salınımını düşürebilecek potansiyele sahiptir.

Enerji Stratejileri

Enerji stratejileri, çimento üretiminde kullanılan enerji kaynaklarını daha verimli hale getirmeyi ve yenilenebilir enerjiye geçişi teşvik etmeyi amaçlayan yöntemlerdir. Çimento

üretiminde kullanılan fosil yakıtların azaltılması, alternatif enerji kaynaklarının benimsenmesi ve enerji yönetim sistemlerinin uygulanması, karbon emisyonlarının düşürülmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjiye yönelim, çimento sektöründe sürdürülebilir üretim anlayışının temel taşlarından biri olarak kabul edilmektedir.

- **Yenilenebilir Enerji Kullanımı:** Çimento sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, karbon emisyonlarını azaltmak için önemli bir stratejidir. Rüzgar, güneş ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim süreçlerine entegre edilmesi, fosil yakıt kullanımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği artırır. Yenilenebilir enerjiye geçiş, işletmelerin karbon ayak izini düşürmelerinin yanı sıra uzun vadede enerji maliyetlerini de minimize edebilir. Çimento fabrikalarında doğrudan yenilenebilir enerji santralleri kurmak veya Yenilenebilir Enerji Tedarik Anlaşmaları (YETA) yapmak, bu stratejiyi uygulamanın en yaygın yöntemlerindedir.
- **Elektrifikasyon ve Hidrojen Kullanımı:** Çimento üretiminde karbon emisyonlarının büyük bir kısmı, yüksek sıcaklık gerektiren işlemler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtlarla sağlanan bu yüksek sıcaklıklar yerine elektrikle çalışan fırınların kullanılması, karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Elektrifikasyon, özellikle düşük karbonlu elektrik kaynakları kullanıldığında büyük çevresel faydalar sağlar. Ayrıca, hidrojen enerjisi çimento üretiminde önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Yeşil hidrojenin kullanımı, karbon salınımı olmadan yüksek sıcaklıklara ulaşmayı mümkün kılar. Hidrojenin yanma sürecinde yalnızca su açığa çıkarması, onu çevresel sürdürülebilirlik açısından değerli bir enerji kaynağı haline getirmektedir.
- **Enerji Yönetim Sistemleri:** Çimento fabrikalarında enerji tüketimini izlemek ve optimize etmek için enerji yönetim sistemlerinin uygulanması, verimliliği artırarak karbon emisyonlarını azaltabilir. ISO 50001 gibi enerji yönetim standartlarının benimsenmesi, fabrikaların enerji tüketimini sürekli olarak analiz etmelerini ve iyileştirmelerini sağlar. Akıllı şebekeler, enerji tasarruflu makineler ve üretim süreçlerinin enerji tüketimi açısından optimize edilmesi, işletmelerin enerji maliyetlerini ve karbon salınımını düşürmesine yardımcı olur. Aynı zamanda, bu sistemler enerji tasarrufu sağlayarak rekabet avantajı yaratır.

- ***Yardımcı Tesislerde ve Üretim Süreçlerinde Enerji Verimliliğinin Artırılması:*** Çimento üretiminde yalnızca ana üretim süreçleri değil, yardımcı tesisler ve ekipmanlar da yüksek enerji tüketmektedir. Değirmenler, soğutma sistemleri, hava kompresörleri ve diğer yardımcı ekipmanlarda enerji verimli çözümler uygulanarak toplam enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılabilir. Yüksek verimli motorlar, ısı geri kazanım sistemleri ve enerji tüketimini izleyen otomasyon sistemleri ile fabrikaların enerji tüketiminde sürdürülebilir bir azalma sağlanabilir. Bu strateji, karbon emisyonlarını azaltmanın yanı sıra üretim maliyetlerini de düşürerek firmalara ekonomik avantaj sağlar.

Karbon Yönetimi Stratejileri

Karbon yönetimi stratejileri, çimento sektörünün emisyonlarını takip etmesini, azaltma hedeflerini belirlemesini ve karbon piyasalarına entegre olmasını sağlayan yöntemlerden oluşur. Karbonsuzlaştırma hedeflerinin belirlenmesi, düzenli izleme ve raporlama süreçlerinin oluşturulması, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olur. Bu stratejiler, firmaların çevresel düzenlemelere uyum sağlamasını ve karbon salınımlarını etkin bir şekilde kontrol etmelerini sağlar.

- ***Düşük Karbonlu Üretim Süreçleri:*** Çimento üretiminde karbon emisyonlarını en aza indirmek için üretim süreçlerinin düşük karbon emisyonlu teknolojilere uyarlanması gerekmektedir. Enerji tüketimini düşüren ve fosil yakıt bağımlılığını azaltan yenilikçi üretim teknikleri, düşük karbonlu çimento üretimi için hayati öneme sahiptir. Örneğin, düşük sıcaklıkta pişirme teknikleri ve alternatif hammaddeler kullanılarak emisyonların azaltılması sağlanabilir. Bu süreçler, çimento sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.
- ***Karbon Piyasalarına Katılım:*** Çimento sektörü, karbon emisyonlarını azaltmak için karbon piyasalarına katılarak emisyon ticareti yapabilir. Karbon ticareti, şirketlerin belirlenen karbon sınırlarının üzerinde emisyon üretmesi durumunda ekstra karbon kredisi satın almalarını veya daha düşük emisyon değerlerine ulaşarak karbon kredisi satmalarını sağlar. Bu strateji, karbon salınımının finansal olarak yönetilmesini sağlarken, çimento firmalarına ekonomik teşvikler sunarak sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olur.

- ***Karbon Ayak İzi İzleme ve Raporlama:*** Karbon emisyonlarını azaltmak için ilk adım, mevcut emisyon seviyelerini doğru bir şekilde ölçmek ve düzenli olarak raporlamaktır. Karbon ayak izi izleme sistemleri, çimento fabrikalarının hangi süreçlerde ne kadar karbon emisyonu ürettiğini belirlemelerine yardımcı olur. Detaylı raporlama ve analiz, çimento fabrikalarının sürdürülebilirlik stratejilerini geliştirmelerine ve iyileştirmelerine olanak tanır. Uluslararası sürdürülebilirlik standartlarına uyum sağlamak için bu tür raporlama sistemleri giderek daha fazla önem kazanmaktadır.
- ***Karbonsuzlaştırma Hedefleri ve Yol Haritaları:*** Çimento üreticileri, uzun vadeli sürdürülebilirlik hedefleri belirleyerek karbon nötrlüğe ulaşmayı hedeflemektedir. Karbonsuzlaştırma stratejileri kapsamında kısa, orta ve uzun vadeli hedefler belirlenerek, işletmelerin karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik planlamalar yapması sağlanabilir. Karbon yol haritaları, firmaların karbon azaltımı için izlemesi gereken adımları belirleyerek süreçlerin verimli bir şekilde yönetilmesine yardımcı olur. Bu hedefler, işletmelerin sürdürülebilirlik vizyonlarını belirlemelerine ve çevresel sorumluluklarını yerine getirmelerine katkı sağlar.

3.2.PROBLEMİN TANIMI, STRATEJİLER VE KARAR KRİTERLERİ

Çimento sektöründe teknolojik ve proses stratejileri, karbon emisyonlarını azaltmak ve üretim süreçlerini daha verimli hale getirmek için büyük fırsatlar sunmaktadır. Bu stratejiler, dijitalleşme, otomasyon ve yenilikçi üretim teknikleriyle çimento üretimini sürdürülebilir hale getirmeyi hedefler. Sektörde karbon ayak izinin en aza indirilmesi için Endüstri 4.0 uygulamaları, akıllı sensörler ve otomasyon sistemleri, karbon yakalama ve depolama teknolojileri (KYD), atık ısı geri kazanımı ve dijital ikiz (digital twin) teknolojileri gibi yenilikçi yöntemler uygulanmaktadır.

Türkiye’de çimento sektöründe Pazar payı olarak önemli bir konumda olan bir işletmede çimento üretiminde teknolojik ve proses stratejilerine yönelik alınacak kararların değerlendirilmesi gerçekleştirilecektir. Bu amaçla işletmede literatürde ifade edilen yeni teknoloji ve proses stratejilerine yönelik, “Endüstri 4.0 uygulamaları”, “Akıllı sensörler ve otomasyon sistemleri”, “Karbon yakalama ve depolama (KYD) teknolojileri”, “Atık ısı geri kazanımı” ve “Dijital ikiz (digital twin) teknolojisi” olmak üzere beş strateji değerlendirmeye alınmıştır. Bu stratejilerin kapsamı şu şekilde açıklanmıştır;

- Endüstri 4.0 uygulamaları, çimento üretim süreçlerinin dijitalleşmesi ve otomatik yönetilmesini sağlayarak verimlilik ve enerji tasarrufu açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT) ve makine öğrenimi algoritmaları, çimento fabrikalarındaki üretim hatlarında enerji tüketimini optimize edebilir. Örneğin, IoT sensörleri fırın sıcaklıklarını, yakıt tüketimini ve karbon emisyonlarını anlık olarak izleyerek optimum çalışma koşullarını belirleyebilir. Bulut bilişim sistemleri ile bu veriler analiz edilerek enerji israfı önlenir ve sürdürülebilir bir üretim modeli oluşturulabilir. Ayrıca, büyük veri analitiği sayesinde makine arızaları tahmin edilerek bakım süreçleri daha verimli hale getirilebilir. Yapay zeka destekli üretim hatları, enerji tüketimini en aza indirerek karbon salınımını doğrudan düşürebilir.
- Akıllı sensörler ve otomasyon sistemleri, üretim süreçlerinin daha verimli hale gelmesini sağlamak için sürekli veri toplama ve analiz yapma yeteneğine sahiptir. Özellikle enerji tüketimi ve karbon salınımı açısından büyük öneme sahip olan bu sistemler, gerçek zamanlı veri analizine dayalı olarak üretim süreçlerini sürekli iyileştirmektedir. Örneğin, karbon emisyon sensörleri, çimento üretim hatlarında atmosfere salınan CO₂ miktarını ölçerek belirlenen sınır değerleri aşmamasını sağlayabilir. Ayrıca, akıllı lojistik sistemleri sayesinde malzeme taşıma süreçleri optimize edilerek gereksiz yakıt tüketimi ve karbon salımı engellenebilir. Üretim hatlarında kullanılan robotik sistemler ve adaptif otomasyon teknolojileri de çimento üretiminde daha az enerji ile daha fazla üretim yapılmasına olanak tanır.
- Karbon yakalama ve depolama (KYD) teknolojileri, çimento üretimi sırasında ortaya çıkan karbon emisyonlarının yakalanması, depolanması veya yeniden kullanılması amacıyla geliştirilen sistemlerdir. Çimento sektöründe en büyük karbon kaynağı olan klinker üretimi sırasında açığa çıkan CO₂, geleneksel yöntemlerle atmosfere salınırken, yeni nesil KYD teknolojileri sayesinde bu gaz doğrudan yakalanarak sanayi tesislerinde yeniden kullanılabilir veya güvenli bir şekilde depolanabilir. Örneğin, post-combustion karbon yakalama sistemleri, çimento fırınlarından çıkan gazları filtreleyerek CO₂'yi ayırır ve bu gaz daha sonra jeolojik depolama sahalarına yönlendirilir. Bunun yanı sıra, karbon mineralleştirme teknikleri sayesinde yakalanan CO₂, çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılarak karbon nötr üretim süreçleri geliştirilebilir. KYD teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla çimento fabrikalarının karbon salınımı büyük ölçüde azaltılabilir ve küresel iklim hedeflerine katkı sağlanabilir.

- Atık ısı geri kazanımı, çimento üretim süreçlerinde açığa çıkan fazla ısının yeniden kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlanmasını amaçlayan bir stratejidir. Çimento fabrikaları, yüksek sıcaklıklarda çalıştığından, bu süreçlerde ortaya çıkan ısı büyük oranda boşa harcanmaktadır. Ancak atık ısı geri kazanımı sistemleri sayesinde, fırınlardan çıkan sıcak gazlar enerji üretiminde tekrar kullanılabilir. Örneğin, buhar türbinleriyle entegre edilen atık ısı geri kazanım sistemleri, üretim sürecinden çıkan ısıyı kullanarak elektrik enerjisi üretebilir. Bunun yanı sıra, ön ısıtma sistemleri sayesinde atık ısı doğrudan çimento hammaddelerinin kurutulması ve pişirilmesi için kullanılabilir. Böylece, fosil yakıt tüketimi azalırken çimento fabrikalarının karbon ayak izi önemli ölçüde küçültülebilir.
- Dijital ikiz (digital twin) teknolojisi, çimento üretim süreçlerinin gerçek zamanlı olarak simüle edilmesine ve optimize edilmesine olanak tanır. Bu teknoloji, bir üretim tesisinin sanal bir kopyasını oluşturarak farklı üretim senaryolarının önceden test edilmesini sağlar. Çimento fabrikalarında dijital ikiz modelleri kullanılarak, enerji tüketimi, karbon emisyonları ve üretim verimliliği üzerine detaylı analizler yapılabilir. Örneğin, dijital ikiz teknolojisi sayesinde alternatif yakıt kullanımı veya farklı üretim parametreleri test edilerek en düşük karbon salımı sağlayan üretim senaryosu belirlenebilir. Bunun yanı sıra, dijital ikiz modelleri bakım süreçlerini de optimize ederek makine arızalarını önceden tahmin edebilir ve plansız üretim duruşlarını minimize edebilir. Böylece hem üretim verimliliği artırılabilir hem de enerji tüketimi azaltılarak sürdürülebilir üretim süreçleri sağlanabilir.

Karar sürecinde dikkate alınan karar kriterleri ise şunlardır;

- **Çevresel Katkı (Karbon Azaltımına Katkı):** Teknolojik ve proses stratejilerinin çevresel etkisi, çimento üretiminden kaynaklanan karbon emisyonlarının ne ölçüde azaltılabileceği ile doğrudan ilişkilidir. Düşük karbon salımı sağlayan yöntemler, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için kritik öneme sahiptir. Çevresel katkı, sera gazı emisyonlarının düşürülmesi, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerin minimize edilmesi açısından değerlidir.
- **Toplam Ekonomik Katkı:** Bir stratejinin toplam ekonomik katkısı, uygulanmasının uzun vadede işletmeye sağladığı maliyet avantajlarını ve finansal faydalarını ifade eder.

İlk yatırım maliyetleri, operasyonel giderler ve sağlanan verimlilik artışları, ekonomik katkının belirlenmesinde önemli rol oynar. Daha düşük enerji tüketimi, işletme maliyetlerini azaltarak kârlılığı artırabilir ve rekabet gücünü destekleyebilir.

- **Teknolojik Uygulanabilirlik ve Entegrasyon Kolaylığı:** Bir teknolojinin mevcut üretim süreçlerine ne kadar kolay entegre edilebileceği, uygulanabilirliğinin en önemli göstergelerinden biridir. Yeni bir sistemin mevcut altyapıyla uyumlu olması, ek yatırım ihtiyacını azaltabilir ve dönüşüm sürecini hızlandırabilir. Teknolojik olarak uygulanabilir stratejiler, uzun süreli duruş sürelerini ve üretim kesintilerini en aza indirerek operasyonel verimliliği artırır.
- **Mevzuata Uygunluk ve Teşvikler:** Çimento sektöründeki karbon azaltım stratejileri, ulusal ve uluslararası çevre düzenlemelerine uygun olmalıdır. Uyumlu stratejiler, karbon vergileri ve emisyon kotalarına ilişkin yaptırımlardan kaçınmayı sağlarken, aynı zamanda devlet desteklerinden ve teşvik programlarından yararlanma imkânı sunar. Mevzuata uygun ve teşviklerden faydalanabilen teknolojiler, uzun vadede sürdürülebilir bir rekabet avantajı oluşturur.
- **Rekabet Avantajı ve Paydaş Algısı:** Çevresel sürdürülebilirliğe yönelik yatırımlar, şirketin sektördeki rekabet gücünü artırabilir ve marka değerini yükseltebilir. Düşük karbonlu üretim süreçlerini benimseyen firmalar, çevre dostu üretim yapan tedarikçiler arayan küresel müşterilere daha kolay erişebilir. Paydaşların çevresel hassasiyetleri dikkate alındığında, sürdürülebilirlik odaklı yatırımlar, uzun vadeli iş ortaklıkları ve yatırımcı ilgisini artırabilir.
- **Risk ve Belirsizlik Yönetim Kolaylığı:** Teknolojik dönüşüm süreçleri, belirli seviyelerde risk ve belirsizlik içerir. Yeni bir stratejinin uygulanmasında karşılaşılabilecek teknik, finansal ve operasyonel risklerin yönetilmesi, projenin başarısı açısından kritiktir. Düşük belirsizlik içeren ve yönetilebilir risklere sahip stratejiler, yatırımcılar ve işletme yöneticileri tarafından daha kolay benimsenir.
- **Enerji Verimliliği Katkısı:** Çimento üretiminde enerji tüketimi, hem maliyetleri hem de karbon emisyonlarını doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Enerji verimliliğini artıran stratejiler, yakıt tüketimini azaltarak üretim süreçlerini daha sürdürülebilir hale

getirir. Daha az enerji gerektiren teknolojiler, aynı zamanda işletme maliyetlerini düşürerek uzun vadeli ekonomik fayda sağlar.

3.3.ARALIK DEĞERLİ NÖTROSOFİK BULANIK EDAS

Günümüzde artan rekabet ortamında mevcut problemleri minimum maliyet ve maksimum kazanç elde edebilmek amacıyla şirketler, olabilecek en kısa sürede müşterilerin ihtiyaçlarını Ortalama Çözüm Uzaklığa Dayalı Değerlendirme (EDAS) yöntemi, birden fazla ve çoğunlukla çelişen kriterin ele alındığı Çok Kriterli Grup Karar Verme (MCGDM) süreçlerinde sıkça kullanılan köklü bir yaklaşımdır. İlk olarak Ghorabae ve diğ. (2015) tarafından ortaya konulan EDAS yöntemi, alternatiflerin ortalama çözüme olan uzaklıklarını Pozitif Ortalama Uzaklık (PDA) ve Negatif Ortalama Uzaklık (NDA) olarak hesaplayarak değerlendirme yapar. Bu yöntem, karar verme süreçlerinde yer alan karmaşık unsurları sistematik bir şekilde ele alarak, kapsamlı ve gereçelendirilebilir kararlar alınmasını sağlar.

EDAS yönteminin uygulamaları, sonraki çalışmalarla birlikte daha da geliştirilmiş ve farklı karar verme çerçevelerine entegre edilmiştir. Örneğin, Peng ve Liu (2017), neutrosophic yumuşak karar yaklaşımını tanıtarak yöntemin esnekliğini artırmış ve uzman görüşlerindeki belirsizlikleri daha iyi yönetmiştir. Benzer şekilde, Li ve diğ. (2019), farklı karar verme paradigmasını birleştirerek EDAS yönteminin çeşitli bağlamlarda uygulanabilirliğini artırmayı hedeflemiştir.

EDAS yönteminin farklı karar verme ortamlarına uyarlanması gerektiğinin farkına varan Kahraman ve diğ. (2017), yöntemi aralık-değerli bulanık bağlama genişletmiştir. Bu uyarlama, özellikle aralık bulanık bilgilerin yaygın olduğu yer seçim süreçlerinde önemli bir gelişme olarak öne çıkmıştır. Aralık bulanık EDAS yöntemi, tek nokta tahminleri yerine olası değer aralıklarını dikkate alarak karar senaryolarının daha gerçekçi bir şekilde temsil edilmesini sağlamıştır. Ilieva (2018), bu yöntemi grup karar verme süreçlerinde uygulayarak aralık-değerli bulanık bilgi altında çeşitli uzman görüşlerinin toplanmasında etkinliğini göstermiştir.

Önemli bir ilerleme olarak Karasan ve Kahraman (2017, 2018), EDAS yöntemine aralık-değerli neutrosophic (IVN) bilgiyi entegre etmiştir. Bu entegrasyon, yöntemin çeşitli karar verme senaryolarına uyum yeteneğini önemli ölçüde artırmış, özellikle yüksek seviyede belirsizlik, kesinlik dışılık ve çelişkili kanıtların bulunduğu durumlarda uygulanabilir hale getirmiştir. Aralık-değerli neutrosophic kümeler (IVNS), belirli aralıklar içinde doğru (T),

yanlış (F) ve belirsizlik (I) derecelerinin temsil edilmesine olanak tanıyarak, karar verme süreçlerinde belirsizliğin kapsamlı bir şekilde modellenmesini sağlar.

Liang (2020), bu gelişmiş çerçeveyi, grup karar verme süreciyle birleştirerek yeşil binalar için enerji tasarrufu odaklı bir tasarıma uygulamıştır. Bu uygulama, IVN-EDAS yönteminin çevresel sürdürülebilirlik ve kolektif uzman değerlendirmelerini içeren karmaşık, gerçek dünya sorunlarını ele almadaki esnekliğini ve çok yönlülüğünü vurgular.

Bu gelişmeler doğrultusunda Karasan ve diğ. (2019), karar vericilerin (DM) görüş ve eğilimlerini daha kapsamlı bir şekilde hesaba katmak için neutrosophic kümelerden yararlanmıştır. Doğruluk (T), yanlışlık (F) ve belirsizlik (I) boyutlarını entegre ederek, yöntem karar vericilerin inançlarını, belirsizliklerini ve tereddütlerini tam anlamıyla yakalamayı başarmıştır. Bu yaklaşım, özellikle öznel yargıların önemli bir rol oynadığı durumlarda, karar verme ortamının daha gerçekçi ve bütüncül bir görüşünü sunar.

Tanım 1

Aralık-Değerli Neutrosophic (IVN) sayı kümesi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$x_j = \langle [TL_j, TU_j], [IL_j, IU_j], [FL_j, FU_j] \rangle,$$

burada j , karar vericilere ($j = 1, 2, 3, \dots, n$) işaret eder. Aralık-Değerli Neutrosophic Ağırlıklı Aritmetik Ortalama (INWAA) operatörü, IVN'lerin ağırlıklı toplama operatörlerine dayalıdır ve şu denkleme göre hesaplanır:

$$(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n y_k x_j \quad (3.1)$$

Bu formül, her biri N teriminin çarpımını içeren üç aralık kümesini temsil eder. Bu terimler, karar vericilere atanan TL, TU, IL, IU, FL ve FU değişkenleri kullanılarak hesaplanır ve bu ağırlık, karar vericinin karar sürecindeki göreceli önemini yansıtır.

Tanım 2

Aralık-Değerli Neutrosophic Sayıların (IVNN) sıralama işlemi şu denklemle belirlenir:

$$K(x) = \frac{(T_x^L * (2 - I_x^L - I_x^U)) + (T_x^U * (2 - I_x^L - I_x^U)) + (1 - F_x^L) * (2 - I_x^L - I_x^U) + (1 - F_x^U) * (2 - I_x^L - I_x^U)}{8} \quad (3.2)$$

$$\text{burada } x = \langle [T_x^L, T_x^U], [I_x^L, I_x^U], [F_x^L, F_x^U] \rangle$$

Tanım 3

Sıfırdan IVN'ye kadar olan aralıktaki en yüksek değeri belirlemek için aşağıdaki denklem uygulanır:

$$Z(x_j) = \begin{cases} x_j, & \text{if } K(x_j) > 0 \\ 0, & \text{if } K(x_j) \leq 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

burada; $x = \langle [T_j^L, T_j^U], [I_j^L, I_j^U], [F_j^L, F_j^U] \rangle$ and $0 = \langle [0,0], [1,1], [1, 1] \rangle$

Tanım 4

Bir X kümesinde, bir Aralık-Değerli Neutrosophic (IVN) kümesi N üç üyelik fonksiyonu ile tanımlanır: doğruluk üyelik fonksiyonu $T_N(x)$, belirsizlik üyelik fonksiyonu $I_N(x)$, ve yanlışlık üyelik fonksiyonu $F_N(x)$, her biri için $x \in X$.

$$T_N = [T_{N(x)}^L, T_{N(x)}^U \subseteq [0,1]], I_N(x) = [I_{N(x)}^L, I_{N(x)}^U \subseteq [0.1]] \text{ ve } F_N(x) = [F_{N(x)}^L, F_{N(x)}^U \subseteq [0,1]]$$

Bu IVN kümesi şu koşulu sağlamalıdır: $0 \leq T_{N(x)}^L + I_{N(x)}^L + F_{N(x)}^L \leq 3$

Aralık-Değerli Neutrosophic Kümesi (IVNS) şu şekilde ifade edilebilir:

$$N = \{ \langle x, [T_{N(x)}^L, T_{N(x)}^U], [I_{N(x)}^L, I_{N(x)}^U], [F_{N(x)}^L, F_{N(x)}^U] \rangle \mid x \in X \} \quad (3.4)$$

IVNS, Denklem 4'teki gibi ifade edilebilse de, karmaşıklığı azaltmak için genellikle şu şekilde gösterilir; $[T_N^L, T_N^U], [I_N^L, I_N^U], [F_N^L, F_N^U]$

$[T_a^L, T_a^U], [I_a^L, I_a^U], [F_a^L, F_a^U]$ ve $b = [T_b^L, T_b^U], [I_b^L, I_b^U], [F_b^L, F_b^U]$ olduğunda, birbirleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir.

1. $a^c = \langle [T_a^L, T_a^U], [1 - I_a^L, 1 - I_a^U], [F_a^L, F_a^U] \rangle$
2. $a \subseteq b$ ve eğer $a \subseteq b$ ve eğer $T_a^L \leq T_b^L, T_a^U \leq T_b^U; I_a^L \geq I_b^L, I_a^U \geq I_b^U; F_a^L \geq F_b^L, F_a^U \geq F_b^U$ $F_a^U a = b$ eğer sadece $a \subseteq b$ and $b \subseteq a$.
3. $a \oplus b = \langle [T_a^L + T_b^L - T_a^L T_b^L, T_a^U + T_b^U - T_a^U T_b^U], [I_a^L I_b^L, I_a^U I_b^U], [F_a^L F_b^L, F_a^U F_b^U] \rangle$
4. $a \otimes b = \langle [T_a^L T_b^L, T_a^U T_b^U], [I_a^L + I_b^L - I_a^L I_b^L, I_a^U + I_b^U - I_a^U I_b^U], [F_a^L + F_b^L - F_a^L F_b^L, F_a^U + F_b^U - F_a^U F_b^U] \rangle$

Tanım 5

İki IVN kümesi x ve y arasındaki çıkarma işlemi şu denklemle hesaplanır:

$$x \ominus y = \langle [T_x^L - T_y^U, T_x^U - T_y^L], [\text{Max}(I_x^L, I_y^L), \text{Max}(I_x^U, I_y^U)], [F_x^L \cdot F_y^U, F_x^U - F_y^L] \rangle \quad (3.5)$$

Burada $x = \langle [T_x^L, T_x^U], [I_x^L, I_x^U], [F_x^L, F_x^U] \rangle$ ve $y = \langle [T_y^L, T_y^U], [I_y^L, I_y^U], [F_y^L, F_y^U] \rangle$

Tanım 6

Bir Aralık-Değerli Neutrosophic Sayı, $A = \langle [T^L, T^U], [I^L, I^U], [F^L, F^U] \rangle$ verildiğinde, deneutrosophication değeri (x) şu denklemle hesaplanır:

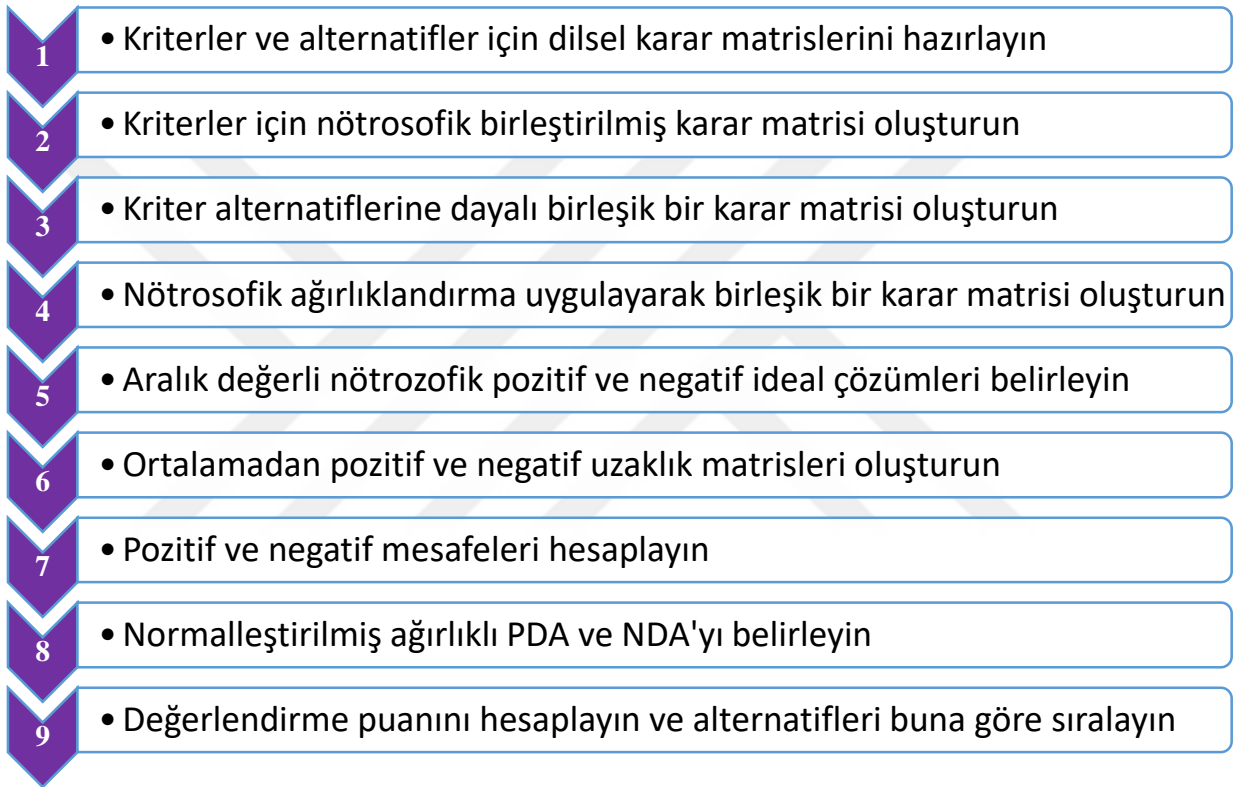
$$K(A) = \frac{T^L + T^U + 2 - F^L - F^U + T^L * T^U + \sqrt{(1 - F^L) * (1 - F^U)}}{6} * \left[\left(1 - \frac{I^L + I^U}{2} \right) - (\sqrt{I^L * I^U}) \right] \quad (3.6)$$

3.4. ARALIK DEĞERLİ NÖTROSOFİK BULANIK EDAS YÖNTEM ADIMLARI

Aralık-Değerli Neutrosophic EDAS (IVN-EDAS) yöntemi, birden fazla kriter içeren karmaşık karar verme senaryolarında kullanılan güçlü bir yaklaşımdır. IVN-EDAS yönteminin ilk adımı, kriterler ve alternatifleri kapsayan bir dilsel karar matrisi oluşturmaktır. Bu matris, alanında uzman kişilerin girdileriyle elde edilen dokuz özel dilsel terim kullanılarak oluşturulur. Dilsel terimler, uzman görüşlerinin nüanslarını yakalayan niteliksel tanımlayıcılardır ve karar verme sürecinin önemli bir bileşenini oluştururlar. Bu çalışmada, üç uzmanla görüşülmüş olup, her biri karbon azaltımına yönelik farklı 17 stratejinin değerlendirilmesinde görev almıştır. Bu uzmanlar, benzer projelerde daha önce yer almış ve bilgi birikimlerini karar verme sürecine katkı sunmuşlardır. Özellikle Uzman 1, diğer iki uzmana göre biraz daha fazla deneyime sahip olup özellikle sürdürülebilirlik kapsamındaki proje ve yatırımların değerlendirilmesi konusunda 25 yıldır görev almaktadır. Bu ek deneyim nedeniyle, uzmanlara atanan değerlendirme ağırlıkları sırasıyla Uzman 1 için 0,40, diğer iki uzman için ise 0,30 olarak belirlenmiştir. Bu ağırlıklar, her bir uzmanın görüşünün genel karar verme sürecindeki göreceli önemini yansıtır.

Dilsel karar matrisleri oluşturulduktan sonra, bir sonraki adım bu dilsel ifadelerin neutrosophic sayılara dönüştürülmesidir. Neutrosophic sayılar, uzman görüşlerinde mevcut olan belirsizlik ve kesinlik dışılığı ele almak için kullanılır. Dilsel terimlerin neutrosophic formata dönüştürülmesiyle, karar matrisleri birleştirilebilir ve buna göre ağırlıklandırılabilir. Bu dönüşüm, karar verme sürecinin matematiksel olarak titiz bir temele oturtulmasını

sağlayarak daha kesin ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini mümkün kılar. Bu çalışmada gerçekleştirilen sayısal işlemler, verilerin karmaşıklığını ele almak için neutrosophic tanım formüllerine dayanmaktadır. Dönüşüm ve birleştirme süreci tamamlandıktan sonra, alternatifler değerlendirilir ve nihai değerlendirme skoruna göre sıralanır. Bu sıralama süreci, belirtilen kriterlere en uygun alternatiflerin belirlenmesi için esastır. IVN-EDAS yönteminde yer alan adımlar, sürecin başlangıcından sonuna kadar görsel bir temsili sağlayan Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. IVN-EDAS Süreç Adımları (Samastı ve diğ., 2024)

IVN karar matrisi D_j 'nin oluşturulması için uzman görüşleri (j ile işaretlenmiş) kullanılarak hem fayda değişkenleri hem de maliyet değişkenleri değerlendirilir. Bu matriste, alternatifler (n) sütunlarda, kriterler (m) ise satırlarda yer alır. Uzman yargılarını sayısallaştırmak için dilsel ifadeler ve bunlara karşılık gelen sayısal değerleri içeren özel bir ölçek kullanılır (Tablo 3.2'e bakınız). Bu ölçek, dilsel terimlerin tutarlı bir şekilde yorumlanmasını ve karar verme sürecinde uygulanmasını sağlar. Dilsel karar matrisi tamamlandıktan sonra, bu matris IVN sayılarına dönüştürülerek daha ileri matematiksel manipülasyon ve analiz için uygun hale getirilir.

Tablo 3.2. IVN Karar Matrisi Ölçekleri ve Dil Terimleri

Dilsel Terimler		$\langle T, I, F \rangle$
CL	Mutlak Düşük - Certainly Low	$\langle [0.15, 0.25], [0.15, 0.25], [0.85, 0.95] \rangle$
VL	Çok Düşük - Very Low	$\langle [0.25, 0.35], [0.35, 0.45], [0.75, 0.85] \rangle$
L	Düşük - Low	$\langle [0.35, 0.45], [0.45, 0.55], [0.65, 0.75] \rangle$
BA	Ortalama Altı - Below Average	$\langle [0.45, 0.55], [0.55, 0.65], [0.55, 0.65] \rangle$
A	Ortalama - Average	$\langle [0.55, 0.60], [0.65, 0.75], [0.45, 0.55] \rangle$
AA	Ortalama Üstü - Above Average	$\langle [0.55, 0.65], [0.55, 0.65], [0.45, 0.55] \rangle$
H	Yüksek - High	$\langle [0.65, 0.75], [0.45, 0.55], [0.35, 0.45] \rangle$
VH	Çok Yüksek - Very High	$\langle [0.75, 0.85], [0.25, 0.35], [0.25, 0.35] \rangle$
CH	Mutlak Yüksek - Certainly High	$\langle [0.85, 0.95], [0.15, 0.25], [0.15, 0.25] \rangle$

Karar matrisleri, IVN ağırlıklı aritmetik ortalama kullanılarak kriter ağırlıkları için ortalama çözüm hesaplanarak tek bir IVN karar matrisinde birleştirilir (Tablo 3.3'ye bakınız). Bu birleştirme süreci, tüm uzmanlardan gelen girdileri birleştirerek, karar verme grubunun kolektif bilgeliğini yansıtan kapsamlı bir matris oluşturur.

Tablo 3.3. IVN Karar Matrisinde Kriter ve Alternatifler

Kriter	Tip	AL1	AL2	...	ALN
C11	Maliyet	$\langle [T_j^L, T_j^U], [I_j^L, I_j^U], [F_j^L, F_j^U] \rangle$	$\langle [T_j^L, T_j^U], [I_j^L, I_j^U], [F_j^L, F_j^U] \rangle$	...	$\langle [T_j^L, T_j^U], [I_j^L, I_j^U], [F_j^L, F_j^U] \rangle$
C12	..	$\langle [T_j^L, T_j^U], [I_j^L, I_j^U], [F_j^L, F_j^U] \rangle$	$\langle [T_j^L, T_j^U], [I_j^L, I_j^U], [F_j^L, F_j^U] \rangle$	...	$\langle [T_j^L, T_j^U], [I_j^L, I_j^U], [F_j^L, F_j^U] \rangle$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Cm	Fayda	$\langle [T_j^L, T_j^U], [I_j^L, I_j^U], [F_j^L, F_j^U] \rangle$	$\langle [T_j^L, T_j^U], [I_j^L, I_j^U], [F_j^L, F_j^U] \rangle$	...	$\langle [T_j^L, T_j^U], [I_j^L, I_j^U], [F_j^L, F_j^U] \rangle$

Tablo 3.4. IVN Karar Matrisi (Birleştirilmiş)

Kriter	Tip	AL1	AL2	...	ALN
C11	Maliyet	$\langle [T_A^L, T_A^U], [I_A^L, I_A^U], [F_A^L, F_A^U] \rangle$	$\langle [T_A^L, T_A^U], [I_A^L, I_A^U], [F_A^L, F_A^U] \rangle$	...	$\langle [T_A^L, T_A^U], [I_A^L, I_A^U], [F_A^L, F_A^U] \rangle$
C12	..	$\langle [T_A^L, T_A^U], [I_A^L, I_A^U], [F_A^L, F_A^U] \rangle$	$\langle [T_A^L, T_A^U], [I_A^L, I_A^U], [F_A^L, F_A^U] \rangle$	...	$\langle [T_A^L, T_A^U], [I_A^L, I_A^U], [F_A^L, F_A^U] \rangle$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Cm	Fayda	$\langle [T_A^L, T_A^U], [I_A^L, I_A^U], [F_A^L, F_A^U] \rangle$	$\langle [T_A^L, T_A^U], [I_A^L, I_A^U], [F_A^L, F_A^U] \rangle$	...	$\langle [T_A^L, T_A^U], [I_A^L, I_A^U], [F_A^L, F_A^U] \rangle$

Karar vericiler, her bir kritere dilsel ağırlıklar atayarak bunları daha önce belirlenen ölçek kullanılarak IVN sayılarına dönüştürürler (Tablo 3.4'e bakınız). Birleştirilmiş IVN matrisi, her bir alternatifin ortalama çözümden pozitif ve negatif sapmalarını belirli kriterlere göre hesaplamak için kullanılır. Bu sapmalar, Pozitif Sapma Analizi (PDA) ve Negatif Sapma Analizi (NDA) formülleri kullanılarak hesaplanır (Denklemler 7 ve 8). Denklem seçimi, kriterin fayda odaklı mı yoksa maliyet odaklı mı olduğuna bağlı olarak yapılır ve bu sayede değerlendirme, her bir kriterin doğasını doğru bir şekilde yansıtır.

$$pda_{mn} = \begin{cases} \frac{Z(x_{mn} \ominus AV_n)}{K(av_n)}, \text{ eğer } m \in B \text{ ise} \\ \frac{Z(AV_n \ominus X_{mn})}{K(av_n)}, \text{ eğer } m \in C \text{ ise} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$nda_{mn} = \begin{cases} \frac{Z(AV_n \ominus X_{mn})}{K(av_n)}, \text{ eğer } m \in B \text{ ise} \\ \frac{Z(x_{mn} \ominus AV_n)}{K(av_n)}, \text{ eğer } m \in C \text{ ise} \end{cases} \quad (3.8)$$

Son olarak, her bir alternatif için normalize edilmiş skorlar, normalize edilmiş PDA ve NDA değerleri kullanılarak hesaplanır (Denklemler 9, 10 ve 11).

$$sp_n = \sum_{j=1}^l (w_j \otimes pda_{mn}) \quad np_n = \sum_{j=1}^l (w_j \otimes nda_{mn}) \quad (3.9)$$

$$nsp_n = \frac{sp_n}{\max(K(sp_n))} \quad (3.10)$$

$$nsn_n = 1 - \frac{sn_n}{\max(K(sp_n))} \quad (3.11)$$

Bu normalize edilmiş skorlar, her bir alternatif için nihai bir değerlendirme skoru elde etmek üzere birleştirilir ve uygunluk sırasına göre sıralanır (Denklemler 12).

$$as_n = \frac{1}{2} (nsp_n \oplus nsn_n) \quad (3.12)$$

Bu sistematik yaklaşım, karar verme sürecinin hem şeffaf hem de sağlam olmasını sağlar ve en uygun eylem planı konusunda net bir rehberlik sunar.

4. BULGULAR

İklim değişikliğiyle mücadelede karbon emisyonlarının azaltılması, imento sektöru gibi yüksek enerji tüketen endüstriler için kritik bir öncelik haline gelmiştir. Çimento üretimi, küresel ölçekte önemli bir karbon salınım kaynağıdır ve bu durum, daha sürdürülebilir üretim yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Karbon emisyonlarının düşürülmesi için geliştirilen yeni teknoloji ve proses stratejileri, çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Bu stratejiler, üretim süreçlerinde enerji verimliliğini artırmak, atık ısıyı geri kazanmak, dijitalleşme ile süreçleri optimize etmek ve doğrudan karbon yakalama yöntemleri geliştirmek üzerine odaklanmaktadır. Firmalar, bu stratejileri uygularken hem teknik hem de ekonomik faktörleri göz önünde bulundurmalı ve kaynak kısıtları nedeniyle en uygun önceliklendirme sıralamasını belirlemelidir.

Günümüzde en yaygın ve etkili karbon azaltım stratejilerinden biri Endüstri 4.0 uygulamalarıdır. Dijitalleşme ve otomasyonun üretim süreçlerine entegre edilmesiyle, imento fabrikalarında enerji tüketimi optimize edilebilir ve karbon salınımı düşürülebilir. Büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT) ve yapay zeka algoritmaları sayesinde üretim süreçleri anlık olarak izlenerek en verimli çalışma koşulları belirlenebilir. Özellikle IoT sensörleri, fırın sıcaklıklarını ve yakıt tüketimini kontrol ederek gereksiz enerji kullanımını önleyebilir. Aynı zamanda, bulut bilişim sistemleri ile veriler analiz edilerek enerji israfı en aza indirilebilir. Yapay zeka destekli tahminleme sistemleri ise makine arızalarını önceden tespit ederek plansız duruş sürelerini azaltabilir. Böylece, imento üretim süreçlerinde dijitalleşme, sürdürülebilir üretim için önemli bir araç haline gelmektedir.

Akıllı sensörler ve otomasyon sistemleri de karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik önemli bir diğer stratejidir. Gerçek zamanlı veri analizi yapabilen bu sistemler, üretim süreçlerinde enerji tüketimini optimize etmeye yardımcı olur. Özellikle karbon emisyon sensörleri, imento üretim hatlarında atmosfere salınan CO₂ miktarını sürekli olarak ölçerek belirlenen sınır değerlerin aşılmasını engelleyebilir. Akıllı lojistik sistemleri, malzeme taşıma süreçlerini optimize ederek gereksiz yakıt tüketimini azaltırken, robotik sistemler ve adaptif otomasyon teknolojileri üretimde daha az enerji kullanarak daha yüksek verimlilik elde

edilmesini sağlayabilir. Bu tür sistemler, üretim süreçlerinin daha esnek ve verimli hale gelmesine katkıda bulunarak çimento fabrikalarının karbon ayak izini küçültebilir.

Karbon yakalama ve depolama teknolojileri, çimento sektöründe karbon emisyonlarının azaltılmasında en doğrudan ve etkili çözümlerden biridir. Çimento üretimi sırasında en büyük karbon kaynağı olan klinker üretimi sürecinde açığa çıkan CO₂, geleneksel yöntemlerde atmosfere salınmaktadır. Ancak karbon yakalama sistemleri sayesinde bu gaz doğrudan yakalanabilir, sanayi tesislerinde yeniden kullanılabilir veya güvenli bir şekilde depolanabilir. Örneğin, post-combustion karbon yakalama sistemleri, çimento fırınlarından çıkan gazları filtreleyerek CO₂'yi ayırır ve bu gaz daha sonra jeolojik depolama sahalarına yönlendirilir. Alternatif olarak, karbon mineralleştirme teknikleri ile yakalanan CO₂, çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilir ve karbon nötr üretim süreçleri oluşturulabilir. Karbon yakalama ve depolama sistemlerinin yaygınlaşması, çimento fabrikalarının karbon salınımını büyük ölçüde azaltarak küresel iklim hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlayabilir.

Atık ısı geri kazanımı da karbon salınımını azaltmaya yönelik önemli bir stratejidir. Çimento üretiminde yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen işlemler nedeniyle büyük miktarda ısı açığa çıkmaktadır. Atık ısı geri kazanım sistemleri, bu enerjiyi üretim sürecinde tekrar kullanarak enerji tasarrufu sağlar. Örneğin, buhar türbinleriyle entegre edilen sistemler, fırınlardan çıkan sıcak gazları kullanarak elektrik enerjisi üretebilir. Ayrıca, ön ısıtma sistemleri sayesinde atık ısı, çimento hammaddelerinin kurutulması ve pişirilmesi için doğrudan kullanılabilir. Bu uygulamalar, fosil yakıt tüketimini azaltarak hem ekonomik hem de çevresel fayda sağlar.

Dijital ikiz teknolojisi, çimento fabrikalarının enerji verimliliğini artırmaya yönelik bir diğer önemli stratejidir. Bu teknoloji, bir üretim tesisinin sanal bir kopyasını oluşturarak farklı üretim senaryolarının önceden test edilmesini mümkün kılar. Çimento üretim süreçlerinde dijital ikiz modelleri kullanılarak, enerji tüketimi, karbon emisyonları ve üretim verimliliği detaylı bir şekilde analiz edilebilir. Örneğin, alternatif yakıt kullanımı veya farklı üretim parametreleri dijital ortamda test edilerek en düşük karbon salınımını sağlayan üretim senaryosu belirlenebilir. Bunun yanı sıra, dijital ikiz sistemleri bakım süreçlerini optimize ederek makine arızalarını önceden tespit edebilir ve plansız duruşları en aza indirebilir. Bu sayede üretim verimliliği artırılırken, enerji tüketimi ve karbon emisyonları düşürülebilir.

Tüm bu stratejiler, çimento sektöründe karbon azaltımını sağlamak adına önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak, bir işletmenin bu stratejilerin tamamını aynı anda hayata geçirmesi, finansal ve operasyonel kısıtlar nedeniyle mümkün olmayabilir. Bu nedenle, stratejilerin önceliklendirilmesi kritik bir adımdır. Bir firmaya en uygun stratejinin belirlenmesi için, çevresel katkı, ekonomik sürdürülebilirlik, teknolojik uygulanabilirlik, mevzuata uygunluk ve rekabet avantajı gibi çeşitli kriterler dikkate alınmalıdır. Bu kriterler doğrultusunda yapılan analizler, en yüksek faydayı sağlayacak stratejilerin belirlenmesine ve şirketin karbon azaltım yol haritasının oluşturulmasına yardımcı olacaktır. Stratejik önceliklendirme sürecinin doğru yönetilmesi, çimento fabrikalarının hem çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını hem de uzun vadeli rekabet gücünü artırmasını sağlayacaktır.

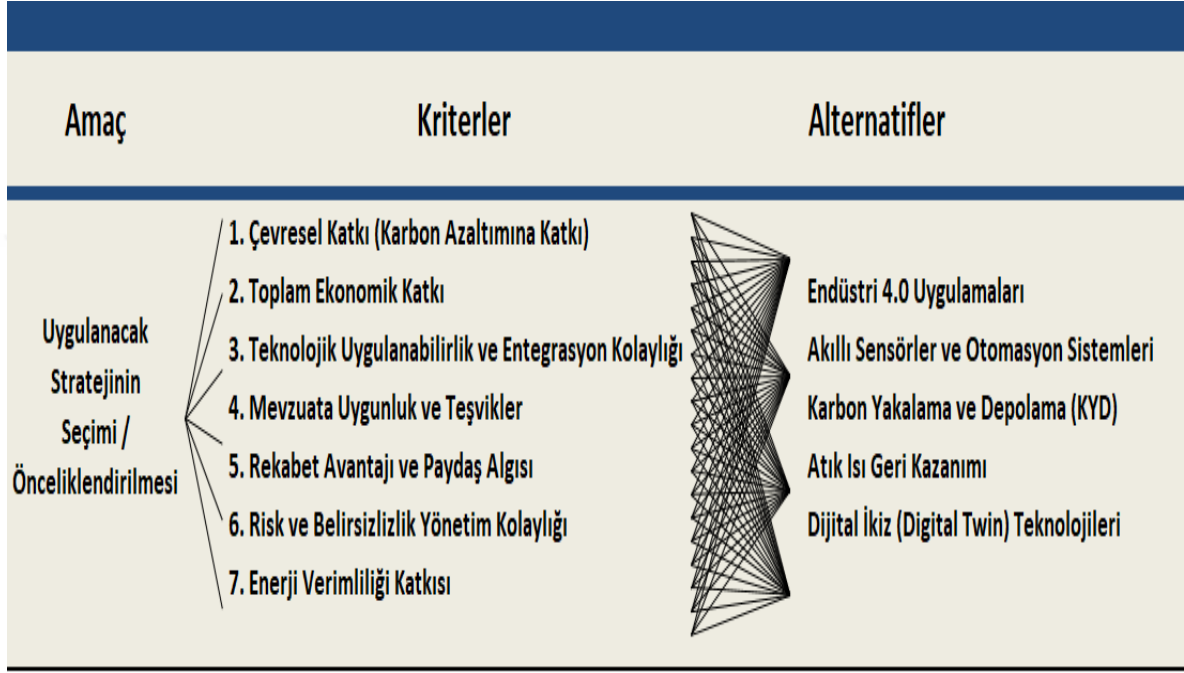
3.5.KARAR MODELİ

Yeni teknoloji ve proses stratejilerinin çimento sektöründe uygulanması, karbon emisyonlarını azaltırken aynı zamanda enerji verimliliğini ve üretim süreçlerinin sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Endüstri 4.0 uygulamaları, akıllı sensörler, karbon yakalama teknolojileri, atık ısı geri kazanımı ve dijital ikiz sistemleri gibi yenilikçi yaklaşımlar, çimento fabrikalarının hem ekonomik hem de çevresel performanslarını iyileştirmelerine olanak tanımaktadır. Teknolojik gelişmelerin hızlanmasıyla birlikte, çimento sektöründe karbon nötrliğe ulaşmak için daha akıllı, verimli ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin yaygınlaşması kaçınılmaz hale gelecektir.

Çimento sektörü, yüksek enerji tüketimi ve fosil yakıt kullanımı nedeniyle önemli miktarda karbon salınımı gerçekleştiren bir endüstridir. Bu nedenle, karbon emisyonlarını azaltmak, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de sektördeki rekabet avantajı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, karbon salınımını azaltmaya yönelik olarak geliştirilen çeşitli stratejilerin değerlendirilmesi ve en uygun stratejilerin belirlenmesi, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşması için kritik bir karar problemidir. Bu çalışmada öncelikle altı ana boyut altında çimento sektöründe karbon salınımını azaltmaya yönelik 23 strateji incelenmiştir. Sonrasında Yeni Teknoloji ve Proses Stratejileri başlığı altındaki beş stratejiye odaklanılmıştır. Sektörde önemli pazar payına sahip bir firmanın bu stratejilerden hangisini ya da hangilerini öncelikli dikkate alması gerektiği incelenmiştir. Bu kapsamda bu stratejilerin önceliklendirilmesine yönelik çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Nötrosifik EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) yönteminden

yararlanılmıştır. Üçüncü bölümde açıklanan bu yöntem karar probleminde yer alan belirsizlik ve çelişkili bilgilere esneklik kazandıran nütrosifik kümeler kullanarak karar verme sürecini daha güvenilir hale getirmektedir.

Karbon salınımını azaltmada teknolojik ve proses stratejilerinin değerlendirilmesine yönelik oluşturulan karar ağacı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Karar ağacı

Karar ağacında yer alan ve bir önceki bölümde açıklanan yedi karar kriteri dikkate alınarak alternatif stratejiler (S1,S2,S3,S4 ve S5) üç farklı uzman tarafından değerlendirmiştir. Uzmanlardan ikisi 5-10 yıl arasında bir tecrübeye sahipken diğer uzman 10 yıldan fazla bir tecrübe sahibidir. Bu nedenle karar değerlendirmesinde uzmanlardan ikisinin ağırlığı %30 alınırken daha tecrübeli uzmanın ağırlığı %40 olarak alınmıştır.

3.6.KARAR VERİCİLERİN DEĞERLENDİRMELERİ

Bu karar probleminde 7 ana kriter belirlenmiştir. Her bir kriterin stratejilerin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynayacağı öngörülmektedir. Çalışmada uzmanların ilk olarak kriterleri değerlendirmeleri istenmiştir. Tablo 4.1 bu dilsel değerlendirmeleri göstermektedir.

Tablo 4.1. Dilsel İfadeler İle Karar Kriterlerini Değerlendirilme Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
DM1	VHI	HI	AAI	HI	HI	AAI	VHI
DM2	VHI	HI	HI	VHI	AAI	AAI	VHI
DM3	VHI	VHI	VHI	VHI	VHI	HI	CHI

Sonraki adımda, IVN karar matrisinin elde edilmesi ve ardından dilsel ifadelerin sayısallaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte yöntemde anlatılan ilk beş denklemden yararlanılmıştır. Tablo 4.2, tüm beş alternatif için birleşik IVN karar matrisini göstermektedir. Tablo her alternatifin alt ve üst T, L ve F değerlerini içermektedir.

Tablo 4.2. IVN Karar Matrisi

S1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
DM1	AI	HI	LI	AI	HI	BAI	AI
DM2	AAI	HI	LI	AI	VHI	BAI	AI
DM3	AI	HI	VLI	BAI	HI	BAI	AAI
S2	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6	C1.7
DM1	AI	VHI	AI	AAI	HI	AI	AAI
DM2	AI	VHI	BAI	HI	VHI	AI	AAI
DM3	AAI	VHI	AI	VHI	VHI	AI	AAI
S3	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6	C1.7
DM1	VHI	AAI	AI	HI	HI	HI	HI
DM2	VHI	AI	AAI	VHI	VHI	HI	VHI
DM3	CHI	AI	AAI	VHI	HI	HI	VH
S4	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6	C1.7
DM1	VHI	VHI	HI	HI	VHI	HI	CHI
DM2	CHI	VHI	HI	VHI	CHI	VHI	CHI
DM3	CHI	VHI	HI	VHI	CHI	HI	CHI
S5	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6	C1.7
DM1	HI	AI	LI	LI	AI	LI	HI
DM2	AAI	AAI	VLI	LI	AI	LI	HI
DM3	AAI	AAI	VLI	LI	BAI	LI	AAI

sp_n ve np_n değerleri, nütrosifik bir metodoloji kullanılarak PDA ve NDA değerlerinin ağırlıklarla çarpılmasıyla elde edilmiştir. Gerekli değerler Bölüm 3'teki denklemler kullanılarak hesaplanmış ve değerlerin normalleştirilmesinin ardından her bir alternatif için normalleştirilmiş sp_n ve np_n değerleri bulunmuştur. Bu aşamada denklem 10 ve 11 kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Denklem 12 kullanılarak değerlendirme puanı belirlenmiştir. Toplam sp_n np_n değerleri sırasıyla tablo 4.3 ve 4.4 de paylaşılmıştır.

Tablo 4.3: sp toplam tablosu

AL/sp	sp_n					
	TL	TU	IL	IU	FL	FU
S1	-2,78804	0,001699	9,589556	9,895696	1,805428	5,366061
S2	-1,29694	1,665393	9,767532	10,05855	0,267611	4,092725
S3	-0,30836	3,120577	9,198267	9,621041	-0,76907	3,238196
S4	0,937917	4,701026	8,676324	9,216258	-2,06022	2,157597
S5	-3,74592	-0,95834	9,478001	9,821737	2,788371	6,182734

Tablo 4.4 np toplam tablosu

AL/np	np_n					
	TL	TU	IL	IU	FL	FU
S1	2,788035	-0,0017	9,589556	9,895696	2,254828	0,345949
S2	1,296944	-1,66539	9,767532	10,05855	3,792646	1,619285
S3	0,308357	-3,12058	9,198267	9,621041	4,829326	2,473814
S4	-0,93792	-4,70103	8,676324	9,216258	6,120475	3,554413
S5	3,745916	0,958338	9,478001	9,821737	1,271885	-0,47072

Normalleştirilmiş değerler değerlendirme noktası olarak alınarak tüm stratejiler için hesaplanmıştır. Tablo 4.5'de gösterilen değerlendirme puanları incelendiğinde en öncelikli tercih edilmesi gereken stratejinin en yüksek puana sahip strateji olan strateji 4 olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5: Değerlendirme Puanları

AL	TL	TU	IL	IU	FL	FU
S1	0,45285	0,500032	0,115556	0,11708	0,038992	0,006454
S2	0,476684	0,533466	0,116459	0,117836	0,061417	0,028737
S3	0,494239	0,565953	0,113414	0,115719	0,074626	0,042392
S4	0,518359	0,604666	0,110215	0,113517	0,088929	0,058164
S5	0,439215	0,48254	0,114968	0,116724	0,022888	-0,00906

Çalışmadaki karar probleminde alternatif olarak değerlendirilen stratejiler tablo 4.6'da sıralanmış olarak gösterilmektedir.

Tablo 4.6. Nihai Puanlar ve Strateji Sıralamaları

ALTERNATİFLER - STRATEJİLER	PUAN	SIRALAMA
S4 -Atık Isı Geri Kazanımı	3,822219	1
S3- Karbon Yakalama ve Depolama (KYD)	3,728147	2
S2- Akıllı Sensörler ve Otomasyon Sistemleri	3,655259	3
S1 - Endüstri 4.0 Uygulamaları	3,602033	4
S5 - Dijital İkiz (Digital Twin) Teknolojileri	3,580821	5

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, çimento sektöründe karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik beş farklı yeni teknoloji ve proses stratejisinin önceliklendirilmesi için Aralık-Değerli Nötrosifik EDAS (IVN-EDAS) yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, çimento sektöründe karbon salınımını azaltmak için en etkili stratejilerin belirlenmesine yönelik önemli çıkarımlar sunmaktadır. Karar verme sürecinde belirlenen yedi kriter doğrultusunda yapılan analizler sonucunda, en yüksek öncelikli stratejinin atık ısı geri kazanımı olduğu belirlenmiştir. Çimento üretimi, ton başına yaklaşık 4 GJ enerji tüketen yoğun bir süreçtir. Teorik olarak, bir ton klinker üretimi için minimum 1,6 GJ ısı gerekirken, gelişmiş fırınlarda bu tüketim ortalama 2,95 GJ'ye ulaşmaktadır. Bazı ülkelerde ise 5 GJ/ton seviyelerini aşabilmektedir (Engin ve Ari, 2005). Termal enerji, toplam üretim maliyetinin %25'ini oluşturur ve birincil enerji tüketiminin %75'ini kapsar. En büyük kullanım alanı piroproses hattı olup, kömür, pet kok, gaz ve petrol gibi geleneksel yakıtların yanı sıra, kullanılmış lastikler ve tarımsal atıklar gibi alternatif yakıtlar da tercih edilmektedir (Vaseghi ve diğ., 2012). Çalışmada elde edilen bulgu, çimento üretim süreçlerinde açığa çıkan büyük miktardaki ısının verimli bir şekilde değerlendirilmesinin hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli katkılar sunduğunu göstermektedir. Atık ısı geri kazanımı, mevcut üretim tesislerinde büyük değişiklikler gerektirmeden uygulanabilir olmasıyla da öne çıkmaktadır. Ayrıca, fosil yakıt tüketimini azaltarak doğrudan karbon emisyonlarının düşürülmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, çimento üretiminde enerji verimliliğini artırmaya yönelik en pratik ve uygulanabilir strateji olarak öne çıkmıştır.

İkinci sırada yer alan karbon yakalama ve depolama (KYD) teknolojileri, doğrudan karbon emisyonlarını azaltan etkili bir yöntem olmasına rağmen, yüksek yatırım maliyetleri ve teknolojik uygulanabilirlik açısından bazı zorluklar barındırmaktadır. KYD teknolojisi genel olarak yakın ve orta vadede sıfır emisyonlu enerjiye geçmek için kullanılan bir köprü teknolojisi olarak görülmektedir (Hasan ve diğ., 2022). Çalışmada KYD teknolojisinin ikinci sırada yer alması, uzun vadeli sürdürülebilirlik hedefleri açısından büyük bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Ancak, bu teknolojinin uygulanabilirliği konusunda finansal ve altyapısal kısıtların dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, KYD teknolojilerinin

yaygınlaşabilmesi için devlet teşvikleri ve düzenleyici desteklerin kritik bir rol oynayacağı söylenebilir.

Üçüncü sırada yer alan akıllı sensörler ve otomasyon sistemleri, üretim süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi ve karbon emisyonlarının anlık olarak izlenmesi açısından büyük faydalar sağlamaktadır. Özellikle, üretim hatlarında enerji verimliliğini artırarak sürdürülebilir bir üretim modeli oluşturması bu stratejinin güçlü yönlerinden biridir. Çalışmada bu stratejinin öncelikli olarak değerlendirilmesi, çimento üretim süreçlerinde dijitalleşmenin önemini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojinin tam anlamıyla uygulanabilmesi için mevcut altyapının adaptasyonunun sağlanması ve yatırım maliyetlerinin optimize edilmesi gerekmektedir.

Endüstri 4.0 uygulamalarının dördüncü sırada yer alması, büyük veri analitiği, yapay zeka ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin çimento üretiminde önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir. Ancak, bu stratejinin öncelik sıralamasında daha geride yer alması, uygulama sürecinde karşılaşılan teknik zorluklardan kaynaklanabilir. Endüstri 4.0 uygulamaları, büyük ölçekli veri yönetimi ve entegrasyon gerektirdiğinden, çimento fabrikalarının mevcut altyapılarının bu değişime ne kadar hazır olduğu da değerlendirilmesi gereken bir konudur.

Beşinci sırada yer alan dijital ikiz teknolojisi, üretim süreçlerinin simülasyon yoluyla analiz edilmesini ve en uygun üretim senaryolarının belirlenmesini sağlayan bir yöntemdir. Ancak, diğer stratejilere kıyasla daha soyut bir yaklaşım sunması ve doğrudan karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik etkisinin dolaylı olması nedeniyle daha düşük öncelikli bulunmuştur. Bununla birlikte, uzun vadede üretim süreçlerinde verimliliği artırarak dolaylı karbon azaltımı sağlayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Kullanılan IVN-EDAS yöntemi, karar verme sürecinde belirsizlikleri ve çelişkili bilgileri dikkate almasıyla önemli bir avantaj sağlamaktadır. Nötrosifik sayılar, uzman görüşleri arasındaki belirsizlikleri ve kesin olmayan bilgileri sistematik bir şekilde ele alarak daha güvenilir kararlar alınmasını mümkün kılmıştır. Aynı zamanda, bu yöntemin çok kriterli karar verme süreçlerinde esneklik sağlaması, farklı stratejilerin birbirleriyle karşılaştırılmasını kolaylaştırmıştır. Bu yönüyle, çimento sektöründe sürdürülebilirlik odaklı karar verme süreçlerine katkı sağlayabilecek güçlü bir metodoloji olduğu söylenebilir.

Bununla birlikte, yöntemin bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Öncelikle, yöntemin doğruluğu büyük ölçüde uzman görüşlerine dayanmaktadır ve bu durum, subjektif değerlendirmelerin karar sürecine olan etkisini artırabilir. Ayrıca, neutrosophic küme yaklaşımıyla yapılan hesaplamalar karmaşık matematiksel işlemler gerektirdiğinden, yöntemin uygulanması belirli bir teknik bilgi gerektirmektedir. Bu nedenle, yöntemin karar vericiler tarafından etkin bir şekilde kullanılabilmesi için konuya hakim uzmanların sürece dahil edilmesi kritik bir gerekliliktir.

Gelecek çalışmalarda, farklı karar verme yöntemleriyle karşılaştırmalı analizler yapılarak IVN-EDAS yönteminin etkinliği daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilir. Ayrıca, karar kriterlerinin ağırlıklandırılması sürecinde farklı uzman gruplarının dahil edilmesi, yöntemin daha geniş bir perspektifle ele alınmasını sağlayabilir. Bunun yanı sıra, çimento üretiminde karbon azaltımına yönelik stratejilerin zaman içerisindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla uzun vadeli senaryo analizleri yapılabilir. Böylece, belirlenen stratejilerin uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği daha derinlemesine incelenebilir.

Bu tez çalışması çimento sektöründe karbon azaltımına yönelik yeni teknoloji ve proses stratejilerinin önceliklendirilmesine katkı sağlamış ve IVN-EDAS yönteminin bu tür karar süreçlerinde etkin bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışmanın bulguları, çimento fabrikalarının sürdürülebilirlik stratejilerini belirlerken dikkate alabilecekleri somut veriler sunmaktadır. Gelecekte, daha geniş ölçekli uygulamalarla yöntemin doğrulanması ve farklı sektörlerde kullanımı üzerine çalışmalar yapılabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında öncelikle çimento sektöründe karbon salınımını azaltmaya yönelik 23 farklı strateji ortaya konulmuştur. Sonrasında ise yeni teknoloji ve proses stratejilerine odaklanılmıştır. Tüm stratejilerin eş zamanlı yönetilmesi mevcut insan kaynağı, finansal kısıtlar gibi birçok kısıt nedeniyle gerçekleştirilemeyeceği için çalışmada stratejilerin önceliklendirme süreci Aralık-Değerli Nötrosifik EDAS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek önceliğe sahip strateji Atık Isı Geri Kazanımı (S4) olarak belirlenmiştir. Bu stratejiyi sırasıyla Karbon Yakalama ve Depolama (S3), Akıllı Sensörler ve Otomasyon Sistemleri (S2), Endüstri 4.0 Uygulamaları (S1) ve Dijital İkiz Teknolojileri (S5) takip etmiştir.

Çalışma kapsamında değerlendirilen stratejilerin önceliklendirme sıralaması, bu stratejilerin çimento sektöründe karbon salınımını azaltmadaki etkisi, uygulanabilirliği ve ekonomik sürdürülebilirliği gibi çeşitli kriterler dikkate alınarak belirlenmiştir. Atık Isı Geri Kazanımı stratejisinin en yüksek puanı alması, bu teknolojinin karbon emisyonlarını azaltmada doğrudan etkili olmasının yanı sıra, mevcut üretim süreçlerine kolaylıkla entegre edilebilir olmasından kaynaklanmaktadır. Çimento üretimi sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıktaki atık ısının yeniden kullanılması, enerji verimliliğini artırarak hem maliyetleri düşürmekte hem de fosil yakıt kullanımını azaltarak karbon salınımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle, firmalar için uygulanabilirliği yüksek ve yatırım getirisi bakımından avantajlı bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Karbon Yakalama ve Depolama (KYD) teknolojisi ikinci sırada yer almış olup, doğrudan karbon salınımını azaltma potansiyeli en yüksek yöntemlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu teknoloji, çimento üretimi sırasında açığa çıkan CO₂'nin atmosfere salınmasını önleyerek ya doğrudan depolanmasını ya da endüstriyel kullanım için geri dönüştürülmesini sağlamaktadır. Ancak, KYD sistemlerinin yüksek yatırım maliyetleri ve mevcut altyapıya entegrasyon zorlukları, bu teknolojinin uygulanabilirliğini kısıtlayan faktörler arasındadır. Bu nedenle, stratejik önceliklendirme sürecinde atık ısı geri kazanımının gerisinde kalmıştır.

Üçüncü sırada Akıllı Sensörler ve Otomasyon Sistemleri bulunmaktadır. Bu strateji, enerji tüketiminin optimize edilmesi ve süreçlerin otomatik olarak iyileştirilmesi ile karbon salınımının dolaylı olarak azaltılmasını sağlamaktadır. Gerçek zamanlı veri analizi ve proses iyileştirme yetenekleri sayesinde çimento fabrikalarının enerji kullanımını en verimli şekilde yönetmesine olanak tanımaktadır. Uygulanabilirliği ve kısa vadede etkili sonuçlar sağlaması nedeniyle önemli bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır.

Endüstri 4.0 Uygulamaları, dördüncü sırada yer alarak karbon azaltımı açısından kritik bir rol oynayan ancak doğrudan emisyonu azaltmaktan çok süreçleri verimli hale getiren bir strateji olarak değerlendirilmiştir. Büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT) ve makine öğrenimi algoritmaları sayesinde enerji tüketimini optimize ederek sürdürülebilir üretim süreçlerinin oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Ancak, bu sistemlerin tamamen entegre edilmesi ve geniş çapta uygulanabilmesi için gerekli altyapı yatırımları ve teknik bilgi gereksinimleri, diğer stratejilere kıyasla daha düşük öncelik almasına neden olmuştur.

Son olarak, Dijital İkiz Teknolojileri beşinci sırada yer almıştır. Bu teknoloji, üretim süreçlerinin sanal bir kopyasını oluşturarak çeşitli senaryoların test edilmesini ve en verimli üretim koşullarının belirlenmesini sağlamaktadır. Çimento üretiminde enerji verimliliğini artırmaya yönelik önemli bir araç olmasına rağmen, yatırım maliyetleri ve mevcut altyapıya uyum gereksinimleri nedeniyle diğer stratejilere kıyasla daha düşük önceliğe sahip olmuştur. Ancak, uzun vadede dijital ikiz teknolojilerinin daha yaygın hale gelmesiyle birlikte, bu stratejinin öneminin artması beklenmektedir.

Çalışmada tercih edilen EDAS yöntemi, alternatiflerin hem pozitif hem de negatif yönlerini analiz ederek en uygun çözümün belirlenmesini kolaylaştırmıştır. Bununla birlikte çevresel katkı, ekonomik sürdürülebilirlik, teknolojik uygulanabilirlik gibi çok sayıda kriter aynı anda değerlendirilmiş ve karar sürecine dahil edilmiştir. Aralık-Değerli Nötrosifik EDAS yöntemi, çok kriterli karar verme süreçlerinde belirsizliklerin yönetilmesine olanak tanıyan güçlü bir yöntemdir. Karbon azaltımına yönelik stratejilerin değerlendirilmesinde belirsizlik ve çelişkili bilgilerin varlığı göz önüne alındığında, bu yöntemin kullanılması karar verme sürecini daha güvenilir hale getirmiştir. Nötrosifik EDAS yöntemi ayrıca, karar sürecinde yer alan uzman görüşlerindeki belirsizlikleri dikkate alarak daha esnek ve kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır. Yöntemin önemli bir avantajı da uzman görüşlerinden elde edilen dilsel

değerlendirmelerin sayısal verilere dönüştürülmesiyle daha nesnel bir analiz yapılmasına olanak sağlaması olmuştur.

Gelecek çalışmalarda çimento sektörü dışında diğer yüksek karbon emisyonuna sahip sektörlerde (örneğin, demir-çelik, kimya endüstrisi) de benzer yöntemler kullanılarak stratejik önceliklendirme çalışmaları yapılabilir. Bunun dışında gelecek çalışmalarda Nötrosifik EDAS yöntemi ile elde edilen sonuçlar, diğer karar verme yöntemleri (örneğin, TOPSIS, AHP, PROMETHEE) ile karşılaştırılarak doğruluk ve güvenilirlik açısından da değerlendirilebilir. Buna ilave olarak bu tez çalışmasında kullanılan kriterlerin kapsamı genişletilerek farklı değerlendirme faktörleri yeni çalışmalara dahil edilebilir ve kriter ağırlıklandırma yöntemleri incelenebilir. Sonraki çalışmalarda çimento fabrikalarından alınan gerçek zamanlı verilerle bir uygulama gerçekleştirilmesi ve verilerin karar sürecine dahil edilmesi de yöntemin saha şartlarında etkinliğini test etmek açısından önemli olacaktır.

Bu çalışma çimento sektöründe karbon azaltımına yönelik yeni teknoloji ve proses stratejilerinin değerlendirilmesi karar süreçlerinde Aralık-Değerli Nötrosifik EDAS yönteminin ilk olarak uygulandığı bir çalışma olarak literatüre bir katkıda bulunmuştur. Gelecekte yapılacak çalışmalarla bu süreç daha da geliştirilebilir ve sürdürülebilir üretim uygulamalarına yönelik daha etkin karar destek sistemleri oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

Bhattacharya, R.; Bose, D.; Mitra, G.; Sarkar, A. 2024, *Prospects of Sustainability for Carbon Footprint Reduction*. In *Clean and Renewable Energy Production*, 1st ed.; Wiley: Hoboken, NJ, USA, pp. 335–353.

Bonilla, S.H.; Silva, H.R.O.; Terra Da Silva, M.; Franco Gonçalves, R.; Sacomano, J.B., 2028, Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges. *Sustainability*, 10, 3740

Chaudhury R, Sharma U, Thapliyal P, Singh L., 2023, Low-CO₂ emission strategies to achieve net zero target in cement sector. *Journal of Cleaner Production*, 417:137466

Engin, T., Ari, V., 2005, Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems—A case study, *Energy Conversion and Management*, 46 (4), 551–562.

Fuertes, G.; Zamorano, J.; Alfaro, M.; Vargas, M.; Sabattin, J.; Duran, C.; Ternero, R.; Rivera, R., 2022; Opportunities of the Technological Trends Linked to Industry 4.0 for Achieve Sustainable Manufacturing Objectives. *Sustainability*, 14, 11118.

Habert G, Miller SA, John VM, Provis JL, Favier A, Horvath A, Scrivener KL., 2020, Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1:559–573

Hasan, M.F., Zantye, M.S., Kazi, M.K., 2022, Challenges and opportunities in carbon capture, utilization and storage: A process systems engineering perspective, *Computers & Chemical Engineering*, 166,1-26, 107925. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.107925>

Jena, M.C.; Mishra, S.K.; Moharana, H.S., 2024, Integration of Industry 4.0 with reliability centered maintenance to enhance sustainable manufacturing. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 43, e14321

Ilieva, G., 2018, Group decision analysis algorithms with EDAS for interval fuzzy sets, *Cybernetics and Information Technologies.*, 18 (2), 51–64.

- Kahraman, C., Ghorabae, M.K., Zavadskas, E.K., Onar, S.C., Yazdani, M., Oztaysi, B., 2017, Intuitionistic fuzzy EDAS method: An application to solid waste disposal site selection, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25 (1), 1–12.
- Karasan, A., Kahraman, C., Boltürk, E., 2019, *Interval-valued neutrosophic EDAS method: An application to prioritization of social responsibility projects*. In *Fuzzy Multi-criteria Decision-Making Using Neutrosophic Sets*, Springer, 455–485.
- Kunche A, Mielczarek B, 2021, Application of system dynamic modelling for evaluation of carbon mitigation strategies in cement industries: a comparative overview of the current state of the art. *Energies* 14.
- Liang, Y., 2020, An EDAS method for multiple attribute group decision-making under intuitionistic fuzzy environment and its application for evaluating green building energy-saving design projects, *Symmetry*, 12 (3), 484.
- Li, Z., Wei, G., Wang, R., Wu, J., Wei, C., Wei, Y., 2019, EDAS method for multiple attribute group decision making under q-rung orthopair fuzzy environment, *Technological and Economic Development of Economy*, 26 (1), 86–102.
- Liu, H., 2024, Literature Review on Carbon Emission Reduction in China's Traditional Manufacturing Industry and Research on The Driving Mechanism of Its Green Transformation. *Frontiers in Business, Economics and Management*, 13, 324–332.
- Olah, J.; Aburumman, N.; Popp, J.; Khan, M.A.; Haddad, H.; Kitukutha, 2020, N. Impact of Industry 4.0 on Environmental Sustainability. *Sustainability* 2020, 12, 4674
- Peng, X., Liu, C., 2017, Algorithms for neutrosophic soft decision making based on EDAS, new similarity measure and level soft set, *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, 32 (1), 955–968.
- Samastı, M.; Türkan, Y.S.; Güler, M.; Ciner, M.N.; Namlı, E., 2024, Site Selection of Medical Waste Disposal Facilities Using the Interval-Valued Neutrosophic Fuzzy EDAS Method: The Case Study of Istanbul. *Sustainability* , 16, 2881. <https://doi.org/10.3390/su16072881>
- Su, Y., Yu, Y., Zhang, N., 2020, Carbon emissions and environmental management based on Big Data and Streaming Data: A bibliometric analysis. *Sci. Total Environment*, 733, 138984
- Vaseghi, M., Amiri, A., Pesaran, A., 2012. A review of energy efficiency and CO₂ emissions in the US cement industry, *Proc. 23rd IEEE-IAS/PCA Cement Ind. Technologies Conf.* 1–9

EKLER



İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Enise MATBAY			
ORJİNALLIK RAPORU			
%	10	%8	%7
BENZERLİK ENDEKSİ		İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR
			%5
			ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ
BİRİNCİL KAYNAKLAR			
1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi		%3
2	mdpi-res.com İnternet Kaynağı		%1
3	www.mdpi.com İnternet Kaynağı		%1
4	Korkmaz, Yeşim Dildar. "Evaluating the Convergence of High-Performance Computing with Big Data, Artificial Intelligence and Cloud Computing Technologies", Middle East Technical University (Turkey), 2024 Yayın		<%1
5	qspace.library.queensu.ca İnternet Kaynağı		<%1
6	Mesut Samasti, Emre Cakmak, Alper Ozpınar. "Strategic classification of smart city strategies in developing countries", Engineering Science and Technology, an International Journal, 2025 Yayın		<%1
7	Kwaku Boakye, Dahl Winters, Olurotimi Oguntola, Kevin Fenton, Steve Simske. "A Review of Strategies to Achieve Net Zero Targets in the Cement and Concrete Sectors", IntechOpen, 2024		<%1

E.İ.

KURUM İZİNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- Kurum izni gerekmektedir.
- Kurum izni gerekmemektedir.

Enise MATBAY

